

VOLNEI PAULETTI

**AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DE DOIS CULTIVARES
DE MILHO (*Zea mays* L.) SOB DIFERENTES
NÍVEIS DE ALUMÍNIO NO SOLO**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre. Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Beatriz Monte Serrat Prevedello

CURITIBA
1995

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO CIÊNCIA DO SOLO
"MESTRADO"

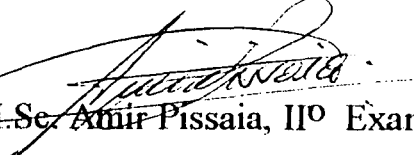
P A R E C E R

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", para realizar a argüição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **VOLNEI PAULETTI**, com o título: "**Avaliação nutricional de dois cultivares de milho (Zea mays L.) sob diferentes níveis de alumínio no solo**", para obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haver analisado o referido trabalho e argüido o candidato, são de Parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação com média 9,1, conceito "A", completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo"**.

Secretaria do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", em Curitiba 08 de dezembro de 1995.


Profª. Dra. Beatriz Monte Serrat Prevedello, Presidente.


Prof. Dr. Eduardo Favero Caires, Iº Examinador.


Prof. M.Sc. Amir Pissaia, IIº Examinador.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais pelo apoio e incentivo durante toda minha vida e principalmente pela condução serena de nossa família, que é o motivo mais importante de minha luta por novas conquistas.

Agradeço à Angela, minha sempre companheira, pelos conselhos e ânimo dados durante todo o desenvolvimento deste trabalho. Espero poder sempre contar com sua presença.

À Professora Beatriz, por sua amizade e tranquila condução dos trabalhos. Sua contribuição é um marco inesquecível.

Ao amigo e Professor Antônio Carlos Vargas Motta. Não esquecerei o companheirismo e incentivos dados desde 1987. Trabalho árduo, mas valeu a pena. Obrigado.

Ao Professor Amir Pissaiá pela ajuda e importante colaboração durante todo o período da dissertação.

Ao Professor Paulo Justiniano e às estudantes do curso de Estatística Eloise e Eliane, por suas contribuições nas análises estatísticas dos dados.

Aos amigos Irineu Motter, Angelo Sirtoli, Renato Tratch e Dimas Clemente. Que nossa amizade seja sempre a mesma.

Ao amigo Carlos Tanck. Por sua preocupação e honestidade.

Ao primão Nilson. Valeram as horas de ajuda.

Aos colegas e amigos Izabel, Sérgio, Sandra, Adriane, Ariodari, Luiz Gilberto, Etelvino, Neri, e demais pós-graduandos, que de alguma forma contribuíram para este trabalho.

À Airton Scopel e Marcelo Bressan, pela ajuda.

Aos laboratoristas Sérgio, Reginaldo e Roberto e aos demais laboratoristas do Departamento de Solos.

À Marla, Gerson e Hugo. Obrigado por sua ajuda.

Às bibliotecárias Liliana e Doroti, pelas contribuições durante o desenvolvimento desta dissertação e aos funcionários da biblioteca Evelin, Helena, Márcia, Vera e Agrinaldo, pela ajuda.

Ao curso de Pós-Graduação e à UFPR pela oportunidade e apoio e à CAPES pela bolsa de estudos, sem a qual não seria possível a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

Volnei Pauletti, filho de Celeste Pauletti e Lourdes Pauletti, nasceu em Palma Sola - SC em 19 de abril de 1968.

Em outubro de 1991 colou grau, como Engenheiro Agrônomo, na Universidade Federal do Paraná.

Entre março e julho de 1992, trabalhou na Fundação Universidade Federal do Paraná, como Engenheiro Agrônomo, coordenador do Sub-Projeto Agronomia, do Projeto CAD'S Araucária.

Em março de 1993 iniciou o curso de mestrado em Agronomia, área de concentração Ciência do Solo, pela Universidade Federal do Paraná.

Atualmente atua como Professor Colaborador no curso de Engenharia Agronômica na Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias-Lages.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	x
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1 <u>INTRODUÇÃO</u>	1
2 <u>REVISÃO DE LITERATURA</u>	3
2.1 ACIDEZ DO SOLO	3
2.2 FATORES QUE AFETAM A PRESENÇA DE AI TÓXICO NO SOLO	5
2.3 CALAGEM E SEUS EFEITO	7
2.4 TOLERÂNCIA DAS PLANTAS À PRESENÇA DE AI TÓXICO	8
2.5 SINTOMAS DE TOXIDEZ DE AI	11
2.6 ABSORÇÃO DE AI PELAS PLANTAS	13
2.7 INFLUÊNCIA DO AI NA ABSORÇÃO DE NUTRIENTES	15
3 <u>MATERIAL E MÉTODOS</u>	22
3.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA	22
3.2 PREPARO DA ÁREA	23
3.3 INCUBAÇÃO	23
3.4 IMPLANTAÇÃO DOS TRATAMENTOS	24
3.5 AMOSTRAGEM DE SOLO E PLANTA E PREPARO DO MATERIAL	26
3.6 PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS	27
3.7 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DAS PLANTAS	31
3.8 OUTRAS AVALIAÇÕES	32
3.9 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	33
4 <u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	34

5 <u>CONCLUSÕES</u>	58
6 <u>RECOMENDAÇÕES</u>	59
ANEXOS	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
01	VARIAÇÃO DA MASSA SECA DA PARTE AÉREA DE DOIS CULTIVARES DE MILHO, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE CALCÁRIO. MÉDIA DE QUATRO BLOCOS.....	37
02	VARIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE GRÃOS DE DOIS CULTIVARES DE MILHO, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE CALCÁRIO. MÉDIA DE QUATRO BLOCOS.....	39
03	VARIAÇÃO DO NÚMERO DE PLANTAS DE DOIS CULTIVARES DE MILHO, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE CALCÁRIO. MÉDIA DE QUATRO BLOCOS.....	41
04	VARIAÇÃO DOS TEORES DE Mg DAS FOLHAS NUTRICIONAIS DOS CULTIVARES DE MILHO, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE CALCÁRIO. MÉDIA DE QUATRO BLOCOS.....	44
05	VARIAÇÃO DOS TEORES DE N DAS FOLHAS NUTRICIONAIS DOS CULTIVARES DE MILHO, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE CALCÁRIO. MÉDIA DE QUATRO BLOCOS.....	46
06	VARIAÇÃO DOS TEORES DE P DAS FOLHAS NUTRICIONAIS DOS CULTIVARES DE MILHO, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE CALCÁRIO. MÉDIA DE QUATRO BLOCOS.....	47
07	VARIAÇÃO DA RELAÇÃO P/Fe DAS FOLHAS NUTRICIONAIS DOS CULTIVARES DE MILHO, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE CALCÁRIO. MÉDIA DE QUATRO BLOCOS.....	49
08	VARIAÇÃO DA RELAÇÃO P/Zn DAS FOLHAS NUTRICIONAIS DOS CULTIVARES DE MILHO, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE CALCÁRIO. MÉDIA DE QUATRO BLOCOS.....	50
09	VARIAÇÃO DOS TEORES DE Fe DAS FOLHAS NUTRICIONAIS DOS CULTIVARES DE MILHO, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE CALCÁRIO. MÉDIA DE QUATRO BLOCOS.....	51
10	VARIAÇÃO DOS TEORES DE Mn DAS FOLHAS NUTRICIONAIS DOS CULTIVARES DE MILHO, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE CALCÁRIO. MÉDIA DE QUATRO BLOCOS.....	53

11	VARIAÇÃO DOS TEORES DE Al DAS FOLHAS NUTRICIONAIS DOS CULTIVARES DE MILHO, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE CALCÁRIO. MÉDIA DE QUATRO BLOCOS.....	55
12	VARIAÇÃO DOS TEORES DE Al (mg kg^{-1}) NAS FOLHAS, COLMO, NÓ E ENTRE NÓ DE DOIS CULTIVARES DE MILHO, EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE CALCÁRIO. MÉDIA DE QUATRO BLOCOS.....	56

LISTA DE TABELAS

TABELA		PÁGINA
01	NÍVEIS CRÍTICOS DA PORCENTAGEM DE SATURAÇÃO DE Al (m%) NO SOLO PARA ALGUMAS ESPÉCIES VEGETAIS...	10
02	TEORES FOLIARES DE NUTRIENTES, CONSIDERADOS ADEQUADOS PARA A CULTURA DO MILHO.....	21
03	CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICA GERAL DO SOLO UTILIZADO.....	22
04	ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 0-15 cm E NAS DIFERENTES DOSES DE CALCÁRIO APLICADAS, NAS DATAS CORRESPONDENTES AO PLANTIO E APÓS A COLHEITA.....	34
05	DADOS MÉDIOS DOS TEORES DE K, Ca, Zn, Cu E B, DAS FOLHAS NUTRICIONAIS DE DOIS CULTIVARES DE MILHO, DIFERENCIADOS PELA TOLERÂNCIA À PRESENÇA DE Al TÓXICO NO SOLO.....	42

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo avaliar o efeito de níveis crescentes de saturação com Al, em um solo álico, sobre o estado nutricional, características morfológicas e alguns componentes de rendimento de dois cultivares de milho, um considerado tolerante e outro sensível à presença de Al tóxico no solo. O experimento foi instalado a campo, na Fazenda Experimental do Setor de Ciências Agrárias - UFPR, utilizando-se o delineamento em blocos ao acaso, com os tratamentos distribuídos em faixas, com quatro níveis de correção de Al com CaCO_3 e dois níveis de cultivares, distribuídos em quatro blocos. Os níveis de correção foram obtidos a partir de uma curva de incubação realizada em laboratório, onde o T0 é a testemunha e T3 o tratamento que recebeu a quantidade de calcário necessária para se obter 0% de saturação por Al no solo. Os tratamentos T1 e T2 receberam 33,3% e 66,6% da quantidade de calcário aplicada em T3, respectivamente. Foram realizadas amostragens de solo na época do plantio e após a colheita, para análises de rotina. No estágio de pleno florescimento, foram medidos os parâmetros de diâmetro de colmo, altura de inserção de primeira espiga e altura de planta. Também foram colhidas aleatoriamente na área útil experimental, 20 folhas nutricionais (primeira abaixo e oposta à espiga) das quais selecionou-se o terço médio para a digestão (HCl 10%) e análises químicas. A produção de massa seca e de grãos foram determinadas após a maturação fisiológica. Os resultados obtidos permitiram concluir que, a altura de inserção da primeira espiga, altura de planta e diâmetro de colmo não foram influenciados pela calagem, porém a população de plantas em ambos os cultivares avaliados foram influenciados negativamente; a calagem aumentou a produção de massa seca dos cultivares de milho testados, sendo que a produção de grãos observada nos dois cultivares foi associada à diminuição da saturação por Al no solo. A calagem promoveu diminuição dos teores de Mn nas folhas nutricionais. Em condições de maior presença de Al tóxico o cultivar tolerante foi mais produtivo; a calagem aumentou a concentração foliar de N, P e Mg nos cultivares de milho, sendo este efeito, exceto para o Mg, mais pronunciados no cultivar tolerante. O cultivar sensível apresentou menores teores foliares de N e P, em quaisquer níveis de saturação por Al no solo. Não houve diferença entre os cultivares avaliados quanto ao teor de Al nas folhas nutricionais com a diminuição da saturação por Al no solo.

ABSTRACT

An experiment was set at the Setor de Ciências Agrárias - UFPR, experimental station, to test the effect of crescent levels of Al saturation in the soil on the growth and nutritional status of two corn cultivars: a tolerant and a non-tolerant one. The experiment was arranged in a blocked split-plot experimental design with four liming levels, two cultivars and four replications. The liming levels, determined from a calibration curve were: T0- no liming; T3- liming to achieve 0 Al saturation in the soil. Treatments T1 and T2 consisted of 33,3% and 66,6% respectively of the lime applied to treatment T3. The soil was sampled at planting time and after harvest for routine analysis. When plants were at full bloom the following measures were taken: stalk diameter, height of the first ear insertion and plant height. Biomass and corn production were determined at harvest. The central part of twenty nutritional leaves (below and opposite to the first ear) collected at random in each treatment were analysed chemically. The presence of toxic Al in the soil had no influence in the height of the first ear insertion, stalk diameter and plant height, but had a negative influence in plant stand and biomass and corn production for both cultivars. Mn concentration in the nutritional leaves decreased with liming for both cultivars. Levels of P, N and Mg increased with liming and were always higher in the tolerant cultivar. Al levels in the nutritional leaves were no different between cultivars.

1 INTRODUÇÃO

A presença de alumínio (Al) em níveis tóxicos no solo constitui um dos principais fatores limitantes à produção agrícola, principalmente em regiões de clima tropical e subtropical. Sob estas condições climáticas, a atividade dos agentes intemperizantes é bastante acentuada, favorecendo a formação de solos bem desenvolvidos, normalmente ácidos e com elevadas concentrações de Al trocável e solúvel.

A toxidez de Al está frequentemente associada a solos lixiviados, pobres em bases e de elevada acidez (OLMOS e CAMARGO, 1976), chegando a estar presente em 50% dos solos brasileiros (SILVA, 1976).

A influência do Al tóxico ocorre principalmente nas raízes (McLEAN e GILBERT, 1927) onde os sintomas são mais acentuados, influenciando conseqüentemente em todo o estado nutricional da planta. Ao afetar o desenvolvimento radicular (BEN, 1974; CLARK, 1977), o Al pode aumentar a sensibilidade das plantas à seca e às doenças e diminuir a eficiência das adubações.

Estas influências variam com a espécie e entre cultivares da mesma espécie, demonstrando a existência de mecanismos individuais na tolerância à presença de Al tóxico como forma de adaptação às condições de solo ácido.

Desta maneira, a eficiente utilização dos solos ácidos está vinculada à compreensão da dinâmica do Al no solo, seus efeitos nas plantas e aos mecanismos envolvidos na tolerância de algumas espécies e variedades, tendo importância, devido a ampla utilização destes solos no Brasil e em outros países tropicais e subtropicais.

Em função do exposto, este trabalho teve por objetivo, estudar as alterações no estado nutricional, nas características morfológicas e em alguns componentes de rendimento em dois cultivares de milho, diferenciados pela tolerância à toxidez de alumínio, cultivados em um solo

álico submetido a diferentes doses de calcário e conseqüentemente à diferentes saturações por alumínio.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Em estudos sobre influência do Al nas plantas, a maioria dos trabalhos são desenvolvidos em condições de laboratório, casas de vegetação ou estufas, onde as condições ambientais podem ser controladas. Grande parte destes trabalhos são realizados com solução nutritiva, onde se consegue observar unicamente a influência do Al através do controle das demais variáveis.

Os experimentos realizados em campo, no entanto, sofrem influência de inúmeros fatores sobre os quais o pesquisador não consegue exercer controle efetivo e absoluto, como por exemplo as variações de temperatura, umidade atmosférica e incidência de radiação solar, ou mesmo a atividade microbiana do solo. Também, dificilmente fala-se em obtenção de diferentes níveis de Al sem se mencionar e/ou realizar a calagem. Esta é a prática mais utilizada na elevação do pH e neutralização do Al tóxico do solo.

A adição de calcário na área experimental apresenta comportamento diferenciado em suas reações, principalmente em função da variabilidade espacial das características físicas e químicas do solo. Este fato, aliado à própria heterogeneidade do corretivo e sua irregular distribuição e incorporação no solo, dificulta e/ou impede a obtenção de níveis de Al exatamente iguais entre as repetições do mesmo tratamento.

Portanto, neste trabalho será abordado e discutido o fator calagem, efetuada em campo, como a forma através da qual procura-se obter níveis diferentes de Al para cada tratamento proposto.

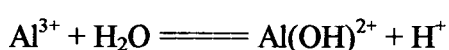
2.1 ACIDEZ DO SOLO

Antes da revisão específica sobre acidez do solo, é conveniente um breve esclarecimento sobre os conceitos de ácidos e bases. Ácidos são substâncias que liberam íons

H⁺ quando em contato com a água, enquanto bases são aquelas que na mesma situação liberam íons OH⁻. Da mesma maneira, substâncias que não apresentam H ou OH e que se hidrolizam em contato com a água liberando H⁺ ou OH⁻, são chamadas respectivamente de ácidos e bases. As reações de oxidação ou redução também podem influenciar no caráter ácido ou básico de algumas substâncias. A força destes ácidos e bases depende de sua tendência de se dissociarem liberando H⁺ ou OH⁻ para a solução, sendo tanto mais fracos quanto menor a dissociação (OHLWEILER, 1967 ; VOLKWEISS, 1989).

O H⁺ dissociado na solução do solo, é expresso pelo índice pH e representa a acidez ativa, enquanto que o H⁺ não dissociado e o Al trocável fazem parte da acidez potencial do solo. Em solos ácidos minerais verifica-se a existência de pouco H⁺ trocável, sendo neste caso, a acidez potencial composta principalmente pelo Al trocável (COLEMAN *et al.*, 1959; CAMARGO e FURLANI, 1989). As formas não trocáveis de Al também são consideradas ácidas (PIONKE e COREY, 1967).

O Al é um cátion de caráter ácido (RAIJ, 1988), sendo que em solução sofre hidrólise liberando íons H⁺ para a solução (THOMAS e HARGROVE, 1984, MARION *et al.*, 1976). A reação, de forma simplificada, pode ser assim descrita:



Outras reações de hidrólise envolvem o Al, sendo a forma predominante em soluções ácidas o íon Al³⁺ em relação às formas Al(OH)²⁺, Al(OH)₂⁺ e Al(OH)₃⁰ (RAIJ, 1988). Geralmente a forma monomérica Al³⁺ é a considerada ácida, porém, outras formas monoméricas como Al(OH)₂²⁺ e Al(OH)₂⁺ e poliméricas como Al₂(OH)₂⁴⁺ e Al₇(OH)₁₇⁴⁺ (MARSCHNER, 1986) e Al₁₃(AlO₄Al₁₂(OH)₂₄)⁷⁺ (PARKER *et al.*, 1989) são consideradas ácidas, parecendo ser até mais tóxicas que o Al³⁺ em solução nutritiva.

A fonte de acidez do solo inclui diversos fatores, dependendo das condições locais, como a matéria orgânica, minerais de argila, óxidos de Fe e Al, Al trocável, sais solúveis e CO₂ (JACKSON, 1963; TISDALE *et al.*, 1985), sendo que alguns autores citam que os solos

podem ser naturalmente ácidos pela pobreza em bases do material de origem, ou por processos pedogenéticos que favoreceram as perdas dos cátions básicos do solo como K, Ca e Mg. (MELLO, 1985; MALAVOLTA, 1981).

Em todos os processos em que há favorecimento de perdas de bases do solo, pode haver substituição destas por íons H^+ e Al^{3+} nos complexos de troca do solo. A perda de bases pode ser aumentada com o uso de alguns fertilizantes, especialmente de amoniacais como fonte de nitrogênio (N) (TISDALE *et al.*, 1985) e em condições onde as precipitações pluviométricas superam a evapotranspiração (KAMPRATH e FOY, 1971). A absorção ou exudação iônica pelas raízes das plantas também pode resultar na liberação de H^+ para a solução do solo quando a quantidade de cátions absorvidos for maior que a de ânions, mantendo assim o equilíbrio elétrico do sistema (CAMARGO e FURLANI, 1989).

A acidez ativa do solo pode influenciar as plantas diretamente, através da concentração hidrogeniônica, ou indiretamente, pela alteração da disponibilidade de nutrientes essenciais ao desenvolvimento das mesmas (MALAVOLTA, 1981) e pela influência sobre a atividade microbiana do solo e suas associações com as plantas cultivadas (BORKERT, 1973).

2.2 FATORES QUE AFETAM A PRESENÇA DE Al TÓXICO NO SOLO

O Al, após o O e o Si, é o elemento mais abundante na crosta terrestre e nos solos (MELLO *et al.*, 1987) constituindo mais de 15% da crosta, na forma de Al_2O_3 (MENGEL e KIRKBY, 1982) e é um dos principais componentes da maioria dos minerais primários e secundários.

A toxidez de Al em solos ácidos é um dos principais fatores limitantes às culturas (BEN, 1974 e THOMAS, 1988; FAQUIN e VALE, 1991), estando frequentemente relacionada ao pH. Em pH em água inferior a 5,0, o Al trocável pode ser o cátion dominante

na CTC de alguns solos, como observaram PRATT e ALVAHYDO (1966), EVANS e KAMPRATH (1970) e PAVAN (1983). Nestas mesmas condições de pH, o Al pode ocorrer na solução do solo em teores suficientes para provocar diminuição no crescimento e produção das plantas cultivadas, juntamente com o Mn (FOY, 1988; FURLANI, 1989), em função de as reações de hidrólise serem influenciadas pelo pH do solo.

A presença de Al tóxico no solo depende de outros fatores além do pH, como: minerais de argila predominantes (SHEN e RICH, 1962; THOMAS, 1988), teor de matéria orgânica (FOY, 1974; FAGERIA, 1984; THOMAS, 1988), concentração de outros cátions, ânions e sais totais, com efeitos tóxicos também dependentes da espécie e/ou variedade da planta (FOY, 1974; FAGERIA, 1984).

O Al torna-se solúvel pela dissolução de minerais do solo que contém Al, como a gibsite $[Al(OH)_3]$ (RAIJ, 1988).

A matéria orgânica (M.O.) complexa cátions trivalentes como o Al, mais fortemente que os divalentes como o Ca e Mg (KAMPRATH e FOY, 1971). AHMAD e TAN (1986) observaram que com adição de palha de trigo ao solo (5% e 10%) o crescimento de plantas de soja foi igual a adição de calcário (1 e 2 Mg de $CaCO_3$ ha^{-1}), quando da presença de Al em níveis tóxicos (adição de 50 mg de Al kg^{-1} de solo). Segundo os mesmos autores, o tratamento que associou calagem e adição de palha, foi mais efetivo na redução dos efeitos tóxicos do Al.

Estudos desenvolvidos por PAVAN (1983) e FIGUEIREDO e ALMEIDA (1991) revelaram maiores correlações positivas entre Al não trocável e teor de M.O. em solos do estado do Paraná e Santa Catarina, respectivamente. Resultados semelhantes foram obtidos por PIONKE e COREY (1967) e MIYAZAWA et al (1992). Diferenças na capacidade de neutralização do Al tóxico entre os ácidos orgânicos foram observadas por HUE, CRADOCK e ADAMS (1986). Observa-se portanto a alta capacidade do Al em formar complexos com a

M.O. (BARTLETT e RIEGO, 1972), significando que o manejo adequado da M.O. do solo é um fator preponderante no controle da toxidez de Al para as plantas cultivadas.

A quantidade e forma de nutriente adicionado também são fatores que influenciam na presença de Al tóxico no solo. Elevadas quantidades de fertilizantes provocam aumentos significativos no Al solúvel em água (MACLEOD e JACKSON, 1967) e a fonte de adubação exerce influência sobre a presença de Al tóxico na solução do solo (BARTLETT e RIEGO, 1972). SARKAR e WYN JONES (1982) utilizaram diferentes fontes de adubação nitrogenada para obter alterações diferenciadas no pH da rizosfera, o que conseqüentemente influenciou na solubilidade de Al. Adubações com ânions, principalmente fosfatos, formam compostos estáveis e de baixa solubilidade com o Al (LOPES, 1984), limitando sua influência tóxica sobre as plantas.

O controle da toxidez de Al está baseada principalmente na adição de calcários. Isto representa uma adaptação do solo à planta, e não da planta às condições adversas do solo. Quando é considerada a exploração de extensas áreas em regiões afastadas de jazidas de calcário, o que aumenta o gasto de energia no transporte e aplicação destes corretivos, ou em condições de difícil acesso de implementos agrícolas tratorizados, a utilização de cultivares adaptados aos solos ácidos, em particular à toxidez de Al, parece ser de grande importância. Da mesma forma, a utilização de cultivares tolerantes em solos corrigidos superficialmente, pode permitir uma melhor exploração do subsolo, contribuindo para elevar as produtividades.

2.3 CALAGEM E SEUS EFEITOS

A utilização de muitos solos para a agricultura está vinculada ou à neutralização de parte da acidez, pela adição de calcário ao horizonte superficial (0-20cm), ou à utilização de cultivares adaptados e tolerantes às condições ambientais e de solo.

A calagem é a prática mais utilizada no manejo da acidez do solo e toxidez de Al, apresentando efeitos diretos pela neutralização do Al e Mn tóxicos e adição dos nutrientes Ca e Mg. O fornecimento de Ca particularmente, é de fundamental importância para o crescimento das raízes (RITCHEY *et al.*, 1982). Indiretamente, influencia na disponibilidade de P e micronutrientes, na nitrificação, na fixação de N, nas condições físicas do solo e na incidência de doenças nas plantas (TISDALE *et al.*, 1985) e conseqüentemente na qualidade e quantidade da produção (BORKERT, 1973; QUAGGIO *et al.*, 1987).

FASSBENDER (1982) cita que a calagem apresenta efeitos benéficos sobre as propriedades físicas (como a melhor agregação das partículas, melhores condições de aeração e movimento de água), químicas (como aumento de hidroxilas e diminuição de íons H⁺ na solução do solo, diminuição da toxicidade de Al, Mn e Fe, aumento da disponibilidade de Ca e Mg e regulação da disponibilidade de P e Mo) e biológicas (como favorecimento do desenvolvimento de microorganismos, especialmente bactérias, aumento da mineralização da M.O. e melhora nos processos de amonificação, nitrificação e fixação biológica de N).

Devido às modificações físicas, químicas e biológicas provocadas pela calagem, é difícil definir qual ou quais destes fatores foi o responsável pelo aumento da produção (QUAGGIO, 1989; 1992).

2.4 TOLERÂNCIA DAS PLANTAS À PRESENÇA DE Al TÓXICO

Algumas espécies apresentam características genéticas que lhes permitem a tolerância à presença de Al a níveis tóxicos. Segundo FOY e FLEMING (1978), as plantas tolerantes são enquadradas em 03 grupos, quanto a absorção e translocação de Al para a parte aérea. As do primeiro grupo, apresentam concentração significativamente igual de Al na parte aérea que as sensíveis, porém apresentam menores teores nas raízes, parecendo reduzir a absorção de Al. No segundo grupo apresentam menores níveis de Al na parte aérea do que as sensíveis,

atribuindo-se este fato a complexação do Al excessivo nas raízes, como no arroz (HOWELER e CADAVID, 1976). O terceiro grupo está associado diretamente à concentração de Al na parte aérea, parecendo concentrar o Al em tecidos em menor atividade (folhas mais velhas, por exemplo).

A diferença quanto a tolerância à toxidez de Al também ocorre dentro de cada espécie, como demonstram FOY e BROWN (1963), FOY *et al.* (1967), FAHL *et al.* (1980) FURLANI e HANNA (1984), FURLANI *et al.* (1986) e FURLANI (1993).

São vários os possíveis mecanismos envolvidos na tolerância diferencial das plantas ao excesso de Al. FURLANI (1989) subdividiu-os em mecanismos de exclusão (diminuem ou inibem a absorção) e mecanismos envolvidos após a absorção do Al ou mecanismos de tolerância interna. No primeiro grupo enquadram-se a imobilização do Al na parede celular, permeabilidade seletiva da membrana plasmática, barreira de pH induzida na rizosfera e exudação de complexantes e/ou quelantes. No segundo grupo, estão a complexação ou quelação no citoplasma, compartimentalização no vacúolo, proteínas especializadas na ligação com o Al e evolução de enzimas tolerantes.

A capacidade de alterar o pH da zona radicular depende de cada planta (FOY *et al.*, 1967, ADAMS e PEARSON, 1970). No entanto, segundo McLEAN e GILBERT (1927), esta capacidade parece não estar relacionada à tolerância à toxidez de Al.

Alguns cultivares tolerantes de trigo, cevada, arroz, ervilhaca e milho provocam aumento do pH da solução nutritiva, precipitando o Al e conseqüentemente diminuindo sua toxicidade, enquanto cultivares sensíveis não apresentam o mesmo comportamento (alteram o pH) (FOY e FLEMING, 1978). No entanto, se o cultivar provocar uma diminuição do pH da rizosfera, pode proporcionar aumento da solubilidade do Al. Uma das possíveis razões de ocorrer diminuição do pH na zona radicular, é quando a absorção de cátions pela planta excede a de ânions, ocasionando elevação da concentração de H^+ na excreção radicular

(MENGEL e KIRKBY,1982). WILKINSON¹, citado por FAGERIA (1984) acrescentou a este fator, a liberação e hidrólise do CO₂ e a liberação de prótons de microorganismos associados às raízes.

Como o Al parece inibir a divisão celular, seu efeito tóxico pode ser maior no meristema apical das raízes. Nesta região é que ocorre a maior deposição de mucilagem composta de ácidos urânicos e polissacarídeos que têm capacidade de complexar Al (FAQUIN e VALE, 1991). Os mesmos autores salientam que plantas exudam, através das raízes, compostos orgânicos de baixo peso molecular (ácidos orgânicos e polifenóis) que podem complexar Al e aumentar a absorção de P.

Mais do que o teor de Al trocável, a sua concentração em relação à soma de bases trocáveis é uma das principais limitações para uso de solos ácidos. Na TABELA 01 são apresentados os níveis críticos de saturação por Al (m%) para algumas culturas, observando-se a variabilidade na tolerância entre as espécies. Porém, estes dados não podem ser considerados para todos os cultivares em cada espécie, em função das diferenças de tolerância que podem ocorrer entre eles, como salientado anteriormente.

TABELA 01: NÍVEIS CRÍTICOS DA PORCENTAGEM DE SATURAÇÃO POR Al (m%) NO SOLO PARA ALGUMAS ESPÉCIES VEGETAIS.

Espécie vegetal	m%
Alfafa.....	15
Soja	20
Feijão.....	20
Aveia	15
Trigo	30
Arroz	45
Milho.....	30

Fonte: FAGERIA *et al.* (1988).

¹WILKINSON,H.F. *Nutrient movement in the vicinity of plant roots. Perth, Westem Australia, 1970. University of Western Australia, Dep. Soil Science; Plant Nutrition, Institute of Agriculture. Tese Doutorado*

Em condições tropicais e subtropicais o manejo da M.O. e o entendimento dos fatores relacionados aos mecanismos de tolerância das plantas, poderão contribuir de maneira significativa no incremento da produtividade das culturas. Nestas condições é observado que as características químicas dos solos são grandemente influenciadas pela M.O. (SÁ, 1993 e LOPES, 1984), em função da baixa CTC das partículas minerais, consequência do elevado intemperismo. A seleção e desenvolvimento de cultivares tolerantes às condições ácidas, especialmente ao Al tóxico, considerando-se a variabilidade genética para a tolerância a este elemento, poderá ser utilizada, complementando ou não a calagem na adaptação da cultura às condições de solo ácido.

2.5 SINTOMAS DE TOXIDEZ DE Al

A ocorrência de células binucleadas nos meristemas (MALAVOLTA; VITTI e OLIVEIRA, 1989), aumento da rigidez da parede celular pela formação de pectatos de Al, deposição de polissacarídeos na parede celular e influência sobre a atividade enzimática (TISDALE *et al.*, 1985), são observadas como consequência da toxidez de Al.

A primeira influência do Al na planta parece ser na diminuição da permeabilidade das membranas das células das raízes, onde o Al pode substituir o Ca dos fosfolípidos, carboidratos e proteínas (ZHAO *et al.*, 1987).

FURLANI e HANNA (1984) observaram em cultivares de arroz e milho que, apesar das variações entre cultivares, todos apresentaram efeitos negativos da presença de Al no crescimento de raízes seminais primárias (arroz e milho) e secundárias (milho), concordando com CLARK (1977).

Menor crescimento do sistema radicular é observado em plantas submetidas à presença de elevados teores de Al (20 mg Al L^{-1} - $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2$) em relação à plantas não submetidas ao Al (BEN, 1974; CLARK, 1977). Os principais sintomas do Al tóxico nas raízes são o seu

engrossamento, crescimento e ramificações prejudicadas ou sem ramificações e com coloração bruna, podendo ocorrer a total inibição do seu desenvolvimento (McLEAN e GILBERT, 1927; CAMBRAIA *et al.*, 1983b; MALAVOLTA; VITTI e OLIVEIRA, 1989).

Como possíveis causas do engrossamento e da paralização do crescimento radicular, FOY (1974) e MATSUMOTO *et al.* (1976), citam a inibição da divisão celular e a redução da síntese do DNA. Outros efeitos da toxidez de alumínio, como a inibição da iniciação da nodulação, fixação de P em formas menos solúveis no solo ou nas raízes das plantas, e interferência na absorção, transporte e utilização de nutrientes e água pelas plantas, são relacionados por TISDALE *et al.* (1985).

O Al tóxico reduz a taxa fotossintética e os teores de clorofila, sendo o cultivar sensível ao Al, mais influenciado (CAMBRAIA *et al.*, 1983b). Como consequência há redução na produção de matéria seca do sistema radicular e da parte aérea, confirmando os dados encontrados por BEN (1974) em cultivar de cevada e por CLARK (1977) em plantas de milho e concordando com FOY e BROWN (1963), segundo os quais o incremento da produção de massa seca está associado ao decréscimo de Al na solução nutritiva.

Os sintomas da parte aérea são muito variáveis e de difícil correlação com a toxidez de Al, pois as modificações radiculares afetam a absorção dos demais elementos essenciais ao desenvolvimento da planta e a absorção de água, pela limitação do sistema radicular às camadas superficiais do solo.

Plantas de milho (*Zea mays*, L.) com toxidez de Al apresentam-se mal desenvolvidas e com sintomas típicos de deficiência de P (FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ, 1991). Em sorgo, CAMBRAIA *et al.* (1983a) verificaram clorose internerval semelhante a deficiência de Fe.

Devido à ocorrência de sintomas drásticos nas raízes, FURLANI e HANNA (1984) propõem uma metodologia para pré seleção de cultivares tolerantes à toxidez de Al em

solução nutritiva, baseada no crescimento das raízes seminais primárias e/ou secundárias, antes da seleção em campo.

Como reflexo dos sintomas acima mencionados, a presença de níveis tóxicos de Al no solo pode ser um dos fatores que contribuem para as baixas produtividades de milho obtidas no Brasil, que não atingiu os 2.600 kg ha⁻¹ até 1994 (PARANÁ, 1994).

2.6 ABSORÇÃO DE Al PELAS PLANTAS

Existem algumas evidências que baixos níveis de Al podem provocar efeitos benéficos no crescimento das plantas, porém, os mecanismos não estão bem claros. Segundo FRÁGUAS (1993), certa quantidade de Al parece ser necessária para o melhor desenvolvimento inicial de cultivares de videira, concordando com LEE (1972) que observou o mesmo comportamento em cultivar de batata, tanto para o sistema aéreo como radicular, com a adição de 2-5 mg kg⁻¹ de Al em solução nutritiva.

A maioria das plantas apresenta em torno de 200 µg g⁻¹ de Al na matéria seca (MENGEL e KIRKBY, 1982). Em abobrinha-italiana os níveis podem ser de até 1462 µg g⁻¹ (QUAGGIO *et al.*, 1987) e em chá, podem estar entre 2.000 - 5.000 µg g⁻¹ (CHENERY, 1955). Em condições de toxidez de Al em solução nutritiva, plantas de soja apresentaram teores de Al na parte aérea de 300 - 400 mg Al kg⁻¹, sendo que na ausência de toxidez, os teores foram de 200-250 mg kg⁻¹ (AHMAD e TAN, 1986).

Em milho, parece haver diferença quanto a absorção e acúmulo de Al por plantas consideradas tolerantes e sensíveis à presença deste elemento.

CLARK (1977) observou aumento dos teores de Al na parte aérea e radicular de cultivar tolerante e sensível, com o aumento de Al na solução nutritiva. Esta variação foi de 29 µg g⁻¹ a 282 µg g⁻¹ na parte aérea e de 107 µg g⁻¹ a 2820 µg g⁻¹ nas raízes, no tratameto com

ausência de Al e no tratamento com 20 mg L⁻¹ de Al na solução nutritiva, respectivamente, sendo os teores radiculares semelhantes. O cultivar tolerante, no entanto, translocou menos Al para a parte aérea. Segundo este autor, a tolerância ao Al para os híbridos analisados não parece estar relacionada à concentração de Al na parte aérea e radicular.

RAMIREZ e BERENGEL (1984) observaram maior concentração foliar de Al em cultivares de milho tolerantes (média de 0,40 mg g⁻¹) e sensíveis (média de 0,26 mg g⁻¹) em doses baixas de Al na solução nutritiva (2 mg L⁻¹), sendo que com o aumento de Al na solução nutritiva, houve decréscimo nos teores foliares, parecendo haver algum mecanismo de proteção que limita a absorção de Al após um certo nível de saturação interna. Os mesmos autores observaram que a concentração nas raízes é até 10 vezes maior que na parte aérea para esta cultura e que o cultivar tolerante apresentou maior acúmulo de Al na parte aérea (médias de 0,40 e 0,59 mg g⁻¹ para parte aérea e raízes, respectivamente, em solução nutritiva contendo 2 mg L⁻¹ de Al) que o sensível (médias de 0,26 e 0,91 mg g⁻¹ para parte aérea e raízes, respectivamente, em solução nutritiva contendo 2 mg L⁻¹ de Al). Isto evidencia uma maior eficiência dos cultivares tolerantes em transportar Al para a parte aérea o que diminui sua concentração no sistema radicular. Este comportamento consequentemente pode diminuir os danos às raízes, quando comparado ao cultivar sensível.

Resultados preliminares apresentados por PINTRO, BARLOY e FALLAVIER (1995) em trabalho realizado com os mesmos cultivares por um período de 07 dias, sugerem que o mecanismo de tolerância do cultivar C525 esteja possivelmente relacionado à exclusão do Al na região apical das raízes, onde ocorrem os processos de divisão e multiplicação celular, sem observar diferença nos teores de Al na raiz deste cultivar em relação ao HS7777.

2.7 INFLUÊNCIA DO Al NA ABSORÇÃO DE NUTRIENTES

A toxidez de Al pode refletir-se sobre a absorção e metabolismo dos elementos essenciais às plantas, sendo largamente discutida pela literatura. Mesmo em condições de ausência de Al, pode haver diferenças na absorção de nutrientes pelas características e exigências específicas de cada planta sendo que, para a maioria dos nutrientes há uma diminuição da absorção na presença de Al.

Ao alterar a absorção de nutrientes, o Al pode promover um efeito de compensação pela absorção de outros íons pela planta, em função da existência de equilíbrio de cargas elétricas nas células e na solução do meio (MARCHNER, 1986), promovendo alterações nutricionais nas plantas.

2.7.1 CÁLCIO (Ca)

A toxidez de Al pode refletir-se sobre a absorção de Ca em algumas espécies (FOY e BROWN, 1963; FURLANI, 1989; MALAVOLTA; VITTI e OLIVEIRA, 1989; FRÁGUAS, 1993).

Segundo FOY e FLEMING (1978), os diferentes níveis de tolerância ao Al estão relacionados com as diferentes capacidades das plantas em absorver e transportar Ca na presença de Al, em cultivares de trigo, cevada, soja e feijão.

No entanto, os dados obtidos sobre a influência do Al nos teores de Ca na parte aérea de culturas são bastante variados. FAHL *et al.* (1980) observaram em cultivares de batatinha (*Solanum tuberosum* L.) diminuição da concentração de Ca na parte aérea na presença de Al, com uma redução mais acentuada no cultivar sensível ao Al. Porém, estes autores não relacionaram a tolerância ao Al com a habilidade das plantas em absorver e utilizar Ca concordando com LEE (1971) que trabalhando com a mesma espécie, encontrou decréscimo

de Ca em cultivares sensíveis e tolerantes com o aumento do teor de Al em substrato de areia. Segundo RAMIREZ e BERENGEL (1984) o Al parece não influenciar na absorção e transporte de Ca da raiz para a parte aérea em plantas de milho. BEN (1974) observou aumento na absorção de Ca com a calagem em cultivar sensível de cevada.

2.7.2 POTÁSSIO (K)

A capacidade de absorção de K parece estar relacionada com a tolerância ao Al, em cultivares de batatinha (LEE, 1971). Para a mesma cultura, a absorção de K em cultivares tolerantes é maior com o aumento da concentração de Al na solução nutritiva, não ocorrendo o mesmo com o cultivar sensível (FAHL *et al.*, 1980).

BEN (1974) observou variação no teor de K em um cultivar de cevada, quando cultivado em diferentes solos submetidos a doses crescentes de calcário. Observou também que a absorção estava possivelmente relacionada à mineralogia do solo e teor de matéria orgânica, que influenciariam no deslocamento do K pelo Ca adicionado pela calagem.

2.7.3 MAGNÉSIO (Mg)

A calagem aumenta a concentração de Mg na parte aérea de cevada (BEN, 1974), sendo possivelmente devido ao efeito direto de adição deste nutriente com a calagem ou pela neutralização do Al tóxico do solo. Trabalhos desenvolvidos com teores crescentes de Al mostram uma redução do teor de Mg na parte aérea de cultivares de batatinha, redução esta mais acentuada nos cultivares sensíveis ao Al que nos tolerantes (LEE, 1971; FAHL *et al.*, 1980). Comportamento semelhante foi observado em cultivares de milho, notando-se reduções mais acentuadas nas raízes que na parte aérea, quando submetidos à concentração de Al de 20 mg L⁻¹. As menores concentrações de Mg ocorreram no cultivar sensível (CLARK, 1977).

CAMBRAIA *et al.* (1983a) também observaram redução nos teores de Mg da parte aérea e radicular de sorgo com o aumento da concentração de Al, porém sem diferença entre cultivares. Cultivares de milho não apresentaram redução do teor de Mg na parte aérea quando submetidos à presença de Al, independentemente de sua tolerância à toxidez a este elemento (RAMIREZ e BERENGEL, 1984). Porém, os mesmos autores observaram uma forte redução do conteúdo de Mg nas raízes, quando foram adicionados 2 mg kg⁻¹ ou mais de Al na solução nutritiva.

Nota-se que para cada cultura ou cultivar parece haver um comportamento diferente quanto à influência do Al na concentração de Mg na planta.

2.7.4 FÓSFORO (P)

Observa-se uma preocupação de pesquisadores quanto à importância da interação Al X P no solo e para as culturas. FREIRE (1975) observou que em um solo com Al em níveis tóxicos, a adubação com P foi mais importante que a calagem no aumento da nodulação e produção de matéria seca das plantas de soja. FOY e BROWN (1963) observaram que com 10 mg kg⁻¹ de Al na solução nutritiva, houve boa ramificação radicular e crescimento aéreo quando a relação P/Al foi maior que 2, e que menos P foi requerido para se obter um bom crescimento radicular e aéreo, quando o teor de Al na solução nutritiva foi de 2 mg kg⁻¹ em relação à 10 mg kg⁻¹.

Em milho, o acúmulo de P na parte aérea parece depender de características inerentes a cada cultivar, quando na ausência de Al na solução nutritiva. Porém, com o aumento de Al na solução nutritiva, ocorre diminuição nos teores de P da parte aérea e menos acentuadamente do sistema radicular, parecendo haver menor habilidade das plantas susceptíveis em absorver P na presença de Al (RAMIREZ e BERENGEL, 1984).

Em cultivares de batata, aumento de Al na solução nutritiva promoveu diminuição dos teores de P na parte aérea mas aumento deste elemento nas raízes (LEE, 1972). Isto pode estar relacionado à precipitação do Al na forma de fosfato ($AlPO_4$) nas raízes, na forma de uma mucilagem que recobre a superfície da raiz, ou nos espaços intercelulares e às vezes no citoplasma, como foi observado por MCCORMICK e BORDEN (1974), em cevada.

2.7.5 MICRONUTRIENTES

Muitos trabalhos revelam o comportamento dos teores de micronutrientes em diversas culturas, com a variação da concentração de Al no meio de enraizamento.

Em trabalho realizado com solução nutritiva e cultivares de sorgo, CAMBRAIA *et al.* (1983a) observaram diminuição de Mn em raízes e parte aérea, com o aumento de Al na solução nutritiva, não ocorrendo diferença significativa entre cultivares tolerantes e sensíveis ao Al. Porém, na ausência de Al, o cultivar sensível apresentou teor 66% maior que o tolerante, desaparecendo esta diferença no tratamento com 2 mg l^{-1} de Al ou mais. ALAN e ADAMS (1979) e LEE (1971) sugeriram a existência de competição por sítios de absorção entre Al e Mn.

Os teores foliares de Zn e Mn em milho decresceram acentuadamente com a aplicação de $2,5 \text{ mg l}^{-1}$ de Al na solução nutritiva (CLARK, 1977).

CAMBRAIA *et al.* (1983a) observaram decréscimo de Cu tanto no sistema aéreo como no radicular de sorgo, com o aumento do teor de Al na solução nutritiva. No mesmo trabalho, observou-se maior teor no cultivar sensível somente nas raízes. Este efeito parece estar relacionado à competição por sítios de ligação ou adsorção na superfície radicular (HIATT, AMOS e MASSEY, 1963; ALAN e ADAMS, 1979).

Os teores de Fe na parte aérea de alguns cultivares de milho aumentaram com elevadas concentrações de Al, independente da sensibilidade do cultivar ao Al (CLARK,

1977). O mesmo ocorreu com os teores das raízes do cultivar sensível, permanecendo constante nas do tolerante. Porém, este autor observou que com teores baixos de Al na solução nutritiva (até 5 mg l^{-1}) houve diminuição dos teores foliares de Fe, concordando com CAMBRAIA *et al.* (1983a) em sorgo, atribuindo este efeito à inibição, pelo Al, da capacidade redutora das raízes do íon férrico à ferroso, não observando no entanto variação entre cultivares tolerantes e sensíveis. Estes autores sugerem que os sintomas de clorose internerval podem estar relacionados à diminuição da absorção de Fe ou de sua mobilidade na planta, que são afetadas pela relação deste nutriente com outros compostos, como possivelmente, fósforo.

Interações entre nutrientes são utilizadas na avaliação do estado nutricional das plantas, pois podem melhorar o seu desenvolvimento ou então proporcionar-lhes condições inadequadas de equilíbrio nutricional (MORTVEDT; GIORDANO e LINDSAY, 1983).

As relações P/Fe e P/Zn parecem estar entre as de maior relevância sob condições brasileiras (BATAGLIA, 1988; SOUZA e FERREIRA, 1991). Como o Al interfere na absorção dos micronutrientes (CLARK, 1977; CAMBRAIA *et al.*, 1983a) e do P (RAMIREZ e BERENGEL, 1984), o estudo destas relações torna-se importante nos trabalhos com toxidez de Al.

Maiores relações P/Fe com o aumento do Al na solução nutritiva foram observadas por CAMBRAIA *et al.* (1983a), para cultivares de sorgo, variando entre aproximadamente 18 e 40 em condições de menor e maior teor de Al na solução nutritiva, respectivamente. A relação P-Fe encontrada foi maior significativamente no cultivar sensível. Segundo os mesmos autores, a importância da relação entre estes nutrientes é de que o Fe pode ser imobilizado através da formação de compostos com o P absorvido, o que causaria deficiência do micronutriente para a cultura, inclusive sendo a causa de sintomas de clorose internerval das folhas.

A interação P-Zn, provoca desordens nas plantas, comumente associadas à altos níveis de P no solo (BATAGLIA, 1988). As possíveis causas desta interação foram listadas

por OLSEN (1983) como sendo a interação P-Zn no solo, velocidade mais lenta de translocação do Zn das raízes à parte aérea, diluição do Zn provocado pelo crescimento em função da adição de P ou uma alteração metabólica dentro das células.

2.7.6 ESTADO NUTRICIONAL

Observa-se que a presença de Al tóxico no solo tem como uma das consequências, a alteração do estado nutricional das plantas. Os dados são bastante variáveis, principalmente quando são avaliadas culturas e cultivares diferentes, sugerindo a possível existência de vários mecanismos de tolerância, que seriam específicos para cada cultivar.

Existe portanto, a necessidade de maiores pesquisas no sentido de esclarecer estes possíveis mecanismos de tolerância (alteração do pH próximo à raiz, formação de compostos estáveis de Al no interior da planta, diluição ou compartimentação do Al absorvido, ...) e as formas de atuação tóxica do Al nos tecidos, a nível celular (inibição da divisão celular, formação de pectatos de Al, redução da síntese de DNA, ...), bem como de suas consequências no desenvolvimento e nutrição das plantas.

São apresentados na TABELA 02 alguns parâmetros nutricionais considerados adequados para a cultura do milho (MALAVOLTA; VITTI e OLIVEIRA, 1989 e TRANI; HIROCE e BATAGLIA, 1983), no sentido de proporcionar subsídios para discussões desenvolvidas neste trabalho.

TABELA 02: TEORES FOLIARES DE NUTRIENTES, CONSIDERADOS ADEQUADOS PARA A CULTURA DO MILHO.

Macronutrientes	kg 100kg⁻¹	Micronutrientes	mg kg⁻¹
N	2.75-3.25	Cu	6-20
P	0.22-0.35	Fe	50-250
K	1.75-2.25	Zn	15-50
Ca	0.25-0.45	Mn	50-150
Mg	0.25-0.40	B	15-20

Fonte: Adaptado de MALAVOLTA; VITTI e OLIVEIRA (1989) e TRANI; HIROCE e BATAGLIA (1983).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA

A escolha do local partiu da premissa de que o solo deveria ser álico, ou seja, com elevada saturação por Alumínio (m%), além de outras características, como localização (proteção) e relevo.

O experimento foi instalado na Fazenda Experimental do Canguiri, pertencente ao Setor de Ciências Agrárias/UFPR, no Município de Piraquara - PR, na longitude de 49°8'-W, latitude 25°25' - S e altitude de 930 m. O clima está classificado como Cfb (subtropical úmido mesotérmico), com precipitação média da região de 1500 mm e temperaturas médias máxima de 24°C e mínima de 12°C (FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ, 1984).

As análises iniciais do solo, classificado como Latossolo Vermelho Amarelo, nas profundidades de 00-20 e 20-40 cm, revelaram as seguintes características químicas e físicas (TABELA 03):

TABELA 03: CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICA GERAL DO SOLO UTILIZADO.

Prof. cm	pH CaCl ₂	Al	H+Al	Ca	Mg	K	T	P mg kg ⁻¹	m	S %.....	MO	Areia	Silte g 100 cm ⁻³	Argila
00-20	4.4	4.4	12.8	1.3	1.3	0.13	15.5	1	61.7	2.73	9.4	16.8	27.2	56.0
20-40	4.4	4.7	13.9	0.7	0.5	0.06	15.2	1	76.9	1.26	4.9	18.4	21.6	60.0

A área não estava sendo cultivada a mais de 15 anos e a vegetação nativa era constituída de estepe gramíneo-lenhosa (vegetação rasteira) com alguns arbustos. No sentido

norte há ocorrência de mata secundária e no sentido sul, lavoura com culturas anuais. A leste e oeste, campo nativo com vegetação baixa.

3.2 PREPARO DA ÁREA

Para o plantio da cultura teste foram necessários procedimentos no sentido de possibilitar uma melhor homogeneização do solo. O preparo da área consistiu primeiramente na eliminação da vegetação mais grosseira presente, através de roçada, destoca e limpeza com transporte para fora da área delimitada. Posteriormente procedeu-se uma aração para a incorporação da vegetação rasteira e uma gradagem com grade niveladora para nivelar o terreno.

Após estas operações, realizou-se a coleta de solo para a incubação, na profundidade de 0-20cm, aleatoriamente e em toda a área, e a demarcação dos blocos e parcelas. Coletou-se aproximadamente 35 amostras simples de solo, para a incubação.

3.3 INCUBAÇÃO

Realizou-se em laboratório um experimento de incubação onde se obteve uma curva indicativa das quantidades necessárias de calcário para a obtenção dos tratamentos, utilizando-se o solo coletado em toda a área (0-20cm), antes da marcação do experimento.

Além da testemunha, foram estabelecidos cinco níveis de correção, sendo o nível intermediário equivalente a elevação da saturação por bases (V%) à aproximadamente 70%. Os seis tratamentos foram constituídos por quatro repetições.

No ANEXO 01 está representada a curva de incubação que mostra o comportamento do Al em função da quantidade de calcário aplicada, após 90 e 120 dias. Observa-se que o Al decresce com a calagem, atingindo teor igual a 0(zero), na quantidade equivalente a 10,5 t ha⁻¹

de calcário, PRNT 100%. A curva revela a influência da calagem na diminuição do Al trocável no solo, justificando o uso desta prática como uma eficiente forma de neutralização do Al tóxico.

3.4 IMPLANTAÇÃO DOS TRATAMENTOS

O delineamento utilizado foi em blocos ao acaso, sendo os tratamentos distribuídos em faixas, com 04 níveis de correção de Al com CaCO_3 e dois níveis tolerância de cultivares, distribuídos em 04 blocos de 60x20m. A distribuição dos tratamentos levou em consideração a localização da área. Cada parcela apresentava área de 20x15m, contendo duas subparcelas de 10x15m, com área útil de 66m^2 , ou seja 6x11m, considerando-se como bordadura os 2m externos em cada lateral.

Os níveis de correção foram obtidos a partir da curva de incubação (ANEXO 01), sendo que para o T_3 foi aplicado o equivalente a $10,5\text{ t ha}^{-1}$ de calcário PRNT 100% para a neutralização total do Al trocável do solo. T_2 e T_1 receberam 66,6% e 33,3% desta quantidade, respectivamente e T_0 , sem aplicação de calcário, constituindo a testemunha. O calcário utilizado apresentou a seguinte composição: 28,5% de CaO, 19,0% de Mg e 90,1% de PRNT, sendo classificado como dolomítico.

Para a obtenção dos tratamentos, a calagem foi realizada em duas etapas. Na primeira, baseada na análise inicial do solo (TABELA 03), o T_3 recebeu 50% do total de calcário necessário para elevar a saturação por bases (V%) a 70% e o T_2 e T_1 , 2/3 e 1/3 da quantidade aplicada em T_3 , respectivamente. A segunda calagem foi realizada 04 meses após a primeira, levando-se em consideração a curva de incubação (ANEXO 01), sendo aplicado o restante do calcário necessário para se obter os tratamentos, ou seja, o T_3 com 0% de Al e T_2 e T_1 com 66,6% e 33,3% da dose aplicada em T_3 , respectivamente. Com este procedimento, ou seja, de

aplicação parcelada do calcário, objetivou-se também a obtenção de uma incorporação mais uniforme ao solo.

Após a 1ª calagem houve o plantio de aveia branca (*Avena sativa*, L.) em todas as parcelas, com o objetivo de promover maior homogeneização da camada arável, antes da implantação do milho.

As incorporações, nas duas etapas da calagem, foram realizadas com grade aradora.

As parcelas (20x15m) foram subdivididas em duas subparcelas (10x15m) que receberam os dois cultivares, sendo um considerado tolerante (C525 M) (FURLANI, 1993) e outro sensível (HS7777) (FURLANI e HANNA, 1984) à presença de Al tóxico.

Devido às contínuas precipitações no período, o plantio foi realizado no dia 29 de novembro de 1993, um mês após a segunda calagem, utilizando-se o espaçamento de semeadura de 1,0 m entre linhas, com número de sementes necessárias para se obter 5-6 plantas por metro linear.

A adubação utilizada na área foi de 300 kg ha⁻¹ da formulação 04-30-10 na semeadura, em todos os tratamentos. Aos 40 e 65 dias após o plantio, foram realizadas adubações de cobertura aplicando-se 30 kg de N ha⁻¹, na forma de uréia, em cada data, com adição de 15,0 kg de K₂O ha⁻¹ na primeira data, complementando a adubação inicial. Aos 55 dias após o plantio, devido a ocorrência de sintomas generalizados de deficiência de Zn e P, realizou-se adubação foliar de 1,5 kg de sulfato de Zn (comercial) e 1 kg de MAP (NH₄H₂PO₄) diluídos em 400 L de água, utilizando-se aproximadamente 350 L no experimento.

Após o plantio, todo o manejo da lavoura (capinas, aplicações foliares, entre outros) foi realizado sem o tráfego de máquinas sobre a área.

3.5 AMOSTRAGENS DE SOLO E PLANTA E PREPARO DO MATERIAL

3.5.1 SOLO

A primeira coleta de solo por parcela foi realizada no dia do plantio (29/11/93), retirando-se amostras compostas nas profundidades de 0-15, 15-30 e 30-50 cm, sendo cada amostra composta formada por 3 amostras simples, obtidas aleatoriamente na parcela, utilizando-se para isto trado tipo holandês.

A segunda coleta foi realizada após a colheita, no dia 21/06/94, procedendo-se da mesma maneira que na 1ª coleta, porém, coletando-se individualmente em cada subparcela.

As amostras foram levadas ao laboratório, procedendo-se o destorroamento, homogeneização e posterior secagem em estufa a 60°C, até peso constante. Após a secagem, as amostras foram moídas até granulometria suficiente para passar em peneira de 2 mm.

3.5.2 PLANTA

A amostragem de plantas foi realizada no estágio de pleno florescimento, 26/02/1994 no cultivar C525 e 12/03/1994 no cultivar HS7777, identificado pela presença de 50% ou mais de plantas com emissão da inflorescência masculina (pendão).

Foram coletadas:

- 03 plantas inteiras médias em cada subparcela: procedeu-se o corte logo abaixo do 1º nó visível acima do solo. A escolha das plantas foi baseada na população das subparcelas, procurando-se obter plantas que representassem os maiores grupos com características

semelhantes. As plantas colhidas foram subdivididas em folha (lâmina foliar) e colmo (nó + entre-nó + bainha + pendão + espiga), no laboratório.

- 20 folhas representativas do estado nutricional, denominadas neste trabalho de "folhas nutricionais", ou seja, a 1ª folha abaixo e oposta à espiga (MALAVOLTA, 1981; ARNON, 1975), em cada subparcela. A coleta destas folhas foi 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 extremos, com auxílio de uma régua e tesoura. O terço médio foi utilizado para as análises.

A seguir, o material foi lavado, inicialmente com água de torneira (01 vez) e depois com água deionizada (02 vezes) e depois do escoamento do excesso de água, colocado em sacos de papel e postos para secar em estufa a 60°, até peso constante.

3.6 PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS

3.6.1 SOLO

3.6.1.1 Análises Químicas

Foram realizadas segundo rotina do Laboratório de Solos do Setor de Ciências Agrárias da UFPR, a partir de metodologia proposta por EMBRAPA (1979), como descrito a seguir:

3.6.1.1.1 pH CaCl₂

Determinado em solução de CaCl₂ 0,01M, relação 1:2,5 (10 cm³ de solo menor que 2mm + 25 ml de CaCl₂) em potenciômetro. As suspensões foram agitadas manualmente com bastão de vidro após a adição da fase líquida ao solo e imediatamente antes da leitura de cada amostra, realizada 01 hora depois da adição da fase líquida.

3.6.1.1.2 H⁺/Al

Através do emprego da solução tampão denominada SMP, introduzida originalmente por SHOEMAKER *et al.* (1961). Após a determinação do pH, adicionou-se 5 ml da solução tampão SMP e agitou-se manualmente deixando-se em repouso por 01 noite. As leituras potenciométricas foram efetuadas trinta minutos após uma nova agitação manual.

3.6.1.1.3 Ca, Mg e Al trocáveis

Extraídos do solução KCl 1N, relação 1:10. Após agitação por 05 minutos em agitador horizontal e repouso por 01 noite, foram retiradas alíquotas individuais de 25 ml.

Cálcio mais Magnésio e Cálcio foram determinados por compleximetria, utilizando-se titulação com EDTA 0,0125M e os indicadores Negro de Eriocromo e Calgon, respectivamente.

O Alumínio foi obtido por titulação com NaOH 0,025N , utilizando-se Azul de Bromotimol 0,1% como indicador.

3.6.1.1.4 K trocável e P solúvel

Realizou-se a extração com solução de Mehlich 1 (HCl 0,05N + H₂SO₄ 0,025N) na relação 1:10, utilizando o fotômetro de chama para a determinação de K e o método colorimétrico com emprego de molibdato de amônio, usando-se como redutor o ácido ascórbico, para a determinação de P. Para a leitura do P, utilizou-se a medição da densidade ótica através de espectrofotômetro, utilizando-se filtro vermelho (comprimento de onda 660 nm) após regulagem pela prova em branco.

3.6.1.1.5 Carbono

Determinado pelo método colorimétrico com oxidação pelo dicromato de sódio. A leitura foi realizada no espectrofotômetro no comprimento de onda de 650 nm.

3.6.1.1.6 Soma de bases, Capacidade de troca catiônica (CTC), Saturação por bases (V%), Saturação em alumínio (m%) e Magnésio trocável

Calculados de acordo com EMBRAPA (1979).

3.6.1.2 Análises Físicas

Foi determinada a composição granulométrica das amostras de solo, segundo EMBRAPA (1979), seguindo-se a rotina do Laboratório de Física do Solo do Setor de Ciências Agrárias da UFPR. A determinação foi por tamisação e sedimentação, empregando-se solução de pirofosfato de sódio (44g L de água⁻¹) como agente químico dispersante e agitação a alta rotação por 15 minutos. A argila foi determinada pelo método do densímetro.

3.6.2 FOLIAR

As análises químicas de tecido foram feitas segundo a metodologia descrita por HILDEBRAND (1977), realizando-se inicialmente uma digestão via seca a 500°C por 03 horas e posterior adição de 5 gotas de HCl 10% e nova incineração por 03 horas a 500°C, seguida de solubilização em HCl a 10% e filtragem para balões volumétricos. Posteriormente foram determinados os seguintes elementos:

3.6.2.2 P

Por colorimetria com molibdato-vanadato de amônio (cor amarela) em espectrofotometria de absorção atômica.

3.6.2.3 Ca, Mg, Zn, Fe, Mn, Cu e Al

Por espectrofotometria de absorção atômica. Para Ca e Mg, pela adição de nitrato de lantânio e posterior leitura em espectrofotômetro de absorção atômica.

3.6.2.4 K

Por fotometria de emissão.

3.6.2.5 B

Realizou-se inicialmente uma digestão via seca a 500°C por 03 horas e posterior adição de 5 gotas de HCl 10% e nova incineração por 03 horas a 500°C, seguida de solubilização com

HCl 1N e filtragem para balões volumétricos (HILDEBRAND,1977). A leitura foi realizada por colorimetria com Azomethine-H.

3.6.2.6 N

Determinado através do método de Kjeldahl (digestão sulfúrica com titulação com NaOH 0,02N), conforme descrito por HILDEBRAND (1977).

3.7 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DAS PLANTAS

3.7.1 ALTURA DE PLANTA

Foi mensurada em campo em 10 plantas por subparcela, após a maturação fisiológica. Adotou-se o critério de avaliar 05 plantas em linha e local aleatório na área útil, em um sentido e as outras 05 plantas na linha lateral no sentido oposto, de forma que as 10 plantas ficassem praticamente paralelas.

Utilizou-se uma régua “topográfica”, medindo-se do solo (ao lado do colmo) até a ponta da inflorescência masculina (pendão).

3.7.2 ALTURA DE INSERÇÃO DA 1ª ESPIGA

Obtida das mesmas plantas utilizadas para as medidas de altura da planta, utilizando-se o mesmo procedimento, porém até a base da 1ª espiga.

3.7.3 DIÂMETRO DE COLMO

Obtido nas mesmas plantas citadas anteriormente, com auxílio de paquímetro, no primeiro entre-nó após o primeiro nó visível.

3.8 OUTRAS AVALIAÇÕES

3.8.1 MASSA SECA

Foi determinada a partir de 03 plantas médias escolhidas de 10 plantas, após a maturação fisiológica, para a determinação da massa seca produzida por hectare. Na colheita das 10 plantas adotou-se os mesmos critérios utilizados para as características morfológicas. A utilização do critério de escolha de três plantas médias das 10 colhidas, foi baseado em trabalho prévio, constatando-se ser um parâmetro seguro e prático, em função da menor necessidade de estufas para a secagem.

3.8.2 PRODUÇÃO DE GRÃOS E NÚMERO DE PLANTAS

Foram avaliados a partir da contagem do número de plantas e colheita (manual) de uma única área de 4 linhas por 5 m contínuos (20 m²), localizada aleatoriamente, em cada subparcela, respeitando-se a bordadura. Após a colheita procedeu-se a debulha (com debulhador estacionário), pesagem e determinação da umidade em 03 amostragens de cada subparcela, para a avaliação da produção de grãos.

Após a determinação da umidade, converteu-se a produção para kg com 13% de umidade através da fórmula abaixo:

$ppc = \frac{100 - UA}{100 - UD} \times ppo$ onde: ppc= peso por parcela corrigido

100 - UD ppo= peso por parcela obtido

UD= umidade desejada

UA= umidade analisada

A colheita foi realizada no dia 30/05/1994. Também foram determinados o número e peso das espigas colhidas

3.9 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para a avaliação estatística realizou-se análises de variância e posterior regressão polinomial. Também foi feita análise de resíduos para verificação de pressupostos exigidos pela variância. Arbitrou-se α de 5% como nível de significância, correspondendo à $P= 5\%$, sendo considerados, diferentes estatisticamente, na discussão, os dados que apresentarem $P \leq 5\%$.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 TRANSFORMAÇÕES QUÍMICAS DO SOLO

Na TABELA 04 estão apresentados alguns parâmetros químicos de solo, da profundidade de coleta de 0-15cm, em função dos tratamentos, nas amostras coletadas no dia do plantio (29/11/1993) e após a colheita (21/06/1994), observando que os parâmetros do solo responderam significativamente à calagem (ANEXO 02).

TABELA 04: ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 0-15 cm E NAS DIFERENTES DOSES DE CALCÁRIO APLICADAS, NAS DATAS CORRESPONDENTES AO PLANTIO E APÓS A COLHEITA.*

Trat.	pH	Ca	Mg	Al	K	CTC	P	M.O.	m	V
	CaCl ₂cmol _c dm ⁻³					mg kg ⁻¹ %		
T0 Pl	4.2	1.9	1.5	3.6	0.25	20.3	3.3	9.5	50.4	17.7
Co	3.9	1.3	1.1	5.1	0.19	17.0	3.9	7.8	66.4	15.2
T1 Pl	4.5	4.0	2.7	1.5	0.23	20.7	3.3	9.5	17.9	33.2
Co	4.4	4.6	2.7	2.3	0.19	19.2	3.4	8.6	24.8	38.5
T2 Pl	4.4	5.3	4.2	0.5	0.29	20.6	3.0	9.8	4.7	47.5
Co	4.7	5.8	4.6	0.8	0.20	20.1	3.4	8.7	7.6	52.6
T3 Pl	4.8	5.2	4.1	0.4	0.22	20.0	2.8	8.9	4,6	47.3
Co	5.2	8.3	5.8	0.1	0.16	21.0	3.1	8.1	1.0	67.3

Pl= amostras coletadas no dia do plantio (29/11/93).

* Média de 04 blocos.

Co= amostras coletadas após a colheita (21/06/94).

Quanto às duas datas de coleta, observa-se que houve um pequeno decréscimo de pH com o tempo no tratamento T0, correspondente à testemunha, revelando a possível influência sazonal sobre o pH. Nos tratamentos que receberam as maiores doses de calcário (T2 e T3),

houve aumento de pH, revelando que o calcário continua a reagir com o tempo de contato com o solo.

Para Ca e Mg, a adição de calcário proporcionou aumento nos teores trocáveis com o tempo, revelando a liberação destes nutrientes a medida que ocorre a solubilização do corretivo, refletindo na saturação por bases (V %).

Os teores de P são baixos e apresentaram um pequeno aumento em todos os tratamentos com o tempo, mesmo com a elevada adubação utilizada e com a calagem. Este resultado pode estar relacionado à eficiência do extrator de Mehlich 1, para as condições de solo utilizado, em função de o teor de P nas folhas nutricionais apresentar comportamento diferenciado, especialmente no cultivar tolerante, como será observado mais adiante.

Observa-se que os teores de M.O. diminuíram em todos os tratamentos, possivelmente devido à intensificação da atividade microbiana, após a exposição do solo a maior aquecimento superficial e alteração do pH.

A aplicação de calcário (variação entre doses) proporcionou aumentos de pH e Ca e Mg trocáveis e diminuição nos teores de Al e conseqüente redução da saturação por este elemento (m%). O objetivo de alcançar 0 % de saturação por Al em T3 não foi atingido em todos os blocos, estando os dados obtidos nesta dosagem muito próximos deste valor, e em níveis considerados não tóxicos às plantas. A saturação por Al somente está acima dos níveis críticos no tratamento T0 (FAGERIA *et al.* 1988). Isto revela a influência localizada de diversos fatores como a fertilidade, teor de M.O. e atividade microbiana, que interferem na obtenção de repetições dos tratamentos exatamente como o obtido em condições de laboratório.

Os dados das análises químicas das amostras coletadas nas profundidades de 15-30 cm e 30-50 cm são apresentadas no ANEXO 03. Observa-se que, com exceção do pH que apresentou pouca variação entre estas profundidades, os demais parâmetros apresentaram maiores valores na camada de 15-30 cm em todos os tratamentos, mostrando serem

influenciados pelas condições naturais em que se encontra o solo, especialmente pela presença de matéria orgânica, que é maior quanto mais superficial a amostra. Observa-se portanto o maior efeito da calagem na camada superficial do solo (0-15 cm) e a possível influência da ciclagem na dinâmica destes nutrientes no solo (TABELA 04 e ANEXO 03).

No geral observa-se a baixa fertilidade natural do solo e sua elevada saturação por Al. A calagem proporcionou alterações químicas do solo até 30 cm, tornando-o mais adaptado ao plantio com os cultivares existentes no mercado, principalmente pela redução da quantidade de Al trocável e aumento dos teores de Ca e Mg e do pH.

4.2 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

Os resultados das análises de variância das variáveis, o teste F, os coeficientes de variação e as médias gerais são apresentados no ANEXO 04.

Foram ajustadas regressões polinomiais para cada variável em questão, em função das doses de calcário, adotando-se os seguintes procedimentos de discussão dos resultados:

-quando houve diferença significativa ($P \leq 5\%$) entre as doses de calcário e não significativa na interação doses de calcário x cultivares, as figuras apresentam uma única curva que reflete o comportamento de ambos os cultivares. Havendo diferença significativa entre os cultivares, pela simples avaliação das médias determina-se aquele que apresentou os maiores valores.

-quando ocorreu diferença significativa ($P \leq 5\%$) na interação entre doses de calcário x cultivares, as diferenças no quadro de análise de variância entre as doses de calcário e entre cultivares não foi considerada, sendo as figuras elaboradas com a presença de duas curvas, que representam o comportamento individual de cada cultivar em resposta às dosagens de calcário.

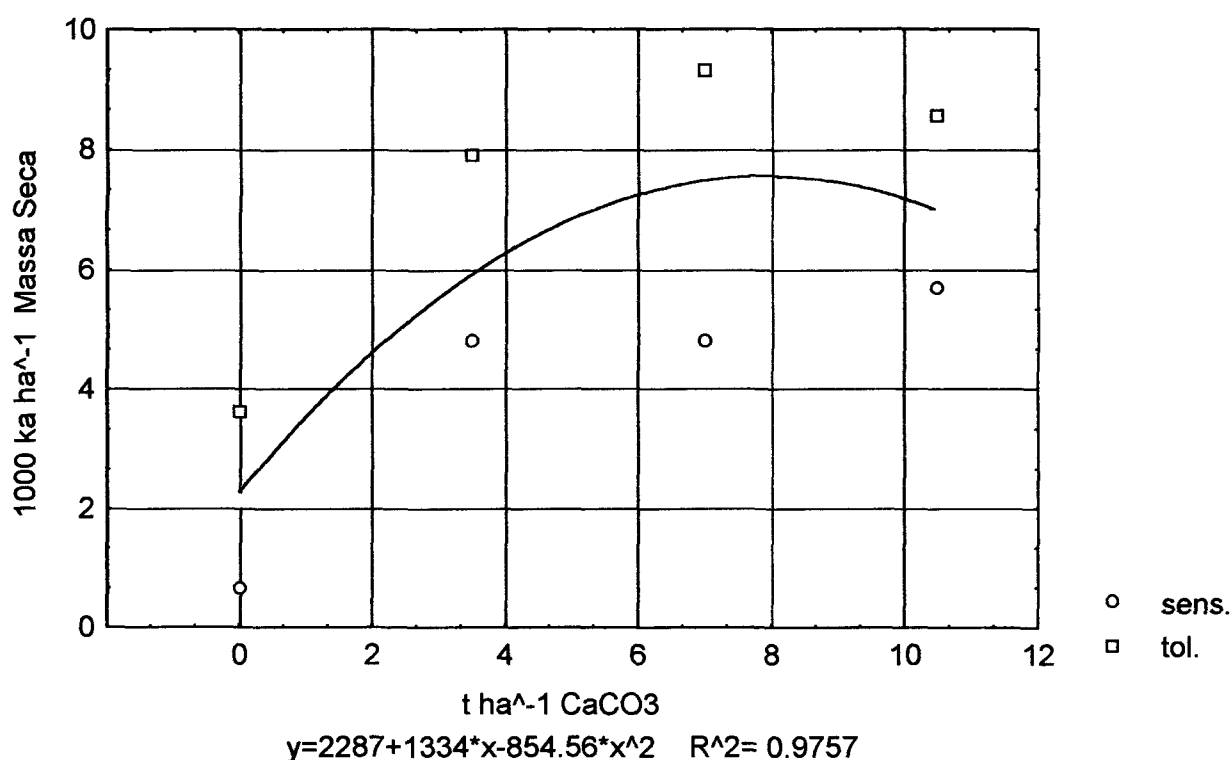
As equações de regressão são apresentadas na parte inferior de cada figura.

A altura de inserção da primeira espiga e altura de planta não sofreram influência das doses de calcário (ANEXO 04a,b), apresentando porém, diferença entre os cultivares. Apesar de não ocorrer diferença entre as doses de calcário aplicadas, em T0 houve tendência de diminuição destas variáveis (ANEXO 05a,b). O diâmetro de colmo também não foi influenciado pela calagem porém não houve diferença entre os cultivares (ANEXO 04c).

4.3 MASSA SECA

Ao analisar-se a FIGURA 01, constata-se que o cultivar tolerante apresentou maior produção de massa seca que o sensível, em todos os tratamentos, sendo diferentes estatisticamente (ANEXO 06a). Observa-se o aumento da matéria seca com o aumento da

FIGURA 01: VARIAÇÃO DA MASSA SECA DA PARTE AÉREA DE DOIS CULTIVARES DE MILHO, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE CALCÁRIO. MÉDIA DE QUATRO BLOCOS.



calagem que tende a deixar de existir após a aplicação aproximada de 8 t ha^{-1} de calcário. Um dos possíveis fatores que influenciaram na estabilização nestas quantidades de calcário aplicadas é a diminuição da m% em todas as doses (TABELA 04), à níveis considerados baixos para o milho (FAGERIA *et al.*, 1988).

Na TABELA 04 nota-se que ocorre uma tendência de aumentar a m% com o tempo em T1 e T2, o que poderá proporcionar menores produções de massa seca com o tempo nestes tratamentos.

Quando analisada a produção relativa de massa seca, observa-se que a menor produção correspondeu a 39% e 12%, para o cultivar tolerante e sensível, respectivamente, em relação a maior produção, revelando que o cultivar sensível respondeu mais à neutralização do Al tóxico. Além da interferência na absorção de água e nutrientes, o Al reduz a taxa fotossintética e os teores de clorofila em plantas de sorgo, o que provoca efeitos negativos na produção de massa seca da parte aérea (CAMBRAIA *et al.*, 1983b). Redução na produção de massa seca na presença de Al em solução nutritiva também foi observada por CLARK (1977) em plantas de milho, comprovando os dados em campo observados neste trabalho.

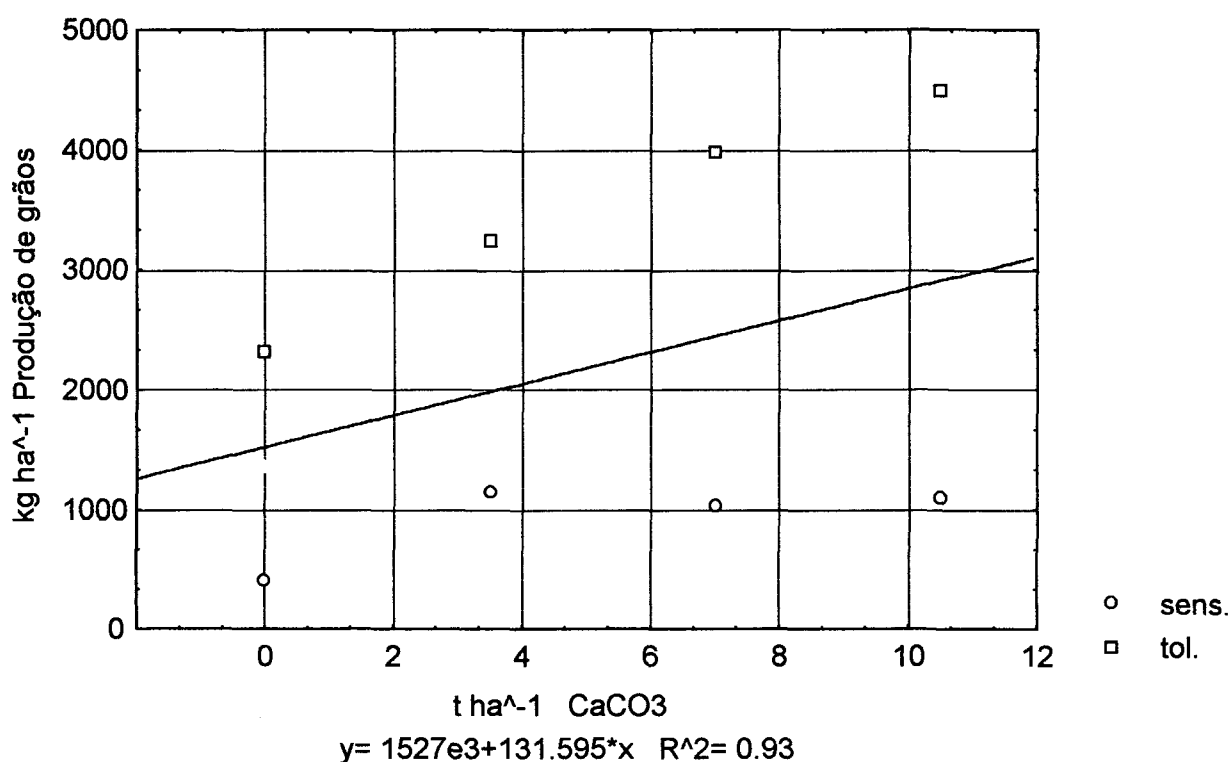
O comportamento da curva para a produção de massa seca é semelhante à curva do número de plantas, parecendo ser os valores de 4,7 de pH CaCl_2 e de 52% para o V%, suficientes para o bom desenvolvimento dos cultivares de milho avaliados.

4.4 PRODUÇÃO DE GRÃOS

Conforme observa-se no ANEXO 6b, não há diferença significativa na interação cultivar x doses de calcário para a variável produção de grãos ocorrendo no entanto, diferença significativa quando os fatores foram analisados individualmente, tanto em função das doses de calcário, quanto entre cultivares.

A influência da calagem sobre a produção de grãos é observada na FIGURA 02. A produção aumentou de maneira linear com o aumento da quantidade de calcário adicionada. Segundo QUAGGIO (1989 e 1992), as várias modificações físicas, químicas e biológicas provocadas pela calagem impedem a definição de qual foi a responsável pelo aumento da produção. No entanto, um dos possíveis efeitos que beneficiam o aumento da produção pode ter sido a diminuição do Al trocável do solo com a elevação do pH (TABELA 04). Este fato influencia diretamente na absorção dos nutrientes necessários à planta, principalmente pela diminuição dos efeitos negativos do Al sobre o sistema radicular, que são relatados por CLARK (1977) e FURLANI e HANNA (1984), entre outros. Esta influência será observada adiante, na discussão sobre os teores de nutrientes nas folhas nutricionais.

FIGURA 02: VARIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE GRÃOS DE DOIS CULTIVARES DE MILHO, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE CALCÁRIO. MÉDIA DE QUATRO BLOCOS.



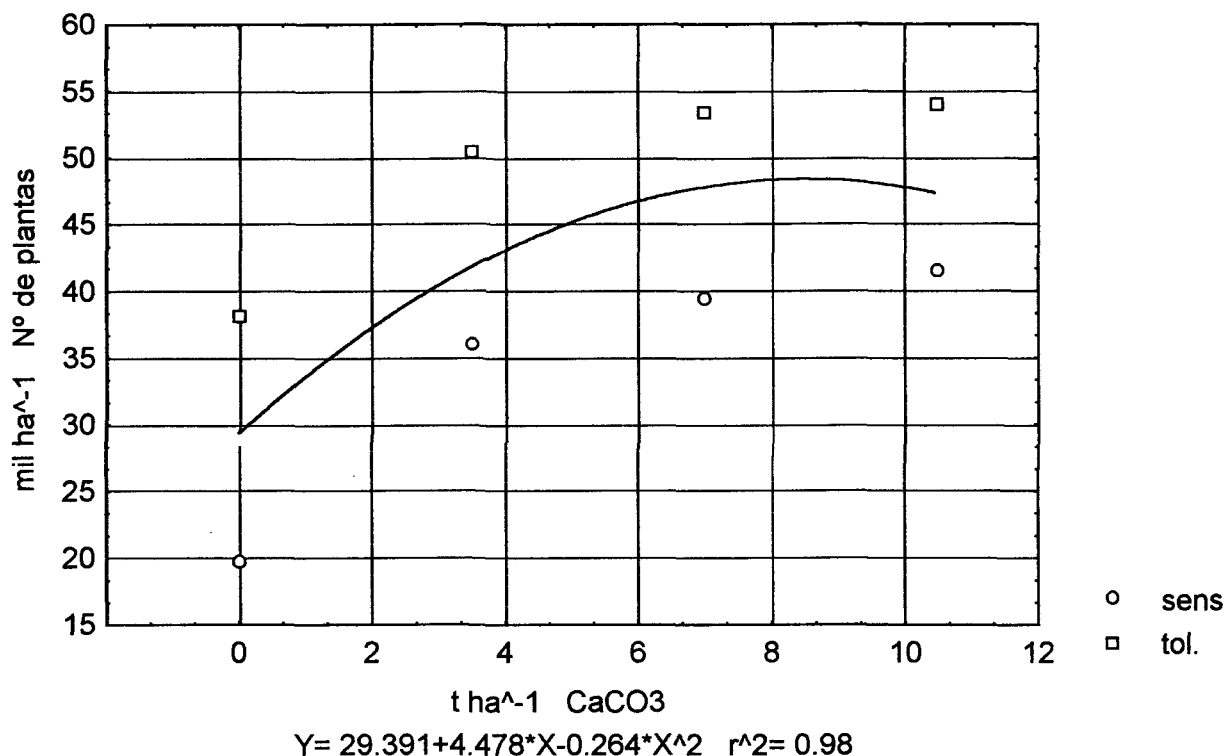
Embora os comportamentos não sejam diferentes, observa-se que o cultivar tolerante tende a ser mais responsivo à calagem que o sensível, quanto a produção de grãos, apresentando produções crescentes com o aumento das doses de calcário. Observa-se no ANEXO 09, que no cultivar tolerante o aumento da calagem é acompanhado por um aumento na produção de grãos por planta, não ocorrendo o mesmo no cultivar sensível. Esta observação comprova as avaliações de campo, onde foi verificado que as plantas do cultivar sensível apresentavam 2-4 espigas, porém com pouca formação de grãos, e conseqüentemente, o aumento da produção parece ser proporcional ao aumento do número de plantas. O possível efeito de compensação que poderiam apresentar as plantas do cultivar sensível, em função da menor população, parece não ter ocorrido (ANEXO 09).

A produção dos dois cultivares apresenta uma correlação negativa significativa com a saturação por Al no solo, na profundidade de 0-15 cm (ANEXO 02). Observa-se no entanto, que a produção de grãos do cultivar tolerante apresenta tendência de maior decréscimo a medida que aumenta o m%, mostrando ser um cultivar mais responsivo à calagem e redução do Al tóxico no solo.

4.5 POPULAÇÃO DE PLANTAS

Níveis de calagem em campo que proporcionaram ao solo diferentes níveis de Al, influenciaram na população dos cultivares de milho utilizados (ANEXO 06c). Na FIGURA 03, observa-se o comportamento dos cultivares em função das doses de calcário, mostrando que mesmo o cultivar considerado tolerante sofre efeitos negativos com a presença de elevados níveis de Al no solo. O número de plantas foi maior nos tratamentos que receberam as maiores aplicações de calcário. Estes dados sugerem que a presença de níveis elevados de Al trocável no solo provoca a morte de plântulas, o que foi observado em campo. Este efeito pode estar relacionado à inibição da divisão celular nas raízes provocada pelo Al (FOY, 1974) e

FIGURA 03: VARIAÇÃO DO NÚMERO DE PLANTAS DE DOIS CULTIVARES DE MILHO, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE CALCÁRIO. MÉDIA DE QUATRO BLOCOS.



consequentes efeitos negativos no crescimento de raízes primárias e secundárias das plantas (CLARK, 1977; FURLANI e ANNA, 1984).

A população de cada cultivar foi diferente em função do potencial genético de germinação específico de cada cultivar e da baixa qualidade das sementes disponíveis do cultivar sensível. No entanto, entre as doses de calcário, a maior diferença entre os cultivares foi observada quando não houve a aplicação de calcário, o que pode indicar a diferença de sensibilidade entre os cultivares testados.

Observa-se (FIGURA 03) que após a adição de 7,0 t ha⁻¹ de CaCO₃, o que correspondeu a pH CaCl₂ de 4,7 e saturação por bases (V%) de 52% (TABELA 04), houve pouca variação no número de plantas em ambos os cultivares, possivelmente em função do elevado teor de M.O. do solo (TABELA 04), que poderia neutralizar parte do Al tóxico às plantas (BARTLETT e RIEGO, 1972; AHMAD e TAN, 1986), e pela diminuição da m% a

partir da aplicação de 3,5 t ha⁻¹ de CaCO₃ à níveis inferiores aos considerados críticos para a cultura (TABELA 01 e TABELA 04).

4.6 AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DAS PLANTAS

Neste item serão avaliados os teores dos componentes químicos das folhas nutricionais, através do comportamento de cada cultivar com o aumento das doses de calcário.

Quanto à interpretação dos gráficos, as observações feitas no início da discussão dos características morfológicas (item 4.2), são válidas para as figuras a seguir apresentadas.

Os dados médios obtidos para os elementos analisados, que não apresentaram diferenças significativas entre as dosagens de calcário, são apresentados na TABELA 05.

TABELA 05: DADOS MÉDIOS DOS TEORES DE K, Ca, Zn, Cu E B, DAS FOLHAS NUTRICIONAIS DE DOIS CULTIVARES DE MILHO, DIFERENCIADOS PELA TOLERÂNCIA À PRESENÇA DE Al TÓXICO NO SOLO.

Cultivar *	Kkg 100kg ⁻¹	Ca	Zn	Cumg kg ⁻¹	B
HS**	1.20 b	0.33 a	23.30 b	11.28 b	11.75 b
C**	2.06 a	0.34 a	42.85 a	14.55 a	13.56 a

HS- cultivar sensível ao Al tóxico (HS7777)

C- cultivar tolerante ao Al tóxico (C525)

* - valores seguidos de letras diferentes nas colunas diferem significativamente (Análise de Variância).

** - média de 16 repetições

Observa-se que os teores de Zn, Cu, Ca nos dois cultivares e de K no cultivar tolerante estão em níveis considerados adequados para a cultura do milho, enquanto o teor de B nos dois cultivares e o de K no cultivar sensível (HS) estão abaixo destes, segundo TRANI; HIROCE e BATAGLIA (1983) e MALAVOLTA; VITTI e OLIVEIRA (1989) (TABELA 02).

Diferenças significativas entre os cultivares, foram observadas para K, Zn, Cu e B (TABELA 05; ANEXO 08a,f,g,h), sendo os níveis sempre maiores no cultivar tolerante. Comportamento semelhante foi observado por LEE (1971) para o K, parecendo realmente a tolerância ao Al estar relacionada com a capacidade da planta em absorver este elemento.

Os dados de K divergem dos encontrados por BEN (1974) e FAHL *et al.* (1980), que observaram aumento dos teores da parte aérea com o aumento da quantidade de calcário aplicada. Esta diferença de comportamento pode estar relacionada às elevadas precipitações que ocorreram durante a realização do experimento, favorecendo a absorção.

Embora os teores de Ca não tenham apresentado diferença significativa entre cultivares (TABELA 05), somente houve correlação significativa (ANEXO 02) com os parâmetros de acidez do solo e com os teores foliares avaliados no cultivar tolerante, sugerindo uma possível relação entre a absorção de Ca e a tolerância ao Al tóxico, concordando com FOY e BROWN (1963), FURLANI (1989), MALAVOLTA; VITTI e OLIVEIRA,(1989), FRÁGUAS (1993), FOY e FLEMING (1978), FAHL *et al.* (1980) e LEE (1971), que trabalharam com outras culturas como o feijão, trigo, batata, cevada e soja. No entanto, RAMIREZ e BERENGEL (1984) não observaram diferença em plantas de milho, sugerindo não haver influência da toxidez de Al sobre a absorção e transporte de Ca para a parte aérea do milho. Na TABELA 04, observa-se que mesmo ácido o solo apresentou altos níveis de Ca, sendo também uma possível justificativa da não ocorrência de diferenças significativa entre as doses de calcário.

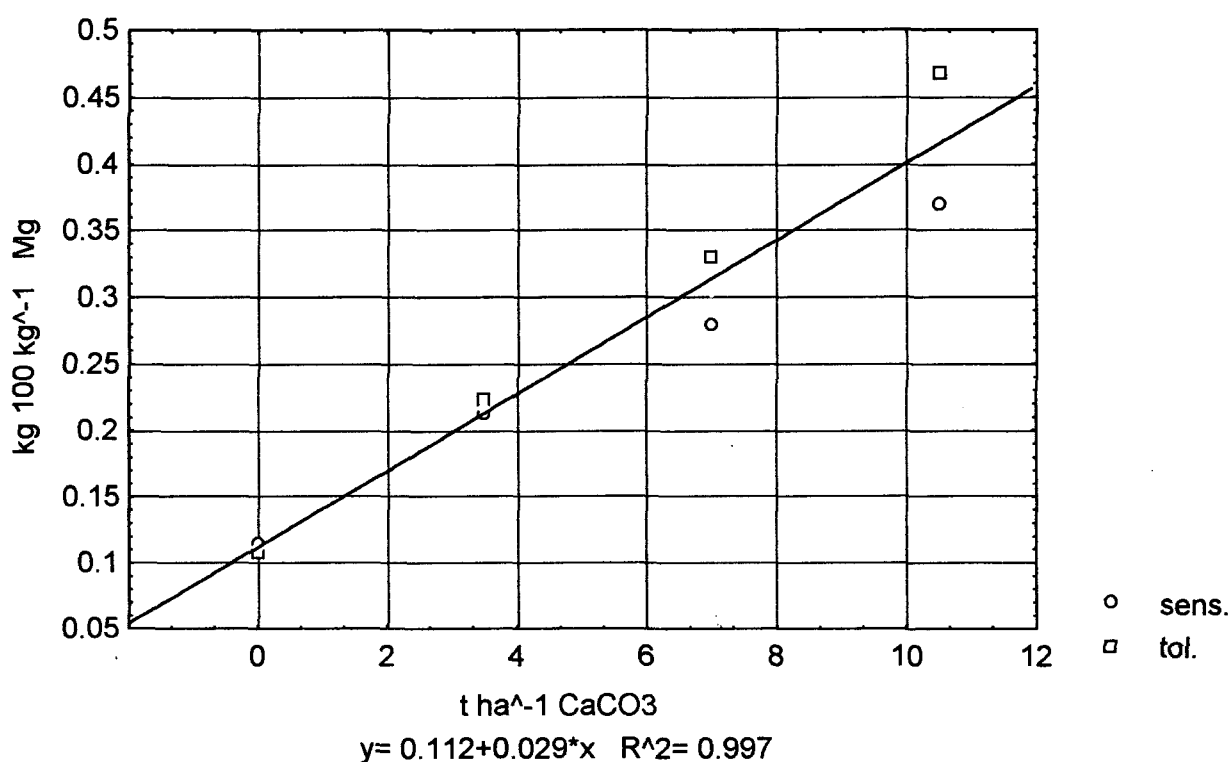
Os dados de Zn e Cu são divergentes dos observados por CLARK (1977) e CAMBRAIA *et al.* (1983a), respectivamente, que observaram decréscimos nos teores da parte aérea com o aumento do teor de Al na solução nutritiva. No entanto, a divergência possivelmente está na presença de elevados teores de matéria orgânica do solo e sua decomposição (TABELA 04), que poderia ter fornecido a quantidade necessária destes nutrientes às plantas, além da aplicação de Zn em cobertura.

4.6.1 MAGNÉSIO

As quantidades médias para cada cultivar e em cada tratamento estão apresentadas no ANEXO 7a. A medida que aumenta a quantidade de calcário aplicada no solo, aumenta o teor de Mg na folha nutricional. Esta tendência é mais acentuada no cultivar tolerante, que apresentou maiores valores após a adição de $7,0 \text{ t ha}^{-1}$ em relação ao sensível (FIGURA 04).

Os cultivares apresentam comportamento diferenciado estatisticamente (ANEXO 08c) quando avaliados os teores nas folhas nutricionais em função do aumento da quantidade de calcário aplicada e consequente diminuição dos teores de Al no solo (TABELA 04), sendo que o cultivar tolerante apresentou maiores valores que o sensível, principalmente nos tratamentos que apresentaram os menores teores de Al (FIGURA 04). Isto pode significar que o cultivar

FIGURA 04: VARIAÇÃO DOS TEORES DE Mg DAS FOLHAS NUTRICIONAIS DE DOIS CULTIVARES DE MILHO, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE CALCÁRIO. MÉDIA DE QUATRO BLOCOS.



tolerante apresentou uma tendência de ser mais eficiente na translocação de Mg para a parte aérea somente em condições de baixa m% no solo. Estes dados discordam de RAMIREZ e BERENGEL (1984) que não observaram diferença significativa entre cultivares tolerantes e sensíveis de milho ao Al tóxico, e de CAMBRAIA *et al.* (1983a) para cultivares de sorgo.

LEE (1971) e FAHL (1980) observaram reduções mais acentuadas nos teores de Mg na parte aérea dos cultivares sensíveis de batatinha, com o aumento da concentração de Al na solução nutritiva, em relação aos tolerantes. Em trabalhos com solução nutritiva ocorrem maiores reduções nos teores de Mg nas raízes que na parte aérea com o aumento do teor de Al na solução (CLARK, 1977, RAMIREZ e BERENGEL 1984).

O aumento de Mg verificado no presente trabalho, nas folhas nutricionais, pode estar relacionado com a diminuição dos teores de Al trocável do solo (ANEXO 02) e também com a adição direta deste elemento através da calagem (TABELA 04).

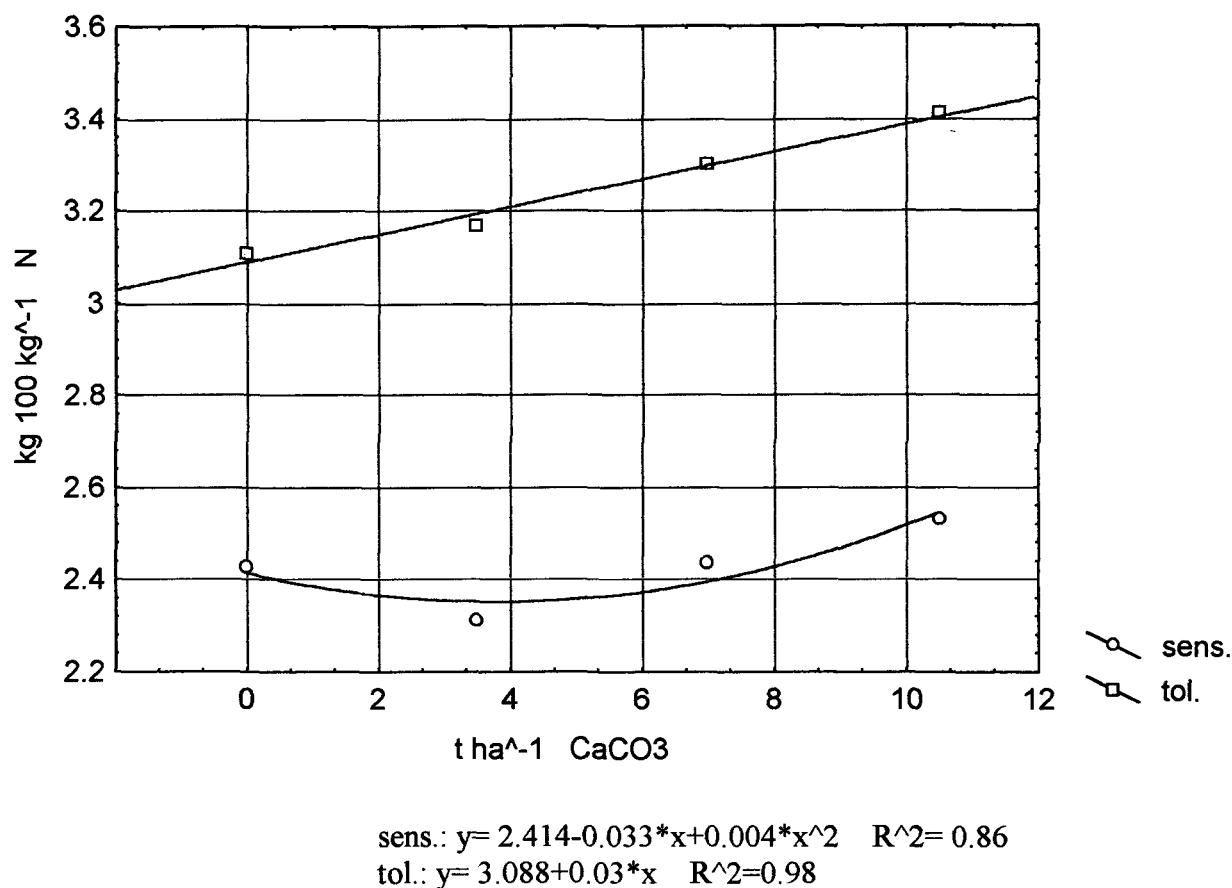
4.6.2 NITROGÊNIO

A porcentagem de N em função dos tratamentos está apresentada no ANEXO 07b e a análise de variância no ANEXO 08d, onde verifica-se que houve diferença significativa no N medido nas folhas nutricionais para a interação cultivar x doses de calcário.

Na FIGURA 05 observa-se as curvas do comportamento dos dois cultivares em função da calagem. A quantidade de N na folha nutricional foi em média 34% maior no cultivar tolerante que no sensível, estando em níveis considerados adequados no cultivar tolerante e em níveis considerados inadequados no sensível (TRANI; HIROCE e BATAGLIA, 1983 e MALAVOLTA; VITTI e OLIVEIRA, 1989).

A decomposição da M.O. do solo (TABELA 04) e o possível favorecimento do crescimento radicular pela calagem, podem ter influenciado no aumento de disponibilidade de N às plantas. Correlação negativa significativa foi observada entre Al trocável no solo e N na

FIGURA 05: VARIAÇÃO DOS TEORES DE N DAS FOLHAS NUTRICIONAIS DE DOIS CULTIVARES DE MILHO, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE CALCÁRIO. MÉDIA DE QUATRO BLOCOS.



planta somente no cultivar tolerante (ANEXO 02), que parece apresentar maior eficiência na absorção de N do solo que o sensível, quando na presença ou não de Al tóxico no solo.

4.6.3 FÓSFORO

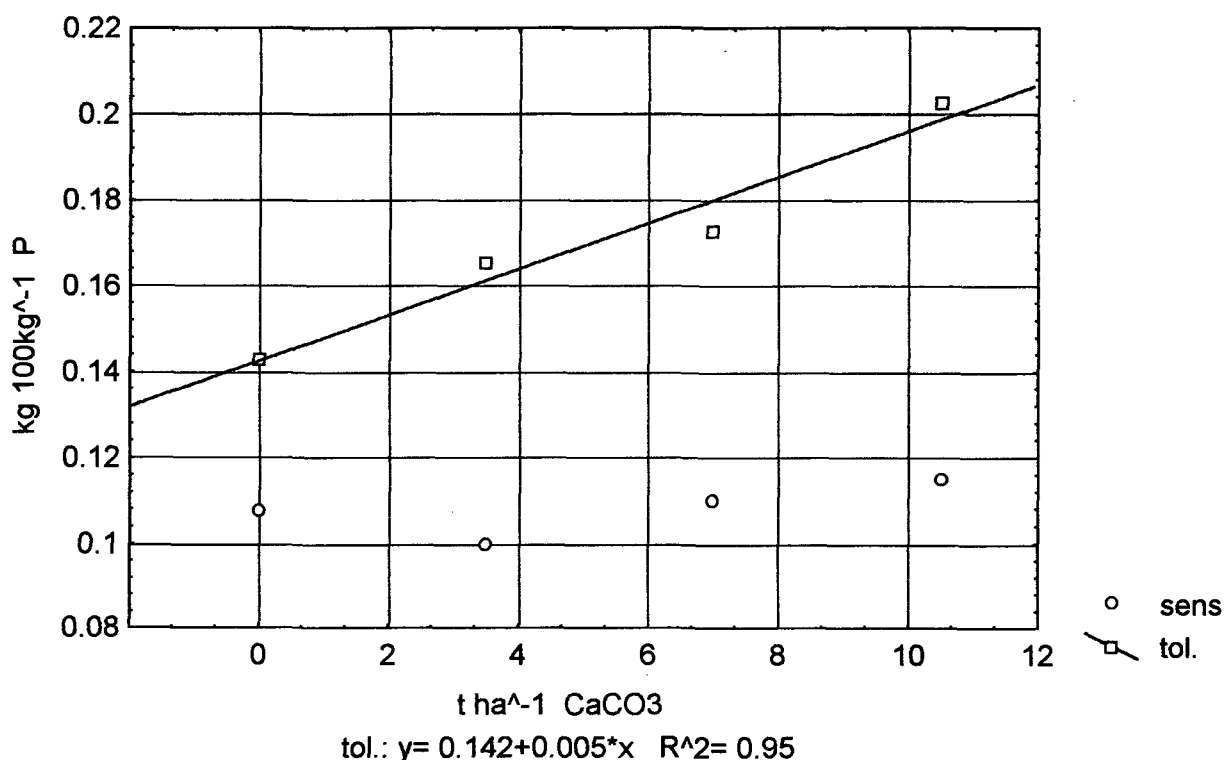
Quanto a esta variável, observou-se haver diferença significativa na interação doses de calcário x cultivar (ANEXO 08e).

A maior absorção de P pelo cultivar tolerante em relação ao sensível ocorre em todos os tratamentos, sendo que em T0, onde não houve aplicação de calcário, ocorreram os

menores teores e posterior aumento com o aumento da quantidade de calcário aplicada, somente para este cultivar (ANEXO 07c).

Segundo RAMIREZ e BERENGEL (1984), cultivares tolerantes de milho tendem a apresentar menores variações nos teores de P na planta toda (raiz + parte aérea) com o aumento de Al na solução nutritiva. No entanto, observa-se na FIGURA 06 menores variações no cultivar sensível, ressaltando-se que os experimentos foram realizados em condições diferentes e que os dados apresentados neste trabalho referem-se às folhas nutricionais e não à planta toda. Pode-se caracterizar um relacionamento entre tolerância ao Al e capacidade de absorção de P e translocação para a parte aérea, como sugerem aqueles autores, em função de o cultivar tolerante sempre apresentar maiores teores nas folhas

FIGURA 06: VARIAÇÃO DOS TEORES DE P DAS FOLHAS NUTRICIONAIS DE DOIS CULTIVARES DE MILHO, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE CALCÁRIO. MÉDIA DE QUATRO BLOCOS.



sens.: não significativa

nutricionais, independente das doses de calcário. Também, mesmo não havendo detecção de variação no teor de P disponível pelo extrator utilizado (TABELA 04), somente o cultivar tolerante apresentou aumento dos teores foliares com o aumento da quantidade de calcário aplicada, revelando sua possível maior eficiência na absorção e translocação de P.

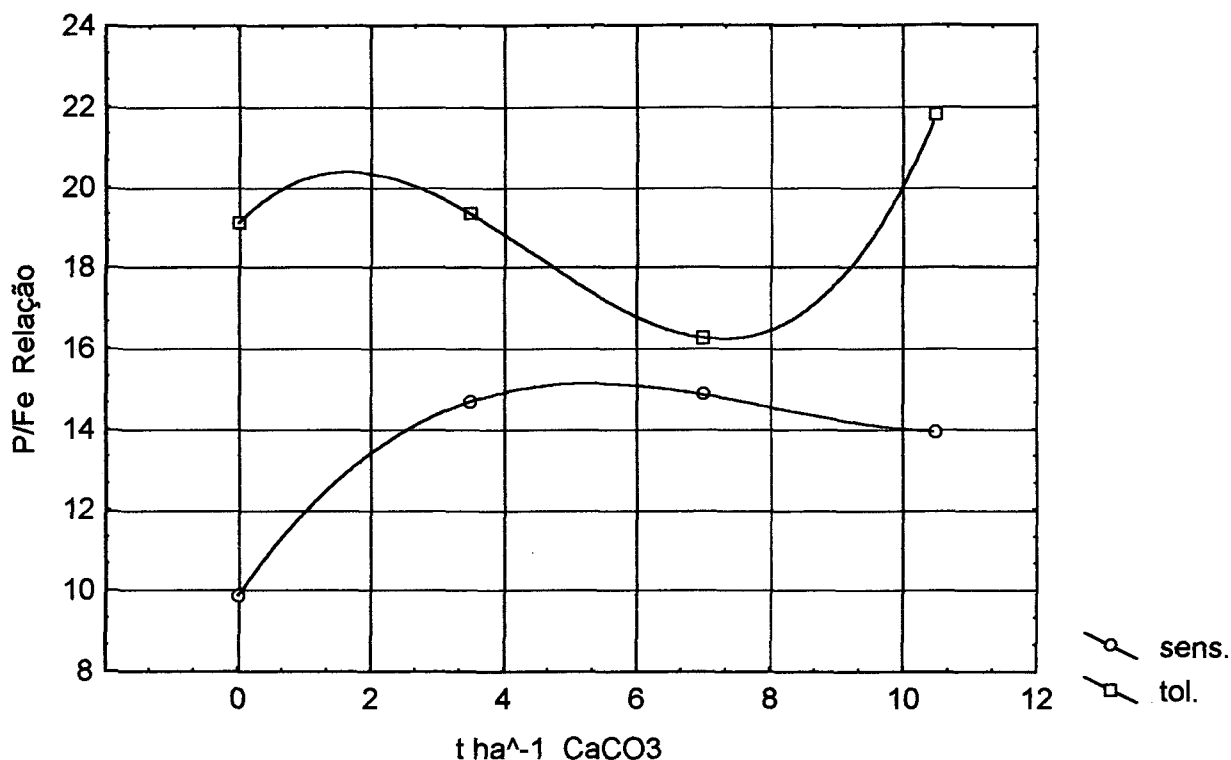
Elevada correlação (ANEXO 02) foi observada entre teor de P na "folha nutricional" e produção no cultivar tolerante, não sendo observado o mesmo no cultivar sensível. Isto reforça os dados observados por RAMIREZ e BERENGEL (1984), de que os cultivares de milho tolerantes à toxidez de Al apresentam a maior habilidade em absorver e translocar P para a parte aérea.

Alguns estudos (CAMBRAIA *et al.*, 1983a; RAMIREZ e BERENGEL, 1984; BATAGLIA, 1988; SOUZA e FERREIRA, 1991) observaram a importância do efeito da presença de Al em níveis tóxicos e de solos ácidos nas relações do P com outros nutrientes, como Fe e Zn.

A relação P/Fe foi maior no cultivar tolerante que no sensível (FIGURA 07). No cultivar sensível ocorre uma tendência de estabilização da relação após a adição de 3,5 t ha⁻¹. Este comportamento está relacionado à maiores teores de Fe (ANEXO 07d) quando a saturação por Al é maior (TABELA 04).

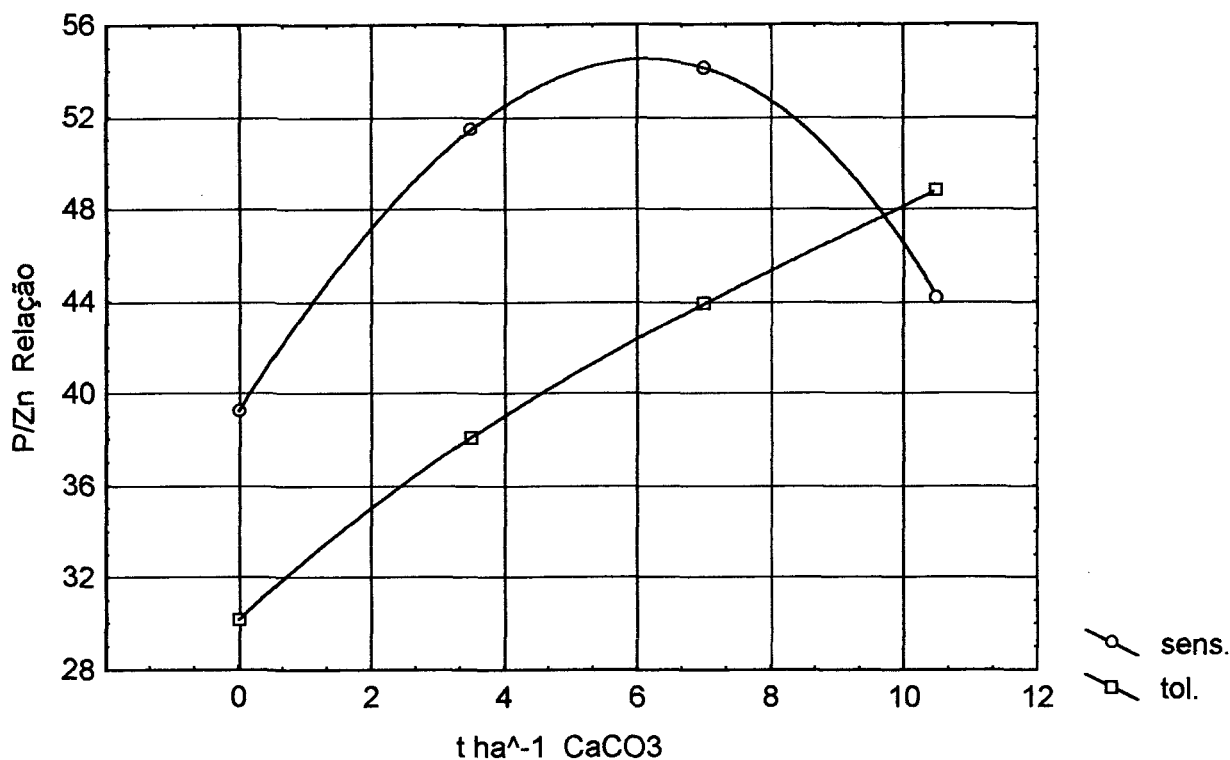
O comportamento observado difere do encontrado por CAMBRAIA *et al.* (1983a), que avaliaram a cultura do sorgo. Nesta gramínea os autores citados observaram relações que variaram entre aproximadamente 18 e 40 em condições de menor e maior teor de Al na solução nutritiva, respectivamente, revelando um possível comportamento diferenciado entre as duas culturas (milho e sorgo), ou a influência de vários fatores sobre esta relação, nas condições de realização do presente experimento.

FIGURA 07: VARIAÇÃO DA RELAÇÃO P/Fe DAS FOLHAS NUTRICIONAIS DE DOIS CULTIVARES DE MILHO, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE CALCÁRIO. MÉDIA DE QUATRO BLOCOS.



A relação P/Zn aumentou com a aplicação de calcário (FIGURA 08), sendo que o cultivar sensível apresentou decréscimo desta relação somente após a adição de 7,0 t ha⁻¹ de calcário. A relação P/Zn foi sempre maior no cultivar sensível, com exceção do tratamento T3, onde ocorreram as menores saturações por Al no solo (TABELA 04), devido possivelmente à maior eficiência do cultivar tolerante na absorção e translocação de P para a parte aérea que o sensível.

FIGURA 08: VARIAÇÃO DAS RELAÇÕES P/Zn DAS FOLHAS NUTRICIONAIS DE DOIS CULTIVARES DE MILHO, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE CALCÁRIO. MÉDIA DE QUATRO BLOCOS.



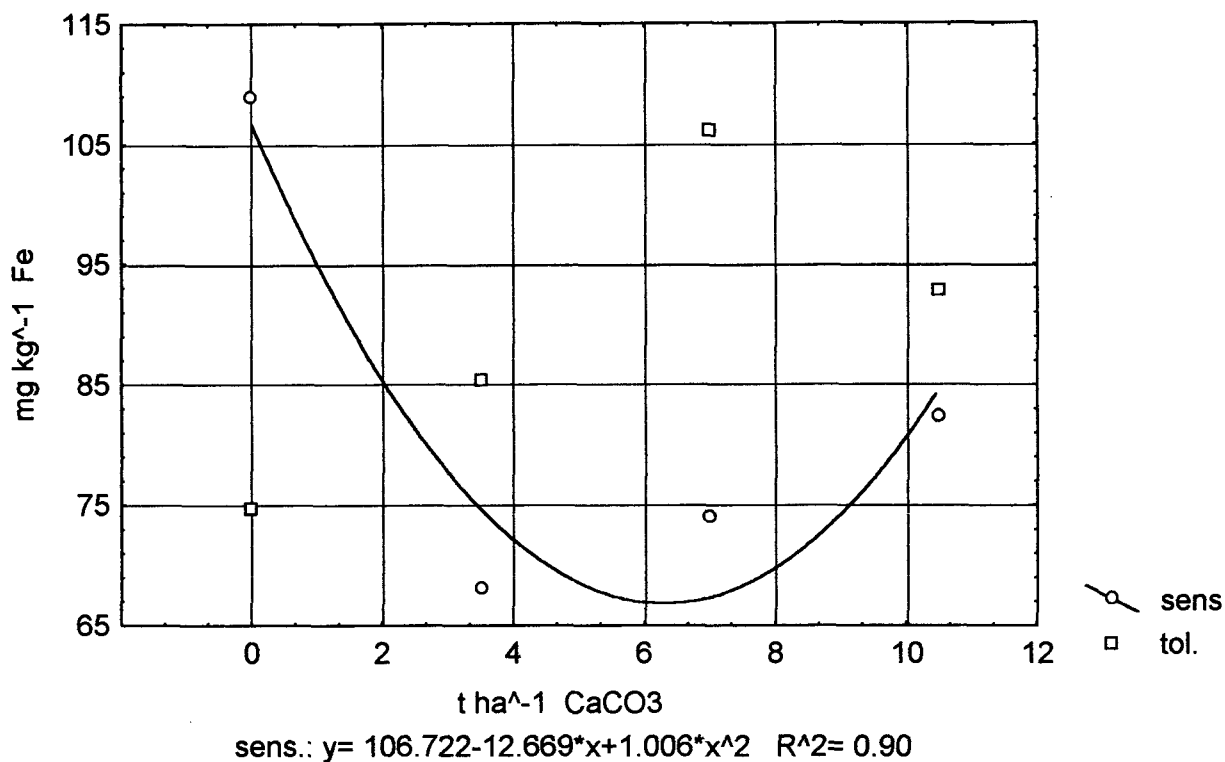
4.6.4 FERRO

No ANEXO 07d são apresentados os teores de Fe observados e suas médias. Nota-se que ocorre maiores teores de Fe no cultivar sensível somente no tratamento sem calagem, sendo que com a adição de qualquer quantidade de calcário ocorre uma tendência de inversão do comportamento, ou seja, o cultivar tolerante passou a apresentar níveis maiores. Ambos os cultivares apresentam teores considerados adequados para a cultura (TABELA 02).

No ANEXO 08i é apresentada a análise de variância dos dados, sendo que o teste F revelou diferença significativa para a interação cultivar x calagem.

A FIGURA 09 mostra a variação dos teores de Fe com as doses de calcário adicionadas. Observa-se que a curva de regressão só foi significativa para o cultivar sensível,

FIGURA 09: VARIAÇÃO DOS TEORES DE Fe DAS FOLHAS NUTRICIONAIS DE DOIS CULTIVARES DE MILHO, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE CALCÁRIO. MÉDIA DE QUATRO BLOCOS.



tol.: não significativa

que apresentou uma redução inicial na quantidade translocada para a folha nutricional com a menor dose de calcário e posterior tendência de aumento com o aumento da calagem. Apesar da equação não ser significativa, é possível observar uma tendência de aumento da quantidade de Fe nas folhas nutricionais do cultivar tolerante com a diminuição do Al trocável no solo. Estes dados diferem dos obtidos por CLARK (1977) e CAMBRAIA et al. (1983a) que observaram decréscimo de Fe na parte aérea de plantas em tratamentos com até 5 mg l⁻¹ de Al na solução nutritiva, independente da tolerância dos cultivares utilizados ao Al. De acordo com o segundo autor, o Al diminui a capacidade redutora das raízes do íon férrico a ferroso, dificultando sua absorção e translocação para a parte aérea.

Em função da variabilidade dos dados obtidos, a relação entre absorção de Fe pela planta e Al tóxico no solo deveria ser melhor estudada.

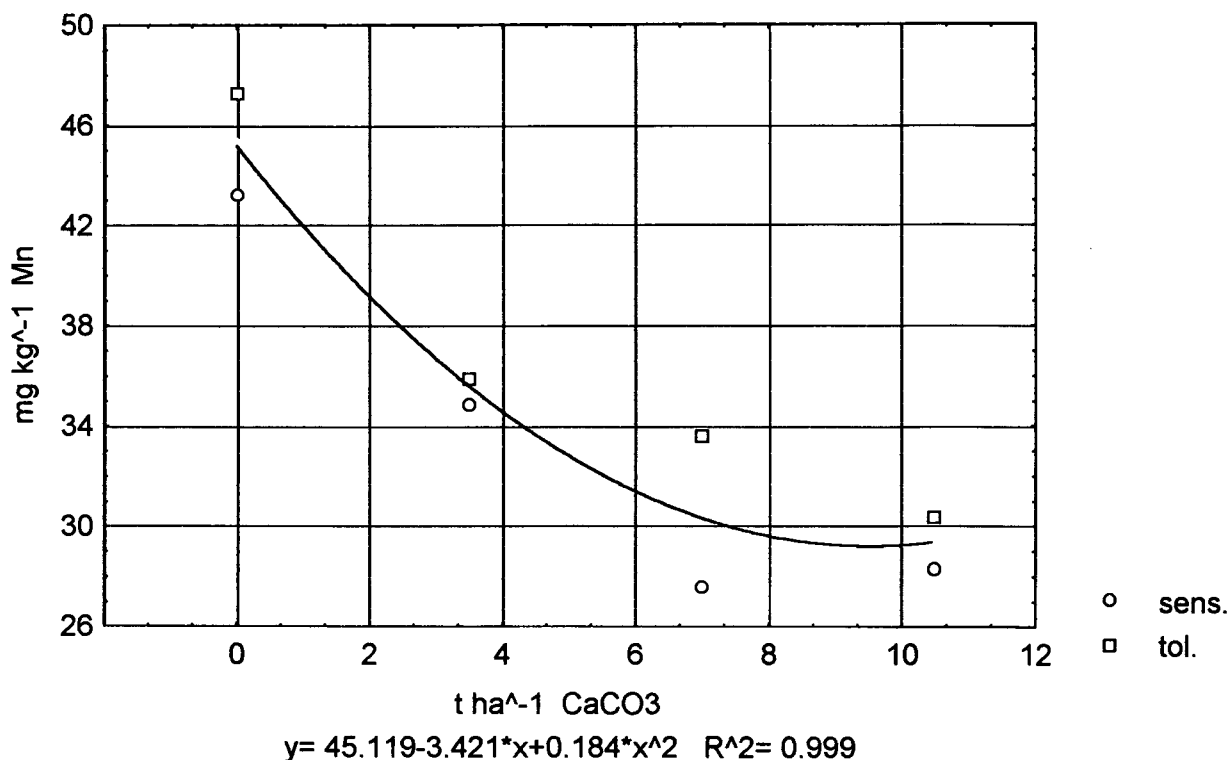
4.6.5 MANGANÊS

Os teores de Mn nas folhas nutricionais não apresentaram diferenças entre os cultivares (ANEXO 07e). Apesar de não ter havido diferença estatística (ANEXO 08j), observa-se uma leve tendência de maiores teores no cultivar tolerante (ANEXO 07e). Os teores observados estão abaixo dos considerados adequados para a cultura do milho (MALAVOLTA; VITTI e OLIVEIRA, 1989 e TRANI; HIROCE e BATAGLIA, 1983).

Quando analisado o comportamento de ambos os cultivares através da curva obtida pela análise de regressão (FIGURA 10), verifica-se que houve diminuição nos teores de Mn com o aumento da calagem e diminuição da saturação por Al, como pode ser verificado pela correlação positiva significativa entre Mn e m% (ANEXO 02). No entanto, CAMBRAIA *et al.* (1983a) e CLARK (1977) observaram diminuição no teor de Mn da parte aérea de sorgo e de milho, respectivamente, com o aumento dos teores de Al na solução nutritiva, podendo este comportamento estar relacionado à competição pelos sítios de absorção entre Al e Mn (ALAN e ADAMS, 1979 e LEE, 1971).

Porém, a calagem afeta a disponibilidade de Mn para as plantas (RITCHEY *et al.*, 1982), em função de seu efeito sobre várias propriedades do solo, como aumento do pH e diminuição da disponibilidade de Mn (FASSBENDER, 1982; QUAGGIO, 1982, 1989), o que conseqüentemente pode promover uma diminuição dos teores de Mn na planta, justificando os dados obtidos no presente trabalho.

FIGURA 10: VARIAÇÃO DOS TEORES DE Mn DAS FOLHAS NUTRICIONAIS DE DOIS CULTIVARES DE MILHO, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE CALCÁRIO. MÉDIA DE QUATRO BLOCOS.



Como se observa na TABELA 04, a calagem eleva a saturação por bases (V%) do solo, principalmente pelo fornecimento de Ca e Mg. Observa-se na planta correlações negativas significativas (ANEXO 02) entre Ca e Mg com Mn e Al no cultivar tolerante e Mg com Mn e Al no cultivar sensível, mostrando o efeito de compensação que ocorre na planta em função da diminuição da absorção de Al e Mn. Este efeito de compensação é relatado por MARSCHNER (1986).

Observa-se portanto, que em solução nutritiva, quando os nutrientes são fornecidos em concentrações adequadas (adequada atividade química), ocorre relação inversa ou competição entre Mn e Al, porém, à campo e com calagem, quando a disponibilidade de Mn é diminuída, outros cátions como o Ca e o Mg são absorvidos como compensação, e a correlação entre Mn e Al é positiva (ANEXO 02).

4.7 ALUMÍNIO

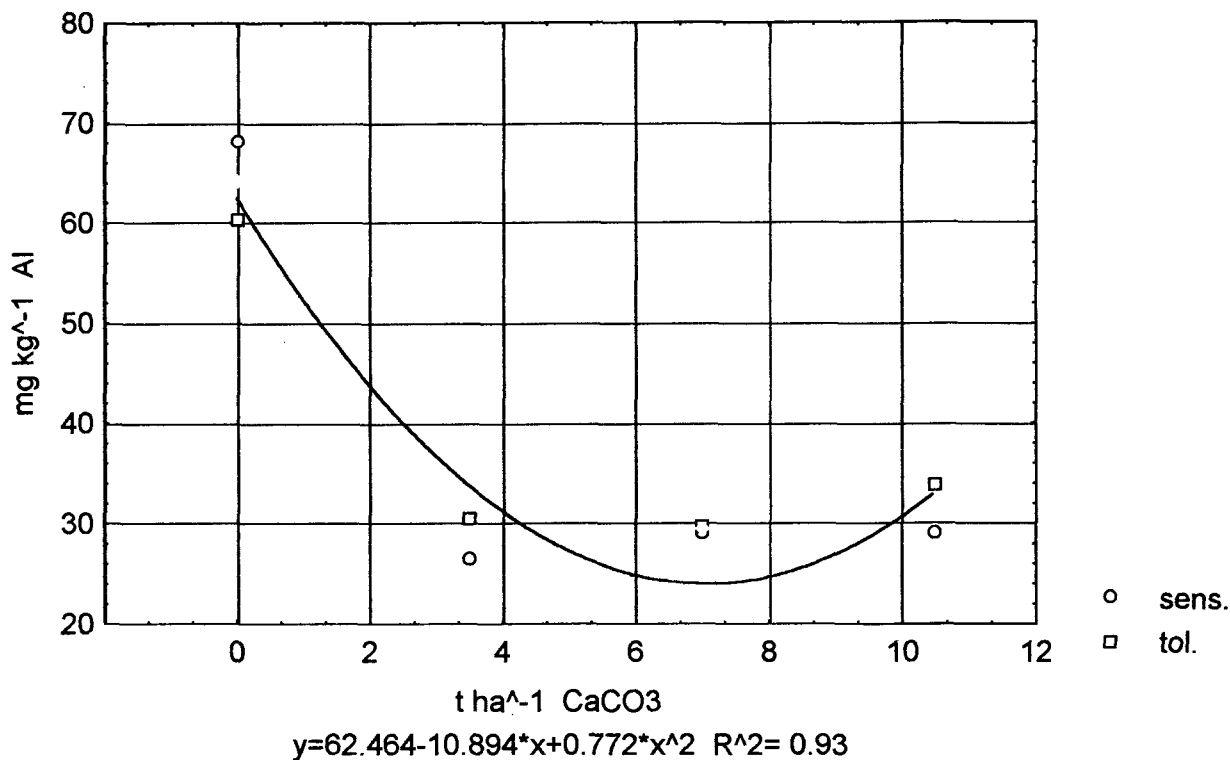
Os teores médios de Al nas folhas nutricionais observados estão apresentados no ANEXO 07f. Constatou-se que nas folhas nutricionais de milho, os valores estão abaixo da média geral de 200 mg kg⁻¹ encontrada para a maioria das plantas (MENGEL e KIRKBY, 1982) e que houve maiores teores de Al na folha nutricional em ambos os cultivares no tratamento sem calagem, onde a concentração de Al trocável do solo foi maior (TABELA 04). Correlação negativa significativa foi observada entre Al e Ca na planta (ANEXO 02), somente no cultivar tolerante, sugerindo novamente a maior eficiência de absorção e translocação para a parte aérea de Ca, em cultivares tolerantes ao Al tóxico.

Dados obtidos por RAMIREZ e BERENGEL (1984) e CLARK (1977) também revelam maior translocação de Al para a parte aérea com o aumento da concentração de Al na solução nutritiva. Porém, os primeiros observaram maior acúmulo de Al na parte aérea dos cultivares tolerantes, enquanto CLARK (1977) observou menor translocação no cultivar tolerante. No presente trabalho os cultivares testados não apresentaram diferença significativa (ANEXO 08k) quanto a translocação de Al para as folhas nutricionais. No entanto, ambas as referências basearam-se no teor de Al em toda a parte aérea da planta e aos 13 dias após a germinação, enquanto que os dados aqui apresentados referem-se aos teores nas folhas nutricionais e no estágio de pleno florescimento, além da diferença nos cultivares utilizados.

Resultados recentes e preliminares obtidos por PINTRO; BARLOY e FALLAVIER (1995), revelam a existência de algum mecanismo de controle da presença de Al na região apical das raízes em cultivares tolerantes, o que poderia diminuir o efeito negativo de Al sobre o crescimento radicular e conseqüentemente na absorção de água e nutrientes.

O comportamento dos teores de Al nas folhas nutricionais é apresentado na FIGURA 11, onde se observa uma estabilização após a adição da menor dose de calcário, possivelmente

FIGURA 11: VARIAÇÃO DOS TEORES DE Al DAS FOLHAS NUTRICIONAIS DE DOIS CULTIVARES DE MILHO, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE CALCÁRIO. MÉDIA DE QUATRO BLOCOS.

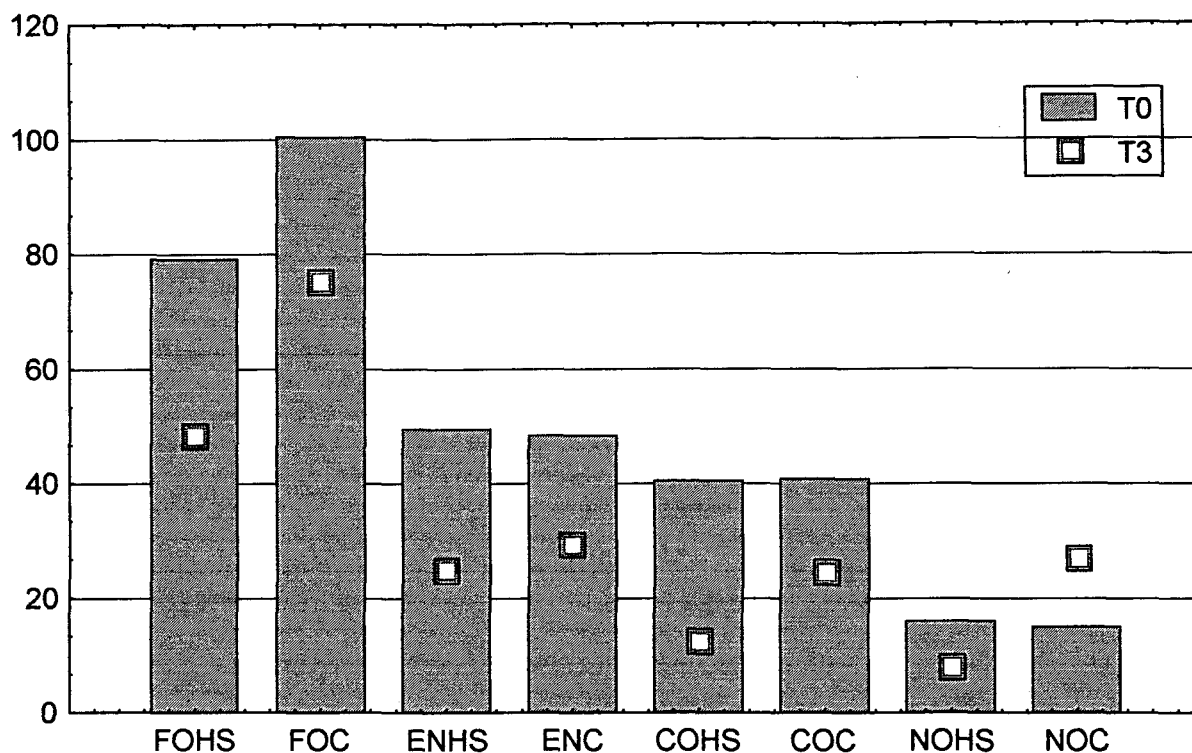


em função da diminuição da saturação por Al no solo à níveis considerados adequados à cultura (TABELAS 01 e 04). Observa-se (ANEXO 02) que houve correlações negativas significativas maiores no cultivar sensível entre teores de Al na planta e no solo com a produção de grãos e a massa seca, evidenciando sua maior sensibilidade às variações dos teores de Al do solo.

Em função das diferenças entre os resultados apresentados para folhas nutricionais e para todas as folhas das plantas, pode-se inferir a possível existência de diferenças na distribuição do Al na parte aérea das plantas pertencentes à cultivares diferentes quanto à tolerância ao Al tóxico. Diante disto, destaca-se a importância da avaliação da distribuição deste elemento na parte aérea das plantas, subdividindo-as em folhas, colmo, nó e entre-nó.

Avaliando-se a distribuição do Al na parte aérea dos dois cultivares (FIGURA 12) nota-se que o teor nas folhas (todas as folhas de 03 plantas no estágio de pleno florescimento)

FIGURA 12: VARIAÇÃO DOS TEORES DE Al (mg kg^{-1}) NAS FOLHAS, COLMO, NÓ E ENTRE NÓ DE DOIS CULTIVARES DE MILHO, EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE CALCÁRIO. MÉDIA DE QUATRO BLOCOS.



FO= folha
CO= colmo
NO= nó

EN= entre-nó
HS= cultivar sensível (HS7777)
C= cultivar tolerante (C525)

0= T0 ($0 \text{ t ha}^{-1} \text{ CaCO}_3$)
10,5= T3 ($10,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ CaCO}_3$)

foi maior que no colmo nos dois cultivares, independente da aplicação de calcário e/ou neutralização do Al. O cultivar tolerante, no entanto, apresentou maiores teores nas folhas que o sensível, enquanto que os níveis no colmo, nó e entre-nó foram semelhantes e apresentaram o mesmo comportamento em ambos os cultivares. Os teores do colmo (nó+entre-nó) concentraram-se mais no entre-nó.

O cultivar tolerante, portanto, parece translocar mais Al para a parte aérea que o sensível, concordando com RAMIREZ e BERENGEL (1984), estando estes cultivares de milho, possivelmente enquadrados no terceiro grupo de tolerância proposto por FOY e FLEMING (1978). Neste grupo o cultivar tolerante concentraria mais Al na parte aérea

e em tecidos de menor atividade, como folhas mais velhas, podendo ser feita esta atribuição em função de terem sido analisados neste trabalho os teores de Al em todas as folhas das plantas, além das nutricionais.

Com exceção do nó no cultivar tolerante, todas as partes das plantas apresentaram decréscimos nos teores de Al com a aplicação de calcário e conseqüente redução do Al trocável do solo (FIGURA 12), reforçando a possibilidade de que o cultivar tolerante avaliado apresente algum mecanismo interno de tolerância ao Al tóxico, após sua translocação para a parte aérea, visto que mesmo com teores na parte aérea semelhantes aos do cultivar sensível, apresentou melhor desenvolvimento e produção (itens 4.3 e 4.4).

Como os resultados obtidos para o conjunto de todas as folhas mostraram comportamento diferenciado em relação aos teores nas folhas nutricionais, uma subdivisão pela idade das folhas poderia esclarecer este comportamento.

5 CONCLUSÕES

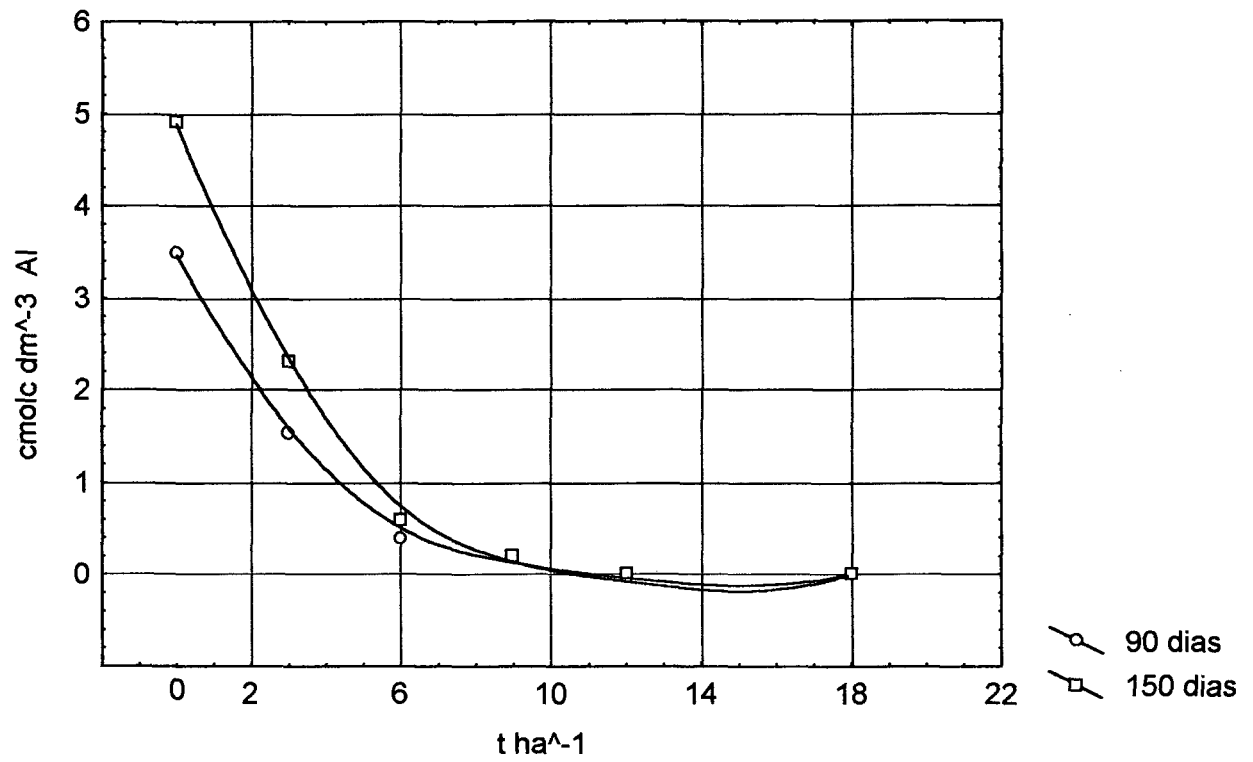
Através dos dados obtidos neste experimento pode-se concluir que:

- a) A altura de inserção da primeira espiga, altura de planta e diâmetro de colmo não foram influenciados pela calagem, porém a população em ambos os cultivares avaliados foram influenciados negativamente.
- b) A calagem aumentou a produção de massa seca dos cultivares de milho testados, sendo que a produção de grãos observada nos dois cultivares foi associada à diminuição da saturação por Al no solo. Em condições de maior presença de Al tóxico o cultivar tolerante foi mais produtivo.
- c) A calagem aumentou a concentração foliar de N, P e Mg nos cultivares de milho, sendo este efeito, exceto para o Mg, mais pronunciados no cultivar tolerante. O cultivar sensível apresentou menores teores foliares de N e P, em quaisquer níveis de saturação por Al no solo.
- d) A calagem promoveu diminuição dos teores de Mn nas folhas nutricionais nos dois cultivares de milho testados.
- e) Não houve diferença entre os cultivares testados quanto ao teor de Al nas folhas nutricionais com a diminuição da saturação por Al no solo.

6 RECOMENDAÇÕES

Como os dados obtidos nas folhas nutricionais apresentaram resultados diferenciados em relação à todas as folhas, recomenda-se um estudo a partir da subdivisão das folhas por idade para permitir uma maior compreensão da distribuição do Al na parte aérea das plantas de milho, em condições de diferentes saturações por Al no solo. Estes estudos poderiam contribuir na elucidação de mecanismos de tolerância ao Al tóxico, para a cultura do milho.

ANEXO 01: CURVA DE INCUBAÇÃO DO SOLO UTILIZADO, AOS 90 E 120 DIAS.



ANEXO 02: COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS DE SOLO E PLANTA, PARA O CULTIVAR TOLERANTE (C525) E PARA O SENSÍVEL (HS7777).

a) Cultivar tolerante (C525)

Variável	PLANTA													SOLO			
	Produção	MS	Al	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	Cu	B	Al	pH	m%	V%
Dose calcário	.65	.68	-.50	.94	.87	-.12	.59	.89	.40	-.21	-.60	.22	-.08	-.88	.95	-.90	.95
Prod.	1.00	.67	-.51	.62	.80	-.53	.77	.60	.08	.07	-.75	.15	-.23	-.67	.67	-.65	.64
MS		1.00	-.66	.62	.68	-.24	.74	.52	.31	-.18	-.80	.05	-.16	-.75	.71	-.79	.73
Al			1.00	-.36	-.48	.33	-.70	-.42	-.13	-.13	.73	.08	.00	.57	-.51	.67	-.52
N				1.00	.85	-.10	.57	.92	.28	-.10	-.65	.27	-.01	-.75	.83	-.78	.86
P					1.00	-.29	.79	.81	.25	-.13	-.78	.43	-.31	-.77	.86	-.80	.87
K						1.00	-.52	-.12	.01	-.43	.39	.37	.24	.25	-.20	.20	-.16
Ca							1.00	.52	.10	.11	-.77	.25	-.17	-.59	.64	-.64	.61
Mg								1.00	.27	.02	-.73	.29	-.17	-.79	.80	-.79	.83
Fe									1.00	-.44	-.30	.20	.00	-.45	.48	-.46	.53
Zn										1.00	-.05	-.21	-.06	.08	-.22	.12	-.25
Mn											1.00	-.10	.31	.91	-.86	.90	-.83
Cu												1.00	.20	-.13	.26	-.17	.30
B													1.00	.17	-.20	.12	-.21
Alsolo														1.00	-.94	.98	-.93
pH															1.00	-.93	.98
m%																1.00	-.94

Dose calcário: t ha⁻¹

N, P, K, Ca e Mg : kg 100kg⁻¹

Al solo: cmol_c dm³

MS: Massa Seca - kg ha⁻¹

Al, Fe, Zn, Mn, Cu e B: mg kg⁻¹

OBS: Valores absolutos acima de (+ou -).50 são significativos

b) Cultivar sensível (HS7777)

Variável	PLANTA													SOLO			
	Produção	MS	Al	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	Cu	B	Al	pH	m%	V%
Dose calcário	.54	.76	-.64	.44	.36	-.50	.10	.93	-.31	-.03	-.76	-.22	-.37	-.88	.92	-.88	.92
Prod.	1.00	.78	-.73	.01	.03	-.27	.02	.54	-.57	-.26	-.55	-.28	-.40	-.65	.59	-.69	.62
MS		1.00	-.70	.07	.26	-.46	.28	.79	-.45	-.11	-.79	-.09	-.36	-.89	.83	-.88	.84
Al			1.00	.00	.16	.57	-.17	-.60	.78	.21	.51	.55	.65	.74	-.66	.81	-.75
N				1.00	.53	.19	-.43	.25	.10	.31	-.40	.26	-.21	.00	.35	-.21	.33
P					1.00	.02	.10	.40	.30	.07	-.49	.50	-.12	.16	.28	-.15	.24
K						1.00	-.74	-.63	.37	-.12	.24	.18	.21	.61	-.69	.62	-.68
Ca							1.00	.39	-.15	.25	.07	.20	.01	-.38	.41	-.37	.40
Mg								1.00	-.28	.06	-.66	-.13	-.32	-.90	.94	-.90	.95
Fe									1.00	.38	.16	.42	.59	.42	-.37	.52	-.45
Zn										1.00	.05	.40	.26	-.06	.11	.00	-.03
Mn											1.00	.07	.27	.75	-.68	.70	-.68
Cu												1.00	.26	.18	-.04	.29	-.18
B													1.00	.30	-.31	.36	-.40
Alsolo														1.00	-.95	.98	-.97
pH															1.00	-.93	.98
m%																1.00	-.97

Dose calcário: t ha⁻¹

N, P, K, Ca e Mg : kg 100kg⁻¹

Al solo: cmol_c dm³

MS: Massa Seca - kg ha⁻¹

Al, Fe, Zn, Mn, Cu e B: mg kg⁻¹

OBS: Valores absolutos acima de (+ou -).50 são significativos

ANEXO 03: ANÁLISES DE SOLO DAS PROFUNDIDADES DE 15-30 cm E 30-50 cm, NOS DIFERENTES TRATAMENTOS, NA DATA CORRESPONDENTE AO PLANTIO (29/11/93) E APÓS A COLHEITA (21/06/94).

Trat./ Prof. (cm)	pH CaCl ₂	Ca		Mg		Al		K		CTC	P		M.O.		m		V			
		
		Pl	Co	Pl	Co	Pl	Co	Pl	Co	Pl	Co	Pl	Co	Pl	Co	Pl	Co	Pl	Co	
T0 15-30	4.1	3.9	0.9	0.8	0.9	0.8	3.5	5.6	.14	.15	17.0	16.0	2	2.3	7.2	7.2	64.7	76.1	11.1	11.2
30-50	4.1	4.1	0.5	0.5	0.4	0.4	4.0	5.5	.04	.06	15.2	14.2	1	1	3.5	3.5	81.3	85.8	6.0	6.3
T1 15-30	4.2	4.0	1.2	1.4	3.7	1.2	3.0	5.0	.10	.12	18.2	15.6	1.8	2	6.6	6.6	47.3	65.7	23.7	17.0
30-50	4.2	4.1	0.6	0.5	0.5	0.5	3.8	5.6	.03	.06	15.1	14.2	1	1	3.1	3.1	76.9	83.8	7.3	7.6
T2 15-30	4.3	4.1	1.3	1.9	1.4	1.7	2.6	4.1	.15	.14	15.4	15.5	1.8	2	7.1	7.1	47.3	53.0	18.6	23.7
30-50	4.2	4.0	0.5	0.5	0.6	0.5	3.5	5.2	.06	.08	15.1	15.1	1	1	4.1	4.1	76.3	83.2	7.3	7.2
T3 15-30	4.3	4.2	1.9	2.1	1.7	1.7	2.6	4.2	.12	.12	16.1	15.3	1.8	2	7.3	7.3	44.4	51.5	22.3	25.3
30-50	4.2	4.0	0.6	0.6	0.6	0.5	3.7	5.6	.04	.07	15.0	13.6	1	1	4.0	4.0	75.1	83.4	8.17	8.2

Pl= amostras coletadas no dia do plantio

Co= amostras coletadas após a colheita

T0= 0 t ha⁻¹ CaCO₃ T1= 3.5 t ha⁻¹ CaCO₃ T2= 7.0 t ha⁻¹ CaCO₃ T3= 10.5 t ha⁻¹ CaCO₃

ANEXO 04: ANÁLISES DE VARIÂNCIAS DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE DOIS CULTIVARES DE MILHO, SUBMETIDOS A DIFERENTES DOSAGENS DE CALCÁRIO NO SOLO.

a) Altura de inserção da 1ª espiga cm

CAUSAS DE VAR.	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Blocos	3	1366.4434117			
Cultivar	1	1586.2526943	1586.2526943	84.1164	0.00221
Cul*Blo	3	56.5734629			
Calagem	3	3938.8034162	1312.9344721	2.4770	0.12738
Cal*Blo	9	4770.5099904			
Cul*Cal	3	481.7184123	160.5728041	1.3425	0.32079
RESÍDUO	9	1076.4502643	119.6055849		
TOTAL	31	13276.751652			

MÉDIA GERAL: 67.434372

COEFICIENTE DE VARIAÇÃO: 16.218 %

b) Altura de planta cm

CAUSAS DE VAR.	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Blocos	3	2904.3403547			
Cultivar	1	4930.2443560	4930.2443560	204.1369	0.00066
Cul*Blo	3	72.4549833			
Calagem	3	5035.0818517	1678.3606172	1.7847	0.21955
Cal*Blo	9	8463.6979002			
Cul*Cal	3	1203.3826915	401.1275638	2.7141	0.10701
RESÍDUO	9	1330.1373377	147.7930375		
TOTAL	31	23939.339475			

MÉDIA GERAL: 169.625

COEFICIENTE DE VARIAÇÃO: 7.167 %

c) Diâmetro de colmo mm

CAUSAS DE VAR.	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Blocos	3	12.9909400			
Cultivar	1	13.1328125	13.1328125	7.8703	0.06628
Cul*Blo	3	5.0059373			
Calagem	3	6.3384380	2.1128127	0.2844	0.83624
Cal*Blo	9	66.8578228			
Cul*Cal	3	4.4784403	1.4928134	0.6831	0.58671
RESÍDUO	9	19.6678121	2.1853125		
TOTAL	31	128.4722030			

MÉDIA GERAL: 17.165625

COEFICIENTE DE VARIAÇÃO: 8.612 %

ANEXO 05: ALTURA DE INSERÇÃO DA PRIMEIRA ESPIGA, ALTURA DE PLANTA E DIÂMETRO DE COLMO DE DOIS CULTIVARES DE MILHO, SUBMETIDOS A DIFERENTES DOSAGENS DE CALCÁRIO NO SOLO.

a) Altura de inserção da primeira espiga cm

Alt. 1ª espiga (cm)	T0		T1		T2		T3	
	HS	C	HS	C	HS	C	HS	C
B I	48.0	18.5	70.3	53.3	72.2	83.9	110.5	95.9
B II	49.8	55.5	71.7	61.0	77.9	60.9	72.3	46.7
B III	67.8	50.0	128.4	85.0	77.8	73.4	72.9	64.2
B IV	45.3	53.5	75.6	46.7	65.6	53.9	85.5	63.9
Média	52.725	44.375	86.5	61.5	73.375	68.025	85.3	67.675

T0= 0 t ha⁻¹ CaCO₃ T1= 3.5 t ha⁻¹ CaCO₃ T2= 7.0 t ha⁻¹ CaCO₃ T3= 10.5 t ha⁻¹ CaCO₃

BI= bloco 01 BII= bloco 02 BIII= bloco 03 BIV= bloco 04

b) Altura de planta cm

Alt. planta (cm)	T0		T1		T2		T3	
	HS	C	HS	C	HS	C	HS	C
B I	129.3	166.7	155.0	160.9	150.0	201.3	224.7	225.7
B II	122.4	173.5	151.3	172.5	170.8	193.0	159.7	174.8
B III	143.2	164.1	203.1	225.2	170.6	206.4	149.7	181.7
B IV	126.5	165.7	171.5	150.2	130.7	162.2	156.9	188.7
Média	130.35	167.5	170.225	177.2	155.525	190.725	172.75	192.73

T0= 0 t ha⁻¹ CaCO₃ T1= 3.5 t ha⁻¹ CaCO₃ T2= 7.0 t ha⁻¹ CaCO₃ T3= 10.5 t ha⁻¹ CaCO₃

BI= bloco 01 BII= bloco 02 BIII= bloco 03 BIV= bloco 04

c) Diâmetro de colmo mm

Diâm. colmo (mm)	T0		T1		T2		T3	
	HS	C	HS	C	HS	C	HS	C
B I	17.0	18.5	15.9	17.0	14.9	19.1	20.2	21.1
B II	14.8	18.2	15.4	17.8	16.9	18.3	18.0	16.5
B III	15.9	15.5	22.2	20.9	15.4	17.6	16.5	15.8
B IV	16.2	18.5	16.0	14.8	14.9	16.0	14.2	19.3
Média	15.975	17.675	17.375	17.625	15.525	17.75	17.225	18.175

T0= 0 t ha⁻¹ CaCO₃ T1= 3.5 t ha⁻¹ CaCO₃ T2= 7.0 t ha⁻¹ CaCO₃ T3= 10.5 t ha⁻¹ CaCO₃

BI= bloco 01 BII= bloco 02 BIII= bloco 03 BIV= bloco 04

ANEXO 06: ANÁLISES DE VARIÂNCIAS DA MASSA SECA, PRODUÇÃO DE GRÃOS E POPULAÇÃO DE PLANTAS DE DOIS CULTIVARES DE MILHO, SUBMETIDOS A DIFERENTES DOSAGENS DE CALCÁRIO NO SOLO.

a) Massa seca g ha⁻¹

CAUSAS DE VAR.	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Blocos	3	4105692			
Cultivar	1	90365358	90365358	76.9371	0.00252
Cul*Blo	3	3523607			
Calagem	3	135309052	45103017	27.1856	0.00022
Cal*Blo	9	14931677			
Cul*Cal	3	3715291	1238430	0.3764	0.77421
RESÍDUO	9	29614487	3290499		
TOTAL	31	281565163			

MÉDIA GERAL: 5666.752

COEFICIENTE DE VARIAÇÃO: 32.011%

b) Produção de grãos g ha⁻¹

CAUSAS DE VAR.	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Blocos	3	5383267			
Cultivar	1	53347994	53347994	49.2439	0.00493
Cul*Blo	3	3250027			
Calagem	3	9137666	3045889	8.0801	0.00677
Cal*Blo	9	3392638			
Cul*Cal	3	2974626	991542	2.4072	0.13422
RESÍDUO	9	3707122	411902		
TOTAL	31	81193340			

MÉDIA GERAL: 2218.2969

COEFICIENTE DE VARIAÇÃO: 28.932%

c) População de plantas mil ha⁻¹

CAUSAS DE VAR.	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Blocos	3	268.7734375			
Cultivar	1	1747.8828125	1747.8828125	110.7752	0.00149
Cul*Blo	3	47.3359375			
Calagem	3	1792.6484375	597.5494792	34.7507	0.00012
Cal*Blo	9	154.7578125			
Cul*Cal	3	38.2109375	12.7369792	0.9362	0.53569
RESÍDUO	9	122.4453125	13.6050347		
TOTAL	31	4172.0546875			

MÉDIA GERAL: 41.578125

COEFICIENTE DE VARIAÇÃO: 8.871 %

ANEXO 07: ANÁLISES QUÍMICAS DAS FOLHAS NUTRICIONAIS DE DOIS CULTIVARES, SUBMETIDOS À DIFERENTES DOSAGENS DE CALCÁRIO NO SOLO.

a) Mg kg 100kg⁻¹

Mg kg 100kg ⁻¹	T0		T1		T2		T3	
	HS	C	HS	C	HS	C	HS	C
B I	0,08	0,12	0,2	0,26	0,28	0,35	0,4	0,46
B II	0,14	0,1	0,22	0,18	0,35	0,28	0,38	0,66
B III	0,14	0,13	0,27	0,22	0,26	0,35	0,33	0,44
B IV	0,1	0,08	0,16	0,23	0,23	0,34	0,37	0,31
Média	0,115	0,1075	0,2125	0,2225	0,28	0,33	0,37	0,4675

T0= 0 t ha⁻¹ CaCO₃ T1= 3.5 t ha⁻¹ CaCO₃ T2= 7.0 t ha⁻¹ CaCO₃ T3= 10.5 t ha⁻¹ CaCO₃
 BI= bloco 01 BII= bloco 02 BIII= bloco 03 BIV= bloco 04

b) N kg 100kg⁻¹

N kg 100kg ⁻¹	T0		T1		T2		T3	
	HS	C	HS	C	HS	C	HS	C
B I	2,45	3,13	2,33	3,13	2,5	3,34	2,5	3,44
B II	2,43	3,08	2,28	3,19	2,28	3,3	2,65	3,49
B III	2,36	3,05	2,2	3,17	2,55	3,28	2,43	3,37
B IV	2,47	3,16	2,44	3,18	2,41	3,27	2,55	3,34
Média	2,4275	3,105	2,3125	3,1675	2,435	3,2975	2,5325	3,41

T0= 0 t ha⁻¹ CaCO₃ T1= 3.5 t ha⁻¹ CaCO₃ T2= 7.0 t ha⁻¹ CaCO₃ T3= 10.5 t ha⁻¹ CaCO₃
 BI= bloco 01 BII= bloco 02 BIII= bloco 03 BIV= bloco 04

c) P kg 100kg⁻¹

P kg 100kg ⁻¹	T0		T1		T2		T3	
	HS	C	HS	C	HS	C	HS	C
B I	0,12	0,14	0,1	0,15	0,11	0,17	0,12	0,22
B II	0,1	0,14	0,1	0,16	0,12	0,16	0,12	0,2
B III	0,1	0,14	0,1	0,19	0,12	0,19	0,1	0,2
B IV	0,11	0,15	0,1	0,16	0,09	0,17	0,12	0,19
Média	0,1075	0,1425	0,1	0,165	0,11	0,1725	0,115	0,2025

T0= 0 t ha⁻¹ CaCO₃ T1= 3.5 t ha⁻¹ CaCO₃ T2= 7.0 t ha⁻¹ CaCO₃ T3= 10.5 t ha⁻¹ CaCO₃
 BI= bloco 01 BII= bloco 02 BIII= bloco 03 BIV= bloco 04

d) Fe mg kg⁻¹

Fe mg kg ⁻¹	T0		T1		T2		T3	
	HS	C	HS	C	HS	C	HS	C
B I	150,75	80,25	65	91,25	68,25	77,75	75	95
B II	144,5	71,5	75	81,5	103,25	85,5	90,75	82,25
B III	64,5	66,5	63,5	77,25	66	100	85	84
B IV	76	80,25	68,75	91,5	58,5	161	79	110,25
Média	108,938	74,625	68,0625	85,375	74	106,0625	82,4375	92,875

T0= 0 t ha⁻¹ CaCO₃ T1= 3.5 t ha⁻¹ CaCO₃ T2= 7.0 t ha⁻¹ CaCO₃ T3= 10.5 t ha⁻¹ CaCO₃
 BI= bloco 01 BII= bloco 02 BIII= bloco 03 BIV= bloco 04

e) Mn mg kg⁻¹

Mn mg kg ⁻¹	T0		T1		T2		T3	
	HS	C	HS	C	HS	C	HS	C
B I	32,5	48,753	32	36,25	29	30	26,25	26,25
B II	47,25	45	38	41,25	28	37	22	32,5
B III	50	40,25	36	29,25	23,5	34	31	31
B IV	43,25	55	33,5	36,75	29,75	33,25	34	31,5
Média	43,25	47,25075	34,875	35,875	27,5625	33,5625	28,3125	30,3125

T0= 0 t ha⁻¹ CaCO₃ T1= 3.5 t ha⁻¹ CaCO₃ T2= 7.0 t ha⁻¹ CaCO₃ T3= 10.5 t ha⁻¹ CaCO₃
 BI= bloco 01 BII= bloco 02 BIII= bloco 03 BIV= bloco 04

f) Al mg kg⁻¹

Al mg kg ⁻¹	T0		T1		T2		T3	
	HS	C	HS	C	HS	C	HS	C
B I	76	97	29,5	26	17,5	20,5	20	23,5
B II	77,5	50,5	26,5	35,5	51,75	27	37,5	41
B III	47,5	37,5	23,5	20,5	28	37	33	31,5
B IV	72	56	26,5	39,5	19	34,5	26	39
Média	68,25	60,25	26,5	30,375	29,0625	29,75	29,125	33,75

T0= 0 t ha⁻¹ CaCO₃ T1= 3.5 t ha⁻¹ CaCO₃ T2= 7.0 t ha⁻¹ CaCO₃ T3= 10.5 t ha⁻¹ CaCO₃
 BI= bloco 01 BII= bloco 02 BIII= bloco 03 BIV= bloco 04

ANEXO 08: ANÁLISES DE VARIÂNCIAS DAS ANÁLISES QUÍMICAS DAS FOLHAS NUTRICIONAIS DE DOIS CULTIVARES DE MILHO, SUBMETIDOS A DIFERENTES DOSAGENS DE CALCÁRIO NO SOLO.

a) K kg 100kg⁻¹

CAUSAS DE VAR.	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Blocos	3	0.1175375			
Cultivar	1	5.8482000	5.8482000	173.8810	0.00081
Cul*Blo	3	0.1009000			
Calagem	3	0.1498125	0.0499375	1.0218	0.42904
Cal*Blo	9	0.4398374			
Cul*Cal	3	0.1113250	0.0371083	1.7682	0.22257
RESÍDUO	9	0.1888750	0.0209861		
TOTAL	31	6.9564874			

MÉDIA GERAL: 1.626875

COEFICIENTE DE VARIAÇÃO: = 8.905 %

b) Ca kg 100kg⁻¹

CAUSAS DE VAR.	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Blocos	3	0.0079344			
Cultivar	1	0.0000031	0.0000031	0.0029	0.95970
Cul*Blo	3	0.0032344			
Calagem	3	0.0117094	0.0039031	0.8413	0.50661
Cal*Blo	9	0.0417531			
Cul*Cal	3	0.0053594	0.0017865	1.9481	0.19208
RESÍDUO	9	0.0082531	0.0009170		
TOTAL	31	0.0782469			

MÉDIA GERAL: 0.332812

COEFICIENTE DE VARIAÇÃO: = 9.099 %

c) Mg kg 100kg⁻¹

CAUSAS DE VAR.	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Blocos	3	0.0158125			
Cultivar	1	0.0112500	0.112500	28.7234	0.01116
Cul*Blo	3	0.0011750			
Calagem	3	0.4089625	0.1363208	45.9293	0.00007
Cal*Blo	9	0.0267125			
Cul*Cal	3	0.0130750	0.0043583	0.8435	0.50558
RESÍDUO	9	0.0465000	0.0051667		
TOTAL	31	0.5234875			

MÉDIA GERAL: 0.263125

COEFICIENTE DE VARIAÇÃO: 27.318%

d) N kg 100kg⁻¹

CAUSAS DE VAR.	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Blocos	3	0.0141684			
Cultivar	1	5.3579012	5.3579012	2116.8099	0.00007
Cul*Blo	3	0.0075934			
Calagem	3	0.2673933	0.0891311	11.4695	0.00241
Cal*Blo	9	0.0699402			
Cul*Cal	3	0.0534984	0.0178328	4.1445	0.04195
RESÍDUO	9	0.0387251	0.0043028		
TOTAL	31	5.8092199			

MÉDIA GERAL: 2.836062

COEFICIENTE DE VARIAÇÃO: 2.313%

e) P kg 100kg⁻¹

CAUSAS DE VAR.	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Blocos	3	0.0002125			
Cultivar	1	0.0312500	0.0312500	197.3685	0.00068
Cul*Blo	3	0.0004750			
Calagem	3	0.0050625	0.0016875	10.0413	0.00357
Cal*Blo	9	0.0015125			
Cul*Cal	3	0.0027750	0.0009250	9.2500	0.00455
RESÍDUO	9	0.0009000	0.0001000		
TOTAL	31	0.0421875			

MÉDIA GERAL: 0.139375

COEFICIENTE DE VARIAÇÃO: 7.175%

f) Zn mg kg⁻¹

CAUSAS DE VAR.	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Blocos	3	1145.2200104			
Cultivar	1	3057.6200037	3057.6200037	110.9307	0.00149
Cul*Blo	3	82.6900050			
Calagem	3	255.5625032	85.1875011	0.3760	0.77445
Cal*Blo	9	2039.0474803			
Cul*Cal	3	71.4074984	23.8024995	0.4064	0.75432
RESÍDUO	9	527.0925218	58.5658358		
TOTAL	31	7178.6400228			

MÉDIA GERAL: 33.075001

COEFICIENTE DE VARIAÇÃO: 23.138 %

g) Cu mg kg⁻¹

CAUSAS DE VAR.	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Blocos	3	4.5684			
Cultivar	1	85.3145	85.3145	20.4915	0.01839
Cul*Blo	3	12.4902			
Calagem	3	13.4747	4.4915	1.9077	0.19847
Cal*Blo	9	21.1895			
Cul*Cal	3	4.4277	1.4759	2.5988	0.11639
RESÍDUO	9	5.1113	0.5679		
TOTAL	31	146.5762			

MÉDIA GERAL: 12.914

COEFICIENTE DE VARIAÇÃO: 5.836%

h) B mg kg⁻¹

CAUSAS DE VAR.	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Blocos	3	10.8437500			
Cultivar	1	26.2812500	26.2812500	13.4920	0.03315
Cul*Blo	3	5.8437500			
Calagem	3	20.0937500	6.6979167	1.4782	0.28476
Cal*Blo	9	40.7812500			
Cul*Cal	3	16.5937500	5.5312500	2.3955	0.13542
RESÍDUO	9	20.7812500	2.3090278		
TOTAL	31	141.2187500			

MÉDIA GERAL: 12.656250

COEFICIENTE DE VARIAÇÃO: 12.006 %

i) Fe mg kg⁻¹

CAUSAS DE VAR.	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Blocos	3	1285.523			
Cultivar	1	325.125	325.1250	0.2266	0.66586
Cul*Blo	3	4304.531			
Calagem	3	1098.898	366.2995	0.8539	0.50080
Cal*Blo	9	3860.695			
Cul*Cal	3	4902.906	1634.3021	4.7360	0.02996
RESÍDUO	9	3105.750	345.0833		
TOTAL	31	18883.430			

MÉDIA GERAL: 85.546875

COEFICIENTE DE VARIAÇÃO: 21.464%

j) Mn mg kg⁻¹

CAUSAS DE VAR.	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Blocos	3	99.000			
Cultivar	1	84.5000	84.50000	4.0682	0.13654
Cul*Blo	3	62.3125			
Calagem	3	1257.4375	419.14583	36.0771	0.00011
Cal*Blo	9	104.5625			
Cul*Cal	3	29.5000	9.83333	0.3187	0.81295
RESÍDUO	9	277.6875	30.85417		
TOTAL	31	1915.0000			

MÉDIA GERAL: 35.125

COEFICIENTE DE VARIAÇÃO: 15.814%

k) Al mg kg⁻¹

CAUSAS DE VAR.	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
Blocos	3	501.9459			
Cultivar	1	0.6903	0.6903	0.0059	0.94198
Cul*Blo	3	349.4334			
Calagem	3	7173.7960	2391.2653	9.2126	0.00460
Cal*Blo	9	2336.0753			
Cul*Cal	3	201.0334	67.0111	0.6570	0.60113
RESÍDUO	9	917.9878	101.9986		
TOTAL	31	11480.962			

MÉDIA GERAL: 38.384377

COEFICIENTE DE VARIAÇÃO: 26.311%

**ANEXO 09: PESO DE GRÃOS POR PLANTA (g) EM DOIS CULTIVARES DE MILHO,
NAS DIFERENTES DOSES DE CALCÁRIO APLICADAS.**

	T0		T1		T2		T3	
Produção	HS	C	HS	C	HS	C	HS	C
g/planta	21.10	60.99	32.01	64.23	26.10	74.57	26.71	111.03

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 ADAMS, F. e PEARSON, R.W. Differential response of cotton and peanuts to subsoil acidity, *Agron. J.*, Madison, v. 62, p. 9-12, 1970.
- 2 AHMAD, F. e TAN, K.H. Effect of lime and organic matter on soybean seedlings grown in aluminum-toxic soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v. 50, p. 656-661, 1986.
- 3 ALAN e ADAMS, F. Effects of aluminum on nutrient composition and yield of oats. *J. Plant Nutr.*, New York, v.1, p. 365-375, 1979.
- 4 ARNON, I. **Mineral nutrition of maize**, International Potash Institute, 1975. 452 p.
- 6 BARTLETT, R.J. e RIEGO, D.C. Effect of chelation on the toxicity of aluminum. *Plant and soil*, Dordrecht, v. 37, p. 419-423, 1972.
- 7 BATAGLIA, O.C. Micronutrientes: disponibilidade e interações. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO (17.: 1986: Londrina). **Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira**. Londrina: EMBRAPA/IAPAR/SBCS, 1988. p. 121-130.
- 8 BEN, J.R. **Efeito da calagem no comportamento dos elementos alumínio, cálcio, magnésio e potássio no solo e relações dos mesmos com a planta**. Santa Maria, 1974. 81f. Dissertação (Mestrado em Biodinâmica e Produtividade do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria.
- 9 BORKERT, C.M. **Efeito do calcário e do cloreto de potássio sobre as concentrações de manganês e alumínio nos oxissolos: Santo Angelo e Passo Fundo e suas relações com a nodulação e rendimento de duas cultivares de soja**. Porto Alegre, 1973. 97f. Dissertação (Mestrado em Solos) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- 10 CAMARGO, O.A. e FURLANI, P.R. Alumínio no solo: concentração, especiação e efeito do desenvolvimento radicular. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS (2.: 1989: Piracicaba). **Anais**. Campinas: Fundação Cargill, 1989. p. 45-69.
- 11 CAMBRAIA, J.; LEMOS FILHO, J.P.; ESTEVÃO, M.M. e OLIVA, M.A. Efeito do alumínio sobre os teores de Mg, Fe, Mn e Cu em sorgo. *Rev. Ceres*, Viçosa, v. 30, n.167, p. 45-54, 1983(a).
- 12 CAMBRAIA, J.; LEMOS FILHO, J.P.; OLIVA, M.A. e ESTEVÃO, M.M. Efeito do alumínio sobre a fotossíntese em dois cultivares de sorgo. *Rev. Ceres*, Viçosa, v. 30, n.167, p. 55-62, 1983(b).
- 13 CHENERY, M.A. Preliminary study of aluminium and the tea bush. *Plant and soil.*, Dordrecht, n.6, p.174-200, 1955.
- 14 CLARK, R.B. Effect of aluminium on growth and mineral elements of Al-tolerant and Alintolerant corn. *Plant and soil*, Dordrecht, v. 47, p. 653-662, 1977.

- 15 COLEMAN, N.T.; WEED, S.B. e McCracken, R.J. Cation exchange capacity and exchangeable cations in piedmont soils of North Carolina. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.** Madison, v. 23, p. 146-149, 1959.
- 16 EMBRAPA. SNLCS. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro, 1979.
- 17 EVANS, C.E. e KAMPRATH, E.J. Lime response as related to percent aluminum saturation, solution aluminum and organic matter content. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.** Madison, v. 34, p.893-896, 1970.
- 18 FAGERIA, N.K. **Adubação e nutrição mineral da cultura do arroz**. Rio de Janeiro: Campus, 1984. 431 p.
- 19 FAGERIA, N.K.; BALIAGAR, V.C. E WRIGHT, R.J. Aluminum toxicity in crop plants. **J. Plant Nutr.**, New York, v.11, n.3, p.303-319, 1988.
- 20 FAHL, J.I.; HIROCE, R.; CARELLI, M.L.C. e DE CASTRO, J.L. Efeitos do alumínio na Nutrição, desenvolvimento e produção de cultivares de batatinha (*Solanum tuberosum*, L.). **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 4, p. 22-26, 1980.
- 21 FAQUIN, V. e VALE, F.R. do. Toxidez de alumínio e de manganês. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.15, n.170, p.17-28, 1991.
- 22 FASSBENDER, H.W. **Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina**. San José: IICA, 1982. 422 p.
- 23 FIGUEIREDO, O.A.R. e ALMEIDA, J.A. Quantificação das formas trocáveis e não trocáveis de Al em solos ácidos do estado de Santa Catarina. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, v.15, p. 151-156, 1991.
- 24 FOY, C.D. Effects of aluminum on plant growth. In: CARSON,E.W. (ed). **The plant root and its environment**. Virginia, Charlothesville: Univ. Press. 1974. p. 601-642.
- 25 FOY, C.D. Plant adaptation to acid, aluminum toxic soils. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** New York, v.19, n.7-12, p. 959-987, 1988.
- 26 FOY, C.D. e BROWN, J.C. Toxic factors in acid soils: I: Characterization of aluminum toxicity in cotton. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, v.28, p.27-32, 1963.
- 27 FOY, C.D. e FLEMING, A.L. The physiology of plant tolerance to excess available aluminum an manganese in acid soils. In: JUN, G. A. (ed.). **Crop tolerance to subotinal land conditions**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1978. p.301-343. (Special Publication; n.32)
- 28 FOY, C.D.; FLEMING, A.L.; BURNS, G.R. e ARMIGER, W.H. Characterization of differential aluminum tolerance among varieties of wheat and barley. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.**, Madison, v.31, p.513-521, 1967.
- 29 FRÁGUAS, J.C. Efeito do alumínio no comprimento de raízes e na absorção de P e Ca em porta-enxertos de videira. **R. bras.Ci. Solo**, Campinas, v. 17, p. 251-255, 1993.

- 30 FREIRE, J.R.J. Comportamento de soja e do seu rizobio ao Al e Mn nos solos do Rio Grande do Sul. **Cienc. Cult.**, São Paulo, v.2, p.169-170, 1975.
- 31 FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Cartas climáticas do estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 1984. 45 p.
- 32 FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **A cultura do milho no Paraná**. Londrina: IAPAR, 1991. 270 p.
- 33 FURLANI, P.R. Efeitos fisiológicos do alumínio em plantas. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS (2: 1989: Piracicaba). **Anais**. Campinas: Fundação Cargill, 1989. p.73-90.
- 34 FURLANI, P.R. Tolerância de cultivares de milho ao alumínio. In: SEMINÁRIO DE MILHO "SAFRINHA" (1993: Assis). **Resumos**. Campinas: Editor, 1993. p. 27-31.
- 35 FURLANI, P.R. e HANNA, L.G. Avaliação da tolerância de plantas de arroz e milho ao alumínio em solução nutritiva. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, v.8, p.205-208, 1984.
- 36 FURLANI, P.R., LIMA, M.; MIRANDA, L.T.; MIRANDA, L.E.C.; SAWASAKI, E. e MAGNAVACA, R. Avaliação de linhagens, materiais comerciais e duas populações de milho para tolerância a alumínio. **Pesqui. agropecu. bras.**, Brasília, v.21, n.6, p.655-660, 1986.
- 37 HIATT, A.J.; AMOS, D.F. e MASSEY, H.F. Effect of aluminum on copper sorption by wheat. **Agron. J.**, Madison, p.284-287, 1963.
- 38 HILDEBRAND, C. **Manual de análise química de solos e plantas**. Curitiba: UFPR, 1977. 225 p.
- 39 HOWELER, R.H. e CADAVID, L.F. Screening of rice cultivars for tolerance to Al toxicity in nutrient solutions as compared with a field screening method. **Agron. J.**, Madison, v. 68, p.551-555, 1976.
- 40 HUE, N.V., CRADOCK, G.R e ADAMS, F. Effect of organic acids on aluminum toxicity in subsoils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v.50, p.28-34, 1986.
- 41 JACKSON, M.L. Aluminum bonding in soils; an unifying principle in soil science. **Proc. Soil Sci. Soc. Am.**, Madison, v.27, p.1-10, 1963.
- 42 KAMPRATH, E.J. e FOY, C.D. Lime-fertilizer-plant interactions in acid soils. In: OLSON, R.A., ARMY, T.J., HANWAY, J.J. e KILMER, V.J. **Fertilizer technology and use**. Madison: Soil Science Society of America, 1971. p.105-151.
- 43 LEE, C.R. Influence of aluminum on plant growth and mineral nutrition of potatoes. **Agron. J.**, Madison, v.63, p.604-608, 1971.
- 44 LEE, C.R. Interrelationships of aluminum and manganese on the potato plant. **Agron. j.**, Madison, v.64, p.546-549, 1972.

- 45 LOPES, A.S. **Solos sob “cerrado”**: características, propriedades e manejo. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1984. 162 p.
- 46 MACLEOD, L.B. e JACKSON, L.P. Effect of concentration of the Al ion on root development and establishment of legume seedlings. **Can. J. Soil Sci.**, Ottawa, v. 45, p.221-234, 1967.
- 47 MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola**: adubos e adubação. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 607 p.
- 48 MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. e OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201 p.
- 49 MARION, G.M.; HENDRICKS, D.M.; DUTT, G.R. e FULLER, W.R. Aluminum and silica solubility in soils. **Soil Sci.**, Baltimore, v.121, p.76-85, 1976.
- 50 MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1986. 674p.
- 51 MATSUMOTO, H.; HIRASAWA, F.; TORIKAI, H. e TAKAHASHI, E. Localization of absorbed aluminum in pea root and its binding to nucleic acid. **Plant Cell Physiol.**, Kyoto, v.17, p.127-137, 1976.
- 52 MCCORMICK, L.H. e BORDEN, F.Y. The occurrence of aluminum phosphate precipitate in plant roots. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, v.38, p.931-934, 1974.
- 53 McLEAN, F.T. e GILBERT, B.E. The relative aluminum tolerance of crop plants. **Soil Sci.**, Baltimore, v.24, p.163-175, 1927.
- 54 MELLO, F.A.F. Origem, natureza e componentes da acidez do solo: critérios para calagem. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS (1983:Piracicaba). **Seminário...**, Campinas: Fundação Cargill, 1985.
- 55 MELLO, F.A.F.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R.I.; COBRA NETO, A. e KIEHL, J.C. **Fertilidade do solo**. 3.ed. Piracicaba: Nobel, 1987. 440 p.
- 56 MENGEL, K. e KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. 3 ed. Bern: Switzerland: International Potash Institute, 1982. 687 p.
- 57 MIYAZAWA, M.; CHIERICE, G.O. e PAVAN, M.A. Amenização da toxicidade de Al às raízes de trigo pela complexação com ácidos orgânicos. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, v.16, p. 209-215, 1992.
- 58 MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. e LINDSAY, W.L. (Comp.). **Micronutrientes en agricultura**. Mexico: AGT, 1983.
- 59 OHLWEILER, O.A. Introdução à química geral. Porto Alegre: Globo, 1967. 638 p.

- 60 OLMOS, J.I.L. e CAMARGO, M.N. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. **Cienc. Cult.**, São Paulo, v. 28, n.2, p.171-180, 1976.
- 61 OLSEN, S.R. Interacciones de los micronutrientes. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. e LINDSAY, W.L. (Comp.). **Micronutrientes en Agricultura**, México: AGT, 1983. p. 267-290.
- 62 PARANÁ. Secretaria de Agricultura do Estado do Paraná. **Evolução de área, produção, rendimento, percentagens de produção e colocação Paraná/Brasil**. Curitiba: Centro de Informações, Sistemas e Métodos, 1994.
- 63 PARKER, D.R.; KINRAIDE, T.B. e ZELAZNY, L.W. On the phytotoxicity of polynuclear hidroxy: aluminum complexes. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v.53, p.789- 796. 1989.
- 64 PAVAN, M.A. Alumínio em solos ácidos do Paraná: relação entre o alumínio no trocável, trocável e solúvel, com o pH, CTC, porcentagem de saturação por Alumínio e matéria orgânica. **R. bras. Ci. Solo**. Campinas, v.7, p.39-46, 1983.
- 65 PINTRO, J.C.; BARLOY, J. e FALLAVIER, P. Discriminação da sensibilidade/tolerância do milho (*Zea mays* L.) à toxicidade de alumínio (Al) utilizando uma solução nutritiva de baixo valor de força iônica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO (25.: 1995: Viçosa). Anais. Viçosa: SBCS, 1995. p.1370.
- 66 PIONKE, H.B. e COREY, R.B. Relations between acidic aluminum and soil pH, clay, and organic matter. **Proc. Soil Sci. Soc. Am.**, Madison, v.31, p.749-752, 1967.
- 67 PRATT, P.F. & ALVAHYDO, R. **Cation-exchange characteristics of soil of São Paulo, Brazil**. Bull. 31 IRI Research Institute, New York, 1966
- 68 QUAGGIO, J.A. Respostas das culturas à calagem em outros estados. In: SEMINÁRIO SOBRE CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO, (2.: 1989: Santa Maria). Anais. Santa Maria: UFSM, 1989. p. 177-199.
- 69 QUAGGIO, J.A. Resposta das culturas do milho e soja. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DO GESSO NA AGRICULTURA, (2.: 1992: Uberaba). Anais. Uberaba: IBRAFOS, 1992. p.241-262.
- 70 QUAGGIO, J.A.; ISHIMURA, I.; SAES, L.A. e YANAI, K. Resposta da abobrinha-italiana a doses de calcários com diferentes teores de magnésio em solo orgânico do Vale da Ribeira, **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 11, p. 167-173, 1987.
- 71 RAIJ, B.Van. **Gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular no subsolo**. São Paulo: ANDA, 1988. 88 p.
- 72 RAMIREZ, R. e BERENGEL, T. Influencia del aluminio sobre la acumulacion y distribuicion del P, Ca, Mg y Al en lineas de maiz. **Agron. Trop.**, Maracay, v.34, n.4-6, p.143-152, 1984
- 73 RITCHEY, K.D.; SILVA, J.E. e COSTA, V.F. Calcium deficiency in clayey B horizons of savanna oxisds. **Soil Sci.**, Baltimore, v.133, n.6, p.378-382, 1982.

- 74 SÁ, J.C.M. **Manejo da fertilidade do solo no plantio direto**. Castro: Fundação ABC, 1993, 96p.
- 75 SARKAR, A.N. e WYN JONES, R.G. Effect of rhizosphere pH on the availability and uptake of Fe, Mn and Zn. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.66, p.361-372, 1982.
- 76 SHEN, M.J. e RICH, C.I. Aluminum fixation in Montmorillonite. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, v.26, n.1, p. 33-36, 1962.
- 77 SHOEMAKER, H.E.; MCLEAN, E.O. e PRATT, P.F. Buffer methods for determining lime requirements of soils with appreciable amounts of extractable aluminium. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, v.25, n.4, p.274-277, 1961.
- 78 SILVA, A.R. Melhoramento genético para resistência à toxidez de alumínio e manganês no Brasil. Antecedentes, necessidade e possibilidades. Tópicos para discussão e pesquisa. **Cienc. e Cultura**, São Paulo, v.28, p.147-149, 1976.
- 79 SOUZA, E.C.A. e FERREIRA, M.E. Zinco. In: FERREIRA, M.E. e CRUZ, M.C.P. (ed.) **Micronutrientes na Agricultura**. Piracicaba: POTAFOS/CNPq., p.219-242, 1991.
- 80 THOMAS, G.W. Beyond exchangeable aluminum: another ride on the merry-go-round. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, New York, v.19, n.7-12, p.833-856, 1988.
- 81 THOMAS, G.W. e HARGROVE, W.L. The chemistry of soil acidity. In: ADAMS, F.. **Soil Acidity and Liming**. 2. ed. Madison, Wisconsin; Amer. Soc. Agronomy, 1984. p.3-56.
- 82 TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D. e HAVLIN, J.L. **Soil fertility and fertilizers**. 5.ed. New York: Macmillan, 1985. 634p.
- 83 TRANI, P.E.; HIROCE, R. e BATAGLIA, O.C. **Análise foliar, amostragem e interpretação**. Campinas: Fundação Cargill, 1983. 18p.
- 84 VOLKWEISS, S.J. Química da acidez dos solos. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO (2.: 1989: Santa Maria). **Anais**. Santa Maria: Edições UFSM, 1989. p. 7-38.
- 85 ZHAO, X.J.; SUCOFF, E. e STADELMANN, E.J. Al^{3+} and Ca^{2+} alteration of membrane permeability of quercus rubre root cortex cells. **Plant Physiol**. v.83, p.159-162, 1987.