TOLERÂNCIA DE CULTIVARES DE TOMATEIRO AO ALUMÍNIO EM SOLO E SOLUÇÃO NUTRITIVA

ANTONIO FRANCISCO SOUZA

Eng^o Agrônomo
Mestre

Orientador: Prof. Dr. Antonio Roque Dechen

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

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Janeiro - 1994

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCLB/USP

Souza, Antonio Francisco

S729t Tolerância de cultivares de tomateiro ao alumínio
em solo e solução nutritiva. Piracicaba, 1994.
112p.

Tese - ESALQ
Bibliografia.

1. Solo - Acidez 2. Tomate - Tolerância ao alumínio
I. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Pi-
racicaba.

CDD 635.642

**TOLERÂNCIA DE CULTIVARES DE
TOMATEIRO AO ALUMÍNIO EM SOLO
E SOLUÇÃO NUTRITIVA**

ANTONIO FRANCISCO SOUZA

Aprovada em 20/04/94

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Antonio Roque Dechen	ESALQ/USP
Prof. Dr. Quirino Augusto Camargo de Carmello	ESALQ/USP
Prof. Dr. Takashi Muraoka	ESALQ/USP
Dr. Pedro Roberto Furlani	IAC
Dr. Ronaldo Severiano Berton	IAC

Prof. Dr. Antonio Roque Dechen

Orientador

OFEREÇO

A minha mãe "Mundoca" in memoriam;
Ao meu pai Domingos; aos meus irmãos;
Aos meus avós, Hermógenes in memoriam e
Marciana

À minha esposa Gracinha,
Aos meus filhos Marcelo Alexandre,
Klaus Frederico e
Paulo Felipe
Dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Antonio Roque Dechen, pela orientação dispensada ao presente trabalho, por seus préstimos e amizade;

Ao Prof. Dr. Henrique Paulo Hagg in memoriam;

Aos Prof. Drs. Quirino Augusto de Camargo Carmello e Francisco Antonio Monteiro, do Setor de Nutrição Mineral de Plantas da ESALQ pelas colaborações recebidas;

A Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", pela oportunidade concedida e por sua acolhida;

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária EMBRAPA/CNP - Hortaliças pela oportunidade concedida;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela concessão da bolsa de estudo;

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura - CENA, através dos Drs. Takashi Muraoka e Francisco José Krug, pelo uso de instalações e equipamentos laboratoriais.

Ao Dr. Pedro Roberto Furlani, pela colaboração prestada, permitindo o uso de instalações e equipamentos de hidroponia na casa de vegetação do IAC em Campinas;

Ao Dr. Ronaldo S. Berton, do IAC, pelas sugestões feitas na elaboração deste trabalho;

Ao Prof. Dr. Durval Dourado Neto do Departamento de Agricultura da ESALQ e ao Eng^o Agr. M.S. Alfredo P. Martins de Andrade Neto da EMCAPA e ao Dr. Paulo Cesar Tavares da Asgrow pelo apoio e amizade.

Aos Eng^{os} Agrônomos Jener F. L. de Moraes e Marciano de Brito, do CENA pela colaboração em análises estatísticas e elaboração de gráficos;

Aos colegas de Pós graduação, Marcos Freire, Ismael Viegas, Paulo Manfron, Rafael Baldeon e Manoel Dorneles de Souza por colaborarem na instalação e no vídeo dos experimentos em casa de vegetação;

Aos colegas Ruy R. Fontes e Manoel V. de Mesquita Filho do CNP - Hortaliças, pelos incentivos à realização deste trabalho;

Aos Diretores da Usina Costa Pinto, pela atenção e colaboração dispensada, cedendo-nos pessoal de campo e transporte para coleta do solo de interesse a este trabalho;

Ao técnico de laboratório Fernando Eder Ré e à Senhora Mirtes Ventura Sesso do Setor de Nutrição Mineral de Plantas da ESALQ, pela colaboração nas análises de solo e nos experimentos em casa de vegetação;

As analistas Aparecida Fátima Patreze, Iolanda Aparecida Rufini e Marileusa Elias, dos laboratórios de Química Analítica e Fertilidade do Solo do CENA, pela colaboração nas análises químicas do material vegetal;

Ao Sr. José Felix Filho da Seção de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas do IAC, pela colaboração nos experimentos com solução nutritiva;

E aos Professores de Pós-graduação da ESALQ pelos ensinamentos recebidos;

SUMARIO

	Página
RESUMO.....	xvii
SUMMARY.....	xx
1 - INTRODUÇÃO.....	1
2 - REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. Importância e ocorrência do alumínio nos solos....	4
2.2. Influência da calagem na cultura do tomateiro....	6
2.3. Toxicidade do alumínio em plantas.....	8
2.3.1. Efeitos no crescimento e desenvolvimento...10	
2.3.1.1. Efeitos benéficos.....	12
2.3.1.2. Efeitos inibidores e sintomas	
de toxicidade.....	14
2.3.2. Efeitos do alumínio na absorção,	
transporte e utilização de nutrientes.....	16
2.4. Tolerância de plantas à toxicidade de	
alumínio.....	17
3 - MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.1. Cultivares utilizadas.....	21
3.2. Solo utilizado.....	22
3.3. Estabelecimento da curva de neutralização da	
acidez do solo.....	24
3.4. Experimento em solo.....	25
3.5. Delineamento experimental.....	27
3.6. Tratamentos.....	27
3.7. Características avaliadas.....	28

3.8. Coleta, preparo e análises químicas do material vegetal.....	28
3.9. Análises químicas em amostras de solo após a colheita dos experimentos.....	29
3.10. Análises estatísticas dos dados experimentais.....	29
3.11. Experimentos em solução nutritiva.....	30
3.12. Tratamentos.....	31
3.13. Composição da solução nutritiva utilizada.....	31
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
4.1. Primeiro experimento em solo.....	33
4.1.1. Comprimento médio da haste principal (CMHP)	33
4.1.2. Rendimento de matéria seca da parte aérea (RMSPA) em dezesseis cultivares de tomateiro, cultivadas em um solo ácido, na ausência e na presença de calagem.....	40
4.1.3. Rendimento de matéria seca do sistema radicular (RMSR) em dezesseis cultivares de tomateiro cultivadas em um solo ácido, na ausência e na presença de calagem.....	44

4.1.4. Matéria seca da parte aérea (MSPA)	
das cultivares relacionada ao	
parâmetro $Al_{(t)}$	47
4.1.5. Alumínio e nutrientes na matéria	
seca da parte aérea (MSPA).....	52
4.2. Segundo experimento em solo.....	55
4.2.1. Comprimento da haste principal	
de três cultivares de tomateiro	
(cm/planta), em função da calagem	
em relação à saturação por Al^{3+} em	
um solo PVls.....	55
4.2.2. Rendimento de matéria seca da	
parte aérea (RMSPA).....	64
4.2.3. Alumínio e nutrientes na matéria	
seca da parte aérea.....	70
4.3. Experimentos em solução nutritiva.....	74
4.3.1. Primeiro experimento em solução nutritiva..	74
4.3.2. Segundo experimento em solução nutritiva...	75
4.3.2.1. Crescimento da raiz.....	75
4.3.2.2. Crescimento da parte aérea.....	76
4.3.2.3. Sintomatologia da toxicidade	
de Al^{3+} em três cultivares	
de tomateiro obtidas em	
solução nutritiva.....	79

5 - CONCLUSÕES.....82

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....84

APÊNDICES.....101

ÍNDICE DE TABELAS

Página

Tabela 1. Características físicas e químicas do solo Podzólico Vermelho-Amarelo, variação Laras (PVls).....	23
Tabela 2. Composição das soluções estoque e da solução nutritiva utilizada para os estudos de tolerância de cultivares de tomateiro ao Al com solução nutritiva, segundo FURLANI & FURLANI, 1988.....	32
Tabela 3: Comprimento médio da haste principal (CMHP) (cm/planta) de cultivares de tomateiro em um solo PVls na ausência e presença de calagem dos 24 aos 64 dias após a emergência. Médias de 3 plantas por vaso.....	35
Tabela 4. Comprimento da haste principal (CMHP) dentro de cada uma das cinco épocas de mensuração a partir dos 24 dias da emergência em dezesseis cultivares de tomateiro instaladas em um PVls que originalmente era ácido. Médias de 3 plantas por vaso.....	37
Tabela 5. Equações de regressão polinomial, coeficientes de determinação (R^2) e valores máximos ou mínimos para o efeito de épocas em dias (x) a partir dos 24 dias após a emergência sobre o comprimento médio de planta (y) para as dezesseis cultivares de tomateiro.....	38

- Tabela 6. Médias de rendimento de matéria seca da parte aérea (mg/planta), de dezesseis cultivares de tomateiro submetidas a dois níveis de $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ (0 e 5 meq/100 cm^3) adicionados a um solo PVls.....42
- Tabela 7. Porcentagem de saturação por alumínio ($\% \text{Al}^{3+}$) em um solo PVls submetido aos níveis 0 e 5,0 meq de $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ /100 cm^3 cultivado com dezesseis cultivares de tomateiro até os 64 dias da emergência (médias de três repetições).....43
- Tabela 8. Médias de rendimento de matéria seca da raiz (MRMSR) de cultivares de tomateiro submetidas aos níveis (0,0 e 5,0 meq ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$)/100 cm^3) em um solo PVls.....47
- Tabela 9. Médias de MSPA de dezesseis cultivares de tomateiro cultivadas na ausência e na presença da calagem, classificadas segundo o teste de Tukey a 5% em confronto com as classes de tolerância ao Al^{3+} , segundo o parâmetro Al_t definido por FAGERIA & KLUTHCOUSKI (1981).....51

Tabela 10. Teores de Al em ppm e dos nutrientes, P; K; Ca e Mg, em % na MSPA (folha + haste) em dezesseis cultivares de tomateiro no estágio inicial de florescimento em um solo PVls.....	53
Tabela 11. Comprimento médio da haste principal (y = cm/planta) em função de níveis de calcário para três cultivares de tomateiro em um PVls e os valores médios de pH no solo, correspondentes à cada um dos níveis de calagem estudados.....	58
Tabela 12. Médias das características químicas do solo PVls, obtidas em função de níveis de $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ meq/100 cm^3 , aplicados ao solo, que originalmente continha alta saturação por Al^{3+} , cultivado com três cultivares de tomateiro até os 64 dias da emergência.....	59
Tabela 13. Equações de regressão polinomial, coeficientes de determinação (R^2), e os valores máximos para o efeito de níveis de calcário (x = meq $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ /100 cm^3) sobre a variável CMHP, expressa como (y = cm/planta), em três cultivares de tomateiro num solo PVls.....	60

- Tabela 14.** Equações de regressão polinomial e coeficientes de determinação para as diferentes épocas dentro de níveis de calcário (X meq de $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3 / 100 \text{ cm}^3$) em relação à variável CMHP, ($Y = \text{cm/planta}$), para a média de três cultivares de tomateiro num solo PVls.....61
- Tabela 15.** Equações de regressão polinomial, coeficientes de determinação e valores máximos para níveis de calcário ($X = \text{meq CaCO}_3 + \text{MgCO}_3 / 100 \text{ cm}^3$) em relação à variável CMHP ($Y = \text{cm/planta}$), dentro de cada uma das diferentes épocas de mensuração (dias), após a emergência para a média de três cultivares de tomateiro em um solo PVls.....62
- Tabela 16.** Rendimento de matéria seca da parte aérea (RMSPA) expressa em mg/planta, em três cultivares de tomateiro em função de cinco níveis de calcário, aplicados a um solo PVls.....66

- Tabela 17.** Equações de regressão polinomial, coeficientes de determinação e valores máximos para o efeito da calagem ($x = \text{meq CaCO}_3 + \text{MgCO}_3/100 \text{ cm}^3$) sobre a variável RMSPA ($Y = \text{mg/planta}$), em três cultivares de tomateiro num solo PVls.....67
- Tabela 18.** Teores de Al em ppm e dos nutrientes (P; K; Ca e Mg) em porcentagem na matéria seca da parte aérea, dentro de três cultivares de tomateiro em função de níveis de $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3 \text{ meq}/100 \text{ cm}^3$ num solo PVls.....73
- Tabela 19.** Comprimento final relativo (%) da maior raiz (CFRMR) de cultivares de tomateiro submetidas a cinco níveis (mg/L) de alumínio na solução nutritiva.....75
- Tabela 20.** Comprimento (cm) inicial da maior raiz (CIMR) de cultivares de tomateiro, no dia do transplante (DT), submetidas a cinco níveis (mg/l) de alumínio (Al^{3+}) na solução nutritiva.....77
- Tabela 21.** Comprimento (cm) final da maior raiz (CFMR) de cultivares de tomateiro, submetidas a cinco níveis (mg/l) de alumínio (Al^{3+}) na solução nutritiva.....78

Tabela 22. Rendimento de matéria seca (mg/planta) da raiz (RMSR) de cultivares de tomateiro, submetidas a cinco níveis (mg/l) de alumínio (Al^{3+}) na solução nutritiva.....78

Tabela 23. Rendimento de matéria seca (mg/planta) da parte aérea (RMSPA) em cultivares de tomateiro submetidas a cinco níveis (mg/l) de alumínio (Al^{3+}) na solução nutritiva.....79

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

- Figura 1.** Efeito de níveis de $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$, 0; 1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 meq ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$)/100 cm^3 na proporção 3:1 em meq/100 cm^3 , sobre o crescimento das cultivares de tomateiro Ângela gigante I 5100, IPA 5 e CNPH 81 em um solo PVls aos 64 dias da emergência (Fotos A; B; C e D).....41
- Figura 2.** Médias de matéria seca da parte aérea, de 16 cultivares de tomateiro sob condições de alta saturação por alumínio (%Al = 75) e os parâmetros Al_t50
- Figura 3.** Relação entre comprimento médio da haste principal (CMHP) em (y = cm/planta) e níveis de $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ (x = meq/100 cm^3 para a média das cultivares (gráfico A), e relações entre essas mesmas variáveis, considerando-se cada uma das cultivares em estudo (gráficos B, C e D).....63
- Figura 4.** Correlações entre os níveis de $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ 0; 1,5; 3,0; 4,5 e 6 meq/100 cm^3 e os rendimentos de matéria seca da parte aérea (RMSPA) em (mg/planta), para as cultivares de tomateiro Ângela gigante I 5100, IPA 5 e CNPH 81 num solo PVls aos 62 dias da emergência.....68

- Figura 5.** Correlações entre a saturação por Al^{3+} num solo PVls, e o rendimento relativo de matéria seca da parte aérea (RRMSPA) em (%) nas cultivares de tomateiro Ângela gigante I 5100, IPA 5 e CNPH 81 aos 62 dias de emergência (Gráficos A; B; C).....69
- Figura 6.** Efeito dos níveis 0,0; 0,75; 1,5; 2,25 e 3,0 mg de Al^{3+} /litro em solução nutritiva, sobre o crescimento das raízes e da parte aérea, das cultivares de tomateiro Ângela gigante I 5100, IPA 5 e CNPH 81, doze dias após a transferência para as soluções.....81

TOLERANCIA DE CULTIVARES DE TOMATEIRO AO ALUMÍNIO EM SOLO E SOLUÇÃO NUTRITIVA

Autor: Antonio Francisco Souza

Orientador: Prof. Dr. Antonio Roque Dechen

RESUMO

No Brasil, o tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill) é a hortaliça mais importante, não só em termo de produção, mas também em valor econômico. No geral o tomateiro é cultivado em solos ácidos, que apresentam baixos teores de Ca^{2+} e/ou excesso de Al^{3+} .

Considerando-se estes aspectos, foram realizados dois ensaios com solos e dois com solução nutritiva. No primeiro estudou-se o comportamento de 16 cultivares de tomateiro, quanto à tolerância a Al^{3+} em um solo Podzólico Vermelho-Amarelo var. Laras (PVls) originalmente ácido, na ausência e na presença de calcário. O experimento foi realizado em vasos sob condições de casa de vegetação, para identificação de cultivares de tomateiro com tolerancia a Al^{3+} . Determinou-se então os teores de Al^{3+} , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis para inferimento das alterações das características químicas do solo em função da calagem. Visando-se obter os valores de saturação por Al^{3+} correlacionados com os rendimentos de matéria seca, as

cultivares foram classificadas em quatro grupos quanto a tolerância ou sensibilidade à toxicidade de Al^{3+} : tolerantes e responsivas (TR), tolerantes e não responsivas (TNR), sensíveis e responsivas (SR) e sensíveis e não responsivas (SNR). As cultivares mais importantes quanto à tolerância a toxicidade de Al são: Ângela gigante I 5100, Santa Clara, CNPH 253, Kada, CNPH 82 e Euromech. As cultivares que foram classificadas como (TR), mostraram em geral tendência para acumular teores mais baixos de Al total na matéria seca da parte aérea.

Em outro experimento, realizado com o mesmo tipo de solo, foi para verificar o efeito dos níveis (0; 1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 meq/100 cm³) de $CaCO_3$ + $MgCO_3$ nas características químicas de um PVls, no crescimento, absorção e teores totais de nutrientes nas cultivares de tomateiro Ângela gigante I 5100, IPA 5 e CNPH 81, constatando-se um efeito positivo da calagem para todos as características mencionadas.

Foram conduzidos dois experimentos em solução nutritiva, sendo que o primeiro foi para estabelecer os níveis de Al^{3+} , para distinguir graus de tolerância em cultivares de tomateiro entre os níveis 0 e 6,0 mg de Al^{3+} /l, enquanto o segundo, foi para verificar se as cultivares Ângela gigante I 5100, IPA 5 e CNPH 81, submetidas a níveis entre 0 e 3,0 mg de Al^{3+} /l, confirmaram suas características de tolerância e sensibilidade, revelada no primeiro experimento em solo. Observou-se a sintomatologia

característica na toxicidade de Al, e o efeito dos seus níveis sobre o crescimento das cultivares. Concluiu-se que: as dezesseis cultivares de tomateiro diferiram quanto à sua tolerância a excesso de Al^{3+} no solo e na resposta à calagem.

O comprimento da maior raiz nas cultivares Ângela gigante I 5100 e CNPH 81, nas concentrações de 2,25 e 3,00 mg de Al^{3+} /l foi reduzido drasticamente 12 dias após a transferência das cultivares para as soluções nutritivas. A mesma tendência verificou-se em relação aos acúmulos de matéria seca no sistema radicular e na parte aérea. A cultivar IPA 5 teve também seu peso de matéria seca drasticamente reduzido, entretanto, não houve efeito significativo para comprimento da maior raiz.

Sintomas de toxicidade induzidos por Al^{3+} foram mais característicos nas concentrações de 2,25 e 3,00 mg/l. E surgiram com menor intensidade na raiz e posteriormente na parte aérea nas concentrações de 0,75 e 1,5 mg/l de Al^{3+} , acompanhado da presença de pontuações negras e necroses nas bordas dos folíolos.

ALUMINUM TOLERANCE OF TOMATO CULTIVARS GROWN ON SOIL AND IN NUTRIENT SOLUTION

Author: Antonio Francisco Souza

Adviser: Prof. Dr. Antonio Roque Dechen

SUMMARY

Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) is the most important vegetable crop in Brazil, not only because of its production, but also for its economical value. Generally, the tomato crop is grown in acid soils with low exchangeable calcium and/or Al^{3+} excess.

Four experiments (two in acid soil and two in nutrient solution) were carried out to study the effects of liming and Al on the growth of tomato cultivars. In the first two experiments, the substrate red-yellow Podzolic soil-Laras, originally acid, was used to study the behavior of 16 tomato cultivars for the aluminum tolerance in the absence and presence of lime. The experiment was established in pots, under greenhouse conditions, to identify the tomato cultivars more tolerant to Al^{3+} levels. The levels of exchangeable Al^{3+} , K^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} were determined to evaluate the change of the chemical characteristics of the substrate as a function of liming application rates. In order to obtain the values of aluminum saturation correlated

with the dry matter, the tomato cultivars were classified in four groups based on their tolerance and sensitivity to Al^{3+} toxicity: tolerant responsive (TR), tolerant and nonresponsive (TNR), sensitive and responsive (SR) and sensitive and nonresponsive (SNR). Cultivars Ângela gigante I 5100, Santa Clara, CNPH-253, Kada, CNPH-82 and Euromech were the most important with respect to Al^{3+} toxicity. The cultivars classified as (TR), showed, in general, a tendency to accumulate low levels of total Al^{3+} in the dry matter of the plant shoot.

In other experiment, carried out in the same soil type, the objective was to study the effect of various liming levels (0; 1.5; 3.0; 4.5 and 6.0 meq/100 cm^3 of CaCO_3 + MgCO_3) in the chemical characteristics of a PVIs, on plant growth, on the absorption, and on the total nutrient contents of cultivars Ângela gigante I 5100, IPA 5 and CNPH 81; there were positive effects of the liming on all mentioned characteristics.

The other two experiments were carried out in nutrient solution, one of them to establish the levels of Al^{3+} to distinguish the degree of tolerance in tomato cultivars between levels of 0 and 6 mg Al^{3+} /L, and the second one carried out to confirm the tolerance and sensitivity characteristics of the tomato cultivars Ângela gigante I 5100, IPA-5 and CNPH-81 when submitted to levels between 0 and 3 mg Al^{3+} /L, shown in the first experiment. It was observed the symptomatology characteristics of the Al^{3+}

toxicity and the effect of Al^{3+} levels on the cultivars growth. It was concluded that the sixteen tomato cultivars had different tolerances to the excess of soil Al^{3+} and to the response to liming.

The length of the biggest root in the *Ângela gigante* I 5100 and CNPH-81 cultivars in the levels of 2,25 and 3,00 mg Al^{3+} /L was reduced drastically 12 days after transference of plants to the solutions. The same tendency, was observed in relation to the root and shoot dry matter weight. The IPA-5 variety had also the dry weight reduced drastically, although there was no effect on the lenght of the biggest root.

The symptoms of Al toxicity were more evident in the levels of 2.25 and 3.00 mg Al^{3+} /L; in the levels of 0.75 and 1.5 mg/L of Al^{3+} , the symptoms were less evident in the roots and even less evident in the shoots and also presenting black spots and necrotic foliole borders.

1 - INTRODUÇÃO

Dentre as hortaliças, o tomateiro, é talvez a cultura mais importante, não só em termos de produção, como também, em valor econômico, por ser popular, de alto consumo, constituindo-se numa das principais fontes de vitaminas e sais minerais.

O Brasil é o maior produtor da América Latina e o oitavo no mundo, passando de um rendimento de 36,0 t para 41,10 t/ha, nos últimos cinco anos, o que é inferior comparando-o aos maiores produtores mundiais como Estados Unidos, Itália e Espanha (FAO, 1989, 1992). São Paulo, é o principal Estado produtor de tomate, com mais de 50% da produção. Assim é que, para fins industriais, essa cultura se estabeleceu com sucesso nas regiões Norte e Noroeste do Estado. A partir do final da década de oitenta, começou a expansão para outras regiões tradicionalmente não produtoras de hortaliças, como Petrolina (PE) e Juazeiro (BA). Posteriormente foi introduzido no cerrado de Minas Gerais, Distrito Federal e Goiás, enquanto nos demais estados em que houve aumento na área cultivada, deu-se mais em função do tomateiro para consumo "in natura" (de mesa).

A extensão de solos ácidos no Brasil é

significativa, eles predominam em quase todas as regiões. Como consequência, pode ocorrer a presença de alumínio trocável ou solúvel em quantidade tóxica para as culturas. Na região dos cerrados (com aproximadamente 2 milhões de Km²), a predominância de solos ácidos (pH < 5,0), com elevada saturação por alumínio trocável e baixos teores de cálcio, é quase absoluta.

As hortaliças, no que pese a existência de inúmeras espécies e cultivares, não têm recebido maior atenção, tanto no Brasil, como em outros países com problemas similares em solos ácidos, quanto a estudo para maior tolerância a excessos de alumínio e baixos teores de cálcio.

No que se refere ao tomateiro, tal situação não parece ser diferente, esta espécie e suas cultivares, têm sido pouco estudadas em relação ao aspecto de tolerância às condições adversas de acidez, principalmente devido a alumínio, e em geral tem apresentado, respostas controvertidas à aplicação de calcário (BAUMGARTNER, 1976).

Enquanto isso, sabe-se que sistema radicular do tomateiro não se desenvolve adequadamente, em solos ácidos contendo alta saturação por alumínio ou teores muito baixos de cálcio. Porém, com o uso da prática da calagem é possível corrigir-se a acidez do solo; contudo os efeitos da calagem, em geral, ficam restritos à camada arável ou superficial, excedendo pouco os 15 a 20 cm de profundidade. Isto deve afetar o desenvolvimento do tomateiro, uma vez que

a maior parte do seu sistema radicular restringe-se aos primeiros 60 cm do perfil do solo. Nesse caso, a correção da toxicidade de Al^{3+} nos horizontes inferiores de solos ácidos, através de métodos conhecidos e tradicionais, é muito difícil ou agrônômica e economicamente não executável. Assim, a alternativa que oferece maiores possibilidades para elevar o rendimento na cultura do tomateiro em solos ácidos em diversas regiões brasileiras, é a correção na camada arável desses solos, associada com a utilização de cultivares mais tolerantes a excesso de Al^{3+} .

Com as considerações expostas, define-se o objetivo da pesquisa o qual é:

- Avaliar o comportamento diferencial de cultivares de tomateiro quanto a níveis de Al em solo e solução nutritiva.

2 - REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Importância e ocorrência do alumínio nos solos

Mais de 15% da crosta terrestre é constituída por Al, na forma de (Al_2O_3), um importante constituinte do solo, devido à sua participação nos minerais primários, aparecendo também em alta proporção nos minerais secundários da fração argila do solo, onde ele é também abundante, fazendo parte da rede cristalina, sendo em solos das regiões tropicais mais abundante que o Silício (MENGEL & KIRKBY, 1987; MALAVOLTA, 1980).

Em diferentes regiões do mundo a presença do alumínio trocável (Al^{3+}) em níveis tóxicos para as plantas cultivadas, é uma característica dos solos ácidos. O Brasil possui aproximadamente 2,0 milhões de Km^2 de cerrados, ou seja, 20% do território brasileiro, apresenta solos de reação ácida e sujeitos à toxicidade por alumínio (GÖEDERT et al., 1987).

A toxicidade do alumínio e baixos teores de P e Ca são fatores limitantes do crescimento das hortaliças, entre elas o tomateiro em solos ácidos (MESQUITA FILHO, 1978). E no Brasil, embora o número de trabalhos

experimentais avaliando os efeitos da calagem em hortaliças seja pequeno, no Estado de São Paulo, as recomendações para a maioria dessas culturas, indicam a necessidade de aplicação de calcário quando os solos apresentam uma saturação por bases inferior a 60% (RAIJ et al., 1985). A toxicidade de Al é especificamente severa em solos com pH abaixo de 5,0, mas pode ocorrer em solos com valor de pH até 5,5 (MESQUITA FILHO & SOUZA, 1986). O pH crítico, no qual o alumínio torna-se solúvel ou trocável, atingindo concentrações tóxicas para uma cultura, depende de muitos fatores do solo, tais como os minerais de argila predominantes, o nível de matéria orgânica e a concentração de outros cátions, ânions e sais totais (RAGLAND & COLEMAN, 1960; FOY, 1974; MARTINS, 1988).

Na planta, o alumínio tem pequena mobilidade (ANDREW et al., 1973), concentrando-se mais nas raízes do que na parte aérea, sendo que os polímeros Hidrogênio-Al podem ser mais tóxicos às plantas do que os íons de monômeros-Al (WAGATSUMA & EZOE, 1985).

Com relação ao tomateiro, FOY et al. (1973), constatou que os sintomas de toxicidade tanto em hastes com em folhas foram obtidos sob condições de um solo ácido dos Estados Unidos, contendo alta saturação por alumínio, entretanto, esse mesmo solo quando submetido a calagem, garantiu às diversas cultivares de tomateiro condições normais de crescimento, eliminando assim, os sintomas característicos de toxicidade de alumínio na planta.

2.2. Influência da calagem na cultura do tomateiro

As hortaliças, entre elas o tomateiro, necessitam de quantidade variáveis de Ca e Mg, considerando-se as exigências da própria cultura e as acentuadas perdas não somente de Ca e Mg, mas também de outros elementos (N, P, K, Mn e Zn), devido à prática de irrigação intensiva, podendo perder por hectare/ano, 30-60 kg de N; 1-2 kg de P_2O_5 ; 20-50 kg de K_2O ; 400 kg de CaO; 30-50 kg de MgO; 150-300 g de Mn; 15-20 g de Cu e 150-200 g de B. (PRIMAVESI, 1988 e MINAMI & HAAG, 1989). Na carência de Ca, CHAPMAN (1966), menciona que pode ocorrer sérios distúrbios na composição orgânica e distribuição na planta, além da acumulação de carboidratos nas folhas, também ocorre acumulação de açúcares redutores e amido.

De acordo com KNOT (1957), e LORENZ & MAYNARD (1988), o tomateiro é considerado um vegetal moderadamente tolerante à acidez do solo, pois se desenvolve em solo com pH variando na faixa de 5,5 a 6,5. Entretanto é mencionado por alguns autores como sendo uma hortaliça exigente em Ca e Mg (MALAVOLTA, 1985; CASTELANI, 1988).

Nessa cultura, a elevação do pH através da calagem, segundo MINAMI & HAAG (1989), nem sempre proporciona resultados satisfatórios, devido a outros problemas que podem surgir, pois elevando-se o pH de 5,2 para 7,2, o rendimento do tomateiro decresce em média 11,6%. Isso se deve, possivelmente, às deficiências de

micronutrientes (B, Cu, Fe, Zn e Mn), induzidas pela calagem e pelo menor desenvolvimento do sistema radicular.

CHU & TURK (1949), relatam que o efeito da saturação por bases sobre o crescimento de diversas culturas, mostrou que o tomateiro cultivado em solo com participação expressiva de ilita (argilo mineral do tipo 2:1), apresentava maior produção e altura da haste principal e ainda, maior peso da planta, quando a saturação por bases foi de 75%, constituída por 56,25% em Ca, 11,25% em Mg e 7,5% em K.

Assim, diversos autores consideram que, em um solo ideal, deveriam fazer parte da CTC as seguintes faixas em cátions trocáveis: 65-85% em Ca; 6-12% em Mg e 2-5% em K^+ , e 60-70% de saturação em bases. (BERGER & PRATT, 1963 e BEAR & TOTH, 1948). Essas considerações se aproximam ligeiramente dos resultados encontrados por CHU & TURK (1949) com a cultura do tomateiro, principalmente em relação ao índice de saturação por bases (V%), e saturação por Ca^{++} (%Ca). Segundo BOYER (1975), sob condições intensivas de cultivo, o K trocável deve ocupar no mínimo 4% da CTC. De acordo com o autor, este valor deve atingir até 5% para o caso de frutíferas, sem contudo mencionar um valor de saturação por K^+ adequado para o tomateiro.

CAMARGO et al. (1965), trabalhando em um solo ácido do Estado de São Paulo, com pH em água original 4,8, utilizaram um calcário calcítico (47% CaO e 3% MgO), porém não obtiveram respostas significativas na produção em função

das doses de calcário (0; 2; 4 e 6 t/ha).

POMBO & SMITH (1986), estudaram a influência de dois calcários, um calcítico contendo 38% CaO e traços de Mg e outro dolomítico com 21% CaO e 12% MgO, aplicados na dose de 9 t/ha em tomateiro. De modo semelhante a CAMARGO et al. (1965), aqueles autores não obtiveram respostas significativas em relação à produção, mas verificaram que na presença desses calcários, o tecido foliar acumulou de modo diferencial e significativo, teores (%) de Ca e Mg na matéria seca, o mesmo não sendo verificado com respeito ao N, P e K.

Os teores dos micronutrientes: Mn, Cu, B e Zn (mg/g de matéria seca) no tecido foliar, variaram significativamente na presença e na ausência dos tipos de calcário estudados, diferindo somente em relação ao tratamento testemunha (0t/ha), demonstrando que a prática da calagem neste experimento (9t/ha), contribuiu para reduzir os teores de Mn e Cu nas folhas em 50%, e reduções de 10% para B e Zn. Contudo não fizeram menção ao controle da saturação por Al^{3+} nos solos estudados. (POMBO & SMITH, 1986)

2.3. Toxicidade do alumínio em plantas

A literatura especializada referente ao estágio atual dos conhecimentos sobre a toxicidade do Al em plantas, tem sido revisada por inúmeros autores (FOY et al., 1978; FAGERIA et al., 1988; ROY et al., 1988; CAMBRAIA,

1989; FURLANI, 1989; FOY, 1992).

Freqüentemente, a toxicidade do Al é acompanhada por níveis elevados de Fe e Mn e baixas concentrações de Ca e Mg, encontrados nos tecidos das plantas. Dessa maneira, como era de se esperar, a toxicidade de Al, está associada às combinações de solo ácido, onde a disponibilidade de ambos (Fe e Mn) é alta, e onde os níveis de Ca e Mg são muitas vezes baixos devido à lixiviação do solo. Nessas condições, a aplicação de calcário, representa a maneira mais efetiva de controlar a toxicidade em solos ácidos (HAYNES, 1982).

VOSE (1985), menciona que a toxicidade do Al é demonstrada mais claramente, por meio de experimentos de curta duração, geralmente na fase de plântula, através de um menor crescimento, acompanhado por uma coloração verde pálido nas folhas e de redução no comprimento das raízes, com um engrossamento secundário.

O alumínio trocável (Al^{3+}), quando participa em proporções elevadas no solo, atua principalmente sobre o sistema radicular das plantas, modificando sua estrutura anatômica, interferindo nas reações energéticas e na absorção e transporte de água e de nutrientes (FOY, 1966 e 1992), e regula a deposição de polissacarídeos nas paredes celulares (FOY, 1971 e 1973). A elongação das raízes segundo ROY et al. (1988) fica impedida, devido à redução da atividade mitótica, provocada pelo alumínio, com subsequente aumento da suscetibilidade das plantas à seca. MALAVOLTA

(1980) também afirma que a região meristemática da ponta da raiz, mostra um número anormalmente alto de células com dois núcleos, o que indica paralização do processo de divisão celular.

2.3.1. Efeitos no crescimento e desenvolvimento

RORISON (1958), relata que o alumínio em grandes concentrações afeta a planta, saturando as células livres do cortéx, inibindo o crescimento da raiz. RUSCHEL et al. (1968), constataram também que em cortes histológicos de raízes de feijoeiro submetidas aos tratamentos com alumínio em solução nutritiva, as paredes externas das células mostram-se danificadas.

O crescimento celular de acordo com MATSUMOTO et al. (1977), pode ser afetado pelo alumínio, entretanto, a possível associação do alumínio com pectinas, produzindo ligações cruzadas de pectina e diminuição na elasticidade da parede celular, parece não ocorrer, uma vez que tem sido demonstrado, que a maior parte do alumínio precipitado em raízes, não está associado com pectinas ou ácidos urônicos.

A redução no crescimento pode ser causada pela diminuição induzida pelo alumínio, na taxa de síntese da parede celular, uma vez que o papel do alumínio em inibir a função secretória do aparelho de Golgi tem sido verificado em raízes de algodoeiro, nas quais a adição de 1 mg/g de Al evitou a incorporação de ^{14}C -sacarose em materiais da parede

celular, e ao mesmo tempo, observou-se o aparecimento de células polinucleadas, indicando que a síntese de material da parede celular limita o crescimento (HUCK, 1972).

Em baixas concentrações de alumínio, a raiz primária pode alongar-se de forma aparentemente normal; o crescimento das raízes laterais é inibido, dando aparência típica de raiz atrofiada. No início, o desenvolvimento é normal, mas paraliza o crescimento assim que a endoderme da raiz é atingida (RORISON, 1958; REES & SIDRAK, 1956). Sob o efeito de níveis severos de toxicidade de alumínio, até as raízes primárias tornam-se atrofiadas, curtas e grossas. Os sintomas na parte aérea, geralmente são difíceis de serem distinguidos daqueles da deficiência de fósforo, e nessas condições, as taxas de crescimento são baixas e as folhas são pequenas e de coloração verde escura a purpúrea. Em casos especiais, manchas cloróticas tem sido observadas (JACKSON, 1967).

O Al tende a se ligar a grupos carboxílicos de ácidos poligalacturônicos da parede celular, alcançando o espaço livre aparente do sistema, quando ele gera cargas positivas e negativas que podem adsorver e/ou precipitar fosfatos inorgânicos. Além disso, pode inibir fosfatases e outras enzimas da membrana plasmática que esteja em contato com a solução externa. O alumínio, também afeta estruturalmente a membrana plasmática, modificando sua permeabilidade. Dentro das células, o alumínio provoca distúrbios generalizados sobre o metabolismo do fósforo, do

nitrogênio, do cálcio e de outros nutrientes (CAMBRAIA, 1989; FURLANI, 1989; FOY, 1974). Estes autores também destacam que ao nível celular, um dos primeiros sinais do estresse de alumínio é a desorganização da membrana plasmática. Frequentemente, as células da coifa da raiz tornam-se vacuoladas, com interrupção da função do aparelho de Golgi e do desenvolvimento de plastídeos. Desse modo, sofrem alterações na estrutura nuclear e perdas de citoplasma, e finalmente a desintegração.

2.3.1.1. Efeitos benéficos

Em sua grande maioria, a literatura é unânime na ênfase aos efeitos de toxicidade do alumínio no crescimento das plantas superiores. Contudo, diversas considerações são feitas com respeito aos efeitos benéficos do alumínio no crescimento das plantas, especialmente quando aplicado ao meio de cultura em baixas concentrações (HACKETTE, 1962 e 1965; CLARKSON, 1966; SALISBURY & ROSS, 1969; MULLITT, 1975).

HEWITT (1948), descreve o alumínio como um potencial micronutriente, enquanto HACKETTE (1962), alerta para a importância de estudos enfocando esse aspecto benéfico do íon, pois desde então, as pesquisas abordam apenas os efeitos de níveis elevados do elemento, os quais promovem toxidez.

De modo similar à toxicidade, os efeitos

benéficos do alumínio variam entre as espécies e para cultivares de uma mesma espécie. Segundo FOY (1983), os mecanismos da ação positiva de Al carecem de maiores estudos, porém algumas hipóteses podem ser formuladas como:

- um aumento na solubilidade e disponibilidade de Fe, através da hidrólise do Al e diminuição do pH;
- correção ou prevenção da deficiência de Fe;
- bloqueio de cargas negativas da parede celular, promovendo maior absorção de P;
- proteção da raiz, em casos de meios pobres, por reduzir o seu crescimento, evitando a depleção total do cátion Ca^{2+} no substrato;
- alterações no padrão de distribuição de fitorreguladores nas raízes;
- prevenção da toxicidade de cobre e manganês;
- ação fungicida.

Há muitas evidências de que o alumínio estimula diretamente o crescimento de plantas, ou indiretamente por aumentar a absorção e a translocação de alguns nutrientes. Porém, REES & SIDRAK (1956) e FOY (1974) enfocam que, apesar destes efeitos estimulantes obtidos, o papel do Al na fisiologia das plantas continua obscuro. GRIME & RODGSON (1969), relatam que os efeitos benéficos do Al no crescimento da espécie *Scabiosa columbreara* são devidos a um aumento na utilização do Fe, resultante da substituição do Fe pelo Al nos sítios de troca da raiz.

CLARKSON (1966), sugere uma outra explicação

para o efeito benéfico do Al. De acordo com este autor, quando o Al está ausente na solução nutritiva, é concebível que ocorra um mecanismo de ligação, provocando um aprisionamento de um ou mais nutrientes catiônicos, causando deficiência destes para o crescimento das plantas. De sorte que, se o Al está presente, este é "aprisionado", provocando uma redução na retenção dos outros cátions. De acordo com LEE (1971), este aprisionamento está relacionado com a competição entre o Al e os demais nutrientes catiônicos pelos sítios das raízes.

2.3.1.2. Efeitos inibidores e sintomas de toxicidade

A inibição do crescimento das raízes é o sintoma primário mais enérgico da toxicidade do alumínio na maioria das plantas sensíveis (NAIDOO et al., 1978; FURLANI, 1989). Alguns autores têm demonstrado a ocorrência desse efeito em algumas espécies vegetais (trigo, beterraba e tomateiro). Assim, em trigo, TAYLOR & FOY (1985 a, b) e OKHI (1985), descreveram a formação de raízes curtas, grossas e sem ramificação lateral, em consequência da toxicidade do Al. BARTLETT & RIEGO (1972), mostraram que as raízes de plantas sob tratamento com alumínio tornaram-se quebradiças e o crescimento dos ápices foi severamente inibido. Enquanto isso, KESER et al. (1975), FAHL et al. (1980) e DINIZ & CALBO (1990) verificaram a ocorrência dos mesmos efeitos nas

culturas de beterraba, batata e tomateiro.

FOY et al., (1973) em um estudo sobre a toxicidade de Al^{3+} , sob condições de um de solo ácido dos Estados Unidos, verificaram em cultivares de tomateiro, que a ocorrência desses sintomas se manifestaram nas cultivares (BGH 402 e Anahu) mais sensíveis ao Al^{3+} , na forma de um atrofiamento drástico das folhas, que se tornaram pequenas e de coloração verde escura. Os autores afirmaram que esses sintomas, são típicos da toxicidade de Al. Segundo esses autores, a aplicação de $CaCO_3$ ao solo ácido mencionado, elevou o pH em H_2O para 5,7 e preveniu, o aparecimento dos sintomas de toxicidade de Al que surgem principalmente no sistema radicular. O excesso de Al além de inibir a divisão celular contribui para reduzir o alongamento radicular, ficando as raízes curtas, grossas, quebradiças e quase sempre com uma cor amarronzada. (FOY, 1978; FOY, 1984 e MALAVOLTA et al., 1989). Resultados semelhantes a estes foram obtidos por DINIZ & CALBO (1990), para o tomateiro cultivar Rio Grande em solução nutritiva.

BLAMEY et al. (1993), destacam que um importante efeito primário de toxicidade de alumínio, pode ser a redução no movimento de água via apoplasto nas células da raiz, o que leva consequentemente a efeitos nas relações água-planta. Além disso a toxicidade de alumínio, reduziria o movimento da água na planta por unidade de comprimento de raiz, compondo dessa forma os efeitos adversos do alumínio, que resultam em um reduzido crescimento radicular.

2.3.2. Efeitos do alumínio na absorção, transporte e utilização de nutrientes

Os efeitos do alumínio e a modificação dos padrões de absorção e metabolismo de nutrientes pelas plantas, parecem ser bem caracterizados (FURLANI, 1989; MENGEL & KIRBY, 1987; BARBER, 1984)

Sabe-se também, que o alumínio geralmente reduz os teores da maioria dos nutrientes das plantas (FOY et al., 1978; MUGWIRA et al., 1978; CAMBRAIA & CALBO, 1980 e FAGERIA, 1984), e frequentemente interfere na absorção, transporte e utilização de diferentes nutrientes tais como, cálcio, fósforo, magnésio e potássio (FOY, 1974), podendo também incidir sobre uma maior ou menor, absorção de outros nutrientes tais como cobre, zinco, manganês e ferro. Entretanto, a intensidade desses efeitos depende de fatores tais como, a espécie de planta, cultivares, das condições experimentais e do grau de estresse do Al (ROY et al, 1988 e FURLANI, 1989).

Ainda que, a ocorrência de deficiências minerais induzidas pelo alumínio não expliquem os efeitos tóxicos rápidos que são observados em plantas, as análises rigorosas da influência do alumínio no metabolismo mineral, têm revelado que tais efeitos rápidos podem originar-se de alterações que ocorrem no metabolismo iônico, sem que os mesmos estejam ligados à deficiência mineral (TAYLOR, 1988).

2.4. Tolerância de plantas à toxicidade de alumínio

As espécies, assim como as cultivares de uma mesma espécie, apresentam larga diferença quanto ao seu grau de tolerância aos fatores químicos adversos, por exemplo o excesso de alumínio (FOY, 1974 e 1988). Em outro trabalho, o mesmo autor (FOY, 1983b) menciona que os mecanismos fisiológicos responsáveis pela tolerância ao alumínio ainda não são conclusivos, mas parecem ser controlados geneticamente por um ou dois pares de genes dominantes em cevada (REID, 1979), ou via alelos múltiplos no caso do milho (RHUE, 1976).

Algumas variedades de trigo, cevada, arroz, ervilha e milho, tolerantes ao alumínio, possuem a habilidade de elevar o pH da solução nutritiva, o que diminui a solubilidade do íon, e conseqüentemente sua toxicidade (FOY et al., 1965, 1967, e 1978 e FOY, 1983 a). Em contraste, as cultivares sensíveis das mesmas espécies, diminuem ou não conseguem mudar o pH das suas soluções. Tal habilidade está associada à absorção diferencial de cátions e ânions (MUGWIRA et al., 1978). Enquanto isso, FOY et al. (1978) relacionam possíveis causas da diminuição de pH na rizosfera, incluindo a absorção de cátions via troca iônica por H^+ livre e/ou liberação de íons H^+ , a partir de resíduos carboxílicos de ácidos poligalacturônicos e/ou de microorganismos associados às raízes. Notadamente, plantas adaptadas a solos fortemente ácidos, utilizam eficientemente

NH_4^+ , tendo baixa atividade da redutase de nitrato. Por outro lado, FLEMING (1983), concluiu que a tolerância em certos cultivares de trigo era dada pela capacidade de absorção e utilização eficiente de NO_3^- na presença de NH_4^+ , o que eleva o pH do meio.

CALBO & CAMBRAIA (1980), verificaram que cultivares tolerantes de sorgo, acumularam quantidades consideráveis do elemento no protoplasma das células da raiz, o que indica a existência de um possível mecanismo interno de desintoxicação. Outras espécies como chá, arroz, trigo e alfafa, acumulam grandes teores do íon Al na sua parte aérea (ROY et al., 1988). Segundo FOY (1974), algumas espécies vegetais são utilizadas como indicadoras de depósitos de bauxita, como é o caso de *Gleichenia linearis*, pois são acumuladoras de Al.

Utilizando plantas de trigo, KINRAIDE & PARKER (1987), atribuíram ao alumínio um efeito competitivo com o cálcio, competindo por seus sítios externos ativos de ligação. Esse fato vem reforçar o conceito de que a tolerância ao Al pode estar associada à capacidade da planta em resistir à deficiência de cálcio (FOY et al., 1978). Entretanto, a tolerância em certas espécies e cultivares, tem sido correlacionada com a habilidade de absorver e utilizar o fósforo. Analisando os teores de P presentes na parte aérea e no sistema radicular de plantas de trigo tratadas com Al, FOY et al. (1965), verificaram que a cultivar sensível acumulou menos fósforo na parte aérea do

que a cultivar tolerante.

Uma outra hipótese para explicar a tolerância diferencial entre cultivares, é a existência de mecanismos de quelatação do Al através de ácidos orgânicos e fenois. JOHNSON & JACKSON (1964) verificaram que o ion Al^{3+} complexado com EDTA, não promovia redução da absorção de cálcio pelas raízes de cevada, ocorrendo o inverso quando as plantas foram tratadas com $AlCl_3$. Em 1961, JONES já havia proposto que plantas tolerantes ao Al produzem ácidos orgânicos, os quais agem como quelantes no interior da célula ou fora dela. Essa suposição é também citada por BARTLETT & RIEGO (1972) e por FOY et al. (1978).

Ainda nessa linha, CAMBRAIA et al. (1983), examinando o conteúdo de ácidos orgânicos em sorgo, encontraram que na cultivar tolerante, os níveis dos ácidos trans-aconítico e málico foram superiores àqueles da cultivar sensível. Resultados semelhantes foram obtidos por SUHAYADA & HAUG (1986) para milho e por LEE & FOY (1986) para feijoeiro, onde constataram que a cultivar tolerante apresentou maiores concentrações dos ácidos cítrico, málico e fumárico em suas raízes, do que a cultivar sensível.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho envolveu quatro experimentos em casa de vegetação, sendo dois em solo, e dois em solução nutritiva. Os primeiros foram conduzidos, no período de abril de 1991 a dezembro de 1992, em casa de vegetação do Departamento de Química da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", localizada junto ao Setor de Nutrição Mineral de Plantas. Os últimos também foram conduzidos em casa de vegetação, no Centro Experimental situado na Fazenda Santa Eliza, do Instituto Agronômico de Campinas, e foram realizados no período de outubro de 1992 a fevereiro de 1993.

A medida das temperaturas máxima, mínima e média, assim como das umidades relativas, máxima, mínima e média, no ambiente da casa de vegetação da ESALQ, foi realizado por meio de um termohigrógrafo instalado no interior da mesma. Essas variáveis foram observadas também externamente, utilizando-se os equipamentos do Posto Meteorológico da ESALQ, conforme mostram os gráficos do Apêndice 1.

3.1. Cultivares utilizadas

No primeiro experimento com solo, utilizou-se um total de dezesseis cultivares de tomateiro, constituídas por seis do Grupo Santa Cruz, de crescimento indeterminado e para consumo de mesa (Kada; Ângela gigante I-5100; M.M-70; Santa Clara; Olho Roxo e Raminho), seis do Grupo Indústria, de crescimento determinado e adequado ao processamento industrial (Botu 13; Rossol; Nemadoro; Euromech; Europeel e IPA-5), e quatro pertencentes a um grupo denominado Silvestre (Sv.), de crescimento indeterminado e de interesse do melhoramento genético (Sv.CNPH-81; Sv.CNPH-82, Sv.CNPH-353; Sv.CNPH-263). Estes cultivares foram escolhidos com base no critérios de adaptação às condições adversas do solo nas regiões sudeste, centro oeste e no nordeste do Brasil, considerados ainda, como fontes de germoplasma dos programas de melhoramento genético para alta produtividade em diversas instituições de pesquisa no País.

As sementes das cultivares dos Grupos Santa Cruz e Indústria foram doadas pela Estação Experimental da Asgrow em Paulinia SP e as das cultivares do Grupo Silvestre, foram cedidas pelo Banco Ativo de Germoplasma (BAG), do Centro Nacional de Pesquisa em Hortaliças (CNPH) da EMBRAPA, em Brasília - DF.

No segundo experimento com solo e nos dois experimentos com solução nutritiva, utilizaram-se apenas três cultivares (Ângela gigante I-5100; IPA-5 e Sv. CNPH-

81).

3.2. Solo utilizado

Utilizou-se um solo classificado como Podzólico Vermelho Amarelo var. Laras (PVls), (COMISSÃO DE SOLO, 1960), localizado em uma área da fazenda Água Morta, Município de Piracicaba, Estado de São Paulo, o qual foi amostrado nas camadas de 0-15 cm, e 15-35 cm. As análises físicas e químicas foram realizadas pelos laboratórios de Fertilidade e Física do solo, do Departamento de Química, Setor de Nutrição Mineral de Plantas e do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ-USP segundo as metodologias propostas por RAIJ et al., 1987; KIEHL, 1979; EMBRAPA, 1979. Os micronutrientes foram determinados conforme LINDSAY & NORVELL (1978), como ilustram os dados da Tabela 1.

O solo coletado da camada de 15-35 cm foi seco ao ar, destorroado e passado através de peneira de malha 2 mm para então ser utilizado nos experimentos.

Tabela 1. Características físicas e químicas do solo Podzólico Vermelho-Amarelo, variação Laras (PVls).

	Profundidade	
	0-15 cm	15-35 cm
pH em CaCl_2	4,40 b ⁽¹⁾	4,25 mb
MO%	1,90 b	1,43 mb
P ($\mu\text{g}/\text{cm}^3$)	17,50 b	23,80 m
K^+ (meq/100 cm^3)	0,20 m	0,10 b
Ca^{2+} (meq/100 cm^3)	0,98 b	0,65 b
Mg^{2+} (meq/100 cm^3)	0,67 m	0,23 b
Al^{3+} (meq/100 cm^3)	2,45 a	3,45 a
$\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$ (meq/100 cm^3)	5,22 m	6,44 ma
S (meq/100 cm^3)	1,90 m	1,00 b
T (meq/100 cm^3)	7,10 m	7,40 m
V (%)	26,20 b	13,20 mb
m (%)	56,32	77,53
B (ppm)	0,58	0,49
Cu (ppm)	0,02	0,01
Fe (ppm)	47,80	54,50
Mn (ppm)	3,15	2,39
Zn (ppm)	0,19	0,21
Areia grossa (%)	15,00	39,00
Areia Fina (%)	66,00	42,00
Silte (%)	5,00	5,00
Argila (%)	14,00	14,00
Classe de Textura ⁽²⁾	ar.	ar.

(1) Interpretação segundo o Laboratório de Fertilidade do Solo do Setor de Nutrição Mineral de Plantas da ESALQ-USP. a = alto; b = baixo; m = médio; ma = muito alto e mb = muito baixo

(2) ar. = arenosa

3.3. Estabelecimento da curva de neutralização da acidez do solo

Os níveis de carbonato de cálcio (CaCO_3) e carbonato de magnésio (MgCO_3), produtos para análise (p.a.), usados no estabelecimento da curva de neutralização da acidez desse solo, foram calculados de maneira a fornecer 0; 40; 80; 120 e 160 % do valor da necessidade de calagem ($\text{NC} = 5,0 \text{ meq}/100 \text{ cm}^3$), utilizando-se a proporção 3:1 $\text{meq}/100 \text{ cm}^3$ de CaCO_3 e MgCO_3 , para elevar o índice de saturação por bases original ($V_1\% = 13,20$) para o índice $V_2\% = 80$. Na instalação do ensaio de incubação foram consideradas as seguintes doses: 0; 2; 4; 6 e 8 meq de carbonatos, visando-se determinar a dose necessária para atingir pH 6,5 ou equivalente à uma faixa entre 76 a 92% de saturação por bases (RAIJ & QUAGGIO, 1982). Essas doses foram incorporadas uniformemente a 200 cm^3 de terra (TFSA) acondicionados em recipientes de plástico. A seguir, adicionou-se o volume de água necessário para atingir-se 70% da capacidade de campo (C.C.). Na determinação da C.C., utilizou-se o método denominado "Torrão Sêco pela Frente de Molhamento" (T.S.F.M), o qual simula o princípio da capacidade de campo (MARCOS, 1990)¹. Em seguida, cobriu-se os recipientes com um plástico, de modo a evitar a evaporação excessiva e a

¹ MARCOS, Z.Z. 1990. Prof. Titular de Física de Solo do Departamento de Solos e Geologia da ESALQ, Caixa Postal 8, Piracicaba SP. Informação Pessoal

entrada de materiais estranhos, porém permitindo o equilíbrio de CO_2 (PRATT, 1966 e VASCONCELOS, 1974).

Mediu-se o pH na suspensão de terra em água na proporção de 1:2,5 (VASCONCELOS, 1974), em intervalos regulares de sete dias, até completar 35 dias de incubação. A estabilização da reação do solo foi atingida entre 21 e 35 dias após o início da incubação. A dose de $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ na proporção de 3:1 igual a 5 meq/100 cm^3 de terra foi encontrada através da curva de neutralização, como a que faz o valor de pH em H_2O atingir 6,5 (Apêndice 2).

3.4. Experimentos em solo

Nos experimentos nos quais foram avaliados a "tolerância das dezesseis cultivares à toxicidade devida ao Al", e o "efeito devido aos níveis de calcário no controle de alta saturação por Al", aplicou-se no primeiro, 5 meq ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$)/100 cm^3 , para elevar a saturação por bases até 80%, mantendo-se como testemunha (sem calagem), o solo com o valor original de ($V_1\% = 13,20$). E no segundo experimento adicionou-se os níveis de 0,0; 1,5; 3,0; 4,5 e 6 meq ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$)/100 cm^3), calculados de modo a estabelecer os seguintes níveis de saturação por bases ($V\%$): testemunha (13,20); 20; 40; 60 e 80%.

A incorporação e a correção da acidez segundo os tratamentos, deu-se com antecedência de 30 dias à instalação de cada experimento, utilizando-se vasos, com

capacidade para $3,6 \text{ dm}^3$ de terra e mantendo-se a umidade em 70% da capacidade de campo.

Ao final desse período, retirou-se amostras de terra de todos os tratamentos, para verificar o pH em H_2O (1:25) e CaCl_2 (10^{-2}M), saturação por bases (V%), e por Al (%Al). Em seguida, aplicou-se aos vasos, uma adubação com as doses 53; 87,3 e 77,1 mg de N; P e K por dm^3 de terra (TFSA), nas formas de NH_4NO_3 ; $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$; KH_2PO_4 respectivamente, assim como os micronutrientes em doses correspondentes a: 0,75; 0,25; 0,5; 2,0 e 0,2 mg/ dm^3 de B, Cu, Mn, Zn e Mo nas formas P.A. de H_3BO_3 ; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; $\text{MnSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ e $\text{Na}_2\text{M}_0\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ respectivamente.

A aplicação do N foi feita de maneira parcelada: 1/3 antes do semeadura e o restante por ocasião do desbaste aos 20 dias da emergência.

O semeio foi realizado diretamente em recipientes de plástico, com capacidade para 50 cm^3 , cheios com o mesmo substrato de cada um dos tratamentos aplicados aos vasos. A transferência das mudas para os vasos ($3,6 \text{ dm}^3$) deu-se 5 dias após a emergência das plântulas. Após 20 dias da emergência, fez-se o desbaste, deixando-se 3 plantas por vaso.

O primeiro experimentos teve duração de 64 dias e o segundo de 62 dias; ocasião em que as plantas apresentavam características diferenciais nítidas como efeito dos diferentes tratamentos a que foram submetidas.

3.5. Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado em ambos os experimentos realizados com solo, foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial, com três repetições de cada tratamento para os experimentos com solo e quatro repetições para os com solução nutritiva. (GOMES, 1990)

3.6. Tratamentos

No primeiro experimento, que avaliou as cultivares de tomateiro quanto a sua tolerância ao estresse devido ao Al em solo ácido (PVls), foram testados em casa de vegetação trinta e dois tratamentos formados a partir da combinação entre as dezesseis cultivares de tomateiro e os dois níveis de calcário C_0 (0,0) e C_1 (5,0 meq da mistura de $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3 / 100 \text{ cm}^3$ de solo).

O segundo experimento, onde se avaliou o efeito de níveis de $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ no controle da saturação por Al^{3+} , utilizou-se três cultivares de tomateiro, (Ângela gigante I 5100; IPA 5 e CNPH 81), que foram previamente selecionadas a partir dos dados do experimento anterior. E foram testados 15 tratamentos, a partir de combinações fatoriais entre 5 níveis de $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ x 3 cultivares de tomateiro, perfazendo 45 parcelas devidas às 3 repetições.

3.7. Características avaliadas

As seguintes variáveis foram avaliadas com a finalidade de se determinar a resposta aos tratamentos: comprimento médio da haste principal (CMHP) em cm/planta, com mensurações tomadas em triplicata em todas as parcelas, aos 34 dias da emergência e até a colheita para se obter o rendimento de matéria seca da parte aérea (RMSPA) e radicular (RMSR) em mg/planta.

3.8. Coleta, preparo e análises químicas do material vegetal

O material vegetal para análise foi coletado quando os tratamentos apresentavam respostas diferenciais aos 64 dias da emergência para o primeiro e aos 62 dias para o segundo experimento, coincidindo com a fase inicial de florescimento em 90% das cultivares. O material vegetal dos experimentos em solução nutritiva foi coletado 12 dias após o transplante para a solução. Todas as plantas foram lavadas com água destilada, enxugadas com papel toalha e postas a secar em estufa com circulação forçada de ar, a temperatura de 60°C, até peso constante da matéria seca. Após a secagem, procedeu-se à pesagem das plantas para se obter o peso da matéria seca. Em seguida, elas foram moidas em um moinho tipo Wiley, pesadas e submetidas à digestão nitroperclórica segundo SARRUGE & HAAG (1974). Os teores de P, Ca, Mg e Al

foram determinados no extrato nitroperclórico, utilizando espectrofotômetro de emissão com plasma induzido por argônio, em aparelho Jarrel Ash, modelo 975 Atom Comp. (RUTLEDGE & McCLURG, 1980), enquanto o K foi determinado por fotometria de chama, usando-se GLP sob fluxo contínuo em fotometro de chama, modelo B-262 - Micronal.

3.9. Análises químicas em amostras de solo após a colheita dos experimentos

As amostras foram coletadas após a colheita em cada um dos experimentos, secas ao ar, em seguida destorroadas e armazenadas em caixas de papelão. As determinações químicas de P, Ca, Mg, K, H + Al, MO e pH (na suspensão solo solução) foram realizadas segundo RAIJ et al., (1987). O Al^{3+} foi extraído em KCl 1 N e determinado por volumetria com NaOH 0,02 N, empregando-se fenolftaleína 0,05% (CAMARGO et al., 1986).

3.10. Análises estatísticas dos dados experimentais

Efetuaram-se as análises de variância para verificação de efeitos dos tratamentos segundo o testes F ($P < 0,05$) e ($P < 0,01$), e os cálculos para comparações de médias dos tratamentos, Tukey ($P < 0,05$). E sempre que ocorreu interações significativas entre os tratamentos, utilizou-se a análise e equações polinomiais de regressão de

melhor ajuste aos dados observados conforme GOMES (1990). Em todos os cálculos realizados utilizou-se o programa de computação denominado "Sistema de Análises Estatísticas (SANEST)".

3.11. Experimentos em solução nutritiva

Obteve-se as plântulas a partir de sementes que germinaram em substrato formado por vermiculita e areia lavada numa proporção de 1:1, alocado em vasos com capacidade para 1.6 dm³, umedecido com água destilada. Quando essas se apresentavam com um ou dois pares de folhas definitivas e com hastes entre 2,5 a 3,0 cm de altura, procedeu-se à transferência das mesmas para a solução nutritiva de FURLANI & FURLANI (1988), diluída a 1/5 de sua força iônica, em caixas de plástico contendo 15 litros dessa solução, e receberam arejamento contínuo por 8 a 10 dias.

Após esse período de crescimento prévio das plântulas, procedeu-se novamente outra seleção para a uniformidade do sistema radicular. Em seguida, foram submetidas aos tratamentos de Al³⁺, adicionados à solução nutritiva sem diluição, utilizando-se vasos plásticos com capacidade para 2,6 dm³, revestidos externamente com folha alumínio, para evitar a entrada de luz. As plântulas foram fixadas às tampas dos vasos com o auxílio de pequenos pedaços de "espumas de polipropileno", utilizando-se duas plântulas por vaso em todos os tratamentos.

Considerou-se como variáveis, para avaliar os efeitos dos tratamentos, a matéria seca da raiz e da parte aérea, e os comprimentos inicial (CIMR) e final da maior raiz (CFMR) e da haste principal, em cm/planta, obtidos respectivamente no momento do transplante para as soluções - tratamento, e no momento da colheita, que foi realizada 12 dias após o transplante. Foi determinado também nessa última época, o volume total do sistema radicular em cm^3 através da aplicação do princípio de Arquimedes.

3.12. Tratamentos

Os tratamentos utilizados no 1º experimento em solução nutritiva foram constituídos pelos níveis de alumínio de (0, 1,5, 3,0, 4,5 e 6,0 mg/l de Al^{3+}) na forma de $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, e no 2º experimento foram utilizados os níveis 0, 0,75, 1,5, 2,25 e 3,0 mg/l de Al^{3+} .

3.13. Composição da solução nutritiva utilizada

A solução nutritiva utilizada nos experimentos com as cultivares de tomateiro Ângela gigante I 5100; IPA5 e CNPH81 é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Composição das soluções estoque e da solução nutritiva utilizada para os estudos de tolerância de cultivares de tomateiro ao Al com solução nutritiva, segundo FURLANI & FURLANI, 1988.

Soluções	Soluções Estoque		Relação Sol.Estoque/ Sol.Nutritiva	Nutriente	Concentração final da Sol.Nutritiva
	Componente	Conc.			
		g/l	ml/l		mg/l
1	Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O NH ₄ NO ₃	270,0 33,8	3,1	Ca	139,9
2	KCl K ₂ SO ₄ KNO ₃	18,6 44,0 24,6	2,3	K	90,6
3	Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	142,4	1,5	Mg	21,0
4	KH ₂ PO ₄	17,6	0,25	N-NO ₃ ⁻ N-NH ₄ P	141,1 18,0 1,0
5	FeSO ₄ ·7H ₂ O Na ₂ EDTA	24,9 29,6	0,3	S	17,4
6	MnCl ₂ ·4H ₂ O	2,34	0,3	Cl Fe	20,56 1,5
	H ₃ BO ₃	2,04		Mn	0,20
	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0,88		B Zn	0,22 0,062
	CuSO ₄ ·5H ₂ O	0,20		Cu	0,015
	Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0,26		Mo	0,031
7	AlK(SO ₄) ₂ ·12H ₂ O	52,77	1,7	Al	5,0

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Primeiro experimento em solo

Avaliação de dezesseis cultivares de tomateiro quanto ao crescimento diferencial e absorção de nutrientes em um solo ácido, na ausência e presença de calagem.

4.1.1. Comprimento médio da haste principal (CMHP)

Os resultados da análise conjunta das médias de comprimento da haste principal (CMHP) em cinco épocas de mensuração revelaram pelo teste F, diferenças estatisticamente significativas a 5%, para cultivares, calagem, épocas e interações duplas entre esses fatores (Apêndice 3). Disto infere-se, que o crescimento das cultivares expresso pelas médias da variável CMHP, apresentou variações entre as cultivares, que porém foram dependentes dos fatores: calagem e épocas, ou sejam, as variações observadas entre as médias de comprimento das hastes de plantas, são interdependentes dos fatores cultivares, calagem e épocas dois a dois.

Conforme pode-se constatar pelos dados da

Tabela 3, as maiores médias com ênfase à variável CMHP, pertencem às cultivares Santa Clara, Ângela gigante I-5100 e Olho roxo em presença da calagem, quando a saturação por alumínio (% Al) foi de (% Al) = 3 (Tabela 7). Estatisticamente essas médias (42,30; 41,69 e 41,78) são superiores às médias das cultivares Sv. CNPH 263; Sv. CNPH 82; Euromech e IPA 5, entretanto essas primeiras cultivares (Santa Clara; Ângela gigante I-5100 e Olho roxo), não diferem estatisticamente ($P < 0,05$) das cultivares: Kada; Raminho; Rossol; M.M.70; Botu 13; Nemadoro; Europeel e Sv. CNPH 353.

Tabela 3: Comprimento médio da haste principal (CMHP) (cm/planta) de cultivares de tomateiro em um solo PVls na ausência e presença de calagem dos 24 aos 64 dias após a emergência. Médias de 3 plantas por vaso.

Cultivares	Comprimento da haste principal			
	Sem calagem		Com calagem	
	cm/planta ⁽¹⁾			
Euromech	8,8	a A	35,4	bc B
Ângela gig. I5100	8,7	a A	41,7	a B
Kada	7,6	a A	37,3	abc B
Raminho	7,4	a A	40,0	ab B
Rossol	7,0	a A	39,9	ab B
M.M. 70	7,0	a A	39,3	ab B
Sv.CNPH 263	7,0	a A	33,1	c B
Botu 13	7,0	a A	37,3	abc B
Sv.CNPH 82	6,6	a A	33,4	c B
Santa Clara	6,5	a A	42,3	a B
Nemadoro	6,4	a A	37,2	abc B
Europeel	6,4	a A	40,2	ab B
Olho roxo	6,0	a A	41,8	a B
Sv. CNPH 353	5,4	a A	40,3	ab B
Sv. CNPH 81	5,3	a A	40,8	ab B
IPA 5	5,1	a A	35,8	bc B

(1) Valores seguidos por letras minúsculas distintas na vertical e por letras maiúsculas distintas na horizontal diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

Contudo, observa-se (Tabela 3) que as cultivares IPA 5 e Euromech não foram expressiva em resposta a calagem em relação à variável CMHP, como foram as cultivares Sv. CNPH 353; Sv. CNPH 81; Santa Clara e Olho roxo. O comportamento das duas primeiras cultivares é similar aos resultados mencionados por FOY et al. (1973), para cultivares de tolerância intermediária ao Al em um

estudo, em que os autores utilizaram dezoito cultivares de tomateiro avaliados na ausência e na presença de calagem, em um solo ácido dos Estados Unidos.

Devido ao fato de ter ocorrido a interação ($P < 0,05$) entre épocas de mensuração do comprimento da haste principal das cultivares de tomateiro e a variável CMHP, procedeu-se a análise de regressão para a variável comprimento médio da haste principal (CMHP) em função das épocas dentro de cada cultivar (Tabelas 4 e 5 e Apêndice 4).

Para todas as cultivares, o modelo que melhor se adaptou aos resultados da variável CMHP, foi o polinomial de segundo grau. As diferenças entre cultivares são expressas pelas diferenças existentes entre os coeficientes de regressão, e pelos valores de ponto de máximo ou mínimo dessas equações (Tabela 5).

As diferenças ($P < 0,05$) em CMHP entre cultivares, ocorreram exclusivamente entre épocas de mensuração, o mesmo não se observou em relação às variações das cultivares dentro de épocas, a não ser aos 34 dias após a emergência, em relação às cultivares Ângela gigante I 5100 e Raminho, que assim diferiram ($P < 0,05$) em CMHP das cultivares restantes. Porém estas duas cultivares não se diferiram entre si, o que parece sugerir que tal variação teria agido como a causa principal que levou à ocorrência da interação ($P < 0,05$) entre cultivares x épocas (Tabela 4, Apêndice 4).

Tabela 4. Comprimento da haste principal (CMHP) dentro de cada uma das cinco épocas de mensuração a partir dos 24 dias da emergência em dezesseis cultivares de tomateiro instaladas em um PVls que originalmente era ácido. Médias de 3 plantas por vaso.

épocas de mensuração do comprimento da haste principal						
Cultivares	Dias após a emergência das plantas					
	24	34	44	54	64	
	cm/planta					
Kada	5,3 d A	8,9 d A	15,7 c A	30,9 b A	51,5 a A	
Ângela gig. I5100	7,4 d A	11,2 cd A	15,9 c A	31,3 b A	59,9 a A	
M.M.70	6,9 d A	10,3 d A	17,2 c A	33,7 b A	47,8 a A	
Santa Clara	7,1 d A	10,2 d A	18,3 c A	35,1 b A	51,2 a A	
Olho roxo	6,5 d A	10,4 d A	18,6 c A	32,6 b A	51,4 a A	
Raminha	7,8 d A	11,2 cd A	16,1 c A	32,2 b A	51,0 a A	
Botu 13	7,1 d A	10,2 d A	17,6 c A	29,8 b A	45,7 a A	
Rossol	6,8 d A	9,3 d A	16,2 c A	33,5 b A	51,9 a A	
Nemadoro	7,4 d A	10,5 d A	16,6 c A	30,6 b A	43,6 a A	
Euromech	7,8 d A	10,4 d A	16,7 c A	30,7 b A	44,8 a A	
IPA 5	6,3 d A	9,1 d A	16,6 c A	28,9 b A	41,2 a A	
SV.CNPH81	6,8 d A	10,1 d A	18,5 c A	32,2 b A	48,1 a A	
SV.CNPH82	3,9 d A	6,0 d A	11,8 c A	29,5 b A	48,2 a A	
SV.CNPH83	5,1 d A	8,7 d A	16,1 c A	32,7 b A	51,6 a A	
SV.CNPH263	3,9 d A	5,8 d A	12,6 c A	28,1 b A	49,6 a A	

- Valores seguidos por letras minúsculas distintas na vertical e por letras maiúsculas distintas horizontal diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 5. Equações de regressão polinomial, coeficientes de determinação (R^2) e valores máximos ou mínimos para o efeito de épocas em dias (x) a partir dos 24 dias após a emergência sobre o comprimento médio da altura de planta (y) para as dezesseis cultivares de tomateiro.

Cultivares	Equação de regressão	R^2	$x_{\max}$	$y_{\max}$	$x_{\min}$	$y_{\min}$
1 Kada	$\hat{y} = 24,79 - 1,52x + 0,0303x^2$	0,99**	--	--	25	5,7
2 Angela gigante I5100	$\hat{y} = 45,06 - 2,54x + 0,0431x^2$	0,99**	--	--	29	7,5
3 M.M.70	$\hat{y} = 15,29 - 0,89x + 0,0221x^2$	0,99**	--	--	20	6,3
4 Santa Clara	$\hat{y} = 17,58 - 1,048x + 0,0247x^2$	0,99**	--	--	24	6,7
5 Olho Roxo	$\hat{y} = 18,70 - 1,11x + 0,254x^2$	0,99**	--	--	02	17,5
6 Raminho	$\hat{y} = 28,53 - 1,57x - 0,0300x^2$	0,99**	26	32,0	--	--
7 Hoty.13	$\hat{y} = 17,11 - 0,94x + 0,0217x^2$	0,99**	--	--	21	12,0
8 Rossol	$\hat{y} = 25,08 - 1,48x - 0,298x^2$	0,99**	25	30,5	--	--
9 Nemadoro	$\hat{y} = 15,36 - 0,81x - 0,0197x^2$	0,99**	20	8,7	--	--
10 Euromech	$\hat{y} = 18,63 - 0,98x - 0,0218x^2$	0,99**	22	13,5	--	--
11 Europeel	$\hat{y} = 16,98 - 1,01x + 0,0237x^2$	0,98**	--	--	02	15,0
12 IPA 5	$\hat{y} = 10,77 - 0,61x + 0,071x^2$	0,99**	--	--	18	5,3
13 SV.CNPH 81	$\hat{y} = 15,89 - 0,92x + 0,0224x^2$	0,99**	--	--	20	6,4
14 SV.CNPH 82	$\hat{y} = 25,98 - 1,68x + 0,0319x^2$	0,99**	--	--	26	4,0
15 SV.CNPH 353	$\hat{y} = 20,71 - 1,33x + 0,0284x^2$	0,99**	--	--	23	5,1
16 SV.CNPH 263	$\hat{y} = 29,54 - 1,39x + 0,0342x^2$	0,99**	--	--	20	15,4

** Significativo ao nível de 1%

Os resultados da análise de variância, obtidos para cada uma das épocas de mensuração da variável CMHP, são apresentados no Apêndice 3 e os valores de CMHP, são apresentados em cada época de mensuração. As cultivares quanto ao crescimento, comportaram-se de modo idêntico dentro do fator épocas, mas diferem ($P < 0,05$) entre as épocas, enquanto o crescimento inicial das cultivares, dos 24 aos 44 dias após a emergência, não foi muito intenso, porém tornou-se mais expressivo a partir dos 44 dias até a data da colheita deste experimento ou seja, 64 dias após a emergência, momento em que 90% das cultivares atingiram o início de florescimento (Tabela 4).

No que se refere ao crescimento das cultivares em CMHP, cabe ressaltar que os resultados encontrados neste experimento, estão de acordo com as observações de FOY et al. (1973) e RAMOS, (1981) ao mencionar que em altos níveis de saturação por Al em solo ácido, houve restrição do desenvolvimento vegetativo das cultivares sensíveis à toxicidade por Al, enquanto que em baixos níveis de saturação por Al, essas cultivares apresentaram desenvolvimento normal.

4.1.2. Rendimento de matéria seca da parte aérea (RMSPA) em dezesseis cultivares de tomateiro, cultivadas em um solo ácido, na presença e na ausência de calagem

Os resultados de análise de variância em relação ao rendimento da matéria seca da parte aérea (RMSPA) em dezesseis cultivares de tomateiro no estágio inicial de florescimento, (Apêndice 5), revelaram diferenças ($P < 0,05$) para cultivares, calagem e a dupla interação entre os fatores cultivares e calagem. Infere-se dos resultados, que o crescimento vegetativo das cultivares, traduzido pelo rendimento em acumulos de matéria seca na parte aérea (folha + haste), apresentou variações ($P < 0,05$), porém, são interdependentes dos fatores cultivares e calagem.

As variações que incidiram sobre as médias da variável MSPA das cultivares, diferiram pelo teste de Tukey a 5%, tanto dentro como entre os níveis de calcário (Tabela 6). Com base no crescimento vegetativo expresso através da variável MSPA, as cultivares Ângela gigante I 5100, e IPA 5, diferiram entre si (Tabela 6 e Figura 1) e mostraram-se respectivamente como mais tolerante e mais sensível a toxicidade de Al devido à alta saturação por Al no solo (%Al = 75) (Tabela 7), na ausência do fator calagem.

Figura 1. Efeito de níveis de $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$, 0; 1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 meq ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$)/100 cm^3 na proporção 3:1 em meq/100 cm^3 , sobre o crescimento das cultivares de tomateiro Ângela gigante I 5100, IPA 5 e CNPH 81 em um solo PVls aos 64 dias da emergência (Fotos A; B; C e D).

Tabela 6. Médias de rendimento de matéria seca da parte aérea (mg/planta), de dezesseis cultivares de tomateiro submetidas a dois níveis de $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ (0 e 5 meq/100 cm^3) adicionados a um solo PVls.

Cultivares	Rendimento de matéria seca da parte aérea RMSPA					
	Sem calagem			Com calagem		
	mg/planta					
Angela gigante I5100	508	a	B	4462	e	A
Santa Clara	444	a	B	7185	a	A
Euromech	394	b	B	2908		j A
SV.CNPH82	393	b	B	3131		i A
Kada	350	bc	B	3113		i A
SV.CNPH263	289	cd	B	3263		h A
Botu 13	277	cd	B	3970		g A
Rossol	260	cd	B	5524	b	A
Raminho	256	cd	B	4234	f	A
Olho roxo	230	de	B	3344		h A
SV.CNPH 353	215	def	B	4671	d	A
Nemadoro	210	def	B	3066		i A
M.M. 70	200	def	B	4372	e	A
Europeel	190	def	B	4984	c	A
CNPH 81	151	ef	B	4757	d	A
IPA 5	127	f	B	3996	g	A

- Médias seguidas por letras minúsculas distintas na vertical, e por letras maiúsculas distintas na horizontal diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

Nessas condições, a cultivar Angela gigante I 5100, (508 mg/planta), só não diferiu estatisticamente ($P < 0,05$) da cultivar Santa Clara (444 mg/planta), sendo a primeira superior às demais cultivares, cuja amplitude oscilou numa faixa de 127 a 394 mg de matéria seca por planta.

Tabela 7. Porcentagem de saturação por alumínio ($\%Al^{3+}$) em um solo PVls submetido aos níveis 0 e 5,0 meq de $CaCO_3 + MgCO_3/100\text{ cm}^3$ cultivado com dezesseis cultivares de tomateiro até os 64 dias da emergência (médias de três repetições).

Cultivares	Porcentagem de saturação por alumínio no solo			
	sem calagem		com calagem	
	(Al ³⁺)			
Nemadoro	81	a	3	c
Santa Clara	80	b	2	g
Europeel	77	c	2	efg
Euromech	76	d	2	de
Sv. CNPH 81	76	d	2	fg
Sv. CNPH 353	76	d	5	a
M.M. 70	76	e	4	b
Rossol	75	e	3	c
Sv. CNPH 263	74	f	3	b
IPA 5	74	f	2	ef
Raminho	74	f	3	b
Botu 13	73	g	2	de
Angela Gigante I 5100	73	g	3	cde
Kada	73	g	3	b
Olho Roxo	70	h	2	fg
Sv. CNPH 82	68	i	3	cd
Médias	75	A	3	B

- Médias seguidas por letras minúsculas distintas na vertical e por letras maiúsculas na horizontal diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

Na ausência de calagem, as cultivares IPA 5 e Sv. CNPH 81, apresentaram os menores rendimentos de matéria seca, enquanto na presença, essas diferenças foram minimizadas, de modo que as produções obtidas equipararam-se às daquelas cultivares que, na ausência de calagem haviam revelado tolerância para alta saturação por $\%Al^{3+}$. Os resultados encontrados são concordantes com aqueles constatados por FOY et al. (1973) e RAMOS, (1981).

Em presença de calagem, que corresponde ao

nível mais baixo de saturação por Al ($\% \overline{\text{Al}} = 3$) no solo, (Tabela 7) a cultivar Santa Clara com rendimento de 7185 mg/planta (Tabela 6), diferiu das demais (Tukey 5%), superando inclusive a média da cultivar Ângela gigante I 5100 (4462 mg/planta). Entretanto, na ausência de calagem, essas duas cultivares foram estatisticamente iguais.

A Figura 1 disposta na sequência A; B; C e D, refere-se ao primeiro experimento em vasos com solo, e mostra um melhor crescimento da cultivar Ângela gigante I 5100 na ausência de calagem (sob efeito de alto nível de saturação por Al), enquanto as cultivares IPA 5 e CNPH 81 foram bastante sensíveis nas mesmas condições a que foi submetida a cultivar Ângela gigante I 5100.

4.1.3. Rendimento de matéria seca do sistema radicular (RMSR) em dezesseis cultivares de tomateiro cultivadas em um solo ácido, na ausência e na presença de calagem

Os resultados de análise de variância com relação à variável MSR expresso em mg/planta, para as cultivares de tomateiro no estágio inicial de florescimento (Apêndice 6, Tabela 8), revelaram diferenças ($P < 0,05$) para cultivares, calagem e interação até o segundo grau, desses fatores. Isto demonstra que o crescimento vegetativo das cultivares, expresso em rendimento de matéria seca da raiz

(RMSR), apresentou variações ($P < 0,05$), que foram dependentes dos fatores calagem e cultivares, ou seja, as variações observadas sobre as médias da variável RMSR, são interdependentes dos fatores doses de calcário e cultivares. Esses resultados, chamam também a atenção, quando comparados aos da variável MSPA, pois os rendimentos de matéria seca do sistema radicular das dezesseis cultivares de tomateiro, seguem praticamente a mesma tendência de resposta em relação ao rendimento de matéria seca da parte aérea dessas cultivares.

As médias de rendimento de matéria seca do sistema radicular das dezesseis cultivares de tomateiro obtidas na presença e ausência de calagem constam da Tabela 8.

Na ausência de calagem, $\overline{Al} = 75$), como mostram os resultados da Tabela 7, as médias de RMSR das cultivares, Ângela gigante I 5100; Euromech; Kada; Sv. CNPH 82 e Botu 13, (Tabela 8) não diferiram entre si (Tukey 5%), a cultivar Ângela gigante I 5100, diferiu das demais. E entre todas as cultivares estudadas, ela apresentou maior média (330 mg/planta) em relação à variável RMSR, sendo a menor média registrada na cultivar Raminho com 256 mg/planta.

Por outro lado, verifica-se de acordo com os dados da Tabela 8, que as cultivares Ângela gigante I 5100; Euromech; Santa Clara; CNPH 82 e Kada, em relação a variável RMSR em ausência de calagem, apresentaram comportamento

estatístico similar, conferindo a elas maior uniformidade na resposta, (para a calagem e tolerância à saturação por Al). FOY et al, (1973) verificaram também, o peso da matéria seca do sistema radicular em dezoito cultivares de tomateiro procedentes de várias regiões do mundo, e que foram avaliadas quanto a tolerância à toxicidade de Al, resultou como um indicador para tolerância das cultivares a esse elemento.

Em presença de calagem, as cultivares (Rossol; Raminho; Ângela gigante I 5100; Santa Clara; M.M. 70; Sv. CNPH 82; Sv. CNPH 353; Kada; Botu 13; Olho Roxo; Nemadoro e CNPH 263) apresentaram, de um modo geral, um comportamento diferenciado quanto ao rendimento de matéria seca. Sendo que essa variação ocorreu entre as médias de 1356 e 187 mg de matéria seca por planta, e corresponde às cultivares Rossol e Olho Roxo. É interessante lembrar, que esta última cultivar não diferiu da cultivar Sv. CNPH 263, também com 187 mg de matéria seca por planta. As cultivares que se mostraram mais sensíveis à acidez por saturação de Al^{3+} na ausência de calagem como M.M.70; Rossol; Europeel; SV. CNPH 353; IAP 5; Nemadoro e Raminho, relacionadas à variável RMSR, apresentaram os maiores acúmulos de matéria seca em presença de calagem, com exceção das cultivares Olho Roxo, SV. CNPH 81, SV. CNPH 263 que não responderam à calagem (Tabela 8).

Tabela 8. Médias de rendimento de matéria seca da raiz (MRMSR) de cultivares de tomateiro submetidas aos níveis (0,0 e 5,0 meq (CaCO₃ + MgCO₃)/100 cm³) em um solo PVls.

Cultivares	Matéria seca da raiz					
	sem calagem			com calagem		
	mg/planta					
Kada	237	abcd	B	403	ef	A
Ângela gigante I5100	330	a	B	655	c	A
M.M.70	192	bcd	B	462	de	A
Santa clara	243	abc	B	472	de	A
Olho Roxo	181	bcd	A	187		h A
Raminho	115	d	B	784	b	A
Botu.13	217	abcd	B	484	de	A
Rossol	149	bcd	B	1.356	a	A
Nemadoro	125	cd	B	410	ef	A
Euromech	267	ab	B	429	ef	A
Europell	138	cd	B	417	ef	A
IPA 5	127	cd	B	389	efg	A
SV.CNPH 81	180	bcd	B	274		gh A
SV.CNPH 82	228	abcd	B	470	de	A
SV.CNPH 353	134	cd	B	566	cd	A
SV.CNPH 263	152	bcd	B	187		h A

- Médias seguidas por letras minúsculas distintas na vertical e por letras maiúsculas distintas na horizontal diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

4.1.4. Matéria seca da parte aérea (MSPA) das cultivares relacionada ao parâmetro $Al_{(t)}$

Os diferentes valores de $\overline{Al}_t$ (Médias de três repetições) para as 16 cultivares de tomateiro, expressos em mg de MSPA por unidade de saturação por Al^{3+} (MSPA/%Al) que passa então a denominar-se de parâmetro $\overline{Al}_t$ (FAGERIA &

KLUTHCOUSKI, 1980), serão utilizados como critério para diferenciação das cultivares tolerantes e sensíveis ao excesso de Al^{3+} . Os parâmetros Al_t apresentam diferenças, situando-se entre os extremos 31 e 86 mg de MSPA/% Al^{3+} e foram alocados no eixo dos "y", apresentando média das 16 cultivares de no valor 53 mg (MSPA/% Al); enquanto no eixo dos "x", alocou-se os valores médios de (MSPA) em mg/planta para essas cultivares, variando entre 127 e 508 mg/planta com média geral para as 16 cultivares de 281 mg/planta conforme (Figura 2).

Uma linha paralela ao eixo dos "y", foi traçada de modo a atingir o eixo dos "x" no ponto correspondente a 281 mg (MSPA/planta), a qual cruza com outra linha que é paralela ao eixo dos "x" passando pelo ponto $\overline{Al_t} = 53 \text{ mg (MSPA/\%Al)}$ no eixo dos "y", determina quatro quadrantes em coordenadas cartesianas. Assim, pode-se relacionar mais facilmente a variável (mg MSPA/planta) das cultivares que foram obtidas sob condições de estresse por alta saturação de Al^{3+} no solo (Tabela 7), com o parâmetro $\overline{Al_t}$ que estima a tolerância das cultivares ao excesso de Al^{3+} (Tabela 9), possibilitou a classificação das cultivares, mais no sentido dos diferentes graus de responsivildade dada a diversidade genética e a origem das cultivares, o que nem sempre torna-se bem visível quando se utiliza testes estatísticos rigorosos como de Tukey.

Com base na relação que se estabelece entre o parâmetro $\overline{Al_t}$ e os valores da variável MSPA para cada

cultivar, obtidos sob condições adversas de alta saturação por Al^{3+} no solo, pode-se inferir (Figura 2), que as cultivares com médias de MSPA, iguais ou superiores a 281 mg/planta e média igual ou superior a 53 mg (MSPA/% Al) são do tipo tolerantes e responsivas (TR) ao Al^{3+} . As cultivares com valores médios de MSPA inferior a 281 mg, portanto situados à esquerda desse valor no eixo dos "x", mas com média de $\overline{Al_t}$ igual ou superior a 53 mg MSPA/% Al comportam-se como cultivares sensíveis e responsivas (SR). Por outro lado, cultivares com valores de $\overline{Al_t}$ menores que 53 mg MSPA/% Al no eixo dos "y" e valores médios para MSPA menores que 281 mg/planta à esquerda desse valor no eixo dos "x", são classificadas como sensível e não responsivas (SNR), e finalmente, aquelas cultivares cujos valores médios de MSPA iguais ou maiores que 281 mg/planta situados à direita desse ponto no eixo dos "x" e que tem valores iguais ou maiores que 53 mg (MSPA/% $\overline{Al^{3+}}$) com o parâmetro Al_t , classificam-se como tolerantes e não responsivas (TNR), (Tabela 9).

- Classificação das cultivares (CVs) de tomateiro quanto à toxicidade devida ao Al^{3+} :

- a) - CVs. tolerantes e responsivas (TR): Angela gigante I 5100 e Santa Clara:
- b) - CVs. tolerantes e não responsivas (TNR): CNPH 263; Kada; CNPH 82 e Euromech:
- c) - CVs. sensíveis e não responsivas (SNR): Olho Roxo; Raminho; Nemadoro; M.M. 70; IPA 5 e Botu. 13:
- d) - CVs. sensíveis e responsivas (SR): Rossol; CNPH 353; Europeel e CNPH 81.

Figura 2. Médias de matéria seca da parte aérea, de 16 cultivares de tomateiro sob condições de alta saturação por alumínio ($\% \text{Al}^{3+} = 75$) e os parâmetros $\overline{\text{Al}}_t$.

Tabela 9. Médias de MSPA de dezesseis cultivares de tomateiro cultivadas na ausência e na presença da calagem, classificadas segundo o teste de Tukey a 5% em confronto com as classes de tolerância ao Al^{3+} , segundo o parâmetro Al_t definido por FAGERIA & KLUTHCOUSKI(1981).

Cultivares	matéria seca da parte aérea				⁽²⁾ Al_t Classificação ⁽¹⁾			
	sem calagem		com calagem		$(mg\ MSPA/\% Al^{3+})$ das			
	Cultivares							
	mg/planta							
Angela gigante I 5100	508	a	B	4462	e	A	56	TR ⁽³⁾
Santa Clara	444	ab	B	7185	a	A	85	TR
Euromech	394	b	B	2908		j A	30	TNR
SV.CNPH 82	393	b	B	3131		i A	42	TNR
Kada	350	bc	B	3113		i A	39	TNR
SV.CNPH 263	289	cd	B	3262		h A	41	TNR
Botu 13	277	cd	B	3970		g A	51	SNR
Rossol	260	cd	B	5524	b	A	72	SR
Raminho	256	cd	B	4234		f A	56	SNR
Olho roxo	230	cd	B	3344		h A	45	SNR
SV.CNPH 353	215	de	B	4671	d	A	62	SR
Nemadoro	210	def	B	3066		i A	36	SNR
M.M. 70	200	def	B	4372	e	A	58	SNR
Europeel	190	def	B	4984	c	A	63	SR
CNPH 81	151	ef	B	4757	d	A	61	SR
IPA 5	127	f	B	3996		g A	53	SNR
Médias	281			4181			53	

(1) Classificação das cultivares de tomateiro quanto à tolerância à saturação por alumínio ($\%Al^{3+}$) no solo em presença de alta saturação por Al :

(2) Parâmetro (Al_t), que estima a tolerância das cultivares de tomateiro a toxicidade de alumínio no solo, expresso em mg de matéria seca (y) por ($\%Al^{3+}$).

(3) TR: Correspondente às cultivares tolerantes e responsivas.

TNR: Correspondente às cultivares tolerantes e não responsivas.

SNR: Correspondente às cultivares sensíveis e não responsivas.

SR: Correspondente às cultivares sensíveis responsivas.

- Médias seguidas por letras minúsculas distintas na vertical e por letras maiúsculas distintas na horizontal diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

4.1.5. Alumínio e nutrientes na matéria seca da parte aérea (MSPA)

Os quadrados médios da análise de variância, referentes aos teores de Al e dos nutrientes (P; K; Ca e Mg), foram altamente significativos ($P < 0,01$), para cultivares, calagem e interação desses fatores. Infere-se desses resultados da análise, que as cultivares comportaram-se de modo diferenciado quanto ao acúmulo desses elementos na matéria seca da parte aérea ($P < 0,01$), mas interdependente desses fatores. Os valores para médias dos teores desses elementos encontram-se na Tabela 10, expressos em ppm de Al, e para os nutrientes P; K; Ca e Mg em porcentagem (%) na matéria seca da parte aérea em função de níveis de calagem.

Na ausência de calagem (Tabela 10), os teores de nutrientes na matéria seca da parte aérea das cultivares tolerantes ao excesso de Al, tais como, Ângela gigante I 5100 e Santa Clara, ambas classificadas (parâmetro Al_t) como (TR) além das cultivares tolerantes e não responsivas (TNR), como, Euromech e SV. CNPH 263 (Tabela 9), que tenderam a acumular valores mais baixos de Al; P; Ca e K com excessão, das cultivares Kada e Sv. CNPH 82 que se classificam no mesmo grupo dessas duas últimas cultivares (TNR) e que apresentaram teores mais elevados de Al total (na matéria seca da parte aérea), em relação às cultivares de sua classe (TNR), e portanto ambas diferem entre si e em

relação às cultivares Euromech e Sv. CNPH 263 ambos (TNR), e tendem a apresentar teores médios de P; K e Ca.

Tabela 10. Teores de Al em ppm e dos nutrientes, P; K; Ca e Mg, em % na MSPA (folha + haste) em dezesseis cultivares de tomateiro no estágio inicial de florescimento em um solo PVls.

Cultivares	sem calagem					com Calagem				
	Al ppm	Nutriente				Al ppm	Nutriente			
		P	K	Ca	Mg		P	K	Ca	Mg
Kada	368a	A 0,20 bc	A 2,7ab	A 1,8	cde A 0,25a	A 95 bcde	B 0,23 bcd	B 2,36abc	B 1,5ab	B 0,34 b B
Ang. I 5100	148	gh A 0,22abc	A 2,3 bc	A 0,82	cde A 0,28a	A 105 bcd	B 0,22 bcd	B 2,1ab	B 1,2ab	B 0,33 b B
M.M.70	230 cde	A 0,25ab	A 2,4 bc	A 0,8	cde A 0,24a	A 118 bcd	B 0,25abc	B 1,4 bc	B 1,3ab	B 0,41 b B
Santa Clara	134	h A 0,23abc	A 2,6ab	A 0,9	bcde A 0,25a	A 83 de	B 0,21 bcd	B 1,3 bc	B 1,2ab	B 0,34 b B
Olho Roxo	244 bcd	A 0,26ab	A 3,3a	A 0,9	bcde A 0,32a	A 90 cde	B 0,26ab	B 1,7abc	B 1,5a	B 0,25a B
Raminho	217 def	A 0,24ab	A 2,5 bc	A 1,0	bcd A 0,34a	A 77 de	B 0,20 cd	B 2,1ab	B 1,3ab	B 0,43 b B
Botu.13	244 bcd	A 0,23abc	A 2,2 bc	A 0,7	de A 0,27a	A 52 e	B 0,21 bcd	B 1,4 bc	B 1,1 b	B 0,42 b B
Rossol	238 bcd	A 0,24ab	A 1,7 cd	A 0,8	cde A 0,22a	A 106 bcd	B 0,22 bcd	B 1,3 bc	B 1,4ab	B 0,43 b B
Nemadoro	188 efg	A 0,26ab	A 2,3 bc	A 0,6	e A 0,26a	A 115 bcd	B 0,23 bcd	B 1,3 bc	B 1,3ab	B 0,52 b B
Euromech	146 b	gh A 0,27a	A 1,6 cd	A 0,7	de A 0,23a	A 113 bcd	B 0,22 bcd	B 0,4 bc	B 1,2ab	B 0,52 b B
Europell	213 def	A 0,25ab	A 2,3 bc	A 1,4 a	A 0,31a	A 112 bcd	B 0,29a	B 2,0abc	B 1,2ab	B 0,41 b B
IPA 5	267 bcd	A 0,24ab	A 2,3 bc	A 1,0	bcd A 0,31a	A 88 de	B 0,20 cd	B 1,4 bc	B 1,4ab	B 0,45 b B
Sv.CNPH 81	268 bc	A 0,18 c	A 2,6ab	A 0,8	cde A 0,33a	A 184a	B 0,19 cd	B 1,6abc	B 1,3ab	B 0,44 b B
Sv.CNPH 82	281 b	A 0,26ab	A 2,1 bc	A 1,2 ab	A 0,24a	A 143ab	B 0,22 bcd	B 1,4 bc	B 1,2ab	B 0,33 b B
Sv.CNPH 353	146 bcd	A 0,24ab	A 2,7ab	A 0,7	de A 0,32a	A 116 bcd	B 0,22 bcd	B 1,4 bc	B 1,96	B 0,34 b B
Sv.CNPH 263	176	fgh A 0,21	A 1,3 d	A 0,9	bcde A 0,21a	A 138abc	B 0,18 d	B 1,2 c	B 1,3ab	B 0,42 b B

- Médias seguidas, por letras minúsculas distintas na vertical e por letras maiúsculas distintas na horizontal diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

Quanto aos teores de Mg na matéria seca da parte aérea das 16 cultivares de tomateiro, observa-se que embora as variações sejam significativas ($P < 0,01$) para

cultivares, calagem, assim como a interação cultivares x calagem, o alto coeficiente de variação para essa variável (28,82%) contribuiu para que não houvesse diferenças entre as cultivares (Apêndice 7). Quanto a absorção desse nutriente, observa-se, porém, que cultivares classificadas como (TR e TNR, na Tabela 9), tendem a acumular teores mais baixos desse nutriente (Tabela 10) em comparação àquelas que foram classificadas como (SNR e SR, Tabela 9), que tendem a acumular na matéria seca da parte aérea, teores mais altos.

Observa-se pelos dados das Tabelas 6 e 10 que as cultivares (Sv. CNPH 353; Nemadoro; M.M. 70: Europeel; Sv. CNPH 81 e IPA 5) são as mais sensíveis ao excesso de Al^{3+} no solo e apresentaram teores de P e Ca, na matéria seca da parte aérea nas faixas de 0,18 a 0,27% para P e de 0,6 a 1,4% para Ca, sendo que a cultivar IPA 5 é a mais sensível ao excesso de alumínio entre todas as cultivares avaliadas, mostrando um teor de P de 0,24% e em Ca de 1%. BAUMGARTNER (1976), em seu trabalho com cultivares de tomateiro, demonstrou que a maior sensibilidade da cultivar Ronita ao alumínio, está associada em parte à maior exigência em fósforo e cálcio por essa cultivar. Tendo verificado nesse sentido, que o efeito depressivo do alumínio na absorção de fósforo e cálcio foi mais pronunciado na cultivar Ronita do que em relação à cultivar Kada, esta última avaliada como tolerante ao excesso de alumínio no solo.

Outro fato interessante, que se observa é que as cultivares com tendência à tolerância ao excesso de Al, de

um modo geral apresentam teores mais baixos de Al (ppm) na parte aérea, e teores de P entre 0,21 a 0,23%, seguido por teores de Ca que variaram na faixa de 0,6 a 0,9%.

4.2. Segundo experimento em solo

Avaliação do efeito da calagem sobre a saturação por Al do solo, no crescimento e absorção de Al e nutrientes em três cultivares de tomateiro em um solo PVls.

4.2.1. Comprimento da haste principal de três cultivares de tomateiro (cm/planta), em função da calagem em relação à saturação por Al^{3+} em um solo PVls

Nas tabelas 11, 12, 13, 14 e 15, e na Figura 3, constam os resultados e os efeitos de níveis de $CaCO_3 + MgCO_3$ sobre o crescimento das cultivares, expresso na forma de comprimento médio (cm/planta) da haste principal CMHP, para as cultivares: Ângela gigante I 5100, IPA 5 e Sv. CNPH81, cultivadas em um solo PVls, e cujas hastes foram mensuradas em função do tempo.

Os resultados da análise global de variância, referentes às médias da variável CMHP para as tres cultivares, assim como as cinco épocas de mensuração de CMHP, foram significativos pelo teste de F ($P < 0,01$) para cultivares, níveis de calagem, épocas de mensuração e

interação desses fatores (Apendice 8).

Em relação às características químicas, como pode-se observar na Tabela 12, na presença de calagem houve redução da saturação por Al^{3+} em relação ao solo original (tratamento testemunha), o que ocorreu de modo gradual, considerando-se o efeito dos diferentes níveis de $CaCO_3 + MgCO_3$ que foram aplicados. Os valores de pH, teores de Ca e Mg, saturação por bases (V%) e a capacidade de troca de cátions efetiva (CTCe) aumentaram enquanto a saturação por Al^{3+} foi reduzida a 50% do seu valor inicial (Tabela 12). Observa-se também, que o comprimento médio da haste principal foi maior quando a saturação por bases atingiu valores compreendidos entre 60% e 70%, resultados estes que se aproximam, daqueles mencionados por CHU & TURK (1949).

Tomando-se como referencia o pH de 6,7 como o mais favorável ao crescimento dessas cultivares, pode-se ver (Tabela 11), que a cultivar Ângela gigante I 5100 (indicada no primeiro experimento como a mais tolerante ao Al^{3+}), teve o seu crescimento em CMHP reduzido em 47,7% no tratamento sem calagem, com valor de pH = 4,7, em comparação ao nível 4,5 meq/100 cm^3 de $CaCO_3 + MgCO_3$, com valor de pH = 6,7, enquanto as cultivares IAP 5 a mais sensível e não responsiva (SNR), e a cultivar CNPH 81 de reação sensível e responsiva (SR), atingiram valores de 55,4 e 61,5%.

As cultivares apresentaram comportamentos distintos quanto aos efeitos da calagem para a variável CMHP, sendo que os efeitos dos níveis de $CaCO_3 + MgCO_3$ (Tabela 7)

sugerem que as variações de crescimento em CMHP nas três cultivares, ajustaram-se melhor ao modelo de regressão quadrático, como demonstram as equações de regressão dos gráficos B, C e D (Figura 3) para as cultivares Ângela gigante I 5100; IPA 5 e CNPH 81 respectivamente. Sendo que o gráfico A daquela figura, representa o efeito quadrático da calagem, para a média das cultivares.

As equações de regressão quadráticas estimadas para o crescimento em CMHP dessas cultivares, são apresentadas na Figura 3 e na Tabela 13. Nesta última, encontram-se os pontos de máximo estimados por essas regressões ($x_{\max}$) em meq/100 cm³ de (CaCO₃ + MgCO₃) e as respectivas alturas máximas ($y_{\max}$), correspondentes à esses pontos para cada cultivar. Observa-se uma pequena variação entre os valores de $x_{\max}$ de 4,0 a 4,4 para as três cultivares. Entretanto os valores de $y_{\max}$ foram diferentes com o maior crescimento de 82,8 cm/planta para a cultivar Ângela gigante I 5100. O que parece sugerir, que as cultivares são de comportamento distinto quanto a intensidade de resposta a calagem, o que levaria a confirmar os resultados obtidos com essas cultivares no primeiro experimento. A partir das equações de regressão que associam níveis de calagem a CMHP, independente da cultivar (Tabela 14), segundo as diferentes épocas de crescimento verifica-se que os resultados que expressam os efeitos da calagem sobre as variações de crescimento, ajustam-se ao modelo linear de maneira altamente significativa ($R^2 = 0,98$).

As equações de regressão e os respectivos pontos de máximo, mostram uma correlação significativa ($P < 0,01$) entre o comprimento médio da haste principal para média das três cultivares com as épocas de mensuração do comprimento da haste (Tabela 15). Os valores obtidos para os pontos de máximo dessa equações, foram crescentes com o tempo em dias após a emergência.

Tabela 11. Comprimento médio da haste principal ($y =$ cm/planta) em função de níveis de calcário para três cultivares de tomateiro em um PVIs e os valores médios de pH no solo, correspondentes à cada um dos níveis de calagem estudados.

Cultivares de Tomateiro	Níveis de $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ em meq/100 cm^3				
	0,0	1,5	3,0	4,5	6,0
	pH*				
	4,7	5,0	5,7	6,7	7,5
Comprimento Médio da Haste Principal (cm/planta)					
Ângela gigante I 5100	41,45 a	71,55 a	76,94 a	79,27 a	79,98 a
IPA 5	23,53 b	48,03 b	60,66 b	52,77 b	53,77 b
CNPH 81	23,21 b	49,37 b	65,92 b	60,36 b	59,94 b

- Médias seguidas por letras minúsculas distintas na vertical diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

*pH em água (relação 1:2,5), Camargo et al (1986), médias de três repetições.

Tabela 12. Médias das características químicas do solo PVls, obtidas em função de níveis de $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ meq/100 cm^3 , aplicados ao solo, que originalmente continha alta saturação por Al^{3+} , cultivado com três cultivares de tomateiro até os 64 dias da emergência.

Cultivares de Tomateiro	Níveis de $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ em meq/100 cm^3				
	0,0	1,5	3,0	4,5	6,0
	-(m)*				
Âng. gig. I 5100	75,1 a A	37,8 a B	8,6 b C	0,6 a C	0,6 a C
IPA 5	61,7 bA	40,4 a B	8,5 b C	0,6 a C	0,5 a C
CNPH 81	70,1 a A	42,0 a B	9,3 a C	0,6 a C	0,5 a C
	-K(meq)-				
Âng. gig. I 5100	0,1 bA	0,07 a A	0,04 a A	0,05 a A	0,05 a A
IPA 5	0,2 a A	0,08 a B	0,08 a B	0,07 a B	0,06 a B
CNPH 81	0,1 bA	0,08 a B	0,06 a A	0,07 a A	0,06 a A
	-Ca(meq)-				
Âng. gig. I 5100	0,4 a D	1,1 a C	1,7 a B	2,2 a A	2,5 b A
IPA 5	0,7 a C	1,0 a C	1,7 a B	2,0 a B	2,8 ab A
CNPH 81	0,6 a D	1,2 a C	2,0 a B	2,3 a B	3,1 a A
	-Mg(meq)-				
Âng. gig. I 5100	0,2 a C	0,4 a B	0,6 a A	0,7 a A	0,7 a A
IPA 5	0,3 a D	0,4 a CD	0,5 a BC	0,6 a B	0,8 a A
CNPH 81	0,2 a D	0,4 a C	0,6 a B	0,7 a AB	0,8 a A
	-(V%)				
Âng. gig. I 5100	19,0 b E	34,8 a D	55,1 a C	68,4 a B	76,3 a A
IPA 5	27,5 a E	37,8 a D	52,6 a C	68,0 a AB	79,0 a A
CNPH 81	20,2 b E	36,7 a D	55,1 a C	68,0 a AB	79,0 a A
	-CTCe(meq)-				
Âng. gig. I 5100	4,6 a A	4,7 a A	4,4 a A	4,4 a A	4,5 a A
IPA 5	4,6 a A	5,0 a A	4,3 a A	4,1 a A	4,7 a A
CNPH 81	4,6 a A	4,9 a A	4,8 a A	4,5 a A	5,0 a A

- Médias seguidas por letras minúsculas distintas na vertical e por letras maiúsculas distintas na horizontal diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

* "m", é o valor médio de saturação por Al^{3+}

Tabela 13. Equações de regressão polinomial, coeficientes de determinação (R^2), e os valores máximos para o efeito de níveis de calcário ($x = \text{meq CaCO}_3 + \text{MgCO}_3/100 \text{ cm}^3$) sobre a variável CMHP, expressa como ($y = \text{cm/planta}$), em três cultivares de tomateiro num solo PVls.

Cultivares de Tomateiro	Equações	Coeficientes de Determinação	$X_{\text{máx}}$	$Y_{\text{máx}}$
		R^2 (1)		
Ângela gigante I 5100	$\hat{Y} = 43,778 + 17,589X - 1,983X^2$	0,94 **	4,4	82,8
IPA 5	$\hat{Y} = 24,179 + 17,722X - 2,2071X^2$	0,92 **	4,0	59,7
CNPH 81	$\hat{Y} = 24,12 + 19,968X - 2,389X^2$	0,96 **	4,2	65,8

(1) significativo a 1 e a 5%

Tabela 14. Equações de regressão polinomial e coeficientes de determinação para as diferentes épocas dentro de níveis de calcário (X meq de $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3/100 \text{ cm}^3$) em relação à variável CMHP, ($Y = \text{cm/planta}$), para a média de três cultivares de tomateiro num solo PVls.

Níveis de Calcário $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ (meq/100 cm^3)	Equações	Coeficientes de Determinação
		R^2 (1)
0,0	$\hat{Y} = -4,72 + 0,73X$	0,98 **
1,5	$\hat{Y} = -13,56 + 1,52X$	0,99 **
3,0	$\hat{Y} = -12,61 + 1,75X$	0,99 **
4,5	$\hat{Y} = -12,62 + 1,67X$	0,99 **
6,0	$\hat{Y} = -22,28 + 1,89X$	0,99 **

(1) Significativo a 5 e 1%.

Tabela 15. Equações de regressão polinomial, coeficientes de determinação e valores máximos para níveis de calcário ($X = \text{meq CaCO}_3 + \text{MgCO}_3/100 \text{ cm}^3$) em relação à variável CMHP ($Y = \text{cm/planta}$), dentro de cada uma das diferentes épocas de mensuração (dias), após a emergência para a média de três cultivares de tomateiro em um solo PVls.

Épocas (dias)	Equações	Coeficientes de Determinação	$X_{\text{máx}}$	$Y_{\text{máx}}$
		$R^2(1)$		
24	$\hat{Y} = 16,69 + 11,03X - 1,43X^2$	0,96**	3,8	37,9
34	$\hat{Y} = 25,67 + 15,66X - 1,93X^2$	0,96**	4,0	57,4
44	$\hat{Y} = 30,97 + 18,07X - 2,09X^2$	0,97**	4,3	70,0
54	$\hat{Y} = 36,20 + 21,86X - 2,55X^2$	0,96**	4,2	94,4
64	$\hat{Y} = 43,93 + 25,51X - 2,96X^2$	0,96**	4,3	98,8

(1) Significativo a 1 e a 5%.

Figura 3. Relação entre comprimento médio da haste principal (CMHP) em (y = cm/planta) e níveis de $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ (x = meq/100 cm^3 para a média das cultivares (gráfico A), e relações entre essas mesmas variáveis, considerando-se cada uma das cultivares em estudo (gráficos B, C e D).

4.2.2. Rendimento de matéria seca da parte aérea (RMSPA)

Os rendimentos médios de matéria seca da parte aérea (RMSPA) para as três cultivares de tomateiro, que refletem o aspecto vegetativo (Figuras 1 e 3). na presença de cinco níveis de $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ em $\text{meq}/100 \text{ cm}^3$, aplicados à um PVls, registraram os seguintes rendimentos de matéria seca da parte aérea para a média de calagem (mg/planta):

$0,0 \text{ meq}/100 \text{ cm}^3 = 1.079,44$	$1,5 \text{ meq}/100 \text{ cm}^3 = 3.857,54$
$3,0 \text{ meq}/100 \text{ cm}^3 = 6.660,68$	$4,5 \text{ meq}/100 \text{ cm}^3 = 5.906,82$
$6,0 \text{ meq}/100 \text{ cm}^3 = 7.733,46$	

Do ponto de vista estatístico, os resultados da análise de variância para o crescimento expresso em matéria seca (Tabela 16 e Apêndice 9) apresentaram diferenças ($P < 0,01$) para as cultivares, calagem e a interação desses fatores. Assim, na ausência da calagem, a cultivar Ângela gigante I 5100 apresentou o maior rendimento para a variável RMSPA, seguida em ordem decrescente pelas cultivares CNPH 81 e IPA 5, sendo que esses rendimentos foram distintos (Tukey 5%). Observa-se que a cultivar Ângela gigante I 5100, comportou-se novamente como a cultivar mais tolerante que as demais, porém na presença de calagem ($1,5 \text{ meq}/100 \text{ cm}^3$), as cultivares apresentam incremento em RMSPA diferenciados. Entretanto, a cultivar Ângela gigante I 5100, embora seja de comportamento tolerante e responsivo (TR), os seus

incrementos foram menores neste experimento, que aqueles apresentados pelas cultivares IPA 5, (SNR) e Sv. CNPH 81 (SR).

Considerando-se as respostas das três cultivares em função dos níveis aplicados, verifica-se que elas comportaram-se de modo distinto em relação à calagem.

Apesar da cultivar Ângela gigante I 5100 ter revelado os menores incrementos, eles foram lineares, superando a cultivar IPA 5 nos níveis 4,5 meq/100 cm³ (pH = 6,7) e 6 meq/100 cm³ (pH = 7,5), sendo menores que os incrementos observados nos demais níveis, para a cultivar IPA 5, e em todos os níveis, para cultivar Sv. CNPH 81. Já, nas cultivares IPA 5 e Sv. CNPH 81, os rendimentos ajustaram-se segundo um modelo quadrático (Figura 4 e Tabela 17). Assim obteve-se como pontos de máximo para as cultivares IPA 5 e o Sv. CNPH 81, os valores 4,1 e 6,1 meq de CaCO₃ + MgCO₃/100 cm³ respectivamente, associados aos valores de pH 6,5 e 7,5.

Ao correlacionar-se os rendimentos relativos de matéria seca da parte aérea (% RRMSPA) com os valores médios de saturação por Al³⁺, para os níveis de CaCO₃ + MgCO₃, observou-se que esses dados ajustaram-se ao modelo exponencial decrescente (Figura 5). Com base nestas equações, estimou-se os valores da porcentagem de saturação por Al³⁺ num solo PVls, que possibilitaram uma redução de 50% da produção relativa de matéria seca da parte aérea das cultivares. Assim é, que foram obtidos os valores de 30,5; 21,0 e 23,4% de saturação por Al³⁺, para as cultivares Ângela gigante I 5100,

IPA 5 e Sv. CNPH 81 respectivamente, demonstrando mais uma vez o comportamento tolerante da cultivar Ângela gigante (TR) e o sensibilidade (SNR e SR) das cultivares IPA 5 e CNPH 81.

Esses resultados aproximam-se daqueles encontrados por RAMOS (1981), quando afirma que a faixa de saturação por Al^{3+} que melhor discriminou um grupo de cultivares de tomateiro, que apresentaram tolerância e sensibilidade à toxicidade de Al^{3+} , situou-se entre 25 e 35% de saturação por Al^{3+} num Latossolo Vermelho Escuro (LE) ácido, da Estação Experimental de Limeira no Estado de São Paulo, onde foram consideradas a origem e a diversidade genética das cultivares utilizadas.

Tabela 16. Rendimento de matéria seca da parte aérea (RMSPA) expressa em mg/planta, em três cultivares de tomateiro em função de cinco níveis de calcário, aplicados a um solo PVls.

Cultivares de Tomateiro	Níveis de $CaCO_3 + MgCO_3$ em meq/100 cm^3				
	0,0	1,5	3,0	4,5	6,0
	pH*				
	4,7	5,0	5,7	6,7	7,5
Matéria Seca da Parte aérea (mg/planta)					
Ângela gigante I5100	1583,33 d	2684,40 c	3187,40 c	4975,0 b	6240,03 a
IPA 5	525,00 d	3601,63 c	6585,33 a	4900,33 b	5270,36 b
CNPH 81	1130,00 e	5286,59 d	10209,33 b	1845,13 c	11690,00 a
Médias	1079,44	3857,54	6660,68	5906,82	7733,46

- Médias seguidas por letras minúsculas distintas na horizontal diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

pH* em água relação 1:2,5 solo/água (CAMARGO, et al., 1986).

Tabela 17. Equações de regressão polinomial, coeficientes de determinação e valores máximos para o efeito da calagem ($x = \text{meq CaCO}_3 + \text{MgCO}_3/100 \text{ cm}^3$) sobre a variável RMSPA ($Y = \text{mg/planta}$), em três cultivares de tomateiro num solo PVls..

Cultivares de Tomateiro	Equações	Coeficientes de Determinação	$X_{\text{máx}}$	$Y_{\text{máx}}$
		R^2 (1)		
Ângela gigante I5100	$\hat{Y} = 1413,23 + 773,60X$	0,97	-	-
IPA5	$\hat{Y} = 578,37 + 2639,65X - 320,06X^2$	0,89	4,1	6020,9
CNPH81	$\hat{Y} = 1366,45 + 3085,31X - 251,12X^2$	0,86	6,1	10834,1

(1) significativo a 5 e a 1%

* Cv. Ângela gigante I 5100

Figura 4. Correlações entre os níveis de CaCO₃ + MgCO₃ 0; 1,5; 3,0; 4,5 e 6 meq/100 cm³ e os rendimentos de matéria seca da parte aérea (RMSPA) em (mg/planta), para as cultivares de tomateiro Ângela gigante I 5100, IPA 5 e CNPH 81 num solo PVls aos 62 dias da emergência.

Figura 5. Correlações entre a saturação por Al^{3+} num solo PVls, e o rendimento relativo de matéria seca da parte aérea (RRMSPA) em (%) nas cultivares de tomateiro Ângela gigante I 5100, IPA 5 e CNPH 81 aos 62 dias de emergência (Gráficos A; B; C).

4.2.3. Alumínio e nutrientes na matéria seca da parte aérea

Os quadrados médios da análise de variância, para os teores médios de Al e dos nutrientes (P; K; Ca e Mg), demonstram que houve efeito dos níveis de $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ ($P < 0,01$) para cultivares, calagem e ainda para a interação desses fatores (Apêndice 10). Dos resultados da análise, infere-se que as cultivares diferem (Tukey 5%) para teores de Al e dos nutrientes na matéria seca em função da calagem, porém dependem dos fatores cultivares e calagem, o que parece sugerir que as variações registradas nos teores médios desses elementos (segundo as cultivares) são interdependentes desses fatores dois a dois.

Os valores médios dos teores, encontram-se na Tabela 18, expressos como teores totais em ppm de Al, e para os nutrientes P; K; Ca e Mg em % na matéria seca da parte aérea em função dos níveis 0,0; 1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 meq ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$)/100 cm^3 .

Na ausência de calagem, os teores totais de Al na MSPA foram elevados para todas as cultivares, e em geral, apresentaram tendência para decrescer, à medida que se elevava os níveis de $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$, observando-se que os teores foram menores nos níveis 4,5 e 6,0 meq de ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$)/100 cm^3 , com excessão dos teores médios nas cultivares Sv. CNPH 81, com 217 ppm de Al (no nível de 4,5 meq) e IPA 5 com 214 ppm de Al (no nível de 6,0 meq), o que confirma os

resultados encontrados pelo primeiro experimento com essas duas cultivares. A excessão foi com respeito à cultivar Ângela gigante I 5100, que por ter sido apontada pelo primeiro experimento como tolerante e responsiva (TR) apresentou um teor médio de 148 ppm de Al total na matéria seca da parte aérea, o que não foi confirmado pelo segundo experimento.

Analisando-se os resultados da Tabela 18, constata-se que na média, os teores de P apresentados pelas cultivares na ausência de calagem, não diferiram pelo teste (Tukey 5%), e refletem o estado nutricional do solo no tratamento testemunha ($17 \mu\text{g}/\text{cm}^3$). De acordo com a Figura 1, observa-se que o comprimento da haste das cultivares, foi a característica que sofreu a maior redução em função dos tratamentos. Da mesma forma, o sistema radicular apresentou menor volume, e as suas raízes apresentaram-se finas e deformadas. As observações verificadas neste experimento se assemelham às mencionadas por FOY et al. (1973), e DINIZ & CALBO (1990).

Na presença de calagem, os teores de P (Tabela 18), de uma maneira geral, cultivares IPA 5 e Sv. CNPH 81 não diferiram tanto dentro como entre os níveis 1,5 e 3,0 meq de $(\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3)/100 \text{ cm}^3$; enquanto a cultivar Sv. CNPH 81 nesses mesmos níveis e ainda no nível de 4,5 meq, comportou-se de modo distinto (Tukey 5%). Quanto aos demais elementos (K, Ca e Mg), nota-se que as cultivares na ausência de calagem só não diferiram (Tukey 5%) em relação aos teores de

K. No geral, os teores do elemento na matéria seca, apresentaram as maiores variações (0,15 a 2,49%), o que não aconteceu em relação ao Ca e ao Mg, de modo que os teores de Mg, assumiram variações mais regulares; de sorte que as três cultivares não diferiram quanto aos teores desse nutriente no nível de 6 meq ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$)/100 cm^3 . As cultivares Ângela gigante I 5100 e IPA 5 não diferiram (Tukey 5) quanto aos teores de Ca dentro dos níveis, 0,0; 1,5; 3,0 e 6 meq dos níveis de calcário. As variações desses elementos quando associadas aos níveis de $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ aplicadas num PVIs, mostraram-se significativas ($P < 0,01$).

Tabela 18. Teores de Al em ppm e dos nutrientes (P; K; Ca e Mg) em porcentagem na matéria seca da parte aérea, dentro de três cultivares de tomateiro em função de níveis de $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ meq/100 cm^3 num solo PVls.

Cultivares de Tomateiro	Níveis de $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ em meq/100 cm^3									
	0,0		1,50		3,00		4,50		6,00	
Teores de Alumínio e Nutrientes na Matéria Seca da Parte Aérea										
	—Al(ppm)—									
Angela gigante I 5100	223	ab	229	ab	247	a	159	c	179	c
IPA5	293	a	180	c	237	b	181	c	214	bc
CNPH81	231	a	175	b	219	ab	217	ab	121	b
C.V.(%) = 9,43										
	—P(%)—									
Angela gigante I 5100	0,1	b	0,3	a	0,1	b	0,3	a	0,2	b
IPA5	0,1	b	0,2	a	0,2	b	0,2	b	0,3	a
CNPH81	0,2	b	0,2	b	0,3	a	0,1	c	0,3	a
C.V.(%) = 13,12										
	—K(%)—									
Angela gigante I 5100	2,5	a	1,1	b	1,3	c	1,5	b	1,3	b
IPA5	1,6	b	0,9	c	1,4	bc	2,3	a	1,1	bc
CNPH81	1,3	b	2,5	a	1,7	b	1,5	b	1,2	b
C.V.(%) = 17,46										
	—Ca(%)—									
Angela gigante I 5100	0,5	c	2,1	a	1,3	b	2,1	a	1,4	b
IPA5	1,0	c	1,9	a	1,6	b	0,5	d	1,7	ab
CNPH81	1,3	b	0,5	d	1,8	a	0,9	c	1,7	a
C.V.(%) = 8,95										
	—Mg(%)—									
Angela gigante I 5100	0,2	d	0,6	a	0,4	c	0,6	a	0,5	a
IPA5	0,4	b	0,6	a	0,6	a	0,2	c	0,6	a
CNPH81	0,5	b	0,2	d	0,6	a	0,3	c	0,6	a
C.V.(%) = 3,82										

- médias seguidas por letras minúsculas distintas na horizontal diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

4.3. Experimentos em solução nutritiva

4.3.1. Primeiro experimento em solução nutritiva

Este experimento foi realizado com o objetivo de se estabelecer dentro do intervalo de 0 a 6,0 mg de Al^{3+} por litro, quais são as concentrações mais adequadas desse elemento, para se verificar a tolerância das cultivares ao excesso de Al^{3+} em solução nutritiva.

Na Tabela 19 são apresentadas, as médias do comprimento final relativo obtidas na maior raiz, segundo as cultivares, e os teores de Al^{3+} em solução nutritiva (0,0; 1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 mg/ml de Al^{3+}).

Observou-se ainda que, as cultivares Ângela Gigante I 5100, IPA 5 e CNPH 81 nos níveis 3,0; 4,5 e 6,0 mg de Al^{3+} /l apresentaram comprimento final relativo (CFRMR) menor que 50% para comprimento da maior raiz, mensuradas aos 12 dias da instalação do experimento. Constatou-se, que essas variações para (CFRMR), não foram significativas (Tukey 5%) em relação a esses níveis de Al^{3+} , e a partir desses resultados, foi estabelecido o nível de 3 mg de Al^{3+} por litro como o nível máximo de Al^{3+} no segundo experimento.

Tabela 19. Comprimento final relativo (%) da maior raiz (CFRMR) de cultivares de tomateiro submetidas a cinco níveis (mg/l) de alumínio na solução nutritiva.

Teores de Al mg/l	Cultivares			
	Ângela gigante I 5100	IPA 5	CNPH 81	Média
0	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a
1,5	54,74 b	89,79 b	63,88 b	69,47 b
3,0	40,74 c	16,51 c	46,37 c	24,54 c
4,5	11,28 c	19,22 c	48,84 c	26,45 c
6,0	10,95 c	21,13 c	11,05 c	14,38 d
Média	37,54 c	49,33 b	54,03 a	

- Médias seguidas por letras minúsculas distintas na vertical diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

4.3.2. Segundo experimento em solução nutritiva

4.3.2.1. Crescimento da raiz

Na Tabela 20, são apresentadas as médias dos valores do comprimento inicial da maior raiz (CIMR), expressas em cm/planta, medidos por ocasião da instalação do experimento. Esses resultados demonstram que as cultivares apresentaram no global, homogeneidade quanto a esta variável.

Analisando-se o efeito dos níveis de Al^{3+} na solução, verifica-se que o comprimento final da maior raiz

(CFMR), medido aos 12 dias da instalação do experimento e expresso em cm/planta, é significativo ($P < 0,01$) e foi bastante reduzido, nos níveis 2,25 e 3,00 mg Al^{3+} /l na cultivar Ângela gigante I 5100 e na menor dose de Al^{3+} para a cultivar CNPH 81 (Tabela 21). Ao contrário do observado no 1º experimento (Tabela 19), a cultivar IPA 5 não exibiu redução significativa para crescimento da maior raiz na presença dos níveis (0; 0,75; 1,5; 2,25 e 3,0 mg de Al^{3+} /l). Porém, os rendimentos em matéria seca da raiz segundo os diferentes tratamentos para essa cultivar em mg/planta, foram reduzidos significativamente na presença de Al^{3+} (Tabela 22), tal como ocorreu em relação às outras cultivares. O que pode ser explicado muito provavelmente como consequência de uma maior formação de raízes mais finas que se observou no sistema radicular da cultivar IPA5 em todos os níveis de Al^{3+} testados. Constatou-se ainda (Tabela 22), que o rendimento médio global de matéria seca das raízes desta cultivar nessas condições, foi duas vezes menor que os rendimentos das cultivares Ângela gigante I 5100 e CNPH 81.

4.3.2.2. Crescimento da parte aérea

Na Tabela 23, são apresentados os rendimentos de matéria seca da parte aérea das três cultivares de tomateiro, expressos em mg/planta, os quais foram obtidos 12 dias após a instalação do experimento. Do mesmo modo que a matéria seca das raízes, o rendimento de matéria seca da

parte aérea nas cultivares, foi significativamente reduzido (Tukey 5%), a partir da concentração 0,75 mg de Al por litro.

Considerando-se o comportamento das cultivares em relação ao efeito do alumínio, pode-se observar que os rendimentos das cultivares Ângela gigante e CNPH 81 foram maiores em todos os níveis de Al.

Tabela 20. Comprimento (cm) inicial da maior raiz (CIMR) de cultivares de tomateiro, no dia do transplante (DT), submetidas a cinco níveis (mg/l) de alumínio (Al^{3+}) na solução nutritiva.

Níveis de Al (mg/l)	Cultivares			
	Ângela gigante I 5100	IPA 5	CNPH 81	Média
	cm			
0,00	18,30 a	24,42 a	29,91 ab	24,21 a
0,75	17,34 a	23,44 a	27,50 ab	22,76 a
1,50	17,05 a	24,33 a	27,38 ab	22,92 a
2,25	15,88 a	25,05 a	32,25 a	24,39 a
3,00	17,65 a	23,08 a	22,31 b	21,01 a
Média	17,24 a	24,06 b	27,87 a	

- Médias seguidas por letras minúsculas distintas na vertical diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 21. Comprimento (cm) final da maior raiz (CFMR) de cultivares de tomateiro, submetidas a cinco níveis (mg/l) de alumínio (Al^{3+}) na solução nutritiva.

Níveis de Al (mg/l)	Cultivares			
	Ângela gigante I 5100	IPA 5	CNPH 81	Média
	cm			
0,00	40,08 a	27,25 a	47,15 a	38,16 a
0,75	36,10 a	28,10 a	34,75 bc	32,98 a
1,50	44,13 a	30,65 a	31,83 bc	35,53 a
2,25	22,65 b	26,58 a	36,18 b	28,47 b
3,00	23,38 b	25,05 a	26,43 c	24,05 b
Média	33,26 a	27,52 b	35,26 a	

- Médias seguidas por letras minúsculas distintas na vertical diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 22. Rendimento de matéria seca (mg/planta) da raiz (RMSR) de cultivares de tomateiro, submetidas a cinco níveis (mg/l) de alumínio (Al^{3+}) na solução nutritiva.

Teores de Al (mg/l)	Cultivares			
	Ângela gigante I 5100	IPA 5	CNPH 81	Média*
	mg/planta			
0,00	602,00 a	323,00 a	635,00 a	520,00 a
0,75	565,50 a	220,75 b	446,25 b	417,33 b
1,50	366,00 b	214,00 b	410,75 c	330,42 c
2,25	342,50 b	152,50 c	341,50 d	212,00 d
3,00	162,00 c	132,00 c	155,25 e	149,75 e
Média	407,50 a	208,45 b	401,70 a	

- Médias seguidas por letras minúsculas distintas na vertical diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 23. Rendimento de matéria seca (mg/planta) da parte aérea (RMSPA) em cultivares de tomateiro submetidas a cinco níveis (mg/l) de alumínio (Al^{3+}) na solução nutritiva.

Teores de Al (mg/l)	Cultivares			
	Ângela gigante I 5100	IPA 5	CNPH 81	Média
	mg/planta			
0,00	2507,50 a	1052,50 a	2378,75 a	1979,58 a
0,75	2152,50 b	740,00 b	1596,50 b	1496,33 b
1,50	1762,50 c	595,00 bc	1527,50 b	1295,00 c
2,25	1442,50 d	512,50 c	1522,50 b	1159,17 d
3,00	783,75 e	487,50 c	658,75 c	643,33 e
Média	1729,75 a	677,50 c	1536,80 b	

- Médias seguidas por letras minúsculas distintas na vertical diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

4.3.2.3. Sintomatologia da toxicidade de Al^{3+} em três cultivares de tomateiro obtidas em solução nutritiva

Os sintomas de toxicidade evidenciados pelo Al^{3+} nas três cultivares de tomateiro (Ângela gigante I 5100; IPA 5 e CNPH 81), surgiram inicialmente de maneira mais característica (Figura 6), nos níveis (2,25 e 3,00 mg de Al^{3+} /l). Enquanto isso, os sintomas de toxicidade manifestaram-se com menor intensidade, tanto na parte aérea como no sistema radicular nos níveis de 0,75 e 1,5 mg de Al^{3+} /l, principalmente para a cultivar Ângela gigante I 5100. Mesmo assim, foi observada a incidência de pontuações negras sobre as lâminas dos folíolos, presença de necrose nas bordas

e ocorrência de coloração ciânica leve nas folhas. Em níveis mais altos (4,5 e 6,0 mg/l), a redução no crescimento das plantas, foi drástica na parte aérea e no sistema radicular nas três cultivares.

Seis dias após a transferência das plantas para as soluções nutritivas contendo 2,25 e 3,0 mg de Al^{3+} /l, teve início sobre as folhas recém formadas, o aparecimento de coloração levemente ciânica, (semelhante à deficiência de P), enquanto os folíolos mostraram-se com área reduzida, ("aspecto miudo"), o mesmo visual generalizou-se por toda a área foliar, e entre 10 e 12 dias sob efeito desses tratamentos, as nervuras tanto primárias como secundárias, mostraram-se ciânicas. O sistema radicular mostrou-se bastante reduzido, assumindo um volume total obtido através do princípio de Arquimedes, que na média variou entre 0,1 a 1 cm³ enquanto o comprimento da haste variou na média entre 11 e 21 cm, e as raízes mostraram coloração marrom intenso.

Figura 6. Efeito dos níveis 0,0; 0,75; 1,5; 2,25 e 3,0 mg de Al^{3+} /litro em solução nutritiva, sobre o crescimento das raízes e da parte aérea, das cultivares de tomateiro Ângela gigante I 5100, IPA 5 e CNPH 81, doze dias após a transferência para as soluções.

5 - CONCLUSÕES

Os resultados verificados neste trabalho quanto à tolerância de cultivares de tomateiro ao alumínio, permitiram as seguintes conclusões:

- As dezesseis cultivares de tomateiro avaliadas em um PVls originalmente ácido, diferiram quanto a sua tolerância a excesso de Al^{3+} no solo.

- As cultivares de tomateiro diferiram em termos de resposta à calagem, sendo que o comprimento médio da haste principal, foi maior quando a saturação por bases (V%) atingiu valores entre 60 e 70%, e a saturação por Al^{3+} foi reduzida a 50% do seu valor máximo.

- Na ausência de calagem, as cultivares classificadas como tolerantes e responsivas (TR) a excesso de Al, apresentaram tendência para acumular teores mais baixos de Al, P, Ca, K e Mg, enquanto as classificadas como sensíveis e não responsivas (SNR), e sensíveis e responsivas (SR), tenderam a acumular teores mais altos desses elementos na matéria seca da parte aérea.

- Os níveis 2,25 e 3,0 mg de Al^{3+} /l, reduziram de modo drástico o comprimento da maior raiz das cultivares Ângela gigante I 5100 e CNPH 81, 12 dias após a transferência

das cultivares para a solução.

- As cultivares Ângela gigante I 5100, IPA 5 e CNPH 81, apresentaram sintomas característicos de toxicidade ao Al, tanto na parte aérea como no sistema radicular, dos 8 aos 12 dias da transferência das plantas para a solução.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, F. & LUND, Z.F. Effects of chemical activity of soil solution aluminum on cotton root penetration of and subsoils. *Soil Science*, Baltimore, 101: 193-8, 1966.
- ANDREW, C.S.; JOHNSON, A.D.; SANDLAND, R.L. Effect of aluminum on the growth and chemistry composition of some tropical and temperate pasture legumes. *Australian Journal of Agricultural Research*, East Melbourne, 24: 325-39, 1973.
- BARBER, S.A. Soil nutrient bioavailability; a mechanistic approach, New York, John Wiley, 1984. 397 p.
- BARTLETT, R.J. & RIEGO, D.S. Effect of chelation on the toxicity of aluminum. *Plant and Soil*, Wageningen, 37: 419-23, 1972.
- BAUMGARTENER, J.G. Tolerância de cultivares de tomateiros (*Lycopersicon esculentum* Mill), ao alumínio e ao manganês. Piracicaba, 1976. 66 p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

BEAR, F.E. & TOTH, S.J. Influence of calcium on availability of other soil cations. **Soil Science**. Baltimore, 65: 69-74, 1948.

BERGER, C.K. & PRATT, P.F. Advances in secondary and micronutrient fertilization. In: MALCOM, H.M.; BRIDGER, G.L.; NELSON, L.B., ed. **Fertilizer technology and usage**. Madison, Soil Science Society of America, 1963. p 287-40.

BLAMEY, F.P.C.; ASHER, C.J.; EDWARDS, D.C.; KERVEN, G.L. In vitro evidence of aluminum effects on solutions movement through root cell wall. **Journal of Plant Nutrition**, New York, 16: 555-62, 1993.

BOYER, J. El potassio del Suelo. In: DURSDOFF, M. et al. ed **Suelos de las regiones tropicales numedas**. Buenos Aires, Ed. Marymar, 1975. p. 50-8

CALBO, A.G. & CAMBRAIO, J. Efeito do alumínio sobre a absorção e sobre o transporte de fósforo em duas cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). **Revista Ceres**, Viçosa, 27: 615-25, 1980.

CHAPMAN, H.D., ed **Diagnostic criteria for plants and soils**. Univ. of California, 1966. 793 p.

- CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S.
Métodos de análise química, mineralógica e física de solos
do Instituto Agronômico de Campinas. Campinas, 94 p.
1986. (IAC. Boletim Técnico, 106).
- CAMARGO, L.S.; CAMPOS, H.E.; ABRAMIDES, E. Influência da
calagem em solo ácido da formação glacial na produção do
tomateiro. Bragantia, Campinas, 24: 51-4, 1965.
- CAMARGO, O.A. & FURLANI, P.R. Alumínio no solo:
concentração, especiação e efeito no desenvolvimento
radicular. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE SOLOS E NUTRIÇÃO DE
PLANTAS, 2., Piracicaba, 1989. Anais. Campinas, Fundação
Cargill, 1989. p. 45-69.
- CAMBRAIA, J. Mecanismos de tolerância à toxidez de alumínio
em plantas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FISILOGIA VEGETAL,
2., Piracicaba, 1989. Anais. Piracicaba, Sociedade
Brasileira de Fisiologia Vegetal, 1989. p. 85-92.
- CAMBRAIA, J.; GALVANI, F.R.; ESTEVÃO, M.D.M.; SANTANA, R.
Effects of aluminum on organic acid, sugar and aminoacid
composition of the root system of sorghum (*Sorghum bicolor*
L.). Journal of Plant Nutrition, New York, 6: 313-22,
1983.

CASTELLANI, P.D. Podridão apical em frutos de tomateiro.

Jaboticabal, FUNEP, 1988. 39 p.

CHU, T.S. & TURK, L.M. Growth and nutrition of plants as affected by degree of saturation of different types of clay minerals. New York, 1949. 214-42 p. (Bulletin Technical, 214).

CLARKSON, D.T. Aluminium in species within the genus Agrostis. Journal of Ecology, New York, 54: 167-78, 1966.

CLARKSON, D.T. Effects of Al on the uptake and metabolism of phosphorus by barley seedlings. Plant Physiology. Baltimore, 41: 165-72, 1966.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Comissão de Solo. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo. Rio de Janeiro, Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas, 1960. 634 p.

DINIZ, V.P.M. & KALBO, M.E.R. Efeito da aplicação foliar de fósforo sobre a toxidez de alumínio em plantas de tomate. Revista Brasileira Fisiologia Vegetal, Brasília, 2: 57-1, 1990.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de análise do solo. Rio de Janeiro, Serviço Nacional de Levantamento e Coservação de Solos, 1979. s.n.p.

FAGERIA, N.K. & KLUTHCOUSKI, J. Metodologia para avaliação das cultivares de arroz e feijão para condições adversas do solo. Goiânia, EMBRAPA/CNPAP, 1980. 22 p. (EMBRAPA/CNPAP. Circular Técnica, 8).

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, U.C.; WRIGHT, R.J. Aluminum toxicity in crop plants. Journal of Plant Nutrition, New York, 11: 303-19, 1988.

FAGERIA, N.K. Adubação e nutrição mineral da cultura do arroz. Rio de Janeiro, Ed. Campus, 1984. 341 p

FAHL, J.I.; HIROCE, R.; CARELL, M.L.C.; CASTRO, J.L.D. Efeitos do alumínio na nutrição, desenvolvimento e produção de cultivares de batatinha (*Solanum tuberosum* L.). Rev. bras. Ci. Solo, Campinas, 4: 22-6, 1980.

FLEMING, A.L. & FOY, C.D. Root struture reflects differential aluminium tolerance in wheat variets. Agronomy Journal, Madison, 60: 172-6, 1968.

FOOD PRODUCTION YEARBOOK - 1989, Rome, 43: 179-80, 1989.

FOOD PRODUCTION YEARBOOK - 1989, Rome, 46: 140-9, 1992.

FOY, C.D. Effect of aluminum on the uptake and metabolism of phosphorus by barley seedlings. **Plant Physiology**, Rockyville, 41: 165-72, 1966.

FOY, C.D. Effects of aluminum on plant growth. In: CARSON, E.W., ed. **The plant root and its environment**. Charlottesville, University Press of Virginia, 1974. p. 601-40.

FOY, C.D.; GERLOFF, G.C.; GABELMAN, W.H. Differential effects of aluminum on the vegetative growth of tomato cultivars in acid soils and nutrient solution, **Journal of American Society for Horticultural Science**, Madison, 98: 427-32, 1973.

FOY, C.D.; FLEMING, A.L.; GERLOFF, G.L. Differential aluminium tolerance in two snap bean varieties. **Agronomy Journal**, Madison, 64: 815-8, 1972.

FOY, C.D. Physiology effects of hydrogen, aluminium and manganese toxicities in acid soil. In: ADAMS, F., ed. **Soil acidity and liming**. 2. ed. Madison, Soil Science Society America, 1984. p. 57-97.

- FOY, C.D. The physiology of plant adaptation to mineral stress. *Iowa State Journal of Research*, Ames, 57: 355-91, 1983a.
- FOY, C.D. Soil chemical factors limiting plant root growth. In: HATFIELD, J.L. & STEWART, B.A. *Limitations to plant root growth*. New York, Springer-Verlag, 1992. p. 97-149.
- FOY, C.D. Plant adaptation to acid, aluminum-toxic soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, 19: 959-87, 1988.
- FOY, C.D. Plant adaptation to mineral stress in problem soil. *Iowa State Journal of Research*, Ames, 57: 339-54, 1983b.
- FOY, C.D. & FLEMING, A.L. The physiology of plant tolerance to excess available aluminium and manganese in acid soils. In: JUNG, G.A., ed. *Crop tolerance to subtropical land conditions*. Madison, 1978. p. 301-28.
- FOY, C.D.; ARMIGER, W.H.; BRIGGLE, L.W.; REID, D.A. Differential aluminum tolerance of two wheat varieties associated with. Plant induced pH changes around their roots. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 29: 64-7, 1965.

FOY, C.D.; FLEMING, A.L.; BURNS, G.R.; ARMIGER, W.H.
Characterization of differential aluminum tolerance among
varieties of wheat and barley. Soil Science Society of
America Proceedings, Madison, 31: 513-21, 1967.

FURLANI, A.M.C. & FURLANI, P.R. Composição e pH de soluções
nutritivas para estudos fisiológicos e seleção de plantas
em condições nutricionais adversas. Campinas, IAC, 1988.
34 p. (IAC. Boletim Técnico, 121).

FURLANI, P.R. Efeitos fisiológicos do alumínio em plantas.
In: SIMPÓSIO AVANÇADO EM SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 2.,
Piracicaba, 1989. Anais. Campinas, Fundação Cargill,
1989. p. 73-90.

GÖEDERT, W. Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de
manejo. São Paulo, Nobel, 1987. 422 p.

GOMES, F.P. Curso de estatística experimental. 13. ed. São
Paulo, Nobel, 1990. 467 p.

GRIME, J.P. & HODGSON, J.G. An investigation of the
ecological significance of lime chlorosis by means of large
scale comparative experiments. In: RORISON, I.H., ed.
Ecological aspects of the mineral nutrition of plants.
Oxford. Blackwell Scientific Publisher, 1969. p. 67-9.

- HACKETT, C. Stimulative effects of aluminium on plant growth. *Nature*, London, 195: 471-2, 1962.
- HAYNES, R.J. Effect of liming on phosphate availability in acid soil. *Plant and Soil*, Wageningen, 68: 289-03, 1982.
- HEWITT, E.J. Relation manganese and some other metals to the ions status of plants. *Nature*, London, 161: 480-90, 1948.
- HODGES, T.K. Ion absorption by plant roots. *Advances in Agronomy*, New York, 25: 163-207, 1973.
- HUCK, M.G. Impairment of sucrose utilization for cell wall formation in the roots of aluminum-damaged cotton seedlings. *Plant and Cell Physiology*, Kyoto, 13: 7-14, 1972.
- JACKSON, W.A. Physiological effects of soil acidity. In: PEARSON, R.W. & ADAMS, F., ed. *Soil acidity and liming*. Madison, American Society of Agronomy, 1967. p. 43-124.
- JOHNSON, R.E. & JACKSON, W.A. Calcium uptake and transport by wheat seedlings as affected by aluminum. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 28: 381-6, 1964.
- JONES, L.H. Aluminium uptake and toxicity in plants. *Plant and Soil*, Wageningem, 13: 297-10, 1961.

- KESER, M.; NEUBAUER, B.F.; HUTCHINSON, F.E. Influence of aluminium ions on development morphology of sugarbeet roots. *Agronomy Journal*, Madison, 67: 84-5, 1975.
- KIEHEL, J.E. *Manual de edafologia: relações solo-planta*. São Paulo, Agronômica Ceres, 1979. 262p.
- KINRAIDE, T.B. & PARKER, D.R. Cation amelioration of aluminum toxicity in wheat. *Plant Physiology*, Lancaster, 85: 546-51, 1987.
- KNOTT, J.F. *Handbook for vegetable growers*. New York, John Wiley, 1957. 249 p.
- LOPES, A.S. *Solos sob cerrado: características, propriedades e manejo*. Piracicaba, Instituto de Potassa e Fosfato, 1983. 162 p.
- LORENZ, O. & MAYNARD, D.N. *Handbook for vegetable growers*. 3. ed. New York, John Wiley, 1988. 456 p.
- LINDSAY, W.L. & NORWELL, W.A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 42: 421-28. 1978.

LEE, C.R. Influence of aluminium on plant growth and mineral nutrition of potatoes. *Agronomy Journal*, Madison, 63: 604-8, 1971.

LEE, E.H. & FOY, C.D. Aluminium tolerance of two soybean cultivars related to organic acid avaluated by high-performance liquid cromatography. *Journal of Plant Physiology*, Stuttgart, 9: 1481-98, 1986.

MALAVOLTA, E. Reação do solo e crescimento das plantas. In: SEMINARIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS, Piracicaba. Campinas, Fundação Cargill, 1985. p. 3-64.

MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

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

MATSUMOTO, H.; MORIMURA, S.; TAKAHASHI, E. Less involvement of pectin in the precipitation of aluminum in pea roots. *Plant and Cell Physiology*, Kyoto, 18: 325-35, 1977.

MARTINS, C.E. Tolerância de ecotipos de estilozantes a saturação de alumínio em latossolo vermelho-escuro álico. Viçosa, 1988. 116 p. (Doutorado - Universidade Federal de Viçosa).

MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. Principles of plant nutrition. 4. ed. Bern, International Potash Institute, 1987. 687 p.

MESQUITA FILHO, M.V. Studies on the tolerance of crop plants to acid soils. Shizuoka, 1978. 46 p. (M.S. - Faculty of Agriculture. Shizuoka University).

MESQUITA FILHO, M.V. & SOUZA, A.F. Resposta do tomateiro à aplicação da calagem e da adubação fosfatada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 26, Salvador, 1986. Resumos. Horticultura Brasileira, Brasília, 4: 61, 1986.

MINAMI, K. & HAAG, H.P. O tomateiro. 2. ed., Campinas, Fundação Cargill, 1989. 397 p.

MUGWIRA, L.M.; ELGAWHARY, S.M.; PATEL, K. Differential tolerance of triticale, wheat rye and barley to aluminum in nutrient solution. Agronomy Journal, Madison, 68: 782-7, 1978.

- MULLITTE, K.J. Stimulation of growth in *Eucalyptus* due to aluminium. *Plant and Soil*, The Hague, 42: 495-99, 1975.
- NAIDOO, G.; STEWART, Mc.D.; LEWIS, R.J. Accumulation sites of Al in snapbean and cotton roots. *Agronomy Journal*, Madison, 70: 489-92, 1978.
- OHKI, K. Aluminum toxicity effects on growth and nutrient compositions in wheat. *Agronomy Journal*, Madison, 77: 951-6, 1985.
- POMBO, G.I. & SMITH, C.B. Growth and nutrient interrelationship of three vegetable crops with different sensitivities to soil pH as affected by lime and fertilizer treatments. Communication. In: *Soil Science and Plant Analysis*, New York, 17: 353-68, 1986.
- PRATT, P.F. Química do solo. Traduzido por: A. Nascimento & L. Vettori. Convênio MA/DPFS-USAID, Brasil, 1966. 88 p.
- PRIMAVESI, A. Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais. São Paulo, Nobel, 1988. 549 p.
- RAIJ, B. van & QUAGGIO, J.A. Novos métodos de análise de solo do Instituto Agronômico. Campinas, IAC, 1982. 8p.

- RAIJ, B. van.; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.F.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O.C. **Análise química do solo para fins de fertilidade.** Campinas, Fundação Cargill, 1987. 170 p.
- RAIJ, B. van.; SILVA, N.M.; BATAGLIA, O.C.; QUAGGIO, J.A.; HIROCE, R.; CANTARELLA, H.; BELLINAZI JUNIOR, R.; DECHEN, A.R.; TRANI, P.E. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** Campinas, IAC, 1985. 107 p. (IAC. Boletim Técnico, 100).
- RAMOS, L.C.S.da. **Estudo sobre a herança da tolerância ao alumínio em tomateiro.** Campinas, 1981. 64p. (Mestrado - Departamento de Genética/UNICAMP).
- REES, W.J. & SIDRAK, G.H. **Interrelationships of aluminum and manganese toxicities toward plants.** *Plant and Soil*, The Hague, 14: 101-17, 1961.
- REID, D.A.; FLEMING, A.L.; FOY, C.D. **A method for determining aluminium response of barley in nutrient solution in comparison to response in Al-toxic soil.** *Agronomy Journal*, Madison, 63: 600-3, 1971.
- RHUE, R.D. & GROGAN, C.O. **Screening corn for Al tolerance using different Ca and Mg concentrations.** *Agronomy Journal*, Madison, 69: 755-60, 1977.

- RORISON, I.H. The effect of aluminium on legume nutrition.
In: HALLSWORTH, E.G., ed. *Nutrient of the legumes*, London,
Academic Press, 1958. p. 43-61.
- ROY, K.A.; SHARMA, A.; TALUKDER, G. Some aspects of aluminum
toxicity in plants. *The Botanical Review*, Bronx, 54: 145-
78, 1988.
- RUSCHEL, A.P.; ALVAHYDO, R.; SAMPAIO I.B.M. Influência do
excesso de alumínio no feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)
cultivado em solução nutritiva. *Pesquisa Agropecuária
Brasileira*, Brasília, 3: 229-33, 1968.
- RUTLEDGE, B.E. & McCLURG, J.E. Plant tissue analysis by
inductively coupled Argon Plasma Spectrometry. *Jarrel Ash
Plasma Newsletter*, Waltham, 3: 4-5, 1980.
- SALISBURY, F.B. & ROSS, C. *Plant physiology*. Belmont,
Wadsworth Publishing, 1969. 748p.
- SARRUGE, J.R. & HAAG, H.P. *Análises químicas em plantas*.
Piracicaba, ESALQ, 1974. 57p.
- SUHAYADA, C.G. & HAUG, A. Organic acids aluminium toxicity
in maize root membranes. *Physiologia Plantarum*, Copenhagen,
68: 189-95, 1986.

TAYLOR, G.J. The physiology of aluminum tolerance in higher plants. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, New York, 19: 1179-94, 1988.

TAYLOR, G.J. & FOY, C.D. Mechanisms of aluminium tolerance in *Triticum aestivum* L. (Wheat) I. Differential pH induced by winter cultivars in nutrient solutions. *American Journal of Botany*, Columbus, 72: 695-71, 1985a.

TAYLOR, G.J. & FOY, C.D. Mechanisms of aluminium tolerance in *Triticum aestivum* L. (Wheat) II. Differential pH induced by spring cultivars in nutrient solutions. *American Journal of Botany*, Columbus, 72: 702-6, 1985b.

VASCONCELOS, C.A. Fósforo em dois latossolos do Estado de Mato Grosso: adsorção, desorção e crescimento vegetal. Viçosa, 1974. 122 p. (Mestrado - Universidade Federal de Viçosa).

VOSE, P.B. Screening techniques for plant nutrient efficiency: philosophy and methods. In: SYMPOSIUM ON GENETIC ASPECTS OF PLANT MINERAL NUTRITION, 2., Madison, 1985. Genetic aspects of plant mineral nutrition; proceedings. Dordrecht, Martinus Nijhoff, 1987. p. 283-9.

WRIGHT, R.J.; BALIGAR, V.C.; SRIGHT, S.F. Estimation of fitotoxic aluminum in soils solution using three spectrophotometric methods. *Soil Science*, Madison, **144**: 224-32, 1987.

APENDICE

Apêndice 1. Gráficos de temperatura mínima, máxima e média ($^{\circ}\text{C}$), e umidade relativa mínima, máxima e média na casa de vegetação e no posto meteorológico da ESALQ, nos meses de outubro e novembro 1992, em que foram conduzidos os experimentos em Piracicaba - SP.

continua...

...continuação Apêndice 1.

Apêndice 2. Curva de neutralização para um solo PVls nos níveis 0; 2,0; 4,0; 6,0 e 8,0 meq ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$)/100 cm^3 na proporção de 3:1 em meq/100 cm^3 desses corretivos, correlacionando pH em água (1:2,5) e as doses abaixo mencionadas.

Apêndice 3. Quadrados médios da análise de variância conjunta referentes aos efeitos dos fatores calagem, cultivares e épocas de mensuração sobre a variável CMHP de dezesseis cultivares de tomateiro em um solo PVls.

Causas da Variação	G.L.	Quadrado médios
		CMHP
Cultivar	15	67,87 ^{**}
Calagem	1	120.544,15 ^{**}
Cul x Cal	15	77,37 ^{**}
Resíduo (A)	64	19,50

Parcelas	95	---
Épocas	4	30.208,03 ^{**}
Cul x Epo.	60	28,26 ^{**}
Cal X Epo.	4	16.836,67 ^{**}
Resíduo (B)	316	10,41

C.V.(%) de (A) = 19,50		
C.V.(%) de (B) = 14,25		

****** Significativo pelo Teste F ($P < 0,01$).

Apêndice 4. Quadrados médios das análises de variância referentes aos efeitos da calagem sobre a variável CMHP de dezesseis cultivares de tomateiro, medidos a partir dos 24 até os 64 dias de emergência, ocasião da colheita, no início do florescimento.

Causas da variação	G.L.	Épocas (dias)				
		24	34	44	54	64
Quadrados médios						
Cultivar	15	9,31**	15,06**	19,75**	26,50**	110,41**
Calagem	1	804,34**	3011,56**	13291,15**	60095,03**	110698,73**
Cul x Cal	15	3,98**	9,25**	19,85**	37,31**	83,96**
Resíduo	64	1,07	1,40	6,39	14,34	29,66
C.V.(%)		15,97	12,43	15,52	11,92	11,08

** significativo pelo Teste F ($P < 0,01$)

Apêndice 5. Quadrados médios da análise de variância referentes ao efeito da calagem sobre a variável (MSPA folha + haste) de cultivares de tomateiro em um solo PVls no estágio inicial de florescimento aos 64 dias da emergência.

Causas da Variação	G.L.	Quadrados médios
Cultivares	15	1.934.222,57 [†]
Calagem	1	366.046.893,37 [†]
Cul x Cal	15	1.879.846,02 [†]
Resíduo	64	1.194,38 [†]
C.V.(%) = 1,54		

* Significativo pelo Teste F ($P < 0,05$).

Apêndice 6. Quadrados médios da análise de variância referentes ao efeito da calagem sobre a variável (MSR) de cultivares de tomateiro no estágio inicial de florescimento em um solo PVls.

Causas da Variação	G.L.	Quadrados médios
Cultivares	15	110531,61 *
Calagem	1	2400021,26 *
Cul. x Cal.	15	113963,70 *
Resíduo	64	1833,26
C.V. (%) = 12,33%		

* Significativo pelo Teste F ($P < 0,05$).

Apêndice 7. Quadrados médios das análises de variância referentes ao efeito da calagem, sobre os teores de Al em ppm, e de P; K; Ca e Mg em % na matéria seca da parte aérea de dezesseis cultivares de tomateiro em um solo PVls.

Causas de variação	G.L.	Quadrados Médios				
		Al (ppm)	P	K %	Ca	Mg
Cultivar	15	7032,59**	0.002845**	0.7152**	0.0994**	0.0296**
Calagem	1	330645,37**	0.004004**	12.3338**	3.4013**	0.6288**
Cul x Cal	15	6354,17**	0.000988**	0.3033**	0.04550**	0.0232**
Resíduo	64	270,166	0.000417	0.0766	0.01133	0.0106
C.V.(%)		9,82	8,34	13,97	9,70	28,82

** significativo pelo Teste F ($P < 0,01$)

Apêndice 8. Quadrados médios da análise de variância conjunta para o efeitos de níveis de $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ e épocas de mensuração sobre a variável CMHP de três cultivares de tomateiro em um solo PVls.

Causas de Variação	G.L.	Quadrados Médios	
		CMHP	
Cultivares	2	10454,82	**
Calagem	4	11363,92	**
Cultivares x Calagem	8	120,27	**
Resíduo (A)	30	123,20	
Parcelas	44	16560,51	
Épocas	4	42,39	**
Cultivares x Épocas	8	304,52	**
Calagem x Épocas	16	27,29	**
Calag. x Cvs. x Épocas	32	31,59	ns
Resíduo (B)	120		
Total	224	147141,07	

C.V. (A) = 8,81

C.V. (B) = 9,72

ns = não significativo pelo teste F ($P < 0,05$)

** = significativo pelo teste F ($P < 0,01$)

Apêndice 9. Quadrados médios da análise de variância para efeitos de níveis de calagem, sobre a variável RMSPA de três cultivares de tomateiro em um solo PVls.

Causas de Variação	G.L.	Quadrados Médios
		RMSPA
Cultivares	2	54425491,58 **
Calagem	4	62362593,72 **
Cultivares x Calagem	8	8256043,89 **
Resíduo	30	102716,27 **
C.V. = 6,35%		

** significativo pelo teste de F ($P < 0,01$).

Apêndice 10. Quadrados médios das análises de variância referentes aos efeitos da calagem, sobre os teores de Al em ppm, e de P; K; Ca e Mg em % na matéria seca da parte aérea de três cultivares de tomateiro em um solo PVls.

Causas de Variação	G.L.	Quadrados Médios				
		Al (ppm)	P	K	Ca	Mg
Cultivares	2	1128,15**	0,038*	0,43**	0,14**	0,0068**
Calagem	4	7386,08**	0,016**	0,86**	0,68**	0,076**
Cultiv. x Calag.	8	2587,21**	0,018**	1,43**	1,23**	0,090**
Resíduo	30	397,20	0,00091	0,067	0,15	0,00036
C.V. (%)		9,43	13,12	17,46	13,36	3,82

** = significativo pelo teste F ($P < 0,01$)