EFEITOS DE DIFERENTES NÍVEIS DE CÁLCIO E DE
MAGNÉSIO SOBRE ALGUMAS PROPRIEDADES QUÍMICAS
DO SOLO, CRESCIMENTO E COMPOSIÇÃO MINERAL
DO SORGO (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) E DO
VIGNA (*Vigna unguiculata* (L.) Walp).

JOSÉ RIBAMAR PEREIRA

Orientador: Prof. Dr. TOSHIKI KINJO

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

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Março - 1980

AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Toshiaki Kinjo pelo constante apoio e orientação durante o Curso e na realização deste trabalho.
- Aos Profs. Henrique Bergamin Filho e Francisco José Krug, pelas facilidades oferecidas para realização das análises de plantas no Laboratório de Radioquímica e Química Analítica do CENA/USP.
- A equipe do Laboratório de Solos do Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido, EMBRAPA, pela ajuda nas análises dos solos.
- Aos abnegados professores do Curso de Solos e Nutrição de Plantas, pelos exemplos e ensinamentos.
- Ao Departamento de Geologia, Solos e Fertilizantes e à ESALQ, pelas facilidades oferecidas para execução dos trabalhos inerentes ao Curso.
- A EMBRAPA pela oportunidade desse aperfeiçoamento.
- Aos Eng^{os}. Agr^{os}. Renival Alves de Souza e Manoel Abílio de Queiroz, Chefe e Chefe Adjunto-Técnico do Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido/EMBRAPA, pelo decidido apoio e estímulo para a realização desse Curso.
- A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho.

Í N D I C E

	Pág.
RESUMO	1
1. INTRODUÇÃO	3
2. REVISÃO DE LITERATURA	6
2.1 - Natureza da Troca de Cátions em Relação aos Coloides .	6
2.2 - Efeito da Adição de Cálcio e Magnésio Sobre as Caracte rísticas do Solo e Disponibilidade de Nutrientes	10
2.3 - Interrelação Entre Cálcio, Magnésio e Potássio, em Rela ção à Nutrição de Plantas	17
3. MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.1 - Local de Execução	30
3.2 - Solos	30
3.3 - Caracterização Química e Física	31
3.4 - Tratamentos	31
3.5 - Delineamento Experimental	33
3.6 - Instalação do Experimento	33
3.7 - Análise do Solo	34
3.7.1 - Bases trocáveis	34
3.7.2 - Acidez titulável (H^+ + Al^{+++})	34
3.7.3 - Acidez trocável (Al^{+++})	34
3.7.4 - Soma das bases (S)	34
3.7.5 - Fósforo disponível	35
3.7.6 - Carbono orgânico	35
3.7.7 - pH	35
3.7.8 - Extrato do solo para fins de análises químicas	35
3.7.9 - Atividades do cálcio, magnésio e potássio	35
3.8 - Análises das Plantas	36

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1 - Efeito dos Tratamentos Sobre as Características dos So los	37
4.2 - Produção de Matéria Seca das Plantas de Sorgo e Vigna	52
4.3 - Efeito dos Tratamentos Sobre a Absorção de Ca, Mg, K, B, Cu, Fe, Mn e Zn pelas Plantas	69
4.4 - Relação Entre os Teores de Cálcio e Magnésio e Produ- ção de Matéria Seca do Sorgo e Vigna	102
5. CONCLUSÕES	104
6. SUMMARY	107
7. BIBLIOGRAFIA	109

LISTA DE TABELAS

	Pág.
1. Características físicas e químicas da camada de 0-30 cm dos dois solos: LVE, série Gamium e PVA, série Godinhos	32
2. Cátions trocáveis e pH, em função dos diferentes níveis de cálcio e magnésio adicionados ao solo (LVE)	38
3. Cátions trocáveis e pH, em função dos diferentes níveis de cálcio e magnésio adicionados ao solo (PVA)	39
4. Índices de saturação e atividades do cálcio, magnésio e potássio, em função dos níveis de cálcio e magnésio adicionados ao solo (LVE)	42
5. Índices de saturação e atividades do cálcio, magnésio e potássio, em função dos níveis de cálcio e magnésio adicionados ao solo (PVA)	43
6. Produção de matéria seca (M.S.) do sorgo e concentração de cálcio, magnésio e potássio, em função dos diferentes níveis de cálcio e magnésio adicionados ao solo (LVE)	53
7. Produção de matéria seca (M.S.) do vigna e concentração de cálcio, magnésio e potássio, em função dos diferentes níveis de cálcio e magnésio adicionados ao solo (LVE)	54
8. Produção de matéria seca de sorgo (M.S.) e concentração de cálcio, magnésio e potássio, em função dos diferentes níveis de cálcio e magnésio adicionados ao solo (PVA)	55
9. Produção de matéria seca (M.S.) de vigna e concentração de cálcio e magnésio e potássio, em função dos diferentes níveis de cálcio e magnésio adicionados ao solo (PVA)	56
10. Concentrações de fósforo e micronutrientes em plantas de sorgo, em função dos diferentes níveis de cálcio e magnésio adicionados ao solo (LVE)	65
11. Concentrações de fósforo e micronutrientes em plantas de vigna, em função dos diferentes níveis de cálcio e magnésio adicionados ao solo (LVE)	66

12. Concentrações de fósforo e micronutrientes em plantas de sorgo, em função dos diferentes níveis de cálcio e magnésio adicionados ao solo (PVA)	67
13. Concentrações de fósforo e micronutrientes em plantas de vigna, em função dos diferentes níveis de cálcio e magnésio adicionados ao solo (PVA)	68
14. Equações de regressão, valores do teste F linear (Fb) e quadrático (Fc) e coeficiente de determinação (R^2) entre as concentrações de magnésio, potássio, fósforo, boro, cobre, ferro, manganês e zinco, nas plantas de sorgo e vigna (y) e a atividade do cálcio (x) no solo (LVE)	85
15. Equações de regressão, valores do teste F linear (Fb) e quadrático (Fc) e coeficiente de determinação (R^2) entre as concentrações de magnésio, potássio, fósforo, boro, cobre, ferro, manganês e zinco, nas plantas de sorgo e vigna (y) e a atividade do cálcio (x) no solo (PVA)	86
16. Equações de regressão, valores do teste F linear (Fb) e quadrático (Fc) e coeficiente de determinação (R^2) entre as concentrações de cálcio, potássio, fósforo, boro, cobre, ferro, manganês e zinco nas plantas de sorgo e vigna (y) e a atividade do magnésio (x) no solo (LVE)	87
17. Equações de regressão, valores do teste F linear (Fb) e quadrático (Fc) e coeficientes de determinação (R^2) entre as concentrações de cálcio, potássio, fósforo, boro, cobre, ferro, manganês e zinco nas plantas de sorgo e vigna (y) e a atividade do magnésio (x) no solo (PVA)	88
18. Análises de regressão, valores do teste F linear (Fb) e quadrático (Fc) e coeficientes de determinação (R^2) entre os valores da soma do Ca, Mg e K no solo (x) e nas plantas de sorgo e vigna (y), expressados em e.mg/100g de TFSA e de matéria seca, respectivamente	89

19. Equações de regressão, valores do teste F linear (Fb) e quadrático (Fc) e coeficientes de determinação (R^2) relacionadas às proporções nas plantas de sorgo e vigna (y) expressados em e.mg/100g de TFSA e de matéria seca, respectivamente, e com as produções de matéria seca das duas culturas (M.S.) 90
20. Equações de regressão, valores do teste F linear (Fb) e quadrático (Fc) e coeficiente de determinação (R^2) entre as produções de matéria seca (M.S.) do sorgo e do vigna cultivados nos dois solos e os níveis de saturação em cálcio (SCa) e magnésio (SMg) 92
21. Equações de regressão, valores do teste F linear (Fb) e quadrático (Fc) e coeficiente de determinação (R^2) entre as produções de matéria seca (M.S.) do sorgo e do vigna cultivados nos dois solos e os teores de cálcio (Ca^{++}) e magnésio (Mg^{++}) trocáveis 93
22. Equações de regressão, valores do teste F linear (Fb) e quadrático (Fc) e coeficiente de determinação (R^2) entre peso de matéria seca (M.S.) do sorgo e do vigna cultivados nos dois solos e a atividade do cálcio (ACa) e do magnésio (AMg) 94
23. Equações de regressão, valores do teste F linear (Fb) e quadrático (Fc) e coeficientes de determinação (R^2) entre as concentrações de potássio, fósforo, boro, cobre, ferro, manganês e zinco nas plantas de sorgo e vigna (y) e o pH (x) no solo (LVE) 97
24. Equações de regressão, valores do teste F linear (Fb) e quadrático (Fc) e coeficiente de determinação (R^2) entre as concentrações de fósforo, boro, potássio, cobre, ferro, manganês e zinco nas plantas de sorgo e vigna (y) e o pH (x) do solo (PVA) 99

25. Equações de regressão, valores do teste F linear (Fb) e quadrático (Fc) e coeficientes de determinação (R^2) entre o peso da matéria seca do sorgo (M.S.s) e do vigna (M.S.v) em relação às concentrações de cálcio e magnésio nas respectivas plantas (x) 103

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1. Relação entre a acidez trocável (Al^{+++}) e o pH dos dois solos	41
2. Relação entre o pH e o índice de saturação de bases (V%) dos dois solos	45
3. Relação entre o índice de saturação de bases e a atividade do cálcio na solução do solo	46
4. Relação entre o índice de saturação de bases e a atividade do cálcio na solução do solo	47
5. Relação entre o índice de saturação de bases e a atividade do magnésio na solução do solo	48
6. Relação entre o índice de saturação de bases e a atividade do magnésio na solução do solo	49
7. Relação entre a atividade do cálcio e a saturação em cálcio (SCa) dos dois solos	50
8. Relação entre a atividade do magnésio e a saturação em magnésio (SMg) dos dois solos	51
9. Produção de matéria seca (M.S.) do sorgo e vigna em relação à saturação em cálcio (SCa) dos dois solos	58
10. Produção de matéria seca (M.S.) do sorgo e vigna, em relação ao cálcio trocável (Ca^{++}) dos dois solos	59
11. Produção de matéria seca (M.S.) do sorgo e vigna, em relação à atividade do cálcio (Aca) dos dois solos	60
12. Produção de matéria seca (M.S.) do sorgo, em relação ao pH dos dois solos	62
13. Produção de matéria seca (M.S.) do vigna, em relação ao pH dos dois solos	63
14. Relação entre a concentração de cálcio na matéria seca (M.S.) do sorgo e a saturação em cálcio (SCa) dos dois solos	70
15. Relação entre a concentração de cálcio na matéria seca (M.S.) do vigna e a saturação em cálcio (SCa) dos dois solos	71

16. Relação entre a concentração de cálcio na matéria seca (M. S.) do sorgo e o cálcio trocável (Ca^{++}) dos dois solos ..	72
17. Relação entre a concentração de cálcio na matéria seca (M. S.) do v ^o igna e o cálcio trocável (Ca^{++}) dos dois solos ..	73
18. Relação entre a concentração de cálcio na matéria seca (M. S.) do sorgo e a atividade do cálcio (ACa) dos dois solos ..	74
19. Relação entre o cálcio na matéria seca (M.S.) do vigna e a atividade do Cálcio (ACa) dos dois solos	75
20. Relação entre o magnésio na matéria seca (M.S.) do sorgo e a atividade do magnésio (AMg) dos dois solos	76
21. Relação entre o magnésio na matéria seca (M.S. do vigna e a saturação em magnésio (SMg) dos dois solos	77
22. Relação entre o magnésio na matéria seca (M.S.) do sorgo e o magnésio trocável (Mg^{++}) dos dois solos	78
23. Relação entre o magnésio na matéria seca (M.S.) do vigna e o magnésio trocável (Mg^{++}) dos dois solos	79
24. Relação entre o magnésio na matéria seca (M.S.) do sorgo e a atividade do magnésio (AMg) dos dois solos	80
25. Relação entre o magnésio na matéria seca (M.S.) do vigna e a atividade do magnésio (AMg) dos dois solos	81

RESUMO

Estudaram-se os efeitos de crescentes níveis de cálcio e de magnésio sobre algumas propriedades químicas de dois solos e suas relações com o crescimento do sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] e do vigna [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] e a absorção de nutrientes por estas plantas. Os dois solos utilizados foram Latossolo Vermelho Escuro, série Guamium (Typic Haplorthox) e Podzólico Vermelho Amarelo, série Godinhos (Aquic Distropept), ambos do Município de Piracicaba, São Paulo.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", em Piracicaba. Os tratamentos consistiram em adicionar Ca(OH)_2 e MgO aos solos, para atingir crescentes níveis de saturação em cálcio e magnésio, respectivamente. As amostras de solo, pesando 6,0 kg, foram colocadas em vasos e umedecido até a tensão correspondente a 0,3 atm. e incubado. Após 21 dias foi retirado 1,0 kg de solo de cada vaso para fins de análises. Nos 5,0 kg restantes foram plantados sorgo e vigna, deixando-se após a germinação, seis plantas de sorgo e quatro de vigna. Ao final de 30 dias, após a germinação, as plantas foram colhidas secas a 60-70°C e moídas para fins de análises.

A adição de Ca(OH)_2 e MgO aos dois solos provocou: a) au-

mento dos teores trocáveis e das atividades dos íons cálcio e magnésio, respectivamente; b) decréscimo da acidez titulável ($H^+ + Al^{+++}$) e da acidez trocável (Al^{+++}); e c) aumento do pH. Os crescentes níveis de cálcio e magnésio tiveram um efeito recíproco em incrementar a atividade um do outro na fase líquida do solo.

Os parâmetros de cálcio e magnésio do solo, quando estes isoladamente constituíam os tratamentos, tiveram um efeito quadrático sobre as produções de matéria seca das culturas. Entretanto, englobando-se todos os dados de todos os tratamentos, não foi encontrada nenhuma relação. Isto devido as diferentes proporções de Ca:Mg nos solos. O pH teve um efeito quadrático sobre o desenvolvimento das plantas.

A proporção Ca:Mg, na forma trocável, correlacionou com idêntica relação nas plantas, o mesmo não aconteceu em relação à produção de matéria seca das mesmas. Quanto à proporção K:Ca + Mg nos solos e plantas, somente em relação ao vigna cultivado no PVA foi constatada uma correlação linear entre as duas séries de valores. Esta mesma relação teve um efeito quadrático sobre a produção de matéria seca das duas culturas nos dois solos.

Os teores de cálcio e de magnésio aumentaram com os crescentes níveis desses elementos adicionados ao solo. Potássio, fósforo e cobre, somente em alguns casos foram afetados. As concentrações de boro, ferro, manganês e zinco, de uma maneira geral, decresceram inversamente com as atividades do cálcio e do magnésio e com o pH dos solos. A produção de matéria seca das duas culturas nos dois solos não correlacionou com a absorção de cálcio pelas mesmas. Resultados diferentes foram obtidos em relação à concentração de magnésio, onde se constatou um efeito quadrático desse parâmetro sobre o rendimento de matéria seca do sorgo e vigna no PVA e sorgo no LVE.

1. INTRODUÇÃO

Cálcio, magnésio e potássio constituem os três cátions que são absorvidos pelas plantas em maior quantidade. No solo, são encontrados como minerais primários e secundários, contidos na matéria orgânica, adsorvidos sobre os colóides e em solução. As formas trocáveis e em solução são as mais importantes sob o ponto de vista nutricional, as quais estão em equilíbrio dinâmico, mantendo entre si uma relação constante. A disponibilidade desses nutrientes para as plantas variam, não só em função das quantidades trocáveis, mas também, em função do tipo de coloide, índice de saturação e natureza do íon complementar (TISDALE e NELSON, 1969).

As quantidades relativas das bases trocáveis nos solos normais seguem a ordem: cálcio > magnésio > potássio > sódio, variando, entretanto, os teores de alumínio e hidrogênio resultando, muitas vezes, em uma baixa porcentagem de saturação de bases, principalmente em solos das regiões tropicais úmidas. Nos solos das regiões semi-áridas, não raro, os teores de sódio ou magnésio excedem os de cálcio.

Tendo em vista que o cálcio, magnésio e potássio são absorvidos principalmente da solução do solo, torna-se importante o conhecimento das interrelações entre as atividades dos mesmos em relação à fa-

se adsorvida e à absorção pelas plantas. Com relação a este aspecto, estes três elementos devem estar no solo em proporções adequadas, caso contrário, pode ocorrer inibição de um elemento por outro, causando diminuição no crescimento e, conseqüentemente, na produtividade. Sobre o efeito do equilíbrio entre estes três cátions, em relação à absorção pelas plantas, existe vasta literatura a respeito, entretanto, as informações são de certo modo conflitantes (PIERRE e BOWER, 1943; BLACK, 1968 e FASSBENDER, 1975).

Resultados experimentais têm indicado que tanto sinergismo como inibição competitiva podem ocorrer entre cálcio, magnésio e potássio, dependendo da concentração relativa de cada um no substrato e das características da planta (MALAVOLTA, 1976 e DEKOK, 1964). Os reflexos do interrelacionamento entre esses três nutrientes têm sido avaliados de várias formas, desde a utilização de dados de produtividade até a investigação do comportamento dos mesmos, a nível bioquímico nas plantas.

Os solos das regiões tropicais úmidas, normalmente têm baixos teores de cálcio e magnésio. Entretanto, a adição de materiais ao solo contendo estes elementos é feita geralmente visando a correção da acidez. A elevação do pH, em decorrência do uso de corretivos, pode provocar alterações nas características químicas do solo, afetando a disponibilidade da maioria dos nutrientes e, conseqüentemente, a produtividade das culturas. Problemas de desequilíbrio nutricional, principalmente em relação aos micronutrientes, são encontrados frequentemente em solos encalados excessivamente e das regiões semi-áridas e áridas, onde normalmente os teores de bases trocáveis e o pH são elevados.

Este trabalho foi realizado com a finalidade de estudar, em dois solos: Latossolo Vermelho Escuro e Podzólico Vermelho Amarelo, os efeitos de diferentes proporções de cálcio e magnésio adicionados, nas formas de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ e MgO , respectivamente, sobre:

- a) Teores trocáveis de cátions no solo;
- b) Atividades do cálcio, magnésio e potássio da fase líquida do solo;

- c) Variação do pH;
- d) Crescimento de plantas de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e vigna (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) e a absorção de nutrientes, em função dos parâmetros de cálcio e magnésio no solo;
- e) Interrelações entre as produções de matéria seca e a absorção de cálcio e magnésio pelas plantas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 - Natureza da Troca de Cátions em Relação aos Coloides.

Os cátions adsorvidos sobre os coloides do solo estão sujeitos a trocas com outros existentes na solução do solo. Os principais cátions, sob o ponto de vista de quantidade, são cálcio, magnésio, potássio, sódio, alumínio e hidrogênio. O sódio pode representar uma considerável fração em solos de regiões semi-áridas e áridas e o hidrogênio e alumínio, em solos ácidos das regiões úmidas (BLACK, 1968 e BRADDY, 1974). A energia, com que os cátions estão adsorvidos, varia em função do raio iônico, valência, grau de hidratação do mesmo e natureza do coloide (RUSSEL e RUSSEL, 1977 e FASSBENDER, 1975). Desse modo visualizam-se os aspectos de seletividade iônica, pelo qual, adsorvido um íon com mais energia, seria necessária uma alta concentração de outro íon com menor energia de adsorção, para deslocá-lo dos sítios de troca. De acordo com o trabalho de GIESEKING e JENNY (1936), que relaciona superfícies trocadoras e a série preferencial, um solo que esteja saturado com cálcio não terá este íon facilmente deslocado pelo potássio, a não ser que outras condições, como concentração e relação solo/solução, venham a influenciar. De uma maneira geral, uma argila, quando saturada com cálcio, magné-

sio, potássio e sódio em contato com uma solução salina, as quantidades de cátions deslocados pelo cátion do sal ocorrem na seguinte ordem decrescente: $\text{Na} > \text{K} > \text{Mg} > \text{Ca}$. BOWER e TROUG (1940) obtiveram maiores valores para CTC, quando determinado com cátions divalentes comparado com cátions monovalentes, isto, devido à adsorção preferencial dos cátions divalentes como cálcio e magnésio..

Devido à natureza físico-química das origens das cargas negativas dos coloides do solo, tais como substituição isomórfica, arestas quebradas, dissociação dos H dos grupos AlOH , SiOH , FeOH e também dos grupos funcionais da matéria orgânica, a adsorção de cátions se dá com diferentes forças atrativas. BECKET (1965), trabalhando com solos onde havia predominância de montmorilonita na fração argila, postulou a existência de pontos específicos com alta capacidade de retenção de cálcio, em relação à retenção de magnésio. Esta preferência, entretanto, poderia estar relacionada à matéria orgânica do solo, cujo teor era de 3,1%. SALMON (1964) demonstrou este aspecto ao comparar a adsorção preferencial da bentonita e ilita com um solo orgânico. Nas argilas, o cálcio e o magnésio foram igualmente adsorvidos, mas nos solos contendo coloides minerais e orgânicos houve predominância pela adsorção de cálcio. PETERSON *et alii* (1965) demonstraram que a preferência pelo cálcio, em vermiculita, foi até a uma saturação de 40% em magnésio. Acima dessa saturação, houve uma nítida preferência pelo íon magnésio.

Os resultados apresentados por BAWEJA e McLEAN (1975), embora concordantes com a maior preferência da adsorção de cálcio pela caolinita e vermiculita, em comparação com o potássio, levam a visualizar um novo aspecto em relação às cargas permanentes e dependentes do pH. Ainda de acordo com os autores, o íon hidrogênio apresenta-se preferencialmente adsorvido pelas cargas dependentes do pH, enquanto que os íons cálcio, magnésio e potássio pelas permanentes.

Segundo os trabalhos de BARSHAD (1960a, 1960b), como resultado das reações de troca entre o hidrogênio e o magnésio octaédrico, é possível explicar porque a relação $\text{Ca}:\text{Mg}$ trocável do solo decresce com o desenvolvimento do solo, em vez de aumentar, como seria esperado. A re

lação Ca:Mg trocável dos solos tende a ser mais baixa em solos com teores altos de magnésio, consequentemente, solos ricos em vermiculita, biotita e clorita. A relação Ca:Mg trocável tende a ser mais alta em solos onde haja predominância de caolinita e montmorilonita.

HUNSAKER e PRATT (1971) citam que a argila montmorilonita, quando tratada com alumínio, revela uma alta preferência pelo íon cálcio, em relação ao magnésio. Solos orgânicos e com altos teores de materiais amorfos e caolíníficos também demonstraram esta preferência.

A adsorção preferencial do cálcio em relação ao magnésio e potássio tem sido demonstrada em solos com argila do tipo 2:1 (HUTCHEON, 1966 e DEIST e TALIBUDEEN, 1967). Em solos das regiões tropicais úmidas, onde a caolinita é o mineral de argila predominante, tem-se verificado, também, a adsorção preferencial do cálcio, em relação ao magnésio e potássio (VASCONCELOS, 1976 e BITTENCOURT *et alii*, 1977).

Cálcio e magnésio têm sido tratados como uma só espécie iônica, envolvendo hidrogênio ou potássio (NICHOL e TURNER, 1957 e BECKETT, 1965). Resultados de pesquisas têm sugerido que o magnésio é retirado com menos energia do que o cálcio nas superfícies de troca do solo. Entretanto, estudos realizados por BECKETT (1965) sobre o equilíbrio de troca iônica entre cálcio e magnésio, baseado nas equações de Kerr, Vanselow, Gabon e Jenny, indicaram que tanto um quanto o outro eram retidos pelas superfícies dos coloides de um solo arenoso, onde predominava a argila montmorilonita, aproximadamente com a mesma energia. Por outro lado, BRAY (1942) e SPENCER (1953), baseados no conceito do íon complementar, encontraram, para diversos solos, que o magnésio era retido mais fortemente pelos coloides do que o cálcio.

Em solos de regiões tropicais úmidas, de boas condições de drenagem, a sílica tende a ser lixiviada mais rapidamente do que os óxidos de alumínio, ferro e titânio, resultando em uma acumulação desses compostos no perfil do solo na forma coloidal (JACKSON, 1964). Esses coloides são dotados de cargas dependentes do pH originadas da dissociação do H dos grupos AlOH e FeOH, podendo, portanto, adsorver íons (FEY e LEROUX, 1976).

Ao observar que, aproximadamente em pH 3,0, o magnésio era adsorvido preferencialmente, em relação ao cálcio, VASCONCELOS (1976) acha pouco provável que esse fenômeno esteja relacionado com as formas de ferro do solo. Entretanto, o solo que apresentava maior relação Fe-oxalato : Fe-ditionito adsorvia mais magnésio do que cálcio.

VAN REEUWIJK e VILLIERS (1968) verificaram que a fixação do potássio por compostos de características amorfas aumentava com o pH. RICK e BLACK (1964) observaram que, em condições ácidas, as cargas menos seletivas para o potássio podem ser bloqueadas pelo alumínio ou por compostos Al-hidroxilados, deixando livres os lugares de maior energia, acarretando, portanto, uma maior retenção de potássio. Entretanto, BITTENCOURT e SAKI (1975) constataram que o Latossolo Roxo, que possui elevado teor de material amorfo, apresenta grande facilidade de liberar potássio, quando em presença de cálcio, através das colunas de solo sob lixiviação.

A matéria orgânica como superfície trocadora apresenta características de seletividade. SALMON (1964) encontrou que em solos orgânicos havia maior preferência pelos íons bivalentes, em relação aos monovalentes. Entre cálcio e magnésio, o autor menciona que o cálcio foi mais fortemente adsorvido. Resultados semelhantes foram obtidos por HUNSAKER e PRATT (1971). VASCONCELOS (1976), trabalhando com quatro solos do Estado de São Paulo, demonstrou a existência de uma estreita correlação entre os teores de carbono orgânico e os de cálcio, nos horizontes A e B. A correlação entre os teores de carbono orgânico e magnésio não foi significativa. O autor esclarece que poderia ter ocorrido uma lixiviação mais intensa do magnésio, o que seria a explicação para os maiores teores daquele cátion no horizonte B, em relação ao horizonte A, no Latossolo Roxo.

As explicações para esta adsorção preferencial, conforme SALMON (1964), é devido, provavelmente, à ionização polifuncional da matéria orgânica. Isto sugere que diferentes pontos de troca possuem diferentes forças atrativas. Dessa forma, os íons mais fortemente adsorvidos estariam associados aos pontos de maior força atrativa e os íons mais

fracamente adsorvidos aos de menor força.

2.2 - Efeito da Adição de Cálcio e Magnésio Sobre as Características do Solo e Disponibilidade de Nutrientes.

A relação entre a acidez do solo e o crescimento das plantas tem sido objeto de intensa pesquisa. A acidez pode afetar o crescimento das plantas de diversas maneiras, tendo em vista a estreita relação entre esta e os teores de alumínio e bases trocáveis e a disponibilidade da maioria dos nutrientes para as plantas (ADAMS e PEARSON, 1967 e MARTINI, 1968).

MARTINI (1968) informa, entretanto, que o pH baixo não é um fator limitante para o crescimento das plantas, pois ARNON *et alii* (1942) comprovaram que muitas plantas podem crescer satisfatoriamente em soluções nutritivas bem balanceadas, com pH entre 4,0 e 8,0. Através desta informação, pode-se visualizar que outras propriedades do solo, dependentes do pH ou a ele associadas, são as que exercem efeito direto sobre o desenvolvimento das plantas. A importância do pH na nutrição de plantas vai depender do grau da relação entre este e as outras propriedades do solo, como teores de alumínio, manganês e ferro solúveis, que frequentemente, têm efeito adverso sobre o desenvolvimento das plantas (COLEMAN *et alii*, 1957; FISKE, 1958 e POPP, 1960).

É conhecido que a baixa produtividade, observada em solos ácidos, está relacionada com altos teores de alumínio trocável e baixa disponibilidade de cálcio, magnésio, potássio e fósforo.

A adição de materiais ao solo contendo cálcio e magnésio, como carbonatos, óxidos e hidróxidos, condiciona uma série de mudanças nas características químicas do solo. Sobre estes aspectos MOSCHLER *et alii* (1960) constataram que a adição de crescentes níveis de calcário do lomítico, em um Podzólico Vermelho Amarelo, foi acompanhado por um aumento gradual do pH, bases trocáveis e porcentagens de saturação de bases. O teor de alumínio trocável, entretanto, decresceu abruptamente com a aplicação de quantidades relativamente menores de calcário. A adição de materiais como carbonatos, hidróxidos e óxidos de cálcio e magnésio a so

los ácidos provoca, além da elevação do pH, um aumento em cálcio e/ou magnésio trocáveis, variando os teores de acordo com a quantidade e natureza do material usado e CTC do solo (TISDALE e NELSON, 1969).

Segundo YUAN (1963), quando se adiciona uma base a solos ácidos, a precipitação do íon alumínio inicia em $\text{pH} > 4,3$, quando o pH atinge 5,4 praticamente todo alumínio em solução e trocável já tem precipitado. Entretanto, é comum o aparecimento de Al^{+++} em pH acima desse valor, quando se usa solução extratora de KCl 1N, isto porque o KCl também extrai o H^+ trocável. Logo, é possível que parte da acidez atribuída ao Al^{+++} trocável, em solos com $\text{pH} > 5,5$ seja devida ao H^+ trocável.

RIXON e SHERMAN (1962) obtiveram correlações negativas altamente significativas entre o alumínio trocável e o pH e entre alumínio e cálcio trocáveis, em solos ácidos do Hawaí, em função do emprego de calcário. POPENOE (1960) encontrou correlações idênticas em solos ácidos da Guatemala, existindo assim, uma interrelação entre estas três propriedades do solo. Contudo, é difícil separar seus efeitos, sob condições de campo.

ABRUÑA *et alii* (1964) encontraram que o alumínio e o manganês trocáveis, em um Latossolo de Porto Rico, decresceram com a aplicação de calcário, sendo que com as bases trocáveis e o pH do solo ocorreu o contrário, resultando daí em um aumento de produtividade de capim napier. Este aumento foi decorrente de um decréscimo do teor de alumínio trocável e não da elevação do cálcio, pois a quantidade deste no solo era suficiente para obtenção da produtividade máxima.

Estudando o comportamento do CaCO_3 e CaSiO_3 em um Latossolo Húmico do Hawaí, MAHILUM *et alii* (1970) encontraram que o alumínio trocável decresceu drasticamente, sendo que o efeito do CaCO_3 foi quadrático e do CaSiO_3 linear. Foi observado também um aumento dos teores de potássio na superfície do solo, isto provavelmente, devido à substituição do alumínio pelo cálcio como íon complementar no complexo de troca e, devido também ao aumento das cargas negativas, com a elevação do pH.

RIDS *et alii* (1969), trabalhando com Latossolos e Andosso

los do Panamá, encontraram que a calagem resultou em uma redução do alúmínio trocável e ferro solúvel. Esses autores concluíram que a quantidade de calcário para elevar o pH à faixa de 6,0-7,0 era muito alta e que estes níveis levariam a uma concentração excessiva de cálcio no solo, ocasionando um desbalanço nutricional expresso pelas relações inadequadas de Ca:Mg, Ca:K e Ca:micronutrientes, provocando assim deficiências de ferro, potássio, zinco, manganês, cobre e boro, para as plantas.

Com relação ao efeito da calagem sobre a disponibilidade de potássio, as informações são um tanto contraditórias. PIERRE e BOWER (1943) informam que o pH, associado a níveis altos de cálcio e magnésio no solo, contribui para um decréscimo na disponibilidade de potássio para as plantas. Por outro lado, PEARSON (1958) informa que a utilização de potássio pelas plantas melhora, indiretamente, com a elevação do pH, isto, devido às condições mais favoráveis do ambiente, previamente impostas por outros fatores de crescimento. Além desses efeitos, há pelo menos quatro outros, em que a calagem geralmente influi na utilização de potássio pelas plantas: a) diminuindo a absorção de potássio solúvel; b) aumentando ou diminuindo a taxa de liberação de potássio trocável; c) aumentando a taxa de fixação de potássio oriunda de fertilizantes e d) diminuindo as perdas por lixiviação.

ROGERS (1945), devido a um balanço inadequado entre cálcio e potássio no solo, chama a atenção para o fato de que a calagem pode induzir a uma série deficiências de potássio, em solos pobre deste elemento. Segundo Fassbender e Piñeres (1971), citado por BEN (1974), níveis altos de calagem podem provocar um desequilíbrio em relação ao potássio e sugeriram, para os solos da Costa Rica, uma relação $(Ca + Mg)/K$ entre 27 a 40.

PEECH e BRADFIELD (1943) e YORK e ROGERS (1947) informam que a direção do efeito da calagem sobre o comportamento do potássio no solo e sua magnitude, dependem de vários fatores, tais como, tipo de colóide, teor de potássio no solo e outras características do solo. Por outro lado, concluíram que é improvável que a calagem cause significativa reversão do potássio adicionado ou trocável, para formas não trocáveis.

Eles apontaram também, que a calagem pode inibir a liberação do potássio não trocável.

ADAMS e PEARSON (1967), em um trabalho de revisão de literatura, informam que a calagem pode induzir a um decréscimo da disponibilidade de potássio, podendo isto se constituir em problema, em solos de baixo teor em potássio trocável.

Em um experimento com colunas de solos, THOMAS e COLEMAN (1959) relatam que, em solos de baixa CTC saturado com cálcio, encontraram cerca de duas vezes mais potássio do que quando saturado com alumínio. Em solos orgânicos, entretanto, houve um decréscimo da ordem de 20% do teor de potássio. Sobre este assunto, PEARSON (1958) informa que perdas de potássio por lixiviação são reduzidas pela calagem, variando, entretanto, o efeito com as características do solo. Isto é explicado pelo fato de a energia de adsorção do H^+ e Al^{+++} ser mais alta do que a do K^+ , o que força a liberação desse elemento para a solução do solo, onde é suscetível à lixiviação. Após a calagem, muito do H^+ e Al^{+++} são substituídos pelo Ca^{++} , que sendo um competidor relativamente mais fraco, permite ao potássio ocupar grande parte das posições de troca dos coloides. Pode-se prever, entretanto, que nestas condições o potássio se torna menos disponível para as plantas.

A elevação do pH induz a uma série de mudanças nas características químicas do solo, com profundos reflexos sobre a nutrição das plantas, aumentando ou diminuindo a disponibilidade de diversos elementos no solo.

Problemas inerentes à disponibilidade de micronutrientes e fósforo são frequentemente relacionados ao pH dos solos tropicais (POPELDOE, 1960).

A disponibilidade de fósforo no solo está indiretamente relacionada ao pH, tendo em vista que em pH ácido, este elemento reage com ferro e alumínio, dando fosfatos insolúveis destes metais (PEARSON, 1958 e BLACK, 1968). Ainda sobre este aspecto, ROBERTSON *et alii* (1954) relataram que a aplicação de calcário, em solos com altos teores de ses-

quióxidos, acarretou um nítido aumento na disponibilidade de fósforo. Tal efeito, entretanto, não foi observado quando os teores de sesquióxidos eram baixos.

SINGH e SEATZ (1961) demonstraram que a elevação do pH, em razão da aplicação de corretivos em solos fortemente ácidos, evitou a fixação de fósforo adicionado após a calagem, mas não teve efeito sobre a disponibilidade de fósforo adicionado antes da aplicação do corretivo. Por outro lado, CHU *et alii* (1962) relatam que a eficiência do fosfato de rocha como fertilizante depende da ação solubilizante da acidez do solo, sendo baixa em solos de pH > 5,5 e em solos com altos teores de ferro livre. Entretanto, quando o pH é elevado pode ocorrer que o fósforo seja imobilizado através da reação com cálcio ou carbonato (ADAMS e PEARSON, 1967).

A adição de cálcio e magnésio a solos ácidos e a consequente elevação do pH podem acarretar uma diminuição na disponibilidade de boro, cobre, ferro, manganês e zinco e um aumento na disponibilidade de molibdênio (BLACK, 1968; MALAVOLTA, 1967; LUCAS e KNEZEK, 1972).

Com relação ao boro, DREGNE e POWERS (1942) e SANIK *et alii* (1952) concluíram que a disponibilidade de boro é relativamente controlada pela reação do solo. WEAR e PATERSON (1962), estudando o efeito da calagem sobre a solubilidade do boro em solos de diferentes texturas, encontraram que, em todos os solos estudados a solubilidade diminuía inversamente com o pH. Este decréscimo, segundo HATCHER *et alii* (1967) e SIMS e BINGHAM (1968), pode ser devido à retenção do boro por $Al(OH)_3$, formado em consequência da elevação do pH pela calagem. Por outro lado, FOX (1968) propôs ser o mecanismo de adsorção do boro afetado pela presença de alta concentração de cálcio e alto pH. Este mesmo autor relata ter observado uma redução em 50% da absorção de boro por plantas de algodão, em solos com aquelas características. JONES e SCARSETH (1944) relatam que em solos ácidos, que tenham recebido calagem, as plantas têm uma maior exigência em boro. Em consequência pode ocorrer deficiência deste elemento, caso as plantas requeiram mais boro do que o disponível no solo, após a calagem.

MARSH e SHIVE (1941) informam que, apesar de a disponibilidade de boro decrescer com a adição de corretivos ao solo, a necessidade da planta está mais relacionada, provavelmente, com a relação Ca:B em seus tecidos, sendo que esta relação é muito variável entre as espécies.

Segundo OLSEN (1972), solo que contém boro em excesso pode ocorrer toxidez às plantas, podendo este efeito tóxico ser reduzido ou evitado pela adição de calcário.

A disponibilidade de cobre, apesar de ser influenciada pelo pH, só aumenta acentuadamente em $\text{pH} < 5,0$ (LUCAS e KNEZEK, 1972). Por outro lado, BROWN e FOY (1964) informam terem constatado, em solos ácidos, deficiências de cobre em cevada e sugeriram que esta deficiência estava associada a teores altos de alumínio trocável.

Younts e Foskel (1963), citados por ADAMS e PEARSON (1967), reportaram que o uso contínuo de fungicidas cúpricos por muitos anos, em solos da Flórida, resultou em um aumento do teor de cobre no solo a níveis tóxicos para plantas cítricas e a maneira de reduzir a disponibilidade desse elemento foi através da calagem até cerca de $\text{pH} 7,0$.

PEECH (1941), estudando o efeito do pH sobre o cobre trocável em solos arenosos da Flórida, encontrou que a quantidade decrescia com o aumento do pH, entretanto, BLEVINS e MASSEY (1959) não encontraram nenhuma relação entre o pH e a disponibilidade de cobre no solo.

Com relação ao ferro, TISDALE e NELSON (1969) e BROWN (1979) relatam que a elevação do pH reduz a disponibilidade de ferro no solo, devido à precipitação do ferro solúvel. A aplicação de calcário ou outro corretivo para elevar o pH do solo, provoca normalmente a precipitação do ferro solúvel (KAMPRATH e FOY, 1971; MASCARENHAS, 1977). Este aspecto é de grande importância prática, tendo em vista que em pH baixo, o fósforo pode ser imobilizado através de reações com ferro e alumínio solúveis (ROBERTSON *et alii*, 1954 e SINGH e SEATZ, 1961).

Em pH baixo, normalmente o teor de manganês solúvel é alto, podendo alcançar níveis tóxicos para as plantas em $\text{pH} < 5,5$ (ADAMS e WEAR, 1957). Entretanto, à medida que a acidez decresce, a forma solú-

vel divalente é oxidada, podendo mesmo, este elemento chegar a níveis de deficiências para as plantas (KAMPRATH e FOY, 1971). Conforme relatam MULDER e GERRETSEN (1952), solos com $\text{pH} < 5,5$ podem conter a maior parte do manganês na forma solúvel e trocável, mas à medida que o pH aumenta o manganês divalente é convertido a formas trivalentes e tetravalentes.

Avaliando os efeitos da calagem em solos ácidos, SANCHEZ e KAMPRATH (1959) encontraram que a adição de calcário provocou um nítido decréscimo nos teores de manganês trocável dos vários solos estudados.

No que diz respeito ao efeito combinado do pH , cálcio e magnésio, sobre a disponibilidade de manganês, SANIK *et alii* (1952) encontraram que a solubilidade desse nutriente era menor em $\text{pH} 6,0$, em relação ao $\text{pH} 3,8$, e que a diferença aumentava inversamente com a relação Ca:Mg , conseqüentemente, a absorção de manganês pelas plantas de sorgo aumentou com os crescentes níveis de magnésio aplicados ao solo. Por outro lado, MAAS *et alii* (1969) informam que o magnésio provocou um decréscimo na absorção de manganês pela cevada. O cálcio, juntamente com o magnésio, exerceram um acentuado efeito na redução da absorção de manganês. Por outro lado, KANAN (1969) mostrou que o cálcio inibiu marcadamente a absorção de manganês por plantas de fumo. Resultado semelhante foi relatado por BOWEN (1969) em cana-de-açúcar e que também a absorção foi drasticamente reduzida em $\text{pH} 4,0$, quando comparada com $\text{pH} 5,7$.

A disponibilidade de zinco tem sido associada ao pH do solo, assim a adição de corretivos ao solo, com a finalidade de elevar o pH , pode acarretar um decréscimo acentuado na disponibilidade desse elemento para as plantas, tendo em vista que a solubilidade desse elemento no solo é altamente dependente do pH . Segundo LINDSAY (1972), deficiência de zinco, em solos ácidos induzida pelo excesso de calagem, pode ser facilmente explicada por esta relação de dependência ao pH . A forma trocável de zinco pode ser alta em condições de solo ácido, mas à medida que o pH se eleva, esta decresce rapidamente.

WEAR (1956) reportou que a adição de CaCO_3 a um solo ácido provocou um considerável decréscimo na disponibilidade de zinco no so

lo, tendo em vista a menor absorção desse nutriente por plantas de sorgo à medida que o pH do solo passava de 5,7 a 6,6. A aplicação de Na_2CO_3 também reduziu a disponibilidade, à medida que o pH crescia. Quando o cálcio foi aplicado na forma de CaSO_4 , não foi observado efeito sobre o zinco. Estes resultados indicam que a diminuição da disponibilidade do zinco foi devida ao aumento do pH e não ao cálcio. MASSEY (1957) encontrou que a absorção do zinco pelo milho e os teores extraídos com ditizôna correlacionaram negativamente com o pH do solo, variando de 4,3 a 7,5.

SEATZ (1960), baseado em resultados experimentais, concluiu que apesar do efeito da calagem em decrescer a disponibilidade de zinco no solo, o uso de calcário dolomítico resultou em uma menor severidade da deficiência desse nutriente para o sorgo, tendo em vista que o magnésio estimulou a absorção do zinco por esta cultura. Resultados semelhantes foram obtidos anteriormente por SANIK *et alii* (1952).

2.3 - Interrelação Entre Cálcio, Magnésio e Potássio, em Relação a Nutrição de Plantas.

A absorção de um determinado nutriente pelas plantas é função não só da concentração do mesmo na solução do solo, mas também de outros fatores como reação, aeração, umidade e concentração de outros elementos na solução do solo.

Segundo BLACK (1968) e TISDALE e NELSON (1969), a absorção de um dos cátions: cálcio, magnésio e potássio é função não só da quantidade presente na forma trocável, mas também, de outros fatores como, tipo de coloide, índice de saturação do cátion e natureza do íon complementar. O tipo de coloide exerce nítida influência sobre a disponibilidade desses elementos, assim argila 2:1 requer uma maior saturação do elemento para liberação de uma determinada fração na solução do solo do que argila 1:1. A montmorilonita requer 70% de saturação em cálcio ou mais, para que este elemento seja liberado em quantidade suficiente para as plantas. Por outro lado, a caolinita pode satisfazer a necessidade de cálcio, para a maioria das plantas, com apenas 40-50% de saturação deste elemento.

elemento.

BLACK (1968) informa ainda, que a liberação de apenas uma fração da forma trocável dos cátions para a solução do solo, não ocorre na mesma proporção em que se encontram adsorvidos. Isto devido às seletividades com que os mesmos são mantidos na forma trocável, podendo ocorrer que as proporções de uma determinada espécie de cátion presente na solução seja bastante diferente das proporções na forma trocável, significando que a liberação de um cátion da forma trocável, para a solução, aumenta em função da energia de adsorção do cátion associado ou complementar.

JARUSOV (1937) encontrou que a maior disponibilidade de cálcio de um solo, quando equilibrado com uma solução de NH_4Cl , foi obtido quando o íon complementar era hidrogênio vindo em seguida magnésio e sódio, isto porque o hidrogênio é retido pelos coloides mais fortemente do que magnésio e sódio.

Ratner (1938), citado por BLACK (1968), comparando a absorção de cálcio por plantas de trigo, em presença de hidrogênio, magnésio e sódio, como cátion complementar, encontrou que a absorção do cálcio foi maior quando o hidrogênio era o cátion complementar, e menor quando era o sódio.

A influência da interação cálcio/potássio em solos, sobre o crescimento e composição química das plantas, tem sido objeto de intensa pesquisa. Diversos trabalhos têm sido conduzidos visando explicar o efeito do cálcio sobre a absorção de potássio pelas plantas. Ehremberg (1919), citado por YORK *et alii* (1953), atribuiu ao cálcio o decréscimo na absorção de potássio pelas plantas cultivadas em solos que receberam calagem em excesso. VIETS (1944), entretanto, informou que um aumento na concentração de cálcio na solução nutritiva incrementava a absorção de potássio por raízes de cevada. Ele sugeriu que o cálcio provoca um aumento na permeabilidade da membrana celular ao potássio. OVERSTREET *et alii* (1952) mostraram que o efeito estimulante do cálcio era observado sempre que o mesmo se encontrava em baixas concentrações no meio externo. À medida que esta concentração aumentava, a absorção do potássio diminuía

até o aparecimento de antagonismo. A respeito desse aspecto, RESNIK (1965) mostrou que o efeito do cálcio aumentando ou diminuindo a absorção do potássio está na dependência da relação Ca:K, na solução externa. Sempre que a relação é alta há antagonismo, decrescendo a absorção do potássio. As investigações sobre a relação entre cálcio e potássio em plantas têm levado os investigadores sobre o assunto a formularem diversas hipóteses para explicar o efeito depressivo da calagem sobre a absorção do potássio pelas plantas (HUNTER *et alii*, 1943; PEECH e BRADFIELD, 1943; PIERRE e BOWER, 1943; LUCAS e SCARSETH, 1947; MARSHAL e AIRES, 1947; BEAR e TOTH, 1948 e YORK *et alii*, 1953). Este efeito tem sido atribuído largamente ao antagonismo entre estes dois íons.

DEKOK (1964) informa que a adição de calcário não reduz a absorção de potássio pelas plantas e pode até aumentar, mas a relação Ca:K, nas plantas, tende a aumentar. Do mesmo modo, a aplicação de potássio pode induzir a um aumento no teor de cálcio das plantas, entretanto, substituição mútua de cátions na planta é possível sem que ocorra efeito sobre o metabolismo, crescimento e rendimento, e sem muita variação no número total de equivalentes dos cátions (Van ITALIE, 1938).

O efeito da relação Ca:Mg no solo sobre a nutrição das plantas varia bastante, em função das características do solo e da planta. KEY *et alii* (1962) observaram que, em solos bem supridos com cálcio e magnésio, a relação entre estes dois nutrientes pouco influenciou no desenvolvimento do milho, entretanto, quando o teor de magnésio excedeu ao de cálcio, o crescimento das plantas foi afetado negativamente. LAROCHE (1967) verificou que as relações Ca:Mg 7:1 e 4:1 foram superiores a 1:1 em incrementar a produção de matéria seca do tomate em um Latossolo da Costa Rica.

BEAR e TOTH (1948) sugerem que a relação entre cálcio e magnésio no complexo de troca seja de 6,5. Diversos estudos demonstraram que solos apresentando valores de saturação de magnésio entre 4-10% são deficientes para uma série de culturas (PRINCE *et alii*, 1947; ADAMS e HENDERSON, 1962).

MARTIN e PAGE (1969), estudando o efeito de vários níveis

de saturação de sódio e magnésio sobre o crescimento de citrus, mostraram que deficiências de magnésio ocorreram quando a porcentagem de saturação estava entre 3 a 8% de magnésio trocável, sendo que de 40 a 60% foi excessiva e provocou diminuição no crescimento das plantas. Quando a porcentagem de magnésio trocável era quatro vezes a de cálcio, o crescimento não foi reduzido. Os teores de cálcio e magnésio nas folhas deram alta correlação com as porcentagens de cálcio e magnésio trocáveis dos solos.

FASBENDER e LAROCHE (1968) encontraram uma alta correlação entre os valores do potencial cálcio-magnésio de um Latossolo e os valores do logaritmo da relação Mg:Ca em plantas de tomate.

BOWER e PIERRE (1944) relatam que a absorção de potássio por diversas culturas, em solos calcário, decresceu devido a altas concentrações de cálcio e magnésio na solução do solo. As culturas que requereram grandes quantidades de cálcio e magnésio para o crescimento normal mostraram baixa resposta ao potássio, porque elas baixam a relação de cálcio e magnésio para o potássio no solo, suficiente para reduzir ou remover o efeito depressivo do cálcio e/ou magnésio sobre a absorção de potássio.

De acordo com resultados obtidos por OMAR e EL KOBIA (1966), a absorção de magnésio pela alfafa foi reduzida em função de crescentes níveis de potássio no substrato, entretanto, a absorção de potássio foi muito pouco influenciada pelo magnésio, mesmo em níveis altos. MCLEAN e CARBONEL (1972), estudando o efeito de diferentes níveis de saturação em magnésio e potássio em um Alfissolo e Ultissolo sobre a produtividade e absorção de nutrientes por alfafa e milho, encontraram que as concentrações de magnésio nas plantas aumentavam com o aumento da saturação em magnésio, mas o potássio provocava um decréscimo nos teores de magnésio nas plantas. Os resultados indicam que provavelmente de 6 a 10% de saturação em magnésio seria suficiente para obtenção de produtividades máximas dessas culturas. ADAMS e HENDERSON (1962) mostraram que teores de magnésio trocável menores do que 4% eram insuficientes para obtenção de produções máximas de capim sudão e trevo ladino. PRINCE et

alii (1947) notaram que o mais importante fator que influenciava a absorção de magnésio pela alfafa era a quantidade de potássio disponível no solo. Quando, entretanto, o magnésio foi aplicado ao solo, o efeito do potássio em induzir uma menor absorção de magnésio não foi observado.

Estudando o efeito do balanço iônico entre cálcio, magnésio e potássio sobre a absorção desses nutrientes e o crescimento de plantas de milho, BLANCHARD e HOSSNER (1968) encontraram que a atividade do magnésio e potássio tiveram muito pouco efeito sobre a absorção de cálcio. A relação entre o pCa e o teor de cálcio na planta seguiu a forma da equação de Mitscherlich para o crescimento.

Deficiência de magnésio é mais comum em solos arenosos contendo baixos teores de magnésio e altos de potássio trocáveis (WELTE e WERNER, 1963 e EMBLETON, 1966). Diversos estudos realizados recentemente têm indicado que solos com porcentagens de saturação em magnésio trocável abaixo de 10% são deficientes para uma série de culturas (ADAMS e HENDERSON, 1962, e PRINCE *et alii*, 1947).

HOSSNER e DOLL (1970) relataram que em um experimento com batata foi observado que tanto magnésio trocável como a relação Mg:K relacionaram-se com a produtividade, tendo esta decrescido acentuadamente quando a relação Mg:K decrescia abaixo de 0,8, mas quando o teor de magnésio trocável estava acima de 0,3 e mg/100g de solo a produtividade não foi afetada.

WELTE e WERNER (1963), estudando o efeito do hidrogênio, cálcio e potássio sobre a absorção de magnésio por plantas de milho e cevada, em cinco solos, encontraram que níveis crescentes de hidrogênio provocaram um decréscimo na absorção de magnésio e que a correção da deficiência pôde ser feita ou com a aplicação do magnésio ou com a elevação do pH com calcário, sendo a elevação do pH mais eficiente. Quanto ao efeito do potássio, foi constatado que crescentes níveis desse nutriente no substrato, induziu a um decréscimo da absorção de magnésio e, reciprocamente, baixos teores de potássio na planta foram causados pela aplicação de crescentes níveis de magnésio. Do ponto de vista fisiológico, isto significa que a interação entre estes cátions é de natureza antagônica.

ca e que o efeito depressivo de diferentes cátions sobre a absorção do magnésio é mais pronunciado quanto mais baixo for o pH.

Baseado em resultados de pesquisa, pode-se inferir que a limitação da produtividade por deficiência de magnésio, provocado por excesso de potássio, pode ser superado pela adição de magnésio ao solo e não pela redução da aplicação de potássio, isto porque este nutriente é exigido em grande quantidade pela maioria das culturas, sendo imprescindível não só em relação ao incremento da produtividade, mas, também, em relação à qualidade dos produtos.

A absorção do fósforo pode também ser influenciada pelo cálcio e magnésio,. Sobre este aspecto LOURENÇO *et alii* (1968) verificaram que o magnésio estimulou a absorção de fósforo por raízes destacadas de cevada. Segundo TRUOG *et alii* (1947), é possível encontrar uma relação entre fósforo e magnésio nas plantas, ou entre a eficiência de fertilizantes fosfatados e o suprimento de magnésio disponível no solo, isto porque uma das funções descritas para o magnésio é o de carreador de fósforo no mecanismo de absorção. Foi encontrado por estes autores que o magnésio provocou um apreciável incremento do teor de fósforo em plantas de ervilha. Estes resultados sugerem que a não resposta à adubação fosfatada em alguns solos, pode ser devida a uma carência de magnésio no solo.

MILLER *et alii* (1972) informam que a acumulação de fósforo por raízes de milho é estimulada pelo cálcio. FRANKLIN (1970) e KOEPE e MILLER (1971) encontraram que o cálcio e o magnésio estimularam a absorção de fósforo por plantas de cevada e milho, sendo este estímulo conhecido como "efeito Viets" (VIETS, 1944).

A respeito da interrelação entre cálcio, magnésio e potássio no solo, e a disponibilidade desses nutrientes para as plantas, BEAR *et alii* (1945), citado por BEAR e TOTH (1948), em função de dados obtidos, sugeriram que um solo ideal deveria ter 65% do complexo de troca saturado com cálcio, 10% com magnésio, 5% com potássio e 20% com hidrogênio. Entretanto, resultados de pesquisas têm demonstrado produtividades máximas em solos em que esta relação é diferente. HUNTER *et alii* (1943) encontraram que alfafa podia se ajustar a uma alta relação Ca:K no solo,

crecendo bem quando estes valores estavam entre 100 e 1, sem que isto, entretanto, induzisse à absorção pelas plantas desses nutrientes nas mesmas proporções.

Baseados em resultados experimentais, Graham (1959), citado por MCLEAN e CARBONELL (1972), recomenda que as porcentagens de saturação em cálcio, magnésio e potássio devem estar em torno de 75%, 10% e 2,5%, respectivamente. Informam, ainda, que pouco efeito sobre a produtividade ocorria quando estes valores estavam compreendidos entre 65-85%, 6-12% e 2-5%, para cálcio, magnésio e potássio, respectivamente.

O índice de saturação de base exerce um nítido efeito sobre a liberação de cátions, assim MEHLICH e REED (1945) observaram menores perdas de magnésio e potássio por lixiviação em solos com altos níveis de saturação em cálcio. MEHLICH e COWELL (1946) encontraram máxima disponibilidade de cálcio para a cultura do amendoim, em solos caoliniticos com índices de saturação em cálcio compreendidos entre 26 e 40%. Em função da discussão anterior, não se pode fazer generalizações a este respeito, devido ao efeito do tipo de coloide sobre a relação entre um cátion na forma trocável e em solução (MARSHAL e BARBER, 1949; MEHLICH e COLEMAN, 1952 e BLACK, 1968).

Com relação ao efeito complementar do magnésio sobre a disponibilidade de cálcio, VLAMIS (1949), por exemplo, encontrou que o teor de cálcio em alfafa e aveia decrescia abruptamente quando o grau de saturação em cálcio de um solo contendo cálcio e magnésio descia a menos de 20%. GIDDENS e TOTH (1951) também observaram que a disponibilidade de cálcio decrescia em presença de alta concentração de magnésio trocável. MEHLICH e REED (1948) estabeleceram que a relação ideal para Ca:Mg trocável no solo para as plantas seria de 4 a 6. Por outro lado, BEAR e TOTH (1948) indicaram que a porcentagem de saturação dos coloides do solo é mais importante do que a relação Ca:Mg trocável.

KINJO (1967), estudando o efeito de dois parâmetros de cálcio no solo sobre o crescimento do algodoeiro, encontrou que a saturação em cálcio deu uma melhor correlação com a produção de matéria seca do que o cálcio expresso como e.mg/100g de solo, isto, para valores da

CTC maiores do que 3,0 e.mg e 30% de saturação em cálcio. Foi constatado, também, um incremento da concentração de cálcio e um decréscimo dos teores de magnésio e potássio, à medida que a saturação em cálcio aumentava além de 30%, tendo sido observado ainda uma tendência para que a soma de bases nas plantas permanecesse constante.

BOULD e HEWITT (1963) obtiveram resultados mostrando correlações altamente significativas entre os índices de saturação em cálcio, magnésio e potássio do complexo de troca e as concentrações desses cátions em plantas. HUNTER (1949) reportou que a relação Ca:Mg trocáveis não teve efeito sobre a produtividade de alfafa, mas afetou a absorção de cálcio e magnésio. A relação $Mg:Ca < 1$ teve um efeito tóxico sobre as plantas, devido ao excesso de magnésio.

SALMON (1964), em um experimento com "ryegrass", em dois solos com diferentes teores de potássio trocável e proporções Ca:Mg, encontrou que a concentração de magnésio no capim dobrou, quando o magnésio trocável quadruplicou. Aumentando-se o potássio no solo, decresceu a concentração de magnésio. Em diferentes teores de cálcio, magnésio e potássio trocáveis e pH a concentração de magnésio deu uma baixa correlação com o magnésio trocável.

Ainda não está estabelecido se a absorção de cátions de uma solução é a mesma, quando um determinado trocador está presente, assim, a composição da solução do solo pode não controlar diretamente a disponibilidade de cátions para as plantas. Entretanto, a relação de atividades na solução pode ser usada para definir a condição do sistema solo-solução, pois seus valores refletem ambos: as saturações por diferentes cátions trocáveis e a energia relativa com que estão adsorvidos. Assim, diferentes relações de atividades na solução podem explicar claramente efeitos como o do íon complementar e do tipo de coloide (LANGERWERFF, 1960; FRANKLIN e MCLEAN, 1963 e MEHLICH e COLEMAN, 1952).

WILD *et alii* (1969) encontraram que as produtividades de matéria seca de "ryegrass" e linho e a absorção de potássio por estas plantas foram função da concentração de potássio e não da relação de atividade $AK/\sqrt{A} Ca$ da solução do solo. Ainda foi constatado que um aumento

na concentração de magnésio não teve nenhum efeito sobre a absorção do potássio.

MASHALL e BARBER (1949), discutindo o aspecto da liberação de cátions dos vários coloides, informam que o cálcio causa um grande aumento na atividade do potássio. Assim, em presença do cálcio, o potássio era retido pela caolinita com a energia de aproximadamente 400 calorias, enquanto que na beidelita era de 1200 calorias. A atividade do cálcio, por outro lado, aumentou acentuadamente pela presença do potássio na caolinita. Considerando-se as argilas saturadas com 90% em cálcio e 10% em potássio, foi encontrado que a relação de atividades de K:Ca era 13 para bentonita, 4 para beidelita e 0,8 para caolinita. Matson *et alii* (1949), citados por SPENCER (1953), demonstraram que a absorção de cálcio, magnésio e potássio pelas plantas depende nitidamente da natureza do complexo de troca no qual as plantas estão crescendo.

KHASAWNEH e ADAMS (1967), estudando o comportamento do cálcio e potássio no solo, encontraram que a relação de atividade Ca:K era razoavelmente constante para diferentes volumes de solução, incluindo até a umidade do solo no campo. De uma maneira similar, MOSS (1969) mostrou que a relação de atividade de K:Ca + Mg na solução do solo era direta e estreitamente relacionada à relação de atividade, determinada pelo processo "Q/I", de BECKET e CRAIG (1964).

ALLAWAY (1945), observando o efeito da saturação em bases sobre o deslocamento do cálcio de vários coloides pelo NH_4Cl e HCl , encontrou que o cálcio removido com HCl deu uma alta correlação com a absorção desse nutriente por diversas plantas, enquanto que o extraído com NH_4Cl não deu correlação. JENNY e AYRES (1939) demonstraram que, o deslocamento de um dado tipo de íons dos locais de troca de um coloide difere com o tipo do íon acompanhante adsorvido ao coloide.

As diferentes espécies de plantas absorvem do mesmo substrato diferentes quantidades de um mesmo nutriente (COLANDER, 1941). Segundo KAHN e HANSON (1957), as gramíneas tendem a acumular mais potássio e menos cálcio do que as leguminosas. Estes autores verificaram que o cálcio provocou um aumento na acumulação de potássio por plantas de so

ja e milho, isto porque o cálcio aumenta a afinidade do carregador para aquele nutriente. Em uma segunda reação, independente da primeira, o cálcio faz decrescer a velocidade da fase metabólica da absorção do potássio. O primeiro efeito foi maior em milho e o segundo em soja. Nesse processo o cálcio pode ser substituído parcialmente pelo magnésio e outros íons polivalentes (VIETS, 1944).

Tem sido demonstrado que o total de cátions absorvidos por uma planta de diferentes meios tende a ser constante, mas a relativa acumulação de potássio, cálcio e magnésio é dependente das proporções destes íons no substrato nutritivo e que, em meios com altas concentrações de potássio, a acumulação de íons divalentes tende a decrescer e vice-versa (COOIL, 1948 e SHEAR *et alii*, 1946).

MOSTAFA e ULRICH (1974) informam que a atividade do cálcio seria uma melhor estimativa da disponibilidade de cálcio do que a concentração, porque o primeiro mede a concentração real e o último dá a concentração estequiométrica. Assim é que, trabalhando com diferentes concentrações de cálcio em solução nutritiva, encontraram que os sintomas de deficiências que apareceram em beterraba açucareira não foram devidas a não disponibilidade, mas, sim, por causa de uma possível relação a certas interações iônicas associadas com os processos de absorção.

MEHLICH e COLEMAN (1952) relatam que a argila montmorilonita se comporta como um ácido forte, e a caolinita como ácido fraco, em consequência, a primeira será menos eficiente em baixar a concentração efetiva de hidrogênio produzido pelas raízes e, assim, necessitará de um índice de saturação mais alto, para que haja maior disponibilidade de cátions para o crescimento das plantas, do que a caolinita. MARSHAL e BARBER (1949) mostraram que a atividade de cátions é menor em sistemas de montmorilonita do que de caolinita, particularmente em baixos índices de saturação em bases, daí a razão da necessidade de um maior índice de saturação para montmorilonita em relação à caolinita, para liberação da mesma quantidade dessas bases para a solução do solo. MEHLICH e COLWELL (1943, 1946) e ALLAWAY (1945) obtiveram resultados, mostrando que a absorção de cálcio pelas plantas, assim também como o crescimento, aumenta

vam rapidamente à medida que o grau de saturação em cálcio do solo caolínico era elevado para 40%, mostrando apenas pequenos incrementos a partir deste valor. Em solo com montmorilonita, por outro lado, o crescimento e teor de cálcio das plantas não alcançaram o máximo valor até que o índice de saturação em cálcio atingisse 80%. MEHLICH e COLEMAN (1952) informam ainda, que em geral a absorção de cálcio e o crescimento das plantas aumentam com a elevação do índice de saturação em cálcio, variando, entretanto, com as espécies de plantas. Para a montmorilonita esse índice é sempre mais alto do que para a caolinita.

Dados de diversos pesquisadores têm mostrado que a disponibilidade do magnésio e potássio também aumenta com o grau de saturação em base, a relação Ca:K e Ca:Mg ficando constante, à medida que o índice de saturação aumenta (CHU e TURK, 1949).

MARSHAL e BARBER (1949) e McLEAN (1949) encontraram que a substituição de cálcio por hidrogênio aumentou a atividade do potássio para diferentes coloides, inferindo-se daí que a disponibilidade de potássio deve aumentar com a calagem, independentemente do tipo de colóide.

FASSBENDER e LAROCHE (1958) informam que a maioria das plantas mostram uma certa preferência para o potássio, em relação ao cálcio e magnésio, sendo esta preferência uma função da atividade metabólica de certas espécies de plantas. Contudo, a taxa de absorção de um determinado nutriente catiônico pelas plantas é determinado não somente pelas características fisiológicas, mas, também, pela atividade do nutriente e outros cátions na solução. Sobre este aspecto KHASAWNEH (1971) informa que a absorção de um determinado íon depende não somente de sua atividade na solução mas, também, da atividade de outros íons e da relação que existe entre os íons na solução e o trocável. HOWARD e ADAMS (1965), relacionando o crescimento relativo das plantas à relação entre a atividade de um determinado íon e a soma das atividades dos íons na solução, pareceu ter uma larga faixa de aplicabilidade, desde a absorção de uma solução nutritiva até a absorção da solução do solo.

De acordo com FASSBENDER (1975), a concentração iônica da

solução do solo está em equilíbrio com a fase adsorviva, ou seja, as quantidades trocáveis em solução guardam certa proporcionalidade e pode ser explicada por três modelos de camada dupla difusa, a de Helmholtz que supõe que a diminuição da força de retenção é linear, a de Chapman e Guoy indica que o decréscimo é exponencial e a de Stern em que no início é linear e depois toma a forma exponencial.

WIKLANDER (1964) informa que as teorias desenvolvidas para explicar o mecanismo de troca iônica são baseadas na atividade e não na concentração iônica da solução do solo. Em vista disso, a importância do conceito de atividade é de fundamental importância para o estudo do comportamento físico-químico do solo, em relação à absorção de nutrientes, pelas raízes e a dinâmica desses nutrientes no solo.

O conceito de potencial desenvolvido por Schofield em 1947 (SCHOFIELD, 1955) para descrever as propriedades dos cátions presentes na solução do solo e, conseqüentemente, a disponibilidade para as plantas, inclui a medida do potencial do nutriente na solução do solo e a quantidade no solo que pode passar para a solução. O potencial é definido como o logaritmo do inverso da atividade do íon na solução do solo.

HANSEN (1972) relata que as relações $K:Ca + Mg$ e $Ca:Mg$ em plantas de cevada correlacionaram estreitamente com a correspondente relação de atividade da solução do solo. Em função dos dados obtidos foi postulado que a relação de cátion encontrado nas plantas foi influenciada pela relação de atividade desses cátions na solução do solo.

COLLANDER (1941) relata que a absorção de nutrientes pelas plantas não ocorre na mesma proporção em que os mesmos se encontram no substrato nutritivo. Elas agem seletivamente, variando esta seletividade entre e dentro das espécies. Desse modo, não há razão para esperar que plantas crescendo no solo absorvam íons na mesma proporção, em que eles ocorrem na solução do solo, em forma trocável ou em qualquer outra forma. As quantidades de bases absorvidas pelas plantas podem ser avaliadas empiricamente, baseando-se na seletividade da planta e na capacidade de liberação de bases da forma trocável para solução do solo (BRAY, 1942; MEHLICH e COLEMAN, 1952; MILAM e MEHLICH, 1954).

A absorção de cátions pelas plantas não se dá proporcionalmente à concentração do solo. Elas agem, seletivamente, absorvendo maior quantidade de um íon do que outro, considerando a mesma concentração iônica, variando a seletividade com a espécie e variedade (MALAVOLTA, 1976 e BLACK, 1968). Isto pode ser evidenciado pelo fato de, na maioria dos solos, os cátions estarem presentes na seguinte ordem: $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{K} > \text{Na}$, entretanto, a sequência na absorção é $\text{K} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na}$. Fatores genéticos e ambientais determinam as proporções em que cada elemento é absorvido pelas plantas (EPSTEIN, 1974).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - Local de Execução

Este trabalho foi realizado em casa de vegetação e laboratórios da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Parte das análises de plantas e solos, entretanto, foram feitas no Laboratório do Centro de Pesquisas Agropecuárias do Trópico Semi-Árido, em Petrolina, Pernambuco.

3.2 - Solos

Foram usadas amostras de dois solos classificados pela Comissão de Solos do CNPEA (BRASIL, 1960) como Latossolo Vermelho Escuro Orto (LVE) e Podzólico Vermelho Amarelo, variação Piracicaba (PVA). O primeiro pertencente à série Guamium e o segundo à série Godinhos (RANZA NI *et alii*, 1966). De acordo com LEPSCH e BUOL (1974), o LVE corresponde ao Typic Haplortox e, segundo DEMATÉ *et alii* (1977), o PVA corresponde ao Aquic Dystropept. Ambos os solos estão localizados no Município de Piracicaba, São Paulo. As amostras coletadas na camada de 0-30 cm, foram secas ao ar e passadas em peneiras de 2 mm de diâmetro.

3.3 - Caracterização Química e Física

As amostras foram analisadas determinando-se: a) pH em água e KCl 1N na relação 1:1; b) bases trocáveis, extraídas com acetato de amônio 1N pH 7,0; c) acidez titulável ($H^+ + Al^{+++}$), extraído com acetato de cálcio 1N pH 7,0; d) acidez trocável (Al^{+++}) extraída com KCl 1N; e) fósforo "disponível" extraído com solução de Mehlich (HCl 0,05N + H_2SO_4 0,025N); f) carbono orgânico; g) umidade a 0,3 e 15 atm de tensão; e h) granulometria. Os dados das análises constam da Tabela 1.

De acordo com o trabalho realizado por LEPSCH e BUOL (1974), a fração argila do horizonte Ap do LVE tem, aproximadamente, a seguinte composição: 80% de caolinita, 9% de gibsitita e 11% de material amorfo. Quanto ao PVA, a composição da mesma fração no horizonte Ap, segundo os resultados obtidos por DEMATÉ *et alii* (1977) é aproximadamente a seguinte: 55% de caolinita, 21% de mica, 8% de vermiculita, 5% de montmorilonita e 11% de alofana.

3.4 - Tratamentos

Os tratamentos foram selecionados em função dos níveis naturais de cálcio e magnésio trocáveis. As análises dos dois solos (Tabela 1) revelaram para saturação em cálcio, magnésio, potássio e valor "V" os seguintes valores:

	LVE	PVA
Ca%	20,63	20,50
Mg%	14,81	16,50
K%	3,95	2,17
V%	40,08	41,43

Baseado nestes resultados, estabeleceu-se os níveis de saturação em cálcio e magnésio, que constituiu os tratamentos. O nível de saturação em potássio foi mantido em 4% para os dois solos através da adição de K_2CO_3 ao PVA.

Tabela 1 - Características físicas e químicas da camada de 0-30 cm dos dois solos: LVE, série Gamium e PVA, série Godinhos.

SOLO	Ca ⁺⁺	Mg ⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺ + Al ⁺⁺⁺	Al ⁺⁺⁺	CTC	V (%)	pH (1:1)	P (ppm)	C	Arg.	Limo	Areia	
	(e.mg/100g de solo)							[%]							
LVE	2,09	1,50	0,40	0,07	6,07	0,37	4,06	10,13	40,08	5,00	2,10	2,09	58	20	22
PVA	2,26	1,82	0,24	0,25	6,46	1,25	4,56	11,03	41,43	4,75	2,50	1,34	30	55	15

Os tratamentos consistiram na adição de cálcio e magnésio, nas formas de Ca(OH)_2 e MgO quimicamente puros, calculados para se obter diferentes níveis de saturação em cálcio e magnésio nas formas trocáveis, para cada solo, de acordo com o seguinte esquema:

- a) Níveis de saturação em cálcio, permanecendo fixo o magnésio:

Ca% = 20,5/20,6 35,0 50,0 65,0 80,0

- b) Níveis de saturação de magnésio, permanecendo fixo o cálcio, em dois níveis:

O natural (20,6) no LVE e 20,5% no PVA e 35% nos dois solos.

Mg% = 14,8/16,5 30,0 45,0 60,0 75,0

Ca% = 35,0 35,0 35,0 35,0

Mg% = 14,8/16,5 30,0 45,0 60,0

- c) Níveis de saturação em cálcio e magnésio variáveis, mantendo-se, entretanto, a soma dos dois fixos em aproximadamente 95%:

Ca% = 20,6/20,5 35,0 50,0 65,0 80,0

Mg% = 75,0 60,0 45,0 30,0 14,8/16,5

3.5 - Delineamento Experimental

Foi usado um esquema em blocos inteiramente casualizados, envolvendo 14 tratamentos para cada solo, com três repetições.

3.6 - Instalação do Experimento

Em vasos de barro, revestido internamente com neutrol e externamente com tinta óleo branca, foram colocados 6 kg do solo previamente preparado, contendo os tratamentos já referidos. Os produtos químicos contendo os nutrientes, depois de pesados, foram misturados ao solo. Além dos elementos que constituíram os tratamentos, foram adicionados o

correspondente a 100 ppm de P e 45 ppm de N na forma de $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ e 50 ppm de N na forma de $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$.

Após a incorporação dos nutrientes, os solos foram umedecidos e incubados à sombra por um período de 21 dias, mantendo-se o teor de umidade em torno de 0,3 atm. de tensão, através de pesagem diária.

Após o período de incubação, foi retirado 1,0 kg de solo de cada vaso, para fins de análises químicas. As amostras foram secas ao ar, e passadas em peneiras de 2 mm de diâmetro.

No restante, 5,0 kg de solo foram plantadas 12 sementes de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) var. TY-E-101 e 8 de vigna (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) var. Seridó, no mesmo vaso. Três dias após a germinação foi feito o desbaste, deixando-se 6 plantas de sorgo e 4 de vigna por vaso. A umidade do solo foi mantida em condições ótimas através da adição de água destilada diariamente.

No final de 30 dias após a germinação, as plantas foram colhidas, secas em estufa a 65-70°C, pesadas e moídas para fins de análises químicas

3.7 - Análise do Solo

3.7.1 - Bases trocáveis: A extração do cálcio e magnésio trocáveis foi feita com solução de KCl 1N, segundo metodologia descrita por CATANI e JACINTO (1974). O sódio e potássio foram extraídos com solução de acetato de amônio 1N, pH 7,0. A determinação dos elementos foi feita através de absorção atômica.

3.7.2- Acidez titulável ($\text{H}^+ + \text{Al}^{+++}$). A extração foi feita com solução de acetato de cálcio 1N pH 7,0, titulando-se a acidez resultante com solução de NaOH 0,05N (CATANI e JACINTO, 1974).

3.7.3 - Acidez trocável (Al^{+++}). Extraído com solução de KCl 1N, e a acidez resultante da hidrólise do alumínio e do deslocamento do hidrogênio trocável, dosado com solução de NaOH 0,05N.

3.7.4 - A soma de bases (S), capacidade de troca de cátions (CTC)

e porcentagem e saturação de base (V%) foram calculadas a partir dos dados das análises obtidas anteriormente.

3.7.5 - Fósforo disponível. Extraído com solução de HCl 0,05 N e H_2SO_4 0,025N e determinado colorimetricamente segundo JOHN (1970).

3.7.6 - Carbono orgânico. Determinada pelo método de Walkley-Black, conforme descrição de JACKSON (1959).

3.7.7 - pH. Determinado na relação solo:água de 1:1 segundo CATANI e JACINTO (1974).

3.7.8 - Extrato do solo para fins de análises químicas. Foi obtido da relação solo:água de 1:1, de acordo com FASSBENDER (1972). As concentrações de cálcio, magnésio e potássio do extrato foram determinadas através de absorção atômica.

3.7.9 - Atividades do cálcio, magnésio e potássio. Foram calculadas, usando-se os dados das concentrações desses elementos no extrato do solo de 1:1 e o coeficiente de atividade, de acordo com a seguinte fórmula:

$$a = c \times f_i$$

onde, c é a concentração do cátion na solução do solo e f_i é o coeficiente de atividades, que é definido pela equação de Debye-Huckel (FASSBENDER, 1972):

$$-\log f_i = \frac{AZ_1^2 \sqrt{u}}{1 + a_i B \sqrt{u}}$$

Nesta equação A e B correspondem a 0,509 e 0,329, respectivamente, à temperatura de 25°C.

a_i = diâmetro do íon A_i , sendo,

Z_i = valência do íon;

u = força iônica em moles/litro.

A força iônica de uma solução eletrolítica é uma medida de intensidade do campo elétrico da solução e é definida como:

$$u = \frac{1}{2} \sum C_i \cdot Z_i^2$$

sendo, C_i = concentração molar do íon na solução;
 Z_i = valência do íon.

3.8 Análises das Plantas.

O extrato para determinação dos teores de cálcio, magnésio, potássio, fósforo, cobre, ferro, manganês e zinco, foi obtido através da digestão nitropêrlórica, de acordo com a metodologia descrita por JOHNSON e ULRICH (1959). Os metais foram determinados em aparelho de absorção atômica. O fósforo foi determinado colorimetricamente usando-se ácido ascórbico como redutor (JOHN, 1970).

O boro foi determinado de acordo com a metodologia descrita por JOHNSON e ULRICH (1959).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Efeito dos Tratamentos Sobre as Características dos Solos.

Os resultados relativos aos cátions trocáveis, soma de bases (valor S), capacidade de troca de cátions (CTC) e pH, constam nas Tabelas 2 e 3 para o LVE e PVA, respectivamente. Através da análise desses dados, observou-se, conforme era esperado, que os teores de cálcio e magnésio aumentaram em função dos crescentes níveis desses elementos aplicados aos solos, nas formas de Ca(OH)_2 e MgO . Quanto aos teores de potássio trocável, os mesmos não foram influenciados pelos tratamentos, embora haja informações na literatura de que a adição de corretivos da acidez do solo pode afetar o equilíbrio de potássio no mesmo (PIERRE e BOWER, 1943; ROGERS, 1945 e RIOS *et alii*, 1970), isso devido, principalmente, às mudanças condicionadas pela elevação do pH do meio.

A adição de Ca(OH)_2 e MgO provocou uma significativa elevação do pH dos solos. A ação do cálcio e magnésio, em deslocar o hidrogênio e alumínio do complexo de troca e o efeito do pH elevado, em condicionar a precipitação do alumínio em solução na forma de Al(OH)_3 , fizeram com que ambos decrescessem acentuadamente com os tratamentos, conforme mostram os dados das Tabelas 2 e 3. Resultados simi

Tabela 2 - Cátions trocáveis e pH, em função dos diferentes níveis de cálcio e magnésio adicionados ao solo (LVE).

TRATAMENTO		CÁTIONS TROCÁVEIS							pH _{H₂O} 1:1
Ca	Mg	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	H ⁺ +Al ⁺⁺⁺	Al ⁺⁺⁺	S	CTC	
Sat.(%)		e.mg/100g de TFSA							
20,6	14,8	2,18	1,41	0,47	6,51	0,58	4,10	10,59	5,07
35,0	14,8	3,30	1,46	0,48	5,57	0,38	5,25	10,84	5,37
50,0	14,8	4,38	1,40	0,46	4,71	0,34	6,27	10,98	5,80
65,0	14,8	5,42	1,41	0,46	3,97	0,31	7,31	11,28	6,35
80,0	14,8	6,88	1,38	0,45	3,26	0,26	8,74	12,00	6,53
20,6	14,8	2,18	1,41	0,47	6,51	0,58	4,10	10,59	5,07
20,6	30,0	2,15	2,68	0,49	5,51	0,41	5,46	11,12	5,50
20,6	45,0	2,12	4,02	0,51	5,03	0,33	6,68	11,71	5,85
20,6	60,0	2,09	5,05	0,50	4,17	0,28	7,67	11,85	6,23
20,6	75,0	2,01	6,48	0,49	3,42	0,23	8,97	12,39	6,53
20,6	75,0	2,01	6,48	0,49	3,42	0,23	8,97	12,39	6,53
35,0	60,0	2,99	5,36	0,48	3,34	0,27	8,86	12,19	6,55
50,0	45,0	4,39	3,98	0,49	3,52	0,27	8,90	12,42	6,47
65,0	30,0	5,35	2,85	0,49	3,33	0,27	8,74	12,08	6,52
80,0	14,8	6,88	1,38	0,45	3,26	0,26	8,74	12,00	6,53
35,0	14,8	3,30	1,46	0,48	5,57	0,38	5,25	10,84	5,37
35,0	30,0	3,11	2,58	0,47	4,89	0,35	6,21	11,08	5,82
35,0	45,0	2,92	4,06	0,49	4,41	0,32	7,52	11,92	6,10
35,0	60,0	2,99	5,36	0,48	3,33	0,27	8,86	12,19	6,55
d.m.s.(5%)		0,54	0,40	0,09	0,65	0,06		1,08	0,18
C.V.(%)		5,17	4,24	6,09	4,96	6,30	3,55	3,10	1,00

d.m.s.: diferença mínima significativa pelo teste de Tukey.

C.V.: coeficiente de variação.

Tabela 3 - Cátions trocáveis e pH, em função dos diferentes níveis de cálcio e magnésio adicionados ao solo (PVA).

TRATAMENTO		CÁTIONS TROCÁVEIS							pH _{H₂O} 1:1
Ca	Mg	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	H ⁺ +Al ⁺⁺⁺	Al ⁺⁺⁺	S	CTC	
Sat.(%)		e.mg/100g de solo							
20,5	16,5	1,84	1,71	0,35	6,50	1,37	3,98	10,47	4,90
35,0	16,5	3,57	1,83	0,32	5,50	0,67	5,81	11,31	5,33
50,0	16,5	5,50	1,85	0,31	4,51	0,49	7,75	11,81	5,80
65,0	16,5	6,36	1,83	0,32	3,23	0,37	8,59	12,26	6,20
80,0	16,5	7,38	1,81	0,33	2,63	0,30	9,60	12,23	6,57
20,5	16,5	1,84	1,71	0,35	6,50	1,37	3,98	10,47	4,90
20,5	30,0	2,11	3,06	0,31	5,45	0,75	5,57	11,00	5,30
20,5	45,0	2,20	4,54	0,30	4,70	0,43	7,13	11,83	5,80
20,5	60,0	1,95	6,02	0,32	3,47	0,34	8,57	12,04	6,23
20,5	75,0	1,95	6,83	0,33	2,97	0,31	9,20	12,18	6,57
20,5	75,0	1,95	6,83	0,33	2,97	0,31	9,20	12,18	6,57
35,0	60,0	3,18	5,92	0,33	2,82	0,31	9,52	12,35	6,57
50,0	45,0	4,53	4,23	0,33	2,74	0,33	9,19	11,94	6,57
65,0	30,0	6,04	3,11	0,32	2,57	0,32	9,56	12,13	6,53
80,0	14,8	7,38	1,81	0,33	2,63	0,30	9,60	12,23	6,56
35,0	16,5	3,57	1,83	0,32	5,50	0,67	5,81	11,31	5,33
35,0	30,0	3,60	3,65	0,31	4,47	0,45	7,73	12,13	5,87
35,0	45,0	3,43	4,59	0,32	3,42	0,37	8,43	12,21	6,23
35,0	60,0	3,18	5,92	0,31	2,82	0,31	9,52	12,35	6,57
d.m.s.(5%)		0,54	0,35	0,06	0,51	0,13	0,60	0,82	0,16
C.V. (%)		4,71	3,26	5,78	3,97	9,49	2,52	2,33	0,89

d.m.s.: diferença mínima significativa pelo teste de Tukey.

C.V.: coeficiente de variação.

lares foram relatados por ADAMS e PEARSON (1967), BLACK (1968) KAMPRATH e FOY (1971). As equações de regressão e coeficientes de determinação mostram que a acidez trocável (Al^{+++}) decresceu inversamente ao pH (Figura 1). RIXON e SHERMAN (1962), YUAN (1963), LAROCHE (1967) e CAMARGO e Van RAIJ (1975) encontraram a mesma ordem de resposta, quando o pH do solo foi elevado através de corretivos. A acidez trocável (Al^{+++}), que apareceu nos solos com pH alto, deve ter sido proveniente do H^+ trocável, tendo em vista que o alumínio trocável e em solução precipita em pH acima de 5,5 (YUAN, 1963 e BEN, 1974).

O incremento verificado na soma de bases foi decorrente do cálcio e do magnésio trocáveis, enquanto a ligeira elevação verificada na CTC foi, provavelmente, consequência do aparecimento de cargas negativas, à medida que a acidez decrescia. O surgimento de cargas negativas ocorre sempre que se aplica material para correção da acidez de solos tropicais, conforme relataram BHUMBLA e McLEAN (1965) e KAMPRATH (1970). Esse aumento da CTC de solos ácidos, segundo COLEMAN e THOMAS (1967), está associado, principalmente, à ionização do hidrogênio de hidróxidos de ferro e alumínio e dos grupos funcionais da matéria orgânica. Por essas razões é que LAROCHE (1967) encontrou um nítido aumento da CTC de um Latossolo da Costa Rica, em função da aplicação de crescentes níveis de calcário, com a finalidade de eliminar a excessiva acidez do

Os índices de saturação de bases (valor V) e os de cálcio, magnésio e potássio para o LVE e PVA estão apresentados nas Tabelas 4 e 5, respectivamente. Constatou-se, como é óbvio, que esses valores aumentaram proporcionalmente ao cálcio e magnésio aplicados ao solo, tendo, entretanto, ficado abaixo dos níveis calculados e adicionados, isto talvez em decorrência de reações destes elementos no solo, imobilização por microorganismos e, também, devido ao aumento da CTC. Resultados semelhantes foram encontrados por FASSBENDER e LAROCHE (1968) e McLEAN e CARBONELL (1972). Os índices de saturação em potássio decresceram ligeiramente e de maneira inversa aos índices de saturação em cálcio e magnésio. Entretanto, as diferenças nem sempre foram esta-

Figura 1 - Relação entre a acidez trocável (Al^{+++}) e o pH dos dois solos.

Tabela 4 - Índices de saturação e atividades do cálcio, magnésio e potássio, em função dos níveis de cálcio e magnésio adicionados ao solo (LVE).

TRATAMENTO		SATURAÇÃO EM BASES				ATIVIDADE		
Ca	Mg	V	Ca	Mg	K	Ca	Mg	K
Sat.(%)		[%]				mmol/l		
20,6	14,8	38,73	20,66	13,29	4,47	0,26	0,21	0,55
35,0	14,8	48,55	30,43	13,45	4,41	0,46	0,32	0,61
50,0	14,8	55,96	39,87	12,75	4,19	0,82	0,44	0,68
65,0	14,8	64,82	48,04	12,47	4,08	0,98	0,49	0,66
80,0	14,8	72,84	57,33	11,48	3,78	1,54	0,51	0,61
20,6	14,8	38,73	20,66	13,29	4,47	0,26	0,21	0,55
20,6	30,0	49,10	19,36	24,04	4,37	0,39	0,52	0,62
20,6	45,0	57,01	18,08	34,25	4,32	0,43	0,78	0,60
20,6	60,0	64,85	17,67	43,62	4,22	0,46	0,99	0,63
20,6	75,0	72,40	16,33	52,30	3,93	0,51	1,17	0,65
20,6	75,0	72,40	16,33	52,30	3,93	0,51	1,17	0,65
35,0	60,0	72,72	24,56	43,91	3,97	0,75	1,05	0,57
50,0	45,0	71,26	35,32	32,05	3,92	1,04	0,99	0,56
65,0	30,0	72,42	44,33	23,62	4,03	1,25	0,77	0,55
80,0	14,8	72,84	57,33	11,48	3,78	1,54	0,51	0,61
35,0	14,8	48,55	30,43	13,45	4,41	0,46	0,32	0,61
35,0	30,0	55,98	28,04	23,25	4,26	0,55	0,63	0,56
35,0	45,0	63,05	24,53	34,08	4,08	0,68	0,90	0,60
35,0	60,0	72,72	24,56	43,91	3,97	0,75	1,05	0,57
d.m.s.(5%)		3,88	3,56	2,56	0,75	0,24	0,20	0,17
C.V. (%)		2,11	3,92	2,82	6,03	11,27	9,45	9,43

d.m.s.: diferença mínima significativa pelo teste de Tukey.

C.V.: coeficiente de variação.

Tabela 5 - Índices de saturação e atividades do cálcio, magnésio e potássio, em função dos níveis de cálcio e magnésio adicionados ao solo (PVA).

TRATAMENTO		SATURAÇÃO EM BASES				ATIVIDADES		
Ca	Mg	V	Ca	Mg	K	Ca	Mg	K
Sat.(%)		(%)				mmol/l		
20,5	16,5	37,97	17,57	16,29	3,31	0,30	0,30	0,22
35,0	16,5	51,36	31,60	16,16	2,86	0,43	0,33	0,20
50,0	16,5	65,62	44,86	15,14	2,53	0,79	0,43	0,22
65,0	16,5	70,68	53,90	15,46	2,68	1,09	0,43	0,22
80,0	16,5	78,57	60,41	14,80	2,67	1,41	0,53	0,23
20,5	16,5	37,97	17,57	16,29	3,31	0,30	0,33	0,22
20,5	30,0	50,65	19,20	27,81	2,79	0,36	0,48	0,20
20,5	45,0	60,18	18,56	38,51	2,45	0,39	0,76	0,21
20,5	60,0	71,18	16,43	50,75	2,73	0,40	1,07	0,23
20,5	75,0	75,57	16,00	56,12	2,74	0,41	1,14	0,27
20,5	75,0	75,57	16,00	56,12	2,74	0,41	1,14	0,27
35,0	60,0	77,14	25,80	47,94	2,65	0,67	1,05	0,26
50,0	45,0	77,02	37,97	35,47	2,76	0,89	0,89	0,25
65,0	30,0	78,84	49,81	25,65	2,64	1,11	0,67	0,23
80,0	16,5	78,57	60,41	14,80	2,67	1,41	0,53	0,23
35,0	16,5	51,36	31,60	16,16	2,86	0,43	0,30	0,20
35,0	30,0	63,37	29,47	29,98	2,68	0,60	0,65	0,22
35,0	45,0	71,14	28,99	38,72	2,73	0,64	0,84	0,23
35,0	60,0	77,14	25,80	47,98	2,65	0,67	1,05	0,26
d.m.s. (5%)		3,17	3,63	3,13	0,61	0,19	0,18	0,08
C.V. (%)		1,60	3,77	3,42	7,45	9,18	8,72	10,80

d.m.s.: diferença mínima significativa pelo teste de Tukey.

C.V.: coeficiente de variação.

tisticamente significativas. Sobre esse aspecto, as informações na literatura são um tanto contraditórias (PIERRE e BOWER, 1943; PEECH e BRADFIELD, 1943 e LAROCHE, 1967).

Relacionando-se o pH como função do valor V (Figura 2) notou-se que houve uma correlação significativa entre as duas séries de valores para os dois solos. Respostas semelhantes foram encontradas por diversos pesquisadores (LAROCHE, 1967 e CAMARGO e Van RAIJ, 1975). Era evidente que isso acontecesse, tendo-se em vista o aumento do valor S e a diminuição dos teores de H^+ + Al^{+++} , em função dos tratamentos, conforme mostram as Tabelas 2 e 3.

Os valores das atividades de cálcio, magnésio e potássio (Tabelas 4 e 5) seguiram idêntica tendência aos valores de saturação e formas trocáveis desses elementos, em função dos tratamentos. Constatou-se, ainda, um efeito recíproco do cálcio e magnésio adicionados, em incrementar a atividade um do outro na solução. Entretanto, nem sempre as diferenças foram significativas conforme o teste de Tukey a 5%. Isso pode ser evidenciado através da análise das Figuras 3, 4, 5 e 6, em que o aumento do valor V, provocado por um dos cátions adicionados ao solo, resultou no incremento da atividade do cátion diferente, considerando cálcio e magnésio.

Através das equações de regressão e coeficientes de correlação (Figuras 7 e 8), observou-se que as atividades do cálcio e do magnésio variaram linearmente com os índices de saturação desses dois elementos nos dois solos. No PVA os valores de r foram ligeiramente mais altos, tanto para o cálcio como para o magnésio.

Com relação à atividade do potássio, os resultados mostram que os tratamentos não tiveram nenhum efeito sobre a mesma. De certo modo isso era esperado, tendo-se em vista que os teores trocáveis e os índices de saturação desse elemento foram muito pouco influenciados pelos tratamentos, conforme pode ser visto ao se analisarem aqueles dados (Tabelas 2, 3, 4 e 5). Segundo PEARSON (1958), o efeito de corretivos da acidez do solo sobre a liberação de potássio ainda continua no plano das controvérsias. Há informações na literatura segundo as quais

Figura 2 - Relação entre o pH e o índice de saturação de bases (V%) dos dois solos.

Figura 3 - Relação entre o índice de saturação de bases e a atividade de do cálcio na solução do solo.

Figura 4 - Relação entre o índice de saturação de bases e a atividade de do cálcio na solução do solo.

Figura 5 - Relação entre o índice de saturação de bases e a atividade do magnésio na solução do solo.

Figura 6 - Relação entre o índice de saturação de bases e a atividade de do magnésio na solução do solo.

Figura 7 - Relação entre a atividade do cálcio e a saturação em cálcio (SCa) dos dois solos.

Figura 8 Relação entre a atividade do magnésio e a saturação em magnésio (SMg) dos dois solos.

tanto fixação como liberação podem ocorrer, dependendo das características do solo, não permitindo, portanto, generalizações.

4.2 - Produção de Matéria Seca das Plantas de Sorgo e Vigna.

De acordo com os dados das Tabelas 6, 7, 8 e 9, é possível visualizar que os tratamentos exerceram um nítido efeito sobre as produções de matéria seca do sorgo e do vigna, nos dois solos. No que diz respeito ao efeito do cálcio, verificou-se no LVE um incremento da produção de matéria seca até o nível de 50% e 35% de saturação em cálcio, para o sorgo e vigna, respectivamente. Em valores mais altos de saturação ocorreu, às vezes, uma tendência de decréscimo. No PVA observou-se idêntica ordem de resposta, entretanto, o peso de matéria seca do sorgo aumentou até o nível correspondente a 65% de saturação e não mostrou tendência para decrescer, em função de níveis mais altos de cálcio aplicados ao solo, como aconteceu no LVE.

Com relação ao efeito dos tratamentos com magnésio, constatou-se que esse elemento foi eficiente em promover o crescimento das plantas de sorgo e de vigna até o nível correspondente a 45% de saturação em magnésio, nos dois solos. Nos últimos níveis, entretanto, observou-se um decréscimo na produção de matéria seca das duas culturas, sendo, contudo, significativo somente no caso do sorgo. Nos tratamentos onde os níveis de cálcio aumentavam e os de magnésio decresciam, mantendo-se, entretanto, a soma dos dois constantes, os resultados de produção não foram estatisticamente detectáveis. Quando o nível de cálcio foi mantido em 35% de saturação e os níveis de magnésio cresciam, o peso de matéria seca das culturas no LVE não variou. No PVA, todavia, observou-se um ligeiro incremento, com os crescentes níveis de magnésio, mas nem sempre as diferenças foram significativas. Baseando-se nestes resultados, pode-se dizer que os níveis originais de cálcio e magnésio no LVE e no PVA foram suficientes para o crescimento das plantas e que o incremento observado deve ter sido consequência da modificação de fatores ambientais no solo, resultante das crescentes quantidades de Ca(OH)_2 e MgO aplicadas a este.

Tabela 6 - Produção de matéria seca (M.S.) do sorgo e concentração de cálcio, magnésio e potássio, em função dos diferentes níveis de cálcio e magnésio adicionados ao solo (LVE).

TRAT. (Sat. %)		M.S.	Ca	Mg	K	Ca + Mg + K
Ca	Mg	(g/pote)	(%)			e.mg/100g M.S.
20,6	14,8	6,18	0,36	0,41	2,18	108,23
35,0	14,8	7,91	0,48	0,48	2,54	128,70
50,0	14,8	9,68	0,56	0,56	2,80	144,77
65,0	14,8	8,67	0,64	0,53	2,88	150,07
80,0	14,8	8,18	0,69	0,52	2,87	150,87
20,6	14,8	6,18	0,36	0,41	2,18	108,23
20,6	30,0	8,18	0,34	0,62	2,43	130,77
20,6	45,0	9,51	0,33	0,66	3,21	154,03
20,6	60,0	7,49	0,29	0,76	3,14	158,30
20,6	75,0	7,23	0,29	0,92	3,13	171,40
20,6	75,0	7,23	0,29	0,92	3,13	171,40
35,0	60,0	8,61	0,39	0,83	3,16	169,93
50,0	45,0	8,27	0,54	0,69	3,06	162,40
65,0	30,0	8,08	0,59	0,60	3,13	159,83
80,0	14,8	8,18	0,69	0,52	2,87	150,87
35,0	14,8	7,91	0,48	0,48	2,54	128,70
35,0	30,0	7,98	0,52	0,61	3,08	155,73
35,0	45,0	8,66	0,45	0,68	2,93	158,80
35,0	60,0	8,61	0,39	0,83	3,16	169,93
d.m.s. (5%)		1,66	0,11	0,18	0,58	27,06
C.V. (%)		7,18	8,03	9,88	6,77	6,02

d.m.s.: diferença mínima significativa pelo teste de Tukey.

C.V.: coeficiente de variação.

Tabela 7 - Produção de matéria seca (M.S.) do vigna e concentração de cálcio, magnésio e potássio, em função dos diferentes níveis de cálcio e magnésio adicionados ao solo (LVE).

TRAT. (Sat. %)		M.S.	Ca	Mg	K	Ca + Mg + K
Ca	Mg	(g/pote)		(%)		e.mg/100g M.S.
20,6	14,8	5,66	1,34	0,64	4,08	224,67
35,0	14,8	7,00	1,86	0,60	4,09	247,47
50,0	14,8	7,66	2,14	0,60	4,07	261,53
65,0	14,8	7,10	2,23	0,58	4,22	267,80
80,0	14,8	6,65	2,40	0,62	4,30	282,00
20,6	14,8	5,66	1,34	0,64	4,08	224,67
20,6	30,0	6,86	1,32	0,83	4,28	244,57
20,6	45,0	7,78	1,20	0,89	4,31	244,40
20,6	60,0	6,45	0,95	1,03	4,37	245,27
20,6	75,0	6,18	0,86	1,13	4,38	249,00
20,6	75,0	6,18	0,86	1,13	4,38	249,00
35,0	60,0	6,83	1,16	1,00	4,29	251,03
50,0	45,0	6,94	1,41	0,90	4,24	254,07
65,0	30,0	6,96	1,66	0,79	4,22	256,93
80,0	14,8	6,65	2,40	0,62	4,30	282,00
35,0	14,8	7,00	1,86	0,60	4,09	247,47
35,0	30,0	7,41	1,48	0,72	4,09	238,77
35,0	45,0	7,34	1,28	0,88	4,11	242,50
35,0	60,0	6,83	1,16	1,00	4,29	251,03
d.m.s. (5%)		1,79	0,33	0,18	0,51	29,32
C.V. (%)		8,66	7,33	7,45	4,06	3,91

d.m.s.: diferença mínima significativa pelo teste de Tukey.

C.V.: coeficiente de variação.

Tabela 8 - Produção de matéria seca de sorgo (M.S.) e concentração de cálcio, magnésio e potássio, em função dos diferentes níveis de cálcio e magnésio adicionados ao solo (PVA).

TRAT. (Sat. %)		M.S.	Ca	Mg	K	Ca + Mg + K
Ca	Mg	(g/pote)		(%)		e.mg/100g M.S.
20,5	16,5	7,46	0,34	0,43	1,65	95,23
35,0	16,5	10,32	0,49	0,48	1,69	107,67
50,0	16,5	11,89	0,60	0,48	1,78	115,83
65,0	16,5	14,03	0,66	0,52	1,98	126,93
80,0	16,5	13,68	0,71	0,54	1,86	127,43
20,5	16,5	7,46	0,34	0,43	1,65	95,23
20,5	30,0	10,68	0,28	0,74	1,69	118,80
20,5	45,0	12,72	0,22	0,76	1,89	122,43
20,5	60,0	11,76	0,21	0,94	1,54	128,57
20,5	75,0	9,07	0,20	1,11	1,55	142,73
20,5	75,0	9,07	0,20	1,11	1,55	142,73
35,0	60,0	13,71	0,31	0,83	2,01	135,93
50,0	45,0	13,99	0,47	0,80	2,01	141,40
65,0	30,0	13,98	0,56	0,68	2,02	136,40
80,0	16,5	13,68	0,71	0,53	1,86	127,43
35,0	16,5	10,32	0,49	0,48	1,69	107,67
35,0	30,0	11,49	0,37	0,71	2,09	136,27
35,0	45,0	12,42	0,28	0,79	1,99	131,27
35,0	60,0	13,71	0,31	0,83	2,01	135,93
d.m.s. (5%)		2,77	0,07	0,14	0,59	18,86
C.V. (%)		7,75	6,16	6,64	10,69	5,00

d.m.s.: diferença mínima significativa pelo teste de Tukey.

C.V.: coeficiente de variação.

Tabela 9 - Produção de matéria seca (M.S.) de vigna e concentração de cálcio e magnésio e potássio, em função dos diferentes níveis de cálcio e magnésio adicionados ao solo (PVA).

TRAT. (Sat. %)		M.S.	Ca	Mg	K	Ca + Mg + K
Ca	Mg	(g/pote)	(%)			e.mg/100g M.S.
20,5	16,5	8,54	1,51	0,44	2,06	164,97
35,0	16,5	9,53	2,29	0,48	2,03	206,60
50,0	16,5	10,85	3,05	0,59	1,94	237,27
65,0	16,5	10,96	3,37	0,69	2,00	251,67
80,0	16,5	10,97	3,53	0,67	2,04	277,10
20,5	16,5	8,54	1,51	0,44	2,06	164,97
20,5	30,0	9,82	1,25	0,73	2,11	178,17
20,5	45,0	11,42	0,82	0,89	2,03	167,30
20,5	60,0	10,98	0,74	1,09	1,98	178,23
20,5	75,0	9,93	0,62	1,28	1,89	178,47
20,5	75,0	9,93	0,62	1,28	1,89	178,47
35,0	60,0	10,68	1,07	1,05	2,07	193,97
50,0	45,0	10,44	1,64	1,08	2,09	225,33
65,0	30,0	10,58	2,23	0,91	2,04	239,13
80,0	16,5	10,97	3,53	0,67	2,04	277,10
35,0	16,5	9,53	2,29	0,48	2,03	206,60
35,0	30,0	11,87	1,54	0,74	1,90	186,97
35,0	45,0	11,84	1,17	0,98	1,84	187,40
35,0	60,0	10,68	1,07	1,05	2,07	193,97
d.m.s. (5%)		2,02	0,36	0,12	0,46	25,49
C.V. (%)		7,24	6,86	5,05	7,67	4,12

d.m.s.: diferença mínima significativa pelo teste de Tukey.

C.V.: coeficiente de variação.

De uma maneira generalizada, a sequência das respostas das duas culturas aos tratamentos, nos dois solos, foi muito semelhante. Entretanto, no PVA as plantas tiveram um desenvolvimento melhor, que foi revelado pelo maior peso de matéria seca, fato este que deve ser atribuído às diferentes características dos solos e a um mais adequado balanço de nutrientes no PVA, ou a um outro fator, tendo-se em vista que os tratamentos foram idênticos para ambos os solos.

As equações de respostas entre as produções de matéria seca do sorgo e do vigna nos dois solos, como função dos índices de saturação (Figura 9), formas trocáveis (Figura 10) e atividades (Figura 11) do cálcio e do magnésio, encontrados no solo após o período de incubação e quando somente cálcio ou magnésio constituíam os tratamentos, foram em todos os casos significativos e de natureza quadrática.

Comparando-se a eficácia dos vários parâmetros de cálcio e magnésio em produzir as quantidades de matéria seca das duas culturas, notou-se, através dos coeficientes de determinação, que basicamente não ocorreram diferenças acentuadas entre os mesmos, tanto em relação aos parâmetros de cálcio como em relação aos de magnésio. O que se observou, entretanto, é que no PVA os valores de R^2 foram sempre mais altos do que no LVE, significando uma tendência generalizada de um melhor ajustamento das curvas de respostas, em relação aos parâmetros de cálcio e magnésio naquele solo. Isso, talvez, pelas razões já apresentadas anteriormente. No que diz respeito à relação entre o crescimento das plantas e os parâmetros de cálcio e magnésio no solo, KINJO (1967) informou que o índice de saturação de cálcio em um Latossolo Vermelho Escuro deu uma melhor correlação com a produção de matéria seca do algodão, quando comparada com a forma trocável. Por outro lado, MOSTAFA e ULRICH (1974) reportaram que a atividade do cálcio deu uma melhor estimativa da disponibilidade desse elemento no solo para beterraba açucareira. De maneira geral, os resultados aqui obtidos estão de acordo com as afirmações de FRIED e BROESHART (1967) e FASSBENDER (1975), segundo as quais a concentração dos cátions na solução do solo está em equilíbrio com a fase adsorvida. As respostas em relação aos níveis de

Figura 9 - Produção de matéria seca (M.S.) do sorgo e vigna em relação à saturação em cálcio (SCa) dos dois solos.

Figura 10 - Produção de matéria seca (M.S.) do sorgo e vigna, em relação ao cálcio trocável (Ca^{++}) dos dois solos.

Figura 11 - Produção de matéria seca (M.S.) do sorgo e vigna, em relação atividade do cálcio (ACa) dos dois solos.

saturação em cálcio e magnésio podem, entretanto, variar tremendamente em função da natureza dos colóides e do íon complementar, além de outros fatores (BLACK, 1968). Essa talvez seja também uma das razões das diferenças de produção de matéria seca do sorgo e do vigna nos dois solos, em função dos níveis de saturação em cálcio e magnésio (Figura 9).

Analisando-se os dados de produção obtidos neste experimento, em relação ao cálcio e magnésio, constatou-se que a relação Ca:Mg não foi tão importante, conforme mostram as Figuras 9, 10 e 11, tendo-se em vista que a baixa relação Ca:Mg no solo proporcionou rendimentos semelhantes aos obtidos quando esta relação era $> 1,0$, isso, tanto para o sorgo como para o vigna. Sobre esse aspecto, HUNTER (1949) reportou que a relação Ca:Mg trocável no solo não teve efeito sobre a produção de alfafa, apesar de ter afetado a absorção de cálcio e magnésio. SANIK *et alii* (1952) encontraram apenas ligeiras diferenças em produção de matéria seca de trigo e sorgo quando a relação Ca:Mg variava de 6,7 a 1,0. BEAR e TOTH (1948) informaram que a porcentagem de saturação é mais importante do que a relação Ca:Mg trocável para a nutrição de plantas. KEY *et alii* (1962) observaram uma tendência de menor crescimento da soja e milho quando a relação Ca:Mg era menos de 1,0. LAROCHE (1967) verificou que as relações Ca:Mg de 7:1 e 4:1 foram superiores à relação 1:1, sobre a produção de matéria seca do tomate, em um Latossolo da Costa Rica. SFREDDO (1976) observou que a produção de matéria seca do sorgo foi prejudicada quando a relação Ca:Mg estava compreendida entre 0,5 e 1,0. BEAR e TOTH (1948) sugeriram que, em um solo ideal, a relação Ca:Mg deveria ser de 6,5. Graham (1959), citado por McLEAN e CARBONELL (1972), informou que a relação Ca:Mg no solo deve estar em torno de 7,5. MARTIN e PAGE (1969) relataram que, em um solo onde a porcentagem de magnésio trocável era quatro vezes a de cálcio, o crescimento de "seedlings" de laranja não foi reduzido.

Estudando-se o efeito do pH sobre a produção de matéria seca de sorgo (Figura 12) e vigna (Figura 13) nos dois solos, visualizou-se, através das equações de regressão, que as respostas foram de natureza quadrática, obtendo-se para a produção de matéria seca do vigna

Figura 12 - Produção de matéria seca (M.S.) do sorgo, em relação ao pH dos dois solos.

Figura 13 Produção de matéria seca (M.S.) do vigna, em relação ao pH dos dois solos.

um melhor ajustamento dos dados, conforme mostram os coeficientes de determinação que foram 68% e 75%, no LVE e PVA, respectivamente, enquanto para o sorgo, nos mesmos solos, foram 55% e 57%. Esses diferentes efeitos do pH sobre a produção de matéria seca podem ser atribuídos a uma modificação nas características dos solos, propiciando uma melhor condição para o desenvolvimento do vigna,. Entretanto, o incremento só ocorreu até aproximadamente pH 6,0, decrescendo posteriormente. Esse comportamento das plantas pode ter sido decorrente da diminuição da disponibilidade de alguns micronutrientes como boro, manganês e zinco, o que foi revelado pela diminuição das concentrações desses elementos nas plantas, à medida que o pH aumentava, decorrente das adições de crescentes quantidades de Ca(OH)_2 e MgO aos solos (Tabelas 10, 11, 12 e 13). Valores extremos da relação Ca:Mg nos dois solos podem ter afetado o desenvolvimento das plantas, conforme pode ser visto através das Figuras 9, 10 e 11.

Ao se analisarem os dados de uma maneira global, observou-se que as variações nas produções de matéria seca de sorgo e vigna, nos dois solos, foram decorrentes mais do efeito do pH do que do cálcio e magnésio, tendo-se em vista que, tanto um quanto o outro, quando adicionado ao solo, isoladamente, incrementou o crescimento das plantas até um certo nível, decrescendo em seguida. Isso pode significar que os níveis originais de cálcio e magnésio nos dois solos eram adequados. Sobre esse aspecto, VLAMIS (1953) constatou que a simples adição de NaOH a um solo, para provocar a elevação do pH e conseqüentemente precipitar o alumínio, favoreceu o aumento da produtividade de alfafa e cevada. Nesse experimento, contudo, é possível que o aumento da produção, verificado com a adição do Ca(OH)_2 e MgO , não tenha sido devido somente à precipitação do alumínio trocável, pois os teores desse elemento eram muito baixos, correspondendo a 0,48 e 1,37 e.mg/100g de solo no LVE e PVA, respectivamente, considerando-se ainda que nesses valores estão incluídos o H^+ trocável. Assim sendo é provável que outros fatores tenham contribuído para um melhor desenvolvimento das plantas. A diminuição do manganês solúvel do solo, com a elevação do pH, pode ter contribuído

Tabela 10 - Concentrações de fósforo e micronutrientes em plantas de sorgo, em função dos diferentes níveis de cálcio e magnésio adicionados ao solo (LVE).

TRAT. (Sat.%)		P	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Ca	Mg	ppm					
20,6	14,8	0,30	18,29	9,00	195,33	137,00	50,00
35,0	14,8	0,32	17,16	9,00	178,33	121,33	45,33
50,0	14,8	0,37	16,38	8,33	181,00	83,67	41,00
65,0	14,8	0,38	14,84	9,00	183,67	60,67	34,00
80,0	14,8	0,40	14,40	9,00	171,67	51,67	28,67
20,6	14,8	0,30	18,29	9,00	195,33	137,00	50,00
20,6	30,0	0,32	16,41	8,33	178,00	115,00	41,67
20,6	45,0	0,35	15,94	8,33	176,67	77,33	39,33
20,6	60,0	0,37	14,83	8,33	175,00	70,33	34,00
20,6	75,0	0,41	14,91	9,00	172,00	62,67	28,33
20,6	75,0	0,41	14,91	9,00	172,00	62,67	28,33
35,0	60,0	0,39	17,04	7,00	171,67	60,67	29,67
50,0	45,0	0,41	16,05	7,67	171,67	56,67	30,00
65,0	30,0	0,42	17,71	7,33	173,00	59,67	30,67
80,0	14,8	0,40	14,40	9,00	171,67	51,67	28,67
35,0	14,8	0,41	17,16	9,00	178,33	121,33	45,33
35,0	30,0	0,35	15,28	7,67	180,67	82,00	36,33
35,0	45,0	0,32	15,74	7,33	173,33	58,00	33,67
35,0	60,0	0,39	17,04	7,00	171,67	60,67	29,67
d.m.s.(5%)		0,14	3,80	3,02	29,91	19,15	6,83
C.V.(%)		13,02	7,90	12,31	5,62	8,24	6,36

d.m.s.: diferença mínima significativa pelo teste de Tukey.

C.V.: coeficiente de variação.

Tabela 11 - Concentrações de fósforo e micronutrientes em plantas de vigna, em função dos diferentes níveis de cálcio e magnésio adicionados ao solo (LVE).

TRAT. (Sat.%)		P	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Ca	Mg	ppm					
20,6	14,8	0,32	53,82	9,67	257,67	262,00	56,67
35,0	14,8	0,31	49,37	9,67	222,33	158,00	48,00
50,0	14,8	0,38	46,80	9,60	244,67	84,67	43,33
65,0	14,8	0,38	40,56	10,33	259,67	63,33	40,00
80,0	14,8	0,38	38,22	9,67	256,33	50,33	33,00
20,6	14,8	0,32	53,82	9,67	257,67	262,00	56,67
20,6	30,0	0,32	49,28	10,33	266,67	140,33	47,33
20,6	45,0	0,36	50,06	11,67	267,00	76,00	43,33
20,6	60,0	0,36	50,27	9,00	259,33	47,67	41,33
20,6	75,0	0,37	42,12	9,67	263,00	39,67	35,00
20,6	75,0	0,37	42,12	9,67	263,00	39,67	35,00
35,0	60,0	0,38	47,61	11,00	252,00	41,33	34,00
50,0	45,0	0,38	42,12	9,00	259,00	44,00	31,33
65,0	30,0	0,38	49,92	9,00	255,33	46,00	32,33
80,0	14,8	0,38	38,22	9,67	256,33	50,33	33,00
35,0	14,8	0,31	49,37	9,67	222,33	158,00	48,00
35,0	30,0	0,36	50,26	9,67	261,33	83,67	44,00
35,0	45,0	0,35	44,46	9,00	264,00	66,33	37,00
35,0	60,0	0,38	47,61	11,00	252,00	41,33	34,00
d.m.s. (5%)		0,10	9,22	3,58	66,97	35,37	4,69
C.V. (%)		9,71	6,60	12,18	8,77	12,63	3,87

d.m.s.: diferença mínima significativa pelo teste de Tukey.

C.V.: coeficiente de variação.

Tabela 12 - Concentrações de fósforo e micronutrientes em plantas de sorgo, em função dos diferentes níveis de cálcio e magnésio adicionados ao solo (PVA).

TRAT. (Sat.%)		P	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Ca	Mg	ppm					
20,5	16,5	0,20	18,72	5,33	239,33	176,67	70,33
35,0	16,5	0,23	16,38	6,33	198,33	162,67	61,67
50,0	16,5	0,24	13,26	5,67	151,33	108,33	53,33
65,0	16,5	0,23	14,06	6,33	147,00	93,67	48,00
80,0	16,5	0,23	11,59	6,33	147,67	60,67	37,33
20,5	16,5	0,20	18,72	5,83	239,33	176,67	70,33
20,5	30,0	0,22	16,69	6,33	211,00	144,00	63,37
20,5	45,0	0,25	10,47	7,00	178,33	106,33	55,00
20,5	60,0	0,25	10,14	7,67	161,67	76,67	50,00
20,5	75,0	0,27	10,81	8,33	160,33	69,33	41,67
20,5	75,0	0,27	10,81	8,33	160,33	69,33	41,67
35,0	60,0	0,26	11,25	7,67	166,00	62,33	42,00
50,0	45,0	0,24	11,70	8,33	164,67	61,00	39,00
65,0	30,0	0,22	13,05	6,33	168,67	64,67	39,00
80,0	16,5	0,23	11,59	7,00	147,67	60,67	37,33
35,0	16,5	0,23	16,38	6,33	198,33	162,67	61,67
35,0	30,0	0,26	15,52	6,67	187,33	114,00	55,33
35,0	45,0	0,22	14,73	6,33	172,33	87,67	42,67
35,0	60,0	0,26	11,25	7,67	166,00	62,33	42,00
d.m.s. (5%)		0,08	3,91	2,99	64,60	24,08	12,35
C.V. (%)		8,26	9,71	15,00	12,31	8,11	8,22

d.m.s.: diferença mínima significativa pelo teste de Tukey.

C.V.: coeficiente de variação.

Tabela 13 - Concentrações de fósforo e micronutrientes em plantas de Vigna, em função dos diferentes níveis de cálcio e magnésio adicionados ao solo (PVA).

TRAT. (Sat.%)		P	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Ca	Mg	ppm					
20,5	16,5	0,27	86,58	9,00	304,00	406,00	62,33
35,0	16,5	0,30	73,32	10,00	283,33	291,33	54,33
50,0	16,5	0,32	68,07	9,66	272,67	178,67	49,00
65,0	16,5	0,28	62,47	9,33	252,33	132,33	42,00
80,0	16,5	0,30	56,44	9,00	243,00	83,67	34,00
20,5	16,5	0,27	56,44	9,00	304,00	406,00	62,33
20,5	30,0	0,30	73,32	8,67	289,00	235,00	55,33
20,5	45,0	0,28	70,20	9,33	281,33	187,00	52,00
20,5	60,0	0,33	65,47	9,67	277,33	14,00	45,33
20,5	75,0	0,33	62,18	9,00	241,67	85,00	38,00
20,5	75,0	0,33	62,18	9,00	241,67	85,00	38,00
35,0	60,0	0,32	64,10	8,33	245,67	89,33	40,67
50,0	45,0	0,27	63,18	9,00	256,33	81,33	40,00
65,0	30,0	0,28	64,52	8,33	256,00	84,67	39,00
80,0	16,5	0,30	56,44	9,00	243,00	83,67	34,00
35,0	16,5	0,30	73,52	10,00	283,33	291,33	54,33
35,0	30,0	0,33	63,85	9,00	271,00	151,00	52,33
35,0	45,0	0,30	62,61	9,33	250,33	128,00	47,00
35,0	60,0	0,32	64,10	8,33	245,67	89,33	40,67
d.m.s.(5%)		0,07	6,63	1,85	63,40	61,72	9,15
C.V. (%)		8,57	3,32	6,94	7,96	12,64	6,57

d.m.s.: diferença mínima significativa pelo teste de Tukey.

C.V.: coeficiente de variação.

para o aumento da produção de matéria seca, tendo-se em vista que esse elemento é tóxico para as plantas, acima de uma determinada concentração, variando o grau de toxicidade com a espécie ou variedade. Níveis tóxicos de manganês podem ser encontrados em solos com $\text{pH} < 5,5$ (MULDER e GERRETSEN, 1952; ADAMS e WEAR, 1957; SANCHEZ e KAMPRATH, 1959 e FOY, 1971).

4.3 - Efeito dos Tratamentos Sobre a Absorção de Ca, Mg, K, B, Cu, Fe, Mn e Zn Pelas Plantas.

Os dados de absorção de cálcio, magnésio e potássio pelas plantas de sorgo e vigna, cultivados nos dois solos, encontram-se nas Tabelas 6, 7, 8 e 9. Os teores de cálcio e magnésio nas plantas aumentaram com os crescentes níveis de cálcio e magnésio aplicados ao solo, respectivamente, mas, as diferenças nem sempre foram significativas. Resultados semelhantes foram encontrados por BOULD e HEWITT (1963) e MARTIN e PAGE (1969) em diversas culturas. Os dados obtidos revelaram, ainda, uma tendência do cálcio em induzir uma maior absorção do magnésio, e deste, em reduzir a absorção do cálcio. Essa tendência pode ser atribuída ao antagonismo entre esses dois íons, tendo-se em vista, o efeito recíproco dos níveis desses dois elementos, em provocar um aumento na atividade um do outro, nos dois solos (Tabelas 4 e 5).

Quando as concentrações de cálcio e magnésio nas plantas foram analisadas, em função dos teores trocáveis, níveis de saturação e atividade do cálcio e do magnésio, nos dois solos verificou-se, conforme mostram as Figuras 14 a 25, que essas concentrações correlacionaram-se positiva e estreitamente com os parâmetros referidos, determinados no solo após o período de incubação. Nessas análises consideraram-se todos os tratamentos e conseqüentemente os diferentes valores da relação Ca:Mg.

Pelas equações de regressão e coeficientes de correlação é possível inferir que a relação Ca:Mg pouco influenciou na absorção de cada um desses nutrientes pelas plantas de sorgo e vigna. A tendência de um efeito recíproco entre cálcio e magnésio em influenciar na

Figura 14 - Relação entre a concentração de cálcio na matéria seca (M.S.) do sorgo e a saturação em cálcio (SCa) dos dois solos.

Figura 15 - Relação entre a concentração de cálcio na matéria seca (M.S.) do vigna e a saturação em cálcio (SCa) dos dois solos.

Figura 16 Relação entre a concentração de cálcio na matéria seca (M.S.) do sorgo e o cálcio trocável (Ca⁺⁺) dos dois solos.

Figura 17 - Relação entre a concentração de cálcio na matéria seca (M.S.) do vigna e o cálcio trocável (Ca^{++}) dos dois solos.

Figura 18 - Relação entre a concentração de cálcio na matéria seca (M.S.) do sorgo e a atividade do cálcio (ACa) dos dois solos.

Figura 19 Relação entre o cálcio na matéria seca (M.S.) do vigna e a atividade do cálcio (ACa) dos dois solos.

Figura 20 - Relação entre o magnésio na matéria seca (M.S.) do sorgo e a atividade do magnésio (AMg) dos dois solos.

Figura 21 - Relação entre o magnésio na matéria seca (M.S. do vigna e a saturação em magnésio (SMg) dos dois solos.

Figura 22 - Relação entre o magnésio na matéria seca (M.S.) do sorgo e o magnésio trocável (Mg⁺⁺) dos dois solos.

Figura 23 - Relação entre o magnésio na matéria seca (M.S.) do vicia e o magnésio trocável (Mg⁺⁺) dos dois solos.

Figura 24 - Relação entre o magnésio na matéria seca (M.S.) do sorgo e a atividade do magnésio (AMg) dos dois solos.

Figura 25 - Relação entre magnésio na matéria seca (M.S.) do vigna e a atividade do magnésio (AMg) dos dois solos.

absorção um do outro é observada apenas quando se analisam os dados em que somente um desses dois elementos constitui os tratamentos. Esses resultados são confirmados por diversos pesquisadores, os quais citam que as bases são absorvidas pelas plantas, em função da concentração ou atividade no solo e da seletividade das plantas (COLLANDER, 1941; BRAY, 1942; MEHLICH e COLEMAN, 1952 e MILAN e MEHLICH, 1954).

As equações de regressão revelaram, de maneira generalizada, que as concentrações de cálcio nas duas culturas, nos níveis mais baixos desse elemento no solo, foram menores no LVE, ultrapassando, entretanto, os valores obtidos no PVA, à medida que os níveis de cálcio, expressados em qualquer uma das formas em estudo, aumentavam no substrato, podendo isso ser constatado através dos valores de "b" das respectivas equações de regressão (Figuras 14 a 19). A absorção do magnésio, tanto pelo sorgo como pelo vigna, em função dos parâmetros de magnésio nos dois solos, teve um comportamento semelhante ao que ocorreu com a absorção do cálcio (Figuras 20 a 25). Esses resultados, contudo, não podem ser explicados com base nas diferenças entre a disponibilidade desses dois elementos nos solos, tendo-se em vista uma idêntica ordem de valores (Tabelas 2, 3, 4 e 5). Provavelmente, uma explicação plausível seja baseada no teor mais alto da acidez trocável (Al^{+++}) no PVA (Tabelas 2 e 3), a qual decresceu acentuadamente com as aplicações de cálcio e magnésio, favorecendo, assim, a maior absorção daqueles nutrientes pelas plantas. KAMPRATH e FOY (1971), em uma revisão de literatura, informaram que o alumínio pode interferir na absorção de cálcio e magnésio pelas plantas. Uma outra possível razão, associada ao alumínio trocável, está relacionada com uma maior concentração de manganês solúvel no PVA, que pode ser observado através da maior concentração desse elemento nas plantas, quando cultivadas no PVA (Tabelas 10, 11, 12 e 13). É conhecido que teores altos, tanto de alumínio quanto de manganês solúveis, são tóxicos para as plantas (ADAMS e PEARSON, 1967 e KAMPRATH e FOY, 1971).

A absorção de potássio pelas plantas de sorgo no LVE aumentou em função dos níveis de cálcio e magnésio adicionados ao solo

(Tabela 6). Entretanto, as diferenças nem sempre contrastaram estatisticamente. Para o sorgo no PVA e vigna nos dois solos, os diferentes níveis de saturação em cálcio e magnésio não exerceram nenhum efeito sobre a absorção de potássio por estas plantas (Tabelas 7, 8 e 9). O que se notou é que no LVE as concentrações de potássio nas plantas foram sensivelmente mais altas do que no PVA, estando este fato relacionado com a maior disponibilidade desse elemento naquele solo (Tabelas 3 e 4). Entretanto, como esta maior absorção de potássio pelas plantas no LVE não correspondeu a uma maior produção de matéria seca das duas culturas, pelo contrário, foram menores do que no PVA, fica evidenciado que no LVE as plantas absorveram potássio em excesso, fato esse conhecido como "consumo de luxo" (TISDALE e NELSON, 1969).

Os resultados do aparente efeito das aplicações de Ca(OH)_2 e MgO sobre a absorção de potássio pelo sorgo no LVE (Tabelas 6 e 7), podem ser atribuídos à elevação do pH, propiciando, assim, um ambiente explicitamente mais favorável para a absorção desse nutriente pelo sorgo, considerando que o vigna cultivado no mesmo substrato, praticamente, não teve a absorção desse nutriente influenciada pelos tratamentos. O efeito da adição de cálcio e magnésio, como corretivos, sobre a absorção de potássio, está condicionado à modificação de diversos fatores ambientais decorrentes, principalmente, do pH. Resultados de pesquisas sobre este assunto têm sido apresentados por diversos pesquisadores, entretanto, nem sempre são concordantes (YORK e ROGERS, 1947; PIERRE e BOWER, 1943; PEECH e BRADFIELD, 1943; ROGERS, 1945; PEARSON, 1958 e SÓARES, 1975).

A soma dos teores de cálcio, magnésio e potássio nas plantas variou com os tratamentos, apesar dessas variações terem sido pequenas (Tabelas 6, 7, 8 e 9). Esses resultados não correspondem aos encontrados por NAFTEL (1937) em sorgo, Van ITALIE (1938) em "ryegrass", BEAR e PRINCE (1945) em alfafa e KINJO (1967) em algodão, os quais reportaram terem constatado grandes variações nas concentrações individuais de bases nas respectivas plantas estudadas, mas, a soma dessas bases assumiram valores praticamente constantes. Esse fato pode ser atri-

buído à substituição mútua dos cátions nas plantas, provocado pelos diferentes tratamentos. A provável razão das diferenças encontradas entre os valores da soma de base nas plantas, nesse experimento, foi a larga faixa da relação Ca:Mg no solo, que variou de aproximadamente 5,0 a 0,3. Outros aspectos a serem considerados, por terem de certo modo contribuído para as respostas obtidas foram a pequena influência de um dos elementos adicionados ao solo sobre a absorção do outro e a do potássio, que praticamente não foi afetado pelas diferentes quantidades de cálcio e magnésio presentes no solo. Isto pode ser visto mais claramente quando se observa, através das análises de regressão, o efeito do cálcio sobre a absorção do magnésio e potássio e do magnésio sobre a absorção do cálcio e potássio (Tabelas 14, 15, 16 e 17).

As equações de regressão e os valores do teste F (Tabela 18) revelaram que houve uma relação de natureza quadrática entre a soma das concentrações de cálcio, magnésio e potássio nas plantas e o valor S dos dois solos, exceção do vigna cultivado no PVA, cuja regressão não foi significativa.

Através dos dados da Tabela 19 constatou-se que as equações de regressão e teste F entre os valores das proporções Ca:Mg trocáveis e as produções de matéria seca do sorgo e vigna não foram significativas. Entretanto, as regressões entre as relações Ca:Mg no solo e nas plantas foram de natureza quadrática, sendo a componente linear significativa ao nível de 1% e a quadrática ao nível de 5% de probabilidade. HUNTER (1949) e LAROCHE (1967) obtiveram resultados semelhantes para alfafa e tomate, respectivamente.

A falta de correlação entre as proporções Ca:Mg trocáveis e as produções na matéria seca pode ser atribuída aos efeitos depressivos dos níveis altos de magnésio e, de certo modo, do cálcio no solo sobre o desenvolvimento das plantas (Figuras 9, 10 e 11). Sobre este aspecto (Bear *et alii*, 1945), citados por BEAR e TOTH (1948), HUNTER (1949) e MARTIN e PAGE (1969) informaram que a relação $Ca:Mg < 1$, no solo, pode acarretar problemas de toxidez para as plantas. Segundo SANIK *et alii* (1952), MEHLICH e COLEMAN (1952) e LAROCHE (1967), a pro-

Tabela 14 - Equações de regressão, valores do teste F linear (Fb) e quadrático (Fc) e coeficientes de determinação (R²) entre as concentrações de magnésio, potássio, fósforo, boro, cobre, ferro, manganês e zinco, nas plantas de sorgo e vigna (y) e a atividade do cálcio (x) no solo (LVE).

VARIÁVEL y	y = a + bx + cx ²	Fb	Fc	R ²
Sorgo:				
Mg(%)	não significativa	<1,00	2,32	0,173
K(%)	não significativa	2,33	<1,00	0,316
P(%)	y = 0,31 + 0,08x	12,06**	1,96	0,499
B(ppm)	y = não significativa	<1,00	1,91	0,060
Cu(ppm)	y = 1,04 - 0,59x + 0,32x ²	<1,00	9,60*	0,336
Fe(ppm)	y = 194,70 - 42,21x + 21,23x ²	2,51	5,73*	0,288
Mn(ppm)	y = 112,43 - 48,34x	14,07**	4,45	0,454
Zn(ppm)	y = 44,37 - 11,73x	10,05*	1,95	0,412
Vigna:				
Mg(%)	não significativa	<1,00	<1,00	0,117
K(%)	não significativa	<1,00	<1,00	0,036
P(%)	y = 0,32 + 0,05x	12,86**	4,20	0,489
B(ppm)	y = 52,81 - 8,33x	9,24	<1,00	0,451
Cu(ppm)	não significativa	<1,00	<1,00	0,069
Fe(ppm)	não significativa	<1,00	<1,00	0,069
Mn(ppm)	y = 289,29 - 478,05x + 219,82x ²	13,41**	9,73*	0,528
Zn(ppm)	y = 50,99 - 14,54x	20,33**	4,40	0,539

* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 15 - Equações de regressão, valores do teste F linear (Fb) e quadrático (Fc) e coeficientes de determinação (R^2) entre as concentrações de magnésio, potássio, fósforo, boro, cobre, ferro, manganês e zinco, nas plantas de sorgo e vigna (y) e a atividade do cálcio (x) no solo (PVA).

VARIÁVEL y	y = a + bx + cx	Fb	Fc	R ²
Sorgo:				
Mg(%)	não significativa	1,23	<1,00	0,131
K(%)	não significativa	3,92	4,58	0,273
P(%)	não significativa	<1,00	1,37	0,109
B(ppm)	não significativa	<1,00	<1,00	0,081
Cu(ppm)	y = 4,14 + 8,60x - 5,63x ²	<1,00	10,00**	0,380
Fe(ppm)	não significativa	3,37	<1,00	0,272
Mn(ppm)	y = 144,60 - 67,07x	6,15*	1,01	0,344
Zn(ppm)	y = 64,04 - 20,82x	11,00*	1,33	0,463
Vigna:				
Mg(%)	não significativa	<1,00	<1,00	0,091
K(%)	não significativa	<1,00	<1,28	0,104
P(%)	não significativa	1,09	<1,00	0,075
B(ppm)	y = 76,52 - 14,41x	9,49**	<1,00	0,438
Cu(ppm)	não significativa	<1,00	<1,00	0,065
Fe(ppm)	y = 290,89 - 36,77x	10,49**	1,58	0,414
Mn(ppm)	y = 273,26 - 163,46x	9,13*	2,87	0,346
Zn(ppm)	y = 58,10 - 17,09x	12,41**	<1,00	0,516

* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 16 - Equações de regressão, valores do teste F linear (Fb) e quadrático (Fc) e coeficientes de determinação (R²) entre as concentrações de cálcio, potássio, fósforo, boro, cobre, ferro, manganês e zinco nas plantas de sorgo e vigna (y) e a atividade do magnésio (x) no solo (LVE).

VARIÁVEL y	y = a + bx + cx ²	Fb	Fc	R ²
Sorgo:				
Ca(%)	não significativa	2,05	2,84	0,322
K(%)	y = 1,695 + 2,978x - 1,538x ²	26,30**	5,84	0,775
P(%)	não significativa	5,09	<1,00	0,329
B(ppm)	não significativa	1,21	1,31	0,116
Cu(ppm)	y = 0,92 - 0,14 x	5,39*	2,78	0,312
Fe(ppm)	y = 190,08 - 17,46x	37,92**	3,94*	0,675
Mn(ppm)	y = 180,39 - 266,54x + 146,56x ²	15,66**	5,92	0,677
Zn(ppm)	y = 47,71 - 16,97x	17,50**	1,69	0,573
Vigna:				
Ca(%)	y = 2,25 - 1,04x	12,97**	3,19	0,428
K(%)	y = 4,05 - 0,24x	7,032*	<1,00	0,412
P(%)	não significativa	3,71	1,36	0,341
B(ppm)	não significativa	<1,00	1,56	0,062
Cu(ppm)	não significativa	<1,00	<1,00	0,013
Fe(ppm)	não significativa	3,21	1,23	0,239
Mn(ppm)	y = 337,48 - 651,54x + 356,37x ²	39,58**	13,71**	0,745
Zn(ppm)	y = 52,42 - 17,15x	12,62**	2,16	0,497

* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 17 - Equações de regressão, valores do teste F linear (Fb) e quadrático (Fc) e coeficientes de determinação (R^2) entre as concentrações de cálcio, potássio, fósforo, boro, cobre, ferro, manganês e zinco nas plantas de sorgo e vigna (y) e a atividade do magnésio (x) no solo (PVA).

VARIÁVEL y	$y = a + bx + cx^2$	Fb	Fc	R^2
Sorgo:				
Ca(%)	não significativa	1,86	2,72	0,115
K(%)	$y = 0,77 + 3,55x - 2,48x^2$	<1,00	11,28**	0,546
P(%)	não significativa	2,20	<1,00	0,160
B(ppm)	$y = 18,24 - 6,99x$	14,61**	<1,00	0,555
Cu(ppm)	$y = -4,84 + 2,81x$	29,73**	<1,00	0,739
Fe(ppm)	não significativa	3,71	1,36	0,243
Mn(ppm)	$y = 165,99 - 97,87x$	16,27**	3,64	0,509
Zn(ppm)	$y = 65,05 - 22,10x$	7,11*	2,32	0,363
Vigna:				
Ca(%)	$y = 3,33 - 2,28x$	10,77**	<1,00	0,436
K(%)	não significativa	1,00	<1,00	0,065
P(%)	não significativa	3,35	<1,00	0,190
B(ppm)	$y = 98,34 - 87,51x + 50,91x^2$	3,87	4,87*	0,457
Cu(ppm)	não significativa	<1,00	<1,00	0,127
Fe(ppm)	não significativa	4,59	<1,00	0,324
Mn(ppm)	$y = 595,65 - 1142,3x + 642,74x^2$	19,97**	8,72*	0,625
Zn(ppm)	$y = 56,81 - 15,04x$	5,61*	<1,00	0,341

* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 18 - Análises de regressão, valores do teste F, linear (Fb) e quadrático (Fc) e coeficientes de determinação (R²) entre os valores da soma do Ca, Mg e K no solo (x) e nas plantas de sorgo e vigna (y), expressados em e.mg/100g de TFSA e de matéria seca, respectivamente.

SOLO	PLANTA	$y = a + bx + cx^2$	Fb	Fc	R ²
LVE					
	Sorgo	$y = 15,58 + 39,07x - 2,13x^2$	55,79**	7,82*	0,882
	Vigna	$y = 157,48 + 22,72x$	5,80*	1,00	0,371
PVA					
	Sorgo	$y = 72,22 + 6,79x$	46,89**	1,00	0,803
	Vigna	não significativa	3,95	1,00	0,251

* significativo ao nível de 5%

** significativo ao nível de 1%

Tabela 19 - Equações de regressão, valores do teste F linear (Fb) e quadrático (Fc) e coeficientes de determinação (R²) relacionadas às proporções de Ca:Mg e K:Ca+Mg no solo (x) com idênticas proporções nas plantas de sorgo e vigna (y) expressados em e.mg/100g de TFSA e de matéria seca, respectivamente, e com as produções de matéria seca das duas culturas(M.S.)

SOLO	VARIÁVEIS		REGRESSÃO		Fb	Fc	R ²	
	x	y	y = a + bx + cx ²					
LVE	Ca:Mg	x	Ca:Mg (sorgo)	y = 0,27 + 0,12x	24,76**	<1,00	0,857	
	Ca:Mg	x	Ca:Mg (vigna)	y = 0,26 + 0,82x - 0,08x ²	117,67	7,61*	0,967	
	K:Ca+Mg	x	K:Ca+Mg (sorgo)	não significativa	3,06	<1,00	0,219	
	K:Ca+Mg	x	K:Ca+Mg (vigna)	não significativa	3,48	<1,00	0,216	
	Ca:Mg	x	M.S. sorgo	não significativa	<1,00	<1,00	0,028	
	Ca:Mg	x	M.S. vigna	não significativa	<1,00	1,30	0,040	
	K:Ca+Mg	x	M.S. sorgo	y = 2,30 + 158,39x - 992,61x ²	2,28	14,37**	0,537	
	K:Ca+Mg	x	M.S. vigna	y = 1,54 + 136,65x - 809,45x ²	1,00	20,34**	0,636	
	PVA	Ca:Mg	x	Ca:Mg (sorgo)	y = 0,005 + 0,38x - 0,05x ²	134,18**	11,98*	0,968
		Ca:Mg	x	Ca:Mg (vigna)	y = 0,15 + 1,63x - 0,20x ²	51,42**	8,51*	0,882
K:Ca+Mg		x	K:Ca+Mg (sorgo)	não significativa	4,39	<1,00	0,268	
K:Ca+Mg		x	K:Ca+Mg (vigna)	y = 0,22 + 2,59x	6,24*	<1,00	0,319	
Ca+Mg		x	M.S. sorgo	não significativa	1,00	2,40	0,145	
Ca+Mg		x	M.S. vigna	não significativa	1,00	<1,00	0,026	
K:Ca+Mg		x	M.S. sorgo	y = 16,09 - 88,50x	12,01**	<1,00	0,594	
K:Ca+Mg		x	M.S. vigna	y = 12,76 - 45,10x	18,10**	4,35	0,716	

* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

porção ideal de Ca:Mg para solos caolíníficos deve estar compreendida entre 4,0 e 7,0. O efeito depressivo das proporções mais altas de Ca:Mg sobre a produção de matéria seca do sorgo no LVE e do vigna, nos dois solos, deve ter sido consequência da elevação do pH e não do cálcio, tendo-se em vista que a proporção máxima observada foi 4,6 no LVE e 5,6 no PVA, valores que estão perfeitamente dentro das faixas normais entre cálcio e magnésio nos solos.

Ainda na Tabela 19 observou-se que a proporção K:Ca+Mg trocáveis não correlacionou com idêntica proporção nas plantas, cultivadas nos dois solos, com exceção do caso do vigna no PVA, onde se obteve uma correlação linear significativa, conforme mostra o valor do teste F. Por outro lado, a relação entre potássio e cálcio mais magnésio trocáveis correlacionou significativamente com as produções de matéria seca das duas culturas, sendo o efeito de natureza quadrática no LVE e linear no PVA. Isso foi devido, provavelmente, ao fato do potássio ter permanecido praticamente constante no solo, enquanto as variações nos valores da relação K:Ca+Mg foram devidas às variações dos teores de cálcio e magnésio trocáveis. Consequentemente, a correlação observada entre estes valores e a matéria seca foi devida ao efeito do cálcio e do magnésio, conforme já discutido anteriormente. A relação K:Ca+Mg tem correlacionado satisfatoriamente com o rendimento das culturas e a relação K:Ca+Mg nas plantas, conforme citam LUCAS e SCARSETH (1948) e FASSBENDER e LAROCHE (1968).

Analisando-se de maneira global, as relações entre os parâmetros de cálcio e magnésio no solo e as produções de matéria seca das plantas através das análises de regressão (Tabelas 20, 21 e 22), constatou-se que a produção de matéria seca do sorgo variou linearmente em função dos parâmetros de cálcio no PVA. Para os outros casos estudados, os valores do teste F das regressões não foram significativos. Essas respostas podem ser devidas ao efeito depressivo das condições impostas pelos tratamentos, tendo-se em vista a elevação do pH e diferentes relações Ca:Mg, conforme mostram os dados contidos nas Figuras 9 a 13. É conhecido que o aumento do pH pode provocar mudanças nas re-

Tabela 20 - Equações de regressão, valores do teste F linear (Fb) e quadrático (Fc) e coeficiente de determinação (R^2) entre as produções de matéria seca (M.S.) do sorgo e do vigna cultivados nos dois solos e os níveis de saturação em cálcio (SCa) e magnésio (SMg).

SOLO	VARIÁVEIS		REGRESSÃO	Fb *	Fc	R ²
	x	y	y = a + bx + cx ²			
LVE						
	SCa x M.S. sorgo	não significativa	<1,00	<1,00	0,116	
	SCa x M.S. vigna	não significativa	<1,00	<1,00	0,203	
	SMg x M.S. sorgo	não significativa	<1,00	<1,00	0,117	
	SMg x M.S. vigna	não significativa	<1,00	<1,00	0,268	
PVA						
	SCa x M.S. sorgo	y = 9,170 + 0,096x	7,26*	<1,00	0,415	
	SCa x M.S. vigna	não significativa	1,37	<1,00	0,158	
	SMg x M.S. sorgo	não significativa	<1,00	1,65	0,132	
	SMg x M.S. vigna	não significativa	<1,00	2,37	0,224	

*significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 21 - Equações de regressão, valores do teste F linear (Fb) e quadrático (Fc) e coeficiente de determinação (R^2) entre as produções de matéria seca (M.S.) do sorgo e do vigna cultivados nos dois solos e os teores de cálcio (Ca^{++}) e magnésio (Mg^{++}) trocáveis.

SOLO	VARIÁVEIS		REGRESSÃO	Fb	Fc	R ²
	x	y	y = a + bx + cx ²			
LVE						
	Ca ⁺⁺	x M.S. sorgo	não significativa	<1,00	1,01	0,165
	Ca ⁺⁺	x M.S. vigna	não significativa	<1,00	2,59	0,246
	Mg ⁺⁺	x M.S. sorgo	não significativa	<1,00	1,43	0,128
	Mg ⁺⁺	x M.S. vigna	não significativa	<1,00	3,14	0,267
PVA						
	Ca ⁺⁺	x M.S. sorgo	y = 9,18 + 0,72x	10,11**	1,17	0,440
	Ca ⁺⁺	x M.S. vigna	não significativa	2,17	1,06	0,217
	Mg ⁺⁺	x M.S. sorgo	não significativa	<1,00	2,58	0,198
	Mg ⁺⁺	x M.S. vigna	não significativa	<1,00	3,97	0,338

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 22 - Equações de regressão, valores do teste F linear (Fb) e quadrático (Fc) e coeficiente de determinação (R^2) entre peso de matéria seca (M.S.) do sorgo e do vigna cultivados nos dois solos e a atividade do cálcio (ACa) e do magnésio (AMg).

SOLO	VARIÁVEIS		REGRESSÃO	Fb	Fc	R ²
	x	y	y = a + bx + cx ²			
LVE						
	ACa x M.S. sorgo		não significativa	1,30	3,79	0,3275
	ACa x M.S. vigna		não significativa	<1,00	4,06	0,2907
	AMg x M.S. sorgo		y=4,82+11,16x-7,78x ²	<1,00	10,32**	0,477
	AMg x M.S. vigna		y=4,61+7,94x - 5,86x ²	<1,00	13,79**	0,581
PVA						
	ACa x M.S. sorgo		y=8,88 + 4,38x	17,09**	3,82	0,543
	ACa x M.S. vigna		não significativa	4,32	3,67	0,189
	AMg x M.S. sorgo		y=1,53+32,07x-21,68x ²	1,59	15,78**	0,501
	AMg x M.S. vigna		y=4,80+17,78x-11,61x ²	4,03	22,14**	0,721

* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

lações entre os nutrientes do solo, ocasionando, às vezes, uma diminuição no crescimento das plantas, conforme relatam SUMNER (1979), baseado em resultados experimentais de diversos pesquisadores. Esse fato ocorre, principalmente, em solos caolíníticos das regiões tropicais úmidas. Nas condições específicas desse experimento, a falta de correlação pode ter sido consequência de um balanço inadequado da relação Ca:Mg nos solos, e da elevação do pH em proporcionar um aumento do crescimento das plantas, só até aproximadamente o valor 6,0 (Figuras 12 e 13).

A respeito do efeito dos parâmetros de magnésio sobre produção de matéria seca das plantas (Tabelas 20, 21 e 22), constatou-se que as regressões entre essas produções e os níveis de saturação em magnésio e as formas trocáveis desse elemento, nos dois solos, não foram significativas. Entretanto, observou-se um efeito quadrático da atividade do magnésio sobre o rendimento da matéria seca das plantas, nos dois solos. Esses resultados, aparentemente estranhos, podem ter sido consequência do incremento da atividade do magnésio, provocado pelos crescentes níveis de cálcio aplicado aos dois solos (Tabelas 4 e 5), e também ao efeito depressivo do magnésio sobre o crescimento das plantas, conforme já foi discutido anteriormente.

Os dados relativos à absorção de fósforo e micronutrientes constam nas Tabelas 10, 11, 12 e 13. Observou-se que a absorção de fósforo pelas duas culturas não foi influenciado pelos tratamentos, de acordo com o teste de Tukey a 5%, entretanto, ocorreu uma ligeira elevação nas concentrações desse elemento, em função das crescentes quantidades de Ca(OH)_2 e MgO adicionados ao solo, separadamente. Ao se estudar as relações entre as concentrações desse nutriente nas plantas e a atividade do cálcio nos dois solos, constatou-se que as regressões entre essas duas séries de valores foram significativas e lineares no LVE, mas, o mesmo não aconteceu no PVA (Tabela 14 e 15), apesar da menor concentração de fósforo nas plantas cultivadas nesse solo, o que poderia sugerir um efeito do cálcio na absorção desse nutriente. Com relação ao efeito da atividade do magnésio, em nenhum caso as regressões foram significativas (Tabelas 16 e 17). Sobre esse aspecto da nutrição de

plantas, existem informações na literatura de que o cálcio e, principalmente, o magnésio, podem induzir um aumento na absorção de fósforo pelas plantas (TRUOG *et alii*, 1947; LOURENÇO *et alii*, 1968; FRANKLIN, 1970 e MILLER *et alii*, 1972). O efeito estimulante desses cátions sobre a absorção de fósforo é também conhecido como "efeito Viets" (VIETS, 1944). SANIK *et alii* (1952), por outro lado, não encontraram variações na absorção de fósforo por plantas de sorgo, à medida que a relação Mg:Ca aumentava no solo.

Tendo-se em vista a relação linear, observada entre as concentrações de fósforo nas plantas e os valores do pH do LVE (Tabela 23), é possível que as variações dos teores de fósforo nas plantas, nesse solo, tenham sido consequência das variações do pH e não da atividade do cálcio (Tabela 19). Contudo, torna-se difícil, nas condições desse experimento, isolar os efeitos diretos do pH, cálcio e magnésio, sobre a absorção do fósforo pelas plantas em estudo.

Conforme mostram as Tabelas 10, 11, 12 e 13, as concentrações dos micronutrientes boro, manganês e zinco, nas plantas, diminuíram com os crescentes níveis de cálcio e magnésio aplicados ao solo. Nos tratamentos em que os níveis de cálcio aumentaram e os de magnésio decresceram, os teores desses elementos nas plantas não foram alterados. A absorção de cobre não foi estatisticamente afetada pelos tratamentos, conforme revelaram os dados obtidos. Com relação aos teores de ferro nas plantas, observou-se um decréscimo em função dos crescentes níveis de cálcio e magnésio, quando aplicados separadamente, entretanto, as diferenças nem sempre foram estatisticamente significativas, isto principalmente no LVE. Nota-se que, de maneira geral, as plantas absorveram maiores quantidades de boro, ferro, zinco e manganês, quando cultivadas no PVA. Observou-se também que as adições de quantidades crescentes de Ca(OH)_2 e MgO foram mais drásticas em reduzir a absorção desses nutrientes pelas plantas cultivadas no PVA.

Estudando-se a absorção dos micronutrientes, em relação às atividades do cálcio (Tabelas 14 e 15) e do magnésio (Tabelas 16 e 17), constatou-se, através das análises de regressão, diferentes compor

Tabela 23 - Equações de regressão, valores do teste F linear (Fb) e quadrático (Fc) e coeficientes de determinação (R²) entre as concentrações de potássio, fósforo, boro, cobre, ferro manganês e zinco nas plantas de sorgo e yigna (y) e o pH (x) no solo (LVE).

VARIÁVEL y	$y = a + bx + cx^2$	Fb	Fc	R ²
Sorgo:				
K(%)	$y = -20,72 + 7,52x - 0,59x^2$	31,31**	7,65*	0,777
P(%)	$y = -0,07 + 0,07x$	46,09**	<1,00	0,801
B(ppm)	$y = 23,24 - 1,86x$	11,83	<1,00	0,408
Cu(ppm)	não significativa	1,43	<1,00	0,173
Fe(ppm)	$y = 233,32 - 9,16x$	16,52**	2,38	0,501
Mn(ppm)	$y = 1493,65 - 428,92x + 32,01x^2$	330,91**	22,88**	0,964
Zn(ppm)	$y = 116,81 - 13,97x$	229,52**	<1,00	0,957
Vigna:				
K(%)	$y = 3,40 + 0,13x$	5,28*	<1,00	0,359
P(%)	$y = 0,09 + 0,04x$	46,03**	1,06	0,736
B(ppm)	$y = 84,20 - 6,19x$	7,60*	2,92	0,443
Cu(ppm)	não significativa	<1,00	<1,00	0,020
Fe(ppm)	não significativa	1,06	<1,00	0,106
Mn(ppm)	$y = 4904,32 - 1519,88x + 118,85x^2$	954,63**	174,35**	0,984
Zn(ppm)	$y = 126,23 - 14,17x$	122,80**	<1,00	0,913

* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

tamentos. Conforme pode ser visto, a absorção do manganês e zinco decresceu significativamente com as atividades do cálcio e do magnésio, podendo isso ser atribuído à reação das plantas a diferentes proporções das atividades do cálcio e magnésio e também ao aumento do pH dos solos, provocado pelos tratamentos. De acordo com MAAS (1969), BOWEN (1969) e KANAN (1969), o cálcio e o magnésio podem induzir a uma menor absorção de manganês pelas plantas, entretanto, SANIK *et alii* (1952) encontraram que altos teores de magnésio no solo favoreceram a absorção, tanto de manganês como de zinco, por plantas de sorgo e trigo. SEATZ (1960) relatou que, em pH alto, o cálcio pode reduzir a absorção de zinco pelas plantas, ao passo que o magnésio pode aumentar.

Através das análises de regressão, notou-se que a absorção do cobre pelo sorgo (Tabelas 14, 15, 16 e 17) variou significativamente em relação às atividades do cálcio e do magnésio nos dois solos. Esses resultados diferem dos obtidos por SANIK *et alii* (1952) ao estudarem a absorção desse nutriente por plantas de sorgo e trigo, em função de diferentes níveis de cálcio e magnésio no solo. Em plantas de vigna, entretanto, a absorção do cobre não foi influenciada pelas atividades do cálcio e do magnésio. Segundo SANIK *et alii* (1952), a relação Ca:Mg no solo afetaram de maneira diferente a absorção de boro, cobre, manganês e zinco por plantas de sorgo e trigo.

No que diz respeito à relação entre o pH e a absorção dos micronutrientes (Tabelas 23 e 24), notou-se, através das equações de regressão, que a absorção do boro, ferro, manganês e zinco pelas plantas decresceu inversamente com o pH. Isto provavelmente em decorrência da diminuição da solubilidade desses nutrientes no solo. A absorção do boro e zinco pelas plantas, como função do pH, foi linear e significativa, conforme mostram os valores do teste F. As regressões entre as concentrações de manganês e os valores do pH foram de natureza quadrática. Vários pesquisadores têm relatado, baseados em dados de pesquisa, que a adição de calcário ou outro corretivo provoca uma diminuição na disponibilidade desses micronutrientes (BOWEN, 1969; KAMPRATH e FOY, 1971 e LUCAS e KNEZEK, 1972). MASSEY (1957) relatou que a absorção

Tabela 24 - Equações de regressão, valores do teste F linear (Fb) e quadrático (Fc) e coeficiente de determinação (R^2) entre as concentrações de fósforo, boro, potássio, cobre, ferro, manganês e zinco nas plantas de sorgo e vigna (y) e o pH (x) do solo (PVA).

VARIÁVEL y	$y = a + bx + cx^2$	Fb	Fc	R^2
Sorgo:				
K(%)	não significativa	1,18	<1,00	0,171
P(%)	não significativa	<1,00	1,25	0,160
B(ppm)	$y = 36,39 - 3,80x$	21,53**	2,73	0,625
Cu(ppm)	não significativa	3,03	<1,00	0,190
Fe(ppm)	$y = 1617,06 - 454,78x + 35,49x^2$	38,37**	7,18	0,833
Mn(ppm)	$y = 515,89 - 69,07x$	341,42**	<1,00	0,970
Zn(ppm)	$y = 160,94 - 18,40x$	234,26**	<1,00	0,960
Vigna:				
K(%)	não significativa	<1,00	3,32	0,250
P(%)	não significativa	<1,00	1,34	0,163
B(ppm)	$y = 139,54 - 12,06x$	59,89**	1,26	0,815
Cu(ppm)	não significativa	1,12	<1,00	0,135
Fe(ppm)	$y = 460,56 - 32,25x$	51,30**	<1,00	0,846
Mn(ppm)	$y = 3538,78 - 987,98x + 70,45x^2$	361,68**	15,59**	0,965
Zn(ppm)	$y = 130,76 - 13,96x$	131,44**	1,28	0,915

* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

de zinco por plantas de milho correlacionou significativamente com o pH do solo entre 4,3 e 7,5. WEAR (1956) encontrou que a absorção de zinco pelo sorgo decresceu à medida que o pH aumentou de 5,7 para 6,6. HANNA e HUTCHESON (1968) reportaram que a deficiência de manganês pode se tornar crítica em pH entre 6,5 e 8,0. KAMPRATH e FOY (1971) relataram que o efeito tóxico do manganês pode ser evitado pela prática de calagem, tendo em vista que a forma solúvel desse metal precipita em $\text{pH} > 5,5$. Em função dos dados obtidos e da análise dos mesmos, é possível concluir que a absorção zinco e manganês foi afetada pelo pH, entretanto, torna-se difícil afirmar se houve efeito do cálcio e magnésio, tendo-se em vista que a adição de Ca(OH)_2 e MgO aos solos provocou um aumento do pH conforme era previsto.

No que diz respeito ao boro, REEVE e SHIVE (1944) e OLSEN (1972) reportaram que sua absorção em excesso pelas plantas pode ser reduzido pela adição de cálcio. Por outro lado, FOX (1968) comentou que o efeito combinado do pH e alto teor de cálcio reduziu o teor de boro nas plantas de algodão em 50%. DREGNE e POWERS (1942), WEAR e PATERSON (1962), SIMS e BINGHAN (1968) e HATCHER *et alii* (1967) concluíram que a disponibilidade de boro, em solos ácidos, pode decrescer com o aumento do pH provocado pela calagem.

Sobre a relação entre os teores de ferro nas plantas e os valores do pH, observaram-se diferentes tendências das regressões, tendo mesmo ocorrido o caso de não ter sido significativa, como no caso do vîgna, quando cultivado no LVE. As regressões mostraram que a absorção do ferro pelas plantas de sorgo, nos dois solos, e pelo vîgna, no PVA, decresceu com a elevação do pH, isso provavelmente em decorrência da precipitação do ferro solúvel. TISDALE e NELSON (1969), KAMPRATH e FOY (1971) e MASCARENHAS (1977) relataram que a elevação do pH, através da calagem, reduz a disponibilidade do ferro, devido à precipitação que ocorre à medida que o pH aumenta. No LVE a elevação do pH provocou um menor efeito no decréscimo da absorção de ferro, conforme mostram os valores do teste F das regressões. Isso, provavelmente, devido a uma menor disponibilidade de ferro ferroso, fato que é evidenciado pe

la menor concentração de ferro nas plantas cultivadas nesse solo, em relação às cultivadas no PVA. É provável que o PVA tenha um potencial de oxi-redução menor, favorecendo uma maior concentração de Fe^{++} . Quando, entretanto, o pH foi elevado, deve ter ocorrido uma drástica redução da concentração da forma solúvel.

A absorção de cobre, entretanto, não foi influenciada pelo pH. Resultados de pesquisas têm, contudo, mostrado que a disponibilidade de cobre no solo decresce com a elevação do pH (BROWN e FOY, 1964; ADAMS e PEARSON, 1967 e LUCAS e KNEZEK, 1972).

De maneira geral, os resultados sobre a absorção dos micronutrientes, em função dos níveis de cálcio e magnésio adicionados ao solo, permitiram informar que a absorção do boro, zinco e manganês e de certo modo do ferro decresceram com os crescentes níveis de cálcio e magnésio aplicados ao solo, isoladamente. Entretanto, como a aplicação desses elementos resultou em um correspondente aumento do pH do solo, poder-se-ia informar, então, que as variações observadas nas concentrações desses nutrientes foram em grande parte devido ao pH do solo. Isso pode ser evidenciado pelo fato de que, nos tratamentos onde cálcio e magnésio juntos perfizeram o correspondente a 95% de saturação em bases do solo, não ocorreram variações nas concentrações desses micronutrientes, em nenhuma das culturas (Tabelas 10, 11, 12 e 13). Esse aspecto pode ainda ser visualizado através de certo paralelismo nas respostas da absorção, principalmente, de zinco e manganês, e em menor extensão do boro e do ferro com as atividades do cálcio, do magnésio e do pH (Tabelas 19 a 24). Baseado em relatos de diversos autores (SANIK *et alii*, 1952; COLEMAN e THOMAS, 1967; KAMPRATH e FOY, 1971 e MALAVOLTA, 1976), é possível informar que a menor absorção desses micronutrientes pelas plantas tenha sido ocasionada pelo decréscimo das frações solúveis dos mesmos, no solo, à medida que o pH se elevava, não significando, entretanto, que o cálcio e o magnésio não tenham influenciado na absorção do boro, manganês e zinco.

4.4 - Relação Entre os Teores de Cálcio e Magnésio e Produção de Matéria Seca do Sorgo e do Vigna.

As equações de regressão (Tabela 25) mostraram que as produções de matéria seca do sorgo e do vigna não correlacionaram com os dados de concentração de cálcio nas plantas. Por outro lado, obteve-se uma resposta quadrática significativa do peso de matéria seca do sorgo e do vigna, em relação à absorção de magnésio por essas plantas no PVA. No LVE, a produção de matéria seca correlacionou linearmente com a absorção do magnésio. Esses resultados demonstram que nem sempre a absorção de cálcio e magnésio pelas plantas está relacionada com o desenvolvimento das mesmas, tendo-se em vista a ação de outros fatores ambientais e a reação das plantas a esses fatores. Relações semelhantes foram encontradas por SANIK *et alii* (1952) em sorgo e trigo e por LAROCHE (1967) em tomate. No caso específico desse experimento, as diferentes relações observadas entre as produções de matéria seca das plantas e a absorção de cálcio e magnésio podem ter sido consequência das diferenças entre os padrões de crescimento das plantas e da absorção de cálcio e magnésio pelas mesmas. Observou-se que, enquanto o crescimento das plantas, de maneira geral, era reduzido ou permanecia inalterado, a absorção de cálcio e magnésio aumentou com os crescentes níveis desses elementos no solo, respectivamente. Outro aspecto é que a absorção do cálcio decresceu com os crescentes níveis de magnésio aplicados ao solo, o mesmo não ocorrendo em relação à absorção de magnésio. Pelo contrário, observou-se uma tendência de aumento com as crescentes adições de cálcio ao solo.

Tabela 25 - Equações de regressão, valores do teste F linear (Fb) e quadrático (Fc) e coeficientes de determinação (R²) entre o peso da matéria seca do sorgo (M.S.s) e do vigna (M.S.v) em relação às concentrações de cálcio e magnésio nas respectivas plantas (x).

SOLO	VARIÁVEIS		REGRESSÃO	Fb	Fc	R ²
	y	x	$y = a + bx + cx^2$			
LVE						
	M.S.s	x Ca(%)	não significativa	1,69	<1,00	0,118
	M.S.c	x Ca(%)	não significativa	1,30	2,01	0,185
	M.S.s	x Mg(%)	$y=3,046+34,85x-25,88x^2$	<1,00	5,93*	0,442
	M.S.v	x Mg(%)	não significativa	<1,00	3,44	0,192
PVA						
	M.S.s	x Ca(%)	não significativa	3,17	<1,00	0,222
	M.S.v	x Ca(%)	não significativa	1,00	<1,00	0,028
	M.S.s	x Mg(%)	$y=4,077+46,38x-31,32x^2$	<1,00	12,95**	0,439
	M.S.v	x Mg(%)	$y=1,955+21,13x-11,81x^2$	<1,00	14,41**	0,693

* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

5. CONCLUSÕES

Baseado na discussão dos resultados obtidos no presente trabalho e nas condições em que o mesmo foi conduzido, foi possível chegar às seguintes conclusões:

1. Os teores de bases trocáveis e os índices de saturação em bases (valor V) aumentaram com as crescentes adições de Ca(OH)_2 e MgO aos solos, ficando, entretanto, abaixo dos valores calculados.

2. As atividades do cálcio e magnésio nos dois solos aumentaram com as respectivas adições de Ca(OH)_2 e MgO aos solos. Constatou-se ainda, um efeito recíproco da adição do cálcio e do magnésio em incrementar a atividade um do outro.

3. Os valores de pH aumentaram com os crescentes níveis de cálcio e magnésio adicionados aos solos, ocorrendo, conseqüentemente, uma diminuição da acidez titulável ($\text{H}^+ + \text{Al}^{+++}$) e da acidez trocável (Al^{+++}).

4. As produções de matéria seca das duas culturas variaram em função dos níveis de cálcio e magnésio aplicados ao solo, isoladamente. Nos níveis iniciais, a produção aumentou, decrescendo depois, sendo este decréscimo mais acentuado em relação ao magnésio. Nos tratamentos em

que os níveis de cálcio cresciam e os de magnésio decresciam, permanecendo constante a saturação em bases, o crescimento das plantas não foi afetado, com exceção do sorgo no PVA, onde houve um efeito depressivo ao nível mais alto do magnésio. Nos tratamentos em que a quantidade de cálcio aplicado correspondeu a 35% de saturação e as quantidades de magnésio cresceram até 60%, as plantas não mostraram variações em crescimento no LVE, entretanto, no PVA, observou-se um incremento do peso de matéria seca das duas culturas.

5. O efeito da saturação, formas trocáveis e atividades do cálcio e magnésio nos dois solos, quando somente esses elementos constituíam os tratamentos, tiveram um efeito quadrático sobre as produções de matéria seca. Quanto, entretanto, se estudou a relação entre esses parâmetros, incluindo todos os tratamentos e a produção de matéria seca das duas culturas, as regressões obtidas não foram significativas, salvo em relação à atividade do magnésio nos dois solos.

6. A proporção Ca:Mg na forma trocável, nos solos, considerando-se todos os tratamentos, não exerceu nenhum efeito sobre o crescimento das plantas. Entretanto, a relação $K:Ca + Mg$ teve um efeito quadrático sobre o crescimento das mesmas.

7. As produções de matéria seca relacionaram-se quadraticamente com o pH, seja as variações deste decorrentes das adições de $Ca(OH)_2$ ou de MgO aos solos.

8. Nas condições desse experimento, torna-se difícil separar os efeitos dos parâmetros de cálcio e magnésio e do pH sobre o crescimento das plantas.

9. A absorção de cálcio e magnésio aumentou com os crescentes níveis desses nutrientes no solo, independentemente da relação Ca:Mg. Os teores dos demais nutrientes nas plantas variaram com os tratamentos. As concentrações de boro, ferro, zinco e manganês, de maneira geral, decresceram em relação à atividade do cálcio e do magnésio e do pH.

10. As produções de matéria seca do sorgo e do vigna não se relaciou

naram com a absorção do cálcio pelas plantas. Entretanto, foi constatada uma relação de natureza quadrática entre essas produções e a concentração de magnésio nas plantas quando cultivadas no PVA. O mesmo não foi observado em relação ao sorgo no LVE.

6. SUMMARY

The present work reports the effects of increasing levels of calcium and magnesium on some soil properties and growth and mineral composition of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) and cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). Two soils were used in this study: Red Dark Latosol (Typic Haplorthox) and Red Yellow Podzolic (Aquic Distropept) of Piracicaba, São Paulo, Brazil.

The experiment was carried out in Laboratory and greenhouse. The treatments consisted of several levels of calcium and magnesium saturation, that were obtained by applying Ca(OH)_2 and MgO to the soils. The soil samples weighing 6.0 kg were put in pots, moistened up to a tension corresponding to 0.3 atm and incubated for 21 days. One kg of soil from each pot was then removed for analysis. Seeds of sorghum and cowpea were planted in the remaining 5.0 kg of soil and after emergence seedlings were thinned to six plants of sorghum and four of cowpea.

The plants were harvested 30 days after germination, dried at 60 to 70°C, weighed and passed through a mill and stored for analysis.

The addition of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ and MgO resulted in: a) an increase in the exchangeable of calcium and magnesium as well as in the activities of these ions in the soil solution, b) a decrease in the titrable acidity ($\text{H}^+ + \text{Al}^{+++}$) and in the exchangeable acidity (Al^{+++}), and c) an increase in the pH.

It was observed a quadratic effect of the parameters of calcium and magnesium on the yield of dry matter of sorghum and cowpea when each element constituted independently the treatments. However, when all of the treatments were taken into consideration no relation was found. This was due to the different proportions of Ca:Mg in the soils. A quadratic relationship was also observed between pH and yield of dry matter of both crops.

The concentration of calcium and magnesium increased with increasing levels of calcium and magnesium added to the soils, respectively. Potassium, phosphorus and copper were affected to a certain degree by the treatments, but significant differences were not always found. The concentration of boron, iron, manganese and zinc decreased inversely with the activity of calcium and magnesium in the soils and their pH. The regression analysis showed that the yield of dry matter of the crops grown in both soils did not correlate with the absorption of calcium by the plants. Concerning to the magnesium a significant relationship was observed between the content of this element and the dry matter of the crops in the Red Yellow Podzolic. In case of the Red Dark Latosol, similar result was obtained with sorghum, but not with cowpea.

The Ca:Mg ratio in the exchangeable forms correlated with identical ratio in the plants. However, the same ratio did not show any relation with dry matter yields of the crops. Concerning the K:Ca + Mg ratio in the soils and plants, only the cowpea cultivated in the Red Yellow Podzolic was showed a linear correlation between the two series of data. This same ratio had a quadratic effect on the yield of dry matter of both crops in the two soils.

7. BIBLIOGRAFIA

- ABRUÑA, F., J.V. CHANDLER e R.W. PEARSON. 1964. Effects of liming on on yield and composition of heavily fertilized grasses and on soil properties under humid tropical conditions. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 28: 617-661.
- ADAMS, F. e J.B. HENDERSON. 1962. Magnesium availability as affected by deficient and adequate levels of potassium and lime. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 26: 65-68.
- ADAMS, F. e R.W. PEARSON. 1967. Crop response in the Southern United States and Puerto Rico. In: PEARSON, R.W. e F. ADAMS (eds.). Soil acidity and liming. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, p.161-206.
- ADAMS, F. e J.I. WEAR. 1957. Manganese toxicity and soil acidity in relation to crinkle leaf of cotton. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 21: 305-308.
- ALLAWAY, W.H. 1945. Availability of replaceable calcium from different types of colloids as affected by degree of calcium saturation. Soil Sci., Baltimore, 59: 207-216.
- ARNON, D.I., W.E. FRATZKE e C.M. JOHNSON. 1942. Hydrogen ion concentration in relation to absorption of inorganic nutrients by

- higher plants. Plant Physiol. Kutztown, 17: 515-524.
- BARSHAD, I. 1960a. Significance of presence of exchangeable magnesium ions in acidified clays. Science, Washington, 131: 988-990. 1960a.
- BARSHAD, I. 1960b. The effect of the total chemical composition and cristal structure of soil minerals on the nature of the exchangeable cations in acidified clays and in naturally occuring acid soil. 7th. Intern. Congr. Soil Sci., Madison, 2: 435-443.
- BAWEJA, A.S. e E.D. McCLEAN. 1975. Bonding of calcium and potassium by vermiculite and kaolinite clays as affected by H - clay addition. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 39: 48-50.
- BEAR, F.E. e A.L. PRINCE. 1945. Cations equivalents constancy in alfafa J. Am. Soc. Agron., Washington, 37: 217-222.
- BEAR, F.E. e S.J. TOTH. 1948. Influence of calcium on availability of other soil cations. Soil Sci., Madison, 65: 69-74.
- BECKETT, P.H.T. 1965. The cations exchange equilibria of calcium and magnesium. Soil Sci., Baltimore, 100: 118-122.
- BECKETT, P.H.T. e J.B. CRAIG. 1964. The determination of potassium potentials. 8th Inter. Congr. Soil Sci., Bucarest, 1: 249-256.
- BEN, J.R. 1974. Efeito da calagem no comportamento dos elementos alumínio, cálcio, magnésio e potássio no solo e relações dos mesmos com a planta. UFSM, Santa Maria, 65p [Tese de mestrado].
- BHUMBLA, D.R. e E.O. McLEAN. 1965. Aluminum in soils. VI. Changes in pH dependent acidity cation exchange capacity and extractable aluminum with additions of lime to acid surface soils. Soil Sci. Amer. Proc., Madison, 29: 370-374.
- BITTENCOURT, V.C. e M. SAKI. 1975. Lixiviação do potássio nativo de solos tropicais. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP. Piracicaba. 21p. [mimeografado].
- BITTENCOURT, V.C., C.A. VASCONCELOS, J. BRAUNER, J.G. BAUMGARTHE, A. DALL'OLIO e D.A. CORDEIRO. 1977. Termodinâmica da troca iônica do

- Ca-K e do Ca-Mg na fração argila da Terra Roxa Estruturada. Rev. Bras. Cien. Solo, Campinas, 2: 179-184.
- BLACK, C.A. 1968. Soil-plant relationships. John Wiley e Sons, New York, 790p.
- BLANCHARD, R.W. e L.R. HOSSNER. 1968. Ionic balance and corn growth in a Port Byron Soil. Agron. J., Madison, 60: 602-605.
- BLEVINS, R.L. e H.F. MASSEY. 1959. Evaluation of two methods of measuring available soil copper and the effects of soil pH and extractable aluminum on copper uptake by plants. Soil Sci. Soc. Proc., Madison, 23: 296-298.
- BOULD, C. e E.J. HWITT. 1963. Nutrition of plants in soils and culture media. In: STEWARD, F.C. (ed.) Plant Physiology, vol. III. Inorganic nutrition of plants. Academic Press, New York, p.16-133.
- BOWEN, J.E. 1969. Absorption of copper, zinc, and manganese by sugar cane tissue. Plant Physiol., Kutztown, 44: 255-261.
- BOWER, C.A. e W.H. PIERRE. 1944. Potassium response of various crops on a high lime soil in relation to their content of potassium, calcium, magnesium and sodium. J. Am. Soc. Agron., Washington, 36: 608-614.
- BOWER, C.A. e E. TRUOG. 1940. Base exchange capacity determination as influenced by nature of cation employed and formation of basic exchange salts. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 5: 86-89.
- BRADY, N.C. 1974. The nature and properties of soils. Mac-Millan Publishing Co., New York, 639p.
- BRASIL. 1960. Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas - Comissão de Solos. Levantamento e reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo CNEPA/MA, Rio de Janeiro, 605p.
- BRAY, R.H. 1942. Ionic competition in base exchange reactions. J. Amer. Chem. Soc., Easton, 64: 954-963.
- BROWN, J.C., 1979. Role of calcium in micronutrient stresses of plants. Commun. in Soil Sci. and Plant Nut., New York, 10: 459-472.

- BROWN, J.C. e C.D. FOY. 1964. Effect of Cu on the distribution of P, Ca, and Fe in barley plants. Soil Sci., Baltimore, 98: 362-370.
- CAMARGO, O.A. e B. van RAIJ. 1975. Relações entre alumínio trocável, bases trocáveis e pH em solos. Anais do XV Cong. Bras. Cien. do Solo. Campinas, p.95-102.
- CATANI, R.A., e A.O. JACINTHO, 1974. Avaliação da fertilidade do solo. Métodos de Análises. Ed. Livroceres Ltda., São Paulo, 61p.
- CHU, T.S. e L.M. TURK. 1949. Growth and nutrition of plant as effect by the degree of base saturation of different types of clay minerals. Mich. Agr. Exp. Sta., Tech. Bull. nº 214, p.1-47.
- CHU, C.H., W.W. MOSCHLER e G.W. THOMAS. 1962. Rock phosphate transformation in acid soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 26: 476-478.
- COLEMAN, N.T., E.J. KAMPRATH e S.B. WEED. 1957. Liming. Advances in Agronomy, vol. 10, New York, p.475-522.
- COLEMAN, N.T. e G.W. THOMAS. 1967. The basic chemistry of soil acidity. In: PEARSON, R.W. e F. ADAMS, (eds.). Soil acidity and liming. Amer. Soc. Agronomy, Inc., Madison, p.1-41.
- COLLANDER, R. 1941. Selective absorption of cations by higher plants. Plant Physiol., Kutztown, 16: 691-720.
- COOIL, B.J. 1948. Potassium deficiency and excess in guayule. I: Growth responses and mineral content. Plant Physiol., Kutztown, 23: 286-308.
- DEIST, J. e O. TALIBUDEEN. 1967. Ion exchange with the cations pairs K-Na, K-Rb e K-Ca. J. Soil Sci., Oxford, 18: 125-137.
- DEKOCK, P.C. 1964. The physiological significance of the potassium calcium relationship in plant growth. Outlook on Agric., London, 4: 93-98.
- DEMATÉ, J.L.I., A.C. MONIZ e J.E.S. PESSOTI. 1977. Solos originados de sedimentos do grupo geológico Estrada Nova, município de Piracicaba. I - Análise mineralógica quantitativa da fração argila. Rev. Bras.

Cien. Solo., Campinas, 1: 43-46.

- DREGNE, H.E. e W.L. POWERS. 1942. Boron fertilization of alfafa and other legumes in Oregon. J. Amer. Soc. Agron., Washington, 34: 902-912.
- EMBLETON, T.W. 1966. Magnesium. In: Diagnostic criteria for plants and soils. CHAPMAN, H.D. (ed.). Univ. California, Berkeley, p.225-263.
- EPSTEIN, E., 1974. Nutrição mineral das plantas - princípios e perspectivas. Trad. e Notas de E. Malavolta. Ed. Livros Técnicos e Científicos S/A., São Paulo, 341p.
- FASSBENDER, H.W. 1972. Equilíbrios catiônicos y disponibilidad de potasio en suelos de America Central. Turrialba, Turrialba, 22: 388-397.
- FASSBENDER, R.H.W. 1975. Química de suelos. IICA/OEA, Turrialba, 397p.
- FASSBENDER, H.W. e L.A. LAROCHE. 1968. The nutritive potential of soil and the proportions of K:Ca:Mg in tomato plants. Plant and Soil, The Hague, 28: 431-441.
- FEY, M.V. e J. Le ROUX. 1976. Elettric charges on sesquioxidic soil clays. Soil Sci. Soc. Amer. J., Madison, 40: 359-463.
- FISKEL, J.G.A. 1958. Relationship of liming to nutrient efficiency in soil-plant relationships. Soil and Crop Sci. Soc. Fla. Proc., Gainesville, 17: 48-59.
- FOX, R.H. 1968. The effect of calcium and pH on boron uptake from high concentration of boron by cotton and alfafa, Soil Sci., Baltimore, 106: 435-439.
- FRANKLIN, R.E. 1970. Effects of adsorbed cations on phosphorus absorption by various plant species. Agron. J., Madison, 62: 214-216
- FRANKLIN, R.E., e E.O. McLEAN. 1963. Effect of electrode concentration on Donnan systems and the resulting uptake of cations by plants. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 27: 137-141.
- FRIED, M. e H. BROESHART. 1967. The soil-plant system in relation to inorganic nutrition. Academic Press, New York, 358p.

- GIDDENS, J. e S.J. TOTH. 1951. Growth and nutrient uptake of ladino clover grown on Red and Yellow and Gray-Brown Podzolic soil containing varying ratios of cations. Agron. J., Madison, 43: 209-214.
- GIESEKING, E.N. e H. JENNY, 1936. Behavior of polyvalent cations in base exchange. Soil Sci., Baltimore, 42: 273-280.
- HANNA, W.J. e J.B. HUTCHESON. 1968. Soil plant relationships. In: NELSON, L.B. (ed.). Changing patterns in fertilizer use. Soil Sci. Amer. Proc., Inc., Madison, p.141-161.
- HANSEN, E.M., 1972. Studies on the chemical compositions of isolated soil solution and the cation absorption by plants. Plant and Soil, The Hague, 37: 589-607.
- HATCHER, J.T., C.A. BOWER e M. CLARCK. 1967. Adsorption of boron by soils as influenced by hydroxy aluminum and surface area. Soil Sci., Baltimore, 104: 422-426.
- HOSSNER, L.R. e E.C. DOLL, 1970. Magnesium fertilization of potatoes as related to liming and potassium. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison 34: 772-773.
- HOWARD, D.D. e F. ADAMS. 1965. Calcium requirement for penetration of subsoils by primary cotton roots. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison 29: 558-562.
- HUNSAKER, V. e P.F. PRATT. 1971. Calcium-magnesium exchange equilibria in soils. Soil Sci. Amer. Proc., Madison, 35: 151-152.
- HUNTER, A.S. 1949. Yield and composition of alfafa as affected by variations in calcium-magnesium ratios in the soil. Soil Sci., Baltimore, 67: 53-62,
- HUNTER, A.S., S.J. TOTH e F.E. BEAR, 1943. Calcium potassium ratios for alfafa. Soil Sci., Baltimore, 55: 61-72.
- HUTCHEON, A.T. 1966. Thermodynamics of cation exchange on clay: Ca-K montmorillonite. J. Soil Sci., Oxford, 17: 339-355.

- JACKSON, M.L. 1957. Soil chemical analysis. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 498p.
- JACKSON, M.L. 1964. Chemical composition of soil. In: BEAR, F.E. (ed.) Chemistry of the soil. Reinholds Publishing Co., New York, p.71-141.
- JARUSOV, S.S. 1937. On the mobility of exchangeable cations in the soil Soil Sci., Baltimore, 43: 285-4 03.
- JENNY, H. e A.D. AYRES. 1939. The influence of the degree of saturation of colloids on the nutrient intake by roots. Soil Sci., Baltimore, 48: 443-459.
- JOHN, M.K. 1970. Colorimetric determination of phosphorus in soil and plant materials with ascorbic acid. Soil Sci., Baltimore, 109: 214-220.
- JOHNSON, C.M. e H. ULTRICH. 1959. Analytical methods for use in plant analysis. Cal. Agric. Exp. Sta., Bull. 766., Berkeley, p.26-78.
- JONES, H.F. and G.D. SCARSETH. 1944. The calcium-boron balance in plant as related to boron needs. Soil Sci., Baltimore, 57: 15-24.
- KAHN, J.S. e J.B. HANSON. 1957. The effect of calcium on potassium accumulation in corn and soybeans roots. Plant Physiol., Kutztown, 32: 312-4 16.
- KAMPRATH, E.J. 1970. Exchangeable aluminum as a criterion for liming leached mineral soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 34: 252-254.
- KAMPRATH, E.J. e C.D. FOY. 1971. Lime-fertilizer-plant interactions in acid soils. In: OLSON, R.A. (Ed.). Fertilizer technology and use. Soil Sci. Soc. Amer., Inc., Madison, p.105-152.
- KANAN, S. 1969. Factors related to iron absorption by enzymically isolated leaf alls. Plant.Physiol., Kutztown, 44: 1457-1460.
- KEY, J.L., L.T. KURTZ e B.B. TUCKER. 1962. Influence of ratio of exchangeable calcium-magnesium on yield and composition of soybean and corn. Soil Sci., Baltimore, 93: 265-274.

- KHASAWENEH, F.E. 1971. Solution ion activity and plant growth. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 35: 426-436.
- KHASAWENEH, F.E. e F. ADAMS. 1967. Effect of dilution on calcium and potassium contents of soil solutions. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 31: 172-176.
- KINJD, T. 1967. Saturação em cálcio e capacidade de troca de cátions em relação ao crescimento de plantas. ESALQ/USP, Piracicaba, 75p. [Tese de doutorado].
- KOEPPE, D.E. e R.J. MILLER. 1971. The effects of reaction media on coupling and uncoupling of respiration in corn mitochondria. Physiol. Plant., Lund, 24: 181-184.
- LAGERWERFF, J.V. 1960. The contact-exchange theory amended. Plant and Soil. The Hague, 13: 253-264.
- LAROCHE, F.A. 1967. Efeito da calagem sobre o complexo de troca de um Latossolo tropical e os teores de cations absorvidos pelo tomate. SUDENE/MINTER. Série Agricultura, nº 9. Recife, 80p.
- LEPSCH, I.F. e S.W. BUOL. 1974. Investigations in an Oxisol-Ultisol toposequence in S. Paulo State, Brazil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 38: 491-496.
- LINDSAY, W.L. 1972. Inorganic phase equilibria of micronutrients in soils. In: DINAUER, R.C. (ed.). Micronutrients in Agriculture. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, p.41-57.
- LOURENÇO, S., O.J. CROCOMO, I.R. NOGUEIRA e E. MALAVOLTA. 1968. An.Acad. Bras. Ciências. Rio de Janeiro, 40: 171-179.
- LUCAS, R.E. e B.D. KNEZEK. 1972. Climatic and soil conditions promoting micronutrient deficiencies in plants. In: DINAUER, C.A. (ed.). Micronutrients in agriculture. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Inc., Madison. p.265-268.
- LUCAS, R.E. e G.D. SCARSETH, 1947. Potassium, calcium and magnesium balance and reciprocal relationships in plants. J. Amer. Soc. Agron. Washington, 39: 887-896.

- MAAS, E.V., D.P. MOORE e B.J. MASON. 1969. Influence of calcium and magnesium on manganese absorption. Plant Physiol. Kutztown, 44: 796-800.
- MAHILUM, B.C., R.L. FOX and J.A. SILVA, 1970. Residual effects of liming volcanic ash soils in the humid tropics. Soil Sci., Baltimore, 109: 102-109.
- MALAVOLTA, E. 1967. Manual de química agrícola - Adubos e Adubação. Editora Agronômica Ceres, São Paulo, 606p.
- MALAVOLTA, E., 1976. Manual de química agrícola. Nutrição de plantas e fertilidade do solo. Editora Agronômica Ceres, São Paulo, 528p.
- MARSH, R.P. e J.W. SHIVE. 1941. Boron as a factor in the calcium metabolism plants. Soil Sci., Baltimore, 51: 141-151.
- MARSHAL, C.E. e A.D. AYRES. 1947. Clay membrans eletrodes for determining calcium activities. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 11: 171-172.
- MARSHAL, C.E. e S.A. BARBER, 1949. The calcium-potassium relationship of clay minerals as revelead by activity measurement. Soil Sci. Soc. Proc., Madison, 14: 86-88.
- MARTIN, J.P. e A.L. PAGE. 1969. Influence of exchangeable Ca and Mg and the percentage of base saturation on growth of citrus plants. Soil Sci., Baltimore, 107: 39-46.
- MARTINI, J.A. 1968. Algunas notas sobre el problema del encalado en los suelos del tropico. Turrialba, Turrialba. 18: 249-256.
- MASCARENHAS, H.A.A. 1977. Cálcio, enxofre e ferro no solo e na planta. Fundação Cargil, Campinas, 95p.
- MASSEY, H.F. 1957. Relation between dithizone - extractable zinc in the soil and zinc uptake by corn plants. Soil Sci., Baltimore, 83: 123-129.
- McLEAN, E.O. 1949. Reciprocal effects of magnesium and potassium as shown by their cationic activities in four clays. Soil Sci. Soc.

- Amer. Proc., Madison, 14: 89-93.
- McLEAN, E.O. e M.D. CARBONEL. 1972. Calcium, magnesium and potassium saturation ratios in two soils and their effects upon yields and nutrient contents of German millet and alfafa. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 36: 927-930.
- MEHLICH, A. e N.T. COLEMAN. 1952. Type of soil colloid and the mineral nutrition of plants. In: NORMAN, G.A. (ed.). Advances in Agronomy, vol. IV., New York, p.67-99.
- MEHLICH, A. e W.E. COLWELL. 1943. Influence of nature of soil colloids and degree of base saturation on growth and nutrient uptake by cotton soybeans. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 8: 179-184.
- MEHLICH, A. e W.E. COLWELL. 1946. Absorption of calcium by peanuts from kaolin and bentonite at varying levels of calcium. Soil Sci., Baltimore, 61: 369-374.
- MEHLICH, A. e J.F. REED. 1945. The influence of degree of saturation, potassium level, and calcium additions on removal of calcium, magnesium, and potassium. Soil Sci., Soc. Amer. Proc., Madison, 10: 87-93.
- MEHLICH, A. e J.F. REED. 1948. Effects of cation exchange properties of soil on the cation content of plants. Soil Sci., Madison, 66: 289-306.
- MILAM, F.M. e A. MEHLICH. 1954. Effect of soil-root ionic environment on growth and mineral content of *Crotalaria striata*. Soil Sci., Baltimore, 77: 227-236.
- MILLER, R.J., H.H. PEVERLY e D.E. KOEPPE. 1972. Calcium-stimulated ³²p accumulation by corn roots. Agron., J., Madison, 64: 262-266.
- MOSCHLER, W.W., G.D. JONES e G.W. THOMAS. 1960. Lime and soil acidity on alfafa growth in a Red-Yellow Podzolic Soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 24: 507-512.
- MOSS, P. 1969. A comparison of potassium-activity ratios derived from equilibrium procedures and from measurement on displaced soil

- solution. J. Soil Sci., Oxford, 20: 209-222.
- MOSTAFA, M.A.E. e A. ULRICH. 1974. Calcium uptake by sugar beet relative to concentration and activity of calcium. Soil Sci., Baltimore, 116: 432-436.
- MULDER, E.G. e F.C. GERRETSEN. 1952. Soil manganese in relation to plant growth. Advances in Agronomy, vol. IV, New York, p.222-277.
- NAFTEL, J.A. 1937. The influence of lime on yield and on the chemical composition of plants. J. Amer. Soc. Agron., Washington, 29: 537-547.
- NICHOL, W.E. e R.C. TURNER. 1957. The pH of non-calcareous near neutral soils. Can. J. Soil Sci., Ottawa, 37: 93-96.
- OLSEN, S.R. 1972. Micronutrients interactions. In: DINAVER, R.C. (ed.). Micronutrients in agriculture. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Inc., Madison, p.243-264.
- OMAR, M.A. e T. EL KOBBI. 1966. Some observations on the interrelationships of potassium and magnesium. Soil Sci., Baltimore, 101: 437-440.
- OVERSTREET, R.; L. JACOBSON e R. HANDLEY. 1952. The effect of calcium on the absorption of potassium by barley roots. Plant Physiol., Kutztown, 27: 583-590.
- PEARSON, R.W. 1958. Liming and fertilizer efficiency. Agron. J., Madison, 50: 356-362.
- PEECH, M. 1941. Availability of ions in light sandy soils as affected by soil reaction. Soil Sci., Baltimore, 51: 473-486.
- PEECH, M. e R. BRADFIELD. 1943. Effect of lime and magnesium on the soil potassium and on the absorption of potassium by plants. Soil Sci., Baltimore, 55: 37-48.
- PETERSON, F.F., J. RHOADES, M. ARCA e N.T. COLEMAN. 1965. Selective adsorption of magnesium ions by vermiculite. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 29: 327-328.
- PIERRE, W.H. e C.A. BOWER. 1943. Potassium absorption by plants as

- affected by cationic relationships. Soil Sci., Baltimore, 55: 23-26.
- POPENOE, H. 1960. Some soil cation relation in an area of shifting cultivation in the humid tropics. 7th Int. Congr. of Soil Sci., Madison, 2: 303-311.
- PRINCE, A.L., M. ZIMMERMAN, M. e F.E. BEAR. 1947. The magnesium supplying powers of 20 New Jersey soils. Soil Sci., Madison, 63: 69-78.
- RANZANI, G., O. FREIRE e T. KINJO. 1966. Carta de Solos do Município de Piracicaba. Centro de Estudos de Solos, E.S.A. "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 85p. [mimeografado].
- REEVE, E. e J.W. SHIVE. 1944. Potassium-boron and calcium-boron relationships in plant nutrition. Soil Sci., Baltimore, 57: 1-14.
- RESNICK, M.E. 1965. Influência de cálcio sobre la absorcion de potassio en plantulas de cebada. Rev. Inv. Agropec., Madrid, 2: 55-61.
- RICH, C.J. e W.R. BLACK. 1964. Potassium exchange as affected by cation size, pH, and mineral structural. Soil Sci., Baltimore, 97: 384-390.
- RIOS, V., J.A. MARTINI e R. TEJEIRA. 1968. Efecto del encalado sobre la acidez y el contenido de aluminio y hierro extraible en nueve suelos de Panamá. Turrialba, Turrialba, 18: 139-146.
- RIXON, A.J. e G.D. SHERMAN. 1962. Effects of heavy lime applications to volcanic ash soils of the humid tropics. Soil Sci., Baltimore, 94: 19-27.
- ROBERTSON, W.K., J.K. NELLER e F.D. BARTLET. 1954. Effect of lime on the availability of phosphorus in soils of high and low sesquioxid content. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 18: 184-186.
- ROGERS, H.T. 1945. Efficient crop production means balancing supply of available plant nutrient. Bettet Crops with Plant Food., Washington, 29: 6-8.
- RUSSEL, W. e E.J. RUSSEL. 1977. Soil conditions and plant growth. Long man Group Ltda., London, 849p.

- SALMON, R.C. 1964. Cation exchange reactions. J. Soil Sci., Oxford, 15: 273-283.
- SANCHEZ, C. e E.J. KAMPRATH. 1959. Effect of liming and organic matter content on the availability of native and applied manganese. Soil Sci. Soc. Amer., Madison, 23: 302-304.
- SANIK, Jr., A.T. PERKINS e W.G. SCHRENK. 1952. The effect of the calcium-magnesium ratio on the solubility and availability of plant nutrients. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 16: 263-267.
- SCHOFIELD, R.R. e W. TAYLOR. 1955. Measurements of the activities of bases in soils. J. Soil Sci., Oxford, 6: 137-146.
- SEATZ, L.F. 1960. Zinc availability and uptake by plants as affected by calcium and magnesium saturation and phosphorus content of the soil. 7th. Int. Congr. Soil Sci., Madison, 2: 271-280.
- SFREDO, G.J. 1976. Efeito das relações entre Ca e Mg sobre o pH, Al^{+++} trocável, Ca^{++} trocável e Mg^{++} trocável no solo e sobre a produção de matéria seca do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). UFV, Viçosa, 75p. (Tese de mestrado).
- SHEAR, C.B.; H.L. CRANE e A.T. MYERS. 1946. Nutrient-element balance: A fundamental concept in plant nutrition. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., Mount Vernon, 47: 239-248.
- SIMS, J.R. e F.T. BINGHAM. 1968. Retention of boron by layer silicates, sesquioxides, and soil materials: III. Iron and aluminum coated layer silicates and soil materials. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 32: 369-73.
- SINGH, R.N. e L.F. SEATZ. 1961. Alfafa yield and composition after different times and rates of lime and phosphorus application. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 25: 307-309.
- SOARES, E. 1975. Influência da relação entre teores trocáveis de cálcio e magnésio do solo na absorção de potássio pelo centeio (*Secale cereale*, L.). ESALQ/USP, Piracicaba, 73p. (Dissertação de Mestrado)
- SPENCER, W.F. 1953. Influence of cation - exchange reaction on

- retention and availability of cations in sandy soils. Soil Sci., Baltimore, 77: 129-136.
- SUMNER, M.E. 1979. Response of alfafa and sorghum to lime and P on highly weathered soils. Agron. J., Madison, 71: 763-766.
- THOMAS, G.W. e N.T. COLEMAN. 1959. A cromatografic approach to the leaching of fertilizer salts in soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 23: 113-116.
- TISDALE, S.L. e W.L. NELSON. 1969. Soil fertility and fertilizers. The Mac Millan, Co., New York, 694p.
- TRUOG, E., R.J. GOATES, G.C. GERLOFF e K.C. BERGER. 1947. Magnesium phosphorus relationships in plant nutrition. Soil Sci., Madison, 63: 19-25.
- Van ITALLIE, th. B. 1938. Cation equilibria in plant in relation to the soil: I. Soil Sci., Baltimore, 46: 175-186.
- Van REEUWIJK, L.P. e J.M. VILLIERS. 1968. Potassium fixation by amorphus aluminosilica gels. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 32: 238-240.
- VASCONCELOS, C.A. 1976. Equilíbrio iônico e capacidade de troca de cátions de alguns solos, em função do pH e dos teores de cálcio e magnésio. ESALQ/USP, Piracicaba, 112p. [Tese de Doutorado].
- VIETS, F.G. 1944. Calcium and other polyvalent cation as accelerators of ion accumulation by excised barley roots. Plant Physiol., Kutztown, 19: 466-480.
- VLAMIS, J. 1949. Growth of lettuce and barley as influenced by degree of calcium saturation of soil. Soil Sci., Baltimore, 67: 453-466.
- VLAMIS, J. 1953. Acid soil infertility as related to soil solution and solid phase effects. Soil Sci., Baltimore, 75: 383-394.
- WEAR, J.I. 1956. Effect of soil pH and calcium uptake of zinc by plants. Soil Sci., Baltimore, 81: 311-315.
- WEAR, J.I. e R.M. PATTERSON. 1962. Effects of soil pH and texture on the

- availability of water soluble boron in the soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 26: 344-345.
- WELTE, E. e W. WERNER. 1963. Potassium-magnesium antagonism in soil and crops. J. Soil Fd. Agric., London, 14: 180-186.
- WIKLANDER, L., 1964. Cation and anion exchange phenomena. In: BEAR, F. E. Chemistry of the soil. Reinholds Publishing Corporation, New York, p.163-205.
- WILD, A., D.L. ROWELL e M.A. OGUNFOWORA. 1969. The activity ratio as a measure of the intensity factor in potassium supply to plants. Soil Sci., Baltimore, 108: 432-439.
- YORK, E.T. e H.T. ROGERS. 1947. Influence of lime on the solubility of potassium in soils and its availability to plants. Soil Sci., Baltimore, 63: 467-477.
- YORK, Jr., E.T., R. BRADFIELD e M. PEECH. 1953. Calcium-potassium interaction in soils and plant. II. Reciprocal relationships between calcium and potassium in plants. Soil Sci., Baltimore, 76: 481-491.
- YUAN, T.L. 1963. Some relationships among hydrogen, aluminum, and pH in solution and soil systems. Soil Sci., Baltimore, 95: 155-163.