

**RESPOSTAS DA LARANJEIRA VALÊNCIA (*Citrus sinnensis*  
L. Osbeck) SOBRE LIMOEIRO CRAVO (*Citrus limonia* L. Osbeck)  
À CALAGEM E AO EQUILÍBRIO DE BASES NUM LATOSSOLO  
VERMELHO ESCURO DE TEXTURA ARGILOSA.**

**JOSÉ ANTONIO QUAGGIO**  
Engenheiro Agrônomo, Msc.

Orientador: Prof. Dr. ANTONIO ROQUE DECHEN

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Doutor em Agronomia, Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas

**PIRACICABA**  
São Paulo - Brasil  
Junho - 1991

**RESPOSTAS DA LARANJEIRA VALÊNCIA (*Citrus sinnensis*  
L. Osbeck) SOBRE LIMOEIRO CRAVO (*Citrus limonia* L. Osbeck)  
À CALAGEM E AO EQUILÍBRIO DE BASES NUM LATOSSOLO  
VERMELHO ESCURO DE TEXTURA ARGILOSA.**

**JOSÉ ANTONIO QUAGGIO**

Aprovada em: 26/06/91

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Antonio Roque Dechen

ESALQ/USP

Prof. Dr. Antonio Eneidi Boaretto

CENA/USP

Dr. Joaquim Teófilo Sobrinho

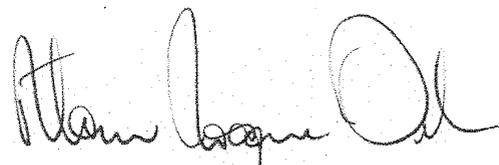
IAC

Dr. Ody Rodriguez

IAC

Dr. Pedro Roberto Furlani

IAC



**Prof. Dr. Antonio Roque Dechen**  
Orientador

Aos meus pais, Durval e Thereza  
pelos esforços e paciência na  
minha educação

ofereço

À minha esposa Mônica  
e aos filhos Frederico  
e Estela

dedico

**AGRADECIMENTOS**

Ao Instituto Agronômico pelas condições de trabalho e oportunidade de realizar esse treinamento.

Ao Prof.Dr Antônio Roque Dechen, pelo incentivo, orientação e amizade à mim dedicada.

Ao Pesquisador Científico Dr Joaquim Teófilo Sobrinho por ter-me incentivado a trabalhar com citros e pela colaboração na condução do experimento.

Aos Pesquisadores Científicos Dr Heitor Cantarella e Dr Pedro Roberto Furlani pelo incentivo, amizade e sugestões apresentadas.

Ao colega Wagner Rodrigues dos Santos pelo apoio no processamento do texto.

À Empresa Cambuhy Empreendimentos Agropecuários Ltda pelo apoio financeiro que vem dando ao Programa de Citros da Seção de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas do IAC.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro, através da concessão da Bolsa de Pesquisa.

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS .....	vi
LISTA DE TABELAS .....	xi
RESUMO .....	xiii
SUMMARY .....	xvi
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1. Tolerância à acidez e resposta dos citros à calagem .....	3
2.2. Condições de solo que induzem a deficiên- cia de Mg em citros e alternativas de correção .....	11
2.3. Equilíbrio entre as bases no solo e seus reflexos no crescimento e composição mine- ral das folhas .....	16
3. MATERIAL & MÉTODOS .....	20
3.1. Clima e Solo da região .....	20
3.2. Detalhes do experimento .....	21
3.3. Análise de solo e folhas .....	25
3.4. Métodos estatísticos empregados .....	28

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	29
4.1. Resposta à calagem e doses mais econômicas de calcário .....	29
4.2. Influência da calagem na qualidade dos frutos .....	42
4.3. Critérios para a avaliação da disponibilidade de Mg no solo e sua importância para a produtividade .....	47
4.4. Equilíbrio entre as bases no solo e a produção de laranja .....	57
4.5. Composição mineral das folhas .....	70
4.6. Alterações químicas no perfil do solo .....	86
5. CONCLUSÕES .....	95
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	97

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Detalhes de quatro parcelas experimentais mostrando as linhas de bordaduras e a área de aplicação do calcário .....	24
Figura 2. Detalhes dos locais de coleta de amostras de solo na projeção da copa e na rua, apenas nas plantas úteis .....	26
Figura 3. Influência de doses de calcário no crescimento da laranjeira Valência .....	30
Figura 4. Influência da calagem no número de frutos por planta na primeira safra de laranja .....	33
Figura 5. Relação entre produção média de quatro safras de laranja com os valores médios de saturação por bases no solo, em dois locais de amostragem .....	36

Figura 6. Curva de resposta à calagem da laranjeira considerando-se conjuntamente as amostras de solo coletadas na projeção da copa e na rua .....	40
Figura 7. Retornos econômicos acumulados no período de formação da laranjeira, devidos à calagem .....	41
Figura 8. Ajuste por regressão polinomial para os efeitos de doses de calcário dolomítico sobre os teores de magnésio nas folhas e sólidos solúveis no suco, na safra de 1989 .....	45
Figura 9. Ajustes por regressão polinomial para os efeitos de doses de calcário dolomítico sobre características do suco, para a média de quatro safras .....	46
Figura 10. Relações entre teores de Mg nas folhas e no solo em dois locais de amostragem ....	48
Figura 11. Influência de doses e tipos de calcário sobre o grau de sintomas de deficiência de Mg em citros, no ano de 1988 .....	50

	Página
Figura 12. Relação entre os teores de Mg nas folhas com o grau de deficiência visual do nutriente, no ano de 1988 .....	52
Figura 13. Relações entre notas de deficiências de Mg com os teores desse nutriente no solo, em dois locais de amostragem, em 1988 .....	53
Figura 14. Curva de resposta da laranja Valência aos teores de Mg no solo, para a média de quatro safras .....	54
Figura 15. Curva de resposta ao Mg no solo, expresso em termos de porcentagem da CTC a pH 7,0, nas médias de quatro anos ...	56
Figura 16. Relação Ca/K no solo e nas folhas calculadas sempre a partir do número de equivalentes químicos desses nutrientes .....	61
Figura 17. Relação Ca/Mg no solo e nas folhas calculadas sempre a partir do número de equivalentes químicos desses nutrientes .....	62

Figura 18. Relação Mg/K no solo e nas folhas calculadas com base no número de equivalentes químicos desses nutrientes ...	63
Figura 19. Resposta da laranjeira a diferentes relações Ca/Mg no solo, em dois locais de amostragem para a média de quatro safras .....	67
Figura 20. Resposta da laranjeira a diferentes relações Ca/K no solo, em dois locais de amostragem para a média de quatro safras .....	68
Figura 21. Teores foliares de Ca em função da relação Ca/K no solo, em dois locais de amostragem .....	69
Figura 22. Curva de calibração para teores foliares de cálcio, traçada com valores médios de quatro safras .....	76
Figura 23. Interações entre Ca e K vistas através das concentrações foliares desses nutrientes .....	77

	Página
Figura 24. Relação entre teores de K nas folhas e produção de laranja, no período de formação das plantas .....	78
Figura 25. Curva de calibração para teores de Mg nas folhas traçadas com valores médios de quatro safras .....	79
Figura 26. Influência do pH do solo nas concentrações foliares de cobre .....	85
Figura 27. Ajustes por regressão polinomial para teores de Ca + Mg médios de todos tratamentos no período de 1983 a 1989 .....	88
Figura 28. Teores de Ca + Mg no perfil do solo em alguns tratamentos selecionados, 77 meses após a calagem .....	90
Figura 29. Valores de saturação por bases no perfil do solo, em alguns tratamentos selecionados 77 meses após a calagem .....	92
Figura 30. Teores de K trocável no perfil do solo em alguns tratamentos selecionados 77 meses após a calagem .....	93

## LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Características químicas e granulométricas dos calcários empregados .....	22
Tabela 2. Resposta em produção da laranjeira Valência sobre limoeiro-Cravo a doses de calcários calcítico e dolomítico, aos três e quatro anos de idade .....	32
Tabela 3. Resposta em produção da laranjeira Valência sobre limoeiro-Cravo a doses de calcários calcítico e dolomítico, aos cinco e seis anos de idade .....	35
Tabela 4. Retornos econômicos acumulados nas quatro primeiras safras de laranja em função da calagem .....	39
Tabela 5. Análise conjunta do efeito de doses de calcários calcítico e dolomítico sobre as dimensões dos frutos e qualidade do suco nas quatro primeiras safras de laranja .....	44
Tabela 6. Influência de doses de calcários calcítico e dolomítico sobre as relações entre as bases no solo (Médias de quatro safras) .....	58

	Página
Tabela 7. Relações entre as bases nas folhas, calculadas a partir do número de equivalentes químicos e somatório de cátions e ânions nas folhas .....	60
Tabela 8. Efeitos de doses de calcários calcítico e dolomítico sobre a concentração de macronutrientes em folhas de laranja ....	71
Tabela 9. Modelos de regressões múltiplas para os teores de Ca, estabelecidos com atributos do solo, em dois locais de amostragem, para a média de 4 anos de observações .....	72
Tabela 10. Modelos de regressões múltiplas para os teores de Mg, estabelecidos com atributos do solo, em dois locais de amostragem, para a média de 4 anos de observações .....	75
Tabela 11. Modelos de regressões múltiplas para os teores foliares de K, estabelecidos com atributos do solo, em dois locais de amostragem, para a média de 4 anos de observações .....	81
Tabela 12. Efeitos de doses de calcários calcítico e dolomítico sobre a concentração de micronutrientes nas folhas de laranja (médias de 4 anos) .....	83
Tabela 13. Concentrações de micronutrientes nas folhas de laranjeira em vários anos de observação (Médias de 16 tratamentos) ..	84

**RESPOSTAS DA LARANJEIRA VALÊNCIA (*Citrus sinnensis*  
L. Osbeck) SOBRE LIMOEIRO CRAVO (*Citrus limonia* L. Osbeck)  
À CALAGEM E AO EQUILÍBRIO DE BASES NUM LATOSSOLO  
VERMELHO ESCURO DE TEXTURA ARGILOSA.**

Autor: José A. Quaggio

Orientador: Prof. Dr. Antonio R. Dechen

**RESUMO**

A acidez do solo é um problema sério nos pomares com citros no Estado de São Paulo. Isto talvez, seja decorrente do volume incipiente de trabalhos de pesquisa sobre esse assunto no País. Neste contexto o presente trabalho foi planejado e conduzido com os objetivos de estudar-se as respostas da laranjeira-Valência enxertada sobre limoeiro-Cravo à calagem e ao equilíbrio de bases, num solo latossolo vermelho escuro, unidade Limeira, da Estação Experimental "Sylvio Moreira" do Instituto Agrônomo. Procurou-se também estabelecer critérios baseados em análise de solo, para a recomendação adequada de calagem para os citros.

O delineamento experimental empregado foi em blocos ao acaso, com duas repetições, utilizando-se o esquema fatorial 4x4, com quatro doses (0, 3, 6 e 9 t/ha) de calcário calcítico e essas mesmas doses de calcário dolomítico, num total de 16 tratamentos, aplicados em parcelas com quatro plantas úteis e com linhas comuns de bordaduras. Mudanças previamente selecionadas foram transplantadas ao campo, em Janeiro de 1983, cerca de três meses após a aplicação do calcário. Foram utilizados os resultados de análise de solo e folhas e aqueles referentes ao crescimento da planta, produção e qualidade de suco, até o ano de 1989, durante quatro safras.

A resposta da laranjeira-Valência à calagem foi muito acentuada. Na análise conjunta de quatro safras, obteve-se máxima produtividade e lucratividade quando a acidez do solo foi corrigida para valores de saturação por bases próximos a 60%. Os ganhos de produtividade foram devidos principalmente ao maior número de frutos por planta, independente do crescimento das plantas. A calagem proporcionou também aumentos nos teores de sólidos solúveis e acidez no suco através do maior suprimento de Mg às plantas. Tanto a análise de solo como de folhas foram úteis para avaliar a disponibilidade de Mg; os sintomas de deficiência desse nutriente foram visíveis quando o solo possuía menos de 0,8 meq/100 cm<sup>3</sup> de Mg ou quando os teores

foliares eram inferiores a 0,3%. O calcário dolomítico demonstrou ser fonte eficiente de Mg para a laranjeira. Observou-se a existência de forte antagonismo entre Ca e K na nutrição da laranjeira, de tal modo que a relação Ca/K no solo foi importante para assegurar-se bom suprimento de cálcio e alta produtividade. A calagem provocou redução na disponibilidade de alguns micronutrientes no solo. No caso do cobre isto parece ser vantajoso para se evitar a possível fitotoxicidade decorrente do acúmulo desse nutriente no solo. Verificou-se que a acidificação do solo foi muito intensa, notadamente na faixa adubada. A calagem mesmo sendo incorporada na camada arável, reduziu consideravelmente a acidez do subsolo. Verificou-se também, que a calagem aumentou a eficiência do fertilizante potássico, através da redução das perdas de K por lixiviação.

VALENCIA ORANGE TREE (*Citrus sinnensis* L. Osbeck) ON  
RANGPUR LIME (*Citrus limonia* L. Osbeck) RESPONSES TO LIMING  
AND SOIL BASE EQUILIBRIA IN A DARK RED LATOSSOL.

Author: JOSÉ A. QUAGGIO

Adviser: PROF. DR. ANTONIO R. DECHEN

**SUMMARY**

High acidity is an widespread soil constraint to yield and fruit quality on citrus orchards in the state of São Paulo, Brazil. In this context, the work was carried out in order to study the responses of sweet orange to both liming and soil bases equilibrium in a clay textured Dark Red Latosol at "Sylvio Moreira" - Experiment Station, in the State of São Paulo, Brazil.

A randomized complete block design was used, with two replications, in a 4x4 factorial experiment. The

treatments consisted of calcitic and dolomitic limestone broadcasted at the rates of 0, 3, 6 and 9 t/ha, to give 16 combinations of Ca, Mg and K in the soil. In January, 1983 four nursery trees of Valencia orange on Rangpur Lime rootstock were planted in each plot, spaced by 6x4m, using a common row of guard plants. Growth responses, were determined by taking plant heights annually; yield measurements begun three years after planting and were taken during four years thereafter. Soil and leaf analysis were carried out every year.

Yield response of Valencia orange to liming was very high in all years. Maximum yield and profitability were attained at the rate of 12 t/ha, which increased the soil base saturation to near 60% throughout the period of the experiment. Liming increased linearly the number of fruit per tree. On the other hand, plant height and canopy volume were slightly affected by liming. Increasing rates of dolomitic limestone increased linearly the contents of soluble solids and acids in fruits, in the same pattern of the leaf Mg contents.

Soil testing and leaf analysis were effective tools for predicting Mg availability in soil. Visual symptoms of Mg deficiency were observed only in plots in which exchangeable Mg in the soil and leaf Mg were respectively less than 0.8 meq/100 cm<sup>3</sup> and 0.3%. Dolomitic

limestone was a good source of Mg for orange trees. It was noted that the Ca/K ratio in the soil was important to increase leaf Ca and yield. It occurred probably due to the strong antagonism between these two cations on citrus nutrition. Liming decreased the micronutrient contents in the leaves, mainly B, Mn, Cu and Fe. This effect may be useful to prevent the development of Cu fitotoxicity due to the accumulation of this nutrient in the soil.

Lime incorporation to the surface soil was effective to alleviate the subsoil acidity, and to increase Ca and Mg contents down to 0.6m in the soil profile. These soil chemical characteristics alterations were directly related to the limestone rates applied. Liming presented a positive effect on reducing K losses by leaching. These results demonstrated that adequate liming might be a way to improve potassium fertilizer efficiency on citrus groves.

## 1. INTRODUÇÃO

A citricultura paulista, a maior do mundo na atualidade, está implantada na sua maior parte em solos com problemas de acidez. Isto vem ocorrendo há muito tempo, pois no início da década de sessenta, o Instituto Agrônomo - IAC realizou levantamentos em pomares de várias regiões citrícolas do estado que revelaram problemas sérios com acidez do solo. Desde aquela época, os sintomas de deficiência de magnésio já eram muito frequentes na nossa citricultura.

Esta situação talvez seja reflexo do volume incipiente de estudos no País sobre tolerância dos citros à acidez ou resposta à calagem. Não foi encontrado na revisão de literatura nenhum trabalho publicado sobre esse assunto no Brasil. Internacionalmente, o assunto também não foi bem explorado, talvez pelo fato de vários países cultivarem citros em solos originados de substratos calcários ou em solos salinos de algumas regiões semi-áridas, portanto sem problemas com acidez. Nos solos arenosos do Estado da Flórida - Estados Unidos da América do Norte, alguns trabalhos foram

conduzidos, os quais demonstraram a grande importância da calagem para a citricultura.

Além disso, a acidificação do solo em pomares com citros é intensa devido à doses elevadas de nitrogênio normalmente empregadas nas adubações e aplicadas localizadamente na projeção das copas das plantas e também pelo emprego de enxofre elementar para o controle de ácaros. Isto mostra que a calagem deve ser uma preocupação constante para os citricultores.

Mais recentemente tem-se verificado uma tendência de recomendar-se mais calcário para a citricultura brasileira, com base em observações de campo realizadas por técnicos que trabalham com citricultura, os quais verificaram também a importância da calagem para os citros nas condições do Estado de São Paulo (GRUPO PAULISTA DE ADUBAÇÃO E CALAGEM PARA CITROS, 1990).

O objetivo do presente trabalho foi de estabelecer níveis racionais de calagem para citros, através de experimento de campo de longa duração, com curvas de resposta à doses de calcário calcítico e dolomítico e suas combinações. Procurou-se também estabelecer critérios para melhor avaliar a disponibilidade de Mg, através de análises de amostras de folhas e de solo coletado em diferentes posições. Finalmente, verificar a importância do equilíbrio entre as bases no solo para a formação e produtividade dos citros.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Tolerância à acidez e resposta dos citros à calagem

Os citros apresentam uma característica incomum em relação à maioria das plantas cultivadas, ou seja, a de possuírem mais cálcio em seus tecidos do que outros nutrientes minerais, inclusive o nitrogênio (CHAPMAN & KELLEY, 1943). Por esta simples constatação é de se esperar melhor desenvolvimento desta espécie em solos normais com pH elevado, pois nestas condições, a disponibilidade de cálcio é alta.

Na Flórida, este fato já foi reconhecido há muito tempo por LORD (1930) que observou melhor desenvolvimento dos citros em pomares plantados em solos derivados de substrato calcário, apesar de ser conhecido também na época o trabalho de FLOYD <sup>(1)</sup> citado por SPENCER (1960), que demonstrava o efeito prejudicial da aplicação de doses elevadas de calcário calcítico. Convém salientar que nesta época a essencialidade dos micronutrientes não havia sido ainda demonstrada.

---

(1) FLOYD, B.P. Some cases of injury to citrus trees apparently induced by ground limestone. Flórida Agr. Expt. Sta. Bull. 137, p.163-170, 1917.

Na década de 50 vários estudos foram feitos em solução nutritiva ou com solos ácidos para estudar os efeitos diretos do pH no desenvolvimento dos citros, os quais foram reunidos e discutidos na revisão feita por SMITH (1966a). As principais conclusões tiradas desta revisão foram:

a) existe efeito direto do excesso de íons-H sobre o crescimento de plantas jovens de citros, notadamente nas raízes;

b) abaixo de pH 5,0 há redução no crescimento de raízes com crescimento normal da parte aérea; pH < 4,0 provoca redução acentuada em todas as partes da planta quando comparado com plantas crescidas em soluções com pH 6,0;

c) as raízes de plantas crescidas em pH 4,0 caracterizam-se por serem curtas, grossas, descoloridas e excessivamente ramificadas, lembrando aquelas afetadas por excesso de metais como íons-Al, íons-Fe e íons-Mn.

CHAPMAN (1968) também numa revisão sobre os efeitos do pH sobre o crescimento dos citros, apresentou informações contrárias as de SMITH (1966a) informando que as plantas cítricas cresciam "sadias" na faixa de pH entre 3,8 até 9,7, não existindo, portanto, nenhum efeito direto do excesso de íons-H. As opiniões contrárias entre esses autores parecem estar relacionadas principalmente com as composições das soluções nutritivas, espécie testada e principalmente com o tempo de duração dos experimentos.

Posteriormente SMITH (1971) realizou outro estudo para verificar os efeitos do excesso de íons-H sobre o crescimento de plântulas de limoeiro-rugoso. Para tanto, soluções nutritivas foram preparadas para obter-se valores de pH 4,0, 5,0 e 6,0, utilizando-se três diferentes ácidos:  $H_2SO_4$ ,  $HNO_3$  e  $H_3PO_4$ . Nos três valores de pH, as plantas apresentaram aspecto "sadio" porém, houve redução de crescimento de raízes abaixo de pH 5,0, as quais tornaram-se curtas e mais grossas. Não houve diferença entre os ácidos testados, o que o autor interpretou como pouco importante o efeito dos ânions que acompanham os íons-H, no caso:  $SO_4^{=}$ ,  $H_2PO_4^-$  e  $NO_3^-$ .

As respostas de grapefruit sobre limoeiro-rugoso da Flórida à doses elevadas de calcário calcítico e fósforo foram estudadas por SPENCER (1960) num solo arenoso da Estação Experimental de Lake Alfred, Flórida - EUA, numa área não cultivada anteriormente com citros. As doses de calcário elevaram o pH do solo até 100 cm de profundidade, contudo, não proporcionaram aumento no crescimento das plantas e produção. Entretanto, o autor ressaltou que os tratamentos com calcário e P foram em todos os anos, os mais prejudicados por geadas porque apresentavam maior número de brotações durante a estação fria. Os teores foliares de Ca e P foram aumentados pela calagem enquanto os N, K, Mg, Mn, Cu e Zn foram reduzidos. Aos 5 anos de idade, as plantas que nunca receberam Ca, quer através do calcário ou do superfosfato

triplo, apresentaram sintomas típicos de deficiência de cálcio em citros, que foram, pela primeira vez, descritos em condições de campo. Posteriormente, aproveitando a mesma área deste ensaio, SPENCER & KOO (1962) interplantaram mudas de laranjeira, da variedade "Pineapple", e observaram grande resposta à calagem e descreveram melhor os sintomas de deficiência de cálcio no campo, como sêgue: plantas pequenas, com poucas folhas e miúdas, as quais apresentavam clorose nas margens e entre as nervuras; a nervura principal é mais curta alterando o formato da folha; plantas com "die-back" e excessiva brotação de gemas laterais. As folhas cloróticas possuíam ao redor de 0,2% de Ca enquanto que folhas verdes, porém pequenas, de plantas afetadas, possuíam 0,9% de Ca, e folhas de plantas normais, de tratamentos com calcário, possuíam mais de 2,5% de Ca. Os sintomas eram sempre mais intensos na laranjeira do que no grapefruit demonstrando a menor exigência do último em cálcio.

No Estado de São Paulo, no final da década de 60, sintomas semelhantes foram observados em pomares plantados em solos arenosos de baixa fertilidade na região de Araraquara. Suspeitava-se que fosse uma nova doença que ficou conhecida como "Definhamento dos Citros". Porém posteriormente concluiu-se que tratava-se da deficiência de cálcio, a qual era corrigida pela calagem (1).

---

(1) Comunicação pessoal do Dr Ody Rodriguez, ex chefe da Seção de Citricultura do IAC.

MARTIN & PAGE (1969) observaram num ensaio em vasos com quatro solos do Estado da Califórnia - EUA que plantas jovens de laranja cultivadas durante 14 meses, apresentaram redução no crescimento quando os solos possuíam baixo conteúdo de bases (Ca + Mg + K) e o pH era inferior a 5,0. Os autores interpretaram a redução no crescimento devido a toxicidade provocada por excesso de íons-Al e pequeno fornecimento de cálcio, conforme observado pela análise foliar.

A resposta da laranjeira-Valência sobre limoeiro-rugoso da Flórida à calagem foi estudada por ANDERSON & MARTIN (1969), num ensaio fatorial 4 x 4, com quatro valores de pH em H<sub>2</sub>O (4,0, 5,0, 6,0 e 7,0) e quatro níveis de cálcio (0, 100, 200 e 600 kg/ha/ano) obtidos mediante aplicações anuais de enxofre elementar, calcário calcítico e gesso, em plantas a partir de 2 anos de idade. Após 5 anos de aplicação dos tratamentos, os autores verificaram que o maior crescimento das plantas, avaliado através de medidas da circunferência do tronco, ocorreu em pH 7,0 e com as maiores doses de cálcio. Não houve diferença significativa entre os tratamentos a pH 7,0 obtidos apenas com calcário ou calcário mais gesso.

Este estudo foi posteriormente completado pelo trabalho de ANDERSON (1971), no qual foram feitas as avaliações de produção, qualidade de frutos e composição química das folhas. Na terceira colheita, a partir do início

da produção, foi verificado que, em parcelas com pH 4,0 e Ca 0,2 meq/100 cm<sup>3</sup>, a produção de frutos foi 4,0 kg por planta, enquanto em parcelas do melhor tratamento, pH 7,0 e Ca 2,7 meq/100 cm<sup>3</sup> a produção de frutos alcançou 104 kg por planta. Os ganhos de produtividade estiveram estreitamente relacionados com o crescimento das copas. Os efeitos do pH e do cálcio influenciaram ainda a qualidade dos frutos, com acréscimos na porcentagem de suco, sólidos solúveis e "ratio" (Brix/acidez) e decréscimos na acidez do suco.

Mais recentemente, ANDERSON (1987), publicou os resultados de outro experimento de longa duração, também conduzido num solo arenoso e ácido da região central da Flórida, no qual foi estudada a resposta à calagem da laranjeira-Valência sobre limoeiro-rugoso. Os tratamentos consistiram na elevação do pH do solo ao valor 7,0, mantido durante 15 anos, num tratamento com aplicações anuais de calcário dolomítico, e no outro, com calcário calcítico mais gesso, fornecendo-se, neste caso, o Mg com uma fonte solúvel. Esses dois tratamentos foram comparados com a testemunha, cujo valor inicial do pH do solo era 5,2. Esses tratamentos foram iniciados no talhão quando as plantas possuíam 2 anos de idade, e mantidos até a idade de 17 anos. Aos 7 anos de idade a calagem proporcionou aumentos de 50% na produtividade, os quais foram aumentando com o crescimento das plantas, de tal modo que, no último ano, o incremento devido à calagem atingiu 200% e a produtividade com a calagem

ao redor de 8,1 caixas por planta. Durante todo o período de observação não houve diferença entre os tratamentos com calcários calcítico e dolomítico, o que demonstra a eficiência do fornecimento do Mg por fontes solúveis. Do mesmo modo que no experimento anterior, (ANDERSON, 1971), a produtividade aumentou acompanhando o crescimento da planta, pois o autor encontrou correlações estreitas entre produtividade com altura e volume de copa.

Nos últimos anos percebe-se que tem surgido polêmica com as recomendações de calagem na Flórida, iniciada com o trabalho de ILEY & GUILFORD (1978) que observaram sintomas semelhantes a anomalia conhecida como "Young Tree decline - YTD" em pomar de laranjeira-"Pineapple" sobre limoeiro-rugoso tratado com dose excessiva de calcário dolomítico. Os resultados desse trabalho mostraram que plantas com sintomas de YTD estavam em parcelas com pH do solo maior que 7,0, e apresentavam sintomas típicos de deficiência de Zn e Mn, os quais puderam ser confirmados pela análise foliar.

Mais recentemente WUTSCHER (1986); WUTSCHER & LEE (1988) e WUTSCHER (1989) têm procurado estabelecer relações entre condições de solo e a incidência de outra anomalia conhecida no Brasil como "Declínio dos Citros" e na Flórida como "Citrus Blight". Nestes estudos tem sido observado que o solo na projeção da copa de plantas afetadas apresentam

valores de pH e Ca trocável ligeiramente superiores em relação a plantas sadias do mesmo talhão.

Contudo, esta anomalia, apesar de ter sido transmitida através de enxertia de raízes, tanto na Flórida como em São Paulo, possui ainda etiologia desconhecida. Ela provoca distúrbios nutricionais intensos, quanto à absorção e redistribuição de nutrientes minerais, notadamente Ca, Zn e K. Portanto, fica difícil definir se o pH e teor de cálcio mais altos no solo de plantas afetadas são causas ou conseqüências do declínio. Isto porque a planta afetada perde a capacidade de absorver cálcio o que pode resultar no maior acúmulo dele no solo. Por outro lado, a absorção de nitrogênio continua normal, o que pode resultar em desequilíbrio na relação entre cátions e ânions absorvidos e, neste caso, pode ocorrer também elevação do pH do solo.

Apesar desta controvérsia, as recomendações oficiais de calagem para a Flórida (KOO et alii, 1984), atualmente são para pH entre 6,0 e 7,0, com o objetivo de garantir a correção de acidez, fornecimento de Ca e Mg e ainda evitar a possível toxicidade provocada pelo excesso de cobre, o qual se acumula no solo, devido ao uso continuado dele nos tratamentos fitossanitários. Esta preocupação com o excesso de cobre surgiu com os trabalhos de REUTHER & SMITH (1952, 1954) que identificaram os sintomas de toxicidade e verificaram ainda que eles podem ser evitados pela calagem, mantendo-se o pH do solo acima de 6,5. Esta provavelmente tem

sido uma das principais razões para a recomendação de níveis tão elevados de calagem para a citricultura da Flórida.

## **2.2. Condições de solo que induzem a deficiência de Mg em citros e alternativas de correção.**

A deficiência de Mg é freqüentemente observada na citricultura em decorrência de baixos teores do nutriente no solo e/ou pelo excesso de outros íons como Ca e K que competem com ele no processo de absorção.

O levantamento realizado em quarenta pomares de diferentes regiões citrícolas do Estado de São Paulo por RODRIGUEZ & GALLO (1960), revelou que cerca de 35% dos pomares estudados possuíam teores de Mg nas folhas, menores do que 0,35% e que cerca de 67% das amostras de solos destes pomares possuíam menos de 0,7 meq/100 cm<sup>3</sup> de Mg, o que demonstra grande potencialidade para a ocorrência de deficiência de Mg. Mais recentemente, CAETANO et alii (1984), observaram que 65% dos pomares da região de Bebedouro apresentavam-se deficientes em Mg. Nesses dois levantamentos ficou evidenciado pelos autores que não havia correlação entre resultados de análise de solo e folha para o Mg, sendo portanto, a análise de solo, pouco útil para se identificar a deficiência de Mg.

Essa deficiência foi caracterizada pela primeira vez na citricultura, no Estado de São Paulo por AVERNA-

SACCÁ (1912), em pomares de laranja e mexerica plantados em solos ácidos da região de Cubatão. Esse autor denominou essa deficiência como "Chlorose da laranjeira", apoiando-se em trabalhos recentes na época, que demonstraram a presença do Mg na molécula de clorofila. Ele descreveu os sintomas como sendo: a) clorose com início nas margens, que progredia para o amarelecimento de todo limbo foliar; b) queda das folhas com sintomas, provocando seca de ramos e c) frutos de tamanho reduzido e com pouco sabor.

A confirmação da deficiência de Mg foi feita através de poda e aplicação de 250 g/planta de carbonato de Mg na projeção da copa. O autor apresenta ainda no seu trabalho, fotografias de plantas com sintomas e que foram recuperadas após seis meses da aplicação dos tratamentos.

Posteriormente na Flórida, CAMP & FUDGE (1939)<sup>(2)</sup> citados por CAMP (1947) descreveram os sintomas típicos de deficiência de Mg, acrescentando que, além dos sintomas nas folhas, havia também uma redução no número de radículas e prejuízos à qualidade dos frutos. Além disso, eles mencionaram que a outra característica da falta de Mg é a alternância na produtividade da planta.

CAMP (1947), analisou os resultados da aplicação de sulfato de Mg no solo em experimento com grapefruit, mostrando que na média de 7 anos de aplicação de Mg, houve um aumento de 67% na produtividade das plantas. No mesmo

<sup>(2)</sup> CAMP, A.F. & FUDGE, B.R. Some Symptoms of citrus malnutrition in Flórida. Fla. Agr. Exp. Sta. Bul. 335, 1939.

trabalho ele observou que plantas bem nutridas com Mg apresentavam concentrações do nutriente nas folhas acima de 0,35%, enquanto que em plantas cloróticas os teores eram sempre inferiores a 0,2%.

Em plantas jovens de laranjeira-Valência e "Pineapple", enxertadas sobre limoeiro-rugoso, SPENCER & WANDER (1960) estudaram os efeitos da aplicação de quatro doses e quatro fontes de Mg. Seus resultados mostraram que apesar de terem sido observados sintomas de deficiência de Mg com intensidades variadas, não houve efeito dos tratamentos sobre o diâmetro do tronco das plantas. Contudo, correlações estreitas foram observadas entre notas do grau de deficiência de Mg com o teor do nutriente nas folhas ( $r = -0,80$ ) e entre Mg no solo com Mg nas folhas ( $r = 0,85$ ), demonstrando, deste modo que tanto a análise de solo como de folhas são bons indicativos da disponibilidade de Mg para os citros. Sintomas da falta de Mg surgiram em plantas com menos de 0,35% de Mg nas folhas, e em solos com menos de 0,6 meq/100 cm<sup>3</sup> de Mg.

KOO (1971) relatou os resultados de dois experimentos de campo de longa duração, nos quais foram estudados os efeitos das fontes MgSO<sub>4</sub>, MgO e MgCO<sub>3</sub> e das doses 60, 150 e 240 kg/ha de MgO, em grapefruit e laranjeira-Valência. Quanto a fontes, MgO foi sempre superior às demais, seguido pelo MgSO<sub>4</sub> e MgCO<sub>3</sub>, para manter níveis mais elevados de Mg nas folhas. Após 24 meses, as diferenças entre as fontes foram pequenas, não havendo diferença estatística para

o efeito de fontes na média de 5 anos de produção de laranja-Valência. Houve efeito significativo para dose, sendo que a de 150 kg/ha de MgO aumentou em 12,6% e 14,7% respectivamente a produção de frutos e o teor de sólidos solúveis em relação à outra de 60 kg/ha. A acidez no suco foi ligeiramente aumentada com a aplicação de Mg. Os melhores resultados de produção e qualidade de frutos, ocorreram quando os teores de Mg nas folhas estiveram na faixa de 0,3 a 0,4% e o teor no solo entre 0,4 a 0,6 meq/100 cm<sup>3</sup>, quando extraído com solução neutra de acetato de amônio, que corresponde ao teor trocável.

ANDERSON & ALBRIGO (1971) realizaram estudos de regressões simples e múltiplas em amostras de solo e folhas provenientes de dezenas de pomares que vinham recebendo calagem regularmente na região central da Flórida. O objetivo principal desse estudo era estabelecer características de solos que melhor explicassem os teores de Ca e Mg nas folhas de citros. Não foram observadas correlações diretas entre os teores de Ca e Mg no solo, extraídos com soluções de acetato de amônio, tanto com pH ajustado em 7,0 como em 4,8. O teor de Mg nas folhas foi melhor explicado através de regressão múltipla utilizando-se como variáveis independentes o pH, teor do nutriente e a relação Ca/Mg no solo. Os autores concluíram nesses estudos que avaliar a disponibilidade de Mg através de análise de solo é muito difícil, pela própria complexidade do sistema, que envolve interações, antagonismos

com outros nutrientes e diferenças entre porta-enxertos e variedades quanto a eficiência de absorção e de utilização do nutriente.

Um interferente forte na análise de solo para se avaliar a disponibilidade de Mg para citros foi, segundo SPENCER (1960), a solução de acetato de amônio a pH 4,8, que era muito utilizada na Flórida, e tem a característica de solubilizar partículas de calcário que ainda não reagiram, expressando assim, teores de Mg trocáveis que na verdade ainda não são disponíveis.

ASO & BUSTOS (1981), na Argentina, agruparam 21 talhões de limoeiros adultos em duas categorias: deficientes em Mg (apresentavam sintomas visuais) e sem deficiência. Neste estudo eles procuraram estabelecer critérios, através de análise de solo, que melhor explicassem a disponibilidade de Mg para as plantas. Eles concluíram que as plantas apresentavam sintomas da falta de Mg apenas quando os teores do nutriente do solo eram inferiores a 0,76 meq/100 g de solo, ou a saturação de Mg em relação a CTC era inferior a 5% e as relações  $K/Mg > 0,4$  e  $Ca/Mg > 7,0$ .

Em todos esses estudos encontrados na literatura pode-se notar que não houve em nenhum deles, preocupação quanto ao local da coleta das amostras, o que pode modificar muito os resultados de análise de solo e as conclusões.

### 2.3. Equilíbrio entre as bases no solo e seus reflexos no crescimento e composição mineral das folhas

As plantas cítricas são exigentes entre outros nutrientes em cálcio, magnésio e potássio. Eles competem entre si durante o processo de absorção, afetando assim, a composição mineral e o desenvolvimento destas plantas. Em pomares cultivados em solos originados de substratos calcários, ricos em cálcio, freqüentemente apresentam problemas com Mg, e principalmente potássio, o que resulta em menor produtividade e qualidade dos frutos. Em solos ácidos, os problemas parecem ser inversos, decorrentes do desequilíbrio provocado pelo excesso de potássio nas adubações, ou falta de calagem, que prejudicam a disponibilidade do cálcio (SPENCER & KOO, 1962).

MARTIN et alii (1953) prepararam solos com diferentes relações entre Ca, Mg e K e conduziram dois ensaios em vasos: um com plantinhas de citros e o outro com tomateiros. Eles observaram forte antagonismo entre K e Ca, no caso dos citros, e que havia redução no crescimento das plantas quando o teor de potássio no solo era maior que 8,0% do CTC. Quando esse teor era superior a 15%, ocorria redução drástica no crescimento da planta e queda de folhas, o que foi atribuído a menor absorção de cálcio. No caso do tomateiro, a redução na absorção do cálcio ocorreu apenas quando o teor de potássio era superior a 28% da CTC. Isto

mostra que os citros são mais exigentes em Ca do que os tomateiros. Para os citros a relação Ca/Mg foi pouco importante neste estudo.

HARDING (1954) realizou estudos em amostras de solo e folhas coletadas em 42 pomares da Califórnia, agrupados em dois grupos: produtivos e com frutos de tamanho normal e pouco produtivos com frutos pequenos. Com as análises realizadas não conseguiu explicar as diferenças em produção e qualidade dos frutos. Contudo, resultados interessantes foram observados em relação aos teores de Ca, Mg e K nas folhas, os quais não apresentaram correlações com os valores absolutos desses nutrientes no solo. Porém, correlações estreitas foram encontradas entre os teores foliares desses nutrientes com a porcentagem deles no solo, em relação à CTC a pH 7,0.

McCOLLOCH et alii (1957) demonstraram que em pomares plantados em solos com CTC elevada, como freqüentemente ocorre na Califórnia, a concentração de Mg e K nas folhas de citros é melhor explicada pelo equilíbrio entre esses nutrientes no solo do que pelas concentrações. Assim, os teores de Mg na camada de 0-75 cm de profundidade explicaram apenas 23% da concentração dele nas folhas de citros, enquanto que a relação K/Mg explicou 56% para a mesma camada e 83% para a amostragem a profundidade de 40 a 75 cm. Resultados idênticos foram obtidos também por PRATT et alii (1957) em pomares da Califórnia. Ficou bem claro nestes

trabalhos que o antagonismo entre K e Mg em citros é bastante pronunciado, e que a relação K/Mg para garantir-se níveis adequados de magnésio na planta deve ser ao redor de 0,2:1 ou relação Mg/K de 5:1.

Utilizando solução nutritiva em vasos com areia lavada RASMUSSEN & SMITH (1960) testaram 32 combinações entre K, Ca e Mg em plantas jovens de citros, durante 18 meses. Essas combinações permitiam que cada um desses íons variassem de 2 a 96% do total de cátions de 12 meq/l na solução. Algumas conclusões interessantes puderam ser obtidas deste trabalho: a) a redução de crescimento das plantas ocorreu apenas em caso de desequilíbrio extremo na solução; b) o total de cátions absorvidos, expresso em termos de meq/100 g de folha, fica praticamente inalterado para as diferentes relações testadas; algumas exceções ocorreram quando a solução estava praticamente saturada com cálcio (96%); c) as plantas possuem capacidade seletiva para a absorção destes cátions, pois as proporções deles em todas as partes das plantas ficam bem mais estreitas do que na solução e d) o antagonismo mais pronunciado ocorre entre Ca e K.

JACOBY (1961), realizou um experimento em vasos para estudar a importância da relação Mg/Ca no solo na absorção de Mg por plantinhas de citros, durante 4 meses. Três relações Mg/Ca (0,33; 0,11 e 0,05) foram testadas mantendo-se a relação (Ca + Mg)/K constante. Os coeficientes de correlação entre os teores foliares de Ca, K e Mg e a

relação Mg/Ca foram respectivamente -0,64; -0,54 e 0,86, demonstrando que esta relação interfere diretamente na absorção desses nutrientes, notadamente no Mg. Outra observação interessante é que à medida em que a relação Mg/K diminuiu, houve aumento no total de cátions absorvidos, o que não está coerente com os resultados de RASMUSSEN & SMITH (1960).

### 3. MATERIAL & MÉTODOS

#### 3.1. Clima e solo da região

O experimento foi instalado na Estação Experimental "Sylvio Moreira", do Instituto Agronômico, em Cordeirópolis, SP. O clima da região é classificado, segundo o sistema internacional de Koppen, como CWA ou seja, mesotérmico de inverno seco em que a temperatura média do mês mais frio do ano é inferior a 18°C e a do mês mais quente ultrapassa os 22°C. A precipitação média anual é de aproximadamente 1400 mm, sendo que o total de chuvas no mês mais seco não ultrapassa 30 mm. O balanço hídrico, segundo THORNTWAIT apresenta um excedente hídrico de 425 mm entre os meses de dezembro a março e deficiência hídrica de 30 mm entre os meses de maio a setembro (OLIVEIRA & ROTTA, 1973).

O solo do local do experimento é tipo latossolo vermelho escuro, textura argilosa, pertencente a unidade Limeira, fase muito ácida, segundo o levantamento pedológico detalhado realizado por OLIVEIRA & ROTTA (1973). Trata-se de um solo bastante profundo com horizonte óxido bastante

espesso (>1,50 m) e uniforme, com um teor médio de argila no horizonte A de 53% e, na camada de 50-60 cm, de 65%.

A amostra inicial do solo coletada na camada de 0-20 cm em 1982 para a escolha da área do experimento apresentou os seguintes resultados: M.O. = 3,1%; pH em  $\text{CaCl}_2$  = 4,0; cátions trocáveis, em meq/100  $\text{cm}^3$ : Al = 1,5; Ca = 0,4; Mg = 0,1 e K = 0,10. A CTC a pH 7,0 de 10,1 meq/100  $\text{cm}^3$  e saturação por bases igual a 6,0%. Trata-se, portanto, de um solo bastante ácido e com grande capacidade tampão.

### 3.2. Detalhes do experimento

Os tratamentos foram distribuídos segundo um delineamento experimental em blocos casualizados, com duas repetições, num esquema fatorial 4 x 4, com quatro doses de calcário calcítico (0, 3, 6 e 9 t/ha) e quatro doses de calcário dolomítico (0, 3, 6 e 9 t/ha), num total de 16 tratamentos e 32 parcelas. Estas doses foram previamente estabelecidas através de ensaio de incubação de amostras de solo com doses de carbonato de cálcio puro, a qual demonstrou a necessidade 14 t/ha de equivalente a  $\text{CaCO}_3$  para se elevar o pH do solo a 6,5. Esta dose corrigida para o PRNT do calcário dolomítico (70,3%) resultou na dose máxima de 18 t/ha, a qual foi aplicada no tratamento 4-4 do esquema fatorial.

As características químicas e granulométricas dos calcários utilizados podem ser vistas na Tabela 1. Esses

Tabela 1. Características químicas e granulométricas dos calcários empregados.

Determinações	Calcários	
	Calcítico	Dolomítico
<b>Pureza química<sup>(1)</sup></b>	%	
CaO	46,9	26,9
MgO	5,6	19,8
E.CaCO <sub>3</sub>	97,8	97,2
<b>Análise granulométrica</b>		
+ 10 mesh	0	0,9
- 10 +50 mesh	29,2	43,9
- 50 mesh	70,8	55,1
Reatividade	82,5	72,3
PRNT	80,7	70,3

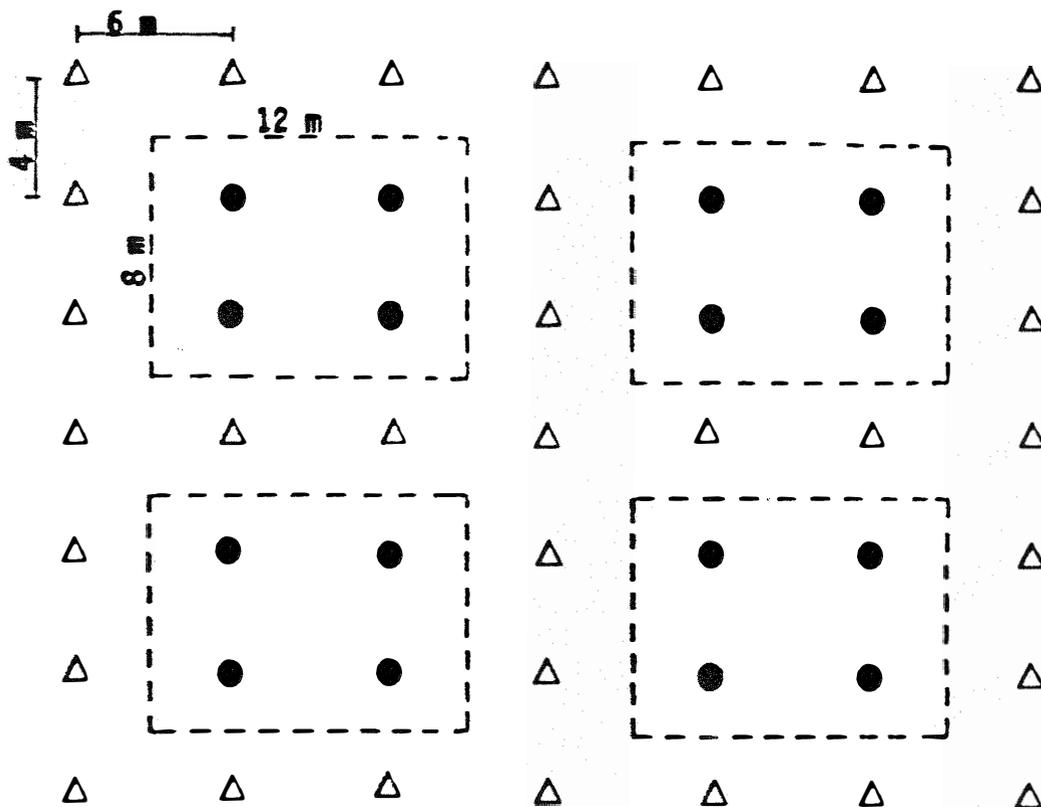
(1) Digestão com HCl concentrado

calcários foram escolhidos de tal modo que houvesse grandes variações entre os teores de magnésio, a fim de proporcionar ampla variação nos teores de Ca e Mg trocáveis no solo.

Anteriormente à instalação do experimento, a área era ocupada com pastagem, e recebeu um preparo convencional através de aração e gradagem. Todas as doses de calcário foram aplicadas manualmente em novembro de 1982 e incorporadas ao solo com enxadão.

As parcelas experimentais eram constituídas por quatro plantas úteis, com espaçamento 4x6 m (416 plantas/ha), com linhas de plantas bordadura para a separação entre elas, conforme o esquema representado na Figura 1. O calcário foi aplicado numa área de 96 m<sup>2</sup> (12 x 8 m). As plantas da bordadura receberam apenas 1 kg/cova de calcário, bem misturados na cova de plantio para se evitar contaminações entre parcelas. Evidentemente estas plantas também exploraram solo que receberam calagem através dos tratamentos.

As borbulhas de laranjeira-Valência utilizadas para a formação das mudas, foram coletadas de uma única planta de clone nucelar da variedade, pertencente ao Banco de Matrizes da Estação Experimental Sylvio Moreira. O limoeiro-cravo empregado como porta-enxerto é originário do Banco de Germoplasma de Citros do Instituto Agrônomo localizado também na referida Estação. As mudas utilizadas no plantio foram uniformes e formadas na própria Unidade Experimental.



Legenda =  $\triangle$  plantas bordadura  
 $\bullet$  plantas úteis  
 ---- área de aplicação do calcário

Figura 1 - Detalhes de quatro parcelas experimentais mostrando as linhas de bordadura e a área de aplicação do calcário.

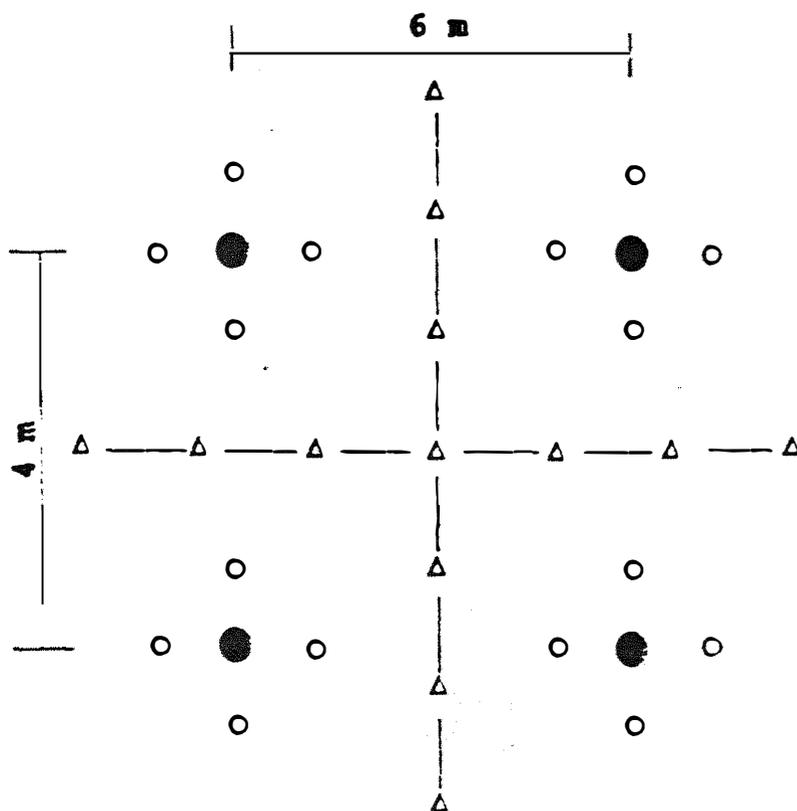
Elas sofreram uma rigorosa seleção antes do seu plantio no local definitivo do experimento.

O plantio foi feito em janeiro de 1983, em covas de 40 x 40 x 40 cm que receberam uma adubação básica de 500 g de superfosfato simples. Após o plantio foi feito o coroamento convencional para a irrigação e adubação em cobertura. Até 1987, todas as adubações foram realizadas seguindo-se as recomendações feitas pela Seção de Citricultura do IAC (RAIJ et alii, 1985). A partir de 1988, as adubações basearam-se nas recomendações do GRUPO PAULISTA DE CALAGEM E ADUBAÇÃO PARA CITROS (1990). É importante salientar que o experimento foi conduzido sem irrigação.

Para evitar problemas com contaminações entre parcelas, o manejo do solo no local do experimento foi feito sempre com herbicidas nas linhas de plantio e roçadeira nas entre-linhas.

### 3.3. Análise de solo, folhas e frutos

Amostras de solo foram coletadas anualmente. Nos dois primeiros anos elas foram retiradas nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, apenas na projeção da copa das plantas. A partir de 1986, elas passaram a ser retiradas a 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm de profundidade, na projeção da copa e na rua, conforme esquematizado na Figura 2. Amostras da profundidade de 0-20 cm eram compostas de 16 subamostras para



**Legenda:** ● Plantas úteis  
 ○ Amostras na P. copa  
 Δ Amostras na rua

**Figura 2 - Detalhes dos locais de coleta de amostras de solo na Projeção da copa (P. copa) e na rua, apenas nas plantas úteis.**

a amostragem sob a copa e 13 subamostras quando na rua. Todas as demais profundidades foram compostas de 6 subamostras. Após o preparo convencional essas amostras foram analisadas segundo os métodos descritos por RAIJ & QUAGGIO (1983).

Amostras de folhas foram coletas anualmente a partir dos três anos de idade das plantas. As folhas foram colhidas em ramos frutíferos, com 6 a 8 meses de idade, normalmente nos meses de fevereiro a março, colhendo-se 10 folhas em cada planta útil, em todos os lados e na altura mediana da copa. Após o preparo convencional, as amostras foram analisadas pelos métodos descritos por BATAGLIA et alii (1983).

Em março de 1988, foi feita uma avaliação visual de deficiência de Mg em todas as parcelas, utilizando-se dois técnicos experientes, os quais separadamente atribuíram notas de 1 a 4 para cada planta útil, obtendo-se posteriormente a média das notas por parcela. A atribuição das notas seguiu os seguintes critérios:

- 1 - Plantas normais com ausência de deficiência de Mg;
- 2 - Plantas com deficiência moderada;
- 3 - Deficiência acentuada apenas na metade inferior da copa;
- 4 - Deficiência muito acentuada em toda copa.

A amostragem de frutos foi feita sempre na ocasião da colheita, colhendo-se 10 frutos por planta útil,

em todos os lados da planta, na altura mediana da copa, coletando-se também alguns frutos no interior da copa.

### 3.4. Métodos estatísticos empregados

A análise de variância dos tratamentos do esquema fatorial 4x4 foi feita a cada ano e também no conjunto dos anos. Para a análise conjunta, foi realizada sempre previamente a análise de homogeneidade de variância pelo método de Hartley ou do "F máximo".

A comparação múltipla entre as médias dos tratamentos foi feita através de regressão polinomial, considerando-se somente as tendências lineares e quadráticas.

Para a maior facilidade de interpretação dos resultados, foi dada preferência para análises de regressão simples e múltiplas em relação a análise de variância. Para maior facilidade de observação dos dados, evitando-se repetições entre os anos, e redução de erros experimentais, as análises de regressão foram feitas, sempre que possível, com as médias dos últimos quatro anos, obtidas através da análise de variância conjunta dos anos de 1986, 1987, 1988 e 1989.

Todas as análises estatísticas foram feitas utilizando-se o programa estatístico SANEST II.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Resposta à calagem e doses mais econômicas de calcário

Os efeitos da calagem sobre o crescimento das plantas foi avaliado anualmente até 1988, através de medidas na altura das plantas. Nota-se na Figura 3, que o crescimento das plantas foi pouco influenciado pela calagem, praticamente não existindo diferenças entre a testemunha e outras doses, com misturas iguais de calcários calcítico e dolomítico. Esses resultados não são concordantes com os obtidos por ANDERSON (1971) que observou correlação estreita entre doses de calcário com o crescimento da laranjeira-Valência enxertada sobre limoeiro-rugoso na Flórida. Essa discordância com os resultados da Flórida talvez seja devida a diferenças entre os porta-enxertos, sugerindo que o limoeiro-Cravo pode ser mais tolerante às condições de acidez do solo do que o limoeiro-rugoso da Flórida.

Entretanto, aos três anos de idade, quando as plantas apresentaram a primeira produção comercial, observou-

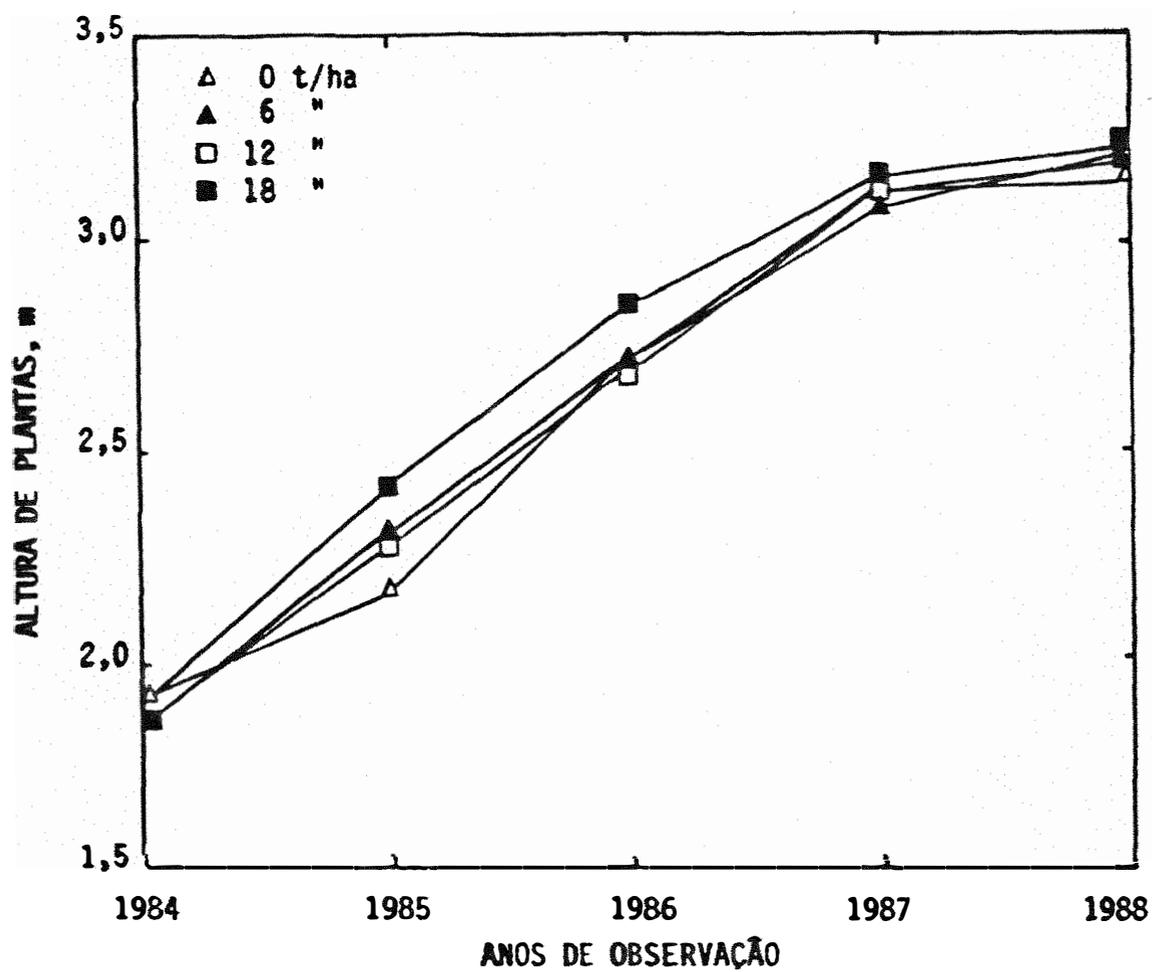


Figura 3 - Influência de doses de calcário na altura da laranjeira Valência,

se grande resposta à calagem na produção de frutos (Tabela 2). Essa safra foi gerada em 1985, ano em que ocorreu prolongamento da estação seca. Isto talvez explique a resposta tão acentuada à calagem, pois, nas doses mais elevadas de calcário, há correção de camadas mais profundas do perfil, o que facilita a penetração de raízes em profundidade e, conseqüentemente, a melhor absorção de água.

Na primeira safra, o número de frutos por planta ainda é pequeno e portanto, é fácil contá-los. Observa-se na Figura 4 que a calagem promoveu aumento linear no número de frutos por planta, o que mostra melhor vingamento de deles, já que o tamanho da planta praticamente não foi alterado com a calagem (Figura 3).

Em 1987, a safra foi normal, decorrente das condições climáticas favoráveis em 1986. A resposta à calagem permaneceu acentuada, porém para doses menores em relação a safra anterior (Tabela 2).

A seca prolongada ocorrida em 1987, prejudicou o florescimento das plantas com reflexos negativos na produtividade da safra de 1988. Nessa safra, verificou-se que não houve resposta significativa para as médias dos dois calcários (Tabela 3). Porém, nota-se que na diagonal da matriz do fatorial 4x4, há um efeito bem definido, com produções de alguns tratamentos chegando ao dobro da testemunha. Isto demonstra falha do delineamento para observar efeitos aditivos do calcário, uma vez que eles não

Tabela 2. Resposta em produção da laranjeira Valência sobre limoeiro-Cravo a doses de calcários calcítico e dolomítico, aos três e quatro anos de idade.

Calcítico	Dolomítico, t/ha				Média <sup>1/</sup>
	0	3	6	9	
t/ha	1986				Média <sup>1/</sup>
0	7,3	11,1	16,0	16,2	12,6
3	12,5	15,5	13,1	13,6	13,6
6	11,6	10,6	18,7	16,3	14,3
9	16,0	16,1	16,8	18,0	16,7
Média <sup>1/</sup>	11,9	13,2	16,2	16,0	14,3
CV = 18,5%					
t/ha	1987				Média <sup>2/</sup>
0	10,8	16,4	19,3	19,4	16,5
3	12,8	21,4	15,9	23,4	18,4
6	22,7	18,3	18,4	21,3	20,2
9	21,2	18,9	21,9	19,4	20,4
Média <sup>2/</sup>	16,9	18,8	18,9	20,9	18,9
CV = 17,0%					

<sup>1/</sup> Diferenças significativas por regressão polinomial (p<0,01);

<sup>2/</sup> Diferenças significativas por regressão polinomial (p<0,05);

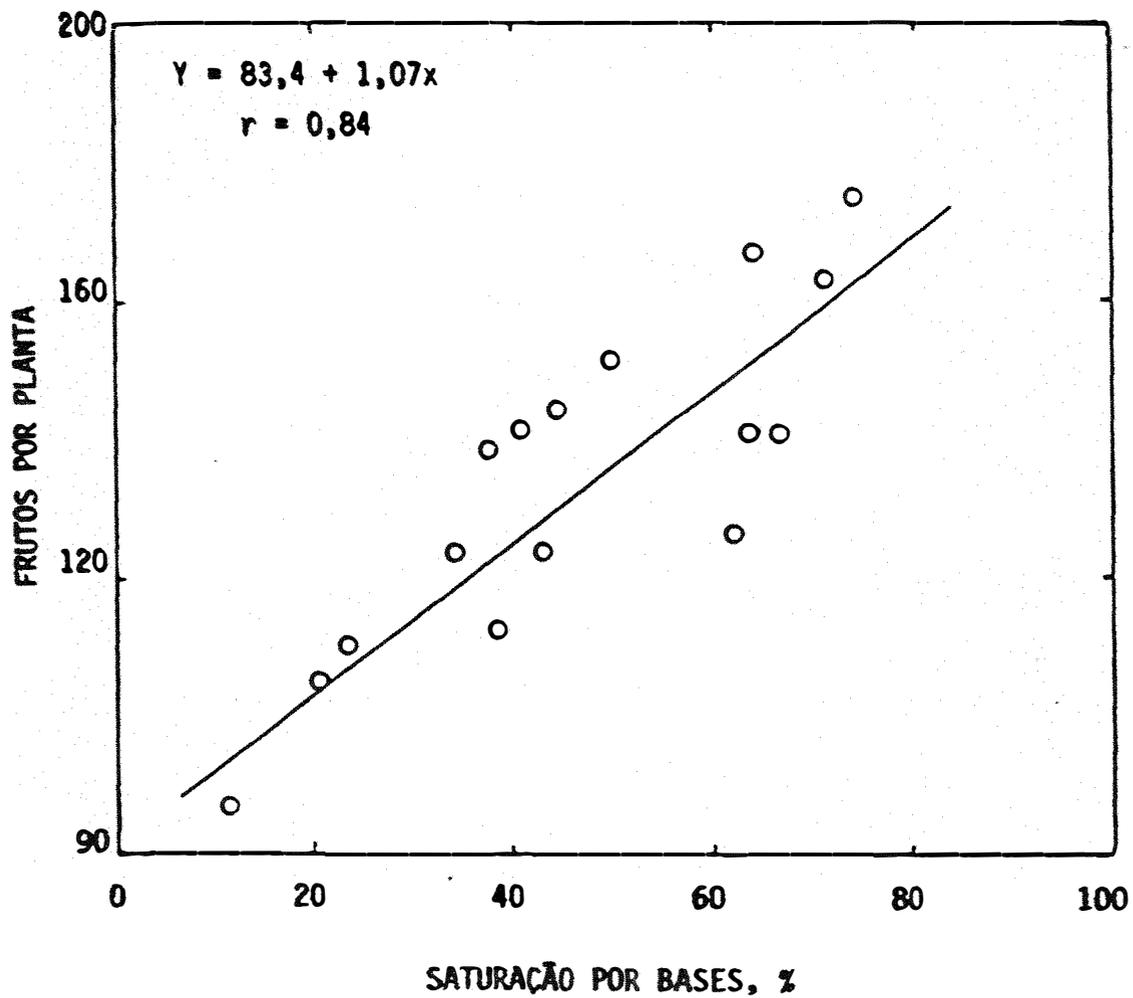


Figura 4 - Influência da calagem no número de frutos por planta, na primeira safra de laranja.

aparecem na análise de variância, a não ser em casos de interação entre fatores significativas.

Em 1989, a safra de citros foi excepcional em todo Estado de São Paulo. O mesmo ocorreu no experimento, no qual a produção máxima atingiu mais de 40 t/ha, aos seis anos de idade das plantas (Tabela 3). Entretanto, as respostas foram mais acentuadas para o calcário dolomítico, mostrando que o magnésio já começou a limitar a produtividade, no caso do calcário calcítico.

Com as médias de produtividade das quatro primeiras safras do período de formação da laranjeira, foi possível estabelecer curvas de resposta à calagem com os valores médios da saturação por bases correspondentes em cada tratamento, conforme está representado na Figura 5. Nota-se que nas amostras de solo coletadas na projeção da copa (região de adubação), os valores da saturação por bases são sempre bem menores do que naquelas coletadas na rua. Fica claro nesta figura, a acidificação do solo decorrente do emprego de fertilizantes, dando impressão, a primeira vista, de serem dois experimentos diferentes, quando compara-se as duas curvas de respostas. Porém, pode-se observar que a curva de resposta à calagem obtida com amostra da projeção da copa, representa apenas uma parte da curva obtida com a amostragem na rua. Assim, foi possível juntar as duas numa única curva de resposta da laranjeira à calagem, representada na Figura 6. Evidentemente, a dispersão dos pontos aumenta, devido a

Tabela 3. Resposta em produção da laranjeira Valência sobre limoeiro-Cravo a doses de calcários calcítico e dolomítico, aos cinco e seis anos de idade.

Calcítico	Dolomítico, t/ha				Média <sup>1/</sup>
	0	3	6	9	
	t/ha				
t/ha			1988		
0	14,9	20,1	18,7	14,9	17,1
3	21,6	18,8	18,7	16,6	18,9
6	17,2	21,4	21,4	19,5	19,3
9	20,2	25,3	26,3	17,7	20,6
Média <sup>1/</sup>	18,4	19,4	21,2	17,2	19,0
CV = 18,3%					
			1989		Média <sup>1/</sup>
t/ha					
0	23,8	38,9	39,5	38,1	35,7
3	30,2	33,6	37,4	38,5	34,9
6	37,0	34,3	44,5	36,9	38,2
9	36,1	36,9	35,9	40,2	37,2
Média <sup>2/</sup>	31,8	35,9	39,3	38,4	36,5
CV = 10,3%					
1/ Diferenças não significativas;					
2/ Diferenças significativas (p<0,01)					

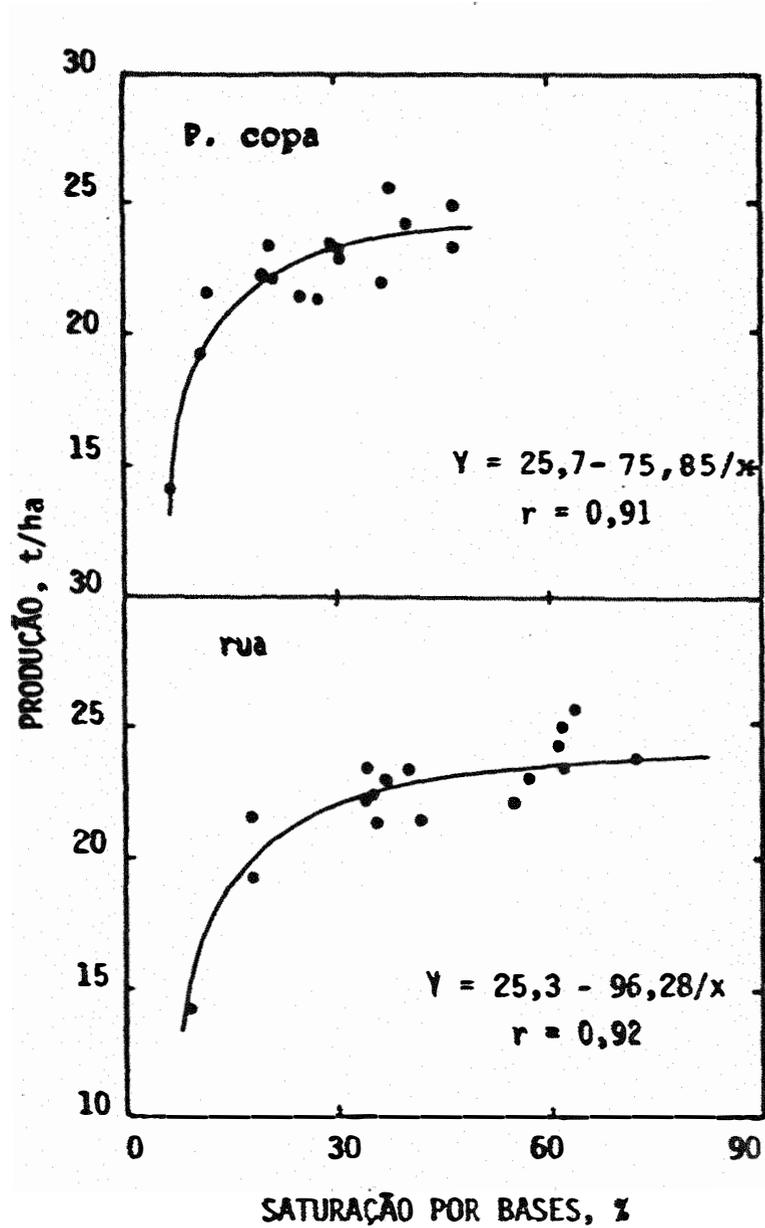


Figura 5 - Relação entre produção média das quatro safras de laranja com os valores médios da saturação por bases do solo, com dois locais de amostragem.

introdução de outras fontes de variação dentro da regressão. Contudo, a curva de resposta obtida na Figura 6 representa melhor as condições de solo em que as plantas estão vivendo, pois nesta idade, elas já possuem raízes capazes de explorar o meio da rua.

Derivando-se a equação de regressão da figura 6, e igualando-se a primeira derivada a zero, pode-se calcular o ponto de máximo da função de resposta. A produção máxima obtida ocorreu com 63% de saturação por bases, para uma amostragem meio a meio na projeção da copa e na rua. Esses resultados dão suporte as recomendações do GRUPO PAULISTA DE ADUBAÇÃO E CALAGEM PARA CITROS (1990), para elevar a saturação por bases da camada arável dos solos dos pomares para a faixa entre 60 a 70%.

Com base nos preços praticados na safra de 1989/90, foi feita a análise econômica do experimento, para o período de formação da laranjeira, ou seja, as quatro primeiras safras. Os resultados dessa análise encontram-se na Tabela 4. Nota-se que os retornos econômicos adicionais da calagem são muito elevados, com pequenas diferenças entre tipos de calcário e diferenças maiores para as doses. O menor retorno econômico ocorreu com a menor dose de calcário calcítico, mostrando que o magnésio limitou a produtividade e a lucratividade. O maior retorno ocorreu na dose de 12 t/ha, obtida com partes iguais dos dois calcários. Essa dose foi

capaz de manter a saturação por bases próximo a 60% até o sétimo ano após a aplicação dos corretivos.

Considerando-se apenas o efeito de doses, observa-se que a função de resposta (lucro por área) da Figura 7 é maximizada quando a saturação por bases no solo é elevada para aproximadamente 60%, o que está bem próximo do valor encontrado para a produtividade máxima obtida na Figura 6.

Através das Figuras 6 e 7, percebe-se que tanto a produtividade quanto a lucratividade ficam maximizadas quando a saturação por bases na camada arável é elevada ao redor de 60%. Esses níveis de calagem são bem inferiores àqueles obtidos por ANDERSON & MARTIN (1969) e ANDERSON (1971 e 1987) que obtiveram a maximização da produtividade de laranjeira-Valência na Flórida, quando o pH do solo, em água, foi elevado para a faixa entre 6,0 a 7,0. Essas discrepâncias com os resultados desses autores provavelmente são decorrentes das diferenças entre os porta-enxertos empregados, e também das condições de solo, já que no caso da Flórida eles são muito arenosos e com conteúdo muito baixo de matéria orgânica, que são condições mais propícias à ocorrência de toxicidade provocada pelo excesso de cobre (REUTHER & SMITH, 1954).

Tabela 4. Retornos econômicos acumulados nas quatro primeiras safras de laranja em função da calagem.

Calcítico	Dolomítico, t/ha				Média
	0	3	6	9	
t/ha	US\$/ha				
0	--	2510	3033	2512	2685
3	1688	2665	2208	2730	2323
6	2595	2162	3682	2805	2811
9	2943	3173	3323	2740	3070
Média	2409	2627	3061	2722	--

Base para cálculo em US\$: caixa de laranja (40,8 kg)=3,5;  
 tonelada de calcário = 18,0; frete (t) = 12,0 e dólar do dia  
 = Cz\$ 50,00

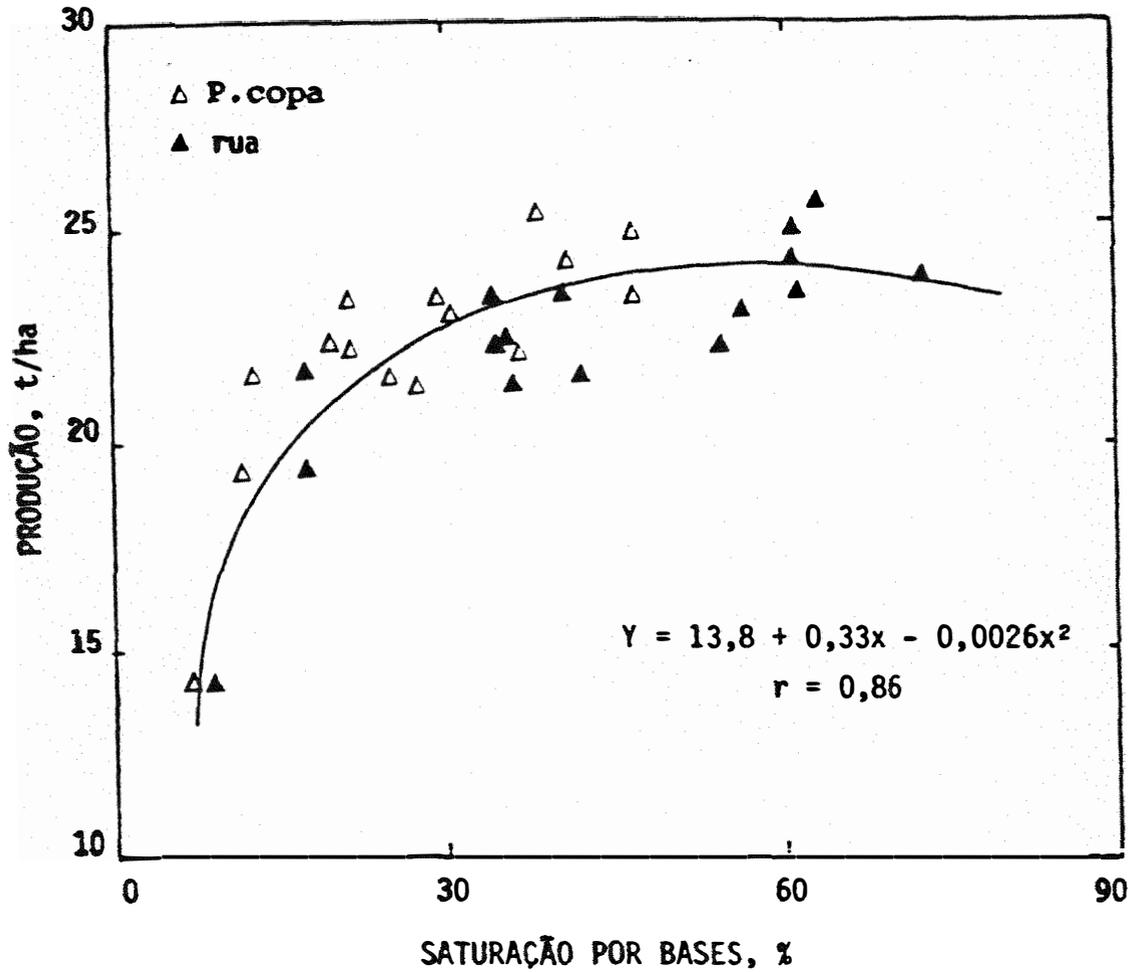


Figura 6 - Curva de resposta à calagem da laranjeira, considerando-se conjuntamente as amostras de solo coletadas na projeção da copa e na rua.

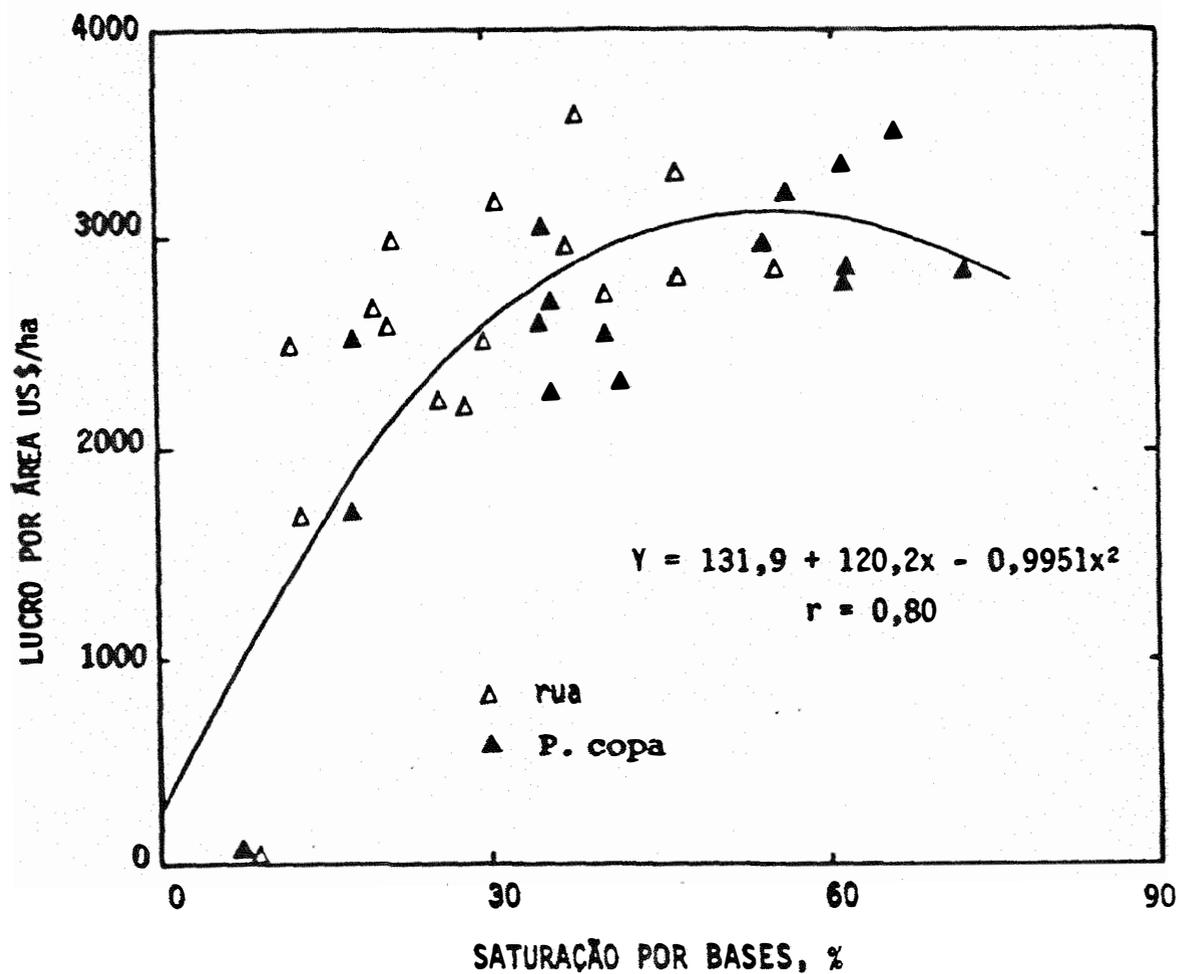


Figura 7 - Retornos econômicos acumulados no período de formação da laranjeira, devidos à calagem.

#### 4.2. Influência da calagem na qualidade dos frutos

As dimensões dos frutos e a qualidade do suco foram avaliadas nas quatro primeiras safras de laranjeira-Valência e os resultados da análise conjunta destas características encontram-se na Tabela 5.

As dimensões dos frutos, através de medidas de altura e largura, não foram afetadas pelos tratamentos. A análise por regressão polinomial para as medias do efeito do ano sobre o tamanho dos frutos revelou efeito linear negativo, tanto para a altura ( $R^2 = -0,89$ ) como para o diâmetro ( $R^2 = -0,85$ ) dos frutos. Esse efeito é bem conhecido na citricultura, pois sabe-se que plantas jovens produzem sempre frutos maiores, principalmente no caso da laranjeira-Valência.

O rendimento de suco apesar de não ter sido afetado pelos tratamentos, apresentou sempre valores elevados (Tabela 5). A porcentagem de sólidos solúveis (Brix) aumentou apenas com as doses de calcário dolomítico, principalmente na safra 1989, na qual os efeitos foram mais evidentes. Este efeito do calcário dolomítico está associado com a maior disponibilidade de Mg, conforme pode ser visto na Figura 8. Esses resultados concordam com aqueles obtidos por KOO (1971), num experimento de doses e fontes de Mg para laranjeira-Valência na Flórida. Ele observou aumentos na porcentagem de sólidos solúveis da ordem de 15%, para a dose

de 150 kg/ha/ano de MgO, em relação a outra de 60 kg/ha/ano. Neste mesmo trabalho, o autor observou, que o Mg proporcionou também aumento na acidez do suco. O mesmo foi observado no presente trabalho, após a análise conjunta das quatro safras, conforme mostra a Figura 9. Nota-se que os efeitos do calcário dolomítico sobre o "brix" seguem o mesmo padrão daquele obtido na safra de 1989.

Os efeitos sobre a acidez do suco são proporcionais aos verificados para "brix", o que mantém a relação brix/acidez (Ratio) constante (Tabela 5). O efeito do Mg sobre a acidez do suco foi estudado na Austrália por MOSS & HIGGINS (1974), em condições de casa de vegetação, utilizando areia lavada e soluções nutritivas com diferentes níveis de Mg. Os autores observaram que a elevação da acidez do suco provocada pelo Mg estava associada com a menor absorção de Ca pela planta, ao invés do K, conforme eles postularam nas hipóteses iniciais do trabalho. Esta conclusão concorda com os dados de ANDERSON (1971), que verificou efeitos positivos do calcário e principalmente do Ca em reduzir a acidez dos frutos. Contudo, esses três nutrientes Ca, Mg e K interagem muito entre si nas plantas cítricas, o que torna realmente difícil isolar o efeito de cada um deles sobre qualquer característica dessas plantas.

Tabela 5. Análise conjunta do efeito de doses de calcários calcítico e dolomítico sobre as dimensões dos frutos e qualidade do suco nas quatro primeiras safras de laranja.

Calcário		Altura	Largura	Rend. (1)	Brix(2)	Acidez(3)	Ratio(4)
Cal.	Dol.						
t/ha		mm				%	
0	0	77,2	73,0	54,0	8,1	0,81	10,0
3	0	74,7	73,1	56,4	8,0	0,88	9,1
6	0	75,8	72,5	53,8	8,1	0,91	8,9
9	0	77,2	74,5	53,5	8,3	0,89	9,5
0	3	77,2	73,9	55,8	7,9	0,84	9,4
3	3	75,1	72,5	54,6	8,4	0,89	9,4
6	3	76,5	73,8	54,2	8,1	0,88	9,3
9	3	75,2	72,9	55,0	8,5	0,91	9,4
0	6	76,8	73,5	54,7	8,4	0,93	9,1
3	6	75,4	71,6	53,4	8,4	0,85	9,8
6	6	75,7	72,3	54,8	8,4	0,88	9,6
9	6	75,5	73,3	55,4	8,4	0,93	9,1
0	9	73,4	72,1	54,3	8,3	0,94	8,9
3	9	75,1	73,2	54,2	8,6	0,92	9,5
6	9	74,6	71,7	54,6	8,9	0,89	10,4
9	9	74,7	71,5	54,4	8,5	0,92	9,3
F Cal.		NS	NS	NS	NS	NS	NS
F Dol.		NS	NS	NS	*	*	NS
F CalxDol		NS	NS	NS	NS	NS	NS
CV (%)		9,9	9,8	9,8	8,3	12,2	14,7

\* =  $p < 0,05$  e NS = não significativo.

(1) Porcentagem de suco;

(2) Sólidos solúveis;

(3) Teor de ácido cítrico;

(4) Relação Brix/acidez.

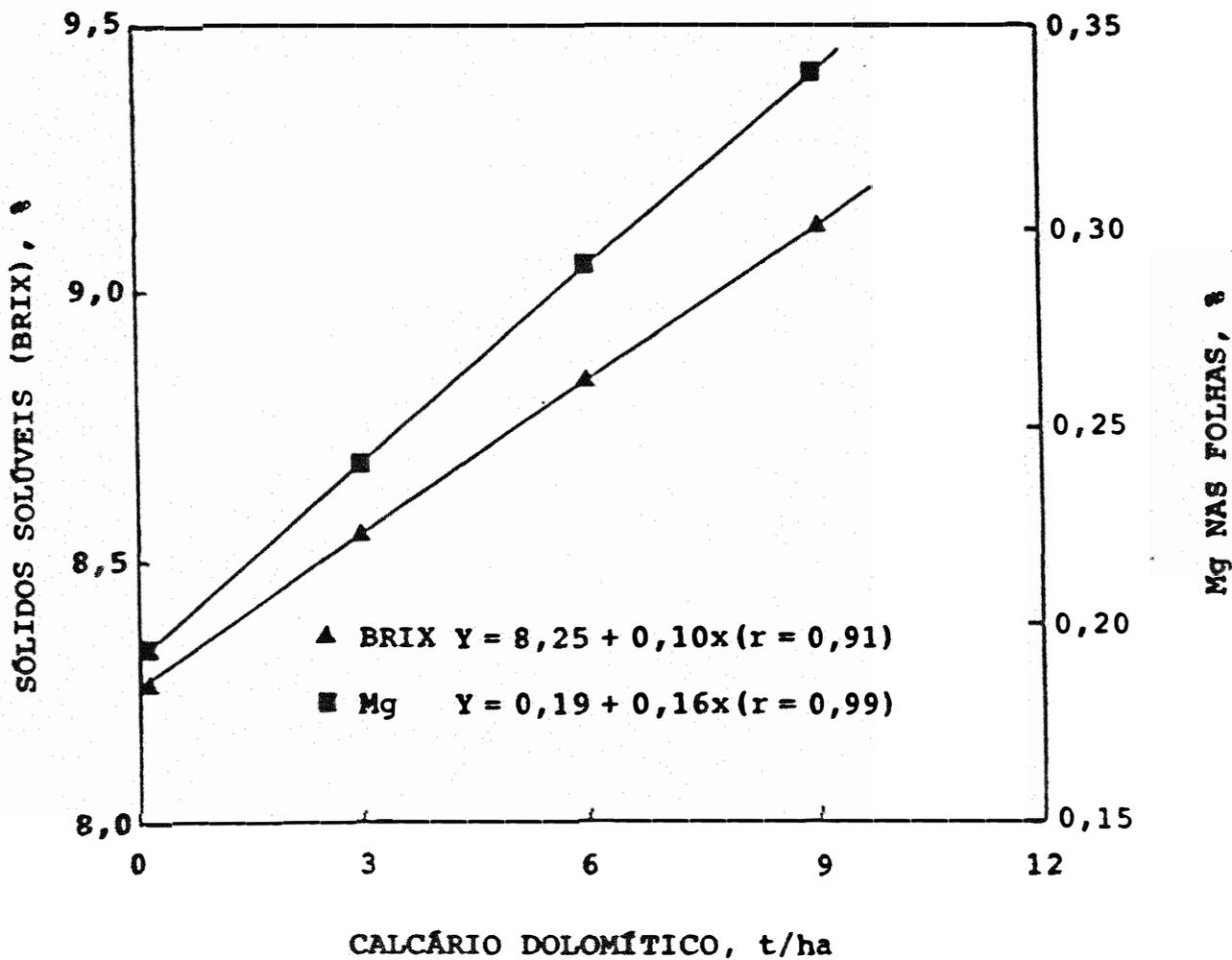


Figura 8 - Resultado da análise por regressão polinomial para os efeitos de doses de calcário dolomítico sobre o teor de Mg nas folhas e a porcentagem de sólidos solúveis no suco, na safra de 1989.

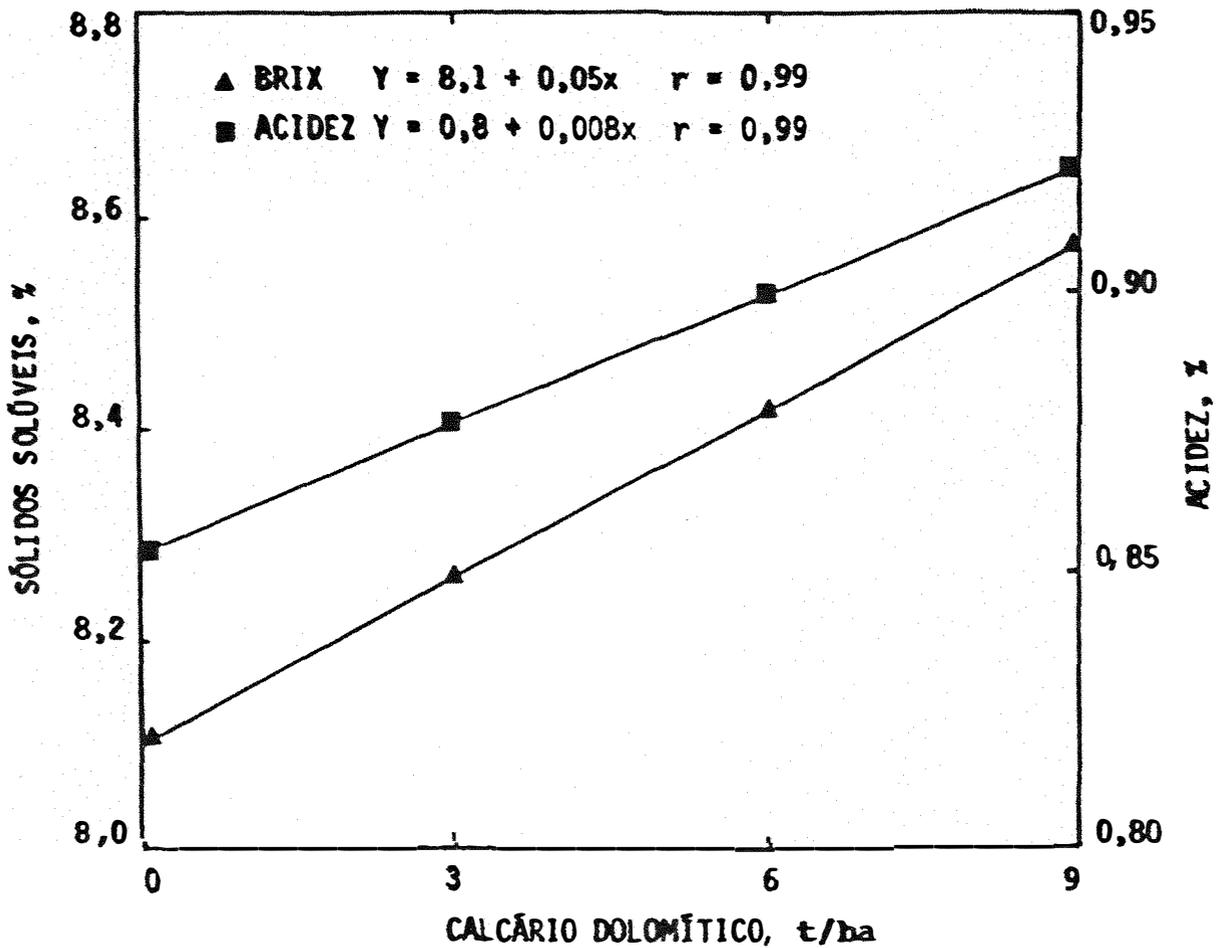


Figura 9 - Ajustes por regressão polinomial para os efeitos de doses de calcário dolomítico sobre características do suco (médias de quatro safras).

#### 4.3. Critérios para a avaliação da disponibilidade de Mg no solo e sua importância para a produtividade.

A importância do magnésio para a citricultura já foi reconhecida há muito tempo no Brasil pelo trabalho pioneiro de AVERNA-SACCÁ (1912). Entretanto, existem na literatura resultados conflitantes sobre critérios de avaliação da disponibilidade de Mg, decorrentes de diferentes condições de solo em que os citros são cultivados no mundo e de interações com outros nutrientes.

Combinando-se diferentes doses de calcários calcítico e dolomítico, foi possível estabelecer níveis diferentes de Mg no solo, para melhor estabelecer critérios de avaliação da disponibilidade. Utilizando-se os resultados da análise conjunta dos dados de análise de folhas e solos das quatro safras foi possível construir os gráficos da Figura 10. Nota-se que não existe correlação entre os teores de Mg nas folhas com os teores desse nutriente no solo, quando as amostras de terra são coletadas na projeção da copa. Por outro lado, essa mesma correlação é bastante razoável quando a amostragem de solo é feita na rua. Esses resultados explicam, pelo menos em parte, aqueles obtidos em trabalhos anteriores nos quais o mesmo objetivo foi tentado, sem sucesso (RODRIGUEZ & GALLO, 1960; ANDERSON & ALBRIGO, 1971 e 1973; e CAETANO et alii, 1987.

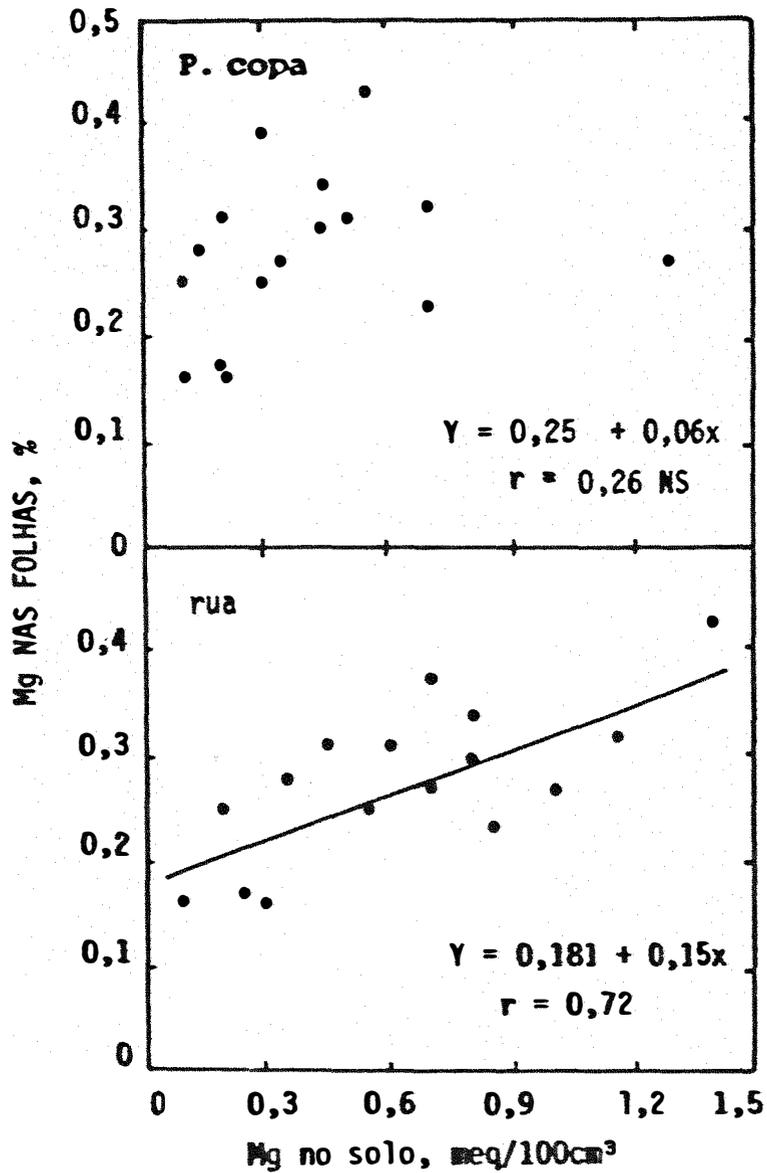


Figura 10 - Relações entre teores de Mg nas folhas e no solo, considerando-se dois locais de amostragem.

Por terem maior raio hidratado, os íons Mg estão mais sujeitos a lixiviação do que os íons-Ca. Deste modo, na região de adubação, na qual adicionam-se grandes quantidades de ânions, existe uma perda também maior de íons-Mg do que íons-Ca. Além disso, nessa mesma região há maior acúmulo de íons-K, que competem com o íon-Mg no processo de absorção pelas raízes.

Em 1988, observou-se no campo, que havia grande amplitude de variação nos sintomas visuais de deficiência de Mg, em função dos tratamentos estabelecidos. Ao grau desses sintomas foram atribuídas notas que variaram de 1 a 4, respectivamente para plantas normais e plantas com sintomas intensos. Observa-se na Figura 11 que o grau de deficiência de Mg dependia do tipo e da dose de calcário. O calcário calcítico, com exceção da dose máxima (9 t/ha), foi pouco eficiente como fonte de Mg. Por outro lado, o calcário dolomítico, já na menor dose (3 t/ha) foi bastante eficiente como fonte de Mg, conforme já demonstrado anteriormente por AVERNA-SACCÁ (1912), SPENCER & WANDER (1960) e KOO (1971). Há limitações para o uso de calcário dolomítico como fonte de Mg para o caso de pomares plantados em solos alcalinos (SMITH, 1966).

As notas de deficiência apresentaram relação estreita com os teores foliares de Mg (Figura 12). Nota-se que quando o teor foliar de Mg é maior do que 0,35%, praticamente não existem sintomas visuais de deficiência

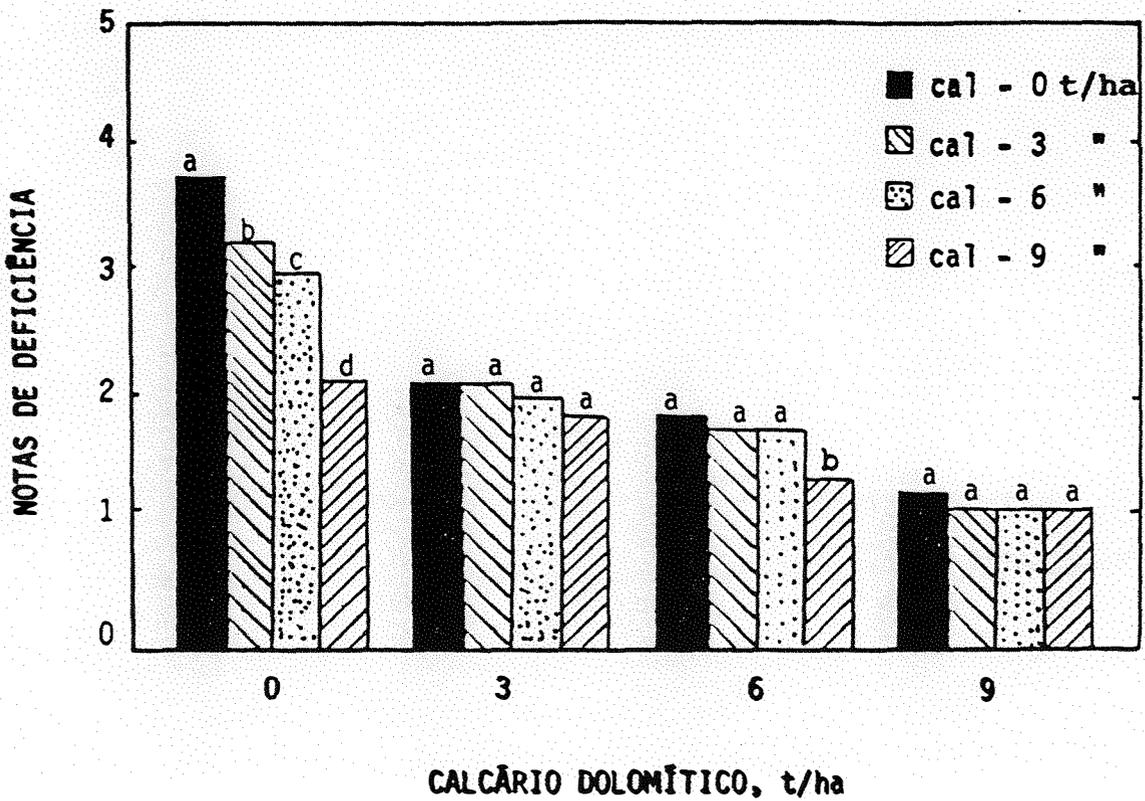


Figura 11 - Influência de doses e tipos de calcário sobre o grau de deficiência de Mg em citros, na safra de 1988.

desse nutriente. Observou-se também relações estreitas entre as notas de deficiência de Mg com os teores desse nutriente no solo (Figura 13). Resultados idênticos foram observados por SPENCER & WANDER (1960). A relação é mais estreita quando as amostragem de solo são feitas na rua, o que mais uma vez demonstra que as raízes são capazes de explorar as entrelinhas das plantas e absorver o Mg que, nesta região, é menos sujeito a perdas por lixiviação. Quando os teores de Mg no solo são superiores a  $0,8 \text{ meq}/100 \text{ cm}^3$  praticamente não existem sintomas foliares de deficiência.

Há também concordância desse teor de Mg no solo com a produção de frutos, conforme está demonstrado na Figura 14. Por esta figura, percebe-se que o Mg afetou a produtividade da laranjeira, e esta atinge o máximo quando os teores de Mg no solo são superiores a  $0,8 \text{ meq}/100 \text{ cm}^3$ . Resultados semelhantes com resposta dos citros ao Mg foram relatados nos trabalhos de CAMP (1947) com plantas de grapefruit, e por KOO (1971) em experimentos de longa duração com grapefruit e laranjeira-Valência em solos arenosos da Flórida.

Existe concordância quanto aos níveis mais adequados de Mg no solo para citros entre os diferentes trabalhos encontrados na literatura: WANDER & SPENCER (1960) concluíram que o nível adequado está ao redor de  $0,6 \text{ meq}/100 \text{ cm}^3$  para laranjas Valência e "Pineapple"; KOO (1971) encontrou o mesmo valor para grapefruit e laranjeira-Valência

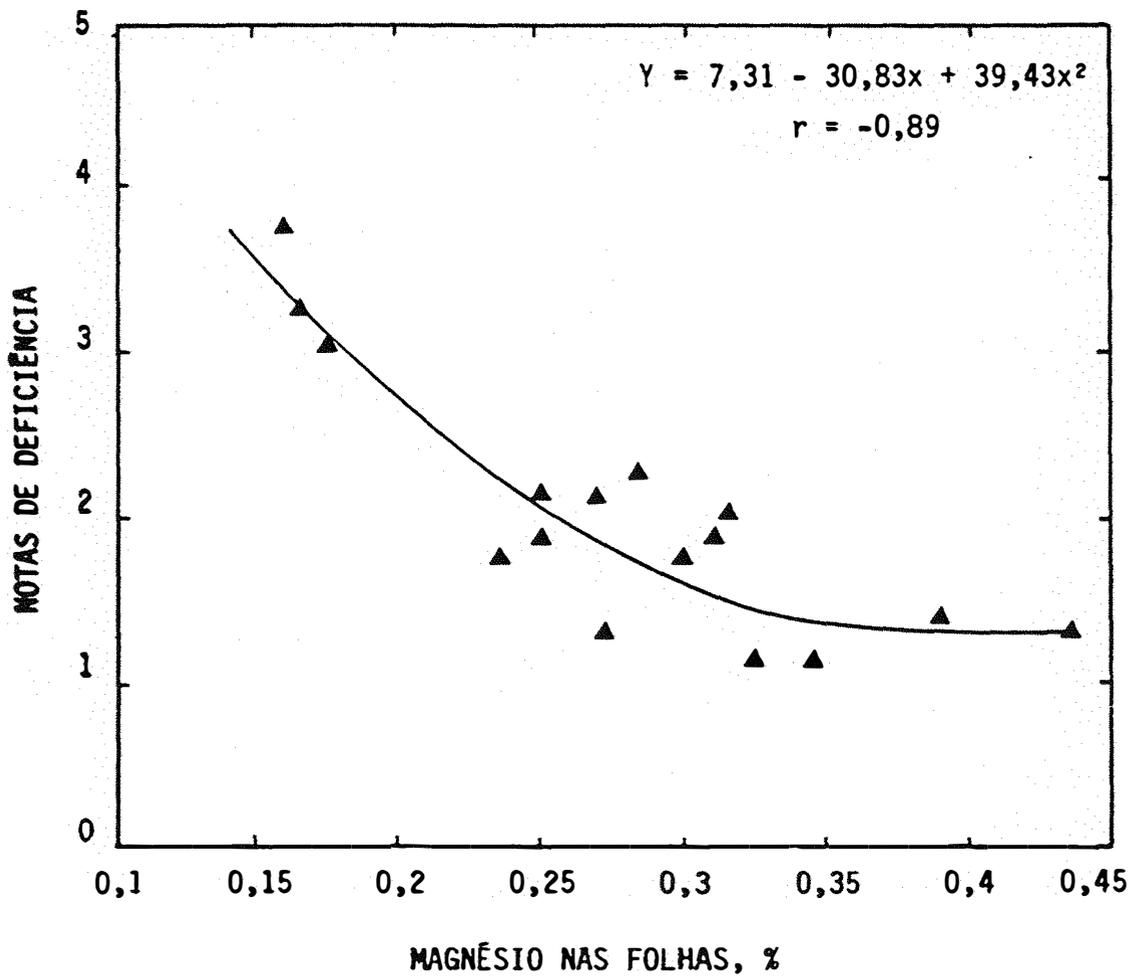


Figura 12 - Relação entre teores de Mg nas folhas com o grau de deficiência visual, no ano de 1988.

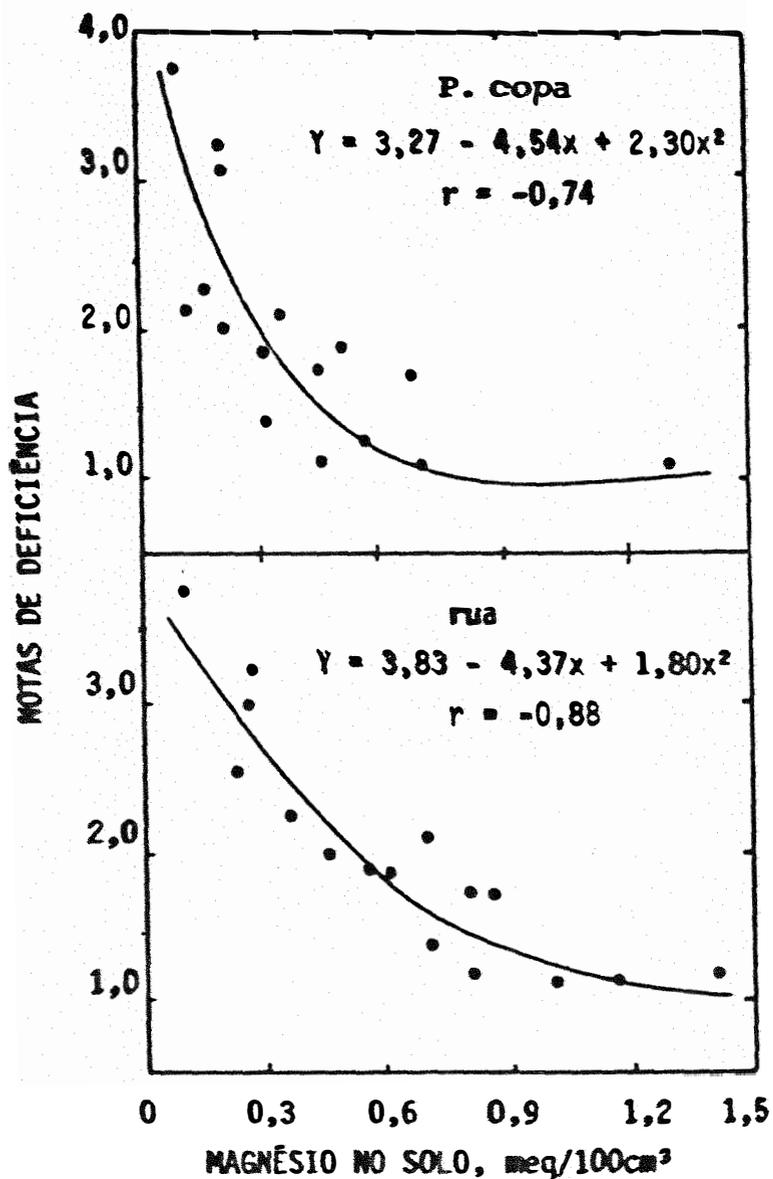


Figura 13 - Relações entre notas de deficiência de Mg com os teores desse nutriente no solo, considerando-se dois locais de amostragem, no ano de 1988.

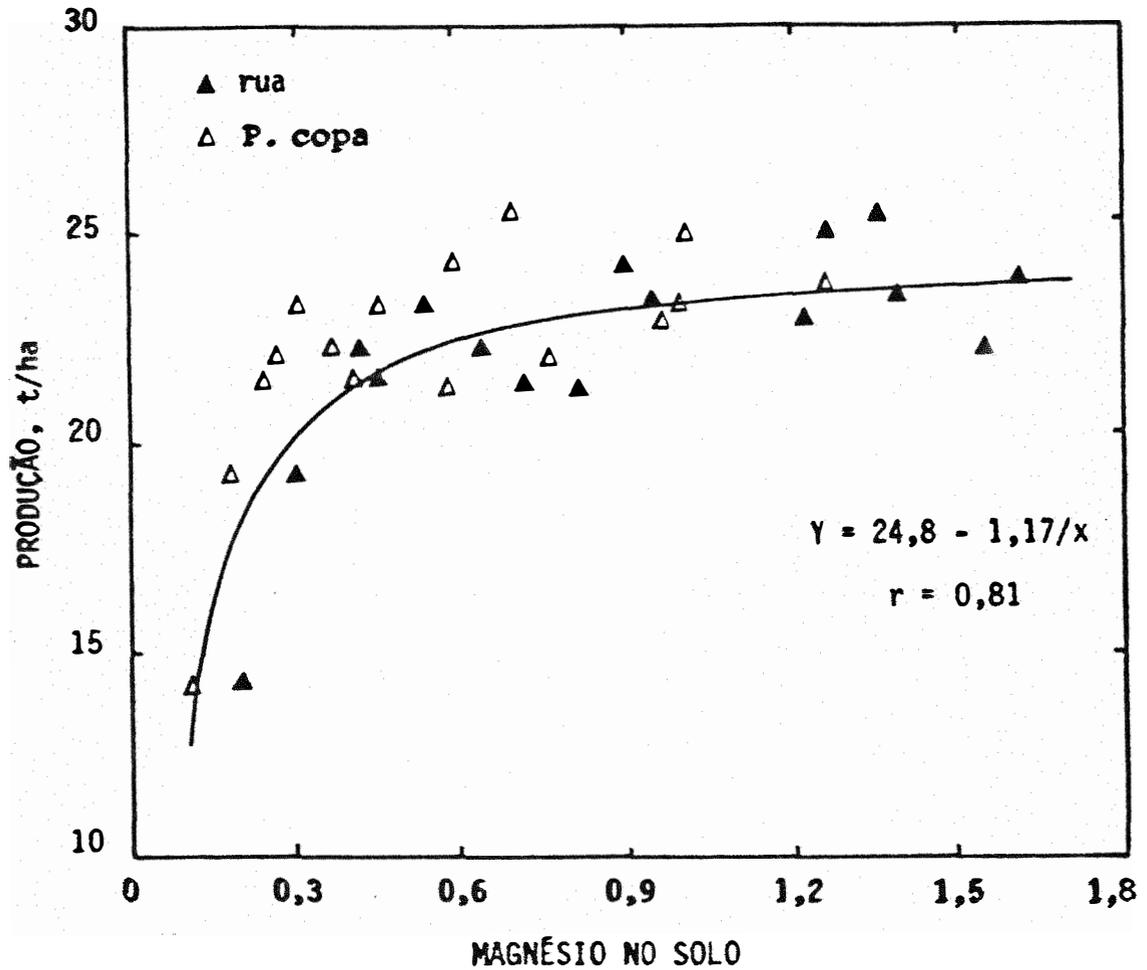


Figura 14 - Curva de resposta da laranja Valência aos teores de Mg no solo, com as médias de quatro safras.

e ASO & BUSTOS (1981) encontraram o valor de 0,8 meq/100 g de solo para limoeiros na Argentina. Além disso, esse resultados são coerentes também com aqueles observados com culturas anuais, pela curva de calibração para Mg no solo obtida por QUAGGIO et alii (1985). Esses resultados dão consistência a análise de solo como critério para a avaliação da disponibilidade de Mg no solo, para diferentes culturas.

Outra alternativa para avaliar-se a disponibilidade de Mg no solo é utilizar a porcentagem de saturação do nutriente em relação a CTC a pH 7,0, conforme foi feito na Figura 15. Acima de 10% de saturação com Mg a produtividade é maximizada, o que concorda com a recomendação do GRUPO PAULISTA DE ADUBAÇÃO E CALAGEM PARA CITROS (1990). Através da literatura percebe-se que esta alternativa tem sido a mais utilizada em algumas regiões citrícolas do mundo, nas quais os solos são derivados de substratos calcários, portanto, com CTC elevada e geralmente ricos em Ca e K. Essa situação é comum em pomares da Califórnia - EUA, conforme reportam os trabalhos de HARDING (1954), MCCOLLOCH et alii (1957) e PRATT et alii (1957). Esses autores demonstraram que a disponibilidade de Mg no solo é melhor avaliada utilizando-se o conceito da saturação do nutriente na CTC e ainda pelas relações com outros nutrientes, como o cálcio e potássio.

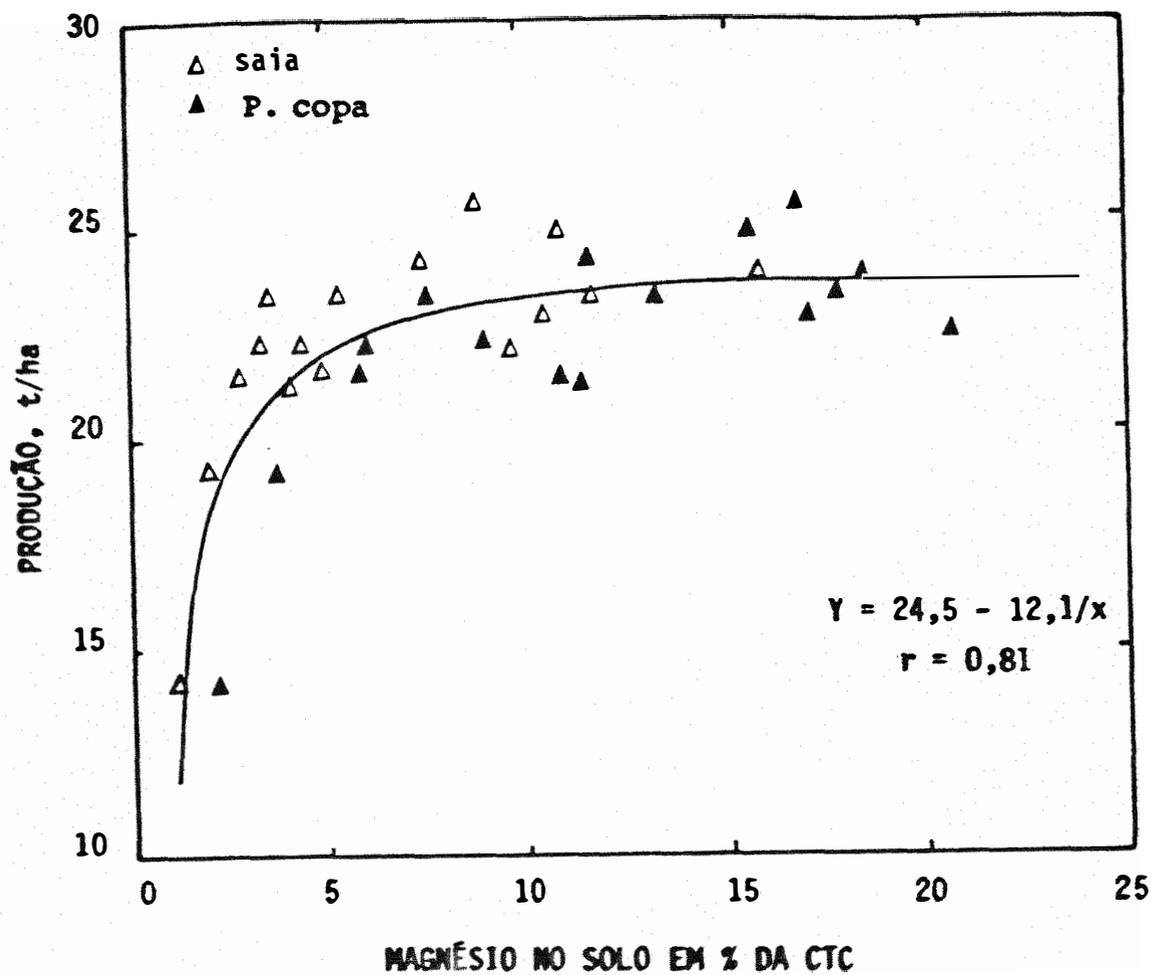


Figura 15 - Curva de resposta da laranja Valência a teor de Mg no solo, expresso em termos de percentagem da CTC a pH 7,0 (médias de quatro anos).

#### 4.4. Relações entre as bases no solo e a produção de laranja.

Com as diferentes combinações de doses de calcário calcítico e dolomítico, mantendo-se a adubação potássica constante em todas as parcelas, foi possível estabelecer diferentes combinações entre as bases no solo (Tabela 6).

Essas relações são muito diferentes na região de adubação (projeção da copa) em relação as entrelinhas das plantas (rua). A relação Ca/K é muito maior na rua do que na projeção da copa em função da maior acidificação e concentração de K na região de adubação. O mesmo ocorre com a relação Mg/K. Por outro lado, a relação Ca/Mg é ligeiramente superior na projeção da copa do que na rua, o que confirma discussões anteriores sobre a lixiviação desses cátions no solo. Nota-se ainda na Tabela 6, que os coeficientes de variação para essas relações no solo, para as médias dos anos, são elevados, devido principalmente ao processo de lixiviação de bases e também à distribuição da adubação potássica.

Por outro lado, essas relações são muito mais estáveis nas folhas, principalmente quando calculadas a partir do número de equivalentes químicos de Ca, Mg e K nas folhas (Tabela 7). É interessante notar que a amplitude de variação dessas relações no solo é sempre maior do que nas

Tabela 6. Influência de doses de calcários calcítico e dolomítico sobre as relações entre as bases no solo (Médias de quatro safras).

Calcário		Rua			Projeção da Copa		
Cal.	Dol.	Ca/K	Ca/Mg	Mg/K	Ca/K	Ca/Mg	Mg/K
t/ha							
0	0	2,9	2,7	1,3	1,1	2,7	0,4
3	0	6,0	3,2	2,0	1,8	3,3	0,6
6	0	16,8	4,2	4,0	3,5	4,1	0,8
9	0	17,8	4,7	6,8	5,7	6,1	0,9
0	3	5,2	1,7	3,4	1,5	2,2	0,8
3	3	14,3	2,6	6,0	3,1	2,8	1,2
6	3	15,1	2,8	5,3	3,4	3,2	1,1
9	3	27,8	4,0	6,5	6,7	3,9	1,6
0	6	10,9	1,4	7,9	2,6	2,0	1,3
3	6	12,5	1,9	6,7	3,2	2,3	1,4
6	6	35,5	2,7	11,0	4,9	2,8	1,8
9	6	25,7	2,9	9,0	7,8	2,9	2,8
0	9	16,8	1,6	11,3	4,9	1,8	2,7
3	9	28,0	2,1	12,1	4,1	2,2	2,1
6	9	20,3	2,2	8,9	6,6	2,6	2,5
9	9	26,1	2,2	8,8	7,0	2,4	3,2
F Cal.		**	**	**	**	**	**
F Dol.		**	**	**	**	**	**
F CalxDol		**	**	**	**	**	**
CV%		24,2	20,9	21,4	31,1	22,6	39,5

folhas. Além disso, algumas relações são maiores nas folhas do que no solo, como é o caso da relação Ca/Mg. O inverso ocorre com as relações Ca/K e Mg/K.

Esses resultados demonstram a capacidade seletiva da laranjeira para a absorção desses nutrientes, concordando com os resultados de RASMUSSEN & SMITH (1960). Tudo indica que essa capacidade seletiva é maior para o cálcio, como pode ser visto na Figura 16. Nessa figura, nota-se, que a planta é capaz de adaptar-se as variações existentes no solo, ajustando a absorção com a sua necessidade metabólica. Entretanto, para o Mg e K percebe-se que eles são absorvidos nas mesmas proporções em que se encontram no solo conforme mostram as Figuras 17 e 18, respectivamente para as relações Ca/Mg e Mg/K.

WEIR (1969) realizou o balanço de cátions e ânions nas folhas de vários experimentos de calagem e adubação com citros. Os experimentos, conduzidos em algumas ilhas do Caribe mostraram que o potássio é o nutriente mais antagônico em relação as outras bases. Esse antagonismo é ainda mais acentuado com o cálcio do que com o magnésio. Isto talvez ajude a explicar o comportamento da relação Ca/K, mostrada na Figura 16.

Outra observação interessante é que, apesar da grande variação existente nos teores de Ca, Mg e K no solo e suas relações em função dos tratamentos, o somatório desses cátions nas folhas expresso em meq/100g de folhas é quase

Tabela 7. Relações entre as bases nas folhas, calculadas a partir do número de equivalentes químicos e somatório de cátions e ânions nas folhas.

Calcários		Relações nas folhas			Somatório de ions	
Cal.	Dol.	Ca/K	Ca/Mg	Mg/K	cátions	ânions <sup>1/</sup>
-- t/ha --		--- meq/100 g ---				
0	0	2,3	8,6	0,3	186	213
3	0	4,1	8,2	0,5	219	225
6	0	4,8	10,1	0,5	228	216
9	0	4,5	11,5	0,4	223	223
0	3	3,0	5,4	0,5	197	222
3	3	4,4	6,3	0,7	222	219
6	3	4,9	5,8	0,9	234	213
9	3	5,9	9,2	0,6	240	211
0	6	4,6	4,7	1,0	228	215
3	6	5,5	6,6	0,8	231	214
6	6	5,4	8,0	0,7	232	207
9	6	6,0	7,7	0,8	231	211
0	9	4,9	4,3	1,1	225	212
3	9	5,2	5,6	0,9	227	219
6	9	6,0	6,6	1,0	242	220
9	9	6,0	7,5	0,8	231	215
F Cal.		**	**	**	---	---
F Dol.		**	**	**	---	---
F CalxDol		**	**	**	---	---
CV%		8,2	12,6	8,7	---	---

<sup>1/</sup> o somatório de ânions ( $\text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{SO}_4^{2-}$ ), assumindo-se que todo o N foi absorvido como nitrato e P como  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e S como  $\text{SO}_4^{2-}$

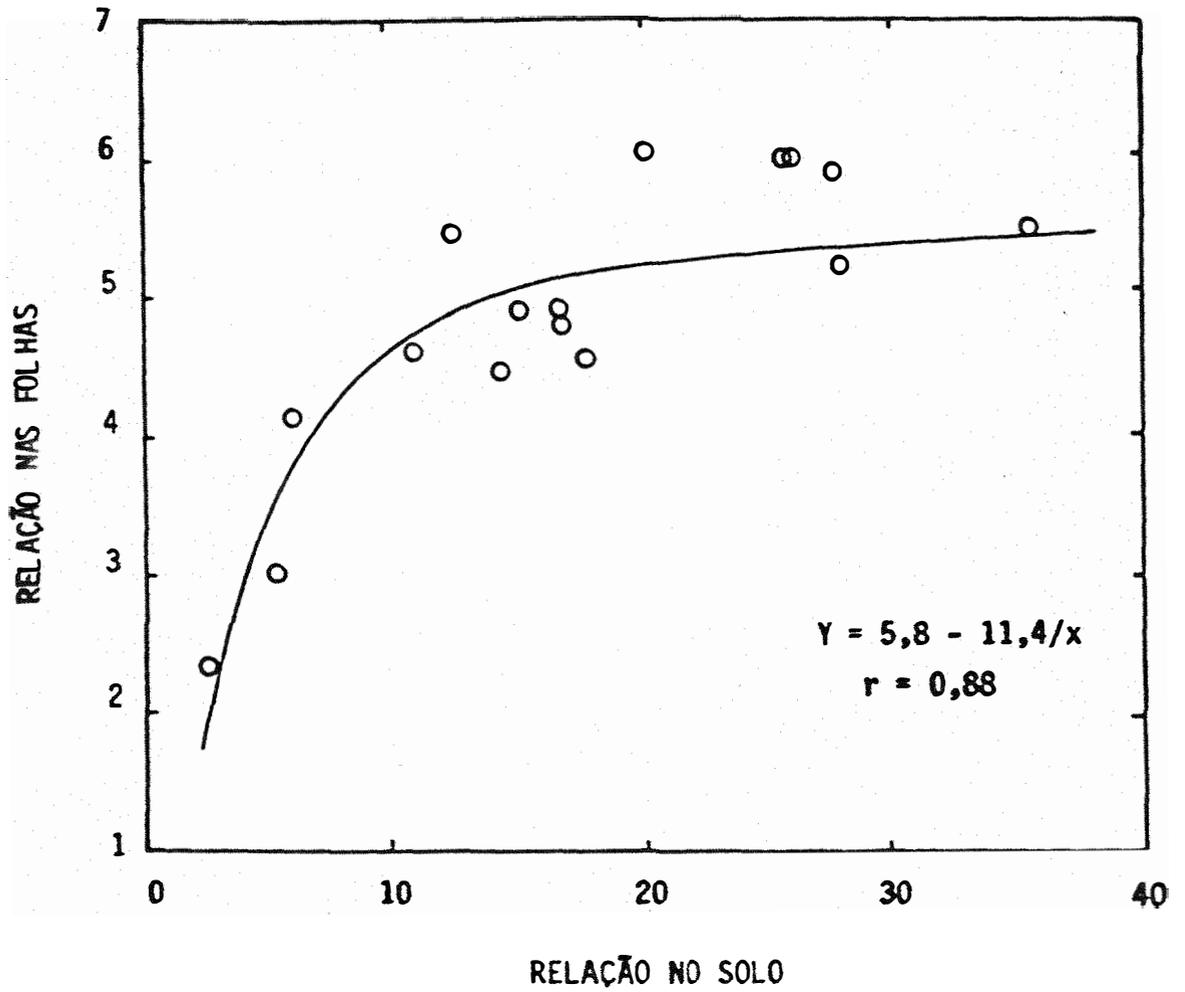


Figura 16 - Relação Ca/K no solo e nas folhas, calculadas sempre a partir do número de equivalentes químicos desses nutrientes.

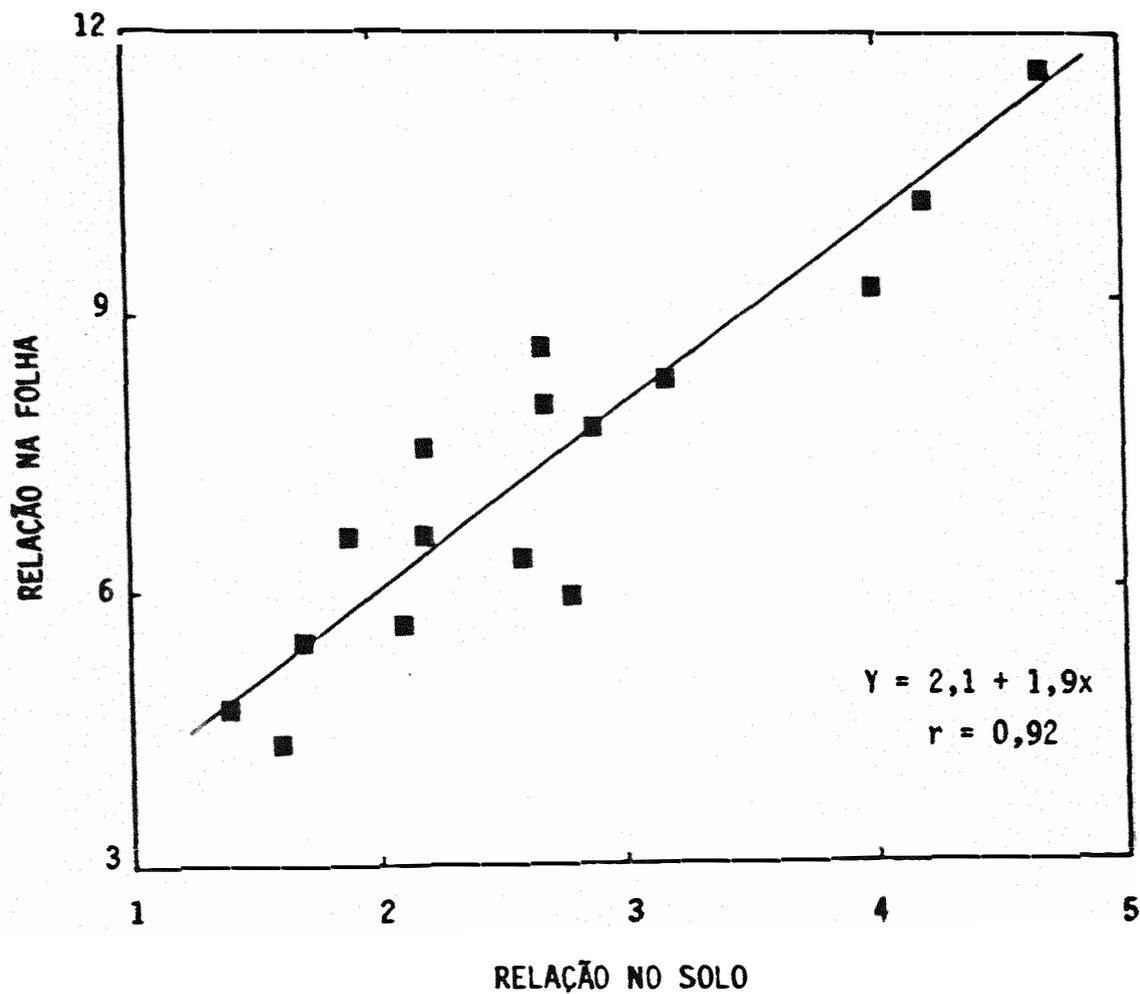


Figura 17 - Relação  $\bar{Ca}/\bar{Mg}$  no solo e nas folhas calculadas sempre a partir do número de equivalentes químicos desses nutrientes.

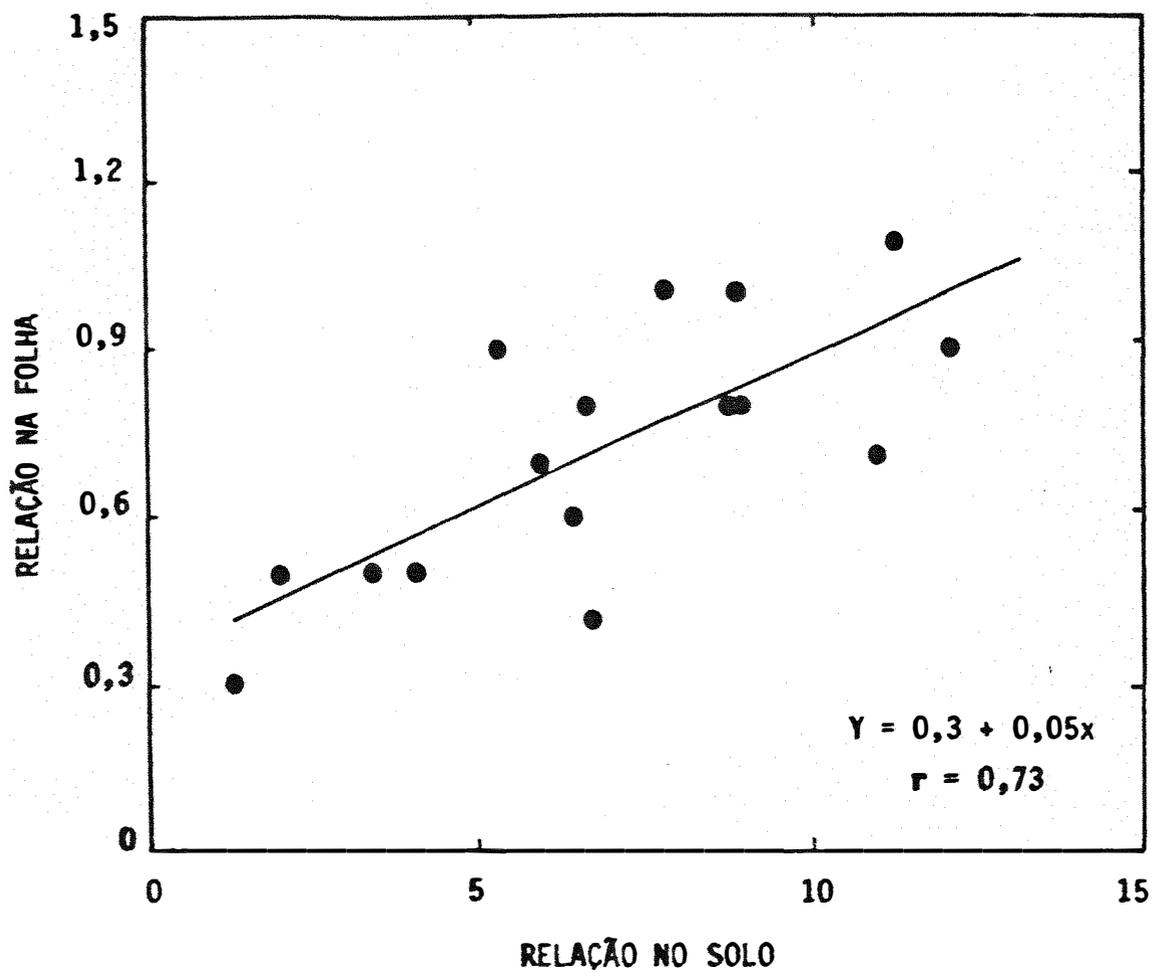


Figura 18 - Relação Mg/K no solo e nas folhas calculados sempre a partir do número de equivalentes químicos desses nutrientes.

constante, com exceção das plantas sem calcário (Tabela 7). Esses resultados estão coerentes com aqueles obtidos por RASMUSSEN & SMITH (1960) em experimento com solução nutritiva, no qual foram testadas 32 diferentes relações entre Ca, Mg e K, e por WEIR (1969) em vários experimentos de campo.

Através da literatura, sabe-se que a absorção de cátions é estimulada pela absorção de ânions, notadamente o  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e  $\text{SO}_4^{=}$ . Entretanto, os íons  $\text{NO}_3$  e  $\text{SO}_4$  após a absorção, são assimilados em compostos orgânicos, perdendo, portanto suas características de ânions. Daí a planta é obrigada a sintetizar ânions de ácidos orgânicos, principalmente malato, oxalato, pectato e citrato, para manter tanto o equilíbrio de cargas como o pH das células.

A síntese desses ácidos orgânicos é estequiométrica com as assimilações de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{SO}_4^{=}$  (KIRKBY & MENGEL, 1966 e HIATT & LEGGETT, 1974), o que explica os resultados de KIRKBY & KNIGHT (1976) que encontraram correlação estreita ( $r = 0,99$ ) entre os teores de ácidos orgânicos com os teores de N e S assimilados, os quais são muito próximos aos teores totais desses nutrientes.

Com base nestes trabalhos, foram feitos cálculos, transformando-se os teores totais de N, P e S nas folhas para meq/100g de folhas de  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e  $\text{SO}_4^{=}$ , considerando-se que esses nutrientes tenham sido absorvidos nas respectivas formas iônicas acima, conforme está representado na Tabela 7.

Percebe-se que o somatório desses ânions está muito próximo do somatório de cátions nas folhas. É possível que se os íons Cl tivessem sido incluídos nos cálculos, eles poderiam reduzir ainda mais essas diferenças entre os cátions e ânions nas folhas.

Na Tabela 8, nota-se que os teores de N, P e S nas folhas não foram influenciados pelos tratamentos. Assim, pode-se pensar que a absorção de ânions impõe à planta um limite para a absorção de cátions, dependente de características genéticas. Talvez esse limite "máximo" para a absorção de cátions seja a causa principal para o forte antagonismo observado entre Ca, Mg e K nas plantas cítricas.

Outro objetivo deste trabalho foi avaliar a importância das relações entre as bases no solo para a produção de laranja. Assim, percebe-se na Figura 19, que a relação Ca/Mg é pouco importante para a produtividade da laranjeira, dentro da amplitude obtida no presente trabalho. Para a relação Mg/K, a amplitude obtida foi maior do que para a relação Ca/Mg (Tabela 6). Contudo, ela também não apresentou correlação com a produção.

Por outro lado, a relação Ca/K, apresentou correlação estreita com a produção de laranja, conforme mostra a Figura 20. Nota-se que quando a amostragem de solo é feita na projeção da copa, a amplitude é menor do que quando as amostras são coletadas na rua. Em trabalhos anteriores procurou-se correlações semelhantes com culturas anuais

(QUAGGIO et alii 1985 e 1987). Obteve-se sucesso apenas com a cultura da abobrinha-italiana que, de modo semelhante aos citros, é também muito exigente em cálcio e potássio (QUAGGIO et alii, 1987). Os teores de cálcio nas folhas naquela espécie são iguais ou maiores do que os de nitrogênio. No estudo com abobrinha, obteve-se relações Ca/K no solo maiores do que no presente trabalho, em função das altas doses de calcário empregadas. Os autores verificaram que quando a relação Ca/K era maior que 80:1 houve prejuízo à produção e à qualidade dos frutos.

No caso da laranja, parece que a importância da relação Ca/K está associada com a sua exigência em cálcio, uma vez que a absorção desse nutriente é aumentada com o aumento dessa relação no solo, conforme mostra a Figura 21. A correlação é mais estreita para a amostragem na rua, o que sugere maior intensidade de absorção de cálcio nessa região. É possível que essa relação seja ainda mais relevante na fase de formação da laranjeira, devido a importância do cálcio para a formação da estrutura da planta (SMITH, 1966a).

Para as outras relações estudadas, parece que a capacidade seletiva da planta é capaz de reduzir os desequilíbrios existentes no solo, o que confere a elas, uma importância menor em relação à produção.

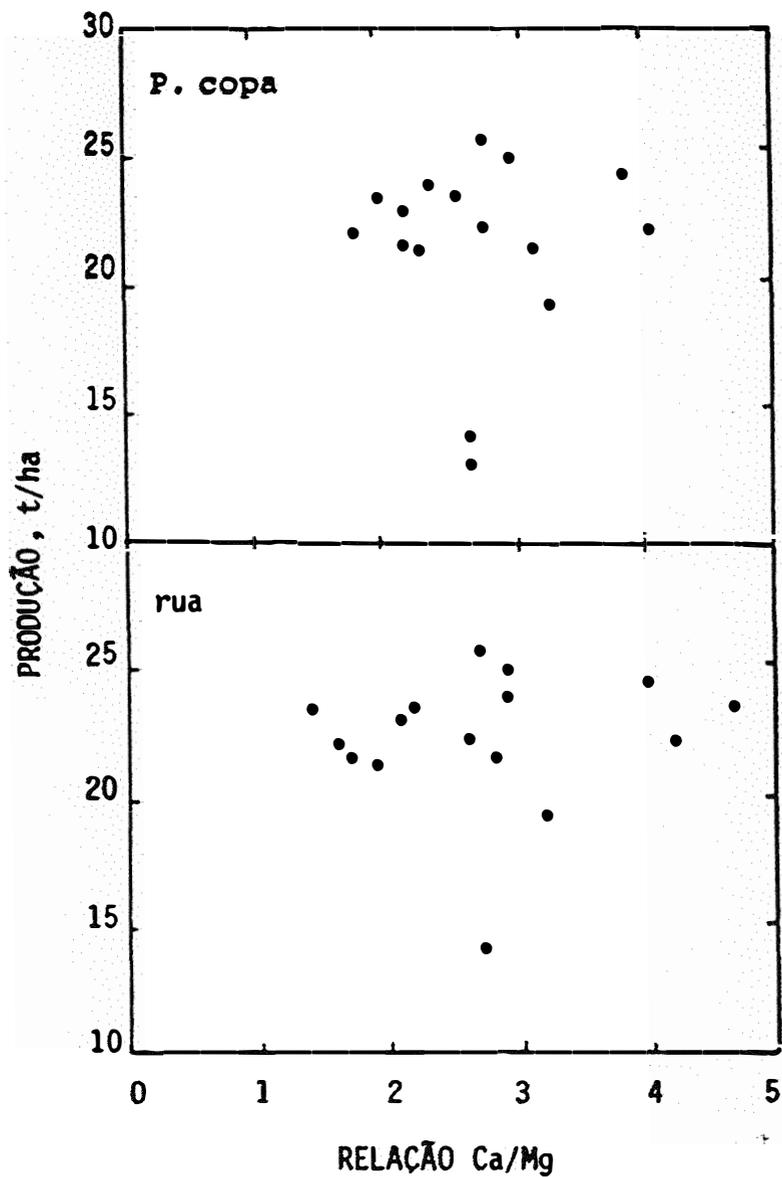


Figura 19 - Correlações entre a relação Ca/Mg em dois locais de amostragem com a produção de laranja, para as médias de de quatro safras.

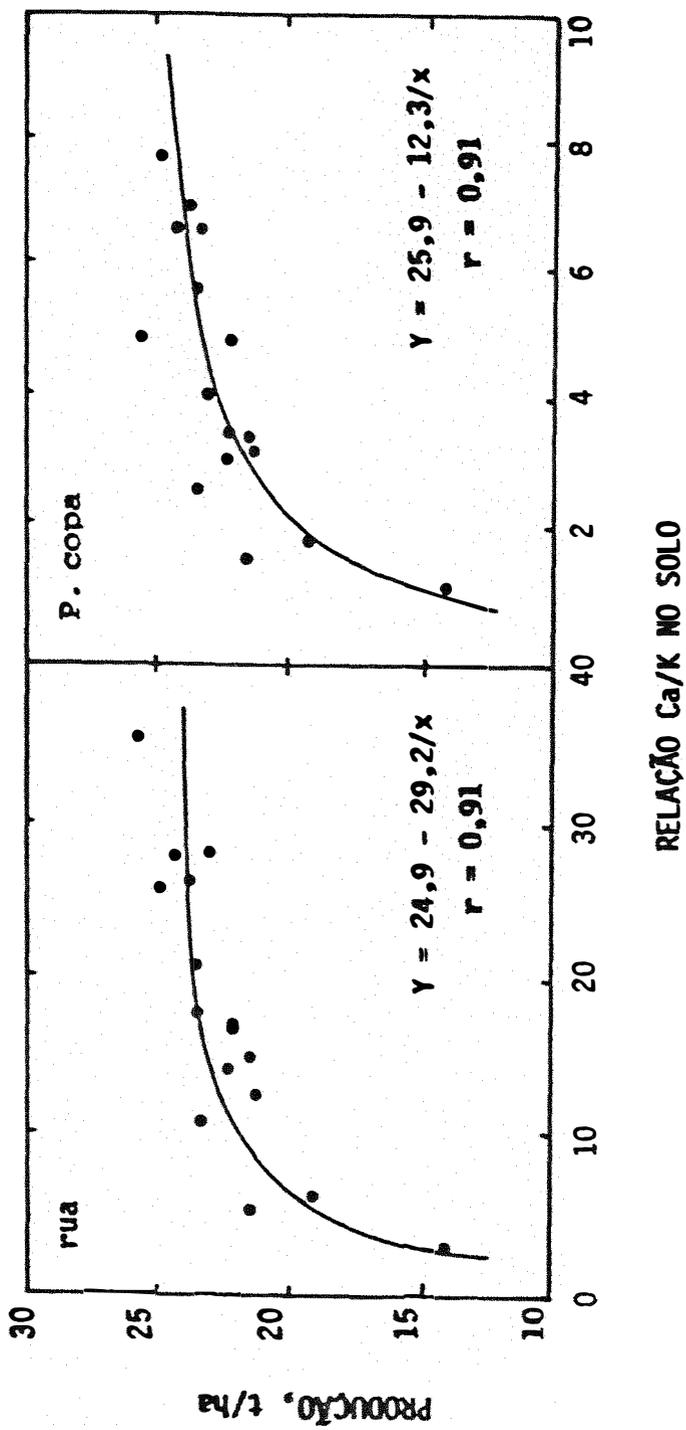


Figura 20 - Correlações entre a relação Ca/K no solo, em dois locais de amostragem, com a produção de laranja (valores médios de quatro safras).

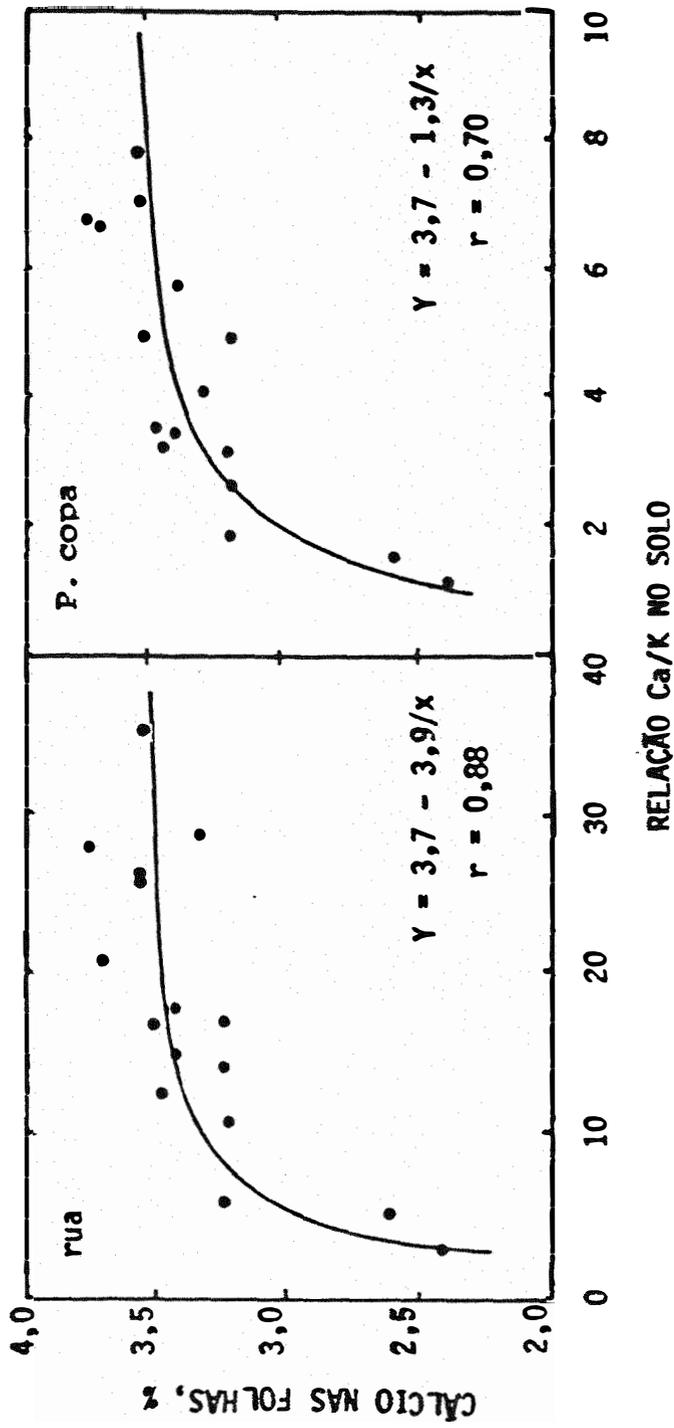


Figura 21 - Teores de cálcio nas folhas em função da relação Ca/K no solo, para dois locais de amostragem.

#### 4.5. Composição mineral das folhas

Entre os macronutrientes, apenas o cálcio, o magnésio e o potássio foram afetados pelos tratamentos (Tabela 8). Para esses três nutrientes a interação calcário calcítico x dolomítico foi sempre significativa, o que mais uma vez demonstra as interações e antagonismos entre eles.

Para melhor estudar os efeitos das características químicas do solo sobre a concentração desses nutrientes nas folhas, realizou-se estudos de regressão múltipla passo-a-passo, com a finalidade de estabelecer modelos, apoiados na análise de terra, que melhor explicassem a concentração das bases nas folhas de citros.

Para o cálcio, nota-se na Tabela 9, que a saturação por bases e a relação Ca/K são as características químicas do solo mais importantes, pois explicam cerca de 60% das variações nas concentrações de cálcio nas folhas, para as médias de quatro safras. O cálcio é o nutriente dominante no complexo de íons trocáveis, em solos normais. Portanto, a disponibilidade dele é diretamente proporcional ao conteúdo total de bases no solo. No caso da interação Ca/K, conforme já foi visto na Figura 21, ela reflete bem o antagonismo existente entre esses dois nutrientes, em citros. Em menor escala percebe-se também que a relação Ca/Mg interfere com a absorção de cálcio.

Tabela 8. Efeitos de doses de calcários calcítico e dolomítico sobre a concentração de macronutrientes em folhas de laranja

Calcário		N	P	K	Ca	Mg	S
Cal. Dol.							
t/ha		%					
0	0	2,90	0,100	2,03	2,40	0,17	0,221
3	0	3,06	0,112	1,52	3,22	0,24	0,218
6	0	2,94	0,108	1,41	3,50	0,21	0,212
9	0	3,04	0,110	1,49	3,42	0,18	0,217
0	3	3,02	0,112	1,70	2,60	0,29	0,221
3	3	2,98	0,107	1,42	3,22	0,31	0,211
6	3	2,90	0,105	1,35	3,42	0,36	0,204
9	3	2,87	0,102	1,25	3,77		
0	6	2,92	0,107	1,36	3,20	0,41	0,232
3	6	2,91	0,103	1,24	3,47	0,32	0,198
6	6	2,82	0,102	1,28	3,55	0,27	0,232
9	6	2,88	0,103	1,17	3,57	0,28	0,189
0	9	2,87	0,101	1,25	3,15	0,44	0,206
3	9	2,98	0,107	1,24	3,32	0,36	0,219
6	9	2,99	0,107	1,11	3,72	0,34	0,229
9	9	2,92	0,105	1,16	3,57	0,29	0,231
F Cal.		NS	NS	**	**	**	NS
F Dol.		NS	NS	**	**	**	NS
F CalxDol		NS	NS	**	**	**	NS
CV (%)		3,6	6,2	5,8	5,6	8,0	16,8

\* = p < 0,05; \*\* = p < 0,01 e NS = não significativo

Tabela 9. Modelos de regressões múltiplas para os teores de cálcio, estabelecidos com atributos do solo, em dois locais de amostragem, para a média de 4 anos de observações

Cálcio nas						
folhas	Bo	Ca <sub>S</sub> <sup>(1)</sup>	Ca/Mg	Ca/K	V%	R <sup>2</sup>
Amostras na rua						
Ca =	2,58	--	--	--	0,017**	0,50**
Ca =	2,67	--	--	0,012**	0,010**	0,59**
Ca =	2,51	--	0,059	0,011**	0,011**	0,61**
Ca =	2,42	-0,079	0,079*	0,014**	0,015**	0,62**
Amostras na proteção da copa						
Ca =	2,71	--	--	0,137**	--	0,52**
Ca =	2,74	--	--	0,952**	-0,003	0,52**
Ca =	2,75	0,017	--	0,149**	-0,003	0,52**
Ca =	2,76	0,018	-0,002	0,149**	-0,004	0,52**

\* e \*\* Coeficientes e parâmetros significativos a 5% e 1%, respectivamente.

(1) Teor de Ca trocável

Os teores de magnésio nas folhas, por outro lado, são melhor explicados pelo teor trocável do nutriente no solo e pela relação Ca/Mg (Tabela 10). Já no caso dos teores foliares de potássio, a saturação por bases, a relação Ca/K e o teor do nutriente no solo, são as principais características químicas responsáveis pela sua disponibilidade (Tabela 11). Para os três nutrientes, percebe-se que existem ligeiras alterações de posições de importância dos parâmetros dos modelos, quanto ao local de amostragem de solo.

De um modo geral, percebe-se que apenas os teores trocáveis das bases no solo explicam pouco as concentrações delas nas folhas. No caso do Mg a relação é melhor quando a amostragem é feita na rua (Figura 10). Essas observações estão coerentes com os resultados de vários trabalhos da literatura (HARDING, 1954; PRATT et alii, 1954; MCCOLLOCH et alii, 1957; JACOBY, 1961 e ANDERSON & ALBRIGO, 1971) que encontraram melhores relações entre as concentrações de Ca, Mg e K nas folhas com a saturação deles no complexo sortivo e também com as relações entre eles no solo.

No Brasil, praticamente não existem curvas de calibração para teores de Ca e Mg nas folhas com a produção dos citros. Normalmente as interpretações de resultados de análise de folhas têm sido feitas utilizando-se tabelas de outros países (RODRIGUEZ, 1980). Com o intuito de fornecer alguns subsídios para esse tipo de estudo, essas calibrações

foram tentadas no presente trabalho, reconhecendo-se as limitações dos dados por eles pertencerem apenas a um local.

Com o cálcio percebe-se que houve uma relação quase linear entre os teores foliares com a produção de laranja (Figura 22), não obtendo-se, portanto, ponto de máximo da função. Para o potássio, a relação encontrada foi linear e negativa (Figura 23). Novamente, observa-se que o efeito negativo do potássio sobre a absorção do cálcio, também se reflete na produção. Essa discussão está apoiada na relação observada na Figura 24, na qual percebe-se claramente uma relação inversa entre os teores foliares de Ca e K. MARTIN et alii (1953) também observaram forte antagonismo entre Ca e K, em plantas jovens de citros, e relataram que ocorreu drástica redução no crescimento da planta quando os teores de potássio no solo eram superiores a 15% da CTC. Os autores também concluíram que essa redução do crescimento estava associada à menor absorção de cálcio pelas plantas.

Pelo mesmo motivo, também são frequentes na literatura trabalhos que demonstram efeitos negativos do K em experimentos de adubação com plantas jovens em viveiros (RODRIGUEZ et alii, 1965) e também na formação do pomar (CRUZ et alii, 1971).

No caso do Mg, nota-se na Figura 25, que houve tendência de estabilização da produção quando os teores do nutriente atingiram 0,3% nas folhas. Em estudos anteriores sobre respostas dos citros à aplicação de Mg (CAMP, 1947;

Tabela 10. Modelos de regressões múltiplas para os teores de Mg, estabelecidos com atributos do solo, em dois locais de amostragem, para a média de 4 anos de observações

Magnésio nas						
folhas	Bo	Mg <sub>S</sub> <sup>(1)</sup>	Ca/Mg	Ca/K	V%	R <sup>2</sup>
Amostras na rua						
Mg =	0,214	0,084**	--	--	--	0,30**
Mg =	0,317	0,067**	-0,032**	--	--	0,47**
Mg =	0,309	0,104**	-0,032**	-0,0037**	--	0,51**
Mg =	0,306	0,158**	-0,001*	-0,0024**	-0,004**	0,53**
Amostras na projeção da copa						
Mg =	0,403	--	-0,038**	--	--	0,31**
Mg =	0,346	0,063**	-0,039**	--	--	0,39**
Mg =	0,354	0,102**	-0,032**	0,0170	--	0,40**
Mg =	0,356	0,082*	-0,035**	0,0190	0,001	0,41**

\* e \*\* Coeficientes e parâmetros significativos a 5% e 1%, respectivamente

(1) Teor de Mg trocável.

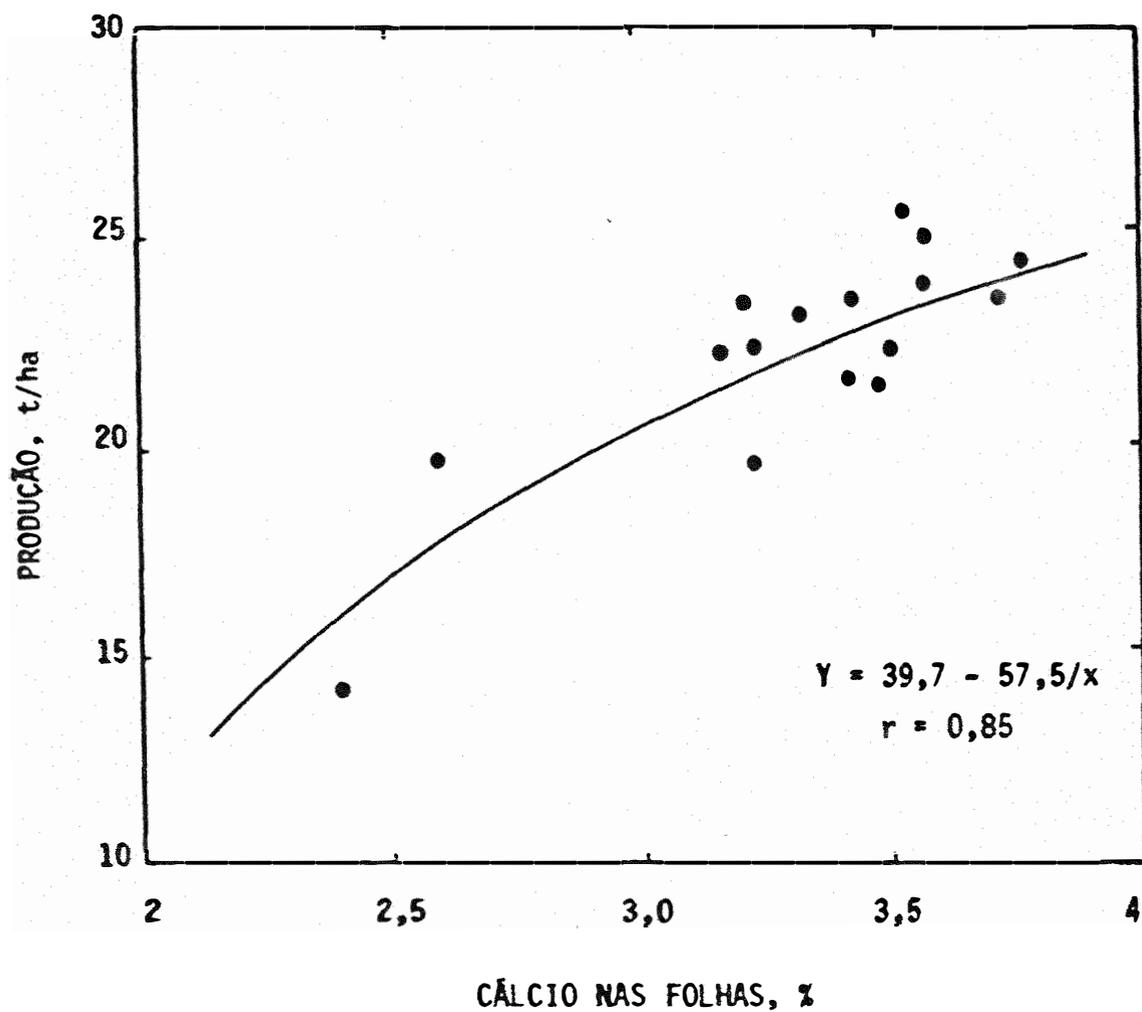


Figura 22 - Curva de calibração para teores foliares de cálcio, traçada com valores médios de quatro safras.

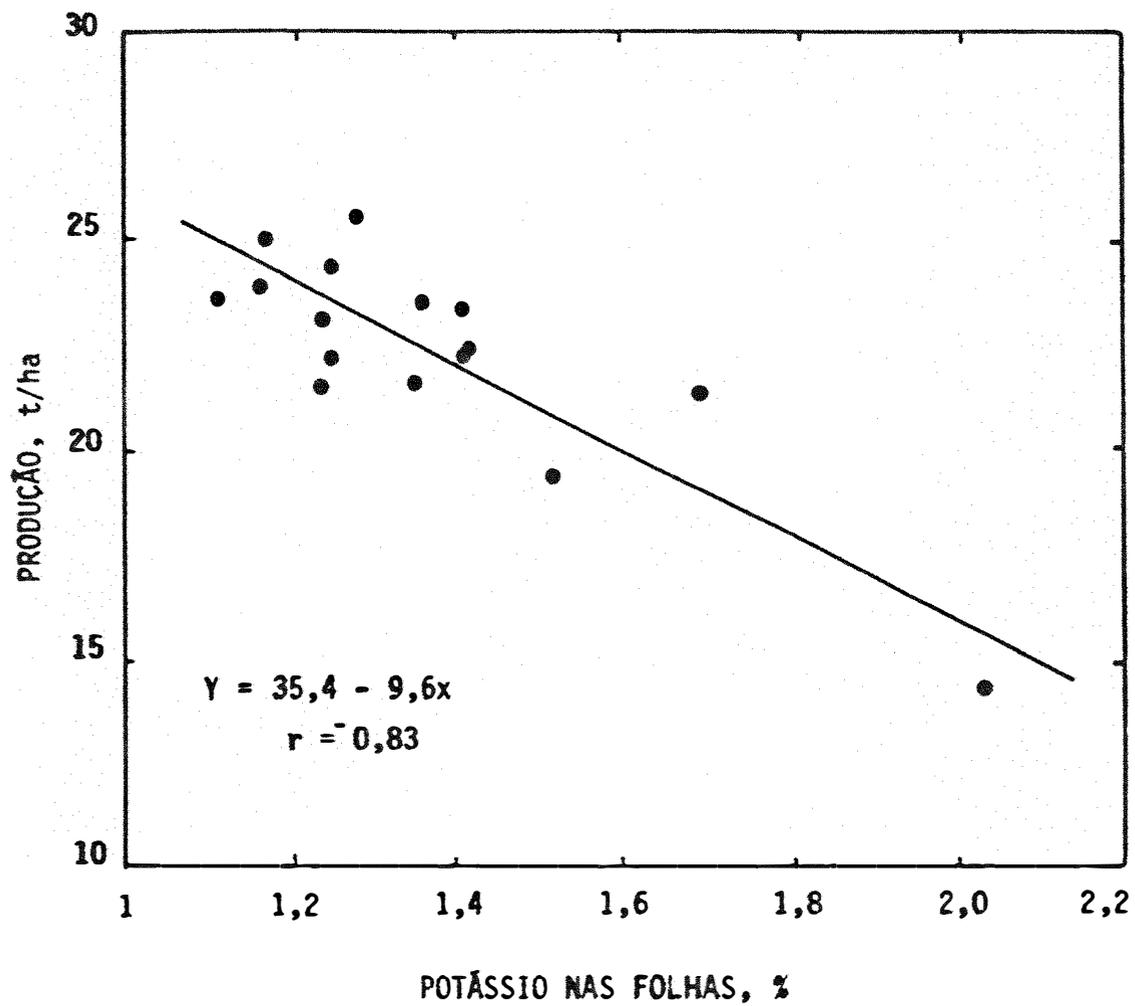


Figura 23 - Relação entre teor foliar de K e produção de laranja, na fase de formação das plantas.

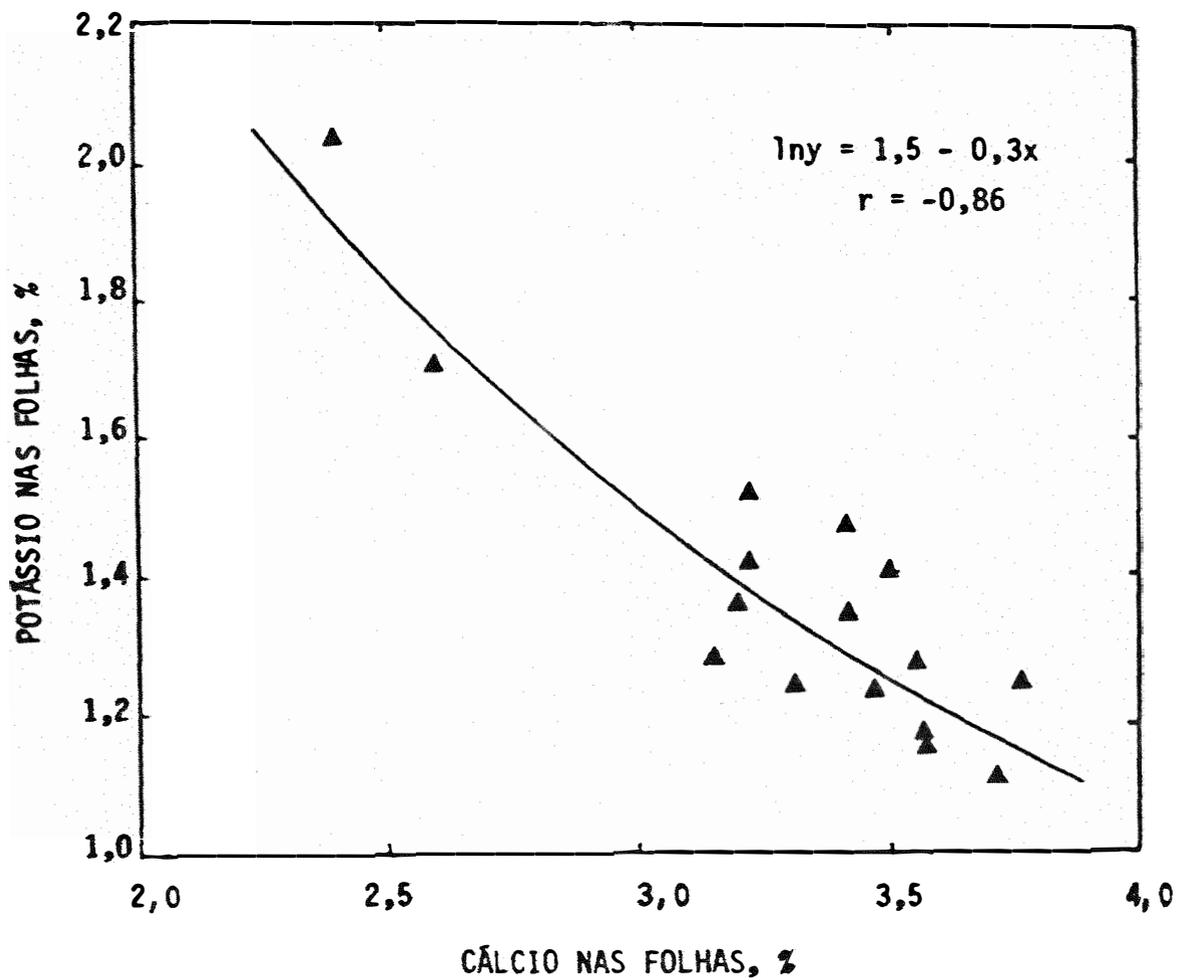


Figura 24 - Interação entre cálcio e potássio, vista através das concentrações destes nutrientes nas folhas.

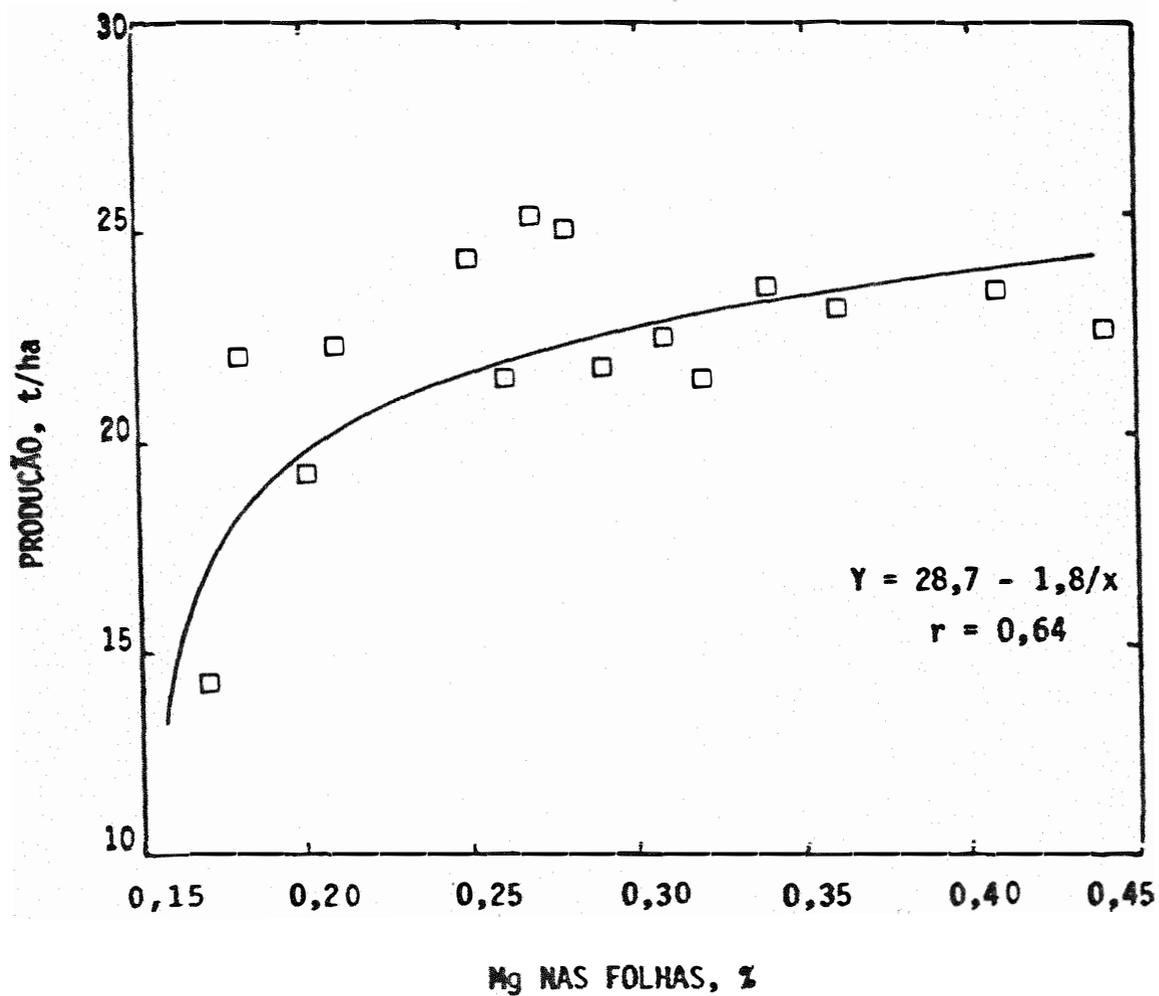


Figura 25 - Curva de calibração para teores foliares de magnésio traçada com valores médios de quatro safras.

SPENCER & WANDER, 1960 e KOO, 1971) também foi observado que a produtividade da planta foi maximizada quando os teores de Mg nas folhas alcançavam valores entre 0,3 a 0,4%. Há também coerência entre as curvas de resposta à Mg nas folhas com a produção (Figura 25) e com as notas do grau de deficiência do nutriente (Figura 12).

Os teores foliares de micronutrientes também foram muito afetados pela calagem (Tabela 12). Com exceção do Zn, todos os demais micronutrientes tiveram as concentrações foliares reduzidas pela calagem. No caso do B, o efeito ocorreu apenas para o calcário calcítico, enquanto que o Fe foi influenciado apenas pelo calcário dolomítico.

São bem conhecidos na literatura os efeitos da calagem sobre a disponibilidade de micronutrientes no solo. A elevação do pH do solo provoca, através de várias reações de adsorção, precipitação e complexação, a redução da atividade da maioria dos micronutrientes no solo conforme mostra a revisão recente de CAMARGO (1988) sobre o assunto.

É interessante notar, que o Zn, o B e o Cu foram aplicados anualmente apenas nas folhas, através de tratamentos fitossanitários ou adubações foliares. Entretanto, notou-se o efeito de tratamentos aplicados no solo sobre a concentração deles nas folhas. Esses resultados poderiam ser explicados através do efeito da calagem sobre os teores já existentes destes nutrientes no solo, o que de fato deve acontecer. Contudo, a análise de variância conjunta,

Tabela 11. Modelos de regressões múltiplas para os teores foliares de K, estabelecidos com atributos do solo, em dois locais de amostragem, para a média de 4 anos de observações

Potássio nas						
folhas	Bo	K <sub>S</sub> <sup>(1)</sup>	Ca/Mg	Mg/K	Vt	R <sup>2</sup>
Amostras na rua						
K =	1,77	--	--	--	-0,0097**	0,49**
K =	2,01	-1,313**	--	--	-0,0094**	0,63**
K =	1,94	-0,830	0,003	--	-0,0113**	0,64**
K =	1,99	-1,028	0,006	-0,009	-0,0109**	0,65**
Amostras na projeção da copa						
K =	1,72	--	--	--	-0,011**	0,46**
K =	1,73	--	0,031*	--	-0,016**	0,49**
K =	1,58	0,489*	0,043**	--	-0,019**	0,52**
K =	1,58	0,463*	0,045**	0,011	-0,019**	0,52**

\* e \*\* Coeficientes e parâmetros significativos a 5% e 1%, respectivamente.

(1) Teor de K trocável.

para os teores foliares, revelou efeito significativo para a variável ano conforme pode ser observado na Tabela 13. Nota-se que os teores de Zn, de B e de Cu foram aumentando nas folhas, com o passar dos anos. No caso do cobre, foi feita apenas uma aplicação anual em todos os anos, na época de florescimento, geralmente nos meses de setembro a outubro, enquanto que as amostras de folhas foram coletadas sempre nos meses de fevereiro a março. Portanto, existe um período longo entre a aplicação e a amostragem, de tal modo que é pouco provável a existência de muito resíduo de cobre sobre as folhas.

Tudo indica que parte desses nutrientes aplicados nas folhas é absorvida diretamente, enquanto que outra parte, talvez bem maior, seja levada para o solo, acumulando-se com o tempo. Assim é possível explicar os efeitos da calagem sobre a concentração desses nutrientes nas folhas. Na Flórida o acúmulo de cobre no solo, causando toxicidade em pomares mais velhos, já foi reconhecido há muito tempo, (REUTHER & SMITH, 1952, 1954). Essa toxidez causa a morte de radículas e também induz a deficiência de ferro. Nota-se na Tabela 13, que os teores de Fe diminuíram com o tempo; talvez isto esteja associado com o acúmulo de cobre no solo (REUTHER & SMITH, 1952).

Com as doses mais elevadas de calcário os valores do pH do solo mantiveram-se acima de 5,0 e nesta condição foi possível manter os teores foliares de Cu abaixo de 15 ppm,

Tabela 12. Efeitos de doses de calcários calcítico e dolomítico sobre a concentração de micronutrientes nas folhas de laranja (médias de 4 anos).

Calcário		Mn	Cu	Zn	B	Fe
Cal.	Dol.	ppm				
t/ha						
0	0	89,2	25,1	30,5	50,7	162,5
3	0	70,5	20,8	31,7	65,6	161,7
6	0	57,5	15,0	26,3	57,1	161,2
9	0	56,5	15,3	31,5	57,6	168,2
0	3	65,2	20,3	29,8	59,0	171,0
3	3	59,0	17,3	28,6	59,5	154,2
6	3	56,2	14,2	27,7	57,4	163,9
9	3	55,5	16,2	27,6	60,7	166,2
0	6	58,2	14,6	27,0	56,8	159,2
3	6	56,0	17,2	29,3	64,4	171,2
6	6	54,2	15,7	29,1	58,6	180,2
9	6	54,7	18,1	31,0	57,4	169,7
0	9	54,2	16,0	28,1	62,0	173,2
3	9	52,5	15,8	29,3	60,9	178,5
6	9	52,0	15,9	28,7	52,1	180,2
9	9	49,7	14,5	30,8	51,2	177,0
F Cal.		**	**	NS	**	NS
F Dol.		**	*	NS	NS	**
F CalxDol		**	*	NS	**	NS
CV (%)		7,7	21,7	11,8	7,4	7,3

Tabela 13. Concentrações de micronutrientes nas folhas de laranjeira em vários de observação (Média de 16 tratamentos).

Ano		Cu	Zn	B	Fe
			ppm		
1986	61,5	8,8	20,6	48,8	174,8
1987	57,2	11,3	21,0	52,8	176,2
1988	51,4	12,6	30,0	55,5	168,5
1989	65,2	35,3	34,5	65,6	155,1
P.ano		**	*	**	*
CV (%)	7,0	21,7	11,2	7,4	7,2

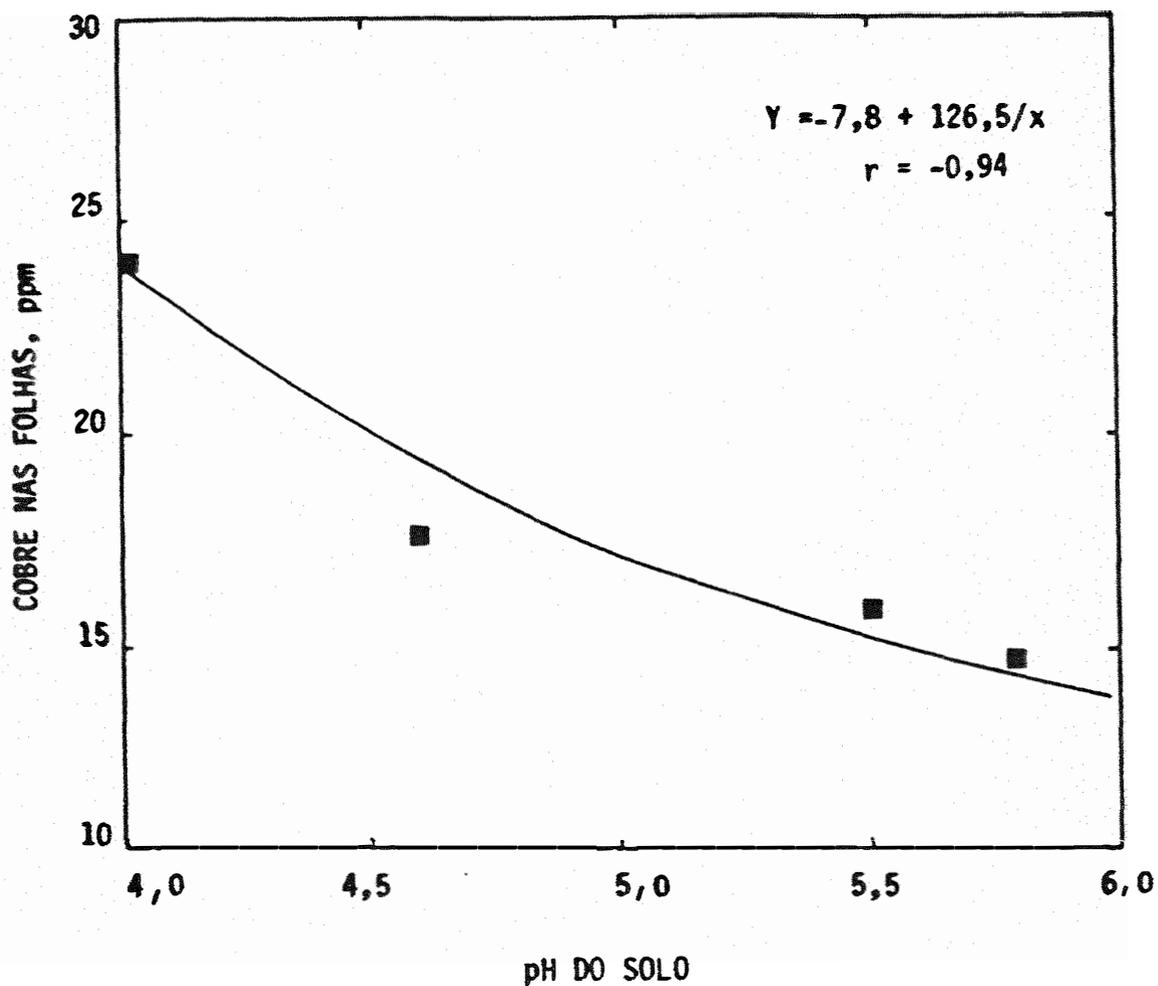


Figura 26 - Relação entre os valores do pH do solo obtidos com as doses 0, 6, 12 e 18 t/ha de calcário, com os teores foliares de Cu, para as médias de quatro anos.

que não são considerados tóxicos (Figura 26). CAMARGO (1988) reportou, com base em trabalhos da literatura que os teores de Cu na solução do solo, em função do pH, é dado pela seguinte expressão:  $\log \text{Cu}^{2+} = 2,8 - 2\text{pH}$ . Por essa equação, para  $\text{pH} = 4,0$  a concentração de  $\text{Cu}^{2+}$  na solução é da ordem de  $10^{-6}$  enquanto que para  $\text{pH} = 6,0$  é da ordem de  $10^{-10}$ , portanto, muitas vezes menor. Deste modo é possível interpretar os resultados da Figura 15, bem como as recomendações de REUTHER & SMITH (1954), de manter o pH do solo acima de 6,5 para se evitar a toxidez de cobre em pomares de citros.

#### 4.6. Alterações químicas no perfil do solo

Amostras de solo foram coletadas na camada arável e também em profundidade desde o início do experimento, em 1983. A partir de 1985, as amostragens começaram a ser feitas em dois locais (Figura 2), nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm.

Os resultados dessas análises produziram um número muito grande de dados, difícil de sintetizar para a apresentação no presente trabalho. Muitos desses resultados já foram apresentados e discutidos anteriormente. Resta agora destacar as alterações químicas mais relevantes que foram observadas, principalmente no último ano de observação (1989).

Um aspecto importante a ser discutido aqui diz respeito à acidificação do solo observada no transcorrer do experimento. A Figura 27 foi elaborada com os teores médios de Ca + Mg de todos os tratamentos, na camada arável e ajustados por regressão polinomial, após a análise conjunta de todos os anos. Nota-se que a acidificação é muito intensa, principalmente na região de adubação. A partir de 1986, a faixa de adubação foi bastante aumentada, para reduzir a acidificação do solo na região da projeção da copa e também permitir o melhor aproveitamento dos fertilizantes aplicados. Isto resultou também numa acidificação acelerada nas entre linhas das plantas, com velocidade ligeiramente superior à da região de adubação.

Basicamente a acidificação do solo em pomares de citros é decorrente do uso de fertilizantes nitrogenados, principalmente aqueles portadores de N na forma amoniacal ou amídica. Além disso, o enxofre elementar ainda é muito utilizado na citricultura para o controle de ácaros. WANDER (1954) realizou vários estudos sobre acidificação dos solos em pomares na Flórida e observou que a acidificação gerada por essas fontes de acidez, atingia profundidades de até 100 cm. Mesmo com doses elevadas de calcário ele não conseguiu restaurar a fertilidade daqueles solos estudados, principalmente em camadas mais profundas.

A acidificação do solo é quase inevitável nos pomares com citros, contudo, ela poderia ser reduzida

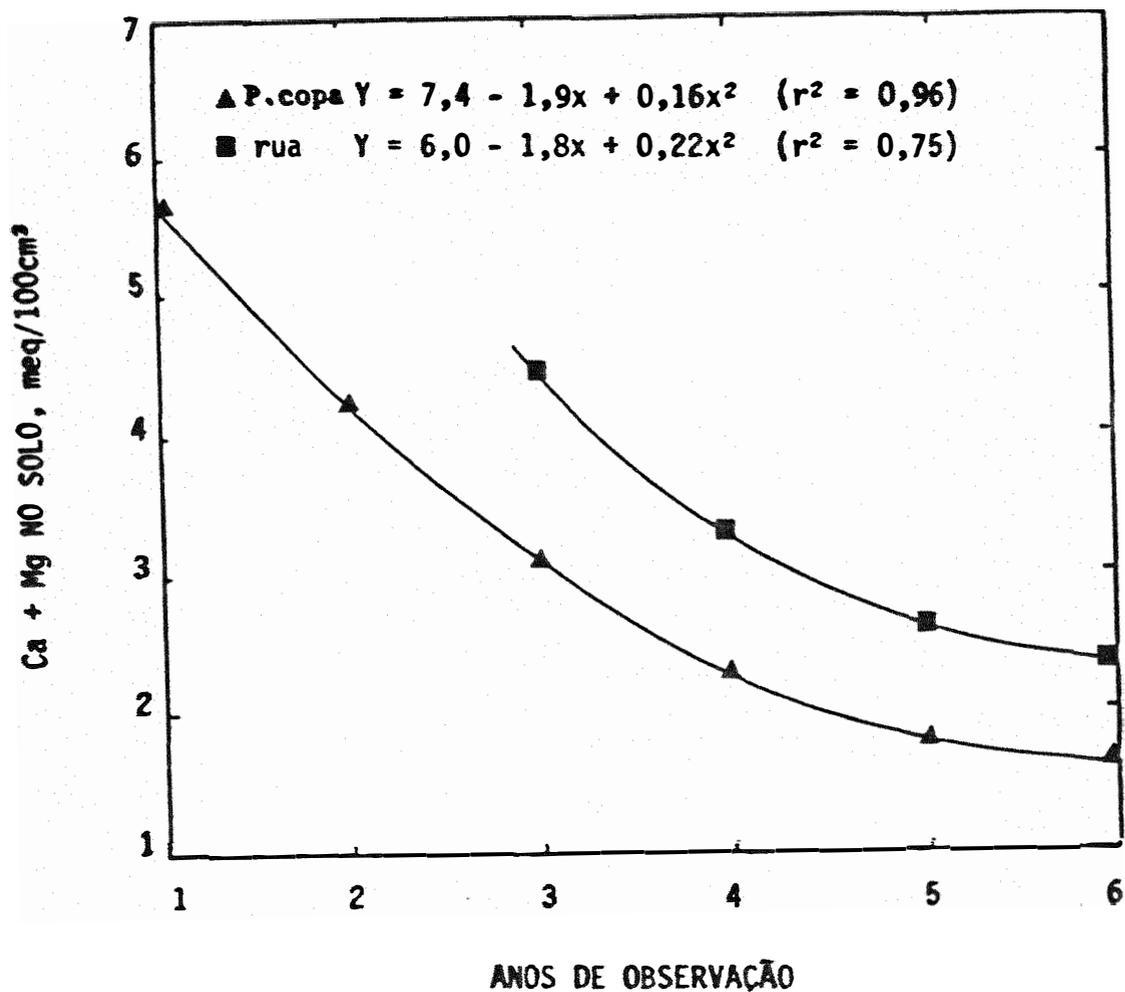


Figura 27 - Teores de Ca + Mg na camada arável do solo, em dois locais de amostragem, no período de 1983 a 1989, ajustados por regressão polinomial para as médias de todos tratamentos, dentro de cada ano.

evitando-se o uso de fertilizantes amoniacais e de enxofre elementar para o controle de ácaros. Além disso, é preciso ainda ampliar as faixas de adubação, evitando-se assim, a acidificação mais intensa na projeção das copas das plantas.

Em 1989, alguns tratamentos com doses iguais de calcários calcítico e dolomítico foram utilizados para observar as alterações químicas no perfil do solo. Essa amostragem representa um intervalo de 77 meses após a aplicação dos corretivos. Na Figura 28, estão representados os teores de Ca + Mg, até a profundidade de 40-60 cm. Nota-se que o efeito residual do calcário é considerável, principalmente para as maiores doses dos corretivos. As diferenças entre as regiões da projeção da copa e da rua são muito acentuadas. Os teores de cálcio, nas parcelas testemunha são menores do que  $0,4 \text{ meq}/100\text{cm}^3$  em todo perfil. São valores extremamente baixos, que segundo ADAMS & MOORE (1983), constituem-se em barreiras químicas ao crescimento normal do sistema radicular de culturas anuais. É possível que o problema seja ainda mais sério com o citros, por ser essa planta muito exigente em cálcio.

Neste trabalho observou-se que a calagem promoveu melhoria nas condições químicas do subsolo, principalmente na camada de 20-40 cm. Na camada de 40-60 cm, os efeitos são mais acentuados na amostragem da projeção da copa, o que era esperado, pois na faixa de adubação, é colocado uma

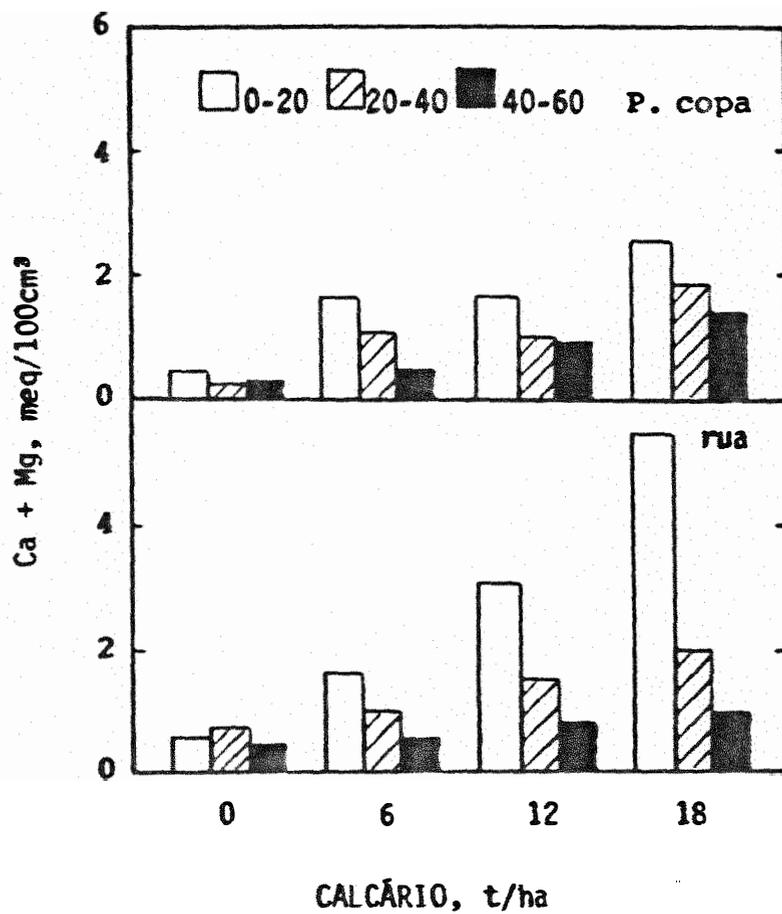


Figura 28 - Teores de Ca + Mg no perfil do solo, em alguns tratamentos selecionados 77 meses após a calagem.

quantidade grande de ânions, através dos fertilizantes. Contudo, nesta região existe também um efeito inverso, que é a acidificação mais intensa, conforme discutido anteriormente.

A dose de 12 t/ha foi capaz de manter a saturação por bases na camada arável, ao redor de 60% e 40%, respectivamente para as amostragens na rua e na projeção da copa, após 77 meses da aplicação dos corretivos (Figura 29). São esses valores de saturação por bases que corresponderam à produtividade máxima de frutos (Figura 6). Portanto, serve de explicação para a grande estabilidade de produção observada neste tratamento.

A adubação potássica foi igual em todas as parcelas, entretanto, observou-se teores de K trocável distintos entre as diferentes doses de calcário, nas três camadas amostradas (Figura 30). Nota-se que nas parcelas com doses maiores de calcário, nas quais a produtividade e portanto, a extração de potássio foram sempre maiores (Figura 6), os teores dele no solo são maiores.

Os efeitos são mais evidentes na região de adubação (projeção da copa), conforme era esperado devido à distribuição desuniforme de fertilizantes potássicos. Resultados semelhantes foram observados em trabalhos anteriores com culturas anuais (QUAGGIO et alii, 1982 e

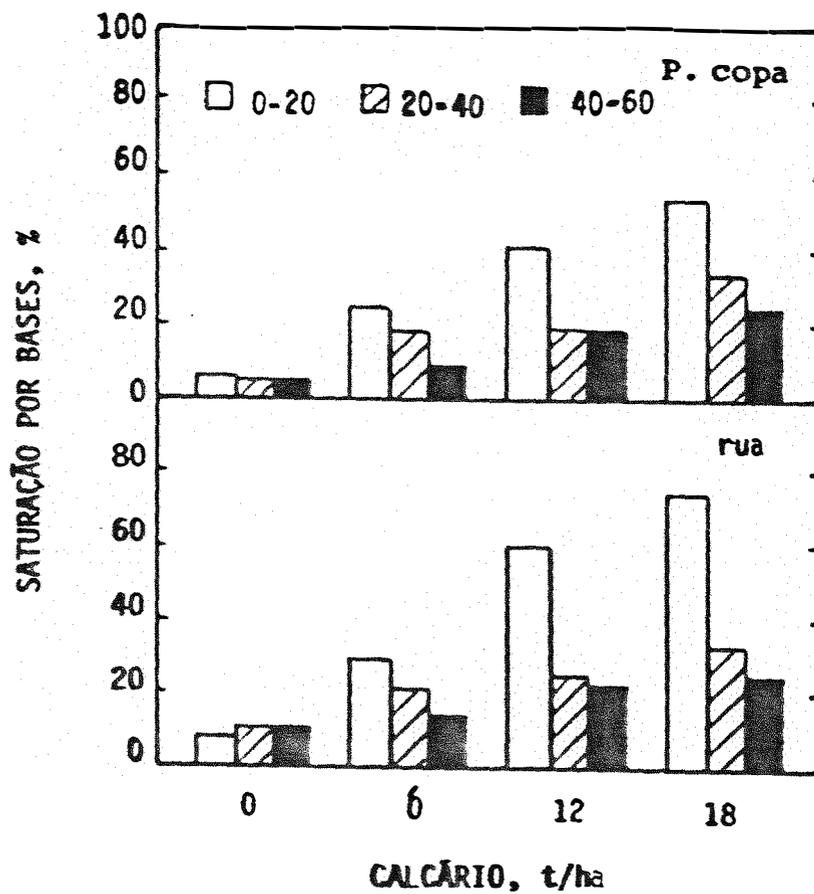


Figura 29 - Valores de saturação por bases no perfil do solo em alguns tratamentos selecionados, 77 meses após a calagem.

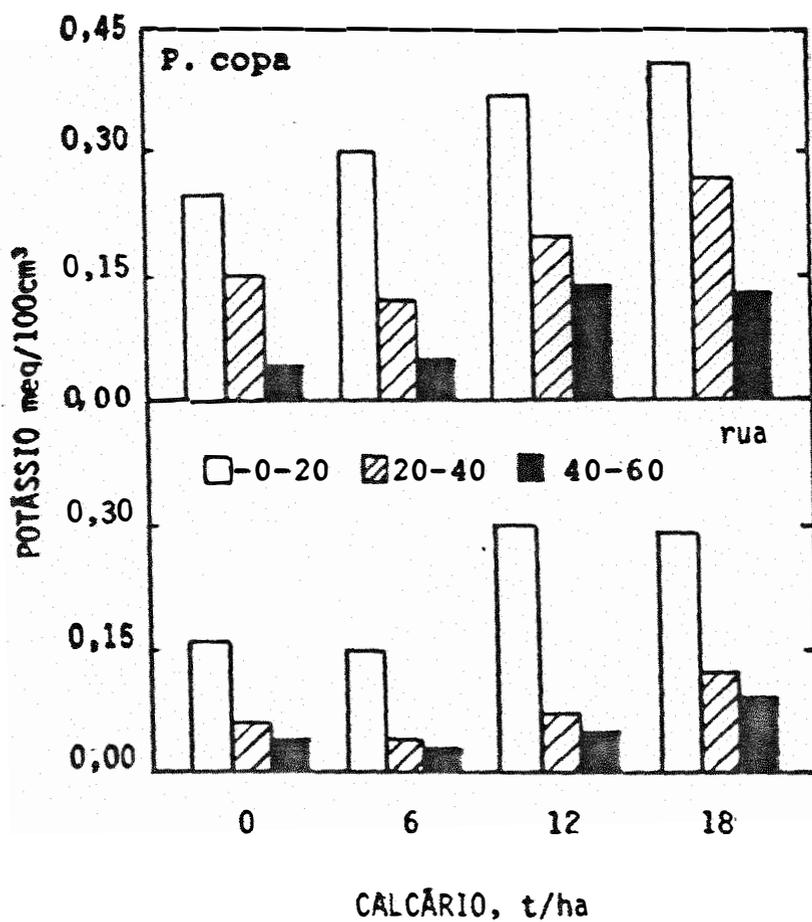


Figura 30 - Teores de K trocável no perfil do solo em tratamentos seleccionados, 77 meses após a calagem.

1991<sup>(1)</sup>). Nestes trabalhos, os autores concluíram que a maior retenção de K, devida à calagem, é decorrente da liberação de cargas negativas dependentes de pH e de concentrações maiores de outros contra-íons como  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , os quais acompanham os co-íons no processo de lixiviação. Esses resultados sugerem, que a calagem pode aumentar muito a eficiência dos fertilizantes potássicos na citricultura.

---

(1) QUAGGIO, J.A.; RAMOS, V.J.; FURLANI, P.R. & CARELLI, M.L.C. Liming and molybdenum effects on nitrogen uptake and grain yield of corn (Plant & Soil, no prelo)

## 5. CONCLUSÕES

Nas condições experimentais e com os resultados obtidos no presente estudo concluiu-se que:

-

A resposta da laranjeira à calagem foi muito acentuada: a produtividade e a lucratividade foram maximizadas em valores de saturação por bases ao redor de 60%, na camada arável;

- Os efeitos da calagem sobre o crescimento das plantas foram modestos, sendo que os ganhos de produtividade observados ocorreram devidos ao maior número de frutos por planta;

- A calagem aumentou os teores de sólidos solúveis e a acidez do suco. Esses efeitos foram decorrentes do maior fornecimento de magnésio às plantas;

- Tanto a análise de terra como de folhas são ferramentas eficientes para a avaliação da disponibilidade de Mg no solo para a laranjeira. Sintomas visuais de deficiência desse nutriente surgiram quando o solo possuía menos que  $0,8 \text{ meq}/100 \text{ cm}^3$  de Mg, ou quando os teores foliares eram inferiores a 0,3%;

- O calcário dolomítico é fonte eficiente de magnésio, para a laranjeira;

- Os teores foliares de Ca, Mg e K dependeram não somente dos teores destes nutrientes no solo, mas também das relações de equilíbrio entre eles;

- Existe forte antagonismo entre Ca e K na nutrição da laranjeira. Por essa razão, a relação Ca/K no solo é importante para assegurar bom suprimento de cálcio e alta produtividade;

- A calagem reduziu a disponibilidade de micronutrientes no solo para as plantas cítricas. No caso do cobre isto seria vantajoso para se evitar problemas de fitotoxicidade, com o acúmulo dele no solo;

- A acidificação do solo foi muito intensa, principalmente na região de adubação;

- A calagem quando feita na superfície reduz também a acidez do subsolo. Os efeitos foram diretamente proporcionais as doses de calcário.

- A calagem aumentou a eficiência dos fertilizantes potássicos aplicados, através da redução das perdas de K por lixiviação.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- 1 - ADAMS, F. & MOORE, L.B. Chemical factors affecting root growth in subsoil horizons of costal plain soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 47:99-102, 1983.
- 2 - ANDERSON, C.A. Effects of soil pH and calcium on yields and fruits quality of young Valencia oranges. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, Winter Haven, 84:4-11, 1971.
- 3 - ANDERSON, C.A. Fruits yields, tree size and mineral nutrition relationships in "Valencia" orange trees as affected by liming. *Journal of Plant Nutrition*, New York, 10:1907-16, 1987.
- 4 - ANDERSON, C.A. & ALBRIGO, L.G. Comparison of soil testing methods for predicting the status of leaf Mg and Ca of orange trees on dolomited soils. *Soil and Crop Science Society of Florida. Proceedings*, Gainesville, 32:149-52, 1973.

- 5 - ANDERSON, C.A. & ALBRIGO, L.G. Evaluation of soil testing for magnesium as predictive tools of magnesium status in citrus on dolomited soils. Soil and Crop Science Society of Florida. Proceedings, Gainesville, 31:127-30, 1971.
- 6 - ANDERSON, C.A. & MARTIN, F.G. Effects of soil pH and calcium on the growth and mineral uptake of Young citrus trees. Proceedings of the Florida State Horticultural Society, Winter Haven, 82:7-12, 1969.
- 7 - ASO, P.J. & BUSTOS, V.N. Condiciones del suelo relacionadas con la deficiência de Mg de los citros em Tucman. Revista Industrial y Agricola de Tucuman, Tucuman, 57:9-13, 1981.
- 8 - AVERNA-SACCÁ, R. A chlorose da laranjeira e de outras plantas nas terra ferruginosas. Boletim de Agricultura, São Paulo, 13:129-50, 1912.
- 9 - BATAGLIA O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. Métodos de análise química de plantas. Campinas, Instituto Agronômico, 1983. 48 p. (Boletim Técnico, 78).

- 10 - CAETANO, A.A.; RODRIGUEZ, O.; HIROCE, R.; BATAGLIA, O.C. Nutritional survey of forty sweet oranges groves in Bebedouro, SP, Brazil. In: INTERNATIONAL CITRUS CONGRESS, 6., São Paulo, 1984. Proceedings. Griffith, International Society of Citriculture, 1987. v. 1, p.151-4.
- 11 - CAMARGO, O.A. Reações e interações de micronutrientes no solo. In: SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Jaboticabal, 1988. Anais. Jaboticabal, UNESP/FCAV, 1988. p.405-48.
- 12 - CAMP, A.F. Magnesium in citrus fertilization in Florida. Soil Science, Batimore, 63:43-52, 1947.
- 13 - CHAPMAN, H.D. The mineral nutrition of citrus. In: REUTHER, W.; BATCHELOR, L.D.; WEBBER, H.J., ed. The citrus industry, Berkeley University of California Press, 1968. v. 2, cap. 3, p.127-289.
- 14 - CHAPMAN, H.D. & KELLEY, W.P. The mineral nutrition of citrus. In: WEBBER, H.J. & BATCHELOR, L.D., ed. The citrus industry, Berkley, University of California Press, 1943. v. 1, cap. 7.

- 15 - CRUZ, L.S.P.; RODRIGUEZ, O.; IGUE. T. Reação da laranjeira Natal à aplicação de adubos minerais e orgânicos nas covas de plantio. *Bragantia*, Campinas, 30:307-18, 1971.
- 16 - GRUPO PAULISTA DE ADUBAÇÃO E CALAGEM PARA CITROS. Recomendações de adubação de calagem para citros no Estado de São Paulo. Cordeirópolis, Laranja, 11:1-14, 1990.
- 17 - HARDING, R.B. Exchangeable cations in soils of California orange orchards in relation to yield and size of fruit and leaf composition. *Soil Science*, Baltimore, 77:119-27, 1954.
- 18 - HIATT, A.J. & LEGGETT. Ionic interactions and antagonisms in plants. In: CARSON, E.N., ed. *The plant root and its environment*. The University Press of Charlottesville, Virginia, 1974, Cap. 5, p.101-34.
- 19 - ILEY, J.F. & GUILFORD, H.E. Excess of dolomite and lime plots display conditions very similar to YTD. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, Winter Haven, 91:62-6, 1978.

- 20 - JACOBY, B. Calcium - magnesium ratios in the root medium as related to magnesium uptake by citrus seedlings. *Plant and Soil*, Dordrecht, 15:74-80, 1961.
- 21 - KIRKBY, E.A. & MENGEL, K. Ionic Balance in different tissues of Tomatos plant in relation to nitrate, urea, or ammonium nutrition. *Plant Physiology*, Waltham, 42:6-14, 1967.
- 22 - KIRKBY, E.A. & KNIGHT, A.H. Influence of the level of nitrate nutrition on ion uptake and assimilation, organic acid accumulation, and cation - anion balance in whole tomato plants. *Plant Physiology*, Waltham, 60:349-53, 1977.
- 23 - KOO, R.C. A comparison of magnesium sources for citrus. *Soil and Crop Science Society of Florida. Proceedings*, Gainesville, 31:137-40, 1971.
- 24 - KOO, R.C.; ANDERSON, C.A.; STEWART, I.; TUCKER, D.P.H; CALVERT, D.V.; WUTSCHER, H. pH control. In: KOO R.C.J., ed. *Recommended fertilizers and nutritional sprays for citrus*. Lake Alfred, Agriculture Expt. Inst. Stat. of Food and Agric. Science, 1984. p.11-12.

- 25 - LORD, E.L. Soil Condition and citrus tree responses. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society, Winter Haven, 43:17-25, 1930.**
- 26 - McCOLLOCH, R.C.; BINGHAM, F.T.; ALDRICH, D.G. Relation of soil potassium and magnesium to magnesium nutrition of citrus. **Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 21:85-8, 1957.**
- 27 - MARTIN, J.P. & PAGE, A.L. Influence of exchangeable Ca and Mg and of percentage base saturation on growth of citrus plants. **Soil Science, Baltimore, 107:39-46, 1969.**
- 28 - MARTIN, J.P.; HARDING, R.B.; MURPHY, W.S. Effects of various soil exchangeable cations ratios on growth and chemical composition of citrus plants. **Soil Science, Baltimore, 76:285-95, 1953.**
- 29 - MOSS, G.I. & HIGGINS, M.L. Magnesium influences on the fruit quality of sweet orange (*Citrus sinnensis* L. OSBECK). **Plant and Soil, Dordrecht, 41:103-12, 1974.**
- 30 - OLIVEIRA, J.B. & ROTTA, C.L. Levantamento pedológico detalhado da Estação experimental de Limeira, SP. **Bragantia, Campinas, 32:1-60, 1973.**

- 31 - PRATT, P.F.; JONES, W.W.; BINGHAM, F.T. Magnesium and potassium contents of orange leaves in relation to exchangeable magnesium and potassium in the soil at various depths. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, Alexandria, 70:245-51, 1957.
- 32 - 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, 6:189-94, 1982.
- 33 - QUAGGIO, J.A.; ISHIMURA, I.; SAES, L.A.; YANAI, K. Resposta da abobrinha-italiana a doses de calcários com diferentes teores de magnésio em solo orgânico do Vale do Ribeira (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 11:167-73, 1987.
- 34 - QUAGGIO, J.A.; RAMOS, V.J.; BATAGLIA, O.C.; RAIJ B. van; SAKAI, M. Calagem para a sucessão batata-triticaile-milho usando calcários com diferentes teores de magnésio. *Bragantia*, Campinas, 14:391-406, 1985.

- 35 - RAIJ, B. van & QUAGGIO, J.A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agrônômico, 1983. 31p. (Boletim Técnico, 81).
- 36 - RAIJ, B. van; SILVA, N.M; BATAGLIA, O.C. e outros. Recomendações de Adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agrônômico, 1985. 15p. (Boletim Técnico, 100).
- 37 - RASMUSSEN, R.K. & SMITH P.F. Growth of pineapple orange seedlings in sand cultures with various levels of K, Ca and Mg. Soil and Crop Science Society of Florida. Proceedings, Gainesville, 20:183-90, 1960.
- 38 - REUTHER, W. & SMITH, P.F. Fe chlorosis in Florida citrus groves in relation to certain soil constituents. Proceedings of the Florida State Horticultural Society, Winter Haven, 65:62-9, 1952.
- 39 - REUTHER, W. & SMITH, P.F. Toxic effects of accumulated Cu in Florida soils. Proceedings of the Florida State Horticultural Society, Winter Haven, 14:17-23, 1954.

- 40 - RODRIGUEZ, O. & GALLO, J.R. Levantamento do estado nutricional de pomares cítricos de São Paulo pela análise foliar. *Bragantia*, Campinas, 20:1183-202, 1960.
- 41 - RODRIGUEZ, O. Nutrição e adubação dos citros. In: RODRIGUEZ, O. & VIEGAS F.C.P, ed. *Citricultura brasileira*. Campinas, Fundação Cargill, v.2, cap. 15, p.387-428. 1980.
- 42 - RODRIGUEZ, O; ROESSING, C.; ABRAMIDES, E. Reação de plantas cítricas em viveiros à adubação NPK. *Ciência e Cultura*, São Paulo, 17:201-5, 1965.
- 43 - SMITH, P.F. Citrus nutrition. In: CHILDERS, N.F., ed. *Temperate to tropical fruit nutrition*. Somerset, Somerset Press, 1966a. cap. 7, p.174-207.
- 44 - SMITH, P.F. Leaf analysis of citrus. In: CHILDERS N.F., ed. *Temperate to tropical fruit nutrition*. Somerset, Somerset Press, 1966b. cap. 8, p.208-28.
- 45 - SMITH, P.F. Hydrogen-ion toxicity on citrus *Journal American Society for Horticultural Science*, Alexandria, 96:462-3, 1971.

- 46 - SPENCER, W.F. Effects of heavy application of phosphate and lime on nutrient uptake, growth, freezy injury, and root distribution of grapefruit trees. *Soil Science*, Baltimore, 89:311-8, 1960a.
- 47 - SPENCER, W.F. Some considerations pertaining to the use of soil analysis in citrus production. *Soil and Crop Science Society of Florida. Proceedings*, Gainesville, 20:371-81, 1960b.
- 48 - SPENCER, W.F. & KOO, R.E.J. Calcium deficiency in field grown citrus trees. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, Alexandria, 81:102-208, 1962.
- 49 - SPENCER, W.F. & WANDER, I.W. A comparison of magnesium sources for young orange trees. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, Winter Haven, 73: 28-35, 1960.
- 50 - WANDER, I.W. Sources contributing to subsoil acidity in Florida citrus groves. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, Alexandria, 64:105-10, 1954.
- 51 - WEIR, C.C. Nutrient element balance in citrus nutrition. *Plant and Soil*, Dordrecht, 15:405-14, 1969.

- 52 - WUTSCHER, H. Comparison of soil, leaf and Feeder root nutrient levels in the citrus Blight free and citrus Blight-affected areas of a Hamlin orange grove. Proceedings of the Florida State Horticultural Society, Winter Haven, 99:74-7, 1986.
- 53 - WUTSCHER, H. Soil pH and extractable elements under Blight-affected and Healthy citrus trees on six Florida Soils. Journal of the American Society for Horticultural Science, Alexandria, 114:611-4, 1989.
- 54 - WUTSCHER, H. & LEE, O. Soil pH and extractable mineral elements in and around an isolate citrus Blight site. Proceedings of the Florida State Horticultural Society, Winter Haven, 101:70-2, 1988.