

**EFEITO DO CALCÁRIO, DA DENSIDADE E DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE
UM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, SOBRE O DESENVOLVIMENTO
RADICULAR DE DOIS CULTIVARES DE MILHO (*Zea mays* L.)**

LUCIANO MAURÍCIO BEZERRA VISINTIN

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. ANTONIO ROQUE DECHEN

Dissertação apresentada à Escola Superior de
Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São
Paulo, para obtenção do título de Mestre em
Agronomia, Área de Concentração: Solos e
Nutrição de Plantas.

PIRACICABA

Estado de São Paulo - Brasil

Janeiro - 1998

**EFEITO DO CALCÁRIO, DA DENSIDADE E DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE
UM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, SOBRE O DESENVOLVIMENTO
RADICULAR DE DOIS CULTIVARES DE MILHO (*Zea mays* L.)**

LUCIANO MAURÍCIO BEZERRA VISINTIN

Aprovada em: 05 / 03 / 98

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Antonio Roque Dechen	ESALQ/USP
Prof. Dr. Quirino Augusto Camargo Carmello	ESALQ/USP
Prof ^a . Dr ^a . Maria de Fátima Guimarães	UEL/PR



Prof. Dr. ANTONIO ROQUE DECHEN

Orientador

À minha noiva

Cristiane Palma dos Santos,

peessoa que amo e escolhi para caminhar comigo nesta vida

OFEREÇO

À minha mãe **Eleida Gomes Bezerra,**

mulher guerreira, que me educou;

À minha irmã **Maria Lucia Bezerra de Sá e sua família**

que sempre me incentivaram;

À minha tia **Maria Aparecida Gomes Bezerra** pelo carinho.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Antonio Roque Dechen, que tanto trouxe segurança em sua orientação, apoiando em todas as etapas do curso de Mestrado;

Ao Prof. Dr. Francisco Monteiro do Departamento de Química e coordenador do curso de Pós-Graduação da ESALQ, pelo incentivo e pela dedicação;

Ao Prof. Dr. Quirino Augusto Camargo Carmello, do Departamento de Química da ESALQ pela atenção dada e pelos ensinamentos;

À Prof. Dra. Maria de Fátima Guimarães, do Departamento de Solos da UEL, que tanto me incentivou e preparou para a pesquisa;

À Universidade Estadual de Londrina, pela boa formação;

À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", pela oportunidade e pelo contato com todo esse universo de conhecimento;

Aos funcionários do Departamento de Química da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" : Ednéia Cristina Scervino Mondoni, Fernando Eder Ré, Nivanda Maria de Moura, Mirtes Ventura Sesso, Lucia Helena Spessotto Pavan Forti, Lurdes Aparecida Dário de González e Sueli Maria Amaral Campos Bovi, pelo carinho e pela atenção.

Meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

Página

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	viii
RESUMO.....	x
SUMMARY.....	xii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Relações entre os atributos químicos e físicos dos solos.....	3
2.2 Relações solo : raiz.....	5
2.2.1 Relações entre raízes e propriedades químicas dos solos...	5
2.2.2 Relações entre raízes e densidade do solo.....	12
2.2.3 Relações da fisiologia das raízes com os atributos químicos e densidade do solo.....	19
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1 Localização e descrição da área.....	23
3.2 Preparo da área.....	24
3.3 Incubação.....	25
3.4 Delineamento experimental e tratamentos.....	28
3.5 Coleta de amostras e observações nos perfis.....	33
3.5.1 Perfil de enraizamento.....	33
3.5.2 Perfil cultural.....	35
3.5.3 Análise química do solo.....	40
3.5.4 Análise física do solo.....	41
3.6 Análise do estado nutricional das plantas de milho	43
3.7 Produção de grãos.....	45

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
4.1 Estado estrutural.....	46
4.2 Calcário e as modificações químicas ocorridas por profundidade no solo.....	47
4.3 Calcário e as modificações químicas ocorridas por tipo de agregado no solo.....	51
4.4 Desenvolvimento radicular.....	64
4.5 Influência das concentrações de alumínio no solo sobre o estado nutricional das plantas.....	75
4.6 Produção.....	80
5 - CONCLUSÕES.....	83
6 - ANEXOS.....	84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	124

EFEITO DO CALCÁRIO, DA DENSIDADE E DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, SOBRE O DESENVOLVIMENTO RADICULAR DE DOIS CULTIVARES DE MILHO (*Zea mays* L.).

Autor: LUCIANO MAURÍCIO BEZERRA VISINTIN

Orientador: Prof. Dr. ANTONIO ROQUE DECHEN

Resumo

Objetivando, entender melhor as interações do desenvolvimento radicular de dois cultivares de milho (*Zea mays* L.) com a densidade e as características e propriedades químicas do solo, foi realizado um experimento na Fazenda Experimental do Canguiri, do setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, município de Piraquara, PR, em um Latossolo Vermelho Amarelo.

Avaliou-se o efeito da aplicação de calcário e do manejo do solo, com o uso de arado e grade niveladora, sobre a densidade do solo e as características e propriedades químicas de um Latossolo Vermelho Amarelo, relacionando-se as mudanças ocorridas nesses atributos do solo com o desenvolvimento do sistema radicular de plantas de milho, os nutrientes absorvidos e a produção de grãos.

O experimento teve um delineamento experimental em faixas com parcelas subdivididas, e quatro repetições. Nas parcelas foram instalados os tratamentos com calcário (10,5t ha⁻¹) e sem calcário. As subparcelas foram

compostas pelos cultivares C525M (tolerante à acidez e à toxicidade do alumínio) e HS7777 (sensível à acidez e à toxicidade do alumínio).

Os resultados advindos das análises do perfil cultural e do perfil de enraizamento foram considerados um fator de estudo e foram tratados como subsubparcela.

A primeira amostragem no experimento deu-se no estágio de alongação e a segunda amostragem, no estágio de pleno florescimento. Os perfis cultural e de raízes somente foram registrados no pleno florescimento. Os critérios utilizados para as amostragens foram os tipos de agregados e as profundidades (0 - 15 cm, 15 - 30 cm e 30 - 50 cm).

Foram avaliados os seguintes atributos: (i) físico: densidade; (ii) químicos: matéria orgânica e saturação por bases, soma de bases, pH CaCl₂, P, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺, H+Al, Al⁺⁺⁺ e CTC.

A avaliação do sistema radicular foi feita pelo método do perfil de enraizamento. A avaliação do perfil foi feita segundo a metodologia do perfil cultural.

Foram determinados os teores foliares de: N, P, K, Ca, Mg, B, Al, Fe, Zn, Cu e Mn, em uma amostra de três plantas por subparcela.

Os tipos de agregados encontrados nos perfis através do método do perfil cultural foram: Livre (L), Unido Facilmente Visível (UF), Unido Dificilmente Visível (UD) e Maciço microagregado (M_μ).

Os resultados obtidos permitiram concluir que houve ação do calcário sobre os atributos químicos e sobre a densidade do solo, influenciando positivamente tanto o desenvolvimento radicular quanto a produção dos cultivares HS7777 e C525M.

**EFFECT OF LIMESTONE, DENSITY AND CHEMICAL ATTRIBUTES OF A
RED-YELLOW LATOSOL ON ROOT DEVELOPMENT OF TWO MAIZE
CULTIVARS (*Zea mays* L.)**

Author: LUCIANO MAURÍCIO BEZERRA VISINTIN

Adviser: Prof. Dr. ANTONIO ROQUE DECHEN

SUMMARY

In order to better understand the interactions of the root system development of two cultivars of maize (*Zea mays* L.) with the density and chemical properties and characteristics of soils a trial was established in a red-Yellow Latosol at the Fazenda Experimental do Canguiri, part of the Agrarian Sciences sector of the Federal University of Paraná, in Piraquara, Pr.

The effect of limestone application and soil management was evaluated through plowing and disking at soil density and in the chemical properties and characteristics of a Red-Yellow Latosol and related with the changes occurred to these soil attributes according to the development of the root system of maize plants, the absorbed nutrients, and grain production.

A split-plot design with four replications was used. Limestone (10.5t ha⁻¹) and non-limestone treatments were performed. The split-plots comprised cultivars C525M (aluminium acidity and toxicity tolerant) and HS7777 (aluminium acidity and toxicity sensitive).

The results shown by the crop profile and from the rooting profile were considered a study factor and were treated as split plots.

The first sampling took place at the elongation stadium and the second sampling at the blooming stadium. The crop profile and the root system profile was

registered at de blooming stadium. The criteria used for sampling were aggregate type and depth (0 -15 cm, 15 - 30 cm, and 30 - 50 cm).

The following attributes were evaluated: (i) physical: density; (ii) chemical: organic matter, base saturation and aluminium saturation, pH CaCl₂, P, Ca⁺⁺, K⁺, H+Al, Al⁺⁺⁺, base sum, and CTC.

The root system was evaluated by means of the rooting profile method. The profile evaluation was performed according to the crop profile methodology.

The leaf contents of N, P, K, Ca, Mg, B, Al, Fe, Zn, Cu, and Mn were determined in a sample of three plants per split plot.

The aggregates types found in the profiles through the crop profile method were Free (L), United - Easily Visible (UF), United - Barely Visible (UD), and Massive Microaggregate (M_μ).

The results indicated an action of limestone on the chemical attributes and on the soil density thus positively influencing both the root development and the production of cultivars HS7777 and C525M.

1 INTRODUÇÃO

O homem em suas atividades sempre busca a otimização dos recursos produtivos disponíveis. Na agricultura, isso não é diferente, pois é uma das atividades básicas.

Não só a agricultura brasileira, mas a de todo o mundo, encontra-se num momento histórico, onde a globalização é, sem dúvida, um dos maiores propulsores da busca da maximização da produção.

O setor agrícola brasileiro, dentro deste contexto, vem investindo esforços no aumento da produção, com máxima eficiência econômica. Para isso são necessários: o manejo integrado de pragas, doenças e invasoras, uso de sementes melhoradas, calagem, adubação, rotação de culturas, manejo adequado dos solos e das águas, espaçamento adequado para cada espécie, épocas de plantio, formação de uma cadeia produtiva auto-sustentável, e o fortalecimento da visão comercial por parte dos agricultores.

A acidez, nos solos tropicais, é o principal fator limitante da produção de milho, pois, além de ser responsável pela presença de elementos tóxicos como o alumínio e o manganês, na maioria das vezes está associada às baixas concentrações de cálcio, magnésio, potássio, fósforo, molibdênio, zinco e outros nutrientes essenciais para a cultura do milho. Nesse caso, o emprego do calcário no preparo do solo é indispensável.

Quando depara-se com situações onde o solo está com problemas físicos e químicos, é importante saber-se quais as medidas a serem tomadas para melhor manejar o solo, atendendo-se as necessidades das plantas, tornando-o fértil e produtivo.

Uma das maneiras de se entender melhor os efeitos da acidez é estudando o sistema radicular e suas interações com o solo. Os trabalhos com desenvolvimento radicular têm demonstrado o quanto é importante conhecer-se o que ocorre abaixo do colo da planta, visto que as interações das raízes com o solo nem sempre se processam a contento, pois os estados químico e físico do solo podem apresentar-se desfavoráveis às raízes das plantas, como é o caso dos solos ácidos e com altas concentrações de alumínio.

Com o emprego do método do perfil cultural pode-se, ao mesmo tempo retirar amostras para a análise de atributos físicos e químicos do solo, e ainda compará-los com os dados de desenvolvimento radicular. Sendo assim, tal método caracteriza-se como uma ferramenta importante na observação das interações entre o solo e o sistema radicular das plantas.

Objetivou-se, com esse trabalho, estudar o efeito do calcário sobre a densidade do solo, o alumínio e outros atributos químicos dos agregados do solo, bem como observar o quanto estes atributos interferem no desenvolvimento radicular, na nutrição e na produtividade das plantas de milho.

antes, observou-se efeito positivo do Ca^{++} na estabilidade de agregados (Roth et al., 1986).

Segundo Goldberg (1989), os óxidos de ferro e alumínio têm efeito favorável sobre as características físicas de um solo, aumentando a estabilidade de agregados, a permeabilidade, a friabilidade, a porosidade, a condutividade hidráulica, redução da expansão e dispersão das argilas, bem como a diminuição da densidade e módulos de ruptura. Para Goldberg (1988), os índices estruturais (de agregados) estão relacionados com os óxidos de ferro e alumínio, bem como com a matéria orgânica.

Frequentemente, são encontradas na literatura, referências segundo as quais a aplicação de calcário pode causar a deterioração da estabilidade de agregados de um solo (Kamprath, 1971). Em amostras do horizonte B de um "Ultissol", Peele (1936) observou que a aplicação de calcário causou diminuição na percolação de água e aumento na porcentagem de agregados com 0,01mm a 0,03mm de diâmetro.

Para Alexander (1961), a aplicação de calcário em solos ácidos provoca o aumento da atividade microbiana, com a consequente produção de polissacarídeos, o que certamente estimula a agregação a curto prazo, dependendo do teor de matéria orgânica do solo.

Segundo Rajj (1981), a reação do solo é o primeiro fator que precisa ser conhecido em uma gleba a ser cultivada, isso porque, caso ela não seja favorável, as medidas corretivas devem ser tomadas, com antecedência aos cultivos. Existem hoje, técnicas seguras para caracterizar as reações do solo e para determinar medidas corretivas. Para esse autor, a condição desfavorável da reação do solo mais comum no Brasil é a acidez excessiva.

Em seus trabalhos, Schwertmann & Kämpf (1985) perceberam que os óxidos, a hematita e a goetita, exercem uma influência marcante sobre as propriedades dos solos tropicais, sendo que esta influência parece estar ligada mais diretamente à superfície específica do que à natureza mineralógica da argila.

2.2 Relações solo : raízes

2.2.1 Relações entre as raízes e as propriedade químicas dos solos

Tanto o desenvolvimento radicular, como o da parte aérea das plantas que se desenvolveram em solos com acidez elevada, são negativamente afetados por concentrações elevadas de alumínio e/ou pelas baixas concentrações de cálcio. Essas situações ocorrem com frequência, em grande parte de solos brasileiros, notadamente naqueles que possuem elevada acidez nas camadas subsuperficiais (Demattê, 1981; Ritchey et al., 1987).

O sistema radicular, por fazer parte de um ser vivo, sofre efeito do meio externo e é capaz de influenciar o meio em que se encontra. Dentro destas interações está o pH, efeito do meio externo, que pode influenciar de maneira positiva ou negativa o desenvolvimento do sistema radicular e a extrusão de prótons pela raiz da planta, como conseqüência da absorção de íons, a qual pode alterar as condições químicas e físicas do meio (Salisbury & Ross, 1992).

Segundo Fassbender (1975), a acidez dos solos originam-se de diferentes fontes, que podem liberar prótons, como por exemplo, os grupos ácidos dos argilominerais, grupos ácidos da matéria orgânica, ácidos solúveis oriundos da atividade biológica e de práticas agrícolas. Em valores baixos de pH, na maioria dos solos tropicais, existem maiores concentrações de íons hidrogênio (ácidos solúveis) e ácidos orgânicos na solução do solo, provenientes da adubação nitrogenada, atividade microbiana no solo e extrusão de prótons pelas raízes. Em alguns solos, pode haver aumento da concentração de alumínio, decorrente da dissociação da gibsita $\text{Al}(\text{OH})_3$.

Segundo Parker et al. (1988), embora sempre tenha-se reconhecido que a toxidez do alumínio seja o maior fator limitante do crescimento para as plantas em solos ácidos, as relações entre a química da solução aquosa com alumínio e a fitotoxicidade não são muito bem entendidas. O efeito dos íons hidroxila adicionados pela dissociação da água, permanece particularmente enigmático, os quais podem elevar o pH da solução e terminar por atenuar a fitotoxicidade do alumínio. Não está muito claro se isto deve-se à toxidez diferenciada dos produtos mononucleares da hidrólise, ou à formação de complexos não tóxicos de polihidroxiálumínio ou gibsita " $\text{Al}(\text{OH})_3$ " da fase sólida.

Para Menzies et al. (1994), o crescimento das plantas em solos ácidos pode ser limitado por um grande número de fatores, sendo o mais importante, a toxicidade do alumínio. Os atributos como o pH, alumínio trocável, e saturação em alumínio têm sido largamente utilizados como ferramentas para determinar-se a atividade do alumínio. Segundo eles, as

atividades do alumínio e dos hidróxidos de alumínio são os atributos correlacionados mais estreitamente com o desenvolvimento radicular.

Wright et al. (1987) confirmaram que o alumínio (Al^{+++}) é um íon rizotóxico que, frequentemente, está presente em solos ácidos com uma atividade iônica suficientemente grande para inibir a elongação das raízes. Porém, segundo Parker et al. (1988), existe uma forma de hidróxido de alumínio polinuclear mais tóxica que o Al^{+++} , mas sua presença na solução do solo ainda não foi detectada. A forma de hidróxido de alumínio mononuclear, a qual está em equilíbrio com o Al^{+++} , provavelmente não é tóxica.

Segundo Adams & Hathcock (1984), o alumínio é um dos constituintes da maioria dos solos e, sob determinadas condições, pode vir a combinar-se numa forma tóxica, a qual vai limitar a produção, na maioria dos solos cultiváveis.

Quando em altas concentrações na solução, em condições de baixo pH, os prótons H^+ são muito mais prejudiciais às raízes do que os Al^{+++} (Salisbury & Ross, 1992). No pH 4, por exemplo, os íons H_3O^+ (hidrônio) estão em concentrações muito superiores às do cálcio, e isso vai provocar uma carência desse cátion bivalente, devido a um efeito de competição. O cálcio, estando em concentrações abaixo do normal no solo, vai provocar a má formação da parede celular das raízes, diminuindo sensivelmente o crescimento radicular. O íon hidrogênio afeta, diretamente, o mecanismo de transporte e a permeabilidade das membranas celulares. Com a permeabilidade afetada, o efeito do pH na fisiologia das raízes será agravado, iniciando-se o rompimento da parede celular e da membrana plasmática das células e a deformação das raízes.

Adams & Lund (1966) concluíram que o solo estar ácido é um pré-requisito para a toxicidade do alumínio, mas não se pode pensar que todos os solos ácidos têm alumínio presente, e na forma tóxica. O calcário tem sido o principal corretivo utilizado na diminuição dos problemas com a toxicidade do alumínio, mas a adição de matéria orgânica, tem sido, algumas vezes, uma solução prática.

De acordo com Kinraide & Parker (1987a), para aumentar-se a saturação por cátions faz-se necessário a adição de sais (geralmente cloretos), os quais não são ligantes significantes para o alumínio. A redução da atividade do alumínio pode ser atribuída ao incremento da força iônica da solução, ou um efeito fisiológico, onde os cátions podem competir com o alumínio pelos sítios de absorção. Em outro trabalho, Kinraide & Parker (1987b) afirmaram que, praticamente em todos os estudos sobre toxicidade do alumínio, a rizotoxicidade tem sido atribuída aos alumínio mononucleares, mas descobriu-se que o $AlSO_4^+$ deve ser excluído, pois essa forma de especiação não é tóxica.

Diferentes espécies de vegetais e cultivares, com tolerâncias diferenciais ao alumínio, possibilitam concluir que as alterações na força iônica podem dar resultados positivos, quando o cultivar ou a espécie apresentam relativa tolerância ao alumínio. Para os materiais sensíveis ao alumínio, há necessidade de reduzir-se a atividade do alumínio para se ter valores muito baixos (Furlani & Berton, 1992).

Kinraide (1988) observa que os mecanismos de rizotoxicidade do alumínio não são muito bem conhecidos, mas o rompimento da membrana tem

sido uma hipótese persistente. As investigações demonstraram que o alumínio tóxico inibe a extrusão de prótons pelas raízes de trigo.

Recentemente, estudos com solução nutritiva têm demonstrado que os íons alumínio livres ou as formas monoméricas lábeis (Al^{+++} , $Al(OH)^{++}$, $Al(OH)_2^+$) podem ser as formas de especiação com maior toxicidade (Pavan & Bingham, 1982).

Kinraide (1991) conclui que o alumínio policatiônico (com carga maior que 2) é tão fitotóxico quanto os demais cátions polivalentes.

Parker et al. (1988) demonstraram a rizotoxicidade do polihidroxialumínio para com o trigo conduzido em solução nutritiva. Em estudos posteriores, Parker et al. (1989) observaram que alguns cultivares de trigo apresentavam certa tolerância para o Al^{+++} , mas não apresentavam tolerância para os polímeros de alumínio (Al_p).

Ritchey et al. (1987), utilizando um método biológico para estimar a relação entre a concentração de cálcio trocável no solo e o desenvolvimento de raízes de trigo, concluíram que as concentrações de cálcio trocável no solo abaixo da faixa de 0,02 a 0,05 $cmol_C dm^{-3}$ seriam inviáveis para o crescimento das raízes. A ocorrência da deficiência de cálcio em subsolos de perfis altamente intemperizados é, provavelmente, mais comum do que se imagina. Para esses autores, concentrações de cálcio trocável menores que 0,02 a 0,05 $cmol_C dm^{-3}$ têm sido reportados na Colômbia, Brasil e Estados Unidos.

Segundo Waisel et al. (1991), se a raiz entrar em contato com uma porção do solo que tenha pH baixo, ou alumínio total por volta de 50 a 110 $mmol/L$, a raiz vai desviar-se. Nessa condição, parece haver uma redução na concentração de Ácido Indol Acético, mas a alguns milímetros da coifa, região

que ainda não entrou em contato com o solo ácido, apresenta alta concentração de AIA. A auxina concentra-se somente em um dos lados da raiz, provavelmente, porque, em condições de estresse, há uma grande produção deste fitohormônio. Haverá um aumento na produção de auxinas, que chegará a concentrações tóxicas na planta, esta alta concentração de AIA nas células estimulará a produção de etileno, o qual é um inibidor de crescimento. Com isso, um lado da célula pára de crescer, enquanto o outro continua crescendo, fazendo assim, com que as raízes curvem-se ou diminua a sua taxa de crescimento.

Outra maneira de se explicar é a hipótese de que há degradação das auxinas no ápice radicular, pois o hidrogênio e o alumínio absorvidos em altas concentrações pelas raízes são ácidos fortes, que vão complexar-se com a auxina, formando outros compostos (Salisbury & Ross, 1992).

2.2.2 Relações entre raízes e densidade do solo

Segundo Russell (1968), o solo é constituído de produtos da intemperização das rochas e dos minerais que as constituem. Ao analisar-se as características dos minerais do solo, levam-se em conta o tamanho e a forma das partículas, que estão diretamente ligados à natureza das partículas. O tamanho e a forma da partícula vão influenciar, e muito, nas propriedades físicas dos solos, em especial a densidade.

No mesmo trabalho, o autor conclui que o solo afeta a planta através da sua interação com o sistema radicular, sendo muito difícil realizar-se

pesquisas com espécies de interesse econômico a campo, e em consequência, são muito escassos os conhecimentos que se têm acerca das interações entre o solo, raízes e a parte aérea das plantas, e o que é mais importante, entre os sistemas radiculares vizinhos. O solo somente permite o crescimento da raiz quando a pressão desta excede a força de atração entre das partículas do solo. Solos compactados, em que as partículas se encontram muito próximas umas das outras, oferecem um alto impedimento mecânico (Roth et al., 1988).

O que pode ser observado é que há envolvimento de energia, ou seja, a pressão exercida pelo turgor das células em crescimento deve superar a força de união entre as partículas, para que estas sejam afastadas umas das outras. Segundo Gill & Bolt (1955), para que haja o crescimento radicular, o impedimento mecânico do solo sobre a pressão exercida pelas raízes deve ser menor que a pressão das raízes exercida sobre ele. Segundo os mesmos autores, as raízes têm dificuldades de penetrarem poros menores que seu próprio diâmetro, ou se esses poros oferecerem uma resistência maior que 0,2 bar. Se os poros oferecerem uma resistência de um cinquenta avos de atmosfera, as raízes terão dificuldades em se desenvolverem.

A resistência mecânica (energia necessária para afastar as partículas do solo) inerente ao solo, o faz um ótimo suporte para as plantas. Essa resistência pode ser relacionada aos agregados do solo. Estes podem proteger o espaço poroso, local onde se encontram dois importantes fluidos, o ar e a água. Na água presente no solo, os íons constituintes do solo e alguns minerais estão em suspensão (Waisel et al., 1991). Nas regiões de agricultura intensa, como as regiões sul e sudeste, a compactação pode ser considerada como um grande problema de impedimento mecânico, principalmente em solos

argilosos (Demattê, 1981), os quais são muito utilizados para as grandes culturas, dentre as quais se destaca a cultura do milho.

Observando a literatura, verificou-se que existe um grande número de trabalhos que tratam dos efeitos das propriedades físicas do solo sobre o desenvolvimento das raízes, e uma conclusão a que a maioria chega, segundo Reichardt (1981), é o problema do pequeno crescimento de raízes nos solos extremamente intemperizados dos trópicos e subtropicais, sendo esse crescimento de raízes, em geral, muito menor nos trópicos do que nas regiões de clima temperado. Roth et al. (1988) constataram que em diferentes práticas de manejo do solo houve formação de uma camada adensada de 20 a 30 cm e uma sensível diminuição da porosidade e um aumento significativo da densidade do solo, fatores que diminuíram o desenvolvimento das raízes.

Dependendo de como é manejado o solo, pode haver um colapso do sistema produtivo, pois em muitos casos este manejo propicia às plantas um ambiente inóspito. As raízes das plantas crescerão melhor em solos bem agregados, sem grandes poros contínuos ou fendas. Estes poros são aumentados pela pressão exercida pelas raízes sobre as partículas do solo que obstruem o desenvolvimento radicular (Waisel et al., 1991).

Em solos fortemente agregados com zonas de clivagem entre agregados, e em solos com bioporos contínuos de diâmetro grande, a coifa penetra o solo com maior facilidade (Waisel et al., 1991). Bandara & Fritton (1986) constataram que, quando o solo contém camadas ou agregados mais compactados ou adensados, pode-se caracterizar uma nítida redução do crescimento do sistema radicular. Observaram, também, que agregados menores que 0,50 mm não têm efeito sobre a curvatura das raízes.

De acordo com Bennie (1991), o penetrômetro é o instrumento mais conveniente para quantificar o impedimento mecânico do solo ou outros materiais porosos. O penetrômetro sempre vai sobrevalorizar a pressão exercida nas partículas de solo pelas raízes tenras e elásticas em crescimento.

Segundo Waisel et al. (1991), pode ser impraticável medir o impedimento mecânico do solo diretamente, usando o crescimento radicular. Quando existe suficiente número de poros grandes, nos quais estão presentes as raízes, estas crescerão através destes poros com pouco impedimento mecânico. Na maioria dos solos as coifas das raízes devem ser mais espessas que os poros, neste caso as partículas do solo serão afastadas pela raiz em crescimento. Segundo Wiersum (1957), o impedimento mecânico sentido pelas raízes, sob estas condições, serão função da rigidez dos poros.

Uma discussão a respeito das forças responsáveis pela magnitude do impedimento mecânico do solo requer um legítimo conhecimento de física do solo, mas a pressão do penetrômetro deveria criar um mapa do caminho percorrido pela coifa, que é função da força da união entre partículas e da fricção entre partículas em movimento (Bennie, 1991).

2.2.3 Relações da fisiologia das raízes com os atributos químicos e densidade do solo

A toxidez do alumínio, com frequência, tem sido identificada como um dos mais importantes limitadores do crescimento das plantas em solos ácidos (Taylor, 1988), e o sintoma mais facilmente reconhecido da

fitotoxicidade do alumínio é a redução no crescimento radicular (Delhaize & Ryan, 1995).

Nas regiões úmidas brasileiras, que constituem a maior área do território, a toxicidade por alumínio e a falta de alguns nutrientes essenciais são os principais fatores que podem comprometer o desenvolvimento das raízes (Demattê, 1981).

Para Taylor (1988), a parede celular representa uma potente e forte barreira para o alumínio. A imobilização do alumínio na parede celular pode reduzir a absorção desse elemento no simplasto. Essa hipótese tem recebido alguma atenção, pois pode ser um possível mecanismo de tolerância das plantas a outros metais.

Grande parte do alumínio é absorvido via apoplasto, pelas raízes das plantas, através da troca com cálcio. É interessante notar que a tolerância de alguns cultivares ao alumínio está diretamente ligada com a baixa capacidade de troca de cátions por parte das células das raízes (Taylor, 1988).

Grauer & Horst (1992), utilizando-se de modelos matemáticos, concluiu que as plantas podem ter diferentes mecanismos fisiológicos de tolerância à fitotoxicidade do alumínio: diversas ligações catiônicas; característica do apoplasto da raiz; composições iônicas diferentes da parede celular; contínua produção de substâncias que possuem alta afinidade pelo alumínio, por exemplo, algumas substâncias se difundem através do apoplasto e protegem alguns sítios de ligação que podem se ligar com o alumínio.

Segundo Kinraide et al. (1985), os constituintes orgânicos das plantas como os exudatos das raízes e os constituintes da coifa sejam, talvez, corretivos naturais da toxidez do alumínio.

Segundo Slaski (1990), a toxidez do alumínio é um importante fator que limita o crescimento de muitos cereais em grande parte dos solos ácidos, e mais especificamente onde o pH fica abaixo de 5,0. Dentro do universo dos muitos genótipos de cereais existe uma variabilidade muito grande com relação à resposta à fitotoxicidade do alumínio e, baseado em experimentos feitos em casa de vegetação, o autor concluiu que existe uma sequência em ordem decrescente de espécies com relação à tolerância: centeio > aveia > triticales > trigo > cevada. Esta tolerância ao alumínio está sob controle genético e pode ser controlada por muitos genes dominantes.

Desarranjos nutricionais são provocados pela toxidez do alumínio, sendo que Pavan & Bingham (1982) observaram que a absorção de cálcio pelas raízes foi progressivamente diminuída com o aumento da concentração de alumínio na solução.

Para Bandara & Fritton (1986), um dos possíveis mecanismos da reorientação das raízes, quando estão em contato com regiões do solo compactadas ou com altas concentrações de elementos tóxicos, é o transporte lateral de auxina, que causa redução de crescimento, provocando um movimento de convecção, e sendo assim, há a curvatura das raízes.

Kincaid & Vaughan (1986) estabeleceram a hipótese de que o cálcio se liga a dois sítios de ligação com a calmodulina, dando uma conformação ativa para esta enzima, que cataliza reações de formação de hormônio de crescimento radicular.

Hetherington & Trewavas (1984) afirmaram que a regulação do metabolismo celular pelo cálcio é um dos mais fundamentais sistemas de controle já descobertos. Em plantas, este sistema regula a alongação das

células, a expansão das células, a diferenciação celular e o movimento citoplasmático, sendo que todos estes processos ocorrem com consequente variação no conteúdo de cálcio citoplasmático.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e descrição da área

O experimento foi instalado na Fazenda Experimental do Canguiri, da Universidade Federal do Paraná, no município de Piraquara - Pr, com longitude 49° 8' W, latitude 25° 25' S e altitude de 930 m. O clima está classificado como Cfb (subtropical úmido mesotérmico), com precipitação média anual de 1500 mm e temperaturas médias máxima de 24°C e mínima de 12°C, (Fundação Instituto Agrônômico do Paraná, 1984).

O solo onde foi instalado o experimento é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo (LVA) e as amostragens feitas para as análises químicas deram-se nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm, revelando as seguintes características físicas e químicas (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização física e química do Latossolo Vermelho Amarelo (LVA) utilizado.

Prof. cm	pH CaCl ₂	Al	H+Al	Ca	Mg	K	S	T	P	m	MO	Areia	Silte	Argila
		mmol _c dm ⁻³							mg dm ⁻³	%	g dm ⁻³			
00-20	4,4	44	128	13,0	13,0	1,3	27,3	155	1	61,71	94	168	277	560
20-40	4,4	47	139	5,0	5,0	0,6	10,6	152	1	74,96	49	184	216	600

A área não havia sido cultivada durante quinze anos e, a vegetação nativa foi caracterizada como estepe gramíneo-lenhosa (vegetação rasteira e arbustiva).

3.2 Preparo da área

Para a semeadura do milho procedeu-se de maneira a propiciar a homogeneização do solo, para que o experimento não apresentasse variações, para tanto, o preparo inicial da área constou de uma roçada, destoca e limpeza da área, posteriormente, realizou-se uma aração e duas gradagens.

3.3 Incubação

As amostras de solo para a incubação foram coletadas aleatoriamente em toda a área, na profundidade de 0 a 20cm.

Em laboratório, fez-se a incubação com calcário, onde obteve-se uma curva indicativa das doses de calcário necessárias para a obtenção dos tratamentos.

Na Figura 1 apresenta-se a curva de incubação, onde verifica-se o comportamento do Al em função das quantidades (3,0; 6,0; 9,0; 12,0 e 18,0 t ha⁻¹) de calcário aplicada, após 1, 5, 10, 30, 60, 90, 120 e 150 dias, (Tabela 2).

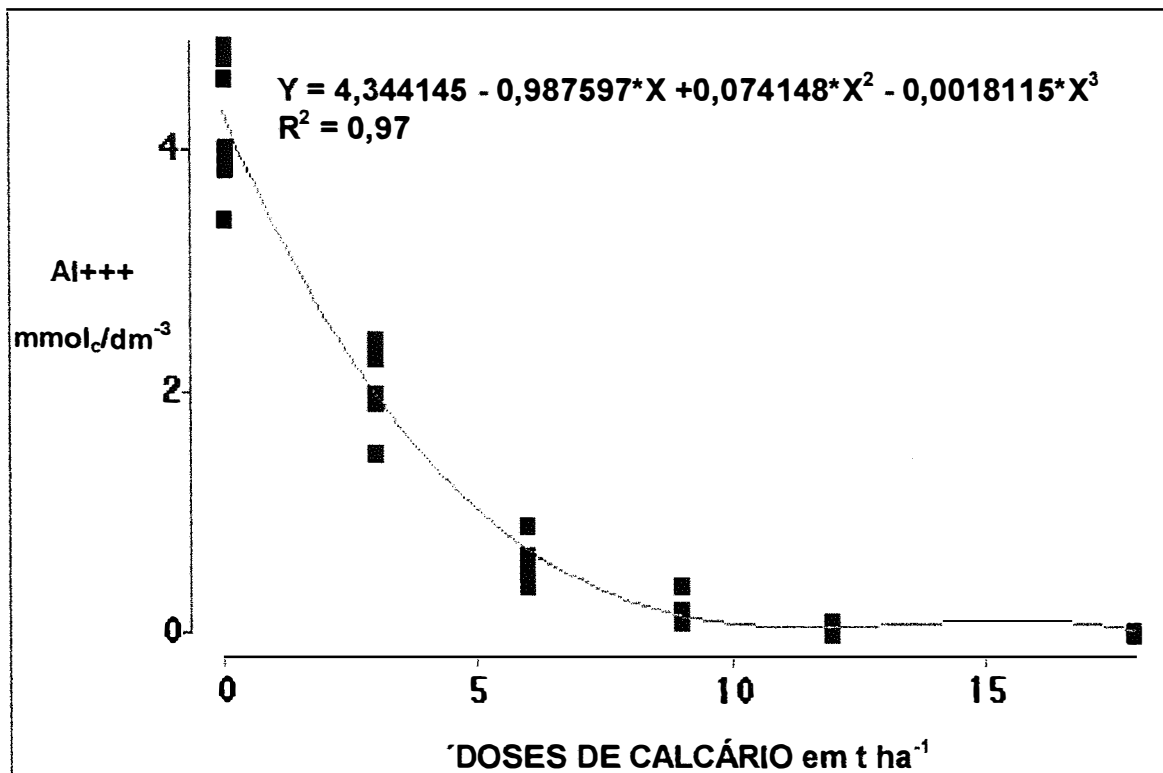


Figura 1 - Alumínio trocável, segundo as doses de 3, 6, 9, 12 e 18 t ha⁻¹ de calcário.

Tabela 2. Variações do alumínio trocável no solo, segundo os períodos de incubação, com 3, 6, 9, 12 e 18 t ha⁻¹ de calcário (média de quatro repetições).

Quantidades de calcário ha ⁻¹	Período de incubação	m%	Quantidades de calcário ha ⁻¹	Período de incubação	m%
0	1	4,92	9	1	0,13
0	5	3,97	9	5	0,10
0	10	4,63	9	10	0,13
0	30	3,88	9	30	0,15
0	60	4,05	9	60	0,18
0	90	3,47	9	90	0,20
0	120	4,80	9	120	0,40
0	150	4,90	9	150	0,20
3	1	2,47	12	1	0,00
3	5	1,98	12	5	0,08
3	10	2,00	12	10	0,03
3	30	1,93	12	30	0,00
3	60	2,00	12	60	0,00
3	90	1,52	12	90	0,00
3	120	2,30	12	120	0,10
3	150	2,30	12	150	0,00
6	1	0,63	18	1	0,00
6	5	0,65	18	5	0,03
6	10	0,60	18	10	0,00
6	30	0,58	18	30	0,00
6	60	0,50	18	60	0,00
6	90	0,40	18	90	0,00
6	120	0,92	18	120	0,00
6	150	0,60	18	150	0,00

Além da testemunha que não recebeu calcário, foi estabelecido a dose total de um calcário com PNE 18% (10,5 t ha⁻¹). A dose recomendada teve por base a elevação da saturação por bases de 2,73% para 70,0%. Os dois tratamentos foram constituídos por quatro repetições.

3.4 - Delineamento experimental e tratamentos

Para este trabalho, utilizou-se o delineamento experimental em faixas, com parcelas subdivididas. Os tratamentos das subunidades, em vez de terem sido casualizados independentemente, dentro de cada parcela, foram arranjados em faixas através de cada bloco.

O experimento foi instalado com quatro blocos, distribuídos em faixas e os fatores estudados foram:

1) Parcelas

A - 2 Cultivares (C525 - tolerante à acidez e ao alumínio, e HS7777 sensível à acidez e ao alumínio);

B - 2 Doses de Calcário (T0 - sem calcário, e T3 com a dose recomendada);

2) Sub-parcelas

C - 4 tipos de agregados (L - Livre, UF - Unido Facilmente visível, UD - Unido Dificilmente visível, M_μ - Maciço microagregado).

O esquema da análise de variância com os graus de liberdade para as variáveis resposta da planta encontra-se na tabela 3, e para as variáveis resposta do solo encontra-se na tabela 4 (Banzatto e Kronka, 1995).

Tabela 3. Esquema da análise de variância e graus de liberdade

Causas de Variação	Graus de Liberdade
Blocos	3
Cultivares	1
Blocos x Cultivares - Resíduo (a)	3
Calcário	1
Blocos x Calcário - Resíduo (b)	3
Cultivar x Calcário	1
Blocos x Cultivar x Calcário - Resíduo (c)	3
Total	15

Tabela 4. Esquema de análise de variância e graus de liberdade

Causas de Variação	Graus de Liberdade
Blocos	3
Cultivares	1
Blocos x Cultivares - Resíduo (a)	3
Calcário	1
Bloco x Calcário - Resíduo (b)	3
Cultivar x Calcário	1
Bloco x Cultivar x Calcário - Resíduo (c)	3
Agregados	3
Cultivar x Agregados	3
Calcário x Agregados	3
Cultivar x Calcário x Agregados	3
Bloco x Cultivar x Calcário x Agregados - Res. (d)	36
Total	63

As análises de variância para as variáveis respostas do solo e da planta foram feitas separadamente, pois não há sentido em se fazer a análise

dos resultados das plantas conjuntamente aos resultados químicos e físicos de cada agregado.

Em junho de 1993, aplicou-se 50% da dose recomendada de calcário, a qual foi determinada com base na elevação da saturação por bases a 70%. A segunda aplicação de calcário foi realizada quatro meses depois da primeira, levando-se em conta a curva de incubação (Figura 1). Com a aplicação parcelada do calcário objetivou-se uma incorporação mais homogênea, as quais foram feitas com grade aradora.

Para a semeadura do milho foi utilizado o espaçamento de 1,0 m nas entrelinhas, com o número de sementes necessárias para se obter uma média de 5 a 6 plantas por metro linear.

Foi feita adubação (Instituto Agrônômico do Paraná, 1991) com a aplicação de 300 kg ha⁻¹ da formulação 04-30-10. Aos 40 e aos 65 dias após semeadura foram realizadas adubações de cobertura, com 30 kg ha⁻¹ de nitrogênio, na forma de uréia. Fez-se, também, adição complementar de potássio aos 40 dias na dose de 12,5 kg ha⁻¹ na forma de cloreto. Todo o manejo da cultura foi realizado sem o uso de implementos agrícolas, para que não houvesse pisoteio da área, influenciando assim os resultados.

3.5 Coleta de amostras e observações nos perfis

O perfil cultural e o perfil de enraizamento foram feitos em paredes de trincheiras abertas transversalmente às linhas de semeadura e nas mesmas paredes amostrou-se solo para as análises químicas e físicas. As amostragens

foram feitas tanto por profundidade (0 - 15cm; 15 - 30cm e 30 - 50cm) como por tipo de agregado.

3.5.1 Perfil de enraizamento

O método utilizado para avaliar o desenvolvimento das raízes foi o Perfil de Enraizamento descrito em (Bohm, 1979).

Com os dados obtidos estimou-se o desenvolvimento radicular, representado pela porcentagem de raiz por profundidade e por tipo de agregado os quais apareceram no perfil cultural.

3.5.2 Perfil cultural

Segundo Manichon (1982), os agregados podem ser examinados e classificados de acordo com o seu estado interno e segundo a disposição espacial destes agregados no perfil.

A coleta dos elementos estruturais (agregados) foi realizada conforme o método do perfil cultural proposto por Manichon, (1982) e adaptado por Ralish et al. (1991). A metodologia do perfil cultural, segundo Ralish et al. (1991) apresenta-se como uma ferramenta de trabalho que pode auxiliar os pesquisadores que investigam a relação solo : raiz.

A apresentação resumida da classificação dos agregados é apresentada nas tabelas 5a e 5b.

Tabela 5a - Classificação segundo o Estado Interno dos Agregados,
Manichon (1982).

ESTADO INTERNO	INCIPAIIS CARACTERÍSTICAS
Δ DELTA	Aspecto contínuo. As faces de fragmentação são pouco rugosas, de forma tipicamente conchoidal. Porosidade estrutural nula. Resultado de uma compactação severa de origem antrópica (rodados de tratores e máquinas). Coesão elevada quando seco;
ϕ PHY	Próximo de Δ, mas possui fissuras, (caso de materiais que possuem uma certa tendência à fissuração). Ação por exemplo de umedecimento e secagem de solos com argila do tipo 2:1.
Γ GAMA	Os agregados, são discerníveis nos torrões. Rugosidade nítida nas faces de fragmentação dos torrões. A porosidade estrutural não é nula, mas os poros são de tamanho variável. A coesão das partículas são mais fracas que em Δ .

Tabela 5b - Classificação segundo a Disposição Espacial dos Agregados,
Manichon (1982).

ELEMENTOS ESTRUTURAIS			
Estrutura contínua	Unidos entre si		Individualizados
	D ifilmente visível	F acilmente visível	
M Maciça	UD Unido Difícilmente Visível	UF Unido Facilmente Visível	L Livre

3.5.3 Análise química do solo

O solo foi analisado segundo a metodologia de análise de rotina descrita por Raij & Quaggio (1983) exceto para o alumínio trocável que foi analisado segundo Raij & Zullo (1977).

A soma de bases (S) , a capacidade de troca de cátions (CTC) e a saturação por bases (V%) foram calculadas a partir dos resultados analíticos.

3.5.4 Análise física do solo

Para a densidade, utilizou-se do método do torrão impermeabilizado e, a granulometria foi determinada pelo método da pipeta (Kiehl, 1979). As análises foram realizadas no Laboratório de Física do Solo no Departamento de Solos da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Para tanto, utilizaram-se duas amostras compostas de dez subamostras para as profundidades de 0 - 20 cm e 20 - 40 cm.

3.6 Análise do estado nutricional das plantas de milho

Foram coletadas 20 folhas representativas do estado nutricional, denominadas neste trabalho de "folhas diagnósticas", ou seja, a 1ª folha abaixo e oposta à espiga, (Malavolta, 1981; Arnon, 1975), em cada subparcela. A coleta destas folhas foi feita de forma aleatória e na área útil de cada

subparcela. Após serem levadas ao laboratório, procedeu-se a seleção do terço médio de cada folha, eliminando-se os 1/3 externos, com auxílio de uma régua e uma tesoura. O terço médio foi utilizado para as análises, os quais foram lavados e postos em estufa até pesagem constante.

A análise foliar foi feita no Laboratório de Nutrição Mineral da ESALQ, onde foi utilizado, para determinação das concentrações totais dos nutrientes presentes no material vegetal seco, a metodologia apresentada por Sarruge & Haag (1974). A determinação do boro foi feita utilizando Azometina H, segundo metodologia descrita por Bataglia et al. (1983).

3.7 Produção de grãos

A colheita foi efetuada manualmente no estágio de grão pastoso, 35 dias após a execução do perfil de enraizamento e do perfil cultural, no mês de março de 1994. A produção da área útil das subparcelas, nos dois tratamentos, foi obtida a partir das pesagens dos grãos e, a partir desses dados foi estimada a produção por hectare.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estado estrutural

Os estados estruturais (agregados), encontrados nos perfis, foram: Livre (L); Unido Facilmente Visível (UF); Unido Dificilmente Visível (UD); e Maciço microagregado (M_{μ}).

Para os perfis culturais, no tratamento com calcário, houve um decréscimo na presença de agregados do tipo (L e UF) e um aumento na presença dos agregados (UD) (Figuras 2 a 5), provavelmente, pelo fato do calcário ter propiciado a agregação das partículas. A reação do calcário ocorre tão somente na profundidade de incorporação, mas os produtos de sua reação, o cálcio e o magnésio, podem deslocar-se para camadas mais profundas (Roth et al., 1986).

No tratamento em que não aplicou-se calcário, foi verificado que os agregados M_{μ} apareceram mais próximos da superfície do que no tratamento onde houve a aplicação de calcário. Os agregados (M_{μ}) apareceram no fundo da trincheira e são, provavelmente, os menos afetados pela ação do calcário, mecanização e adubação. Isso mostra que, com a aplicação do calcário, ocorrem modificações químicas e físicas na superfície e na subsuperfície.

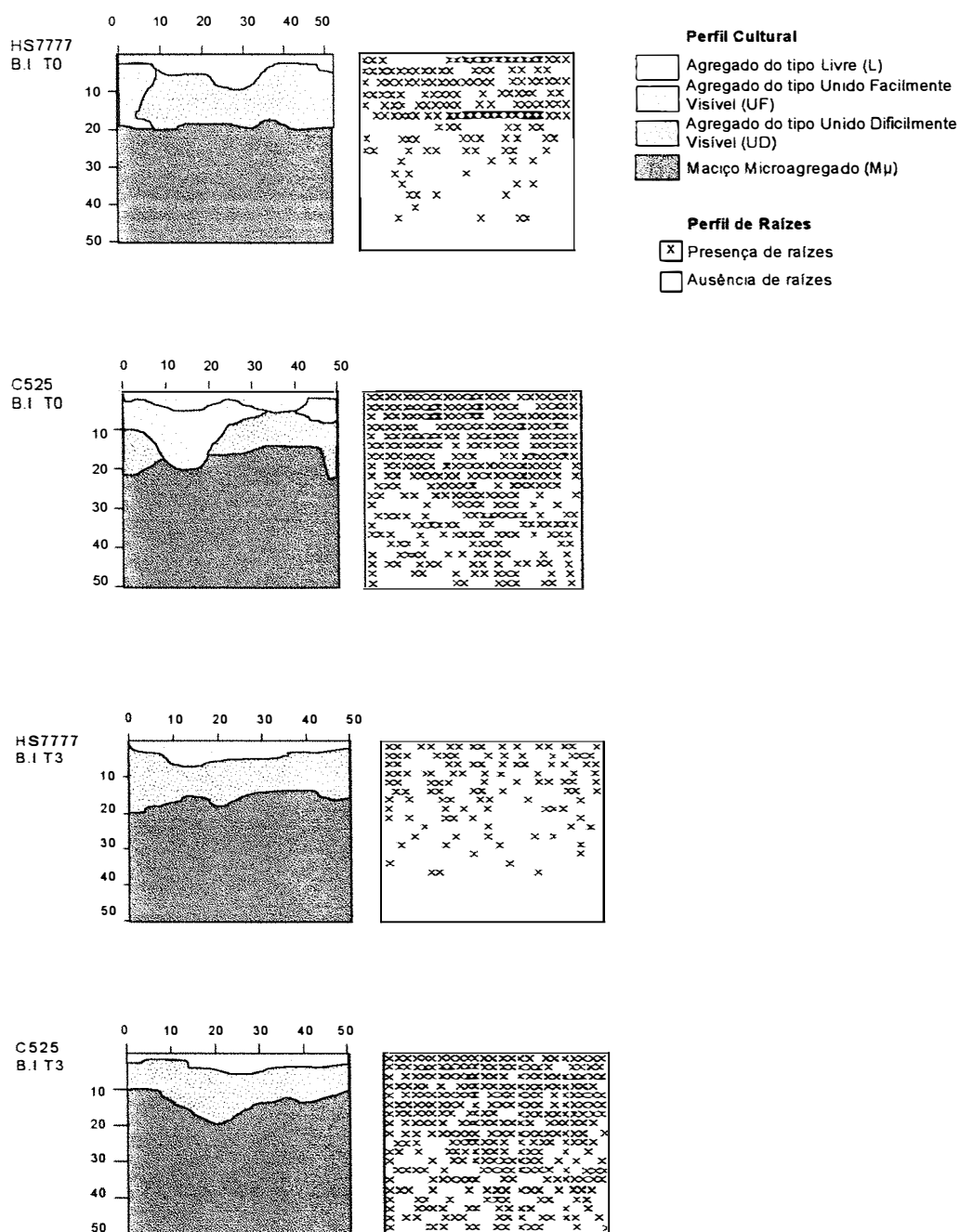


Figura 2 - Perfil cultural e perfil de raízes dos cultivares HS7777 e C525 - BI para os tratamentos T0 e T3.

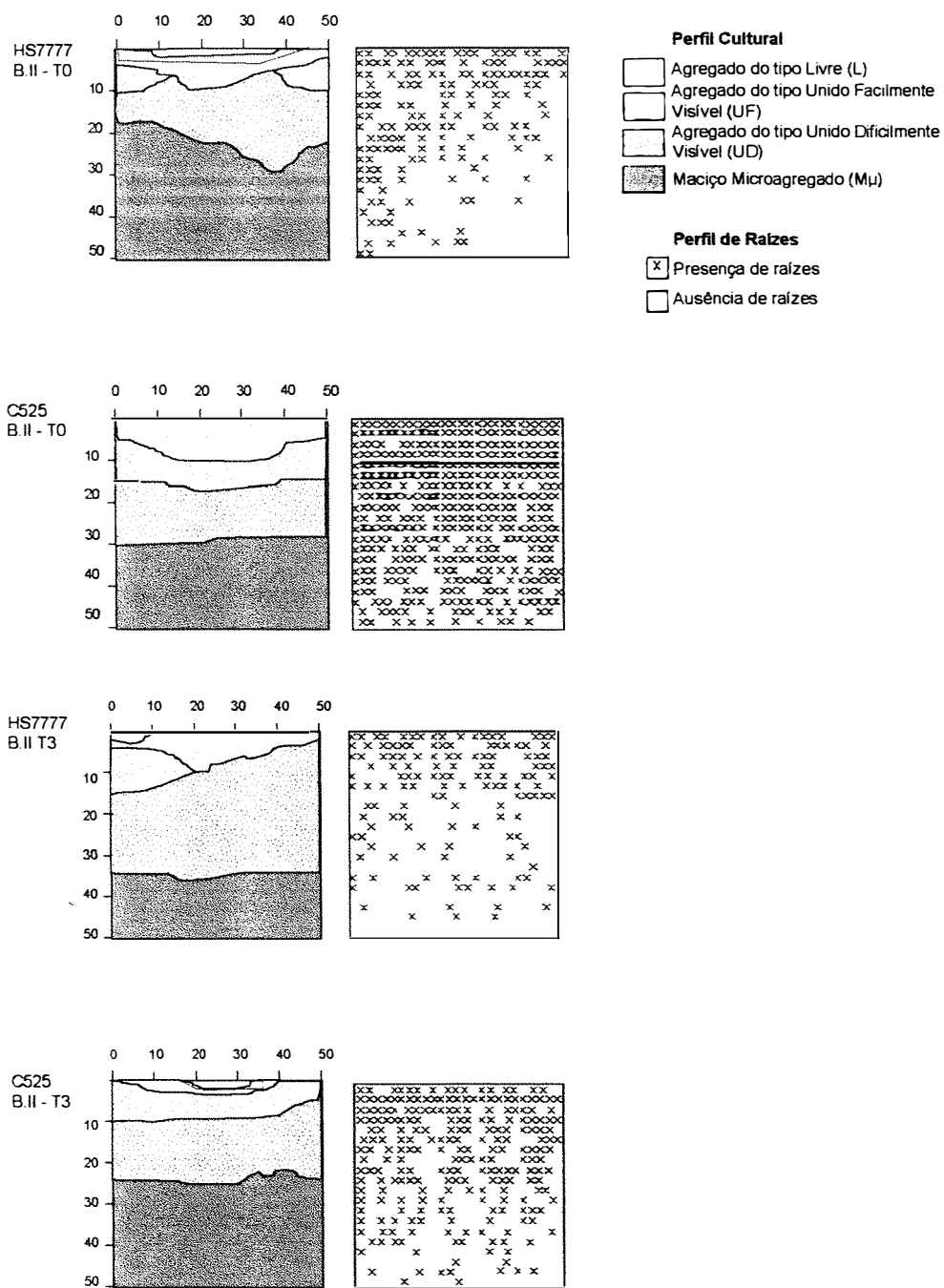


Figura 3 - Perfil cultural e perfil de raízes dos cultivares HS7777 e C525 - BII para os tratamentos T0 e T3.

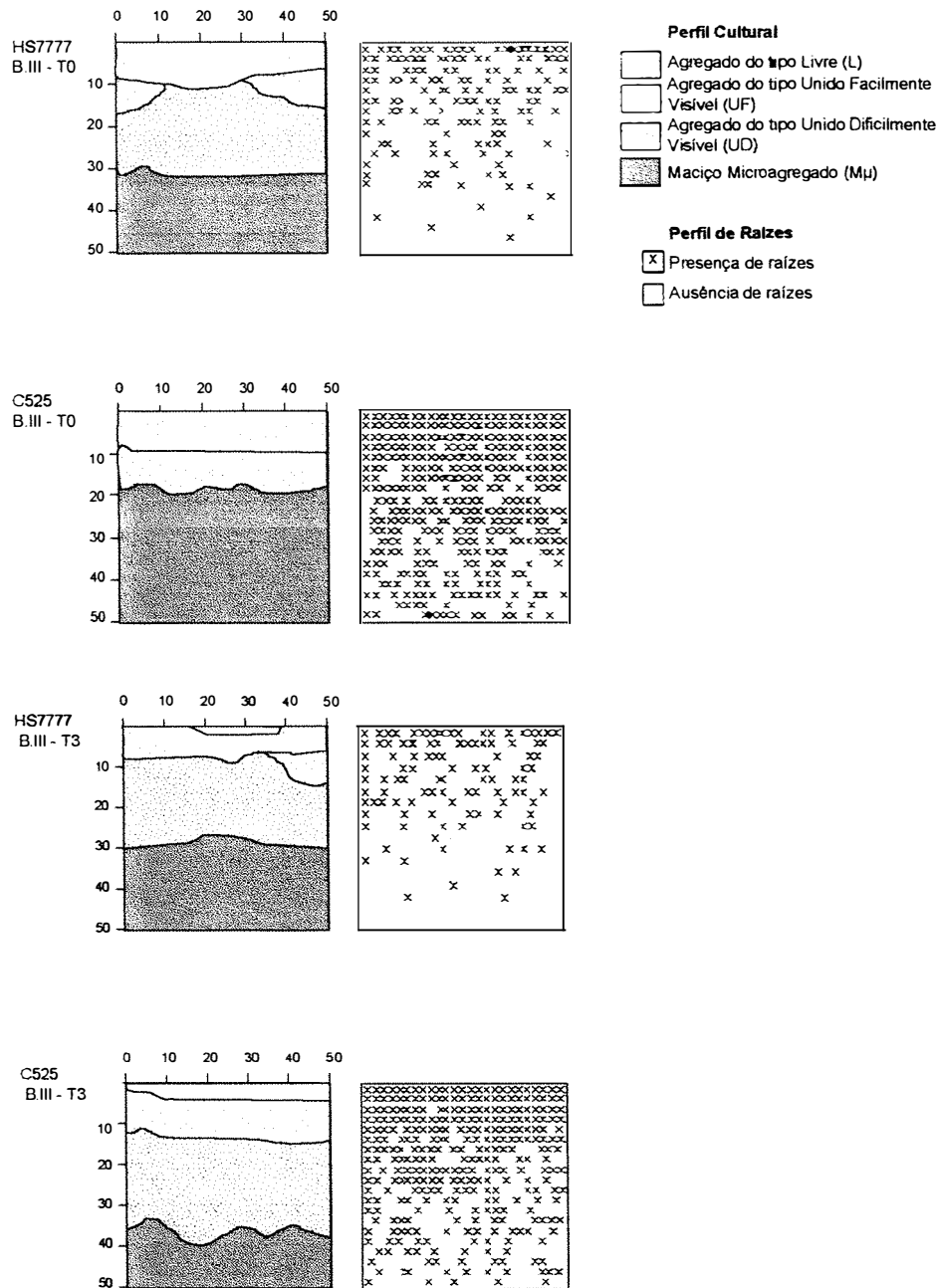


Figura 4 - Perfil cultural e perfil de raízes dos cultivares HS7777 e C525 - BIII para os tratamentos T0 e T3.

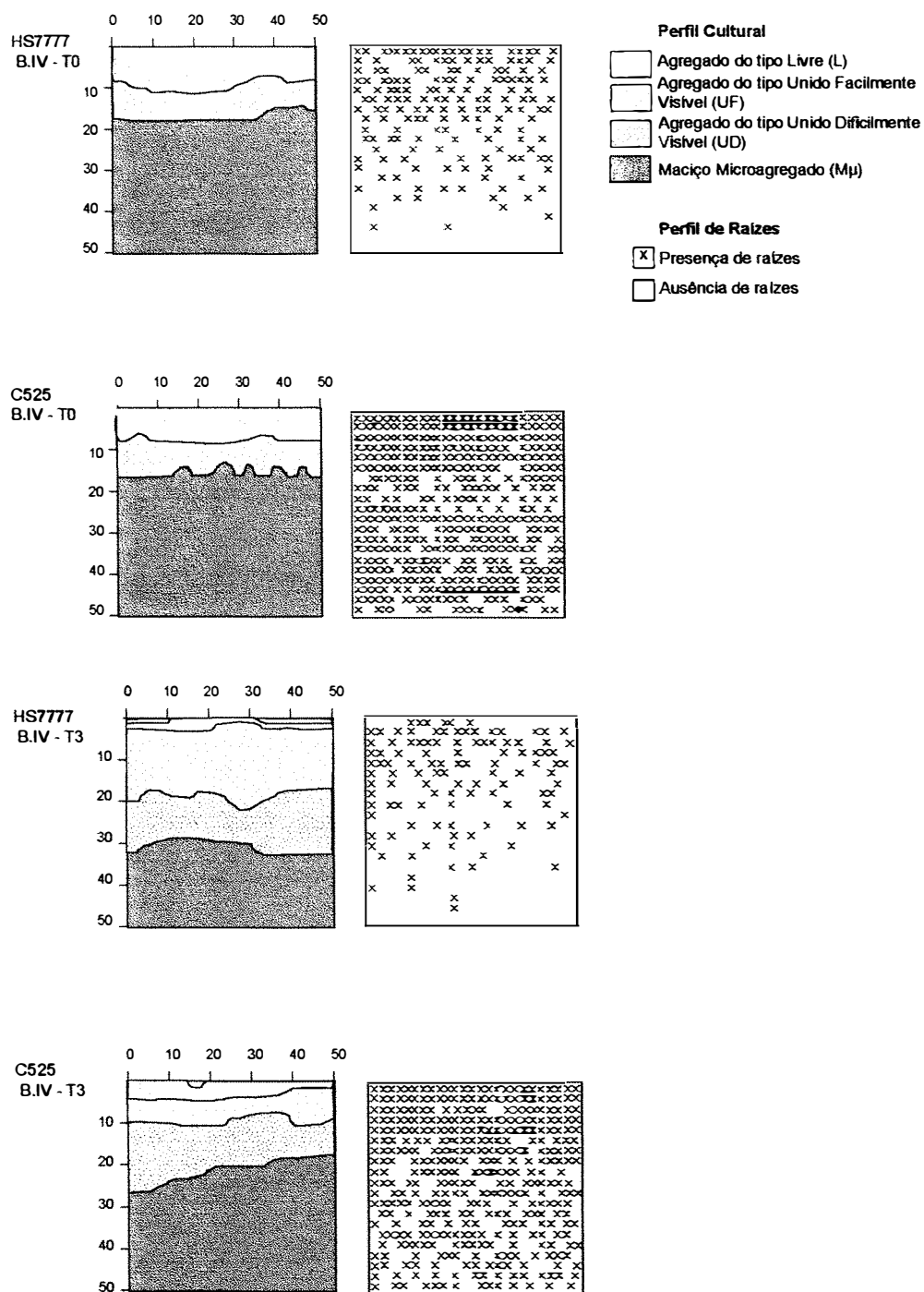


Figura 5 - Perfil cultural e perfil de raízes dos cultivares HS7777 e C525 - BIV para os tratamentos T0 e T3.

4.2 Calcário e as modificações químicas ocorridas por profundidade no solo

Na tabela 6 são apresentados os resultados das análises químicas do solo, nas profundidades de 0 a 15 cm, 15-30 cm e 30 a 50 cm, em função dos tratamentos com e sem calcário. As amostras para as análises foram coletadas no dia de plantio 29-11-93 e no pleno florescimento em 21-01-94, sendo que os resultados mostram que a aplicação de calcário teve resposta significativa.

Fassbender (1975) cita que o calcário apresenta efeitos benéficos sobre os atributos físicos e químicos dos solos. Como neste trabalho visou-se analisar o efeito destes atributos sobre o desenvolvimento radicular do milho, foi isolada a variável alumínio através da calagem.

De acordo com o que se pode observar na tabela 6, houve decréscimo do pH no tratamento T0 (0,0t ha⁻¹ de calcário) durante o período entre o plantio e o pleno florescimento, revelando a ação conjunta das adubações químicas, da extração de nutrientes e da extrusão de prótons pelas plantas (Fassbender, 1975) e da influência sazonal (Pauletti, 1995) sobre o pH.

Para Fassbender (1975), com a diminuição do pH, há diminuição, também, nas concentrações de cálcio e magnésio no solo, bem como um aumento nas concentrações de Al, como pode ser constatado na tabela 7, onde as causas de variação do tratamento com calcário e sem calcário mostram esses resultados.

Tabela 6. Resultados das análises químicas do solo nas profundidades 0 - 15 cm, 15-30 cm e 30-50 cm, nas duas doses de calcário, amostragens feitas na elongação e no pleno florescimento.*

Trat.	pH CaCl ₂	Ca	Mg	Al	K	CTC	P	M.O.	m	V
		mmolc dm ⁻³					-mg dm ⁻³	g dm ⁻³	%	
0-15 cm										
T0 El	4,2	19,0	15,0	36,0	2,5	203,0	2,8	95,0	50,4	17,7
T0 Flo	3,9	13,0	11,0	51,0	1,9	170,0	3,1	78,0	66,4	15,2
T3 El	4,8	52,0	41,0	4,0	2,2	200,0	3,3	89,0	4,6	47,3
T3 Flo	5,2	83,0	58,0	1,0	1,6	210,0	3,9	81,0	1,0	67,3
15-30 cm										
T0 El	4,1	9,0	9,0	35,0	1,4	170,0	1,8	72,0	64,7	11,1
T0 Flo	3,9	8,0	8,0	36,0	1,5	160,0	2,0	72,0	76,1	11,2
T3 El	4,3	19,0	17,0	26,0	1,2	161,0	2,0	73,0	44,4	22,3
T3 Flo	4,2	21,0	17,0	42,0	1,2	153,0	2,3	73,0	51,5	25,3
30-50 cm										
T0 El	4,1	5,0	4,0	40,0	4,0	152,0	1,0	35,0	81,3	6,0
T0 Flo	4,1	5,0	4,0	55,0	0,6	142,0	1,0	35,0	85,8	6,3
T3 El	4,2	6,0	6,0	37,0	4,0	150,0	1,0	40,0	75,1	8,2
T3 Flo	4,0	6,0	5,0	56,0	0,7	136,0	1,0	40,0	83,4	8,2

Média de 04 repetições; El=amostras coletadas na elongação (01/1994);
Flo= amostras coletadas no Pleno Florescimento (02/1994);

No tratamento com calcário (10,5 t ha⁻¹), verificou-se um pequeno aumento no pH, em virtude das altas concentrações de matéria orgânica no solo, a qual exerceu efeito tamponante do pH no solo, sendo que este ligeiro aumento do pH pode ser considerado como sendo efeito do calcário sobre a acidez do solo.

A adição de calcário aumentou as concentrações de cálcio e magnésio na forma trocável. Portanto, a reação do carbonato de cálcio e

magnésio, liberou estes dois elementos para a solução do solo, tendo então reflexo sobre a saturação por bases do solo (Tabelas 7 e 8).

As concentrações de fósforo são baixas, apresentando um pequeno aumento durante o período entre o plantio e a colheita, sendo esse um dos efeitos benéficos da ação do calcário, liberando-o para a solução do solo, uma vez que esse nutriente pode estar em formas insolúveis em condições ácidas, como ocorre na complexação com o alumínio (Tabelas 6 e 7).

As diminuições nas concentrações de potássio no solo podem estar relacionadas às constantes precipitações pluviométricas, as quais ocorreram durante o experimento e à grande absorção de potássio pelas plantas de milho. Observaram-se, também, diminuições nas concentrações de matéria orgânica nos dois tratamentos, relacionadas com a intensa atividade microbiana no verão, com os altos índices de umidade e elevadas temperaturas, assim como com a correção da acidez e o revolvimento do solo para o plantio (Tabela 6).

Com a aplicação do calcário, objetivou-se alcançar a porcentagem zero (0%) para saturação em Al, mas os resultados obtidos ficaram aquém do esperado, no entanto, chegaram bem próximos de zero.

Os níveis de saturação em alumínio alcançados com a aplicação de calcário não são tóxicos para as plantas, enquanto que, no tratamento sem calcário, foram considerados tóxicos para as plantas (Fageria et al., 1988), como observa-se na tabela 6.

Tabela 7 - Médias, Teste F e Coeficiente de Variação de Variação dos Atributos Químicos e Físicos do Solo,

Porcentagem de Raízes e Porcentagem de Agregados.

FATORES	EST. %	RZ %	DENS. kg dm ⁻³	M.O. g dm ⁻³	pH CaCl ₂	Ca	Mg	K	Al mmol _c dm ⁻³	H+Al	SB	CTC	P mg dm ⁻³	m %	V %
CULTIVARES															
CULTIVAR C525	24.91 a	78.62 a	1.30 a	72.89 a	4.44 a	35.88 a	18.76 a	1.94 a	36.43 a	157.06 a	56.58 a	213.51 a	6.49 a	39.16 a	26.95 a
CULTIVAR HS7777	24.99 a	39.72 b	1.28 a	71.02 a	4.62 a	38.11 a	20.69 a	1.63 b	33.82 a	147.64 a	60.43 a	204.22 a	4.33 a	35.89 a	30.99 a
CALCÁRIO															
SEM CALCÁRIO	24.92 a	53.13 a	1.28 a	72.22 a	4.29 b	30.87 a	11.60 b	1.89 a	42.26 a	179.59 a	44.36 b	221.62 a	4.30 a	48.78 a	19.60 b
COM CALCÁRIO	24.98 a	65.21 b	1.30 a	71.67 a	4.77 a	45.92 a	28.72 a	1.68 a	28.18 b	125.85 b	76.32 a	196.39 b	6.52 a	26.98 b	38.09 a
AGREGADOS															
AGREGADO (L)	3.03 d	84.87 a	1.21 c	84.11 a	4.74 a	64.10 a	33.48 a	0.89 d	19.44 d	123.99 c	98.47 a	218.56 a	9.37 a	16.49 a	44.82 a
AGREGADO (UF)	44.83 a	71.65 b	1.33 b	80.88 b	4.72 b	41.70 b	32.33 b	2.76 a	22.78 c	121.32 d	76.79 b	216.64 a	8.38 b	22.87 b	45.70 a
AGREGADO (UD)	28.14 b	48.15 c	1.47 a	68.20 c	4.36 c	17.87 d	7.83 c	1.91 b	48.15 b	173.98 b	27.61 c	198.89 a	2.71 c	63.55 c	21.02 b
AGREGADO (M _p)	24.00 c	32.02 d	1.16 d	54.98 d	4.30 d	9.46 c	2.73 d	0.73 c	50.94 a	190.00 a	12.92 d	200.19 a	0.96 d	79.76 d	5.05 c
TESTE F															
CULTIVAR	0.13 ns	395.5 **	2.92 ns	0.46 ns	1.60 ns	0.03 ns	0.13 ns	4.85 *	0.66 ns	0.74 ns	0.59 ns	1.12 ns	2.42 ns	1.40 ns	0.95 ns
CALCÁRIO	0.08 ns	38.14 **	0.96 ns	0.32 ns	11.17 **	2.99 ns	34.55 **	1.93 ns	17.85 **	21.93 **	17.34 **	9.21 **	2.03 ns	14.33 **	18.42 **
AGREGADO	73.84 **	145.95 **	96.99 **	16.02 **	3.64 **	9.69 **	42.25 **	34.67 **	28.45 **	11.88 **	31.23 **	0.91 ns	10.18 **	28.76 **	25.57 **
CULT. x CALC.	0.00 ns	0.04 ns	4.12 *	0.02 ns	0.12 ns	0.20 ns	1.32 ns	0.10 ns	8.64 **	3.40 ns	5.29 *	0.07 ns	0.03 ns	2.56 **	4.31 *
CULT. x ESTR.	0.76 ns	10.25 **	1.11 ns	0.66 ns	0.68 ns	4.60 **	1.57 **	5.84 **	3.79 **	0.79 ns	0.48 ns	0.22 ns	1.13 ns	3.95 **	0.167 ns
CALC. x ESTR.	0.12 ns	0.19 ns	0.20 ns	0.09 ns	1.45 ns	5.46 **	12.71 **	1.38 ns	4.39 **	2.71 ns	4.26 *	0.65 ns	1.85 ns	5.98 **	3.75 *
COEF. DE VARIAÇÃO															
C.V. (CULT) %	3.51	24.59	6.15	12.27	17.81	120.9	135.78	30.78	65.43	48.1	92.68	3.7	144.71	88.22	101.97
C.V. (CALC) %	3.58	9.16	4.17	17.87	21.1	109.68	15.31	27.91	39.71	50.34	89.23	18.57	149.86	48.15	107.68
C.V. (ESTR) %	32.1	13.22	4.24	17.85	12.1	71.26	48.95	29.61	35.55	28.98	51.28	16.11	97.85	46.34	56.43

C525 - Cultivar 1; HS7777 - Cultivar 2; (L) - Livre; (UF) - Unido Facilmente visível; (UD) - Unido Difícilmente visível; (M_p) - Maciço microagregado.

* Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tuckey ao nível de 0,05 de probabilidade. para Cultivar, Calcário e Estrutura.

Tabela 8 - Comparação entre Médias da Interação entre Calcário e Estrutura

FATORES	Ca		Mg mmol _c dm ⁻³		Al		SB		m %		V %	
T0 x (L)	40,27 a	B	18,32 a	B	31,00 b	A	61,75 a	B	33,64 bc	A	28,82 b	B
T0 x (UF)	31,13 a	B	17,97 a	B	35,75 b	A	69,00 a	B	41,98 b	A	32,58 a	B
T0 x (UD)	21,14 a	B	4,30 b	B	67,60 a	A	19,40 b	B	72,37 ab	A	8,36 bc	B
T0 x (M _μ)	9,16 a	B	2,57 b	B	62,31 a	A	9,67 b	B	82,06 a	A	4,42 c	B
T3 x (L)	87,92 a	A	48,63 a	A	7,87 b	B	127,62 a	A	5,34 c	B	60,81 a	A
T3 x (UF)	55,78 ab	B	51,48 a	A	5,50 b	B	125,50 a	A	4,80 c	B	63,18 a	A
T3 x (UD)	23,35 bc	B	10,03 b	B	54,12 a	A	53,75 b	B	60,94 b	A	28,93 b	B
T3 x (M _μ)	7,83 c	B	2,90 b	A	59,56 a	A	10,75 c	B	82,84 a	A	5,68 b	B

T0 - sem calcário; T3 - com calcário; (L) - Livre; (UF) - Unido Facilmente visível; (UD) - Unido Dificilmente visível; (M_μ) - Maciço microagregado.

* Médias seguidas de mesma letra minúscula (estrutura) não diferem entre si pelo teste de Tuckey ao nível de 0,05 de probabilidade.

** Médias seguidas de mesma letra maiúscula (calcário) não diferem entre si pelo teste de Tuckey ao nível de 0,05 de probabilidade.

Os resultados apresentados na tabela 6 mostram, também, os valores analíticos nas profundidades de 15-30 cm e 30-50 cm. O que se pode observar é que, com excessão do pH, os outros atributos tiveram valores maiores na camada de 15-30 cm, nos dois tratamentos, mostrando as condições naturais em que o solo se encontra, especialmente pela presença da matéria orgânica.

No geral, observou-se baixa fertilidade natural do solo e elevada saturação por Al (Tabela 1), o que mostrou a necessidade de se fazer a correção. Apesar da baixa fertilidade natural, da baixa saturação por bases e da elevada saturação por alumínio, o pH não teve grandes alterações, como reflexo da alta concentração de matéria orgânica (Tabela 7). Isso indica que o calcário teve atuação mais eficiente na camada superficial 0-15 cm. Na profundidade 15-30 cm, percebe-se ainda a ação do calcário, quando se

analisa as concentrações de cálcio e magnésio, mas, de 30-50 cm, a ação do calcário foi quase nula, pois o pH, a saturação por bases, a saturação por alumínio e as concentrações de cálcio e magnésio não variaram entre os tratamentos com e sem calcário (Tabela 6).

4.3 Calcário e as modificações químicas ocorridas por tipo de agregado no solo

Avaliou-se as alterações químicas provocadas pelo calcário nos 4 tipos de agregados, sendo que os resultados obtidos estão nas tabelas 8, 9, 10, 11, 12. Dentro de uma mesma profundidade, existem vários tipos de agregados, os quais possuem atributos químicos diferentes.

A coleta das amostras de terra para as análises químicas em laboratório foram feitas em dois estádios do desenvolvimento do milho. Uma amostragem foi feita na elongação e outra, no pleno florescimento, para que se pudesse acompanhar as variações químicas ocorridas no solo durante o período de condução do experimento.

Observa-se maior soma de bases e maior saturação por bases nos tratamentos T3 (10,5 t ha⁻¹), independente da cultivar, mostrando um efeito fundamental do calcário (Tabela 7).

Analisando-se a saturação por bases por tipo de agregado na tabela 8, observa-se que houveram variações significativas, onde o agregado (UF) apresentou-se com maior saturação por bases, seguido pelo agregado (L).

Tabela 9. Análises químicas dos agregados no perfil cultural no estágio de alongação, para o cultivar C525M, nos tratamentos T0 (sem calcário) e T3 (com calcário).*

TR.	AGR.	pH	Ca	Mg	K	S	Al	CTC	P	M.O.	m	V
		CaCl ₂		mmolc dm ⁻³					mg dm ⁻³	g dm ⁻³	%	
T0	LIVRE	4,1	26,9	14,7	2,6	44,2	45,7	235,0	5,00	71,3	50,8	18,92
T0	UF	4,1	25,4	13,8	2,2	41,4	44,1	231,0	5,22	81,8	51,6	18,40
T0	UD	4,0	17,2	9,3	1,8	28,3	58,8	222,0	2,15	65,2	67,5	10,02
T0	Mμ	4,0	5,7	2,8	1,3	9,8	53,5	213,0	1,27	54,2	84,5	4,30
T3	LIVRE	5,0	78,6	42,8	2,6	124	13,6	219,0	8,02	86,7	9,80	67,15
T3	UF	5,0	88,6	51,0	2,4	142	1,9	200,0	8,05	81,9	1,31	56,77
T3	UD	4,6	39,9	15,1	1,9	56,9	32,0	202,0	5,10	74,2	35,9	30,75
T3	Mμ	4,2	8,0	3,8	0,8	12,6	47,3	189,0	0,57	56,6	78,9	6,75

TR.= Tratamentos; AGR.= Tipos de Agregados; T0 = sem calcário; T3 = com calcário (10,5 t ha⁻¹)

* DATA DA AMOSTRAGEM 22-12-93;

Tabela 10. Análises químicas dos agregados observados no perfil cultural no estágio de pleno florescimento, para o cultivar C525M, nos tratamentos T0 (sem calcário) e T3 (com calcário).*

TR.	AGR.	pH	Ca	Mg	K	S	Al	CTC	P	M.O.	m	V
		CaCl ₂		mmolc dm ⁻³					mg dm ⁻³	g dm ⁻³	%	
T0	LIVRE	4,3	24,7	12,6	3,8	41,1	35,3	196	6,20	71,9	46,2	23,16
T0	UF	4,2	39,1	16,4	2,1	57,6	36,0	229	7,67	87,0	38,4	25,87
T0	UD	4,8	9,1	4,5	1,7	15,3	68,5	232	2,95	60,3	81,7	6,67
T0	Mμ	4,1	3,9	1,7	0,8	6,4	55,7	183	1,00	33,7	89,7	3,90
T3	LIVRE	5,0	49,9	29,7	2,8	82,4	17,6	177	4,47	64,9	17,6	53,35
T3	UF	5,2	73,4	40,6	2,0	116,0	14,0	162	8,12	68,7	10,8	67,67
T3	UD	4,3	15,4	7,7	1,5	24,6	48,7	163	2,75	57,1	66,4	18,10
T3	Mμ	4,2	6,5	2,4	0,9	9,8	60,2	184	1,00	41,4	86,0	8,02

TR.= Tratamentos; AGR.= Tipos de Agregados; T0 = sem calcário; T3 = 10,5 t ha⁻¹ de calcário

* DATA DA AMOSTRAGEM 23-02-94;

Tabela 11. Análises químicas dos agregados observados no perfil cultural no estágio de alongação, para o cultivar HS7777, nos tratamentos T0 (sem calcário) e T3 (com calcário).*

TR.	AGR.	pH	Ca	Mg	K	S	Al	CTC	P	M.O.	m	V
		CaCl ₂	nmolc dm ⁻³						mg dm ⁻³	g.dm ⁻³	%	
T0	LIVRE	4,6	50,3	26,5	2,3	79,1	29,1	219	6,50	83,5	26,9	38,7
T0	UF	4,8	61,9	32,3	2,2	96,1	24,5	222	6,65	81,7	20,3	46,8
T0	UD	4,2	16,1	12,7	1,8	30,6	49,7	229	2,55	72,8	61,9	17,8
T0	Mμ	4,1	5,8	2,6	0,9	9,3	52,2	203	0,62	52,9	84,9	4,5
T3	LIVRE	5,3	83,2	45,5	2,3	131	6,8	201	7,27	81,9	4,94	64,6
T3	UF	5,1	66,6	38,4	2,0	107	11,5	199	6,27	79,7	9,68	56,1
T3	UD	4,5	30,2	18,6	1,3	50,1	38,8	213	3,15	71,0	43,6	27,1
T3	Mμ	4,5	4,9	2,7	1,2	8,8	53,3	196	0,52	48,3	85,8	4,62

TR.= Tratamentos; AGR.= Tipos de Agregados; T0 = sem calcário; T3 = 10,5 t ha⁻¹ de calcário

* DATA DA AMOSTRAGEM 23-12-93;

Tabela 12. Análises químicas dos agregados observados no perfil cultural no pleno florescimento, para o cultivar HS7777, nos tratamentos T0 (sem calcário) e T3 (com calcário).*

TR.	AGR.	pH	Ca	Mg	K	S	Al	CTC	P	M.O.	m	V
		CaCl ₂	nmolc dm ⁻³						mg dm ⁻³	g.dm ⁻³	%	
T0	LIVRE	4,6	52,8	21,3	3,5	77,6	17,0	211	12,55	7,51	18,0	36,37
T0	UF	5,2	41,1	22,1	1,6	64,8	27,3	186	4,87	61,6	29,6	43,40
T0	UD	4,6	9,2	4,1	0,9	14,2	56,1	174	1,67	45,8	79,8	12,37
T0	Mμ	4,6	6,1	2,3	0,6	9,0	51,1	139	0,87	29,6	93,5	8,87
T3	LIVRE	6,0	54,4	54,3	2,3	111,0	2,1	204	5,85	65,8	1,85	76,15
T3	UF	4,0	75,9	49,5	1,6	127,0	7,2	189	5,61	63,2	5,01	68,87
T3	UD	4,3	7,8	4,9	1,1	13,8	56,2	235	1,80	47,9	80,3	5,95
T3	Mμ	4,1	3,4	2,0	0,9	6,3	51,7	222	1,12	33,1	89,1	3,00

TR.= Tratamentos; AGR.= Tipos de Agregados; T0 = sem calcário; T3 = 10,5 t ha⁻¹ de calcário

* DATA DA AMOSTRAGEM 23-02-94;

Ao comparar-se os agregados (L) e (UF), verifica-se que não houve variação significativa, mas estes dois agregados se diferenciaram significativamente dos agregados (UD) e (M_{11}). Houveram diferenças significativas quando compararam-se os agregados (UD) e (M_{11}), destacando-se o agregado (UD), o qual apresentava maior saturação por bases do que o agregado (M_{11}).

Para a soma de bases e saturação por bases, houve interação significativa entre cultivar e calcário, e calcário e agregado. Observou-se a análise estatística para a interação cultivar e calcário (Tabela 13), constatou-se que a soma de bases somente teve variação significativa quando comparou-se o solo em que se plantou o cultivar C525 nos tratamentos com e sem calcário, onde foi verificado que o tratamento com calcário apresentava maior soma de bases. A saturação por bases também teve variação significativa quando fez-se a comparação dos resultados de análise das parcelas com o cultivar C525 nos tratamentos com e sem calcário, onde o tratamento com calcário apresentou-se com maior saturação por bases.

Tabela 13 - Comparação entre Médias da Interação entre Cultivar e Calcário

FATORES	DENS. kg dm ⁻³	AL	m%	SB	V
C525 x SEM CALCÁRIO	1,28 a A	48,46 a A	51,55 b A	29,46 a A	12,88 b A
C525 x COM CALCÁRIO	1,32 a A	25,20 b A	25,25 a B	81,67 b A	40,08 a A
HS7777 x SEM CALCÁRIO	1,29 a B	36,46 a B	42,33 a B	53,87 a A	25,88 a A
HS7777 x COM CALCÁRIO	1,27 a B	31,16 a A	37,27 a A	71,00 a A	36,09 a A

C525 - Cultivar 1; HS7777 - Cultivar 2;

* Médias seguidas de mesma letra minúscula (cultivar) não diferem entre si pelo teste de Tuckey ao nível de 0,05 de probabilidade.

** Médias seguidas de mesma letra maiúscula (calcário) não diferem entre si pelo teste de Tuckey ao nível de 0,05 de probabilidade.

Na tabela 8 é analisada estatisticamente a interação calcário agregado. Pôde-se constatar que houve variação significativa na saturação por bases dos agregados (L) e (UF) entre os tratamentos com e sem calcário. Neste caso, a saturação por bases dos agregados nos tratamentos com calcário são maiores do que nos tratamentos sem calcário.

Para o tratamento sem calcário, o agregado (UF) apresentou maior saturação por bases seguido de (L), o qual apresentou a segunda maior saturação por bases.

O fato do agregado (UD) não ter sofrido ação do calcário, provavelmente, esteja ligado ao seu estado físico, que se apresentou com baixa porosidade, diâmetros de poros bastante reduzidos e alta densidade (Roth et al. 1988). Nestas condições, existe a dificuldade da solução do solo permear esses agregados, dificultando assim o contato das partículas minerais com as substâncias responsáveis pela correção da acidez e a insolubilização do alumínio trocável.

A CTC não variou significativamente, quando fez-se a comparação entre as parcelas com cultivar C525 e HS7777, mas entre os tratamentos com e sem calcário observou-se variação significativa. Na comparação feita entre agregados não se verificou nenhuma variação significativa na CTC (Tabela 7). Constatou-se, também, não haver interação significativa para este atributo químico do solo.

As concentrações de matéria orgânica não variaram entre os tratamentos, mas no período entre as coletas das amostras de terra, que se processou de 22-12-93 até 23-02-94, houve diminuição nas concentrações de matéria orgânica no solo (Tabelas 9, 10, 11 e 12). Dentro dos diferentes tipos

de agregados, verificou-se variação nos teores de matéria orgânica, mas em determinados casos, essa variação não foi significativa (Tabela 7).

Os agregados (L) e (UF) possuíam maiores concentrações de matéria orgânica que os (UD) e ($M\mu$), mas entre si, não se diferenciaram muito. Isso se deve às diferentes profundidades em que se encontram os agregados. De 0 a 30 cm, estão localizados os agregados (L), (UF) e (UD), enquanto que a média de profundidade do agregado ($M\mu$) é maior que 30 cm (Tabelas 7, 9, 10, 11 e 12). Por esse motivo, somente o agregado $M\mu$ sofre pouca ou quase nenhuma ação do calcário.

As concentrações de fósforo aumentaram, em média, com a calagem, confirmando a ação do calcário sobre a disponibilidade de fósforo (Tabela 7). Entre o estágio de alongação e o de pleno florescimento, não houve variação nas concentrações de fósforo.

Os agregados (L) e (UF) possuíam concentrações de fósforo bem maiores que os (UD) e ($M\mu$). Comparando-se as concentrações de fósforo entre (UD) e ($M\mu$), observa-se que elas são maiores, em média, nos agregados (UD), provavelmente, por este agregado estar localizado a uma profundidade média menor que 30 cm. Sendo assim, o agregado (UD) está mais sujeito às alterações químicas provocadas pelos adubos e corretivos, que o agregado ($M\mu$).

As concentrações de potássio não variaram entre os tratamentos, bem como durante o período de amostragem. Entretanto, dentro dos diferentes tipos de agregados, houve uma variação importante das concentrações de potássio.

O agregado (UF) possui maiores concentrações de potássio que os agregados (UD) e (M μ) e, fazendo-se uma comparação entre (UD) e (M μ), observa-se que as concentrações de potássio são maiores, em média, no agregado (UD).

Para a interação significativa entre cultivar e agregado, as concentrações de potássio no solo variaram significativamente nos agregados (UF) e (UD), quando é feita a comparação entre os cultivares C525 e HS7777 (Tabelas 7 e 14). Dentro do cultivar C525, não houve variação significativa entre os agregados (L), (UF) e (UD), que somente se diferenciaram significativamente do agregado (M μ), o qual apresentou a menor média.

Tabela 14 - Comparação entre médias da Interação Cultivar e Agregados

FATORES	%RZ	CA	MG	K	AL	m%
C525 x L	95.28 a A	51.38 a A	28.75 a A	2.53 a A	29.31 b A	26,17 b A
C525 x UF	91.77 a A	26.30 a A	30.97 a A	2.27 a A	26.07 b A	30,45 b A
C525 x UD	72.23 b A	29.00 a A	11.82 b A	2.06 a A	39.33 ab A	47,84 ab A
C525 x M μ	55.21 c A	34.17 a A	3.30 b A	0.96 b A	50.44 a A	56,75 a A
HS7777 x L	74.46 a B	76.81 a A	38.21 a A	2.98 a A	9.56 b B	7,49 b B
HS7777 x UF	51.23 b B	57.10 a A	33.70 a A	1.55 b B	19.50 b A	17,43 b A
HS7777 x UD	24.07 c B	8.65 b A	4.41 b A	1.08 bc B	55.71 a A	79,75 a A
HS7777 x M μ	8.82 d B	4.80 b A	2.17 b A	0.82 c A	51.44 a A	86,84 a A

C525 - Cultivar 1; HS7777 - Cultivar 2;

* Médias seguidas de mesma letra minúscula (estrutra) não diferem entre si pelo teste de Tuckey ao nível de 0,05 de probabilidade.

** Médias seguidas de mesma letra maiúscula (cultivar) não diferem entre si pelo teste de Tuckey ao nível de 0,05 de probabilidade.

O cálcio e o magnésio variaram entre os tratamentos, sendo que as concentrações superiores encontram-se no tratamento com 10,5 t ha⁻¹ de calcário. Houve variação das concentrações de cálcio e magnésio, também no período entre as amostragens na elongação e no pleno florescimento.

O que se verificou foi que os agregados (L) e (UF) contêm mais cálcio e magnésio que os agregados (UD) e (M μ). Comparando-se (UD) e (M μ), as concentrações de cálcio e magnésio são superiores nos agregados (UD), como pode-se observar nas tabelas 7, 8 e 14. Para as concentrações de cálcio e magnésio no solo, houve interação significativa entre cultivares e estruturas, e entre calcário e estruturas. Para a interação cultivares e estruturas para as concentrações de cálcio e magnésio no solo, foi observado que não houve variação significativa, quando comparou-se as concentrações de cálcio e magnésio no solo em C525 e HS7777 (Tabela 14).

Analisando-se as concentrações de cálcio e magnésio dentro dos agregados, observou-se que as concentrações de cálcio mantiveram-se sem variação significativa dentro das parcelas cultivadas com C525, mas que, para o cultivar HS7777, houve variação e os agregados (L) e (UF) destacaram-se dos agregados (UD) e (M μ). Quando comparados entre si, (L) e (UF) não apresentaram variações significativas nas concentrações de cálcio e tiveram médias superiores a (UD) e (M μ), os quais, quando comparados entre si, também não tiveram variações significativas (Tabela 14).

Quando analisou-se as concentrações de magnésio por agregado constatou-se que, tanto para as parcelas com o cultivar C525, quanto para as com o cultivar HS7777, houveram variações significativas. Quando comparou-se os agregados entre si, observou-se que tanto (L), quanto (UF) apresentaram concentrações de magnésio sem diferenças significativas. Mas quando estes dois agregados foram comparados com (UD) e (M μ), constatou-se que houve uma diferença significativa nas concentrações de magnésio. No entanto,

quando comparou-se os agregados (UD) e (M μ), constatou-se, novamente, que não havia diferença significativa.

Como já foi mencionado, houve interação significativa, também, para calcário e agregados, para as concentrações de cálcio e magnésio nos agregados (Tabela 8). Analisou-se as concentrações de cálcio dentro dos tratamentos com e sem calcário, para cada tipo de agregado, onde constatou-se que somente houve variação significativa nas concentrações de cálcio para o agregado (L), onde o tratamento com calcário destacou-se do tratamento sem calcário. Nos outros agregados, não houve variação significativa.

Dentro da interação calcário e agregados, comparou-se também as concentrações de cálcio por tipo de agregado, em cada um dos dois tratamentos, como é apresentado na tabela 8. Constatou-se que as concentrações de cálcio somente tiveram variações para o tratamento sem calcário, onde os agregados (L) e (UF) não se diferenciaram significativamente, sendo que (L) apresentou uma concentração de cálcio, maior que (UF).

Aprofundando-se nas análises, constatou-se que (UF) e (UD) não se diferenciaram significativamente quanto às concentrações de cálcio, mas que os agregados (UF) possuíam concentrações de cálcio maiores que (UD). Os agregados (UD) diferenciaram-se significativamente dos agregados (L), mas não diferenciaram-se dos (M μ), sendo que (UD) apresentou concentrações de cálcio maiores que (M μ).

Quanto às concentrações de magnésio no solo, dentro da interação calcário e estruturas, constatou-se que (L) e (UF) não se destacaram significativamente, quando comparados entre si, tanto no tratamento com, como no tratamento sem calcário. Os agregados (L) e (UF) possuíam

significativamente mais magnésio que os agregados (UD) e (M μ). Os agregados (UD) e (M μ), quando comparados entre si, não apresentaram diferenças significativas quanto às concentrações de magnésio.

O pH não variou significativamente entre os tratamentos com e sem calcário, provavelmente, pelas altas concentrações de matéria orgânica, que exercem efeito tampão sobre o pH. O mesmo ocorreu, quando fez-se comparações entre os agregados. Não observou-se variações, também, dentro do período de amostragem (Tabela 7).

As concentrações de alumínio trocável no solo variaram, tanto entre os tratamentos, quanto dentro do período que foi da elongação até o pleno florescimento. Quando foram feitas as análise estatísticas observou-se, também, haver três interações significativas, sendo os cultivares e o calcário a primeira interação, cultivar e estrutura a segunda interação, e calcário e estrutura a terceira interação. O calcário reduziu as concentrações de alumínio, embora não tenha anulado o alumínio presente no solo, houve redução até concentrações consideradas não tóxicos para as plantas (Tabelas 6, 7, 9, 10, 11 e 12).

No tratamento sem calcário, os agregados os quais apresentaram maiores concentrações de alumínio foram (UD) e (M μ), e os agregados (L) e (UF) apresentaram concentrações menores de alumínio, só que com diferenças significativas somente quando foram comparados (UD) e (M μ) com (L) e (UF) . Talvez, essa menor concentração de alumínio trocável nos agregados (L) e (UF) seja devida às maiores concentrações de matéria orgânica, que complexam o alumínio, e devido às concentrações mais elevadas de cálcio, magnésio e potássio (Tabela 7, 9, 10, 11 e 12). Dentro do tratamento com

calcário, as maiores concentrações de alumínio trocável ocorreram nos agregados (UD) e (M μ), sendo que as concentrações nestes agregados ainda são consideradas tóxicas (Fageria, 1988).

Para o alumínio trocável, houve interação significativa para os cultivares e calcário, calcário e agregados, e cultivares e agregados. Para a interação cultivares e calcário, somente houve variação significativa para o cultivar C525, onde o tratamento com calcário apresentou a menor concentração de alumínio trocável. Quando comparou-se os dois cultivares, somente o tratamento sem calcário variou significativamente, sendo que o cultivar C525 apresentou-se com as maiores concentrações de alumínio trocável (Tabela 13).

Para a interação calcário e agregados, quando comparou-se os tratamentos sem calcário e com calcário, observou-se que somente houve variação significativa nas concentrações de alumínio trocável para os agregados (L) e (UF). Nesse caso, observou-se a ação corretiva do calcário, pois o tratamento com calcário apresentou um valor quase nulo de alumínio trocável para estes dois agregados, quando comparado com o tratamento sem calcário (Tabela 8).

Quando analisou-se dentro dos tratamentos com e sem calcário, verificou-se que somente houve variação significativa nas concentrações de alumínio trocável ao serem comparados os agregados (L) e (UF) com (UD) e (M μ). Sendo que os agregados (L) e (UF) não tiveram variações significativas entre si, mas diferenciaram dos agregados (UD) e (M μ). Para a interação cultivares e agregados, observou-se que, comparando-se os cultivares C525 e HS7777, somente houve variação significativa nas concentrações de alumínio

trocável para o agregado (L), onde a concentração de alumínio trocável para o agregado (L), para o cultivar HS7777 foi significativamente menor que a concentração de alumínio trocável no agregado (L), para o cultivar C525.

Ainda na interação cultivares e agregados, comparando-se os agregados dentro do cultivar C525, observou-se que as concentrações de alumínio trocável foram significativamente maiores em (UD) e (M_{μ}).

A saturação por alumínio (m%), no tratamento sem calcário para os cultivares C525 e HS7777, encontra-se em patamares tóxicos (Fagéria, 1988), em todos os tipos de agregados (L, UF, UD e M_{μ}) e não houve variação entre os resultados de análise obtidos no estágio de alongação do milho e no pleno florescimento, como observa-se nas tabelas 9, 10, 11 e 12. Comparando-se os tipos de agregados, a saturação por alumínio e as concentrações de alumínio no solo são maiores em (UD e M_{μ}) do que em (L e (UF), (Tabelas 7, 9, 10, 11 e 12).

O efeito da correção do solo foi observado quando analisou-se a saturação por alumínio no tratamento com calcário, para ambos os cultivares, na alongação e no pleno florescimento. Os agregados (L) e (UF) sofreram uma diminuição na saturação por alumínio bastante acentuada, como observa-se nas tabelas 7, 9, 10, 11 e 12.

Quando analisou-se a saturação por alumínio, apresentados na tabela 7, verificou-se que o agregado (L) apresentou a menor média para a saturação por alumínio, seguido dos agregados (UF), (UD) e (M_{μ}), respectivamente. Na análise de saturação por alumínio nos agregados, houve interação significativa, onde cultivares e calcário é a primeira, cultivares e estruturas é a segunda, e calcário e agregados é a terceira interação.

Analisando-se a interação cultivares e calcário, observa-se que para o cultivar C525 houve variação significativa na saturação por alumínio, quando comparamos os tratamentos com e sem calcário. O tratamento sem calcário apresentou a maior média para a saturação por alumínio (Tabela 13). Para o cultivar HS7777 não houve variação significativa, quando compara-se os tratamentos com e sem calcário.

Quando comparou-se os dois cultivares, verificou-se que o cultivar C525, no tratamento sem calcário, apresentou saturação por alumínio maior que HS7777 e, para o tratamento com calcário, o cultivar HS7777 apresentou saturação por alumínio significativamente maior que em C525 (Tabela 13).

Quando analisou-se a interação cultivares e agregados para a saturação por alumínio, verificou-se que, quando comparou-se os cultivares C525 com HS7777, somente houve variação significativa para o agregado (L), onde o agregado (L) do solo sob cultivar C525 apresentou-se com saturação por alumínio mais elevada do que o agregado (L) para o solo sob cultivar HS7777. Analisando-se os agregados do solo sob os cultivares C525 e HS7777, verificou-se que os agregados (UD) e (M_{μ}) apresentaram os maiores saturações por alumínio, quando comparados com os agregados (L) e (UF).

Para a interação calcário e agregados, a saturação por alumínio, quando comparada aos tratamentos com e sem calcário, somente variou significativamente nos agregados (L) e (UF). E para estes dois agregados, no tratamento com calcário, a saturação por alumínio apresentou-se baixa, quando comparada com o tratamento sem calcário, graças à ação do calcário na correção da acidez (Tabela 14). Quando analisou-se as variações dentro do tratamento sem calcário verificou-se que os agregados (UD) e (M_{μ})

apresentaram-se com alta saturação por alumínio, enquanto que os agregados (L) e (UF) apresentaram baixa saturação por alumínio (Tabela 14).

Quando analisou-se as variações dentro do tratamento com calcário, verificou-se que os agregados (L) e (UF) não se diferenciaram significativamente, e apresentaram-se com baixa saturação por alumínio, o que não era tóxico às plantas, no entanto, os agregados (UD) e (M_μ) não se diferenciaram significativamente, e apresentaram-se com alta saturação por alumínio (Tabela 14). Essa saturação por alumínio elevada nesses dois agregados, interferiu no desenvolvimento radicular, de forma a reduzi-lo.

4.4 Desenvolvimento radicular

Observando-se as Tabelas 7 e 14, verifica-se que o cultivar C525 se enraizou significativamente mais que o cultivar HS7777, visto que o C525 é tolerante à acidez e à espécie iônica tóxica alumínio.

Constata-se na tabela 7 que, no tratamento com calcário, houve também um desenvolvimento radicular significativamente maior, mostrando que em ambos os cultivares, o tratamento com o calcário foi benéfico para o desenvolvimento radicular.

Para o cultivar tolerante C525, no tratamento sem calcário, o desenvolvimento radicular, medido em porcentagem por profundidade e por tipo de agregado, diminuiu, mas não tão acentuadamente, com a profundidade, como mostram a figura 6, e a tabela 7.

Observando-se o desenvolvimento radicular em relação à profundidade no tratamento sem calcário, e para o cultivar HS7777, chegou-se à conclusão de que houve um decréscimo importante no desenvolvimento radicular, como verifica-se na figura 2 e na tabela 7.

O maior decréscimo no desenvolvimento radicular pode estar relacionado com o fato do cultivar HS7777 ser sensível aos efeitos fitotóxicos do alumínio e às demais substâncias ácidas do solo (Furlani & Berton, 1992 e Furlani, 1993). Como a sensibilidade ao alumínio por parte do cultivar HS7777 é maior, quanto menor for a profundidade, maior será o desenvolvimento radicular, pois tem-se maior soma de bases, resultado da maior concentração de matéria orgânica, a qual, por possuir maior CTC que os minerais do solo, consegue reter mais cátions.

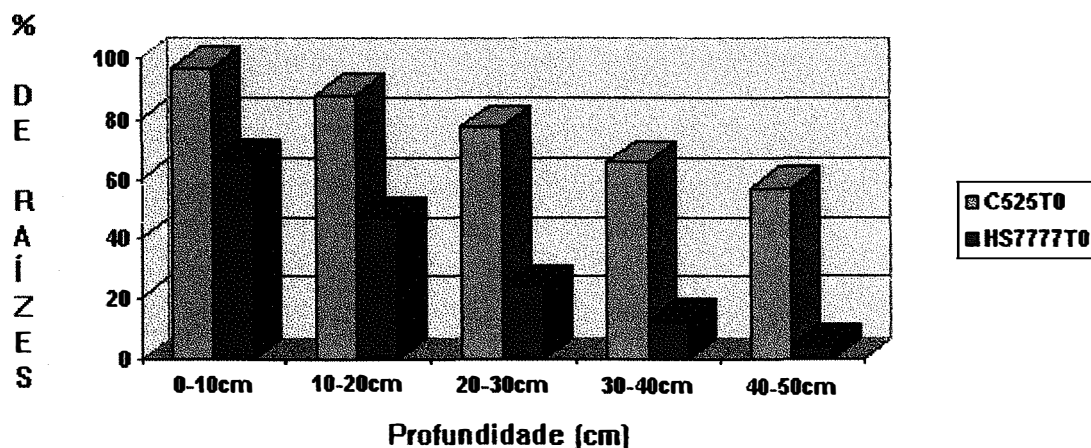


Figura 6 - Desenvolvimento radicular dos cultivares de milho C525 e HS7777, (em % por profundidade), para o tratamento T0 (sem calcário)

No entanto, para os tratamentos com calcário, o cultivar HS7777 também apresentou menor quantidade de raízes do que C525 (Figura 7 e Tabela 7), mostrando assim, que mesmo com o solo corrigido, mesmo com pouca acidez existente, baixa concentração de alumínio, mesmo a saturação por bases estando próximo do normal, o cultivar sensível HS7777 não teve o seu desenvolvimento radicular afetado. Isso vem reforçar o quanto a cultura de milho é exigente em solo corrigido (Arnon, 1975).

Para o tratamento com calcário, a redução no desenvolvimento radicular, com o aumento da profundidade, foi acentuada para ambos os cultivares, o que é normal, pois o solo foi corrigido até 20 cm, e o ambiente mais propício para que as raízes desenvolvam-se logicamente encontra-se nesta profundidade. Todavia, quando analisou-se a figura 7, constatou-se que a redução no desenvolvimento radicular com a profundidade foi muito mais acentuada para o cultivar HS7777 do que para C525.

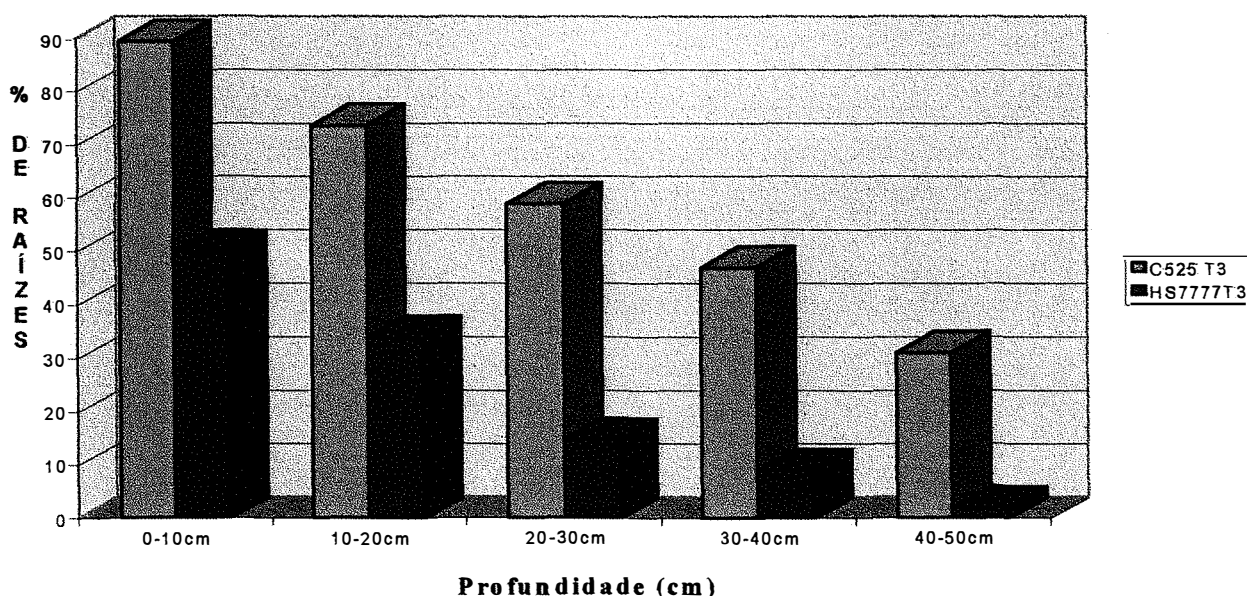


Figura 7. - Desenvolvimento radicular dos cultivares de milho C525 e HS7777, (em % por profundidade), para o tratamento T3 (com calcário).

Observando-se o desenvolvimento radicular por tipo de agregado, verifica-se variações significativas, tanto dentro de calcário, quanto para os cultivares, como pode ser observado nas tabelas 7, 14, 15 e figura 8.

Na tabela 14, verifica-se que houve diferença significativa de desenvolvimento radicular dentro de agregados e cultivares. Para o cultivar tolerante, o desenvolvimento radicular deu-se sem diferença significativa para os agregados (L) e (UF), os quais apresentaram as maiores médias de porcentagem de raízes.

O desenvolvimento radicular nestes dois agregados (L) e (UF) diferenciou-se do desenvolvimento radicular no agregado (UD), o qual apresentou a segunda maior média, mostrando assim, que mesmo estando na profundidade de ação do calcário, não sofreu ação corretiva do mesmo, pois constata-se que este tipo de agregado é o mais denso do perfil, e sendo o mais denso era de se esperar que possuía uma porosidade deficitária, alta descontinuidade de poros, baixa aeração e diâmetro de poros muito pequeno.

Estando o agregado (UD) nestas condições, terá dificuldade em ser permeado pela solução do solo, que nessas profundidades, pelo fato do solo ter tido aplicação de calcário, essa solução é rica em substâncias as quais reagem com os ácidos do solo e complexam-se com o alumínio.

Se a solução do solo, rica em substâncias básicas, não permeia o agregado, é óbvio que as partículas de minerais, as quais o compõem, não estejam corrigidas, e se não foram corrigidas, estão ácidas e com altas concentrações de alumínio tóxico. Logo, as raízes não se desenvolverão bem nesse agregado.

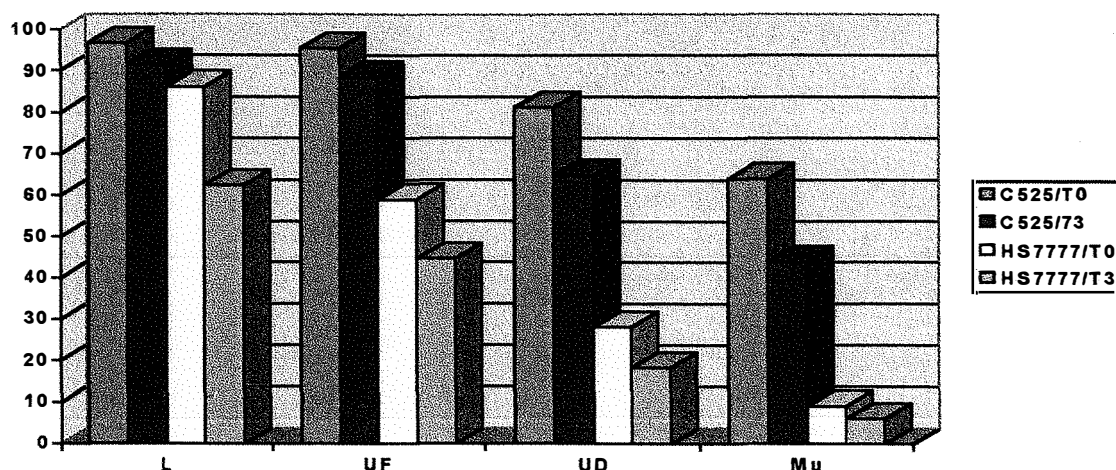


Figura 8 - Porcentagem de raízes por tipo de agregado, para os cultivares C525 e HS7777, nos tratamentos T0 (sem calcário) e T3 (com calcário).

Para o cultivar HS7777, sensível à acidez e a certas espécies iônicas do alumínio, houve diferença significativa entre todos os tipos de agregados, como mostra a tabela 14, onde o agregado (L) apresentou a maior média, destacando-se dos demais agregados. O agregado (UF) apresentou a segunda maior média de porcentagem de raízes, seguido por (UD) e (Mμ).

Na tabela 15, foi observado o agregado (L) para o tratamento sem calcário (T0), para os dois cultivares, e verificou-se que não houve variação significativa no desenvolvimento radicular. No tratamento T3, houve variação significativa, onde as raízes do cultivar C525 desenvolveram-se mais que as da HS7777. Comparando-se os tratamentos para cada cultivar, tanto em C525 como em HS7777, verificou-se variações significativas, sendo que o crescimento radicular do cultivar HS7777 somente não foi afetado significativamente pela calagem no agregado (Mμ).

O mais importante é que, quando compara-se os agregados (L) e (UF), observa-se que houve uma redução drástica no desenvolvimento radicular para os dois cultivares dentro do agregado (UF), o que não ocorre em (L), mostrando a ação diferenciada de cada agregado no desenvolvimento das raízes.

Quando observa-se o desenvolvimento radicular no agregado (UD), na tabela 15 e figura 8, conclui-se que houve variações, tanto entre os tratamentos, quanto entre os cultivares, sendo que no tratamento com calcário os dois cultivares tiveram melhores desenvolvimentos do sistema radicular.

Pelo fato do agregado (UD) aparecer na profundidade de 0 a 20 cm, profundidade em que também aparecem os agregados do tipo (L e UF), pode-se então inferir que este tipo de agregado deveria ter sofrido as alterações químicas provocadas pela reação do calcário contra as condições ácidas do solo. Mas como comprovam os resultados de análises químicas (Tabelas 6, 9, 10 e 11), não houve influência do calcário nos atributos químicos deste agregado.

Entendeu-se que se o agregado (UD) tivesse sofrido essas alterações, provavelmente não estaria impedindo, ou provocando, um menor desenvolvimento do sistema radicular, a menos que houvesse algum patógeno, parasita ou praga no solo. Como não foram observadas pragas, parasitas ou patógenos no solo enquanto se conduzia o experimento, pode ser que haja algum problema de ordem química e/ou física no agregado (UD). Estes fatores serão analisados mais adiante.

Tabela 15. Desenvolvimento radicular (em %) para os cultivares, tratamentos e agregados do tipo L, UF, UD e M μ (médias de 4 repetições).

Tipos de Agregados	Cultivares	Tratamentos	
		T0	T3
		% de enraizamento	
L	C525	96,80 a*A**	91,40 aA**
	HS7777	86,20 a*A	62,40 bB
UF	C525	95,50 aA	88,60 aB
	HS7777	58,90 bA	44,70 bB
UD	C525	81,30 aA	65,00 aB
	HS7777	28,10 bA	18,30 bB
M μ	C525	64,00 aA	0,44 aB
	HS7777	9,00 bA**	6,00 bA**

*Médias para cultivares (colunas) seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste t-Student ao nível de 0,05 de probabilidade. **Médias para tratamentos (linha) seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si, pelo teste t-Student ao nível de 0,05 de probabilidade.

Para o agregado (M μ), como observa-se na tabela 15 e figura 8, o desenvolvimento radicular variou significativamente entre os cultivares, mas entre os tratamentos, somente teve variação significativa para o cultivar C525.

O agregado (M μ) foi o que mostrou-se como o ambiente mais inadequado para o desenvolvimento radicular (Figura 8), talvez por encontrar-se em profundidades elevadas, abaixo de 25 cm, fazendo com que este tipo de agregado não sofresse ação do calcário, tendo menor aeração e menores concentrações de nutrientes e matéria orgânica.

Os agregados que mostraram-se como o melhor ambiente para o desenvolvimento radicular foram (UF) e (L), independente do tratamento (Figura 7) e os que não mostraram-se ser bons ambientes para o desenvolvimento radicular foram o (UD) e (M μ).

O agregado (M μ) indubitavelmente aparecerá sempre no fundo do perfil, pois é o estado natural dos Latossolos, pelo menos no que tange ao estado físico. Quanto mais fundo aparecer a interface de contato com os outros agregados, mais profundas foram feitas as arações, subsolagens e escarificações.

O agregado (UD) mostrou ser o ambiente menos favorável para o desenvolvimento radicular, como revela a figura 8. A redução no desenvolvimento radicular é mais acentuada para o cultivar HS7777, o qual é sensível ao alumínio, à acidez do solo e às baixas saturações por bases. Este agregado, juntamente com o (M μ), como pode-se observar nas tabelas 6, 9, 10 e 11, possui maiores concentrações de alumínio e menores saturações por base do que os agregados (UF) e (L).

Estas concentrações elevadas de alumínio, podem estar ligadas à baixa porosidade, relacionada ao adensamento das partículas, como mostra a tabela 16, que deve dificultar a circulação da solução do solo pelo agregado. Se não há circulação da solução, não há contato das partículas de solo, contidas nesse agregado com as partículas corretivas do calcário.

Observando-se o desenvolvimento radicular correlacionado ao impedimento mecânico, podemos utilizar a densidade dos agregados para melhor entender esta interação entre solo e planta.

Tabela 16. Densidade do solo (em kg dm^{-3}) para os agregados (L), (UF), (UD) e ($M\mu$), obtidos nos tratamentos T0 (sem calcário) e, T3 (com calcário), para os cultivares de milho C525 e HS7777.

Tipos de Agregados	Cultivares	Tratamentos	
		T0	T3
L	C525	1,240 aA**	1,250 aA**
	HS7777	1,190 bB**	1,165 bB**
UF	C525	1,320 a*A	1,310 aB
	HS7777	1,323 a*A	1,302 bB
UD	C525	1,422 bB	1,499 aA
	HS7777	1,495 aB	1,440 bA
$M\mu$	C525	1,159 aA	1,160 aB
	HS7777	1,145 bA	1,159 bB

*Médias para cultivares (colunas) seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste t-Student ao nível de 0,05 de probabilidade.

**Médias para tratamentos (linha) seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste t-Student ao nível de 0,05 de probabilidade.

Pode-se verificar na tabela 7 que o agregado (UD) apresenta a maior densidade, onde a média é de $1,47 \text{ kg dm}^{-3}$, sendo que o agregado (UF) apresenta a segunda maior média, $1,33 \text{ kg dm}^{-3}$, seguido pelo agregado (L) com a média de $1,21 \text{ kg dm}^{-3}$ e ($M\mu$) com a menor média $1,16 \text{ kg dm}^{-3}$. Constata-se a alta densidade do agregado (UD), o qual apresenta menor desenvolvimento radicular, maiores concentrações de alumínio, menores concentrações de cálcio e magnésio, menor SB e menor V% que (L) e (UF), agregados que se apresentam nos perfis nas mesmas profundidades que (UD).

Observando-se as tabelas 8 e 16, conclui-se que a densidade não variou de forma significativa entre os tratamentos, mas, comparando-se entre

as subparcelas (cultivares), houve variações. A partir das médias das densidades entre os cultivares, conclui-se que o sistema radicular do cultivar HS7777 sofreu menos com os problemas de densidade.

Os efeitos da densidade dos agregados no desenvolvimento radicular dos cultivares foram positivos para (L) e (UF) (Tabela 16 e Figura 8), já o agregado (UD) influenciou na diminuição do desenvolvimento radicular. Para agregado ($M\mu$), o desenvolvimento radicular foi menor que em (UD), mas isto não está ligado à densidade, e sim à profundidade em que se encontra este tipo de agregado (Figuras 2 a 5).

O agregado (UF), presente na Tabela 16, apresenta variações pouco significativas nas densidades entre os tratamentos, mostrando que o calcário não agiu como um agente dispersante das partículas minerais do solo, e sim aumentando a estabilidade dos agregados, como constataram Roth et al. (1986). Para o agregado (UF), além da densidade ficar em um patamar não prejudicial ao desenvolvimento radicular, de acordo com Gil & Bolt (1955), a saturação por alumínio nesse agregado está abaixo dos patamares considerados tóxicos, de acordo com Furlani & Berton (1992). Este tipo de agregado ocorre a uma profundidade média de ação do calcário e possui condições físicas que permitem que seja permeado pela solução do solo, sendo corrigido pelas partículas do calcário, que circulam pelo solo por fluxo de massa.

A densidade de cada tipo de agregado influenciou o desenvolvimento do sistema radicular. Dentre eles, os que mais influenciaram de forma negativa, foram o (UD) e ($M\mu$). Conforme pode-se observar nas tabelas 7 e 16, o agregado mais denso é o (UD), apresentando uma média de

1,47kg dm⁻³. Esta densidade elevada se traduz em uma barreira física para o desenvolvimento radicular e uma barreira física para o contato das partículas do solo com as partículas corretivas do calcário. Apesar de se encontrar em uma profundidade média, onde há ação do calcário, este tipo de agregado apresenta alta saturação em alumínio, como mostram os resultados de análise nas tabelas 6, 9, 10 e 11.

Os agregados (L) e (M μ) apresentaram densidade média de 1,20 kg dm⁻³ e 1,15 kg dm⁻³ (Tabela 16). Sendo assim, são os agregados menos densos no perfil, e ambos apresentaram variações significativas na densidade entre os tratamentos. Apesar de terem apresentado, em média, a densidade em patamares aceitáveis pela planta (1,20 kg dm⁻³), de acordo com Gil & Bolt (1955) esse tipo de agregado apresenta-se, na natureza, pulverizado, ou seja, o diâmetro médio destes agregados varia de 2 mm até 2 cm, tendo predominância dos agregados com diâmetros menores. Por se apresentarem de forma pouco coesa, os agregados (L) têm períodos de secamento e molhamento muito rápidos, e também apresentam variações bruscas de temperatura. Sendo assim, não é um ambiente tão bom para o desenvolvimento radicular quanto o (UF).

Para o agregado (L), em períodos de chuvas intensas, onde a precipitação pluviométrica é maior que a infiltração de água no solo, ocorrendo, então, alagamento ou carregamento de agregados em solos declivosos, este tipo de agregado pode propiciar a formação do selamento, o que pode dificultar a germinação de sementes.

4.5 Influência das concentrações de alumínio no solo sobre o estado nutricional das plantas

Avaliou-se o estado nutricional das plantas, comparando-o com as características e as propriedades do solo. Em cada tipo de agregado observou-se a concentração em alumínio e avaliou-se a influência no estado nutricional das plantas, como pode-se observar nas tabelas 17 e 18.

A correlação da concentração de alumínio trocável e saturação por alumínio, com a maioria das concentrações de nutriente nas plantas, não teve significância, isto indica que em alguns casos o alumínio não exerce influência sobre a absorção dos nutrientes, e quando exerce influência é sobre os nutrientes fósforo, ferro, zinco e cobre. O alumínio e a saturação em alumínio dos agregados também teve correlação negativa significativa para o fator produção de grãos de milho (Quadros 1, 2, 3 e 4).

A correlação do alumínio no solo com o alumínio na planta foi positiva para todos os agregados nos dois cultivares, sendo assim, conforme aumenta a concentração de alumínio no solo, maior a concentração na planta. Apesar da correlação ter sido positiva, não apresentaram significância estatística, a não ser para o agregado (M_{μ}), onde a saturação por alumínio apresentou significância estatística a nível de 5% (Quadros 1, 2, 3 e 4).

As concentrações de alumínio nas folhas das plantas (Tabela 21), foram consideradas muito altas (Costa, 1995; Furlani, 1993), sendo que o cultivar C525, teve concentrações mais elevadas em suas folhas que o HS7777, devido ao fato do mesmo ser tolerante ao alumínio.

Com o aumento das concentrações de alumínio na planta (Tabelas 19 e 20 e os Quadros 1, 2, 3 e 4), houve uma diminuição significativa das concentrações de cálcio, magnésio, potássio e fósforo, chegando a concentrações consideradas insatisfatórias (Malavolta et al. 1989).

Tabela 17. Concentração dos elementos no solo cultivado com C525

BLO.	TR.	AGR.	-----mmolc.dm-3-----				
			Ca	Mg	Al	K	P
BI	T0	LIVRE	26,5	16,6	42,0	3,2	2,7
BI	T0	UF	23,8	14,4	42,5	1,9	4,2
BI	T0	UD	12,6	8,1	58,5	3,7	2,4
BI	T0	Mm	3,8	2,3	49,5	1,3	0,7
BI	T3	LIVRE	120,4	44,6	1,0	2,6	10,2
BI	T3	UF	73,3	43,3	1,6	2,6	10,0
BI	T3	UD	85,3	38,7	1,5	2,3	6,6
BI	T3	Mm	24,8	11,7	31,0	0,9	1,1
BII	T0	LIVRE	16,9	8,4	50,5	2,8	5,3
BII	T0	UF	13,9	6,3	56,0	2,5	3,8
BII	T0	UD	3,8	2,1	49,5	1,1	0,7
BII	T0	Mm	1,7	0,8	47,0	0,7	0,2
BII	T3	LIVRE	47,8	28,4	17,5	2,5	6,2
BII	T3	UF	89,5	45,3	1,5	2,0	7,1
BII	T3	UD	7,1	5,2	61,0	1,1	0,9
BII	T3	Mm	1,2	0,9	48,0	0,7	0,2
BIII	T0	LIVRE	45,8	25,3	35,5	2,1	6,0
BIII	T0	UF	42,3	24,2	22,5	1,9	6,7
BIII	T0	UD	37,7	18,8	63,3	1,3	2,3
BIII	T0	Mm	13,0	5,6	60,0	1,3	2,8
BIII	T3	LIVRE	97,9	66,6	2,0	1,9	8,8
BIII	T3	UF	70,8	52,7	2,5	2,7	7,20
BIII	T3	UD	6,0	3,2	51,5	1,3	1,4
BIII	T3	Mm	2,0	0,8	57,5	0,8	0,5
BIV	T0	LIVRE	18,7	8,5	55,0	2,4	6,0
BIV	T0	UF	21,7	10,5	55,5	2,5	6,2
BIV	T0	UD	14,7	8,5	64,0	1,3	3,2
BIV	T0	Mm	4,4	2,5	57,5	1,0	1,4
BIV	T3	LIVRE	48,6	31,6	34,0	2,8	6,9
BIV	T3	UF	121,2	63,4	2,0	2,4	7,9
BIV	T3	UD	61,2	13,6	14,0	2,9	11,5
BIV	T3	Mm	4,2	1,8	53,0	1,0	0,5

BLO.= Blocos (repetições); TR.= Tratamentos; AGR.= Tipos de Agregados;
T0 = sem calcário; T3 = com calcário (10,5t ha⁻¹)

* DATA DA AMOSTRAGEM 23-02-94;

Tabela 18. Concentração dos elementos no solo cultivado com HS7777

BLO.	TR.	AGR.	Ca	Mg	Al	K	P
			-----mmolc.dm-3-----				
BI	T0	LIVRE	17,4	6,7	34,5	4,0	23,20
BI	T0	UF	10,2	4,8	58,5	1,8	3,40
BI	T0	UD	4,9	2,7	51,5	1,1	0,09
BI	T0	Mm	3,0	1,3	43,0	1,0	0,20
BI	T3	LIVRE	44,9	33,6	4,0	2,2	4,30
BI	T3	UF	68,2	49,7	2,0	1,4	5,55
BI	T3	UD	7,3	4,2	55,5	1,3	0,70
BI	T3	Mm	4,2	2,2	49,5	1,3	0,50
BII	T0	LIVRE	60,3	22,1	10,0	4,2	10,50
BII	T0	UF	54,0	39,7	2,5	1,3	5,50
BII	T0	UD	15,0	6,7	59,0	1,1	3,10
BII	T0	Mm	12,9	4,9	59,0	0,7	0,70
BII	T3	LIVRE	109,0	62,7	1,0	2,8	4,70
BII	T3	UF	96,9	58,1	1,0	1,4	5,10
BII	T3	UD	11,8	8,8	44,5	1,1	1,90
BII	T3	Mm	4,2	3,3	53,5	0,9	1,20
BIII	T0	LIVRE	50,6	11,5	16,5	4,0	10,20
BIII	T0	UF	48,2	10,3	37,0	1,7	5,30
BIII	T0	UD	9,5	1,9	54,5	0,7	1,40
BIII	T0	Mm	5,6	1,1	49,5	0,3	1,40
BIII	T3	LIVRE	107,3	58,0	2,0	2,3	7,0
BIII	T3	UF	53,3	32,1	23,0	1,5	6,50
BIII	T3	UD	5,4	3,0	66,5	0,8	1,60
BIII	T3	Mm	2,1	1,1	57,5	0,9	1,20
BIV	T0	LIVRE	83,0	47,5	7,0	1,9	6,30
BIV	T0	UF	52,3	33,6	11,5	1,9	5,30
BIV	T0	UD	7,5	5,2	59,5	1,0	2,10
BIV	T0	Mm	3,1	2,1	53,0	0,7	1,20
BIV	T3	LIVRE	142,0	63,6	1,5	2,5	7,40
BIV	T3	UF	84,8	57,3	3,0	1,3	5,30
BIV	T3	UD	6,7	3,6	58,5	1,5	3,00
BIV	T3	Mm	3,3	1,4	46,5	0,8	1,60

BLO.= Blocos (repetições); TR.= Tratamentos; AGR.= Tipos de Agregados;
T0 = sem calcário; T3 = com calcário (10,5t ha⁻¹)

* DATA DA AMOSTRAGEM 23-02-94;

Tabela 19. Concentração dos elementos nas plantas do cultivar C525

BLO.	TR.	-----kg 100kg ⁻¹ -----				
		Al	Mg	Ca	K	P
BI	T0	97,0	1,20	2,40	20,60	1,40
BI	T3	23,5	4,60	4,40	16,40	2,20
BII	T0	50,5	1,00	2,80	20,60	1,40
BII	T3	41,0	6,60	3,40	23,10	2,00
BIII	T0	37,5	1,30	3,20	20,30	1,40
BIII	T3	31,5	4,40	3,50	18,80	2,00
BIV	T0	56,0	0,80	3,10	21,90	1,50
BIV	T3	39,0	3,10	3,40	23,60	1,90

BLO.= Blocos (repetições); TR.= Tratamentos;
T0 = sem calcário; T3 = com calcário (10,5t ha⁻¹)
* DATA DA AMOSTRAGEM 23-02-94;

Tabela 20. Concentração dos elementos nas plantas do cultivar HS7777

BLO.	TR.	-----kg 100kg ⁻¹ -----				
		Al	Mg	Ca	K	P
BI	T0	76,0	0,8	2,9	14,8	1,2
BI	T3	20,0	4,0	3,6	8,8	1,2
BII	T0	77,5	1,4	3,2	13,7	1,0
BII	T3	37,5	3,8	3,4	11,5	1,2
BIII	T0	47,5	1,4	3,4	14,3	1,0
BIII	T3	33,0	3,3	3,1	11,8	1,0
BIV	T0	72,0	1,0	3,2	12,9	1,1
BIV	T3	26,0	3,7	3,6	10,3	1,2

BLO.= Blocos (repetições); TR.= Tratamentos;
T0 = sem calcário; T3 = com calcário (10,5t ha⁻¹)
* DATA DA AMOSTRAGEM 23-02-94;

Ficou claro que a alta saturação em alumínio no solo influenciou na diminuição da absorção de dois nutrientes essenciais à qualidade das raízes. Estes dois elementos são o cálcio e o potássio os quais atuam na parede celular e na membrana plasmática das células. Quando estão em baixas concentrações nestes dois órgãos das células influenciam negativamente na divisão e alongação celular.

A absorção de fósforo mostrou-se ser inibida pela presença de alumínio nos agregados, pois para todos os agregados observou-se haver correlação negativa (Quadros 1, 2, 3 e 4). Isto ocorreu pois, o fósforo em solos não corrigidos, geralmente, estão na forma iônica não disponíveis às plantas, como constataram Thornton et al. (1986) e Adams & Lund (1966). Outra forma de inibição é pela concorrência direta pelo sítio de absorção.

Para o cultivar HS7777, tanto no tratamento T0, quanto no tratamento T3, houve correlação positiva entre o alumínio trocável no solo, e a concentração de alumínio na planta para os agregados (L), (UF), (UD) e (M μ), como pode-se observar nos quadros 1, 2, 3 e 4.

A correlação entre alumínio nos agregados e potássio na planta foi positiva para a maioria dos agregados, exceto no agregado (M μ). De acordo com Malavolta et al. (1989), as concentrações de cálcio, magnésio, potássio e fósforo nas plantas para os tratamentos com calcário podem ser consideradas satisfatórios para os dois cultivares, como observa-se nas tabelas 21 e 22.

Sendo assim, as plantas não apresentaram, no tratamento com calcário, concentrações deficitárias de nutrientes em seus tecidos, portanto estiveram aptas a produzirem satisfatoriamente, a menos que outros fatores viessem a interferir.

Quadro 1 - Coeficiente e Nível de Significância das correlações feitas entre alguns atributos do agregado (L) e alguns atributos da planta (*altamente significativo)

	PLANTA	N	Ca	Mg	Al	K	P	B	Fe	Zn	Cu	Mn	PROD
SOLO													
MAT. ORG.	Coeficiente	0,0659	0,0908	-0,152	-0,208	0,197	0,007	0,163	-0,605	-0,372	0,039	0,373	0,0466
	Nível de Significância	0,8083	0,7379	0,574	0,4389	0,4641	0,98 *	0,5456	0,013	0,1564	0,8852	0,154	0,864
DENSIDADE	Coeficiente	0,4901	0,0432	-0,093	-0,083	0,44	0,465	0,029	0,0143	0,207	0,319	-0,09	0,5955
	Nível de Significância	0,054	0,8736	0,7327	0,7611	0,0883	0,0693	0,9146	0,96	0,4427	0,2279	0,733	0,0149
pH	Coeficiente	-0,14	0,6764	0,5558	-0,458	-0,605	0,059	-0,61	0,0984	0,015	-0,441	-0,57	0,1101
	Nível de Significância	0,6043	0,004	0,0254	0,0743	0,0131	0,8293	0,013	0,7169	0,96 *	0,0873	0,022	0,6848
Ca	Coeficiente	-0,153	0,6339	0,4936	-0,592	-0,528	0,027	-0,61	-0,0909	-0,224	-0,463	-0,53	0,071
	Nível de Significância	0,5717	0,0084	0,052	0,0382	0,0355	0,9209	0,118	0,7377	0,4042	0,0712	0,033	0,7937
Mg	Coeficiente	-0,034	0,4881	0,5905	-0,544	-0,445	0,12	-0,58	-0,1742	-0,22	-0,288	-0,65	0,1225
	Nível de Significância	0,90	0,0551	0,016	0,0293	0,0841	0,6583	0,018	0,05187	0,0412	0,2791	0,006	0,6514
Al	Coeficiente	0,3222	-0,642	-0,593	0,485	0,703	-0,066	0,779	0,0036	0,252	0,519	0,62	-0,017
	Nível de Significância	0,0223	0,074	0,0155	0,0572	0,0024	0,81	0,0004	0,99 *	0,0347	0,0039	0,010	0,95 *
m%	Coeficiente	0,2732	-0,477	-0,611	0,361	0,911	-0,001	0,931	0,0017	0,277	0,478	0,599	-0,033
	Nível de Significância	0,5013	0,0816	0,0227	0,0133	0,0121	0,85	0,007	0,99*	0,339	0,0288	0,017	0,93
H+AL	Coeficiente	0,0817	-0,674	-0,626	0,486	0,545	-0,117	0,65	-0,0432	-0,008	0,374	0,597	-0,168
	Nível de Significância	0,7636	0,042	0,094	0,056	0,292	0,0666	0,064	0,87	0,97*	0,1533	0,015	0,5336
K	Coeficiente	-0,37	-0,258	-0,385	0,528	-0,071	-0,354	0,092	0,6103	0,069	-0,217	0,31	-0,361
	Nível de Significância	0,158	0,3342	0,1406	0,0358	0,7945	0,1791	0,7335	0,012	0,7987	0,419	0,243	0,1702
P	Coeficiente	-0,042	-0,476	-0,35	0,701	0,113	-0,065	0,064	0,4211	-0,033	-0,055	0,221	-0,055
	Nível de Significância	0,87	0,0622	0,1839	0,0025	0,0067	0,81	0,81	0,1043	0,90	0,84	0,411	0,84
SB	Coeficiente	0	0,7355	0,588	-0,535	-0,477	0,212	-0,65	-0,0429	-0,081	-0,347	-0,55	-0,244
	Nível de Significância	0	0,0012	0,0164	0,0328	0,0618	0,4297	0,0061	0,87	0,7645	0,1878	0,026	0,362
CTC	Coeficiente	0,2405	-0,252	-0,454	0,169	0,479	0,156	0,373	-0,2306	-0,216	0,284	0,452	0,0826
	Nível de Significância	0,3696	0,3465	0,0775	0,531	0,0602	0,5646	0,1552	0,3902	0,4228	0,2868	0,079	0,7611
V	Coeficiente	-0,06	0,7115	0,5915	-0,497	-0,53	0,147	-0,64	0,0339	-0,015	-0,37	-0,57	0,1912
	Nível de Significância	0,82	0,002	0,0158	0,0501	0,0347	0,587	0,77	0,90	0,96 *	0,1589	0,205	0,4781

Quadro 2 - Coeficiente e Nível de Significância das correlações feitas entre alguns atributos do agregado (UF) e alguns atributos da planta (*altamente significativo)

SOLO	PLANTA	N	Ca	Mg	Al	K	P	B	Fe	Zn	Cu	Mn	PROD
MAT. ORG.	Coeficiente	-0,2414	0,3119	-0,1899	-0,292	-0,149	-0,284	-0,259	-0,5118	-0,518	-0,329	0,359	-0,1856
	Nível de Significância	0,4058	0,2776	0,5154	0,3118	0,6119	0,3247	0,85	0,0614	0,058	0,2501	0,208	0,5253
DENSIDADE	Coeficiente	0,1206	-0,039	-0,4062	0,227	0,3124	0,0351	0,3360	0,2968	0,3253	0,0647	0,480	0,1015
	Nível de Significância	0,6814	0,89	0,1495	0,4360	0,2768	0,90	0,2402	0,3029	0,2564	0,82	0,082	0,7300
pH	Coeficiente	-0,0183	0,4721	0,5044	-0,145	-0,145	0,071	-0,260	0,1771	0,0620	0,0823	-0,42	0,019
	Nível de Significância	0,95 *	0,0883	0,0658	0,6209	0,6204	0,81	0,3691	0,5447	0,83	0,7796	0,136	0,94
Ca	Coeficiente	-0,339	0,4333	0,5140	-0,293	-0,528	-0,290	-0,489	-0,1706	0,0390	-0,332	-0,373	-0,2733
	Nível de Significância	0,2479	0,1217	0,0601	0,3100	0,0522	0,3145	0,0757	0,5599	0,89	0,2457	0,188	0,3445
Mg	Coeficiente	0,1819	0,7040	0,7195	-0,53	-0,148	0,3529	-0,438	0,0671	-0,146	0,021	-0,67	0,3108
	Nível de Significância	0,5337	0,0049	0,0037	0,050	0,6147	0,2159	0,1185	0,82	0,6184	0,94	0,009	0,2795
Al	Coeficiente	-0,0765	-0,7109	-0,687	0,4407	0,2113	-0,238	0,5167	-0,0245	0,0911	0,0715	0,549	-0,2378
	Nível de Significância	0,7948	0,0044	0,0066	0,1147	0,4683	0,4133	0,0585	0,93	0,75	0,81	0,042	0,4130
m%	Coeficiente	-0,0832	-0,0413	-0,0143	0,0111	0,3375	-0,101	0,3189	-0,0012	0,0567	0,0514	0,515	-0,0983
	Nível de Significância	0,81	0,7018	0,7957	0,8913	0,3781	0,5153	0,1731	0,96 *	0,86	0,87	0,291	0,8513
H+AL	Coeficiente	-0,1189	-0,6025	-0,6141	0,2580	0,1334	-0,269	0,3831	-0,1261	-0,049	-0,107	0,535	-0,2146
	Nível de Significância	0,6855	0,0226	0,0195	0,3732	0,6494	0,3522	0,1763	0,6675	0,86	0,7154	0,049	0,4613
K	Coeficiente	0,7578	-0,1288	-0,0295	-0,068	0,7780	0,7298	0,4777	-0,2359	0,2305	0,7483	0,185	0,6752
	Nível de Significância	0,0017	0,6609	0,92	0,81	0,0011	0,0030	0,0841	0,4168	0,4279	0,0021	0,526	0,0081
P	Coeficiente	0,2661	-0,6531	-0,1286	0,5581	0,2770	0,0968	0,0572	-0,1396	0,1113	0,0682	0,275	0,2710
	Nível de Significância	0,3579	0,0113	0,6613	0,0381	0,3377	0,7420	0,84	0,6342	0,7048	0,81	0,341	0,3487
SB	Coeficiente	0,1207	0,6604	0,5277	-0,284	-0,062	0,3028	-0,362	0,0926	-0,200	0,1147	-0,43	0,2404
	Nível de Significância	0,6810	0,0102	0,0524	0,3257	0,83	0,2926	0,2032	0,7529	0,4928	0,6963	0,123	0,4076
CTC	Coeficiente	-0,1332	-0,3216	-0,5833	0,1055	0,1413	-0,195	0,2939	-0,1624	-0,437	-0,083	0,473	-0,1693
	Nível de Significância	0,6499	0,2622	0,0285	0,7196	0,6298	0,5039	0,3078	0,5790	0,1214	0,7780	0,087	0,5628
V	Coeficiente	0,1243	0,6407	0,6037	-0,257	-0,097	0,2932	-0,353	0,1289	-0,023	0,1329	-0,48	0,2240
	Nível de Significância	0,6721	0,0136	0,0223	0,3749	0,7404	0,3089	0,2160	0,6605	0,94	0,6507	0,083	0,4414

Quadro 3 - Coeficiente e Nível de Significância das correlações feitas entre alguns atributos do agregado (UD) e alguns atributos da planta (*altamente significativo)

SOLO	PLANTA	N	Ca	Mg	Al	K	P	B	Fe	Zn	Cu	Mn	PROD
MAT. ORG.	Coeficiente	-0,0679	0,2783	0,1221	-0,228	-0,100	0,073	-0,265	0,0596	-0,650	-0,136	-0,281	0,1725
	Nível de Significância	0,8257	0,3572	0,6910	0,4524	0,7448	0,8124	0,3809	0,8467	0,0160	0,6581	0,353	0,5732
DENSIDADE	Coeficiente	0,3456	0,1175	0,1561	0,2934	0,3100	0,4035	0,3061	0,5295	0,2649	0,3626	-0,101	0,4196
	Nível de Significância	0,2475	0,7022	0,6105	0,3305	0,3026	0,1715	0,3091	0,0628	0,3818	0,2234	0,744	0,1535
pH	Coeficiente	0,1587	0,6727	0,3638	-0,558	-0,226	0,3243	-0,622	-0,1396	-0,080	-0,051	-0,495	0,4744
	Nível de Significância	0,6046	0,0118	0,2217	0,0474	0,4567	0,2797	0,0232	0,6492	0,7940	0,87	0,085	0,1014
Ca	Coeficiente	0,4792	0,5929	0,2034	-0,231	0,2692	0,5897	-0,19	0,1622	0,1283	0,2458	-0,268	0,6776
	Nível de Significância	0,097	0,0327	0,5051	0,4477	0,3739	0,034	0,5311	0,5966	0,6763	0,4183	0,375	0,0109
Mg	Coeficiente	0,4821	0,6417	0,2908	-0,227	0,1452	0,5929	-0,321	0,1037	0,3128	0,1781	-0,332	0,7115
	Nível de Significância	0,0951	0,0181	0,3351	0,4552	0,6361	0,0316	0,2848	0,7361	0,2980	0,5605	0,268	0,0064
Al	Coeficiente	-0,5184	-0,5828	-0,1659	0,2913	-0,300	-0,636	0,177	-0,1414	-0,174	-0,351	0,357	-0,6710
	Nível de Significância	0,0695	0,0366	0,5881	0,3343	0,3184	0,0194	0,5623	0,6450	0,5695	0,2396	0,231	0,0120
m%	Coeficiente	-0,2300	-0,063	-0,0981	0,189	-0,547	-0,084	0,372	-0,411	-0,142	-0,372	0,389	-0,591
	Nível de Significância	0,3512	0,7213	0,689	0,634	0,218	0,778	0,4738	0,5812	0,614	0,489	0,314	0,4141
H+AL	Coeficiente	-0,2252	-0,6254	-0,3364	0,5497	0,1194	-0,360	0,5282	0,1457	0,0355	-0,024	0,453	-0,5075
	Nível de Significância	0,4596	0,0223	0,2611	0,0517	0,6976	0,2265	0,0635	0,6348	0,91	0,94	0,120	0,0767
K	Coeficiente	0,5209	-0,1354	-0,0751	0,3174	0,4734	0,4188	0,1451	0,0051	0,0421	0,2909	0,100	0,5031
	Nível de Significância	0,0680	0,6593	0,81	0,2907	0,1023	0,1544	0,6362	0,99 *	0,89	0,3348	0,746	0,080
P	Coeficiente	0,4178	0,3644	0,1187	-0,167	0,3634	0,4641	0,0079	0,1877	-0,117	0,2513	-0,16	0,4947
	Nível de Significância	0,1554	0,2209	0,6992	0,586	0,2223	0,1101	0,98 *	0,5391	0,7021	0,4075	0,603	0,0857
SB	Coeficiente	0,1301	0,5998	0,2832	-0,464	-0,182	0,2888	-0,529	-0,0526	-0,180	-0,051	-0,465	0,4499
	Nível de Significância	0,6719	0,0302	0,3485	0,1096	0,5509	0,3387	0,0628	0,86	0,5554	0,87	0,11	0,1230
CTC	Coeficiente	0,1342	-0,1190	-0,2051	0,4247	0,2517	0,1141	0,2755	0,2068	0,2115	0,2625	0,290	-0,0095
	Nível de Significância	0,6620	0,6986	0,5015	0,1480	0,4069	0,7106	0,3623	0,4978	0,4879	0,3863	0,335	0,98 *
V	Coeficiente	0,1401	0,6179	0,3039	-0,482	-0,198	0,3001	-0,558	-0,076	-0,138	-0,049	-0,468	0,4580
	Nível de Significância	0,6481	0,0244	0,3127	0,0954	0,5164	0,3192	0,0476	0,81	0,652	0,87	0,107	0,1155

Quadro 4 - Coeficiente e Nível de Significância das correlações feitas entre alguns atributos do agregado (M₁₁) e alguns atributos da planta

	PLANTA	N	Ca	Mg	Al	K	P	B	Fe	Zn	Cu	Mn	PROD
SOLO													
MAT. ORG.	Coeficiente	0,1511	0,0713	-0,1112	-0,154	0,1250	0,1230	0,0366	-0,3502	-0,02	0,1012	0,025	0,1838
	Nível de Significância	0,5763	0,7930	0,6817	0,5678	0,6446	0,6498	0,89	0,1836	0,94	0,7092	0,927	0,4956
DENSIDADE	Coeficiente	0,2153	0,4002	0,2648	-0,536	0,0506	0,2201	-0,215	-0,3893	0,2583	0,0805	-0,30	0,3355
	Nível de Significância	0,4232	0,1246	0,3217	0,0322	0,85	0,4126	0,4241	0,1361	0,3340	0,7669	0,261	0,204
pH	Coeficiente	-0,0146	0,2850	0,0745	-0,383	-0,146	-0,011	-0,269	-0,2286	-0,057	-0,312	-0,10	0,0585
	Nível de Significância	0,96*	0,2846	0,7840	0,1428	0,5879	0,97*	0,3133	0,3944	0,83	0,2395	0,702	0,83
Ca	Coeficiente	0,2856	-0,012	-0,3099	-0,043	0,3797	0,1313	0,6849	-0,205	0,1779	0,297	0,402	0,1640
	Nível de Significância	0,2836	0,96*	0,2427	0,87	0,1469	0,6279	0,0034	0,4468	0,5099	0,265	0,122	0,5439
Mg	Coeficiente	0,2531	0,5786	0,0997	-0,165	-0,023	0,3403	-0,167	0,1332	0,3981	-0,045	-0,18	0,4946
	Nível de Significância	0,3442	0,0189	0,7133	0,5423	0,93	0,1971	0,536	0,6229	0,1267	0,87	0,513	0,0515
Al	Coeficiente	-0,1813	-0,4320	-0,2597	0,1384	0,0788	-0,363	0,3973	-0,0943	-0,136	0,0121	0,314	-0,3728
	Nível de Significância	0,5015	0,0947	0,3313	0,6092	0,7716	0,1672	0,1275	0,7342	0,6221	0,96*	0,236	0,1549
m%	Coeficiente	-0,2728	-0,2819	-0,1098	0,0859	0,0011	0,0198	0,2312	-0,0752	-0,100	0,0897	0,547	0,2129
	Nível de Significância	0,5314	0,3816	0,5816	0,7889	0,96*	0,86	0,3114	0,87	0,7372	0,96*	0,089	0,3946
H+AL	Coeficiente	-0,1891	-0,4879	-0,5358	0,2726	0,1219	-0,38	0,4034	-0,3944	-0,412	-0,052	0,523	-0,354
	Nível de Significância	0,4831	0,0552	0,0324	0,3071	0,6528	0,1466	0,1213	0,1306	0,113	0,85	0,036	0,1791
K	Coeficiente	0,2098	-0,1875	-0,0450	0,0140	0,1047	0,1160	0,1171	0,0195	0,0048	0,1164	-0,21	0,2090
	Nível de Significância	0,4354	0,4868	0,87	0,96*	0,6695	0,6689	0,6659	0,94	0,98*	0,6678	0,426	0,4372
P	Coeficiente	-0,1597	0,1510	-0,2311	-0,210	-0,137	-0,244	0,0305	-0,419	-0,107	-0,295	0,179	-0,101
	Nível de Significância	0,96*	0,5766	0,3892	0,4339	0,6122	0,3630	0,95*	0,1066	0,6923	0,2673	0,507	0,7090
SB	Coeficiente	0,1343	0,656	0,0920	-0,312	-0,14	0,2637	-0,313	-0,1248	0,1489	-0,140	-0,168	0,4562
	Nível de Significância	0,6201	0,0058	0,7348	0,2394	0,6053	0,3237	0,2370	0,6451	0,5821	0,603	0,533	0,0757
CTC	Coeficiente	-0,1351	-0,2016	-0,5017	0,1355	0,0555	-0,271	0,2646	-0,4584	-0,357	-0,121	0,454	-0,1562
	Nível de Significância	0,6178	0,4540	0,0477	0,6167	0,84	0,3096	0,3221	0,0741	0,1746	0,6547	0,077	0,5634
V	Coeficiente	0,1534	0,6975	0,1656	-0,341	-0,165	0,3037	-0,355	-0,0784	0,1742	-0,140	-0,238	0,4876
	Nível de Significância	0,5707	0,0027	0,5398	0,1963	0,5410	0,2528	0,1769	0,7729	0,5188	0,6055	0,374	0,0554

4.6 Produção

Sabe-se que, devido às modificações físicas, químicas e biológicas provocadas pelo calcário, é difícil definir quais dos fatores foi responsável pelo aumento de produção. Segundo Quaggio (1986), o calcário apresenta efeito direto sobre os elementos tóxicos alumínio e manganês, além do que adiciona o cálcio e magnésio como nutrientes para as plantas.

A produção foi a forma utilizada para avaliar-se as interações entre a raiz e o solo, visto que o solo e a raiz não podem ser estudados de forma isolada, pois além de interagirem entre si, o solo e a raiz interagem com o ar, com a água, com o calor, com os nutrientes adicionados pelos adubos e corretivos, com as pragas, com as doenças, e o mais importante, interage indiretamente com o homem, o qual é o principal interessado nessas relações.

As análises de variâncias da produção de grãos dos dois cultivares de milho C525 (tolerante à toxidez de alumínio e à acidez do solo) e HS7777 (sensível à toxidez de alumínio e à acidez do solo), submetidos a duas dosagens de calcário no solo estão presentes nas tabelas 21 e 22. A produção foi maior para o cultivar C525, como pode-se constatar na tabela 22, onde a produção foi em média de 6.844 kg ha⁻¹ de grãos, enquanto que o cultivar sensível à acidez HS7777 produziu uma média de 1525 kg ha⁻¹ de grãos.

Como a significância da interação se deu em segundo nível, ou seja, quando fez-se a análise estatística da interação dos cultivares com os tratamentos com e sem calcário, deve-se então fazer o desdobramento da análise de variância (Tabela 21) para realizar-se um diagnóstico mais seguro da significância das variações na produção.

Para a interação entre o cultivar e os tratamentos com ou sem calcário houve variação significativa quando se comparam os cultivares. Para o cultivar C525 o tratamento com calcário apresentou significativamente maior produção quando comparada com o tratamento sem calcário. No entanto, para o cultivar HS7777 não houve variação significativa na produção, sendo que o tratamento com calcário apresentou a maior média de produção de grãos (Tabela 21).

Tabela 21 - Comparação entre médias da Interação Cultivares e Calcário

FATORES	N		K		P	CU	PROD.
	kg 100kg ¹					mg kg ⁻¹	kg ha ⁻¹
C525 - SEM CALCÁRIO	3.105 bA	20.850 aA	1.425 bA	14.500 aA	4650 bA		
C525 - COM CALCÁRIO	3.410 aA	20.475 aA	2.025 aA	15.437 aA	9038 aA		
HS7777 - SEM CALCÁRIO	2.428 aB	13.925 aB	1.075 bB	12.437 aB	833 aB		
HS7777 - COM CALCÁRIO	2.533 aB	10.600 bB	1.150 aA	11.812 aB	2216 aB		

C525 - Cultivar 1; HS7777 - Cultivar 2

* Médias seguidas de mesma letra minúscula (calcário) não diferem entre si pelo teste de Tuckey ao nível de 0,05 de probabilidade.

** Médias seguidas de mesma letra maiúscula (cultivares) não diferem entre si pelo teste de Tuckey ao nível de 0,05 de probabilidade

Fazendo-se uma análise das médias de produção por tratamento, chegamos à conclusão que o cultivar C525 (tolerante ao alumínio) superou o cultivar HS7777 (suscetível ao alumínio), em ambos os tratamentos, como se observa nas tabelas 21 e 22.

O que era esperado é que o cultivar suscetível respondesse melhor à aplicação do calcário, no entanto, houve um incremento absoluto de produção menor quando comparado aos aumentos obtidos pelo cultivar C525.

Tabela 22 - Análise de Variância do Experimento (Atributos Ligados à Planta)

FATORES	N	Ca	Mg	K	P	Al	B	Zn	Fe	Cu	Mn	Prod.
			kg 100kg ⁻¹						mg kg ⁻¹			kg ha ⁻¹
CULTIVARES												
CULTIVAR C525	3.257	3.275 a	2.875 a	20.662	1.725	47.00 a	13.125 a	44.37 a	83.35 a	14.97	38.78 a	6844 a
CULTIVAR HS7777	2.480	3.300 a	2.425 a	12.262	1.112	48.69 a	12.000 a	26.71 b	95.69 a	12.12	35.78 a	1525 b
CALCÁRIO												
SEM CALCÁRIO	2.766	3.025 b	1.112 b	17.387	1.250	64.25 a	13.250 a	37.33 a	91.78 a	13.47	42.25 a	2742 b
COM CALCÁRIO	2.971	3.550 a	4.187 a	15.537	1.587	31.44 b	11.875 b	33.76 a	87.65 a	13.62	29.31 b	5627 a
TESTE F												
CULTIVAR	1791.13**	0.03 ns	1.30 ns	338.35**	122.08**	0.09 ns	6.94 ns	27.96 *	1.35 ns	250.94 **	0.61 ns	923.75 **
CALCÁRIO	124.52**	13.10 *	60.76 **	16.41 *	37.07 **	34.18 **	10.37 *	1.14 ns	0.16 ns	0.76 ns	17.20 *	271.79 **
CULT. x CALC.	29.63*	3.59 ns	1.77 ns	10.43 *	22.42 *	1.26 ns	0.77 ns	0.43 ns	4.73 ns	18.94 *	0.07 ns	73.66 **
C.V. VAR %	1395	5.47	24.74	12.59	4.4	21.32	12.74	21.05	26.61	10.15	14.87	27.3
C.V. CAL %	2723	17.64	27.29	14.28	5.28	48.21	8.21	15.42	28.47	11.36	5.91	34.77

C525 - Cultivar 1; HS7777 - Cultivar 2; * Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tuckey ao nível de 0,05 de probabilidade. para Cultivar, Calcário.

Tabela 23. Médias de produção em kilogramas de grãos de milho por hectare dos cultivares C525 e HS7777 submetidos aos tratamentos T0 (sem calcário) e T3 (com calcário).

Tratamentos	Cultivar C525	Tratamentos	Cultivar HS7777
T0	4.650	T0	829
T3	9.038	T3	2.216

Ao observar-se os incrementos relativos de produção dos dois cultivares, pode-se tirar outra conclusão: o cultivar C525 obteve com o calcário um incremento na produção de 100%, enquanto que o cultivar HS7777 obteve 167% de aumento. No entanto, o potencial de produção para o cultivar C525 gira em torno de 9.000 kg ha⁻¹ (Furlani & Berton, 1992), e 7.000 kg ha⁻¹ para o cultivar HS7777, o que faz concluir que a resposta ao tratamento com calcário deveria ter atingido maiores produções para o cultivar HS7777.

Os cultivares se comportaram de maneira distinta. A produção do cultivar C525 atingiu os 9.000 kg ha⁻¹ de grãos, sendo que no tratamento sem calcário a produção média foi de 4.650 kg ha⁻¹ de grãos.

O cultivar HS7777, sensível ao alumínio e à acidez, produziu no tratamento sem calcário 829K g ha⁻¹ de grãos. Já no tratamento com calcário, o cultivar foi bem melhor, mas não atingiu produções satisfatórias com a concentração de tecnologia empregado, produzindo 2.216 kg ha⁻¹ de grãos (Tabela 23).

- CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos no experimento pode-se concluir que:

- O desenvolvimento radicular foi prejudicado pela alta concentração de alumínio presente nos agregados Unido Dificilmente Visível (UD) e Maciço microagregado (M_{μ});
- Apesar de localizar-se na profundidade de ação do calcário, o agregado Unido Dificilmente Visível (UD) não sofreu mudanças de pH e nem nas concentrações de alumínio e mostrou-se, quando comparado aos agregados (L) e (UF), como o que mais influenciou na redução do desenvolvimento radicular;
- O tratamento com calcário apresentou melhores produções de milho por hectare para os dois cultivares, quando comparado com o tratamento sem calcário;
- A densidade do agregado (UD) influenciou negativamente o desenvolvimento radicular dos cultivares C525 e HS7777.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, F.; HATHCOCK, P. J. Aluminium toxicity and calcium deficiency in acid subsoil horizons of two coastal plains. **Soil Science Society of America Journal**, v.48, p. 1305-1309, 1984.

ADAMS, F.; LUND, Z. F. Effect of chemical activity of soil solution aluminium on cotton root penetration of acid subsoils. **Soil Science**, v. 101, n. 3, p. 193-198, 1966.

ALEXANDER, M. **Introduction to soil microbiology**. New York: John Willey, 1961, 472p.

ARNON, I. **Mineral nutrition of mayze**. Bern: International Potash Institute, 1975. 452p.

BANDARA, B. W.; FRITTON, D. D. Directional response of corn roots to physical barriers. **Plant and Soil**, v.96, p.319-368, 1986.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, N. **Experimentação Agrícola**. 3 ed. Jaboticabal: FUNEP, 1995. 247p.

- BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1983. 48p. (IAC. Boletim Técnico, 78).
- BENNIE, A. T. P. Growth and mechanical impedance. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. **Plant root**. New York: Marcel Dekker, 1991. cap.19, p.393-414.
- BRADY, N. C. **Natureza e propriedade dos solos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 878p.
- BHÖM, W. Methods of studying root systems. Springer-vertag. **Ecol. Studies**, v.33, p.188, 1979.
- COSTA, M. C. R. Comparação de seis cultivares de milho submetidos a concentrações de alumínio em solução nutritiva. Piracicaba, 1995, 167p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo.
- DELHAIZE, E.; RYAN, P. R. Aluminium toxicity and tolerance in plants. **Plant Physiology**, v. 107, p. 315 - 321, 1995.

DEMATTÊ, J. L. I. Characteristics of Brazilian soil related to root growth. In: SYMPOSIUM ON THE SOIL/ROOT SYSTEM IN RELATION TO BRASILIAN AGRICULTURE, Londrina, 1980. **Proceedings**. Londrina: IAPAR, 1981. p.21-41.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; WRIGHT, R. J. Aluminium toxicity in crop plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.11, n.3, p.303-319, 1988.

FASSBENDER, H. W. Química de Suelos: con énfasis en suelos de América Latina. Turrialba: IICA, 1975. 398 p. (Série, 24).

FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Cartas climáticas do Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 1984. 45p.

FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **A cultura do milho no Paraná**. Londrina, 1991. 271p.

FURLANI, P. R. Tolerância de cultivares de milho ao alumínio. In: SEMINÁRIO DE MILHO "SAFRINHA", Assis, 1993. **Resumos**. Campinas: Fundação Cargill, 1993. p. 27-31.

FURLANI, P. R.; BERTON, R. S. Atividade de cálcio e alumínio e desenvolvimento radicular. In: SEMINÁRIO DE GESSO NA AGRICULTURA, 2, Uberaba, 1992. IBRAFOS, 1992. p.121-138.

- GILL, W. R.; BOLT, G. H. Pheffer's studies on the root growth pressures exerted by plants. **Agronomy Journal**, v.47, p.166-168, 1955.
- GOLDBERG, S. Factors affecting clay dispersion and aggregate stability of arid-zone soil. **Soil Science**, v.20, 1 1/12, p.1181-1207, 1988.
- GOLDBERG, S. Interaction of aluminium and iron oxides and clay mineral and their effect on soil physical properties: a review. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.20, n.11-12, 1181-1207, 1989.
- GRAUER, U. E.; HORST, W. J. Modeling cation amelioration of aluminium phytotoxicity. **Soil Science Society of America Journal**, v.56, p.166-172, 1992.
- HETHERINGTON, A. M.; TREWAVAS, A. Activation of a pea membrane protein kinase by calcium ions. **Planta**, v.161, p.409-417, 1984.
- KAMPRATH, E. J. Potential detrimental effects from liming hight weathered soil to neutrality. **Soil and Crop Science Society of Florida**, v.31, p.200-203, 1971.
- KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia; relação solo - planta**. São Paulo: Ceres, 1979. 264p.

KINCAID, R. L.; VAUGHAN, M. Direct comparison of Ca^{++} requirements for calmodulin interaction with and activation of protein phosphatase. **Proceedings Natl. Academy of Science of the USA**, v.83, p.1193-1197, Mar. 1986.

KINRAIDE, T. B. Proton extrusion by wheat roots exhibiting severe aluminium toxicity symptoms. **Plant Physiology**, v. 88, p. 418-423, 1988.

KINRAIDE, T. B. Identity of the rhizotoxic aluminium species. In: WRIGHT, R. J. ET AL. (Eds.) **Plant-soil interactions at low pH**. Amsterdam: Kluwer Academic, 1991. p.717-728.

KINRAIDE, T. B.; ARNOLD, R. C.; BALIGAR, V. C. A rapid assay for aluminium phytotoxicity at submicromolar concentrations, **Physiologia Plantarum**, v. 65, p. 245-250, 1985.

KINRAIDE, T. B.; PARKER, D. R. Cation amelioration of aluminium toxicity in wheat. **Plant Physiology**, v. 83, p.546-551, 1987a.

KINRAIDE, T. B.; PARKER, D. R. Non-phytotoxicity of the aluminium sulfate ion AlSO_4^+ . **Physiologia Plantarum**. v. 71, p. 207-212, 1987b.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 607p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; DE OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201p.

MANICHON, H. Influence des systemes de culture sur le profil cultural: elaboration d'une méthode de diagnostic basé sur l'observation morphologique. Paris, 1982. 214p. These (Docteurée) Institut National Agronomique Paris-Grignon.

MENZIES, N. W.; EDWARDS, D. G.; BELL, L. C. Effects of calcium and aluminium in the soil solution of acid, surface soils, on root elongation of mungbean. **Australian Journal soil Research**, v.32, p.721-737, Mar. 1994.

PARKER, D. R.; KINRAIDE, T. B.; ZELAZNY, L. W. Aluminium speciation and phytotoxicity in dilute hydroxy-aluminium solutions. **Soil Science**, v.52, n.2, p.438-444, Mar./Apr., 1988.

PARKER, D. R.; KINRAIDE, T. B.; ZELANY, L.W. On the phytotoxicity of polinuclear hydroxy-aluminium complexes. **Soil Science Society American Journal**, v.53, p.789-796, May/June, 1989.

PAULETTI, V. Avaliação do estado nutricional de dois cultivares de milho (*Zea mays* L.) sob diferentes concentrações de alumínio no solo. Curitiba, 1995, 82p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Paraná.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T. Toxicity of aluminium to coffee seedlings grown in nutrient solution. **Soil Science Society of America Journal**, v.46, p.993 - 997. 1982.

PEELE, T. C. The effect of calcium on the erodibility of soils. **Proceedings Soil Science Society of America**, v.7, p.47-59, 1936.

POOVAIAH, B. W.; McFADDEN, J. J.; REDDY, A. S. N. The role of calcium ions gravity signal perception and transduction. **Physiologia Plantarum**, v.71, p.401-407, 1987.

QUAGGIO, J. A. Reação do solo e seu controle. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 1., PIRACICABA, 1986. Fundação Cargill, 1986. p.53-89.

RAIJ, B. van. **Avaliação da fertilidade do solo**. 2. ed. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, 1981. 142p.

RAIJ, B. van.; QUAGGIO, J. A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agronômico, 1983. 31p. (IAC. Boletim Técnico, 81).

RAIJ, B. van.; ZULLO, M. A. T. **Métodos de análise de solo**. Campinas, Instituto Agronômico, 1977, 16p. (IAC. Circular, 63).

RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. F.; MEDINA, C. C.; TAVARES FILHO, J.; DERSIGNY, C. G.; VISINTIN, L. M. B. O método do perfil cultural para auxiliar a avaliação dos efeitos do preparo sobre o agregado do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2., Londrina, 1991. Londrina: SBEA, 1991. p.1374-1383.

REICHARDT, K. Soil physico-chemical conditions and the development of roots. In: SYMPOSIUM ON THE SOIL/ROOT SYSTEM IN RELATION TO BRASILIAN AGRICULTURE,; Londrina, 1980. **Proceedings**.Londrina: IAPAR, 1981. p.103-114.

RITCHEY, K. D.; SOUSA D. M. G.; SILVA, J. E. Calcium and root penetration in highly weathered soils. In: GOUELEY, L. M.; SALINAS, J. G. **Sorghum for acid soils**. Cali: CIAT, 1987. p.117-132.

ROTH, C. H.; CASTRO FILHO, C.; MEDEIROS, G. B. Análise de fatores físicos e químicos relacionados com a agregação de um Latossolo roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, p.241-248, 1991.

ROTH, C. H.; PAVAN, M. A. Effect of lime and gypsum and dispersion and infiltration in samples of Brazilian Oxisol. **Geoderma**, v.48, p.351-362, 1991.