

SATURAÇÃO EM CÁLCIO E CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIONS EM RELAÇÃO AO CRESCIMENTO DE PLANTAS

TOSHIAKI KINJO

TESE APRESENTADA À E.S.A. "LUIZ DE QUEIROZ"
PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE "DOUTOR"

PIRACICABA
Estado de São Paulo – Brasil
1967

SATURAÇÃO EM CÁLCIO E CAPACIDADE
DE TROCA DE CÁTIONS EM RELAÇÃO
AO CRESCIMENTO DE PLANTAS

TOSHIAKI KINJO

Cadeira nº 13

Solos e Agrotecnia

E.S.A. "Luiz de Queiroz"

U.S.P.

Tese apresentada à E.S.A. "Luiz de Queiroz"
para obtenção do título de
"Doutor"

Piracicaba

Estado de São Paulo - Brasil

1967

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Guido Ranzani, Catedrático da Cadeira nº 13, Solos e Agrotecnia, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", orientador deste trabalho, pelo interesse e conselhos oferecidos.

Aos docentes da Cadeira nº 13, nossos agradecimentos pelas críticas e sugestões apresentadas.

Ao Instituto de Pesquisa. IRI e ao Dr. P.F. Pratt, pelas ajudas oferecidas.

Desejamos, ainda, estender nossos agradecimentos ao Prof. Dr. Francisco Ferrz de Toledo, pela valiosa ajuda na análise estatística dos dados e às demais pessoas que, de diferentes maneiras, também, contribuíram para a realização deste trabalho.

Finalmente, ao C.N.Pq., pela concessão da bolsa de pesquisa no início de nossa carreira científica e às instituições Fundação Rockefeller, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo e Instituto Brasileiro do Café, pelo auxílio material.

CONTEÚDO

	Página
1 - INTRODUÇÃO	1
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.	2
2.1 - Saturação em bases	2
2.2 - Saturação em cálcio e natureza do complexo coloidal do solo.	5
2.3 - Capacidade de troca de cátions do solo . .	11
2.4 - Característica das plantas em relação à absorção de bases.	12
3 - MATERIAIS E MÉTODOS	14
3.1 - Materiais.	14
3.1.1 - Argila da Série Monte Olimpo . . .	14
3.1.2 - Terra-fina da Série Guanium. . . .	16
3.1.3 - Areia	17
3.1.4 - Vasos.	17
3.2 - Métodos.	17
3.2.1 - Delineamento experimental.	18
3.2.2 - Tratamentos aplicados ao substrato argila-areia.	18
3.2.3 - Tratamentos aplicados ao substrato terra-areia.	21
3.2.4 - Plantio e colheita do algodoeiro .	23
3.2.5 - Análise das plantas.	23
3.2.6 - Análise dos substratos	24
3.2.7 - Análise estatística e convenções .	26
4 - RESULTADOS	27
4.1 - Saturação em bases e reação do substrato .	27
4.1.1 - Substrato argila-areia	27
4.1.2 - Substrato terra-areia.	27

	Página
4.2 - Crescimento do algodoeiro.	31
4.2.1 - Substrato argila-areia	31
4.2.2 - Substrato terra-areia,	35
4.3 - Teor de bases no algodoeiro.	39
4.3.1 - Substrato argila-areia	39
4.3.2 - Substrato terra-areia.	47
4.4 H ⁺ e Al ⁺³ trocáveis e Mn ⁺² solúvel no substrato.	55
5 - DISCUSSÃO	57
5.1 - Reação dos substrato.	57
5.2 - Crescimento e teor de bases no algodoeiro .	58
5.2.1 - Substrato argila-areia	58
5.2.2 - Substrato terra-areia.	62
6 - CONCLUSÕES	65
7 - RESUMO.	66
8 - SUMMARY	68
9 - BIBLIOGRAFIA CITADA	70

1 - INTRODUÇÃO

Nos solos mais produtivos, o cálcio predomina entre as bases adsorvidas ao complexo coloidal. Suas funções são múltiplas, podendo sua importância ser considerada do ponto de vista da acidez do solo e da disponibilidade de outras bases em relação ao crescimento de plantas.

Um conceito comum, no entanto muito simplista de calagem conduz diretamente à idéia de correção da acidez do solo pela neutralização de hidrogênio do complexo coloidal. Entretanto, a calagem não resulta essencialmente se não a elevação do grau de saturação em cálcio. Portanto, o estudo da saturação em cálcio está intimamente ligado ao problema de calagem; assunto ainda muito discutido quanto ao seu benefício nos solos tropicais.

O grau de saturação em cálcio e sua proporção, em relação a outras bases, são muito mais importantes, quanto à disponibilidade destes elementos às plantas, do que a quantidade absoluta existente no solo, a não ser que o teor de cálcio seja demasiadamente baixo. A mesma quantidade de cálcio pode representar um teor ótimo para um solo e um teor baixo para um outro, cuja C.T.C. seja maior do que a do primeiro.

O cálcio é retido normalmente em forma trocável no complexo coloidal do solo. Consequentemente, os fatores que influem sobre a troca de cálcio afetam diretamente a nutrição mineral das plantas. Devido às propriedades físico-químicas do complexo coloidal do solo, nem todos os íons trocáveis de cálcio são igualmente disponíveis às plantas.

Os objetivos deste trabalho são; a) estudar a relação entre saturação em bases e o pH do solo; b) estudar o efeito da saturação em cálcio e da capacidade de troca de cátions em relação ao crescimento de plantas.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Numerosas pesquisas têm sido realizadas para relacionar a natureza e estado do complexo coloidal do solo com o crescimento das plantas. De modo geral, êsses trabalhos podem ser agrupados: saturação em bases, saturação em cálcio e natureza de complexo coloidal do solo, capacidade de troca de cátions (C.T.C.) e característica das plantas em relação à absorção de bases.

2.1 - Saturação em bases

Um dos trabalhos pioneiros sobre a saturação em bases em relação ao crescimento de plantas foi realizado, segundo JENNY e AYERS (31), por Stohamann em 1864. Este autor tratou turfa ácida com extrato de estêrco e posteriormente lavou-a com muita água, durante 3 semanas. Dessa maneira, obteve turfa com todos os elementos nutritivos virtualmente adsorvidos. O material assim tratado foi misturado com quantidades diferentes de turfa ácida, a fim de se obterem vários graus de saturação. As produções de milho em massa verde, naquelas misturas, foram: 836 g a 100% de saturação, 386 g a 50% de saturação e 252 g a 25% de saturação. Os resultados mostraram claramente o efeito do grau de saturação sobre o desenvolvimento das plantas.

Todavia, até o fim da década de 1920 tinha-se acumulado poucos conhecimentos a respeito da saturação em bases em relação ao crescimento das plantas, quando Gehring (JENNY e AYERS, 31) mostrou que o grau de saturação em potássio da terra tende a se relacionar com o teste de Neubauer e ensaios de campo, com adubação potássica. Desde então, muitos pesquisadores interessaram-se pelo problema da saturação em bases em relação ao crescimento das plantas. Com o desenvolvimento das teorias da C.T.C. do solo e dos métodos de sua

determinação, foi possível estudar-se o problema sob condições rigorosamente controladas, tendo sido publicados muitos trabalhos sobre o assunto que mostram a importância do grau de saturação em bases em relação ao crescimento de plantas.

Hissink, em 1925 (DOROFFEFF, 20), chamou a atenção dos edafologistas para a necessidade de levarem em consideração máxima o grau de saturação em bases do complexo coloidal do solo. Foi esse autor que introduziu o termo grau de saturação do solo, que designou por "V". A expressão numérica deste é conhecida como porcentagem de saturação em bases, índice de saturação em bases, valor de Hissink ou V%.

PIERRE e SCARSETH (51), em 1931, estudaram a saturação em bases de numerosos solos de várias origens, apresentando os mesmos valores de pH. Observaram que solos de mesma reação podem variar consideravelmente quanto à porcentagem de saturação em bases. De modo geral, os solos fortemente intemperizados apresentam porcentagem de saturação em bases mais baixa do que os solos menos intemperizados, ao mesmo pH. Atribuíram esse fenômeno a diferenças quanto à natureza de acidez do solo. Estes autores observaram, ainda, que os solos fortemente intemperizados apresentavam acidez mais fraca do que os menos intemperizados.

Em vista da importância fundamental do estudo da relação entre saturação em bases e o crescimento das plantas, PIERRE (50) desenvolveu pesquisas referentes a este assunto, em 13 solos ajustados, conforme o caso, com calcário ou com ácido, a diferentes graus de acidez. Os resultados obtidos mostraram alta correlação entre a porcentagem de saturação em bases e dano nas plantas, em solos ácidos. Constatou, ainda, que diferenças na proporção relativa de várias bases no complexo coloidal do solo podem ser fatores que contribuem para o mau crescimento das plantas em solos ácidos.

Dez anos depois das experiências de PIERRE e SCARSETH (51), MEHLICH (40) reafirmou a importância das diferenças existentes entre porcentagem de saturação em bases e pH, do ponto de vista tanto teórico como prático. Examinou, com detalhe, a significância das variações daquela relação, com referência especial às devidas à natureza do solo. Determinou a porcentagem de dessaturação em bases com amostras coletadas de diferentes perfis, abrangendo grande amplitude de pH. Observou que a relação entre porcentagem de dessaturação em bases e o pH foi uma característica constante e específica para cada mineral de argila estudado. Por exemplo, o pH a 75 por cento de dessaturação foi 5,3 para a caulinita, 3,8 para a montmorilonita, 3,9 para a illita e 4,8 para solo turfoso. Essa relação em alguns solos foi proeminentemente semelhante à do mineral de argila nele contido. A diferença de pH, à mesma porcentagem de dessaturação devido à natureza do mineral de argila, é atribuída a diferença da força de acidez de complexo coloidal. Segundo Marshall (CHU e TURK, 14), essa força de acidez dos minerais de argila, estimada por dissociação de hidrogênio é: caulinita \leftarrow illita \leftarrow montmorilonita. Considerou-se essa sequência importante como ajuda na determinação da necessidade de calagem.

No Brasil os estudos de saturação em bases foram feitos por DOROFEEFF (20) nos solos do Estado de Minas Gerais e por CATANI e GALLO (12) nos solos do Estado de São Paulo, com a finalidade de obter um método eficiente para determinação de quantidade de calcário necessário para a correção da acidez do solo. DOROFEEFF (20) verificou que a relação entre a porcentagem de saturação em bases e o pH correspondente para cada amostra foi linear nos limites compreendidos entre pH 4,8 e 6,8. Mas, entre amostras de solos diferentes, a relação foi extremamente variável, tendo atribuído

essas diferenças aos constituintes minerais e coloides orgânicos. CATANI e GALLO (12), por sua vez, observaram uma relação muito pronunciada entre o pH e a porcentagem de saturação em bases obtida com 85 amostras e concluíram que existe uma relação linear entre as duas variáveis.

2.2 - Saturação em cálcio e natureza de complexo coloidal do solo

GEDROIZ (24), em 1931, sugeriu que existem dois fatores que inibem o crescimento das plantas em solos ácidos completamente saturados com íon hidrogênio e sem carbonato de cálcio: ausência de cálcio disponível e reação ácida do solo. Observou que a disponibilidade de cálcio trocável para plantas aumentou somente quando seu grau de saturação era relativamente alto.

Jenny e Cowan, (JENNY e AYERS, 31), em 1933 acharam que a produção vegetativa de soja, cultivada em suspensão de argila saturada com cálcio e hidrogênio, diminuiu severamente quando o grau de saturação em cálcio caía abaixo de 30 por cento. ALBRECHT e HORNER (2), HORNER (27) e ALBRECHT (1) também estudaram o efeito da saturação em cálcio em relação ao crescimento da soja, fixação de nitrogênio e absorção de cálcio, mantendo-se o teor de cálcio na terra constante. ALBRECHT e HORNER (2) constataram que 87,5 por cento de saturação em cálcio era aproximadamente duas vezes mais eficiente em fixação de nitrogênio do que 40 por cento de saturação e o teor de cálcio absorvido pela planta era quase o dobro. HORNER (27) também obteve resultados semelhantes e ALBRECHT (1) concluiu que a absorção de cálcio pelas plantas, quando a mesma quantidade absoluta de cálcio foi fornecida, era muito maior quando o cálcio estava saturando quase totalmente o complexo coloidal do solo.

Por outro lado, o efeito da saturação em cálcio sobre a absorção de outras bases trocáveis, tais como potássio e magnésio, foi evidenciado por vários pesquisadores. Ehrenberg (REITEMEIER, 54), em 1919, observou diminuição da absorção de potássio e baixa produção nos solos que receberam calagem. Este autor atribuiu esse fenômeno ao efeito antagônico do cálcio sobre o potássio. FONDER (22), em 1929, observou a relação recíproca entre cálcio e potássio em alfafa e concluiu que o cálcio provavelmente determina a proporção de Ca : K em plantas, as quais utilizam cálcio às expensas do potássio. HORNER (27), em 1936, constatou que a medida que o grau de saturação em cálcio aumentava, a absorção deste elemento pela soja aumentava, enquanto que a do potássio e do magnésio diminuíam. A baixos graus de saturação em cálcio houve absorção de cálcio em pequena quantidade e relativamente de grande quantidade de potássio e magnésio.

JARUSOV (30), em 1937, estudou o efeito de íons complementares sobre libertação de cálcio trocável. Em seu experimento, 5 e.mg de NH_4Cl em 200 ml de solução foram adicionados a 1,91 g de amostra de solos contendo 0,5 e.mg de cálcio trocável e 0,5 e.mg de íons complementares. A libertação de cálcio trocável foi maior quando o íon complementar era hidrogênio, intermediária com magnésio e menor com sódio.

JENNY e AYERS (31), em 1939, demonstraram teórica e experimentalmente que a troca de um cátion do complexo coloidal é deprimida pela presença de íons complementares. Esse impedimento de libertação de íons se refere no acúmulo pelas raízes das plantas. Os autores acharam que o íon cálcio é o cátion menos retardador no processo de libertação de potássio, indicando a superioridade do solo saturado com cálcio e a prática de calagem em solos ácidos, que deve condi -

cionar mais potássio disponível. SEATZ e WINTER (55) estudaram, por método químico, a libertação de potássio em relação ao cálcio e hidrogênio como íons complementares, chegando à conclusão similar de JENNY e AYERS (31).

MEHLICH e REED (46), por sua vez, pesquisaram as proporções variáveis de Ca : Mg, assim como Ca : K, no complexo coloidal de natureza orgânica, em relação a libertação de cations e seus teores em plantas. Os efeitos principais observados foram: a) o aumento de potássio trocável para qualquer nível de cálcio aumentou o teor de potássio e diminuiu o de cálcio nas plantas; b) o aumento de magnésio trocável, para qualquer nível de cálcio, aumentou o teor de magnésio e diminuiu o de cálcio nas plantas; c) houve efeito moderado do íon complementar entre cálcio e magnésio e efeito forte do íon complementar entre cálcio e potássio.

Quanto à adsorção de potássio aplicado na forma de solução de KCl, PEECH e BRADFIELD (49) observaram que a adsorção do potássio pelo complexo coloidal aumentou rapidamente com o aumento do grau de saturação em cálcio devido, em maior parte, à permuta de cálcio adsorvido por potássio. Esta conclusão parece que é contraditória em relação ao que foi observado por JENNY e AYERS (31) e SEATZ e WINTER (55). Mas, neste caso, a explicação seria a diferença na facilidade de troca com o potássio, sendo o cálcio mais facilmente trocado do que hidrogênio ou alumínio. PEECH (47), em trabalho posterior, afirmou que a correção da acidez excessiva de solos arenosos com calagem não somente assegura suprimento adequado de cálcio e magnésio disponível, mas também reduz a lixiviação de cátions aplicados como sais solúveis através do processo de adsorção em forma trocável. Desta forma, o solo tende a conservar os fertilizantes tão preciosos. AYERS (5) estudou o problema, empregando solos argilosos do Havai,

fazendo a saturação em cálcio variar de 0 a 100 por cento. Com o aumento do grau de saturação em cálcio, aumentou a absorção de potássio e amônio, embora o efeito não fosse tão marcante quanto o da concentração de íon.

Em vista de escassez de informações disponíveis quanto à influência específica da natureza do complexo coloidal e grau de saturação em bases sobre a absorção de bases e crescimento das plantas, MEHLICH e COLWELL (44), em 1943, estudaram em um solo orgânico e três solos minerais, nas quais variava o conteúdo de argila caulinitica e montmorilonítica. As amostras foram tratadas com Ca(OH)_2 para obter quatro graus de saturação idênticos para todas as amostras. A capacidade de troca de cátions foi ajustada com areia para 4 e.mg por 100 g de terra.

O fato saliente revelado pelos dados de produção foi a influência marcante da natureza de complexo coloidal do solo sobre a resposta para aumento do grau de saturação em cálcio. A produção nos solos que contêm argila montmorilonítica aumentou com cada acréscimo do cálcio, chegando ao máximo com 80 por cento de saturação. A produção nos solos que contêm argila caulinitica foi crescente com as saturações de 20 e 40 por cento, todavia, houve pouco ou nenhum aumento acima deste ponto. A produção nos solos orgânicos foi semelhante à dos solos que contêm argila caulinitica.

A absorção de cálcio por plantas foi invariavelmente mais alta no solo que contém argila caulinitica do que no solo que contém argila montmorilonítica. O solo orgânico foi intermediário na série de 4 e.mg e o mais alto na série de 2 e.mg de C.T.C.. O teor de cálcio na soja apresentou melhor correlação com a porcentagem de saturação do que com a quantidade absoluta de cálcio trocável nos solos orgânicos e solos que contêm argila montmorilonítica; enquanto

que nos solos que contêm argila caulínica, se correlaciona diretamente com a quantidade absoluta de cálcio trocável. Num outro ensaio com amendoim realizado por MEHLICH e REED (45), o teor de cálcio na casca foi mais alto quando as vagens eram produzidas na mistura de areia com caulinita do que na mistura de areia com montmorilonita.

CHU e TURK (14), em 1949, experimentaram-se com bentonita de Wyoming e caulim comercial para estudar o efeito da natureza de minerais de argila e a significância da saturação em bases. Os materiais foram eletrodializados e as bases foram adicionadas em proporções desejadas. As argilas assim preparadas foram misturadas com areia de quartzo para obter diferentes níveis de C.T.C.. Os resultados obtidos corroboraram as afirmações de MEHLICH e COWELL (44) a respeito do crescimento e do teor de bases nas plantas em relação a saturação em bases e natureza do complexo coloidal.

GIDDENS e TOTH (25), por sua vez, estudaram o mesmo assunto, variando-se entretanto as proporções de Ca : Mg : K em extremas nos solos que contêm illita e caulinita. Seus resultados mostraram que nenhuma proporção específica de cátions deu melhor produção quando o cálcio era íon dominante.

ALLAWAY (4) e MEHLICH (41) procuraram estudar a libertação de cálcio em diferentes minerais de argila, a vários graus de saturação em cálcio, por método químico, adicionando ácido clorídrico equivalente ao cálcio trocável. A quantidade de cálcio libertada foi consideravelmente variável entre os minerais de argila. Este fato mostrou que o tipo de mineral de argila exerce importante função na libertação de cálcio. Os autores observaram a seguinte sequência na libertação de cálcio adsorvido aos coloides do solo: turfa > caulinita > illita > montmorilonita.

A atividade iônica, pertinente à saturação em cálcio e natureza do complexo coloidal do solo, foi estudada por MARSHALL e AYER (38) e MARSHALL (37), empregando-se o eletrodo de membrana de argila proposto por MARSHALL (36). Os autores observaram que a caulinita mostrava grande diferença eletro-química em relação a argila montmorilonítica e que a ionização de todos os cátions, especialmente de cálcio, era muito maior para a caulinita do que para a montmorilonita. Por razões eletro-químicas, concluíram que as práticas de calagem e de adubação devem ser diferentes em solos montmoriloníticos e cauliniticos.

BEAR et al. (8) e BEAR e TOTH (9), em 1945, estabeleceram tentativamente, após 8 anos de estudo, a proporção de bases no complexo coloidal, para vinte solos importantes do Estado de New Jersey. Segundo estes autores, um solo ideal, do ponto de vista da nutrição de plantas, deve ter 65% do complexo coloidal ocupado por Ca^{++} , 10% por Mg^{++} , 5% por K^+ e 20% por H^+ . Isto indica a importância do cálcio e também as proporções de Ca : Mg, Ca : K e Ca : H como 6,5 : 1, 13 : 1 e 3,25 : 1 respectivamente. Acharam que 20 por cento de H^+ no complexo coloidal era necessário para evitar o problema da carência de alguns micro-nutrientes, concluindo que o hidrogênio trocável nos solos das regiões úmidas é tão importante como o cálcio, o magnésio e o potássio trocáveis. Os resultados obtidos por ALBRCHT e SCHROEDER (3) também mostraram que a absorção de Ca, Mg, Sr e Mn pelo espinafre foi maior na presença de hidrogênio em concentração apreciável do que no solo quase neutro.

MEMLICH e COLEMAN (43) acharam que 80% de cálcio para montmorilonita e 40% para a caulinita seriam saturações ótimas para o crescimento e absorção de cálcio pelas plantas. De modo geral a absorção de cálcio e crescimento

de planta aumenta a medida que a saturação em cálcio se eleva. Mas o grau de saturação em cálcio necessário para o crescimento ótimo das plantas varia conforme a espécie e é geralmente mais alto em argilas montmoriloníticas do que em argilas cauliniticas.

A presença dos óxidos de ferro e alumínio, segundo MEHLICH (42), pode modificar a relação entre a porcentagem de saturação em cálcio e a disponibilidade de cálcio por vários minerais de argila. Incorporação de hematita e óxido hidratado de ferro à caulinita aumentou a disponibilidade de cálcio e o teor de cálcio no algodoeiro.

2.3 - Capacidade de troca de cátions do solo.

O nível de C.T.C. do solo pode ser o fator limitante no crescimento das plantas, embora o grau de saturação em cálcio e outras bases seja o mais adequado. Isto foi evidenciado no trabalho por MEHLICH e REED (46), ao estudarem o efeito da troca de cátions sobre o teor de cátions nas plantas. Acharam que o peso de todas as plantas estudadas diminuiu significativamente a medida que a C.T.C. diminuía de 20,8 a 5,2 e.mg por 100g de terra constituída principalmente por areia e matéria orgânica.

KEY et al. (33) observaram, no Estado de Illinois, que a soja não cresceu tão bem em meio com 3 e.mg como nos meios de 9 e 27 e.mg de C.T.C.. Ao nível de 3 e.mg de C.T.C., a soja sofreu de carência de cálcio em todas as proporções de Ca : Mg estudadas. Mas o milho, ao contrário, cresceu bem em todos os níveis de C.T.C. quando a proporção de Ca : Mg era maior do que um.

CHU e TURK (14), todavia, observaram que as produções vegetativas de aveia e de centeio, cultivados em meios com C.T.C. de 1 a 8 e.mg por 100g de terra foram apro

ximadamente as mesmas, quando o grau de saturação em bases era mantido constante.

2.4 - Característica das plantas em relação à absorção de bases

Quando se estuda a disponibilidade de bases trocáveis, é importante que se conheça as características das plantas utilizadas.

TRUOG (57), em 1918, constatou que cada espécie de planta tem uma necessidade de calcário que deve ser satisfeita para se obter seu crescimento máximo. Se uma planta for muito exigente quanto a calcário, o fornecimento deve ser rápido e fácil.

Segundo COOPER et al. (16) algumas plantas têm a capacidade de acumular quantidades apreciáveis de certos nutrientes. De modo geral, as leguminosas contêm mais cálcio do que potássio e mais ferro do que manganês. Algodoeiro, mourisco, fôlhas de fumo e de cana-de-açúcar contêm um teor relativamente mais alto de magnésio do que de outros elementos. COOPER et al. (17) mencionaram dois fenômenos de absorção de íons existentes em plantas, isto é, acumulação seletiva de íons e exclusão seletiva de íons. Ocorre a acumulação seletiva de cálcio nas leguminosas, algodoeiro e espinafre, através da formação de compostos orgânicos tais como oxalato e malato os quais têm a função de proteger as plantas da concentração excessiva de cálcio nos tecidos. Ao contrário, as gramíneas não absorvem cálcio em quantidade apreciável, embora existisse uma concentração alta deste elemento no solo, devido ao fenômeno da exclusão seletiva de íons. HOU e MERKLE (28) estudaram a composição química de plantas que ocorrem sempre em solos ácidos e de plantas sensíveis à acidez, mostrando evidência de que diferen-

tes plantas, cultivadas nas proximidades, diferem consideravelmente quanto a absorção relativa dos vários elementos.

Foram realizados muitos trabalhos sobre C.T.C. de raízes em relação à absorção de bases pelas plantas. Estudando numerosas plantas econômicas e ervas daninhas, DRAKE et al. (21) postularam que a C.T.C. de raiz é o que determina a proporção de absorção dos cátions monovalente e bivalente ao nível baixo de fertilidade do solo. Plantas com as raízes de baixa C.T.C. tais como gramíneas, são favorecidas com absorção de potássio e plantas com as raízes de alta C.T.C., tais como leguminosas, são caracterizadas com o teor alto de cálcio nas plantas. Os dados de C.T.C. por 100 g de raiz seca obtidos por McLEAN et al (39) foram 15,2 e.mg para arroz e 40,2 e.mg para algodoeiro. CROOKE e KNICHT (19) fizeram a avaliação dos dados publicados e obtidos por eles sobre composição química de plantas cultivadas e ervas daninhas em relação à C.T.C. de raiz. Mostraram que a capacidade de troca de cátions de raiz é correlacionada positivamente com cátions totais, quantidade de cinza e soma de elementos menores contidos na parte aérea de plantas.

Revisando a literatura relacionada com a disponibilidade de cálcio à plantas, nota-se o efeito significativo da saturação em cálcio em relação ao crescimento de plantas e que não pode ser muito generalizado. Dentre os fatores mais importantes que influem sobre a relação entre saturação em cálcio e crescimento de plantas são: natureza de complexo coloidal do solo, ou tipos de mineral de argila, presença de óxido hidratado de ferro e húmus; nível de capacidade de troca de cátions do solo; plantas empregadas para ensaio.

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

Para estudar o efeito do grau de saturação em cálcio e do nível de C.T.C. sobre o crescimento e a nutrição mineral do algodoeiro, foi empregada argila separada de um solo hidromórfico e a terra fina obtida de um solo latossólico. A areia foi utilizada para ajustar o nível de C.T.C. do substrato. Escolheu-se o algodoeiro (Gossypium hirsutum L. var. IAC 12) como planta teste. O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação, na E.S.A. "Luiz de Queiroz" em Piracicaba.

3.1 - Materiais

Foi escolhido material de dois solos ácidos com diferentes conteúdos de óxido de ferro livre: o horizonte C de um solo hidromórfico e o horizonte B de um latosol, ambos ocorrendo no Município de Piracicaba, Estado de São Paulo. O solo hidromórfico foi identificado como pertencente à Série Monte Olimpo e o latossólico como Série Guamium, por RANZANI et al. (53). A Série Monte Olimpo pertence à unidade de mapeamento dos Solos Hidromórficos e a Série Guamium, à do Latosol Vermelho Escuro-orto, propostas pela COMISSÃO DE SOLOS (15).

A areia utilizada foi obtida na região noroeste no Município de Piracicaba, de um alúvio formado por sedimentos do arenito Botucatu.

3.1.1 - Argila da Série Monte Olimpo

Puzeram-se 8 kg de terra fina seca ao ar em uma barrica de 100 litros. Adicionaram-se 20 litros de água destilada e 250 ml de NH_4OH 3N. Agitou-se com uma pá de madeira para desfazer os agregados e adicionaram-se

mais 30 litros de água destilada. Agitou-se novamente para se obter boa dispersão e deixou-se em repouso durante 18 horas. A quantidade de dispersante foi calculada com auxílio de prova realizada em uma série de provetas contendo concentrações variáveis de NH_4OH 1N, elegendo-se aquela que provocou dispersão máxima. O íon amônio foi preferível ao íon sódio, para evitar possível interferência deste na saturação de bases. O tempo de sedimentação foi calculado com auxílio da fórmula de Stokes (BAVER, 7).

Sifonaram-se aproximadamente 40 litros de suspensão, passando-os para outra barrica de 100 litros. Adicionaram-se 540 ml de HNO_3 3N a fim de flocular a argila e ao mesmo tempo saturar o complexo coloidal com o íon hidrogênio. Homogeneizou-se a suspensão e deixou-se sedimentar durante 24 horas. Decantou-se o líquido sobrenadante e transferiu-se a argila floculada para funis providos de papel de filtro. Lavou-se com água destilada várias vezes durante 3 dias para reduzir a concentração de ácido nítrico. Transferiu-se a argila para um recipiente de lata de 13 litros, pintado internamente com tinta neutra, e repetiu-se o processo de suspensão e sedimentação com água destilada até que o material coloidal começasse a apresentar sinais de dispersão, indício da remoção do excesso de ácido.

Transferiu-se a argila para uma caixa de madeira forrada com papel de filtro e deixou-se a água escorrer completamente. Secou-se a argila ao ar, passando-a, a seguir, em peneira nº 100, após trituração.

Na Tabela I, está apresentada a composição química da argila assim preparada, determinada segundo o método indicado por KOLTHOFF e SANDELL (35). A C.T.C. dessa argila foi de 13,06 e.mg por 100g de material sêco a 105°C , determinada pelo NH_4OAc 1N, a pH 7,0 segundo PEECH et al. (48).

TABELA I - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA ARGILA
OBTIDA DA SÉRIE MONTE OLIMPO

g/100 g de argila sêca ao ar						SiO ₂ *	Fe ₂ O ₃
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	Al ₂ O ₃	Livre %
46,87	31,00	2,71	1,98	14,28	2,76	2,57	0,38

* relação molecular

A determinação do óxido de ferro livre foi feita segundo o método de JACKSON (29).

3.1.2 - Terra fina da Série Guanium

A amostra de terra sêca ao ar foi passada em peneira de 2 mm, desfazendo-se os agregados. A C.T.C. dessa terra foi de 6,10 e.mg por 100g de material sêco à 105°C, a pH 7, determinada pelo método de PEECH et al. (48). Alguns resultados analíticos dessa terra estão apresentados na Tabela II.

A análise mecânica foi feita pelo método de Bouyoucos modificado por RANZANI (52). O conteúdo de matéria orgânica do solo e o de potássio trocável foram determinados pelos métodos propostos por CATANI et al. (13). As determinações de cálcio e magnésio trocáveis foram feitas segundo o método do EDTA proposto por GLÓRIA et al. (26). O óxido de ferro livre foi determinado seguindo-se as recomendações de JACKSON (29).

As bases trocáveis existentes na terra não foram removidas, uma vez que seus teores eram muito baixos. Todavia, seus conteúdos foram considerados no cálculo da quantidade de bases a ser adicionada em cada tratamento.

TABELA II - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS
DA TERRA FINA DA SÉRIE GUAMIUM

Areia total %	Limo %	Argila %	Mater. orgân. %	e.mg/100 g TFSE			pH Água 1:1	Fe ₂ O ₃ livre %
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺		
16,2	6,2	77,6	1,09	0,32	tr	0,07	4,5	10,2

3.1.3 - Areia

A areia, proveniente de sedimentos do arenito Botucatu, foi passada em peneira de 2 mm a fim de separar as partículas maiores, que foram rejeitadas. Colocou-se a areia no tambor e tratou-se com hidróxido de sódio para eliminar possíveis contaminações com limo, argila e matéria orgânica. Depois da lavagem com bastante água destilada, tratou-se a areia com ácido nítrico a fim de garantir a remoção de impurezas. Em seguida, foi lavada com água destilada até ausência de ácido e submetida à secagem ao ar.

3.1.4 - Vasos

Os vasos empregados para o ensaio foram de matéria plástica sem dreno, tendo 5 litros de capacidade. Foram pintados com tinta verde escura e embrulhados com papel opaco para evitar a penetração de luz.

3.2 - Métodos

Foram preparados dois tipos de substratos: um deles constituído de argila-areia e o outro de terra-areia, os quais receberam idênticos tratamentos. Foram determinados nos substratos, após a colheita do algodoeiro para pesagem e análise química, os teores de Al⁺³ trocável e Mn⁺² solúvel em HNO₃ 0,05N.

3.2.1 - Delineamento experimental

O delineamento experimental consistiu de um fatorial 3x4, isto é, 3 níveis de capacidade de troca de cátions com 4 graus de saturação em cálcio, em blocos casualizados, com 3 repetições para cada tratamento.

Os níveis de C.T.C. foram 1,5, 3,0 e 6,0 e.mg por 100 g do substrato. Os graus de saturação em cálcio foram 0, 15, 30 e 60% para o substrato argila-areia e 5, 15, 30 e 60% para o substrato terra-areia.

As saturações em magnésio (15%) e em potássio (10%) foram mantidas constantes para todos os níveis de C.T.C. estudados. Consequentemente, os graus de saturação em bases foram de 25, 40, 55 e 85% para o substrato argila-areia e de 30, 40, 55 e 85% para o substrato terra-areia.

3.2.2 - Tratamentos aplicados ao substrato argila-areia

A quantidade de argila necessária para preparar o substrato argila-areia, com capacidade de troca de cátions de 1,5, 3,0 e 6,0 e.mg por 100 g do substrato, foi calculada com auxílio do valor da C.T.C. da argila a pH 7. Devido à variações na densidade aparente, resultantes do emprego de diferentes proporções de argila e areia, para se obterem os 3 níveis de C.T.C., procurou-se manter o mesmo volume para todos os vasos, conforme mostra a Tabela III.

As quantidades de argila correspondentes a cada tratamento foram postas nos vasos, adicionando-se, em seguida, $\text{Ca}(\text{HO})_2$ e MgO em pó e a solução de KOH 0,5N nas quantidades indicadas na Tabela IV.

A argila misturada com bases foi unedecida com água destilada e mantida sob homogeneização, por revolvimento

TABELA III - QUANTIDADE DO SUBSTRATO ARGILA-AREIA PARA CADA NÍVEL DE C.T.C. E CONTEÚDO DE ARGILA E DE AREIA

Capacidade de troca de cátions e.mg/100 g	Substrato argila-areia por vaso g	Quantidade de		
		Argila sêca		Areia g
		em estufa g	ao ar g	
1,5	6.600,0	759,4	781,0	5.840,6
3,0	5.300,0	1.219,4	1.254,0	4.080,6
6,0	4.000,0	1.840,8	1.893,0	2.159,2

ocasional, durante 5 semanas. Em seguida, todos os vasos receberam a mesma quantidade de macro e micro-nutrientes, adicionados à massa pastosa de argila, sob forma de solução.

As quantidades de sais empregadas por vaso foram as seguintes:

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	: . . . . .	1,0 g
NH_4NO_3	. . . . .	0,5 g
$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	: . . . . .	2,0 g
$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	: . . . . .	8 ppm (Mn)
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	: . . . . .	4 ppm (Fe)
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	: . . . . .	3 ppm (Cu)
H_3BO_3	. . . . .	3 ppm (B)
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	: . . . . .	2 ppm (Zn)
$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	. . . . .	0,5 ppm (Mo)

Depois da adição dos elementos nutritivos, misturou-se a massa de argila com areia a fim de se obter a C.T.C. desejada. Esta mistura de argila com areia, uma vez sêca ao ar, foi submetida a destorroamento.

TABELA IV - ESQUEMA DOS TRATAMENTO PARA O SUBSTRATO ARGILA-AREIA, PERTINENTE
 À SATURAÇÃO EM BASES E À QUANTIDADE DE BASES ADICIONADAS AOS VASOS

Capacidade de troca de cátions	Saturação em bases				Quantidade de bases adicionadas							
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	"V"	Ca(OH) ₂	MgO	KOH					
e.mg/100 g	%	%	%	%	e.mg/100g	mg/vaso	e.mg/100g	mg/vaso	e.mg/100g	mg/vaso	e.mg/100g	mg/vaso
1,5	0	15	10	25	0	0	0,225	299,2	0,150	555,4	0,150	555,4
	15	15	10	40	0,225	549,5	0,225	299,2	0,150	555,4	0,150	555,4
	30	15	10	55	0,450	1.099,0	0,225	299,2	0,150	555,4	0,150	555,4
	60	15	10	85	0,900	2.198,0	0,225	299,2	0,150	555,4	0,150	555,4
3,0	0	15	10	25	0	0	0,450	480,6	0,300	902,0	0,300	902,0
	15	15	10	40	0,450	882,5	0,450	480,6	0,300	902,0	0,300	902,0
	30	15	10	55	0,900	1.765,0	0,450	480,6	0,300	902,0	0,300	902,0
	60	15	10	85	1,800	3.530,0	0,450	480,6	0,300	902,0	0,300	902,0
6,0	0	15	10	25	0	0	0,900	725,4	0,600	1.346,4	0,600	1.346,4
	15	15	10	40	0,900	1.332,0	0,900	725,4	0,600	1.346,4	0,600	1.346,4
	30	15	10	55	1,800	2.664,0	0,900	725,4	0,600	1.346,4	0,600	1.346,4
	60	15	10	85	3,600	5.328,0	0,900	725,4	0,600	1.346,4	0,600	1.346,4

3.2.3 - Tratamentos aplicados ao substrato terra-areia

As quantidades de terra fina e de areia para se obterem os níveis de C.T.C. de 1,5, 3,0 e 6,0 e.mg por 100 g do substrato, estão na Tabela V. Procurou-se aqui, à semelhança do substrato argila-areia, manter o mesmo volume de substrato em cada vaso, como está indicado na Tabela V.

Para o cálculo da quantidade de bases a ser adicionada, levou-se em conta o teor de bases trocáveis existente na terra fina.

O esquema dos tratamentos de saturação em bases e das quantidades de bases adicionadas estão na Tabela VI. Todos os vasos receberam a mesma quantidade de macro e micronutrientes, como foi indicado anteriormente, para o substrato argila-areia. O processo de preparação dos substratos foi idêntico ao empregado na obtenção dos substratos argila-areia.

TABELA V - QUANTIDADE DO SUBSTRATO TERRA-AREIA
PARA CADA NÍVEL DE C.T.C. E CONTEÚDO
DE TERRA FINA E DE AREIA

Capacidade de troca de cátions e.mg/100 g	Substrato terra-areia por vaso g	Quantidade de		
		Terra fina seca		Areia g
		em estufa g	ao ar g	
1,5	6.000,0	1.476,9	1.543,7	4.523,1
3,0	5.000,0	2.463,1	2.574,6	2.536,9
6,0	4.000,0	3.938,3	4.116,5	61,7

TABELA VI - ESQUEMA DOS TRATAMENTOS PARA O SUBSTRATO TERRA-AREIA PERTINENTE À SATURAÇÃO EM BASES E À QUANTIDADE DE BASES ADICIONADAS AOS VASOS

Capacidade de torca de cátions e.mg/100 g	Saturação em bases				Quantidade de bases adicionadas												
	Ca ⁺⁺		Mg ⁺⁺		K ⁺		"V"		Ca(OH) ₂			MgO			KOH		
	%	%	%	%	%	%	%	e.mg/100g	mg/vaso	e.mg/100g	mg/vaso	e.mg/100g	mg/vaso	e.mg/100g	mg/vaso	e.mg/100g	mg/vaso
1,5	5	15	10	30	0,080	177,6	0,225	272,0	0,150	504,9							
	15	15	10	40	0,225	499,5	0,225	272,0	0,150	504,9							
	30	15	10	55	0,450	999,0	0,225	272,0	0,150	504,9							
	60	15	10	85	0,900	1.998,0	0,225	272,0	0,150	504,9							
3,0	5	15	10	30	0,160	296,0	0,450	453,4	0,300	841,5							
	15	15	10	40	0,450	832,5	0,450	453,4	0,300	841,5							
	30	15	10	55	0,900	1.665,0	0,450	453,4	0,300	841,5							
	60	15	10	85	1,800	3.330,0	0,450	453,4	0,300	841,5							
6,0	5	15	10	30	0,320	473,6	0,900	725,4	0,600	1.346,4							
	15	15	10	40	0,900	1.332,0	0,900	725,4	0,600	1.346,4							
	30	15	10	55	1,800	2.664,0	0,900	725,4	0,600	1.346,4							
	60	15	10	85	3,600	5.328,0	0,900	725,4	0,600	1.346,4							

3.2.4 - Plantio e colheita do algodoeiro

Os vasos foram umedecidos com água destilada em quantidade correspondente à umidade equivalente dos substratos. As sementes de algodoeiro (Gossypium hirsutum L. var. IAC 12) foram tratadas com inseticida sistêmico e fungicida "Panogen". Foram semeadas 12 sementes por vaso, deixando-se somente as 4 plantinhas melhores. As datas de semeadura foram: no dia 15 de março de 1965 para os vasos do substrato terra-areia e no dia 22 de março de 1965 para os vasos do substrato argila-areia.

Os vasos foram dispostos sobre um estrado, com pondo blocos casualizados segundo a posição da casa-de-vegetação em relação ao sol. A necessidade de água foi determinada por pesagem dos vasos e o fornecimento desta foi feito, adicionando-se água destilada para atingir a umidade equivalente de cada substrato, duas vezes ao dia.

A colheita da parte aérea das plantas foi feita cinco a seis semanas após a semeadura para evitar o esgotamento dos nutrientes nos substratos. Esse material foi seco em estufa a 75°C e reservado para as análises.

3.2.5 - Análise das plantas

As partes aéreas das plantas secas foram moídas em moinho Wiley e as bases foram determinadas pelo método de BARROWS e SIMPSON (6).

Incineraram-se 500 mg de material a 500°C durante 4 horas. Extraiu-se a cinza com 50 ml de HNO₃ 1N e transferiu-se uma alíquota de 5 ml para um tubo de centrifuga de 100 ml, adicionando-se, em seguida, 1 ml de H₂SO₄ 6N e 34 ml de álcool etílico a 95%. Após aproximadamente 16 horas de repouso, centrifugou-se para separar o CaSO₄ precipi-

tado. A solução sobrenadante foi destinada à determinação de magnésio.

Transferiu-se o precipitado de CaSO_4 para um copo de 250 ml, adicionando-se 100 ml de água destilada, 2,5 ml de NaOH a 10% e 6 gotas do indicador de Calcon (0,5 g de Calcon em 50 ml de metanol). Titulou-se a solução com EDTA (sal dissódico do ácido etileno-diamino-tetra-acético) 0,01M.

A solução alcoólica contendo magnésio foi evaporada a temperatura moderada em chapa de aquecimento. Adicionaram-se 100 ml de água destilada, 5 ml de solução tampoadada de amônio (67,5 g NH_4Cl e 570 ml de NH_4OH acima de 25% em NH_3 , completando-se 1 litro com água destilada) e 0,5 ml de cada uma das seguintes soluções: $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ a 5%, $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ a 4% e trietanolamina. Agitou-se e deixou-se em repouso durante 10 minutos. Em seguida, adicionaram-se 6 gotas de Eriocromo prêto T (50 mg em 20 ml de água destilada) e titulou-se com EDTA 0,01M.

Para a determinação do potássio, passou-se uma alíquota de 5 ml de extrato para um balão de 100 ml adicionando-se aproximadamente 50 ml de água destilada e 2 gotas de fenolftaleína a 1%. Após a neutralização com NH_4OH (1+1), completou-se o volume e filtrou-se. O potássio foi determinado por fotometria de chama, em aparelho Beckman Modelo B, empregando-se uma solução de KCl 0,0005N como padrão.

3.2.6 - Análise dos substratos

O índice de reação dos substratos foi determinado potenciomètricamente, antes da cultura do algodoeiro, utilizando-se um aparelho Metrohm. A proporção substrato/água foi de 1:1.

O alumínio trocável e o hidrogênio trocável foram determinados pelo método proposto por YUAN (59) com li

geira modificação no processo de extração. A 10 g de substrato seco ao ar, em frasco de Erlenmeyer de 250 ml, adicionaram-se 100 ml de uma solução de KCl 1N. Agitou-se com agitador horizontal durante 15 minutos e filtrou-se.

Passou-se uma alíquota de 90 ml do filtrado para um copo de 250 ml e adicionaram-se 10 gotas de fenolftaleína a 0,1%. Titulou-se o filtrado com NaOH 0,02N, alterando-se agitação e repouso durante a titulação até que a cor rosa do indicador persistisse. Isto garante a hidrólise completa e precipitação do alumínio. A quantidade de NaOH 0,02N gasto em e.mg corresponde à soma de hidrogênio e alumínio trocáveis.

Em seguida, adicionou-se uma gota de HCl 0,02N ao filtrado titulado para voltar a incolor. Juntaram-se 10 ml da solução de NaF a 4% e agitou-se. Se o filtrado tiver alumínio trocável, a cor rosa do indicador volta novamente. Titulou-se, então, com HCl 0,02N até que a cor rosa desaparecesse. Adicionaram-se mais 2 gotas de indicador para garantir o ponto de viragem. A quantidade de ácido gasto, em e.mg, corresponde ao alumínio trocável. O hidrogênio trocável foi calculado pela diferença das duas titulações.

O manganês solúvel em HNO_3 0,05N foi determinado em extrato obtido com 100 ml de HNO_3 0,05N sobre 10 g de substrato. Transferiu-se uma alíquota de 50 ml para um copo de 250 ml e seguiu-se o método recomendado por KOLTHOFF e SANDELL (35). Juntou-se 1 g de $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$. Após aquecimento durante mais ou menos 15 minutos, a solução tornou-se de coloração parda. Enquanto a solução estava ainda quente, adicionou-se uma ou duas gotas de bissulfito de sódio a 10% para clarear. Diluiu-se com 30 ml de água destilada e adicionaram-se 10 ml de ácido fosfórico a 85% e 0,5 g de periodato de potássio. Pôs-se para ferver durante 10 minutos e

deixou-se esfriar. Transferiu-se a solução para um balão aferido de 100 ml e completou-se o volume. As leituras foram feitas em colorímetro KLETT-SUMMERSON, usando-se filtro verde. Calculou-se a quantidade de manganês com auxílio de uma curva padrão.

3.2.7 - Análise estatística e convenções

Os dados colhidos durante o experimento foram analisados estatisticamente segundo os esquemas usuais e obedecendo ao planejamento inicial. Para os teores de bases nas plantas, expressos em e.mg por 100 g de material, empregou-se a transformação: $x = \sqrt{e.mg/100g}$, segundo SNEDECOR (56).

Os limites fiduciais de "F" na análise da variância, aos níveis de 5 e 1 por cento, foram representados respectivamente com um e dois asteriscos, segundo SNEDECOR (56).

Para comparação das médias das variações significativas foi empregado o método de Tukey, sendo as diferenças mínimas significativas (D.M.S.), ao nível de 5 e 1 por cento, apresentadas nas tabelas correspondentes.

4 - RESULTADOS

Os resultados obtidos, por meio do ensaio realizado com algodoeiro, referem-se aos seguintes itens: reação do substrato antes da cultura; peso seco da parte aérea da planta e seus teores de cálcio, magnésio e potássio; alumínio e hidrogênio trocáveis, assim como manganês solúvel em HNO_3 0,05N nos substratos depois da colheita do algodoeiro.

4.1 - Saturação em bases e reação do substrato

A reação do substrato argila-areia, ao mesmo grau de saturação em bases, foi diferente daquela do substrato terra-areia, sendo o valor deste sempre maior do que do primeiro.

4.1.1 - Substrato argila-areia

Os valores de pH correspondentes aos quatro graus de saturação em bases são apresentados na Tabela VII. O estudo das relações entre pH e grau de saturação em bases são representados graficamente na Figura 1, pela equação de regressão: $y = 3,6 + 0,032 x$. O coeficiente de correlação apresentou o valor $r = 0,97$, indicando relação significativa ao nível de 1% de probabilidade.

4.1.2 - Substrato terra-areia

Os valores de pH correspondentes aos quatro graus de saturação em bases são apresentados na Tabela VIII. A equação de regressão calculada para os dados de saturação em bases e pH foi: $y = 4,7 + 0,023 x$. O coeficiente de correlação $r = 0,96$ indica uma relação altamente significativa. Esses resultados são apresentados na Figura 1.

TABELA VII - REAÇÃO DO SUBSTRATO ARGILA-AREIA EM
 RELAÇÃO À SATURAÇÃO EM CÁLCIO E EM
 BASES PARA TRÊS NÍVEIS DE C.T.C.

Capacidade de troca de cátions e.mg/100 g	Saturação em		Reação do substrato (pH)			
	Ca ⁺⁺ %	Bases %	1º Bloco	2º Bloco	3º Bloco	Média
1,5	0	25	4,6	4,6	4,6	4,6
	15	40	5,0	5,0	5,0	5,0
	30	55	5,5	5,5	5,6	5,5
	60	85	6,3	6,4	6,5	6,4
3,0	0	25	4,5	4,5	4,5	4,5
	15	40	4,8	4,9	4,9	4,9
	30	55	5,4	5,4	5,4	5,4
	60	85	6,5	6,6	6,6	6,6
6,0	0	25	4,5	4,4	4,4	4,4
	15	40	4,7	4,7	4,6	4,7
	30	55	4,9	5,0	5,0	5,0
	60	85	6,2	6,2	6,2	6,2

TABELA VIII - REAÇÃO DO SUBSTRATO TERRA-AREIA EM
 RELAÇÃO À SATURAÇÃO EM CÁLCIO E EM
 BASES PARA TRÊS NÍVEIS DE C.T.C.

Capacidade de troca de cátions e.mg/100 g	Saturação em		Reação do solo (pH)			
	Ca ⁺⁺ %	Bases %	1º Bloco	2º Bloco	3º Bloco	Média
1,5	5	30	5,5	5,4	5,5	5,5
	15	40	5,7	5,8	5,8	5,8
	30	55	6,2	6,1	6,2	6,2
	60	85	6,5	6,6	6,6	6,6
3,0	5	30	5,3	5,3	5,3	5,3
	15	40	5,6	5,5	5,6	5,6
	30	55	6,1	6,1	6,1	6,1
	60	85	6,6	6,6	6,7	6,6
6,0	5	30	5,2	5,3	5,3	5,3
	15	40	5,6	5,5	5,6	5,6
	30	55	6,0	5,9	6,0	6,0
	60	85	6,6	6,7	6,7	6,7

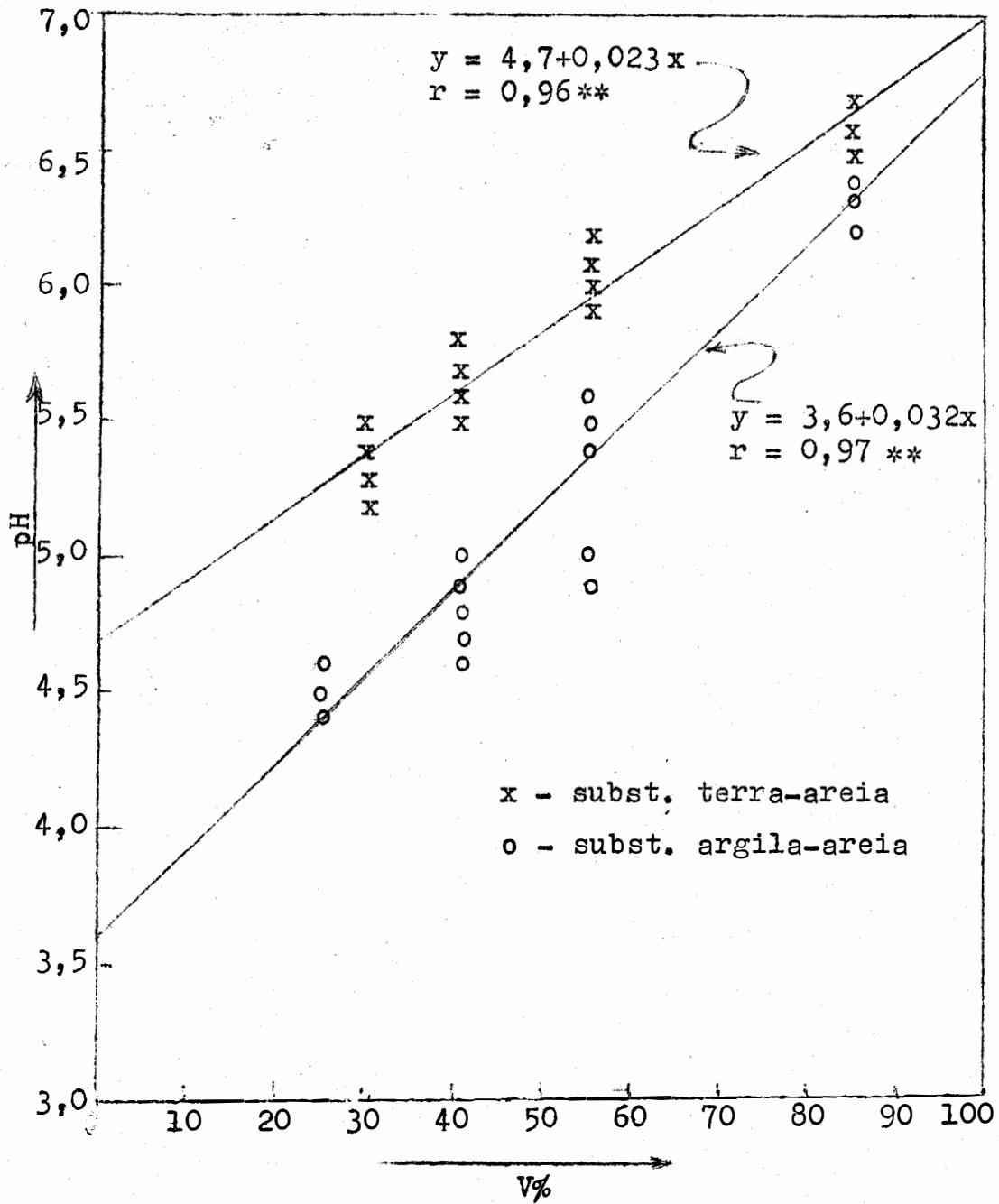


Figura 1 - Relação entre saturação em bases e pH do substrato argila-areia e do substrato terra-areia antes da semeadura do algodoeiro.

4.2 - Crescimento do algodoeiro

Procurou-se correlacionar os efeitos dos tratamentos somente com as características da parte aérea do algodoeiro.

4.2.1 - Substrato argila-areia

Os efeitos dos tratamentos manifestaram-se já no começo da germinação das sementes do algodoeiro. No substrato que não recebeu cálcio e que continha apenas magnésio e potássio, a 25% de saturação, a germinação do algodoeiro foi irregular e as platinhas se apresentaram com sintomas semelhantes aos de toxidez pelo alumínio. No substrato de 15% de saturação em cálcio ou 40% em bases, as platinhas revelaram anormalidades de crescimento, porém, menos severas do que as observadas no substrato sem cálcio. Acima de 30% de saturação em cálcio ou 55% em bases, a germinação foi normal e vigorosa.

As plantas no substrato sem cálcio não conseguiram desenvolver-se e poucas sobreviveram até o momento da colheita. No substrato de 15% de saturação em cálcio ou 40% em bases, as plantas não apresentaram pleno desenvolvimento. Acima de 30% de saturação em cálcio ou 55% em bases, as plantas apresentaram-se com aspecto normal e crescimento aproximadamente proporcional aos tratamentos. Os resultados obtidos em peso seco, da parte aérea do algodoeiro, colhido 5 semanas após a semeadura, estão apresentados na Tabela IX e na Figura 2.

A análise da variância, apresentada na Tabela X, indica que existe interação significativa entre saturação em cálcio e C.T.C., ao nível de 1% de probabilidade. Encontram-se, na Tabela XI, as médias referentes àquela interação e as diferenças mínimas significativas calculadas pelo método

TABELA IX - PRODUÇÃO DA PARTE AÉREA DO ALGODOEIRO
CULTIVADO NO SUBSTRATO ARGILA-AREIA

Capacidade de troca de cátions e.mg/100 g	Saturação em cálcio %	Peso seco do algodoeiro (g)			
		1º Bloco	2º Bloco	3º Bloco	Média
1,5	0	0,107	0,116	0,112	0,112
	15	0,743	0,593	0,624	0,653
	30	1,290	1,089	1,819	1,399
	60	3,238	2,604	2,894	2,912
3,0	0	0,117	0,142	0,129	0,129
	15	0,828	0,503	0,468	0,600
	30	2,592	2,436	2,662	2,563
	60	5,686	5,209	4,569	5,155
6,0	0	0,138	0,118	0,098	0,118
	15	0,601	0,664	1,036	0,767
	30	1,316	3,375	3,481	2,724
	60	4,981	4,443	5,282	4,902

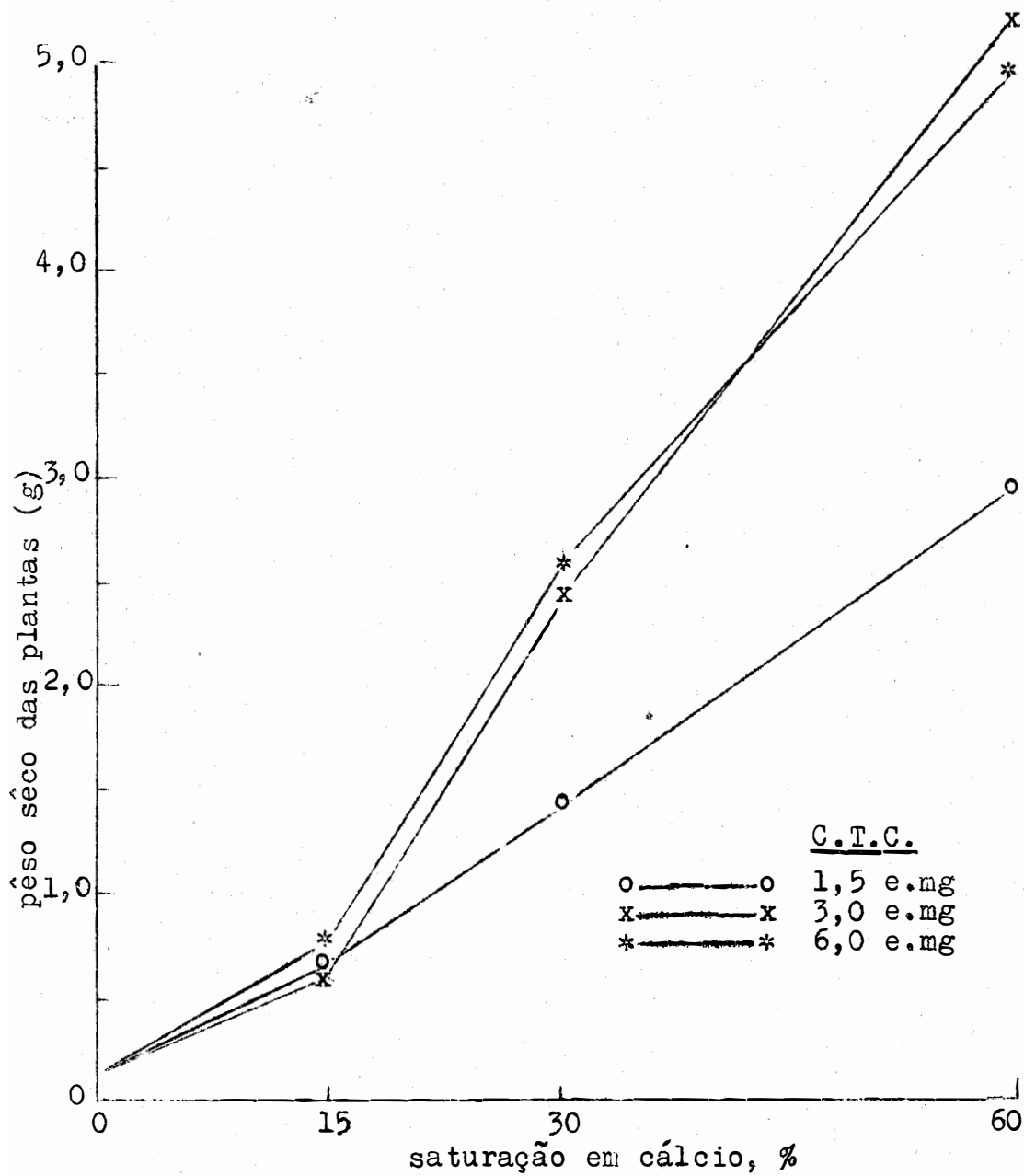


Figura 2 - Produção da parte aérea do algodoeiro em relação à saturação em cálcio nos três níveis de C.T.C. no substrato argila-areia.

TABELA X - ANÁLISE DA VARIÂNCIA REFERENTE À PRODUÇÃO
DA PARTE AÉREA DO ALGODOEIRO NO SUBSTRATO
ARGILA-AREIA

Causa de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Saturação em Ca ⁺⁺ (A)	3	95,7275	31,9092	155,35**
C.T.C. (B)	2	5,7928	2,8964	14,10**
(A) X (B)	6	6,4438	1,0739	5,23**
Blocos	2	0,1676	0,0838	0,41
Resíduos	22	4,5182	0,2054	---
Total	35	112,6499	---	---

TABELA XI - MÉDIAS DAS PRODUÇÕES DA PARTE AÉREA DO ALGODO
EIRO CORRESPONDENTES À INTERAÇÃO DE SATURAÇÃO
EM CÁLCIO E C.T.C. NO SUBSTRATO ARGILA-AREIA

Capacidade de troca de cátions e.mg/100 g	Saturação em cálcio			
	0%	15%	30%	60%
1,5	0,11	0,65	1,40	2,91
3,0	0,13	0,60	2,56	5,16
6,0	0,12	0,77	2,72	4,90
D.M.S. (Tukey):	5% = 1,35	1% = 1,62		

de Tukey. Pode-se observar que houve aumento significativo do peso sêco das plantas. Este aumento se verificou à medida que se elevava o grau de saturação em cálcio de 15 para 60% e o nível da C.T.C. de 1,5 para 3,0 e 6,0 e.mg/100 g do substrato.

4.2.2 - Substrato terra-areia

A germinação das sementes foi uniforme em todos os vasos e não se observou anormalidades nas plantinhas. As plantas vieram apresentando crescimento normal até aproximadamente atingir a 4ª semana, quando foi notado um retardamento geral no crescimento. Na época da colheita, tôdas as plantas exibiam fôlhas pequenas e algumas, com pontos necrosados. Os resultados em peso sêco, das plantas colhidas seis semanas após a sementeira, estão indicados na Tabela XII e na Figura 3.

A análise da variância, apresentada na Tabela XIII, mostra significância para saturação em cálcio e C.T.C., ao nível de 5% de probabilidade. As médias de produção vegetativa do algodoeiro, referentes à saturação em cálcio e C.T.C., acha-se na Tabela XIV. Observa-se que o efeito da saturação em cálcio não foi significativo aos graus de 5, 15 e 30% de saturação. A produção do algodoeiro a 60% de saturação em cálcio foi significativamente inferior à produção a 30%, não diferindo significativamente da produção a 5 e 15% de saturação em cálcio.

Embora estatisticamente não exista diferença significativa para a saturação em cálcio entre os graus de 5, 15 e 30%, houve uma tendência de aumentar a produção do algodoeiro à medida que se elevava a saturação em cálcio de 5 para 30%, nos substratos cuja C.T.C. era de 1,5 e 6,0 e.mg.

As médias referentes à C.T.C., na Tabela XIV,

TABELA XII -- PRODUÇÃO DA PARTE AÉREA DO ALGODOEIRO
CULTIVADO NO SUBSTRATO TERRA-AREIA

Capacidade de troca de cátions e.mg/100 g	Saturação em cálcio %	Peso seco do algodoeiro (g)			
		1ª Bloco	2ª Bloco	3ª Bloco	Média
1,5	5	1,482	1,678	1,187	1,449
	15	1,826	1,690	1,604	1,707
	30	2,123	1,752	2,166	2,014
	60	1,663	1,441	1,724	1,609
3,0	5	1,829	1,426	1,999	1,751
	15	1,380	1,800	2,454	1,878
	30	1,355	1,700	1,677	1,577
	60	1,272	1,271	1,245	1,263
6,0	5	1,154	1,257	1,178	1,196
	15	1,203	1,358	1,261	1,274
	30	1,556	1,662	2,016	1,745
	60	0,944	1,949	0,755	1,216

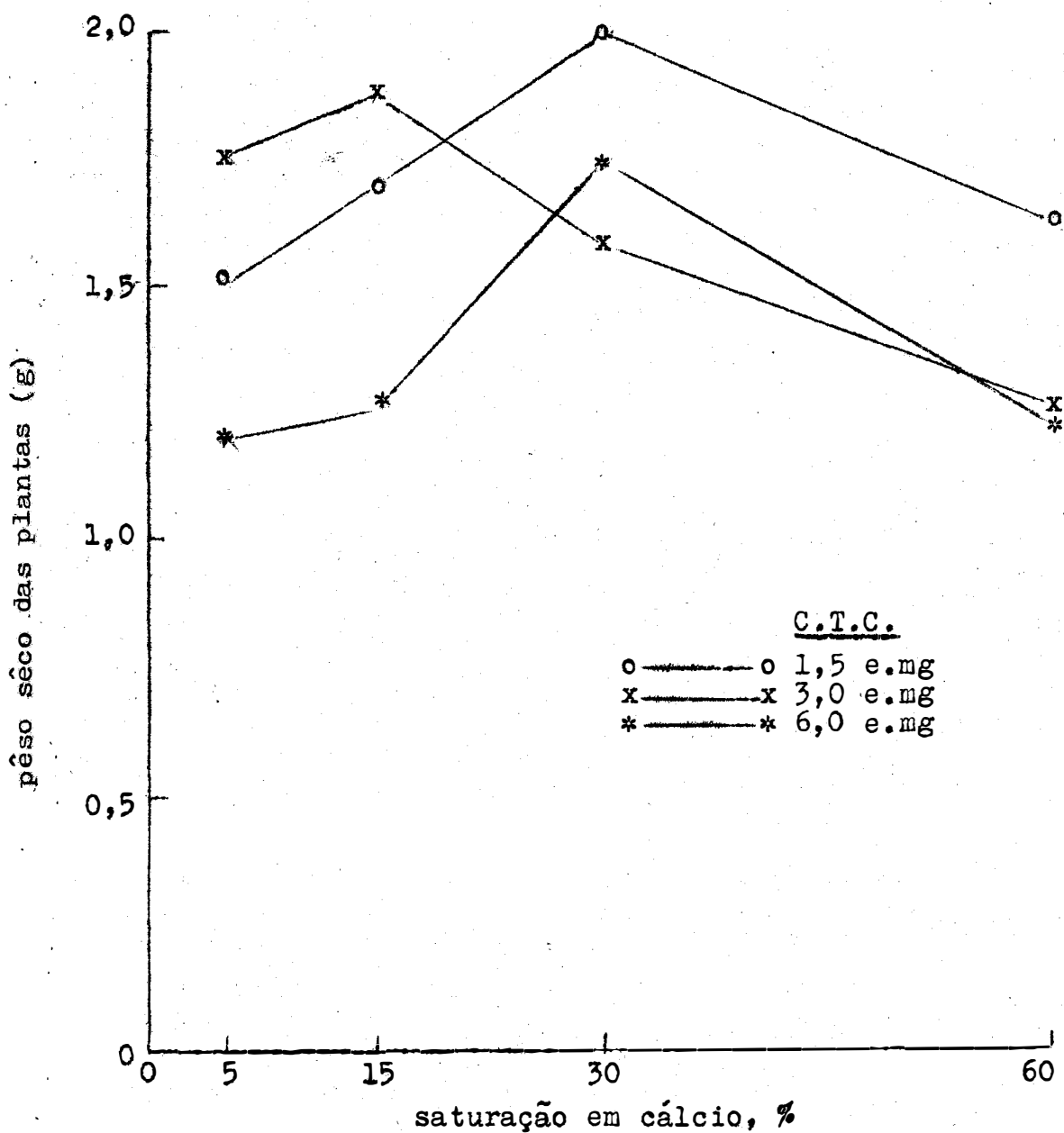


Figura 3 - Produção da parte aérea do algodoeiro em relação à saturação em cálcio nos três níveis de C.T.C. no substrato terra-areia

TABELA XIII - ANÁLISE DA VARIÂNCIA REFERENTE À PRODUÇÃO
DA PARTE AÉREA DO ALGODOEIRO NO SUBSTRATO
TERRA-AREIA

Causa da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Saturação em Ca ⁺⁺ (A)	3	0,8969	0,2989	3,33 *
C.T.C. (B)	2	0,7446	0,3723	4,15 *
(A) X (B)	6	0,8610	0,1435	1,60
Blocos	2	0,1055	0,0527	0,59
Resíduo	22	1,9766	0,0898	--
Total	35	4,5846	--	--

TABELA XIV - MÉDIAS DAS PRODUÇÕES DA PARTE AÉREA DO ALGODOEIRO CORRESPONDENTES À SATURAÇÃO EM CÁLCIO E C.T.C. NO SUBSTRATO TERRA-AREIA

	Saturação em cálcio				C.T.C. e.mg/100 g		
	5%	15%	30%	60%	1,5	3,0	6,0
Média	1,47	1,62	1,78	1,36	1,70	1,62	1,36
D.M.S. (Tukey)	5% = 0,39				5% = 0,31		

mostraram que seu efeito é significativo sobre a produção vegetativa do algodoeiro nos substratos com C.T.C. de 1,5 e 6,0 e.mg. Pode-se notar que esta produção no substrato com C.T.C. de 1,5 e.mg foi mais elevada. No substrato com C.T.C. de 3,0 e.mg, a produção vegetativa não diferiu significativamente da produção das demais.

4.3 - Teor de bases no algodoeiro

As análises químicas da parte aérea das plantas foram feitas para se estudar o efeito dos tratamentos sobre a nutrição mineral do algodoeiro.

4.3.1 - Substrato argila-areia

Os dados referentes a cálcio, magnésio e potássio, em 100 g de planta, estão apresentados na Tabela XV e na Figura 4. As plantas cultivadas nos substratos com 0% de saturação em cálcio não foram analisadas, em virtude da insuficiência de material para as análises. A análise da variância dos dados ($\sqrt{\text{e.mg}/100\text{g}}$) relativos ao teor de cálcio por 100 g de planta, apresentada na Tabela XVI, mostra interação significativa entre saturação em cálcio e C.T.C.. As médias dos teores de cálcio, relativas àquela interação e às diferenças mínimas significativas, estão na Tabela XVII.

Pode-se observar nessa Tabela, que o teor de cálcio da planta cultivada neste substrato, cuja C.T.C. era de 3,0 e.mg com 30% de saturação em cálcio, foi significativamente maior do que os teores nas plantas cultivadas nos substratos com C.T.C. de 1,5 e 6,0 e.mg e o mesmo grau de saturação em cálcio. Nos substratos cuja C.T.C. era 1,5 e 6,0 e.mg, os teores de cálcio nas plantas aumentaram significativamente com a elevação da saturação em cálcio.

TABELA XV - TEOR MÉDIO DE CÁLCIO, MAGNÉSIO E POTÁSSIO
NO ALGODOEIRO CULTIVADO EM SUBSTRATO ARGILA-AREIA

Tratamentos		Bases, e.mg/100 g de planta				
C.T.C.	Saturação em		CaO	MgO	K ₂ O	Soma de bases
	Ca ⁺⁺	Bases				
1,5	0	25	-	-	-	-
	15	40	39,80	43,43	76,00	159,23
	30	55	52,93	44,37	73,70	171,00
	60	85	72,33	41,37	59,63	173,37
3,0	0	25	-	-	-	-
	15	40	36,90	49,87	93,67	180,44
	30	55	71,10	48,83	84,33	204,26
	60	85	84,27	39,07	73,00	196,34
6,0	0	25	-	-	-	-
	15	40	34,13	43,80	80,37	158,30
	30	55	49,43	38,67	74,33	162,43
	60	85	75,10	33,46	74,33	182,89

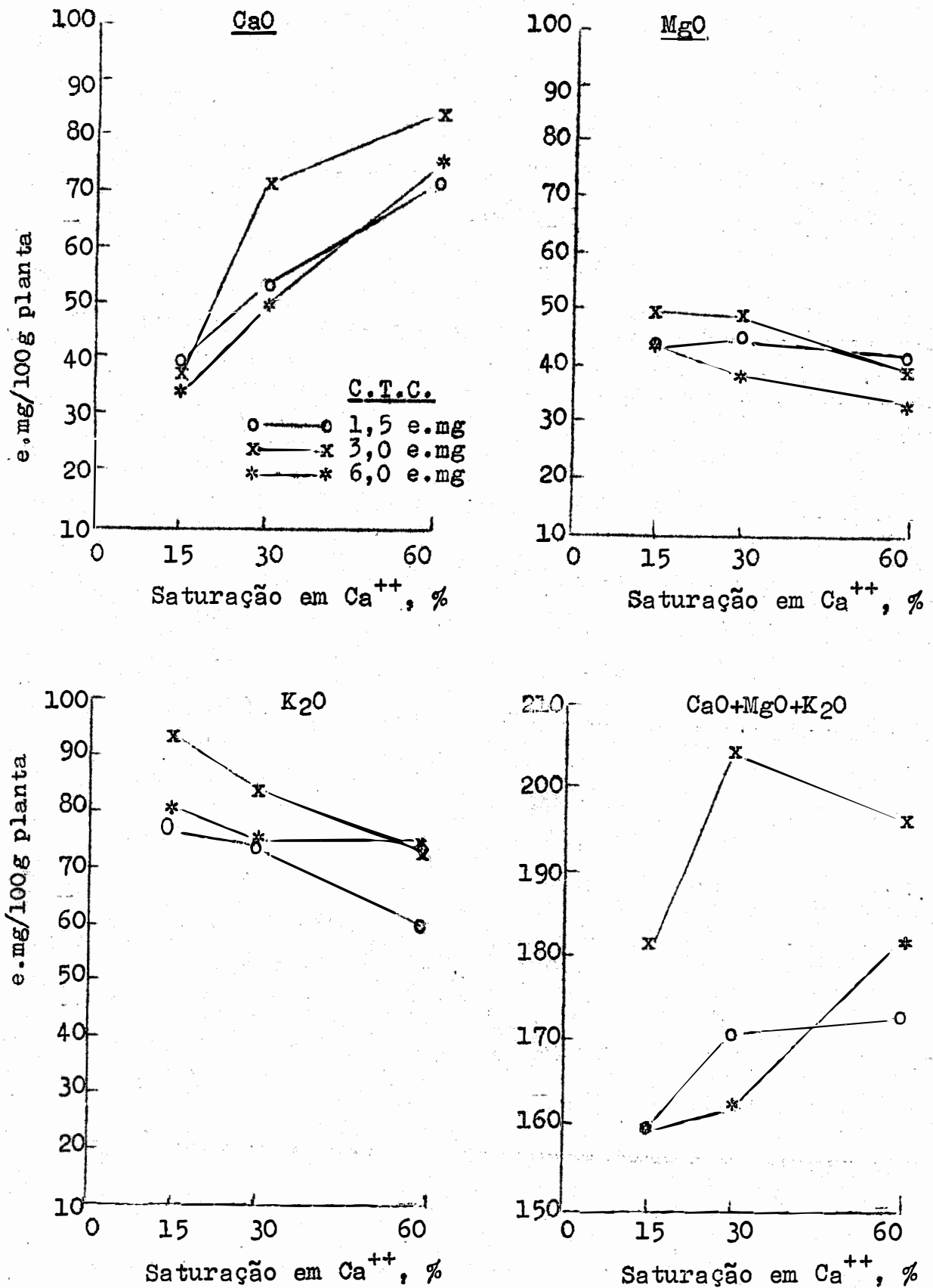


Figura 4 - Teor de bases por 100 g de algodoeiro em relação à saturação em cálcio aos 3 níveis de C.T.C. no substrato argila-areia

TABELA XVI - ANÁLISE DA VARIÂNCIA REFERENTE AO TEOR DE CÁLCIO ($\sqrt{e.mg}$) EM 100 g DE ALGODOEIRO EM SUBSTRATO ARGILA-AREIA

Causa de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Saturação em Ca^{++} (A)	2	33,1243	16,5622	207,03**
C.T.C. (B)	2	2,4867	1,2434	14,18**
(A) X (B)	4	1,9545	0,4886	5,57**
Blocos	2	0,6189	0,3093	3,53
Resíduo	16	1,4026	0,0877	---
Total	26	39,5870	---	---

TABELA XVII - MÉDIAS DOS TEORES DE CÁLCIO ($\sqrt{e.mg}$) REFERENTES A INTERAÇÃO DE SATURAÇÃO EM CÁLCIO E C.T.C. NO SUBSTRATO ARGILA-AREIA

Capacidade de troca de cátions e.mg/100 g	saturação em cálcio		
	15%	30%	60%
1,5	6,30	7,27	8,50
3,0	6,07	8,43	9,17
6,0	5,84	7,02	8,66
D.M.S (Tukey):	5% = 0,86	1% = 1,06	

O teor de magnésio na planta foi influenciado significativamente pela saturação em cálcio e C.T.C. do substrato, conforme se observa pela análise da variância apresentada na Tabela XVIII. Os teores de magnésio nas plantas, a 15 e 30% de saturação em cálcio, como se observa na Tabela XIX, não diferiram significativamente. Todavia à medida que o grau de saturação em cálcio aumentava de 30 a 60%, o teor de magnésio nas plantas diminuía significativamente. Quanto ao efeito da C.T.C., pode-se notar que o teor mais baixo de magnésio nas plantas ocorreu nos substratos com C.T.C. de 6,0 e.mg diferindo significativamente dos substratos com C.T.C. de 1,5 e de 3,0 e.mg. Não se observou diferença significativa entre os teores de magnésio nas plantas aos níveis de 1,5 e 3,0 e.mg.

O teor de potássio nas plantas, segundo análise da variância apresentada na Tabela XX, foi influenciado significativamente pela saturação em cálcio e C.T.C. do substrato. À medida que aumentou a saturação em cálcio de 15 para 60%, o teor de potássio diminuiu significativamente, conforme se pode observar na Tabela XXI. Ao nível de 3,0 e.mg, o teor de potássio nas plantas foi mais alto, diferindo significativamente do teor ao nível de 1,5 e.mg, mas não diferindo do teor ao nível de 6,0 e.mg.

A análise da variância apresentada na Tabela XXII, referente à soma de bases ($\text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O}$) nas plantas, mostra que o efeito da saturação em cálcio é significativo ao nível de 5% e da C.T.C. ao nível de 1% de probabilidade. Pode-se observar, na Tabela XXIII, que os teores de bases nas plantas aos graus de 30 a 60% de saturação em cálcio não diferem significativamente entre si. Houve diferença significativa entre os teores de bases na planta a 15 e 60% de saturação em

TABELA XVIII - ANÁLISE DA VARIÂNCIA REFERENTE AO TEOR DE MAGNÉSIO ($\sqrt{e.mg}$) EM 100 g DE ALGODOEIRO EM SUBSTRATO ARGILA-AREIA

Causa de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Saturação em Ca^{++} (A)	2	1,7602	0,8801	15,94 **
C.T.C. (B)	2	1,4225	0,7113	12,89 **
(A) X (B)	4	0,5612	0,1403	2,54
Blocos	2	0,0656	0,0328	0,59
Resíduo	16	0,8837	0,0552	--
Total	26	4,6932	--	--

TABELA XIX - MÉDIAS DOS TEORES DE MAGNÉSIO EM 100 g DE ALGODOEIRO CORRESPONDENTES À SATURAÇÃO EM CÁLCIO E C.T.C. NO SUBSTRATO ARGILA-AREIA

	Saturação em cálcio			C.T.C. e.mg/100g		
	15%	30%	60%	1,5	3,0	6,0
\hat{m} (e.mg)	45,70	43,96	37,97	43,06	45,92	38,64
\hat{m} ($\sqrt{e.mg}$)	6,75	6,62	6,16	6,56	6,77	6,21
D.M.S.	5% = 0,29			5% = 0,29		
(Tukey)	1% = 0,37			1% = 0,37		

TABELA XX - ANÁLISE DA VARIÂNCIA REFERENTE AO TEOR DE POTÁSSIO ($\sqrt{e.mg}$) EM 100 g DE ALGODOEIRO EM SUBSTRATO ARGILA-AREIA

Causa de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Saturação em Ca ⁺⁺ (A)	2	3,0655	1,5328	5,57 *
C.T.C. (B)	2	2,8484	1,4242	5,18 *
(A) X (B)	4	0,8413	0,2103	0,76
Blocos	2	1,4001	0,7000	2,55
Resíduo	16	4,4016	0,2751	--
Total	26	12,5569	--	--

TABELA XXI - MÉDIAS DOS TEORES DE POTÁSSIO EM 100 g DE ALGODOEIRO CORRESPONDENTES A SATURAÇÃO EM CÁLCIO E C.T.C. NO SUBSTRATO ARGILA-AREIA

	Saturação em cálcio			C.T.C. e.mg/100g		
	15%	30%	60%	1,5	3,0	6,0
\bar{m} (e.mg)	83,33	77,44	69,00	69,77	83,67	76,34
\bar{m} ($\sqrt{e.mg}$)	9,10	8,79	8,28	8,33	9,12	8,73
D.M.S. (Tukey)	5% = 0,64			5% = 0,64		

TABELA XXII - ANÁLISE DA VARIÂNCIA REFERENTE A SOMA DE BASES ($\sqrt{e.mg}$) EM 100 g DE ALGODOEIRO EM SUBSTRATO ARGILA-AREIA

Causa de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Saturação em Ca^{++} (A)	2	2,3185	1,1593	4,66*
C.T.C. (B)	2	5,5552	2,7776	11,17**
(A) X (B)	4	0,9127	0,2282	0,92
Blocos	2	1,1567	0,5784	2,33
Resíduo	16	3,9772	0,2486	---
Total	26	13,9203	---	---

TABELA XXIII - MÉDIAS DA SOMA DE BASES EM 100 g DE ALGODOEIRO CORRESPONDENTES À SATURAÇÃO EM CÁLCIO E C.T.C. NO SUBSTRATO ARGILA-AREIA

	Saturação em cálcio			C.T.C. e.mg/100g		
	15%	30%	60%	1,5	3,0	6,0
\bar{m} (e.mg)	165,97	179,22	184,20	167,85	192,63	167,86
\bar{m} ($\sqrt{e.mg}$)	12,87	13,37	13,56	12,94	13,91	12,95
D.M.S. (Tukey)	5% = 0,61			5% = 0,61 1% = 0,79		

cálcio. Nos substratos com C.T.C. de 3,0 e.mg, os teores de bases nas plantas foram mais altos, diferindo significativamente dos teores aos níveis de 1,5 e 6,0 e.mg.

4.3.2 - Substrato terra-areia

Os teores de cálcio, magnésio e potássio por 100 g de planta estão apresentados na Tabela XXIV e na Figura 5.

A análise da variância dos dados relativos ao teor de cálcio está contida na Tabela XXV, indicando interação significativa entre saturação em cálcio e C.T.C. do substrato. As médias relativas àquela interação estão apresentadas na Tabela XXVI, mostrando que o aumento da saturação em cálcio, de 30 para 60% e da C.T.C. de 3,0 para 6,0 e.mg, resulta numa diminuição significativa no teor de cálcio nas plantas. Com excessão do caso mencionado, os teores de cálcio nas plantas, em qualquer grau de saturação em cálcio e em qualquer dos três níveis de C.T.C., diferiram significativamente entre si, aumentando proporcionalmente à saturação em cálcio. Elevando-se a saturação em cálcio de 5 para 60% no substrato, o teor do mesmo elemento na planta aumentou aproximadamente 5 vezes. O nível de C.T.C. de 6,0 e.mg, no qual o aumento foi cerca de 4 vezes, constituiu uma excessão. Não houve diferença significativa no teor de cálcio nos três níveis de C.T.C. empregados, exceto no nível de 6,0 e.mg a 60% de saturação em cálcio.

O teor de magnésio nas plantas variou relativamente pouco entre tratamentos. A análise da variância dos dados apresentada na Tabela XXVII mostra significância para o efeito da saturação em cálcio e da C.T.C.. Como se observa na Tabela XXVIII, os teores de magnésio nas plantas, aos

TABELA XXIV - TEOR MÉDIO DE CÁLCIO, MAGNÉSIO E POTÁSSIO NO ALGODOEIRO CULTIVADO NO SUBSTRATO TERRA-AREIA

Tratamentos			Bases, e.mg/100 g de planta			
C.T.C.	Saturação em		CaO	MgO	K ₂ O	Soma de bases
	Ca ⁺⁺	Bases				
1,5	5	30	17,43	38,87	42,67	98,97
	15	40	31,33	45,27	39,00	115,60
	30	55	45,33	45,53	41,67	132,53
	60	85	90,93	53,07	39,67	189,67
3,0	5	30	17,60	44,17	53,33	115,10
	15	40	32,63	47,83	47,33	127,80
	30	55	46,87	50,43	42,33	139,63
	60	85	85,37	55,43	42,67	183,47
6,0	5	30	14,27	40,63	62,67	117,57
	15	40	31,53	51,33	51,33	134,20
	30	55	47,77	51,10	47,00	145,87
	60	85	59,87	51,60	42,67	154,13

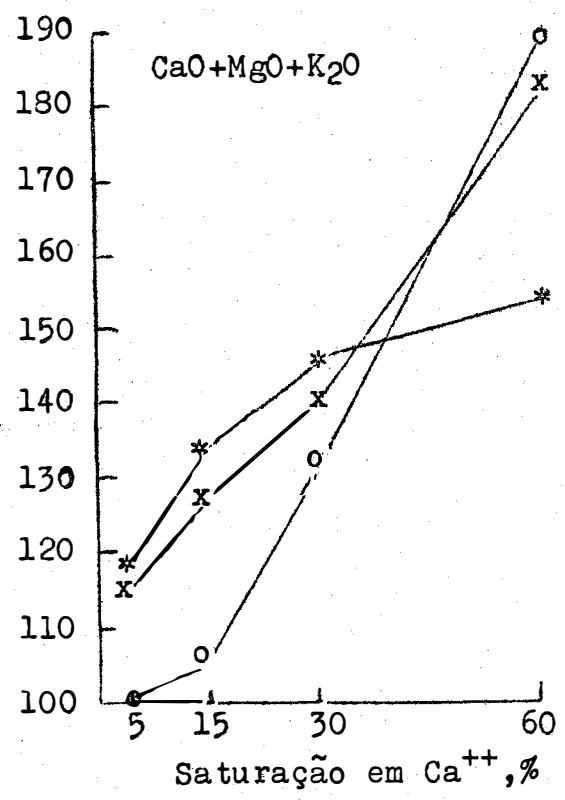
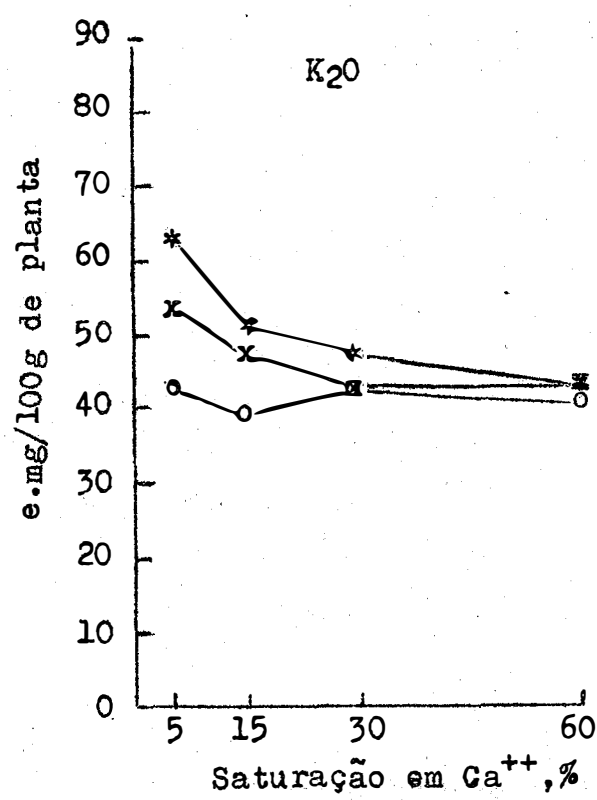
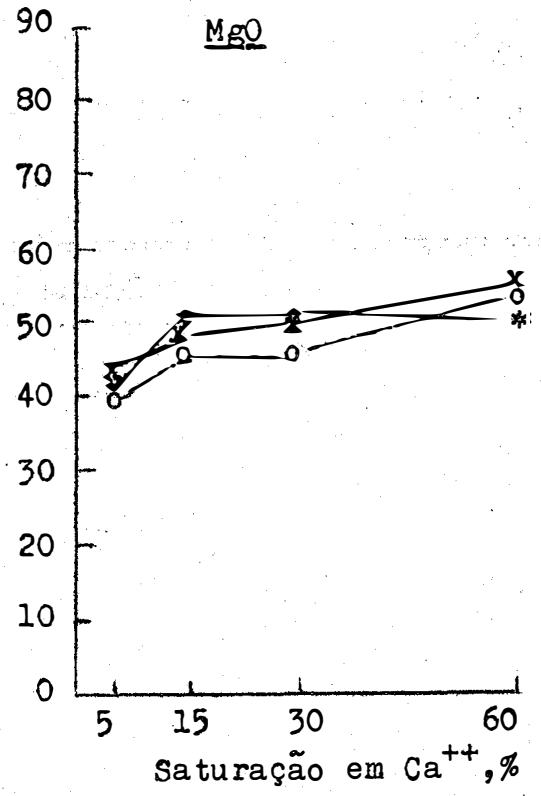
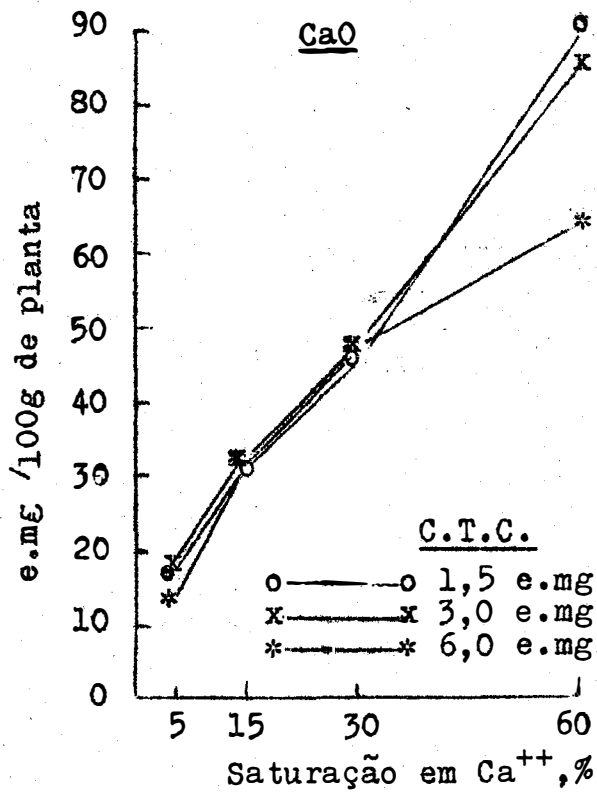


Figura 5 - Teor de bases por 100 g de algodoeiro em relação à saturação em cálcio aos três níveis de C.T.C. nos substratos terra-areia

TABELA XXV - ANÁLISE DA VARIÂNCIA REFERENTE AO TEOR DE CÁLCIO ($\sqrt{e.mg}$) EM 100 g DE ALGODOEIRO EM SUBSTRATO TERRA-AREIA

Causa da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Saturação em Ca^{++} (A)	3	109,5212	36,5071	279,17**
C.T.C. (B)	2	1,9518	0,9759	7,46**
(A) X (B)	6	4,0145	0,6691	5,12**
Blocos	2	1,3870	0,6935	5,30**
Resíduo	22	2,8770	0,1308	--
Total	35	119,7515	--	--

TABELA XXVI - MÉDIAS DOS TEORES DE CÁLCIO ($\sqrt{e.mg}$) EM 100 g DE ALGODOEIRO CORRESPONDENTES À INTERAÇÃO DE SATURAÇÃO EM CÁLCIO E C.T.C. NO SUBSTRATO TERRA-AREIA

Capacidade de troca de cátions e.mg/100 g	Saturação em cálcio			
	5%	15%	30%	60%
1,5	4,17	5,60	6,72	9,53
3,0	4,19	5,70	6,84	9,22
6,0	3,78	5,60	6,90	7,73
D.M.S. (Tukey):	5% = 1,08		1% = 1,30	

TABELA XXVII - ANÁLISE DA VARIÂNCIA REFERENTE AO TEOR DE
MAGNÉSIO ($\sqrt{e.mg}$) EM 100 g DE ALGODOEIRO
EM SUBSTRATO TERRA-AREIA

Causa de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Saturação em Ca^{++} (A)	3	3,6235	1,2078	17,11 **
C.T.C. (B)	2	0,5083	0,2542	3,60 *
(A) X (B)	6	0,4466	0,0744	1,05
Blocos	2	0,7082	0,3541	5,02 *
Resíduo	22	1,5530	0,0706	---
Total	35	6,8396	---	---

TABELA XXVIII - MÉDIAS DOS TEORES DE MAGNÉSIO EM 100 g
DE ALGODOEIRO CORRESPONDENTES À SATURA
ÇÃO EM CÁLCIO E C.T.C. NO SUBSTRATO
TERRA-AREIA

	Saturação em cálcio				C.T.C. e.mg/100g		
	5%	15%	30%	60%	1,5	3,0	6,0
\bar{m} (e.mg)	30,92	36,11	36,76	40,03	45,69	49,47	48,67
\bar{m} ($\sqrt{e.mg}$)	6,42	6,93	7,00	7,30	6,75	7,02	6,96
D.M.S. (Tukey)	5% = 0,35 1% = 0,44				5% = 0,27		

graus de 15, 30 e 60% de saturação em cálcio, não diferem significativamente entre si, a 1% de probabilidade, todavia, ao grau de 5% de saturação em cálcio, o teor de magnésio foi significativamente inferior ao dos demais. O efeito da C.T.C. sobre o teor de magnésio nas plantas foi significativo somente nas séries, cuja C.T.C. era de 1,5 e 3,0 e.mg.

Houve uma tendência de diminuir o teor de potássio nas plantas com a elevação de saturação em cálcio. A análise da variância, apresentada na Tabela XXIX, indica que os efeitos da saturação em cálcio e da C.T.C. foram significativos a 1% de probabilidade. Pode-se observar, na Tabela XXX, que o teor de potássio nas plantas, ao grau de 5% de saturação em cálcio, foi mais alto, diferindo significativamente dos teores a 30 e 60%. Não se observou efeito significativo de 15, 30 e 60% de saturação em cálcio sobre o teor de potássio nas plantas. Quanto ao efeito da C.T.C. sobre o teor de potássio nas plantas, não se notou diferenças significativas entre as séries cuja C.T.C. era de 3,0 e 6,0 e.mg. Porém, a série de 1,5 e.mg diferiu significativamente das outras.

A soma de bases em 100 g de planta aumentou proporcionalmente à elevação da saturação em cálcio nas três séries de C.T.C.

A análise da variância, apresentada na Tabela XXXI mostra o efeito significativo da interação entre saturação em cálcio e C.T.C., a 1% de probabilidade. Encontram-se, na Tabela XXXII, as médias referentes àquela interação. Os teores de bases, aos graus de 5 e 30% de saturação em cálcio, não diferem significativamente entre si, exceto na série em que C.T.C. era de 1,5 e.mg. Entre os graus de 30 e 60% de saturação em cálcio, os teores de bases nas plantas diferem significativamente entre si, a 1% de probabilidade.

TABELA XXIX - ANÁLISE DA VARIÂNCIA REFERENTE AO TEOR DE POTÁSSIO (\sqrt{Q} .mg) EM 100 g DE ALGODOEIRO EM SUBSTRATO TERRA-AREIA

Causa de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Saturação em Ca ⁺⁺ (A)	3	3,1053	1,0351	6,66 **
C.T.C. (B)	2	3,2093	1,6047	10,32 **
(A) X (B)	6	1,2850	0,2141	1,38
Blocos	2	0,3050	0,1525	0,98
Resíduo	22	3,4225	0,1555	--
Total	35	11,3271	--	--

TABELA XXX - MÉDIAS DOS TEORES DE POTÁSSIO EM 100 g DE ALGODOEIRO CORRESPONDENTES A SATURAÇÃO EM CÁLCIO E C.T.C. NO SUBSTRATO TERRA-AREIA

	Saturação em cálcio				C.T.C. e.mg/100g		
	5%	15%	30%	60%	1,5	3,0	6,0
\hat{m} (e.mg)	52,89	45,89	43,67	41,67	40,75	46,42	50,92
\hat{m} (\sqrt{e} .mg)	7,23	6,76	6,60	6,45	6,38	6,80	7,11
D.M.S. (Tukey)	5% = 0,52 1% = 0,65				5% = 0,40 1% = 0,52		

TABELA XXXI -- ANÁLISE DA VARIÂNCIA REFERENTE AO TEOR DE BASES ($\sqrt{e.mg}$) EM 100 g DE ALGODOEIRO NO SUBSTRATO TERRA-AREIA

Causa de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Saturação em Ca^{++} (A)	3	34,3935	11,4645	59,34 **
C.T.C. (B)	2	1,0385	0,5193	2,69 **
(A) X (B)	6	4,4716	0,7453	3,86
Blocos	2	0,4854	0,2427	1,26
Resíduo	22	4,2516	0,1932	--
Total	35	44,6406	--	--

TABELA XXXII -- MÉDIAS DA SOMA DE BASES ($\sqrt{e.mg}$) EM 100 g DE ALGODOEIRO CORRESPONDENTES À INTERAÇÃO DE SATURAÇÃO EM CÁLCIO E C.T.C. NO SUBSTRATO TERRA-AREIA

Capacidade de troca de cátions e.mg/100 g	Saturação em cálcio			
	5%	15%	30%	60%
1,5	9,94	10,75	11,51	13,55
3,0	10,72	11,30	11,81	13,53
6,0	10,83	11,58	12,07	12,41
D.M.S. (Tukey) :	5% = 1,31	1% = 1,57		

de, exceto na série cuja C.T.C. era de 6,0 e.mg. O teor de bases nas plantas aumentou sempre significativamente entre as saturações extremas de cálcio. Não foi observado efeito significativo de C.T.C. sobre o teor de bases nas plantas.

4.4 - H^+ e Al^{+3} trocáveis e Mn^{+2} solúvel no substrato

Os resultados apresentados na Tabela XXXIII, referem-se aos teores de H^+ e Al^{+3} trocáveis, assim como de Mn^{+2} solúvel em HNO_3 0,05N, das amostras dos substratos coletados após a cultura do algodoeiro.

O teor de Al^{+3} trocável, nas amostras do substrato argila-areia, diminuiu à medida que os graus de saturação em bases aumentavam. Deve-se notar que a 85% de saturação em bases, para as C.T.C. de 3,0 e 6,0 e.mg e a 40% de saturação em bases, para a C.T.C. de 1,5 e.mg, o teor de Al^{+3} trocável chegou a ser nulo. O teor de Al^{+3} trocável, aos mesmos graus de saturação em bases, variou conforme o nível de C.T.C., sendo mais alto para 6,0 e.mg, mais baixo para 1,5 e.mg e intermediário para 3,0 e.mg. O teor de H^+ trocável apresentou tendência de diminuir com a elevação dos graus de saturação em bases.

O teor de Mn^{+2} solúvel foi cerca de 0,04 e.mg por 100 g para todas as amostras do substrato argila-areia.

Nas amostras do substrato terra-areia, foi encontrado muito pouco Al^{+3} trocável, menos do que 0,19 e.mg. O teor de H^+ trocável também foi muito baixo, variando de 0,05 a 0,15 e.mg por 100 g de substrato.

O teor de Mn^{+2} solúvel foi cerca de 0,04 e.mg por 100 g de substrato para todas as amostras do substrato terra-areia.

TABELA XXXIII - TEOR DE H^+ , Al^{+3} E Mn^{+2} NOS SUBSTRATOS ARGILA-AREIA E TERRA AREIA APÓS CULTURA DO ALGODOEIRO

Tratamentos		Tipos de substratos					
C.T.C.	Sat. em bases	Argila-areia			Terra-areia		
		H^+	Al^{+3}	Mn^{+2}	H^+	Al^{+3}	Mn^{+2}
1,5	25	0,12	0,04	0,04	0,07	0,00	0,04
	40	0,10	0,00	0,04	0,07	0,00	0,03
	55	0,09	0,00	0,03	0,06	0,00	0,03
	85	0,08	0,00	0,03	0,05	0,00	0,03
3,0	25	0,21	0,28	0,04	0,10	0,08	0,04
	40	0,15	0,12	0,04	0,09	0,01	0,04
	55	0,13	0,06	0,04	0,08	0,00	0,04
	85	0,09	0,00	0,04	0,05	0,00	0,04
6,0	25	0,32	0,98	0,05	0,15	0,19	0,06
	40	0,26	0,46	0,05	0,10	0,08	0,05
	55	0,22	0,26	0,04	0,09	0,02	0,05
	85	0,10	0,00	0,04	0,06	0,00	0,03

5 - DISCUSSÃO

A discussão dos resultados obtidos neste experimento, interpretados em relação à reação do substrato, ao crescimento e à nutrição mineral do algodoeiro, será apresentada a seguir.

5.1 - Reação dos substratos

A elevação do pH com o aumento da saturação em cálcio, seguindo uma relação linear, concorda com os resultados obtidos por DOROFEEFF (20). Este autor demonstrou, estatisticamente, que a linha reta é amplamente satisfatória, não havendo razão para se calcular equações com expoentes maiores do que 1, nos limites compreendidos entre pH 4,8 e 6,8.

A reação dos substratos, estimada com auxílio das equações de regressão e para uma saturação em bases de 100%, seria: pH 6,8 para o substrato argila-areia e pH 7,0 para o substrato terra-areia. Isto indica que o íon cálcio foi eficiente para a correção da acidez presente, uma vez que os coeficientes de correlação apresentaram-se altamente significativos.

A diferença entre os valores de pH, observada nos substratos argila-areia e terra-areia em relação à saturação em bases, pode ser atribuída à natureza do complexo coloidal presente. Segundo MEHLICH (40), o pH do solo que corresponde à uma dada saturação em bases, depende da natureza do complexo coloidal nele encontrado. Provavelmente, a relação entre a saturação em bases e pH seja ainda influenciada pela amplitude da C.T.C. dependente do pH, desde que a saturação tenha sido calculada para valores de C.T.C. determinados a pH 7.

Estudando a C.T.C. em relação ao pH, KINJO

(34) constatou a presença de cargas negativas dependentes do pH em solos do Município de Piracicaba. Nas amostras do horizonte B da Série Guamium, as cargas negativas dependentes do pH representaram aproximadamente 37% da C.T.C. a pH 7, enquanto nas amostras do horizonte C da Série Monte Olimpo foram de 13%.

As quantidades de bases necessárias, para se obterem os graus de saturação desejados, foram calculadas a partir de valores de C.T.C. a pH 7. Conseqüentemente a quantidade de bases adicionadas ao substrato terra-areia poderia ter conduzido a graus de saturação em bases mais elevados do que os calculados.

5.2 - Crescimento e teor de bases no algodoeiro

Os efeitos da saturação em cálcio e da C.T.C. sobre o crescimento do algodoeiro foram diferentes nos substratos argila-areia e terra-areia. Em consequência deste fato, a interpretação dos resultados será apresentada separadamente.

5.2.1 - Substrato argila-areia

Abaixo de 15% de saturação em cálcio, quando o pH se mantém a ou abaixo de 5, o crescimento das plantas foi restringido, provavelmente, pela toxidez de alumínio além da falta de cálcio. Os sintomas observados nas plantinhas, que não receberam cálcio, foram semelhantes aos de toxidez pelo alumínio, descritos por FOY e BROWN (23). Segundo CARDOZIER (10), o algodoeiro não cresce a pH abaixo de 5, em consequência da baixa disponibilidade de fósforo, assim como da toxidez de alumínio e de manganês.

A análise dos substratos, após colheita do al

godoeiro, revelou que o teor de alumínio trocável nos tratamentos sem cálcio foi de 0,04 a 0,98 e.mg por 100 g de substrato. Estes valores, como se pode verificar, são muito baixos relativamente aos esperados, o que provavelmente sugere a ocorrência duma fixação de alumínio trocável devido à seca prolongada na fase final do experimento. Admitida esta hipótese, o mau crescimento do algodoeiro a baixos graus de saturação em bases seria devido ao aumento de alumínio trocável no substrato, tendo sido instalado um experimento com a finalidade de se tentar verificar êste fato (*).

A toxidez de manganês seria a explicação menos plausível para o mau crescimento observado no algodoeiro, uma vez que os resultados das análises dos substratos mostraram aproximadamente os mesmos teores d'êste elemento em todos os tratamentos.

Quando o grau de saturação em cálcio se elevou de 30 a 60%, a taxa de crescimento das plantas nos substratos com C.T.C. de 3,0 e 6,0 e.mg aumentou, relativamente ao substrato com C.T.C. de 1,5 e.mg por 100 g. Este último nível de C.T.C., como sugerem as relações acima, seria um fator limitante para o crescimento normal do algodoeiro.

As relações entre o teor de cálcio nos substratos e o pêsco sêco do algodoeiro, nos tratamentos cuja saturação em cálcio era de 15, 30 e 60%, estão apresentadas na Figura 6. Examinando-se essa figura, pode-se observar que, 1,8 e.mg de cálcio por 100 g de substrato, quando constituiu 60% de saturação, proporcionou o maior crescimento da planta. Todavia, êsse teor de cálcio não foi suficiente para garantir idêntica taxa de crescimento do algodoeiro, quando o cálcio

(*) Trabalho, em andamento, por RANZANI, G e T.KINJO - Possibilidade de fixação de Al^{+3} trocável em solo.

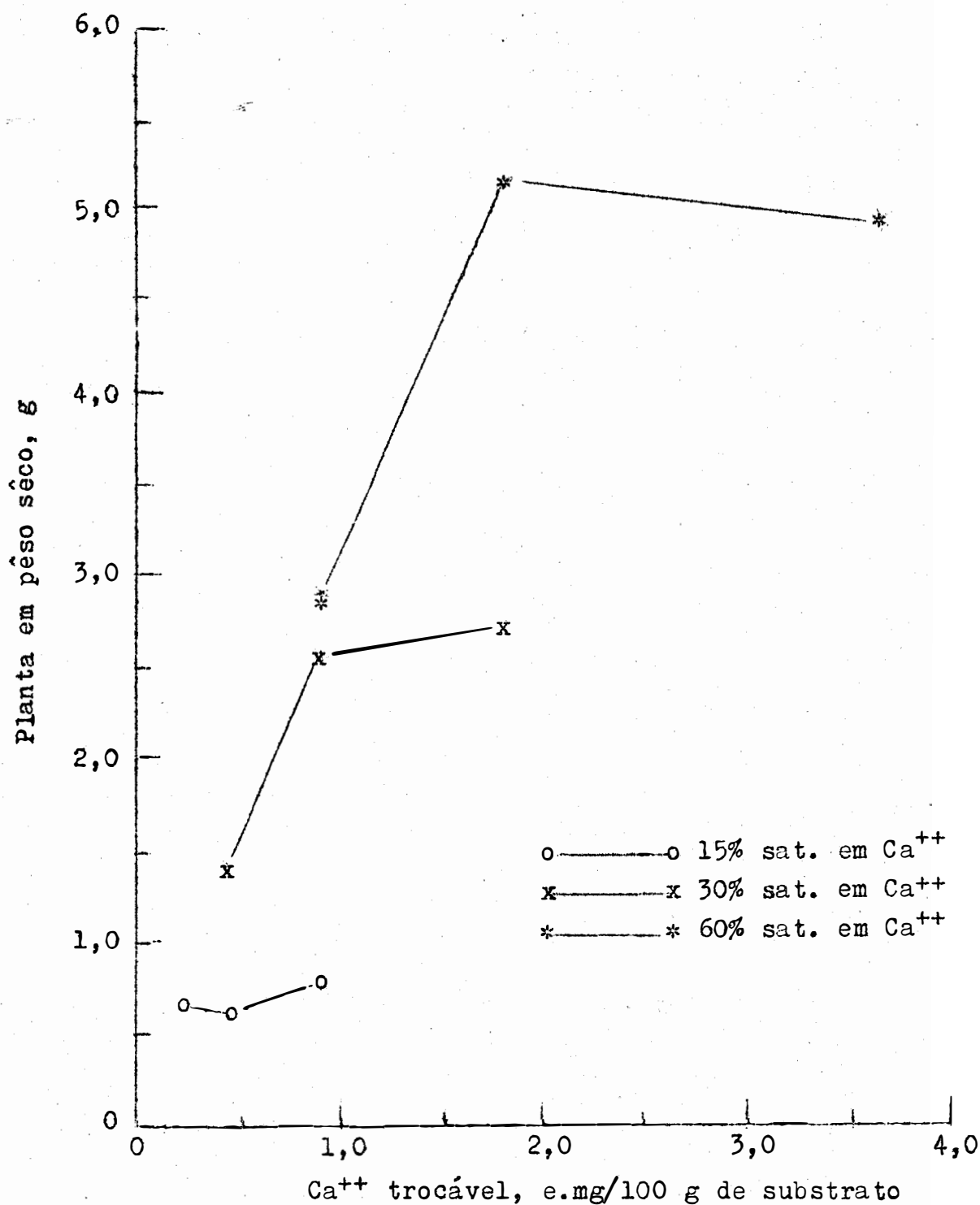


Figura 6 - Relação entre o teor de Ca⁺⁺ trocável e produção da parte aérea do algodoeiro cultivado no substrato argila-areia

cio representava apenas 30% da C.T.C. do substrato. Por outro lado, a 60% de saturação em cálcio, não houve diferença significativa nas produções vegetativas do algodoeiro, quando o conteúdo de cálcio duplicou do substrato com C.T.C. de 3,0 e.mg ao substrato com C.T.C. de 6,0 e.mg por 100 g.

No substrato com C.T.C. de 1,5 e.mg, houve sensível redução no peso seco das plantas independentemente da saturação em cálcio. Este fato sugere que a concentração de cálcio no substrato com C.T.C. de 1,5 e.mg não foi suficiente para um crescimento satisfatório das plantas.

O melhor crescimento do algodoeiro foi obtido nos níveis de 3,0 e 6,0 e.mg a 60% de saturação em cálcio. Segundo MEHLICH e COLWELL (44), o crescimento máximo do algodoeiro foi obtido a 40% de saturação em cálcio nos solos contendo argila caulinítica. De vez que o grau de saturação em cálcio no trabalho destes autores tenha sido calculado com base numa C.T.C. determinada a pH 8,2, é necessário recalcular o valor da saturação em cálcio, para se poder comparar com os dados deste trabalho em que a C.T.C. foi determinada a pH 7. Isto pode ser feito empregando-se a curva de dessaturação da caulinita, apresentada por MEHLICH (40), segundo a qual 40% de saturação, numa C.T.C. determinada a pH 8,2, corresponde aproximadamente a 60% de saturação da C.T.C. a pH 7. Do exposto acima, depreende-se que os resultados obtidos relativamente ao crescimento do algodoeiro coincidem com os de produção máxima desse vegetal assinalados por MEHLICH e COLWELL (44).

Os teores de cálcio nas plantas apresentaram melhor correlação com o grau de saturação do que com a quantidade absoluta de cálcio trocável no substrato. Isto está plenamente de acordo com os resultados de ALBRECHT (1), as-

sim como os de MEHLICH e COLWELL (44), ao pesquisarem em solos orgânicos e montmoriloníticos. Entretanto, quando esses autores trabalharam com solos cauliniticos, obtiveram melhor correlação com a quantidade absoluta de cálcio.

A elevação da saturação em cálcio no substrato resultou em aumento de cálcio e diminuição de magnésio e de potássio nas plantas. Este fato corrobora a observação de HORNER (27) e de FONDER (22). Uma tendência de manter a soma de bases constante nas plantas, quando a saturação em cálcio estava acima de 30%, poderia ser atribuída ao efeito conjunto das bases.

O teor de bases nas plantas, cultivadas no substrato com C.T.C. de 3,0 e.mg, foi significativamente maior do que nas plantas do substrato com C.T.C. de 6,0 e.mg. Isto não significa, necessariamente, que as condições de crescimento sejam melhores no substrato com C.T.C. de 3,0 e.mg. Segundo COOPER et al. (17), o teor de cinza nas plantas pode ser relativamente baixo, para condições ótimas de crescimento. Comparando-se a quantidade absoluta de bases absorvidas e o peso seco das plantas, a idênticos graus de saturação, verificou-se que as condições de crescimento não diferiram naqueles dois níveis de C.T.C..

5.2.2 - Substrato terra-areia

O crescimento do algodoeiro não mostrou efeito pronunciado da saturação em cálcio nem C.T.C.. O pH do substrato se manteve acima de 5,3 e os teores de alumínio trocável e de manganês solúvel apresentaram-se relativamente baixos. Consequentemente, o crescimento das plantas, a 5 e 15% de saturação em cálcio, foi provavelmente limitado mais por falta de cálcio do que pela acidez do substrato.

Observou-se que o peso sêco das plantas a 60% de saturação em cálcio foi menor do que a 30% e que a aparência anormal dessas plantas sugeria carência de potássio. Segundo WADLEIGH (58), o crescimento do algodoeiro em solução nutritiva, com diferentes proporções de cátions, se relacionou diretamente com o teor de potássio disponível.

Verificou-se, de modo geral, que o teor de cálcio foi maior e o de potássio menor nas plantas do substrato terra-areia do que nas do substrato argila-areia. A proporção Ca : K nas plantas a 60% de saturação em cálcio foi de 1,4 a 2,3 no substrato terra-areia e de 1,0 a 1,2 no substrato argila-areia. Segundo COOPER et al. (18), a produção máxima do algodoeiro poderia ser obtida quando a proporção Ca: K+Na estivesse ao redor de 1,0. Julgadas com êsse critério, as proporções maiores de Ca : K nas plantas cultivadas no substrato terra-areia indicam um desequilíbrio e uma provável deficiência de potássio.

A respeito dessa diferença na proporção Ca : K, podem ser consideradas duas possibilidades: (a) fixação do potássio na terra e (b) efeito antagônico do cálcio sobre o potássio. Os minerais de argila que fixam potássio, segundo KARDOS (32), são mica hidratada ou illita, beidelita e vermiculita, que apresentam substituições isomorfas em alto grau na camada tetraedral. A ocorrência desses minerais de argila é pouco provável em perfis do grande grupo Latosol Vermelho Escuro-orto nos quais, segundo a COMISSÃO DE SOLOS (15), predominam minerais de argila do tipo 1:1. Portanto, a fixação do potássio nesses solos seria pouco provável. O estudo feito por CATANI (11) mostra, também, que a fixação do potássio não constitui problema nos solos do Estado de São Paulo.

Para que o efeito antagônico observado por Ehrenberg (REITEMEIER, 54) se manifestasse, a disponibilidade

de de cálcio no substrato terra-areia deveria ter sido muito maior do que no substrato argila-areia. Contudo, os tratamentos foram idênticos nos dois tipos de substrato e uma diferença que possivelmente pudesse merecer consideração seria aquela relativa aos teores de óxidos de ferro e de alumínio livres. Os resultados obtidos por MEHLICH (42) mostram que a disponibilidade do cálcio e seu teor no algodoeiro aumentam em presença de óxido de ferro hidratado e de hematita. Este fenômeno pode ter ocorrido no substrato terra-areia onde é relativamente alto o teor de óxido de ferro livre.

Para este substrato o efeito recíproco das bases nas plantas não ficou muito bem evidenciado. Como já foi assinalado, a elevação da saturação em cálcio resultou em diminuição do potássio nas plantas somente nos graus de 5 a 30% de saturação. É interessante notar que a elevação da saturação em cálcio de 15 para 60% não influenciou sobre os teores de magnésio e de potássio nas plantas; todavia, o teor de cálcio aumentou, com exceção do caso da C.T.C. de 6,0 e mg a 60% de saturação.

6 - CONCLUSÕES

Os dados obtidos e analisados estatisticamente permitiram tirar as seguintes conclusões:

1 - observou-se correlação altamente significativa entre grau de saturação em bases e pH, sendo o íon cálcio eficiente para corrigir a acidez do substrato;

2 - os valores de pH, em relação a saturação em bases, dependeram da amplitude da C.T.C. dependente do pH;

3 - abaixo de pH 5, uma provável toxidez de alumínio interferiu no desenvolvimento normal do algodoeiro;

4 - o crescimento do algodoeiro, no substrato argila-areia, relacionou-se mais com a saturação em cálcio do que com o teor de cálcio expresso em e.mg por 100 g de substrato para valores da C.T.C. acima de 3,0 e.mg e 30% de saturação em cálcio;

5 - o nível de C.T.C. de 1,5 e.mg do substrato argila-areia seria um fator limitante do crescimento do algodoeiro;

6 - as melhores condições de crescimento do algodoeiro, no substrato argila-areia foram promovidas por 60% de saturação em cálcio;

7 - o teor de cálcio nas plantas aumentou e o do magnésio e do potássio diminuiu, com a elevação da saturação em cálcio acima de 30%, no substrato argila-areia, havendo uma tendência de manter-se constante, a soma de bases nas plantas;

8 - o algodoeiro, no substrato terra-areia, sofreu falta de cálcio, abaixo de 15% de saturação nesse elemento e falta de potássio a 60% de saturação em cálcio;

9 - acima de 15% de saturação em cálcio, no substrato terra-areia, o teor de cálcio das plantas aumentou, mantendo-se praticamente constantes os de magnésio e de potássio.

7 - RESUMO

Este trabalho foi planejado com a finalidade de estudar o efeito da saturação em cálcio e da capacidade de troca de cátions sobre o crescimento da planta. Empregou-se dois tipos de substrato, um constituído de argila-areia e o outro, de terra-areia. A argila foi separada do horizonte C da Série Monte Olimpo e a terra fina, do horizonte B da Série Guamium, respectivamente um solo hidromórfico e um latossólico de larga distribuição no Município de Piracicaba. Estas amostras apresentam acidez elevada e baixa saturação em bases.

Os níveis de C.T.C. correspondendo a 1,5, 3,0 e 6,0 e.mg por 100 g do substrato, foram obtidos, adicionando-se areia à argila e à terra. Estabeleceram-se 4 graus de saturação em cálcio, isto é, 0, 15, 30 e 60%, em combinação com 15% de saturação em magnésio e 10% de saturação em potássio. Todos os vasos receberam a mesma quantidade de macro e micro-nutrientes. Como planta teste, empregou-se o algodoeiro, tendo o experimento sido realizado em casa-de-vegetação. A parte aérea das plantas foi colhida 5 a 6 semanas após a semeadura.

Houve correlação altamente significativa entre os valores de pH e os graus de saturação em bases. A equação de regressão, calculada com dados de pH (y) e porcentagem de saturação em bases (x), foi $y = 3,6 + 0,032 x$ para o substrato argila-areia e $y = 4,7 + 0,023 x$ para o substrato terra-areia. Esta diferença observada foi atribuída à C.T.C. dependente do pH.

O crescimento do algodoeiro relacionou-se mais com a saturação em cálcio do que com o teor absoluto deste elemento no substrato argila-areia, para valores de C.T.C. su

periores a 3,0 e.mg por 100 g a ou acima de 30% de saturação em cálcio. Observou-se que o crescimento do algodoeiro a C.T.C. de 1,5 e.mg foi inferior ao observado nos outros níveis de C.T.C.. Observou-se, ainda, um efeito recíproco de bases nas plantas a 30 e 60% de saturação em cálcio.

No substrato terra-areia, o algodoeiro não mostrou o efeito dos tratamentos. Em todos os vasos, 4 semanas após a sementeira, notou-se uma paralização no crescimento das plantas. A 60% de saturação em cálcio, o peso seco do algodoeiro foi menor do que a 30%, tendo a razão Ca:K nas plantas indicado provável carência de potássio. A presença de óxido de ferro, em quantidade elevada no substrato, parece ter influenciado a disponibilidade de cálcio, causando efeito antagônico deste elemento sobre o potássio.

Embora se tenha tentado explicar a possível causa da falta de resposta aos tratamentos, no substrato terra-areia, ainda permanecem dúvidas. O presente trabalho, todavia, mostrou claramente que a amostra da Série Guanium se comporta diferentemente daquela da Série Monte Olimpo, em relação à cultura do algodoeiro, sob idênticas condições de trato.

8 - SUMMARY

The purpose of this work was to study the influence of calcium saturation and cation-exchange capacity on soil reaction and plant growth. Two soils differing in their content of free iron oxide were chosen for this experiment.

One soil sample collected from C horizon of Monte Olimpo series, of hydromorphic origin, had very low free iron oxide content and the other collected from Guanium series, latosolic soil, contained about 10% of free iron oxide. Both soils had very low base saturation and low pH.

The soil sample of Monte Olimpo series was treated to separate the clay fraction (< 0.002 mm) and that of Guanium series was sieved to obtain fine earth (< 2 mm). The levels of cation-exchange capacity were adjusted to 1.5, 3.0 and 6.0 me. per 100 g by adding sand to the clay and to the fine earth. Four degrees of calcium saturation, i.e., 0, 15, 30, and 60 per cent, were established. The magnesium and potassium saturations were fixed at 15 and 10%, respectively. The quantities of macro and micro-nutrients applied were the same for all treatments. Cotton plants were used as a test plant and the above-ground part of plants was harvested 5 or 6 weeks after seeding.

A highly significant correlation was obtained between the degree of base saturation and pH values. The equation of regression calculated with the values of pH (y) and the percentage base saturation (x) was $y = 3.6 + 0.032x$ for the clay-sand mixture and $y = 4.7 + 0.023x$ for the fine earth-sand mixtures. The fact that the pH of the fine earth-sand mixtures is higher than that of the clay-sand mixtures at the same degree of base saturation could be attributed to relatively large pH-dependent CEC of the former.

The growth of cotton plants in the clay-sand mixtures was better related with calcium saturation than with total amount of the same element expressed as me./100 g. of soil, when the CEC was 3.0 and 6.0 me./100 g. of soil. At the level of 1.5 me., the dry-weight of cotton plants was significantly lower than that of the other two levels of CEC in which there were no significant difference in growth of cotton plants.

The calcium content of cotton plants grown in the clay-sand mixture increased proportionately with the increase of calcium saturation and that of magnesium and potassium decreased. Mutual effects of cations in plants were observed when calcium saturation was above 30%.

In the fine earth-sand mixture, the growth of cotton plants was about the same and did not show the response expected in accordance with treatments. Where calcium saturation was 60%, the dry-weights of plants were less than those of 30% calcium saturation. The higher proportion of Ca:K in the plants suggested probable deficiency of potassium in plants due to antagonistic effect of calcium.

The calcium content of plants grown in the fine earth-sand mixture increased proportionately with increase of calcium saturation, but that of magnesium and potassium stayed constant when the calcium saturation was above 15 per cent.

9 - BIBLIOGRAFIA CITADA

- 1 - ALBRECHT, Wm.A. - Soil factors in nitrogen fixation by legumes. Trans. 3rd Comm. Inter. Soc. Soil Sci., A: 71 - 84, 1939
- 2 - ALBRECHT, Wm. A. & HORNER, G.M. - Nitrogen fixation in soybeans as influenced by exchangeable calcium. Trans. Third Int. Congress Soil Sci., Oxford, 1:140-144, 1935
- 3 - ALBRECHT, Wm. A. & SCHROEDER, R.A. - Plant nutrition and the hydrogen ion: I. Plant nutrients used most effectively in the presence of a significant concentration of hydrogen ions. Soil Sci., New Brunswick, 53:313-327, 1942
- 4 - ALLAWAY, W.H. - Availability of replaceable calcium from different types of colloids as affected by degree of calcium saturation. Soil Sci., New Brunswick, 59: 207 - 217, 1945
- 5 - AYERS, A.D. - Sorption of potassium and ammonium by soil as influenced by concentration and degree of base saturation. Soil Sci., New Brunswick, 51: 265 - 272, 1941
- 6 - BARROWS, H.L. & SIMPSON, E.C. - An EDTA method for the direct routine determination of calcium and magnesium in soils and plant tissues. Soil Sci. Soc. Am. Proc. Madison, 26: 443 - 445, 1962
- 7 - BAVER, L.D. - Soil Physics, 2^a Ed., New York, John Wiley & Sons, Inc., 1948, 398 p.
- 8 - BEAR, F.E., PRINCE, A. L. & MALCOLM, J.L. - Potassium needs of New Jersey soils. New Jersey Agr. Exp. Sta. Bul. N^o 721, 1945
- 9 - BEAR F.E. & TOTH, S.J. - Influence of calcium on availability of other soil cations. Soil Sci., New Brunswick, 65: 69 - 74, 1948
- 10 - CARDOZIER, V.R. - Growing Cotton. New York, McGraw-Hill Book Co. Inc., 1957, 423 p.

- 11 - CATANI, R.A. - A determinação do potássio pelos métodos do cobaltihexanitrito e de fotometria de chama: sua aplicação no estudo do potássio nos solos do Estado de São Paulo. Tese de concurso para provimento efetivo da 10ª Cadeira Química Analítica da E.S.A. "Luiz de Queiroz", U.S.P., 1954, 145 p.
- 12 - CATANI, R.A. e GALLO, J.R. - Avaliação da exigência em calcário dos solos do Estado de São Paulo, mediante correlação entre o pH e a porcentagem de saturação em bases. Revista de Agricultura, Piracicaba, 30: 49 - 60, 1955
- 13 - CATANI, R.A., GALLO, J.R. e GARGANTINI, H. - Amostragem de solo, métodos de análise interpretação e indicações gerais para fins de fertilidade. Instituto Agronômico de Campinas. Bol. Nº 69, 1955
- 14 - CHU, T.S. & TURK, L.M. - Growth and nutrition of plant as affected by degree of base saturation of different types of clay minerals. Mich. Agr. Exp. Sta. Techn. Bul. Nº 214, 1949
- 15 - COMISSÃO DE SOLOS - Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo. Ministério da Agricultura, Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas, Bol. 12, Rio de Janeiro, 1960, 634 p.
- 16 - COOPER, H.P., PADEN, W.R. & GARMAN, W.H. - Some factors influencing the availability of magnesium in soil and the magnesium content of certain crop plant. Soil Sci., New Brunswick, 63: 27 - 46, 1947.
- 17 - COOPER, H.P., PADEN, W.R., GARMAN, W.H. & PAGE, N.R. - Properties that influence availability of calcium in the soil to plants. Soil Sci., New Brunswick, 65: 75 - 96, 1948
- 18 - COOPER, H.P., PADEN, N.R. & PHILLIPPE, M.M. - Effects of application of sodium in fertilizer on yields and composition of the cotton plant. Soil Sci., New Brunswick, 76: 19 - 28, 1953
- 19 - CROOKE, W.M. & KNIGHT, A.H. - An evaluation of published data on the mineral composition of plants in the light of the cation-exchange capacities of their roots. Soil Sci., New Brunswick, 93: 365 - 373, 1962

- 20 - DOROFEEFF, A. - Determinação das doses de calagem para as terras de cultura. Tese de concurso para provimento efetivo da cátedra de solos e adubos, Viçosa, Minas Gerais, 1955, 124 p.
- 21 - DRAKE, M. - Cation-exchange capacity of plant roots. Soil Sci., New Brunswick, 72: 139 - 147, 1951
- 22 - FONDER, J.F. - Variations in potassium content of alfalfa due to stage of growth and soil type and the relationships of potassium and calcium in plants grown upon different soil types. Jour. Am. Soc. Agron., Madison, 21: 732 - 750, 1929
- 23 - FOY, C.D. & BROWN, J.C. - Toxic factors in acid soils: I. Characterization of aluminum toxicity in cotton. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 27: 403 - 407, 1963
- 24 - GEDROIZ, K.K. - Exchangeable cations of the soil and plant: I. Relation of plant to certain cations fully saturating the soil exchange capacity. Soil Sci., New Brunswick, 32: 51 - 63 - 1931
- 25 - GIDDENS, J. & TOTH, S.J. - Growth and nutrient uptake of ladino clover grown on Red and Yellow and Gray-Brown Podzolic soil containing varying ratios of cations. Agron. Jour., Madison, 43: 209 - 214, 1951
- 26 - GLORIA, N.A., CATANI, R.A. e MATUO, T. - O método do EDTA na determinação do cálcio e magnésio "trocável" do solo. Revista de Agricultura, Piracicaba, 40: 67 - 74, 1965
- 27 - HORNER, G.M. - Relation of the degree of base saturation of a colloidal clay calcium to the growth, nodulation and composition of soybeans. Mo. Agr. Exp. Sta. Res. Bul. N^o 232, 1936
- 28 - HOU, H. & MERKLE, F.G. - Chemical composition of certain calcifugous and calcicolous plants. Soil Sci., New Brunswick, 69: 471 - 486, 1950
- 29 - JACKSON, M.L. - Soil Chemical Analysis. Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall Inc., 1960, 498 p.
- 30 - JARUSOV, S.S. - On the mobility of exchangeable cations in the soil. Soil Sci., New Brunswick, 43: 285 - 303, 1937

- 31 - JENNY, H. & AYERS, A.D. - The influence of the degree of saturation of colloids on the nutrient intake by roots. Soil Sci., New Brunswick, 48: 443 - 459, 1939
- 32 - KARDOS, L.T. - Soil fixation of plant nutrients. In: Bear, F.E. - Chemistry of the Soil. Reinhold Publishing Corporation, New York, 1955, p. 177 - 199
- 33 - KEY, J.L., KURTZ, L.T. & TUCKER, B.B. - Influence of ratio of exchangeable calcium-magnesium on yield and composition of soybeans and corn. Soil Sci., New Brunswick, 93: 265 - 270, 1962
- 34 - KINJO, T. Capacidade de troca de cátions em relação ao pH do solo. Tese de Magister Scientiae, E.S.A. "Luiz de Queiroz", 1967, 49 p. [Mimiografado]
- 35 - KOLTHOFF, I.M. & SANDELL, E.B. - Textbook of Quantitative Inorganic Analysis, 3^a Ed., New York, The Macmillan Co., 1952, 759 p.
- 36 - MARSHALL, C.E. - The use of membrane electrodes in the study of soils. Soil Sci. Am. Proc., Madison, 7: 182 - 186, 1942
- 37 - MARSHALL, C.E. - Ionization of Ca from soil colloids and its bearing on soil plant relationship. Soil Sci., 65: 57 - 68, 1948
- 38 - MARSHALL, C.E. & AYERS, A.D. - Clay membrane electrodes for determining calcium activities. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 11: 171 - 174, 1946
- 39 - McLEAN, E.O. - Cation exchange capacities of plant roots as related to their nitrogen contents. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 20: 345 - 348, 1956
- 40 - MEHLICH, A. - Base unsaturation and pH in relation to soil type. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 6: 150 - 156, 1941
- 41 - MEHLICH, A. - Soil properties affecting the proportionate amounts of calcium, magnesium, and potassium in plant and in HCl extract. Soil Sci., New Brunswick, 62: 393 - 409, 1946
- 42 - MEHLICH, A. - Effect of iron and aluminum oxides on the release of calcium and on the cation-anion exchange properties of soil. Soil Sci., New Brunswick, 73: 361 - 374, 1952.

- 43 - MEHLICH, A. & COLEMAN, N.T. - Type of soil colloid and the mineral nutrition of plants. In: Norman, A.G. - Advance in Agronomy, Academic Press, New York, 1952, 4: 67 - 99
- 44 - MEHLICH, A. & COLWELL, W.F. - Influence of nature of soil colloids and degree of base saturation on growth and nutrient uptake by cotton and soybeans. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 8: 179 - 184, 1943
- 45 - MEHLICH, A. & REED, J.F. - The influence of type of colloid and degree of calcium saturation on fruit characteristics of peanuts. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 11: 201 - 205, 1947
- 46 - MEHLICH, A. & REED, J.F. - Effect of cation-exchange properties of soil on the cation content of plants. Soil Sci., New Brunswick, 66: 289 - 306, 1948
- 47 - PEECH, M. Availability of ions in light sandy soils as affected by soil reaction. Soil Sci., New Brunswick 51: 473 - 486, 1941
- 48 - PEECH, M., ALEXANDER, L.T., DEAN, L.A. & REED, J.F. - Methods of soil analysis for soil-fertility investigations. USDA Cir. Nº 757, 1947
- 49 - PEECH, M. & BRADFIELD, R. - The effect of lime and neutral calcium salts upon the solubility of soil potassium. Amer. Soil Survey Assoc. Bul., 15: 101 - 106. 1934
- 50 - PIERRE, W.H. - Hydrogen-ion concentration, aluminum concentration in the soil solution, and percentage base saturation as factors affecting plant growth on acid soils. Soil Sci., New Brunswick, 31: 183 - 207, 1931
- 51 - PIERRE, W.H. & SCARSETH, G.D. - Determination of the percentage base saturation of soils and its value in different soils at definite pH values. Soil Sci. New Brunswick, 31: 99 - 114, 1931
- 52 - RANZANI, G. - Apostila de Física de Solos para Curso Pós-graduados. 37 p. 1964 |Mimiografado|
- 53 - RANZANI, G., FREIRE, O. e KINJO, T. - Carta de Solos do Município de Piracicaba. Centro de Estudos de Solos, E. S.A. "Luiz de Queiroz", 85 p., 1966 |Mimiografado|
- 54 - REITEMEIER, R.F. - Soil potassium. In: Norman, A.G. - Advances in Agronomy, Academic Press, New York, 1951 3: 113 - 164

- 55 - SEATZ, L.F. & WINTER, E. - Potassium release from soils affected by exchange capacity and complementary ion. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 8: 150 - 153, 1944
- 56 - SNEDECOR, G.W. - Métodos de estadística: su aplicación a experimentos en agricultura y biología. (Trad. E. Marino), Buenos Ayres, Acme Agency, Soc. Resp. Ltda., 1948, XVIII, 557 p.
- 57 - TRUOG, E. - Soil acidity: I. Its relation to the growth of plants. Soil Sci., New Brunswick, 5: 169 - 195, 1918
- 58 - WADLEIGH, C.H. - The influence of varying cation proportions upon the growth of young cotton plants. Soil Sci., New Brunswick, 48: 109 - 120, 1939
- 59 - YUAN, T.L. - Determination of exchangeable hydrogen in soils by titration method. Soil Sci., New Brunswick, 88: 164 - 167, 1959