

QUANTIDADE DE ALUMÍNIO NO SUBSTRATO AFETANDO
O DESENVOLVIMENTO, A SINTOMATOLOGIA DE
TOXICIDADE, A CONCENTRAÇÃO E O ACÚMULO DE
MACRO E MICRONUTRIENTES EM SERINGUEIRA (*Hevea* spp.)

NEWTON BUENO

Eng^o Agr^o, MSc.

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

PIRACICABA

Estado de São Paulo - Brasil

Dezembro - 1987

Quantidade de aluminio no ...
1987 TS-PP-1988.00006



CPAA-2880-1

87

988.00006

QUANTIDADE DE ALUMÍNIO NO SUBSTRATO AFETANDO O DESENVOLVIMENTO,
A SINTOMATOLOGIA DE TOXICIDADE, A CONCENTRAÇÃO E O ACÚMULO
DE MACRO E MICRONUTRIENTES EM SERINGUEIRA (Hevea spp.)

NEWTON BUENO
Engº Agrº, MSc.

T
004/87

Orientador: Prof. Dr. HENRIQUE PAULO HAAG

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

PIRACICABA

Estado de São Paulo - Brasil

Dezembro de 1987

EMBRAPA/DID

Valor Aquisição Cr\$ _____

N.º N.º Fiscal Fatura _____

Fornecedor Auto _____

N.º Ordem Compra _____

Origem Piracicaba _____

N.º de Tombo 006/88

B928q Bueno, Newton

Quantidade de alumínio no substrato afetando o desenvolvimento, a sintomatologia de toxicidade; a concentração e o acúmulo de macro e micronutrientes em seringueira (Hevea spp.). Piracicaba, 1987.

92p. ilus.

Tese - ESALQ

Bibliografia.

1. Alumínio em seringueira 2. Nutriente em seringueira 3. Seringueira - Efeito do alumínio 4. Seringueira - Nutrição I. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba

CDD - 633.895

QUANTIDADE DE ALUMÍNIO NO SUBSTRATO AFETANDO O DESENVOLVIMENTO,
A SINTOMATOLOGIA DE TOXICIDADE, A CONCENTRAÇÃO E O ACÚMULO
DE MACRO E MICRONUTRIENTES EM SERINGUEIRA (*Hevea* spp.)

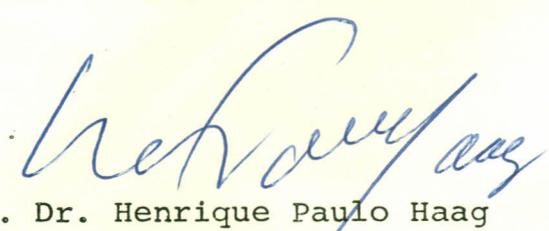
Newton Bueno

Aprovada em: 30.12.1987



Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Henrique Paulo Haag	ESALQ/USP
Prof. Dr. Antonio Augusto Lucchesi	ESALQ/USP
Prof. Dr. Silvio Moure Cicero	ESALQ/USP
Prof. Dr. José Dias Costa	ESALQ/USP
Dr. Afonso Celso Candeira Valois	EMBRAPA


Prof. Dr. Henrique Paulo Haag
Orientador

A minha esposa DIVA

Aos meus filhos PAULA SAMANTHA e
NEWTON FLAMARION

Aos meus pais SAUL e ANIZIA

A mana SÃ

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Henrique Paulo Haag, pela orientação segura e amizade dispensada em todos os momentos;

À minha esposa Diva Dourado Bueno, que além do apoio moral, carinho e dedicação inalteráveis, participou ativamente de todas as etapas deste trabalho;

À minha mãe Anizia Bueno, à mana Salvelina, por todo apoio moral e espiritual e carinho a mim dispensados;

Ao meu pai Saul Bueno, pelas condições que criou e esforços que dispendeu para concretização dos meus estudos;

Aos amigos Ismael de J.M. Viêgas, Janice Guedes de Carvalho, Jomar da Paz Pereira e Olinto Gomes da Rocha Neto pela amizade e apoio;

Aos Profs. Dr. José Dias Costa e Dr. Silvio More Cícero, pelo constante voto de confiança;

Ao Dr. Ondino C. Bataglia, do IAC, pelas determinações de alumínio;

Ao Prof. Quirino Augusto Carmello e ao Sr. Rubens Pereira, do Departamento de Química da ESALQ, pelo apoio nas análises estatísticas;

Aos funcionários do Laboratório do Departamento de Química da E.S.A. "Luiz de Queiroz", pela cooperação;

Ao Centro Nacional de Pesquisa de Seringueira e Dendê (CNPSD) Órgão da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), pela oportunidade de realizar o Curso;

À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP, Piracicaba, SP, através do Departamento de Química, pelo oferecimento do Curso e acolhida;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	vii
SUMMARY	ix
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA	06
3. MATERIAL E MÉTODOS	13
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
4.1. Altura das plântulas, diâmetro do caule e produção de matéria seca	16
4.2. Alumínio	23
4.2.1. Concentração	23
4.2.2. Acúmulo	26
4.3. Macronutrientes	30
4.3.1. Nitrogênio	30
4.3.1.1. Concentração	30
4.3.1.2. Acúmulo	33
4.3.2. Fósforo	35
4.3.2.1. Concentração	35
4.3.2.2. Acúmulo	39
4.3.3. Potássio	41
4.3.3.1. Concentração	41
4.3.3.2. Acúmulo	43
4.3.4. Cálcio	45
4.3.4.1. Concentração	45
4.3.4.2. Acúmulo	49
4.3.5. Magnésio	52
4.3.5.1. Concentração	52
4.3.5.2. Acúmulo	54

	Página
4.3.6. Enxofre	58
4.3.6.1. Concentração	68
4.3.6.2. Acúmulo	61
4.4. Micronutrientes	62
4.4.1. Ferro	62
4.4.1.1. Concentração	62
4.4.1.2. Acúmulo	67
4.4.2. Manganês	69
4.4.2.1. Concentração	69
4.4.2.2. Acúmulo	71
4.4.3. Zinco	73
4.4.3.1. Concentração	73
4.4.3.2. Acúmulo	76
4.5. Sintomas de toxicidade de alumínio	79
5. CONCLUSÕES	86
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87

QUANTIDADES DE ALUMÍNIO NO SUBSTRATO AFETANDO O DESENVOLVIMENTO A SINTOMATOLOGIA DE TOXICIDADE, A CONCENTRAÇÃO E O ACÚMULO DE MACRO E MICRONUTRIENTES EM SERINGUEIRA (*Hevea spp.*)

Autor: Newton Bueno

Orientador: Prof. Dr. Henrique Paulo Haag

RESUMO

Com o propósito de comparar os efeitos de doses crescentes de alumínio sobre o desenvolvimento de plantas de seringueira e distinguir o grau de tolerância do grau de toxicidade desse elemento sobre a planta, conduziu-se um experimento usando-se separadamente solução nutritiva de BOOLE-JONES (1957) e soluções de doses de alumínio que se constituíram de 0, 5, 10, 15, 20 e 25 ppm de alumínio, em que as plantas passaram vinte e quatro horas na solução nutritiva (sem alumínio) e vinte e quatro horas nas soluções de alumínio correspondentes aos tratamentos acima. As plantas foram coletadas e separadas em raiz, caule, folhas dos verticilos inferiores e folhas do último verticilo. Determinou-se os acúmulos de nutrientes e as concentrações de nutrientes em função das doses de alumínio em cada parte da planta. Os sintomas visuais de toxicidade de alumínio foram identificados e descritos.

Conclui-se:

- O desenvolvimento de plantas de seringueira é afetado a partir de 15 ppm de alumínio na solução;

- A concentração e o acúmulo de nitrogênio são favorecidos pela presença de até 10 ppm de alumínio na solução. A concentração e o acúmulo dos demais macronutrientes diminuem a partir da presença de 5 ppm de alumínio na solução. O alumínio estimula a concentração de ferro e do manganês em todos os níveis enquanto o acúmulo desses nutrientes é afetado a partir de 20 ppm daquele elemento na solução. A concentração de zinco na raiz e folhas do último verticilo é afetada a partir de 15 ppm de alumínio na solução e o acúmulo desse nutriente é afetado a partir de 20 ppm de alumínio na solução;

- Sinais de excesso de alumínio em plantas de seringueira aparecem primeiro no sistema radicular e, na parte aérea, é difícil identificar efeito tóxico de alumínio dado a sua semelhança com sintomas visuais de deficiência de fósforo;

- Seringueira é planta acumuladora e tolerante à presença de concentrações de alumínio no substrato inferiores a 15 ppm. Níveis superiores de alumínio provocam distúrbios nutricionais na planta.

ALUMINUM EFFECTED THE GROWTH AND MINERAL COMPOSITION OF THE
YOUNG RUBBER PLANT (*Hevea* spp.)

Author: NEWTON BUENO, MSc.

Adviser: Prof. Dr. HENRIQUE PAULO HAAG

SUMMARY

In Brazil mostly all rubber tree, natural and cultivated conditions occurs on soils containing high levels of aluminum in a toxic form (0.0 meq/100gr - 3.46 meq/100gr). A study on aluminum behavior in relation to the rubber tree is necessary and urgent.

In order to:

- Study the effects of five levels of aluminum in the substract on the growth of young rubber trees;
- Detect the toxicity levels of aluminum on the mineral composition (macro and micronutrients) in rubber plant;
- Visual symptoms of the aluminum toxicity levels on the leaves of rubber plant to aluminum;
- The tolerance of rubber plant to aluminum.

Young rubber plants were cultivated in Bolle-Jones (1957) nutrient solution, modified for iron supply. A separate solution of aluminum was prepared by dissolving a thin aluminum foil with HCl 1N. From these stock solution the following solutions were prepared: none, 5, 10, 15, 20 and 25 ppm of aluminum.

The plants remained for 24 hours in nutrient solutions and another 24 hours in the aluminum solutions. This procedure was carried out during 95 days. Both solutions - nutrient and aluminum - were replaced every 7 days. After 95 days, the plants were harvested and divided into top whorl, 2nd and 3rd whorls, stem and roots. The material was dried and analysed for Al, N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn and Zn by routine methods in the laboratory.

The author concludes:

- The growth of the rubber plants was affected when the concentration of aluminum was 15 ppm or more in the solution.

- The concentration and accumulation of N was increased until 10 ppm of aluminum in the solution, while the other major nutrients decreased from the presence of 15 ppm

- The concentration and accumulation of the other elements, except zinc, was decreased by 20 ppm of aluminum in the solution.

- The concentration of zinc in the roots and leaves was affected by 15 ppm of aluminum in the solution.

- Clear cut symptoms of the aluminum presence was noted in the roots. The root tip and lateral roots became thickened and turned brown. The leaves show a typical phosphorus deficiency in the presence of 20 ppm of aluminum.

- The rubber plant grows well in the presence of 15 ppm of aluminum. Higher concentrations of aluminum affect the growth and the chemical composition of the tree.

1. INTRODUÇÃO

As informações sobre o comportamento da seringueira com relação a tolerância à alumínio são escassas no Brasil e nos países líderes de produção de borracha natural.

Um aspecto importante a salientar, diz respeito às características dos solos, em particular o aspecto químico, para onde foram direcionadas as primeiras tentativas de implantação de seringueiras de cultivo no Brasil. O suporte de informações técnicas disponível à época, indicava sucesso nas regiões de clima quente e úmido, onde normalmente as áreas recém-desmatadas apresentam níveis consideráveis de nutrientes minerais e baixas concentrações de alumínio trocável após a queimada, em relação a área não queimada, BRINKMANN e NASCIMENTO (1973), SHANCHEZ (1981), SHANCHEZ e BRANDY (1982), MANARINO et alii (1982), SHANCHEZ et alii (1983) e CERRI et alii (1985). Essa condição transitória não impôs à prática cultural, a necessidade de gerar suficientes informações técnicas decorrentes da pesquisa, para dar sustentação capaz de superar as limitações impostas pelo retorno a curto prazo de nutrientes oriundos da queimada da floresta. Trata-se de um quadro que, as-

sociado a outros fatores, têm provocado o insucesso da heve cultura nas regiões dos trópicos úmidos do Brasil.

É que os solos onde se cultivava a seringueira neste País, como em outras partes do mundo são, em geral, ácidos, de baixa fertilidade natural, apresentando alta porcentagem de saturação de alumínio e elevada concentração de alumínio trocável conforme dados de SOONG e LAU (1977), CHAN (1977), VIEIRA (1981) e HAAG *et alii* (1986). Estas condições adversas comprometem de pronto qualquer programa de nutrição que não seja calcado em pesquisas.

De outro lado, a heveicultura encontra-se atualmente em franca expansão territorial, tendo ultrapassado as fronteiras das regiões tradicionais de cultivo (Amazônia e Sul da Bahia), atingindo parte do Estado do Maranhão, o Estado de São Paulo (litoral e planalto), o litoral do Estado do Espírito Santo, os cerrados dos Estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, Zona da Mata do Estado de Pernambuco e região dos lagos do Estado do Rio de Janeiro. Apesar de os solos dessas regiões apresentarem alguns problemas com relação a alumínio e inclusive pH, a seringueira vem se desenvolvendo satisfatoriamente, mostrando ser uma planta capaz de absorver nutrientes juntamente com esse elemento, desde que ele não se encontre em nível tóxico na solução do solo, enquadrando-se entre aquelas acumuladoras de alumínio segundo os critérios discutidos por GOODLAND (1971).

A importância do alumínio na nutrição da se-

ringueira ainda está pouco explicada e compreendida e tem sido frequentemente obscurecida. O elemento é pouco ou nada estudado nos solos cultivados com a *Hevea* no mundo. Entretanto, o conhecimento de sua interação com a planta é fundamental, porque a crescente demanda de borracha natural nos mercados interno e externo e os altos preços alcançados pelo produto no País além de terem estimulado o aumento da área plantada - via de regra em solos ricos em alumínio - vêm incrementando o plantio de clones melhorados, com alta exigência nutricional. Isto supõe basicamente que o uso de fertilizantes para o aumento da produtividade é de particular interesse e que o conhecimento do potencial do solo e das exigências da planta é essencial para o uso racional de fertilizantes.

Para muitas culturas já são conhecidos os efeitos deletérios do alumínio, quando em altas concentrações no substrato e esse elemento tem sido identificado como um dos principais fatores limitantes do crescimento e da produção de diversas espécies cultivadas em solos altamente intemperizados na região tropical, GOODLAND (1971), FOY (1974), FOY (1984) e MARSCHNER (1986). Por outro lado, segundo os mesmos autores, em baixas concentrações ele pode de alguma maneira, favorecer o crescimento, produção bem como proporcionar efeitos favoráveis em espécies e genótipos tolerantes.

Percebe-se, na Tabela 1, que apresenta um resumo das características químicas de alguns solos sob seringueira no Brasil e no mundo, que a cultura exibe uma ampla

Tabela 1. Características do grau de acidez de alguns solos de ocorrência da seringueira em algumas regiões do Brasil e do mundo.

Solo	Profundidade (cm)	pH		Al ³⁺ meq/100g	100 Al		V%	Local	Autor (es)
		H ₂ O	KCl		Al + S				
Latossolo Amarelo	0-40	4,1-4,1	3,7-3,9	0,22-0,71	20,62	17,11		Amazonas	RANZANI (1980)
Podzólico Vermelho Amarelo (distrófico)	0-44	3,9-4,0	3,4-3,8	2,47-1,44	69-70	12-12		Amazonas	RANZANI (1980)
Latossolo Amarelo	0-48	4,0-4,4	3,9-4,1	1,00-1,01	85,99	4-3		Amazonas	VIEIRA (1981)
Latossolo Amarelo	0-70	3,8-4,7	3,6-4,1	2,70-1,03	80-84	5-7		Amazonas	RODRIGUES et alii (1972)
Latossolo Vermelho Amarelo	0-50	4,5-5,2	4,0-4,8	3,15-1,18	22-66	25-14		Pará	VIEIRA (1981)
Podzólico Vermelho Amarelo (distrófico)	0-59	4,4-4,2	4,0-4,4	0,61-1,22	54-78	15-7		Pará	VIEIRA (1981)
Latossolo Vermelho Escuro	0-51	5,1-5,3	4,1-4,3	1,40-0,80	0-10	77-84		Mato Grosso	VIEIRA (1981)
Cambissolo	0-50	5,2-4,9	4,3-3,8	0,00-2,80	0-11	73-69		Acre	VIEIRA (1981)
Podzólico Vermelho Amarelo (eutrófico)	0-40	5,3-5,3	4,7-4,0	0,00-0,40	85-87	4		Acre	VIEIRA (1981)
Unidade Anari	0-42	4,8-4,3	-	0,20-0,50	5,2-48,5	59,3-48,5		Rondônia	CARVALHO Fº e LEÃO (1976)
Unidade Anari	0-45	4,8-4,5	-	2,80-0,50	48,0-46,7	46,9-46,7		Rondônia	CARVALHO Fº e LEÃO (1976)
Unidade Paraíso	0-65	4,8-5,6	-	0,40-0,00	46,0- -	37,0-100,0		Rondônia	CARVALHO Fº e LEÃO (1976)
Unidade Ouro Preto	0-35	6,2-5,6	-	0,00-0,60	0,0-19,67	86,79-36,84		Rondônia	CARVALHO Fº e LEÃO (1976)
Una	-	4,9	-	0,9	34,6	-		Bahia	SANTANA et alii (1977)
Ituberá	-	4,9	-	0,7	29,4	-		Bahia	SANTANA et alii (1977)
Uruçuca	-	5,2	-	0,5	15,9	-		Bahia	SANTANA et alii (1977)
Camamu	-	4,7	-	2,3	57,9	-		Bahia	SANTANA et alii (1977)
Podzólico Lins Marília var. Marília	-	4,9**	-	1,9***	-	53		São Paulo	BATAGLIA et alii (1987)
Podzólico Lins Marília var. Lins	-	4,7**	-	2,2***	-	42		São Paulo	BATAGLIA et alii (1987)
Latossolo Roxo	-	5,2**	-	2,3***	-	61		São Paulo	BATAGLIA et alii (1987)
Rengan (Metisol)	0-15	-	3,66	3,31	-	5,2		Malásia	LAU (1979)
Munchong (Oxisol)	0-15	-	3,82	3,46	-	4,5		Malásia	LAU (1979)
Holyroud (Inceptisol)	0-15	-	4,24	2,61	-	9,35		Malásia	LAU (1979)

** pH em CaCl₂; *** Valores de H + Al (meq/100 cm³)

possibilidade de distribuição nas mais variadas condições, adaptando-se igualmente a solos distróficos e a solos eutróficos.

O presente trabalho foi realizado com os seguintes objetivos:

1. Estudar o desenvolvimento das plântulas submetidas aos níveis de alumínio;
2. Avaliar os efeitos do alumínio sobre a composição química das diversas partes da plântula;
3. Detectar a sintomatologia do excesso de alumínio em seringueira;
4. Determinar se a seringueira é tolerante ou não a níveis crescentes de alumínio disponível.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A inexistência de esclarecimentos na literatura no que diz respeito a interação "seringueira x alumínio" conduziu a pesquisa à aplicação do cultivo com alternância de submissão da planta a solução nutritiva (sem alumínio) e a solução de alumínio (sem nutrientes), na tentativa de reproduzir as reais condições naturais da maioria dos solos dos trópicos onde se cultiva a *Hevea*.

O estudo das consequências da presença ou ausência de alumínio no substrato sobre o desenvolvimento da seringueira, tem sido conduzido por diferentes métodos experimentais.

Dentre eles têm havido o emprego generalizado os experimentos em que se usa ao mesmo tempo, solução nutritiva completa com variação das doses de alumínio, quer em solo, quer em solução nutritiva com arejamento, conforme os trabalhos conduzidos por SANTANA *et alii* (1977), CARVALHO *et alii* (1985) e LAU (1979).

No Sul do Estado da Bahia, região tradicional de cultivo da seringueira SANTANA *et alii* (1977) procederam

a um levantamento da fertilidade natural de 3.457 amostras de solos coletadas em plantações com idade entre 1 e 19 anos, em 16 municípios. A área amostrada correspondeu a 9.881 ha.

O estudo visou a avaliar, através dos componentes de acidez dos solos, o grau de tolerância da seringueira a excesso de alumínio.

Os resultados mostraram valores de índice de pH que variaram entre 4,4 a 5,2; a porcentagem de saturação de alumínio variou entre 11,1 a 57,9 e os valores de alumínio trocável apresentaram uma variação entre 0,3 a 2,3 meq/100ml (correspondendo aproximadamente a 2,7 a 20,7 ppm de alumínio trocável).

Neste trabalho SANTANA *et alii* (1977) concluíram que além de se adaptar a solos pobres, a seringueira é capaz de suportar elevada saturação de alumínio no complexo coloidal e que, nestas condições, o uso de calcário dolomítico ou de outra fonte de cálcio e magnésio provavelmente deva ser recomendado apenas como suprimento desses nutrientes, em caso de comprovada deficiência na planta ou de níveis muito baixos no solo.

Para avaliar o comportamento de plantas de seringueira submetidas a doses crescentes de alumínio SANTANA *et alii* (1977) conduziram um experimento em areia, usando solução nutritiva segundo HOAGLAND e ARNON (1950), sendo que os tratamentos foram 0, 8, 16, 32, 64, 128 e 256 ppm de alumínio.

As soluções foram renovadas quinzenalmente e aos 116 dias os efeitos do alumínio foram avaliados pelos valores de peso da matéria fresca produzida pelas seringueiras. SANTANA et alii (1977) discutem que ao invés de efeitos prejudiciais, as doses de 8 - 32 ppm de alumínio aparentemente estimularam o crescimento das plantas. Contudo, ressalvam ser possível que a presença de outros íons em concentrações elevadas na solução nutritiva de HOAGLAND e ARNON (1950) além do uso extra de EDTA quelato de ferro possam ter diminuído a ação do alumínio, transformando-o em forma inativa.

Por outro lado, os dados apresentados mostram que houve um incremento de aproximadamente 13 gramas de peso de matéria fresca quando a concentração de alumínio variou de 0 - 8 ppm. Quando a mesma aumentou de 8 ppm para 16 ppm observou-se uma redução na taxa de incremento da matéria fresca de apenas 3,5 gramas e, quando a concentração de alumínio na solução aumentou de 32ppm para 64ppm ocorreu um decréscimo de 8,5 gramas no peso da matéria fresca.

Plantas de seringueira, oriundas de sementes clonais ilegítimas foram usadas por CARVALHO et alii (1985) quando apresentavam as folhas do primeiro fluxo completamente maduras e foram transplantadas para solução nutritiva de BOLLE-JONES (1957), onde permaneceram por quatro semanas com arejamento constante.

Após esse período as plântulas foram submetidas a cinco doses de alumínio 0, 10, 20, 40, e 80 ppm de alu

mínio, fornecido como cloreto de alumínio, para comparação dos efeitos desse elemento no desenvolvimento, na composição mineral, na absorção e translocação de macronutrientes e de micronutrientes na seringueira.

O crescimento das plantas foi avaliado em função do comprimento do caule tomado do coleto até o ápice, do diâmetro do caule medido a 5 cm do colo e da produção de matéria seca. Foram determinados assim, os teores e as quantidades de macronutrientes e de micronutrientes nas diferentes partes da plantas.

Embora os resultados não indiquem que o alumínio tenha exercido influência no desenvolvimento radial do caule, a presença desse elemento foi capaz de estimular o crescimento em altura e a produção de matéria seca, nas diversas partes da planta, sendo os efeitos mais evidentes na dose de 20 ppm de alumínio.

Os resultados obtidos indicam que a adição de alumínio provocou uma redução nas concentrações de N, P e Ca no caule e de Ca na raiz.

Os teores dos micronutrientes boro e zinco foram afetados negativamente na raiz, quando comparados com o tratamento na ausência de alumínio, enquanto o teor de cobre nesse órgão, foi beneficiado pela presença daquele elemento. O teor de boro nas folhas sofreu uma redução com o aumento da dose de alumínio aplicado.

Na ausência de alumínio as absorções de fósforo pelas raízes, de potássio pelo caule e de cálcio e magnê-

sio pelas folhas, foram inferiores às dos tratamentos que receberam esse elemento em doses crescentes.

Quanto a micronutrientes, a absorção de boro foi prejudicada na dose mais elevada de alumínio (80 ppm) na raiz, enquanto que nas folhas foi a ausência do alumínio quem deprimiu a absorção do nutriente. O acúmulo de boro foi estimulado com o aumento da concentração de alumínio, destacando-se a dose de 20 ppm como a mais benéfica. Efeitos benéficos de alumínio são também registrados na absorção de cobre no caule e nas folhas e para o acúmulo, destacando-se a dose de 20 ppm para essas variáveis. O acúmulo de ferro foi beneficiado na dose de 20 ppm de alumínio, enquanto que o manganês e o zinco na ausência desse elemento, foram absorvidos em menores quantidades nas folhas quando comparados com os tratamentos em presença de alumínio.

No que diz respeito à translocação constataram que a aplicação de alumínio provocou redução na translocação de fósforo.

A aplicação de alumínio provocou decréscimo nas translocações de manganês e cobre.

Os efeitos de tratamentos envolvendo doses de potássio (0,0; 36,6; 71,2 e 106,8 mmol K_2SO_4 /vaso) e de alumínio (0,0; 32,2; 64,4 e 128,8 mmol $Al_2(SO_4)_3$ aplicados em solos, sobre o crescimento e absorção de nutrientes por plantas de seringueira foram estudados na Malásia por LAU (1979), que utilizou três solos cauliniticos ricos em gibsita e goetita, com altos valores de alumínio trocável. Maiores deta

lhês sobre esses solos são encontrados em LAU (1975), CHAN (1977), SOONG e LAU (1977), LAU (1979), LAU (1979), SOONG (1979), ZAINOL (1979) e ZACARIA e GAMMON (1979).

Para comparação dos efeitos dos tratamentos acima LAU (1979) transplantou, de viveiro para vasos com capacidade para 45 kg de solo, 5 plantas de clone Tjir 1 com 6 meses de idade. A cada 30 dias após o transplântio foi eliminada uma planta por vaso, permanecendo até o final do experimento 3 plantas por vaso. A adubação básica foi de N, P e Mg, contendo 10 g de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 57g de rocha fosfatada (36% de P_2O_5 e 50% de CaO), e 7 g de MgSO_4 , respectivamente. Após 16 meses as plantas foram coletadas e separadas em folhas do primeiro verticilo, folhas do segundo verticilo, caule, pecíolos, raízes e folhas senescentes. Foram feitas determinações químicas para P, K, Ca, Mg, Mn e Al. Os resultados mostraram que com o aumento do nível de alumínio aplicado, houve uma redução na produção de matéria seca das plantas em dois dos três solos estudados.

O crescimento das plantas é determinado pelo peso da matéria seca e diâmetro do caule tomado a 6 cm do colo não foram afetados pela interação potássio x alumínio, nos solos estudados.

A presença do alumínio nos substratos reduziu os teores totais de P, K, Ca, Mg e Mn e aumentou os de alumínio nas plantas.

O efeito adverso do alumínio na absorção de fósforo foi atribuído à fixação deste nutriente na forma de Al - P, forma pouco disponível. Adicionalmente, o decréscimo na absorção de potássio, cálcio, magnésio com o aumento das doses de alumínio foi explicada como sendo devida a efeitos antagônicos entre o alumínio e os nutrientes, tanto no solo quanto na planta.

Os valores médios do índice de pH na solução do solo em equilíbrio não foram afetados pela aplicação do alumínio, sugerindo, segundo o autor, que os solos estudados tinham alto poder tampão. Uma possível explicação para o fato, segundo ainda observações do autor, seria a interação da rocha fosfatada rica em cálcio e fósforo, com o sulfato de alumínio, formando compostos insolúveis e desta maneira reduzindo a quantidade de alumínio solúvel em água (minimização dos efeitos tóxicos do alumínio) e a do fósforo que seria absorvido pelas plantas (maximização da adsorção de fosfato). Uma outra explicação seria a complexação do alumínio pela matéria orgânica, formando compostos insolúveis em água.

Pelo exposto, observa-se que, embora as condições geralmente contrastantes, em termos de metodologia de pesquisa, os pesquisadores têm chegado a um denominador comum, objetivando qualificar a seringueira quanto a seu grau de tolerância a alumínio. Os trabalhos têm mostrado que a planta é capaz de sobreviver em solos ricos em alumínio livre. Por outro lado, não tem sido preocupação a extensão dos danos que o alumínio pode causar à planta.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas sementes clonais ilegítimas de seringueira (*Hevea* spp.), coletadas em uma área de plantio comercial de pés francos no município de Poloni, no planalto paulista.

As sementes foram postas a germinar em substrato de vermiculita, em caixas com 20 cm de profundidade, em casa de vegetação do Departamento de Química da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", em Piracicaba, SP.

O substrato foi umedecido diariamente e a emergência das plantas teve início no oitavo dia após a semeadura. Foram descartadas as mudas que emergiram nos 14 dias após o início da germinação.

As plantas selecionadas passaram por um período de pré-crescimento na vermiculita, até que aos quarenta e dois dias, o primeiro fluxo de folhas atingisse a completa maturação com a gema apical em estado de dormência.

As plantas foram coletadas do substrato de vermiculita, lavadas as raízes com jato de água de torneira e em seguida imersas em água desmineralizada para completa

limpeza. Após esse procedimento o material foi selecionado procurando-se uniformizar ao máximo o estande através da escolha de plântulas que apresentassem parte aérea e sistema radicular nas mesmas condições de crescimento. Nestas circunstâncias, as plantas foram transferidas para vasos com capacidade para 8 litros com solução nutritiva segundo BOLLE-JONES (1957), diluída para duas vezes em água desmineralizada, onde permaneceram por 4 semanas com arejamento constante. A solução foi renovada a cada 2 semanas. Após este período de aclimação as raízes foram lavadas com jato de água de torneira e imersas em água desmineralizada. Só então o material foi submetido aos tratamentos de 0, 5, 10, 15, 20 e 25 ppm de alumínio, dispostos em delineamento experimental inteiramente casualizado com 4 repetições.

A solução estoque de alumínio foi preparada a partir de folhas de alumínio dissolvidas em solução de HCl N.

Nesta fase as plantas passaram vinte e quatro horas na solução nutritiva (sem alumínio) e vinte e quatro horas nas soluções de alumínio correspondentes aos tratamentos acima. Antes da transferência de um substrato para o outro, as raízes foram lavadas com jato de água de torneira e imersas em água desmineralizada para completa limpeza. Este período durou de 13/08/1985 a 18/11/1985 e as soluções (nutritiva e de alumínio) foram renovadas semanalmente. O índice de pH da solução nutritiva variou entre 4,0 e 5,0.

Aos noventa e cinco dias após a instalação as plantas foram coletadas. Feita a colheita, as plantas foram separadas em folhas do último verticilo, folhas dos verticilos inferiores, caules e raízes, sendo então lavadas, cada parte individualmente com água de torneira e quatro vezes com água desmineralizada. As diferentes partes de cada planta isoladamente, foram acondicionadas em saco de papel e colocadas em estufa de circulação forçada com temperatura de 60°C - 70°C por cerca de 72 horas consecutivas. Depois de seco o material foi pesado, obtendo-se assim o peso da matéria seca para cada parte da planta. Posteriormente o material foi moído para determinações químicas de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn e Zn, segundo técnica descrita em SARRUGE e HAAG (1974). As concentrações de alumínio foram determinadas segundo PERKIN-ELMER (1976).

O efeito dos tratamentos foi medido através do crescimento das plantas, tendo por base a altura, tomada a partir do coleto até a gema apical, o diâmetro do caule a 5 cm do colo, a produção de matéria seca, a concentração e o acúmulo de alumínio, de macronutrientes e de micronutrientes nas diferentes partes da planta.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. ALTURA DAS PLANTAS, DIÂMETRO DO CAULE E PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA

Os dados obtidos, assinalados na Tabela 2, caracterizam a influência dos tratamentos no desenvolvimento das plantas, refletindo seus efeitos diretamente no comprimento e diâmetro do caule e na produção de matéria seca.

Percebe-se que houve respostas aos tratamentos para todas as variáveis. Verifica-se que na ausência de alumínio ocorre um melhor crescimento das plantas, determinado pelas medidas de altura, tomada do coleto ao ápice e do diâmetro do caule, tomado a 5 cm do colo, enquanto nota-se uma redução nesses parâmetros à medida que aumentam as doses de alumínio. Os resultados divergem daqueles encontrados por SANTANA *et alii* (1977), LAU (1979) e CARVALHO *et alii* (1985), que trabalharam com seringueira em solução nutritiva.

Uma justificativa para esta ocorrência é dada pelo fato de que no presente experimento, as soluções nu-

Tabela 2. Influência das doses de alumínio sobre a altura das plântulas (AP), diâmetro do caule (DC) e pesos da matéria seca das folhas do último verticilo (PUV), das folhas dos verticilos inferiores (PVI), do caule (PC), das raízes (PR) e total (PT).

Doses de Al ⁺³ (ppm)	AP (cm)	DC (cm)	PUV (g/pl)	PVI (g/pl)	PC (g/pl)	PR (g/pl)	PT (g/pl)
0	107,5a*	0,89a	7,10a	5,42a	6,80a	6,45abc	25,77a
5	88,0ab	0,78ab	5,38ab	4,52ab	7,75a	7,27ab	24,93a
10	84,5ab	0,67ab	5,13ab	4,00b	8,30a	7,88a	25,30a
15	75,0b	0,64b	4,68b	3,70b	7,50a	6,97ab	22,85a
20	69,5b	0,63b	3,88b	-	4,87a	4,58bc	13,32b
25	61,5b	0,63b	3,37b	-	4,58a	3,40c	11,35b
Tukey (5%)	31,8	0,22	2,05	1,42	4,07	3,20	6,69
C.V. (%)	17,45	14,15	18,85	15,30	27,21	23,38	14,44

* Médias seguidas de letras não comuns nas colunas representam diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade.

tritativa e de concentrações de alumínio foram renovadas semanalmente. Contudo, as plantas submetidas a níveis crescentes de alumínio passavam vinte e quatro horas nas respectivas soluções. Então, efetivamente estas eram renovadas a cada quatro dias, significando um fluxo contínuo deste elemento. A técnica usada reflete as reais condições de cultivo da seringueira, especialmente na Amazônia, onde não é usado qualquer procedimento para amenizar possíveis problemas causados por alumínio ou por suas interações, a não ser o aproveitamento passageiro e quase sempre danoso, induzindo desordem nutricional, resultante da queima da floresta recém desmatada, que antecede a implantação dos seringais de cultivo. Deste modo, é assegurado às raízes um maior acesso aos elementos fornecidos, com menor probabilidade de ocorrência de interações entre o alumínio e os nutrientes do que nos métodos tradicionalmente usados, garantindo assim, maior eficiência nos seus efeitos, além de outras causas que possam ter ocorrido para que esta situação se verificasse.

Observou-se que ocorreu uma queda acentuada na produção de matéria seca quando o nível de alumínio aumentou de 0,0 ppm para 25 ppm, o que parcialmente está de acordo com os resultados observados por LAU (1979), que utilizou três solos cauliníticos da Malásia, ricos em gibsitita e goetita, por isso mesmo apresentando altos valores de alumínio trocável, como é o caso do Inceptisol, com valor de alumínio trocável da ordem de 2,61 meq/100 g de solo, do Ultisol apresentando 3,31 meq/100 g de solo de alumínio trocá

vel e do Oxisol com 3,46 meq/100 g de solo de alumínio trocável.

Ainda que os valores dos coeficientes de variação apresentados na Tabela 2 pareçam relativamente altos, o que é justificável pela alta variabilidade genética da seringueira, especialmente em se tratando de material multiplicado via sexuada, vê-se que concentrações de alumínio na solução em níveis superiores a 10 ppm causou sérios prejuízos ao desenvolvimento das plântulas

A fim de pormenorizar o estudo do desenvolvimento das plantas efetuou-se a análise de regressão com os desdobramentos dos graus de liberdade de tratamentos e, para altura, registrada em função das doses de alumínio, a equação que melhor se ajustou foi a linear, apresentada juntamente com a reta correspondente, na Figura 1a, onde visualiza-se que o alumínio afetou drasticamente essa variável. Observa-se os efeitos quadráticos de doses de alumínio no desenvolvimento das plantas em diâmetro do caule e na produção de matéria seca, assinaladas nas Figuras 1b, 2a, 2b, 2c, 2d e 2e, e as respectivas equações, mostrando que, enquanto para o diâmetro do caule ocorreu uma queda abrupta com o aumento da concentração de alumínio de 0 ppm para 25 ppm de alumínio, para produção de matéria seca total, na Figura 2e, a limitação só é sensível a partir da dose de 10 ppm de alumínio, o que sugere que o elemento em doses baixas pode, de algum modo favorecer uma melhor formação da planta.

Embora o alumínio não seja considerado um ele

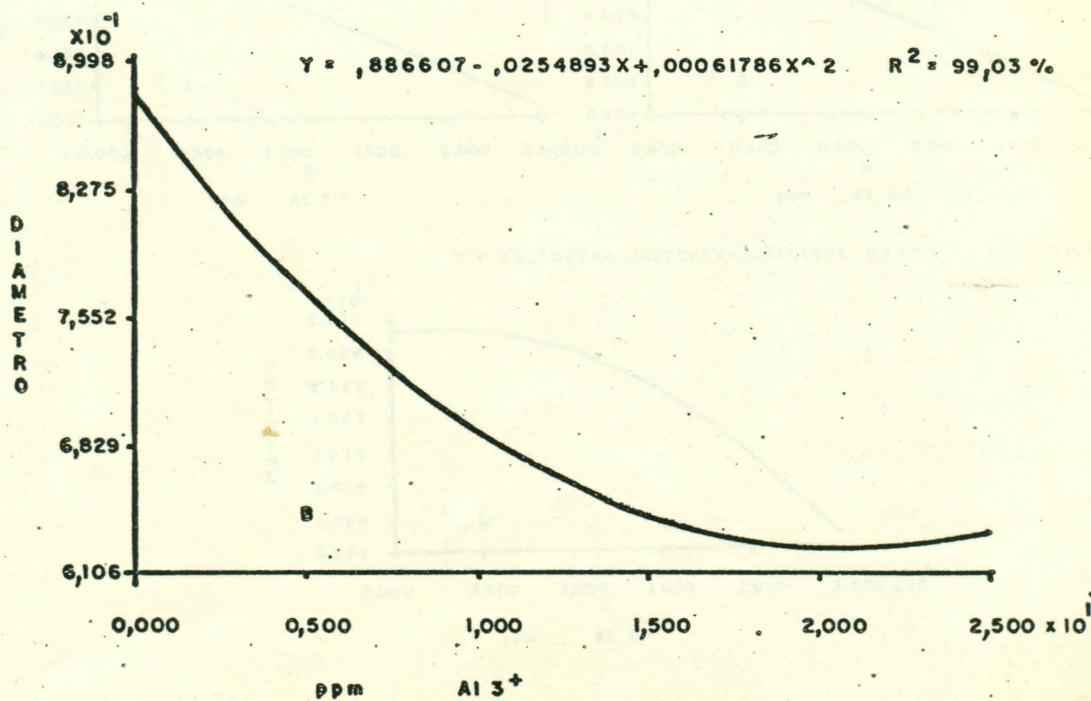
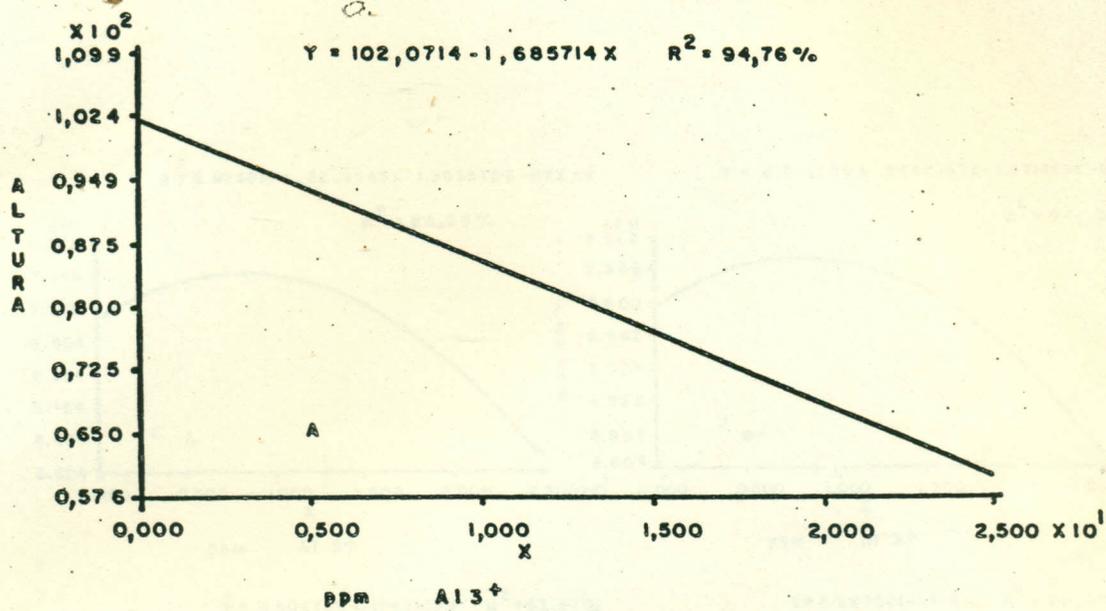


FIG. 1 - INFLUÊNCIA DAS DOSES DE ALUMÍNIO SOBRE : A - ALTURA DAS PLÂNTULAS E B - DIÂMETRO DO CAULE.

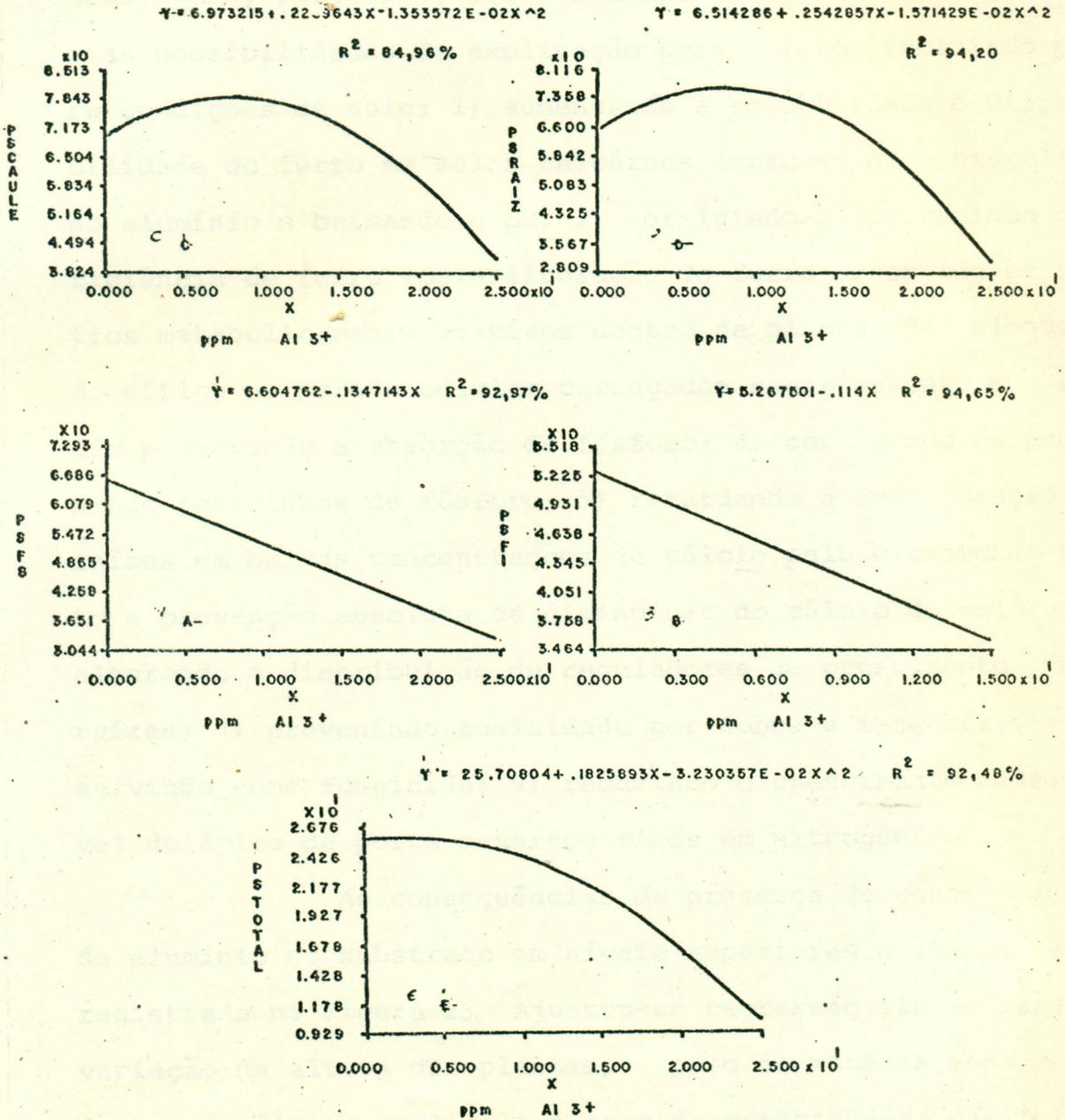


FIG.: 2- DISTRIBUIÇÃO DA MATÉRIA SECA ENTRE: A- FOLHAS DO ÚLTIMO VERTICILO, B- FOLHAS DOS VERTICILOS INFERIORES, C- CAULE E D- RAÍZES E E- PRODUÇÃO TOTAL DE MATÉRIA SECA, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE ALUMÍNIO.

mento essencial e, ainda que se desconheça os mecanismos pelos quais em baixas concentrações ele possa algumas vezes induzir um aumento no crescimento ou produzir outros efeitos desejáveis, FOY (1974, 1984) e MARSCHNER (1986) discutem várias possibilidades de explicação para o fato, incluindo para condições de solo: 1) aumentando a solubilidade e disponibilidade do ferro em solos calcáreos (através da hidrólise do alumínio e baixando o pH; 2) corrigindo ou prevenindo deficiência de ferro (pela liberação do ferro adsorvido em sítios metabolicamente inativos dentro da planta; 3) bloqueando sítios na parede celular carregados negativamente e assim promovendo a absorção de fósforo; 4) corrigindo ou prevenindo toxicidade de fósforo; 5) retardando a deterioração das raízes em baixas concentrações de cálcio pelo crescimento lento e prevenção absoluta da diminuição do cálcio do meio; 6) alterando a distribuição de reguladores de crescimento nas raízes; 7) prevenindo toxicidade por cobre e manganês; 8) servindo como fungicida; 9) reduzindo o crescimento indesejável do ápice de porta-enxertos ricos em nitrogênio.

As consequências da presença de concentrações de alumínio no substrato em níveis superiores a 10 ppm está registrada na Figura 23. Ajustou-se regressão linear para a variação na altura das plantas, peso da matéria seca das folhas do último verticilo e peso da matéria seca das folhas dos verticilos inferiores, sendo representada juntamente com as retas correspondentes nas Figuras 1a, 2a e 2b. Por outro lado, a equação de regressão que melhor se ajustou à

variação do diâmetro do caule, peso da matéria seca do caule, peso da matéria seca de raiz e peso da matéria seca total em função das doses de alumínio foi a quadrática, assinada, juntamente com as curvas correspondentes, nas Figuras 1b, 2c, 2d e 2e. Pela Figura 1b percebe-se que o alumínio limita o desenvolvimento radial das plântulas e que este prejuízo alcançou o seu máximo na dose de 20 ppm desse elemento, quando o ponto de mínimo foi de 0,62 cm, e isto importa um prejuízo de cerca de 40% em relação às plântulas que se desenvolveram na ausência de alumínio.

4.2. ALUMÍNIO

4.2.1. Concentração

A concentração de alumínio, com base no peso da matéria seca, em função das doses desse elemento é mostrada na Tabela 3. Nota-se que ocorreu uma variação na concentração em função dos tratamentos, para todas as variáveis estudadas, e que, mesmo na ausência de alumínio houve uma considerável concentração desse elemento nas plantas. Uma explicação plausível para o fato é que as próprias sementes continham cerca de 14 ppm, conforme observações de HAAG*.

* HAAG, H.P. E.S.A. "Luiz de Queiroz", USP, Piracicaba, SP.
Comunicação pessoal, 1987.

Tabela 3. Influência das doses de alumínio na concentração e no acúmulo de alumínio no último verticilo (UV), nos verticilos inferiores (VI), no caule (C), nas raízes (R) e no acúmulo total (T), nas plântulas.

Doses de Al^{3+} (ppm)	Concentração de alumínio (ppm)				Acúmulo de alumínio (ug/planta)				
	UV	VI	C	R	UV	VI	C	R	T
0	93,15b	121,57b	76,60b	116,53b	662,82ab	657,92ab	542,80b	764,20b	2627,64c
5	102,69b	131,44b	83,98b	1017,57a	641,37ab	597,52b	559,05b	7345,55a	9143,50a
10	110,90ab	166,43b	149,90ab	389,99b	757,10a	663,30ab	1158,18ab	3159,85b	5438,68b
15	150,80ab	233,85a	198,85a	318,90b	890,10a	855,22a	1525,55a	2160,65b	5431,53b
20	156,62ab	-	139,32ab	265,20b	610,78ab	-	675,65b	1287,68b	2574,10c
25	199,55a	-	102,77b	239,35b	345,40b	-	460,33b	724,70b	1530,43b
Tukey (5%)	93,15	46,16	80,24	386,00	391,21	255,95	760,47	2817,65	2529,85
C.V. (%)	30,23	13,45	28,81	43,85	26,69	17,58	41,20	48,65	24,94

* Médias seguidas de letras não comuns representam diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade.

Por outro lado, MENGEL e KIRKBY (1982) explicam que usualmente plantas superiores contêm cerca de 200 ppm de alumínio na matéria seca. Observa-se ainda um aumento progressivo nas folhas do último verticilo, enquanto, a partir da dose de 20 ppm de alumínio na solução as folhas dos verticilos inferiores caíram rapidamente. Os dados mostram ainda que apesar de o tratamento correspondente a 5 ppm de alumínio ter apresentado o maior valor de concentração desse elemento na raiz, a translocação para a parte aérea foi prejudicada, quando comparada por exemplo com os tratamentos 10 ppm de alumínio ou 15 ppm de alumínio. Percebe-se ainda que a concentração nas folhas inferiores é maior do que aquela encontrada nas folhas superiores e que são elevadas as concentrações nas raízes.

Para plantas em geral, segundo FOY (1984), o excesso de alumínio interfere na divisão celular das raízes, aumenta a rigidez da parede celular pela ligação de pectinas, reduz a produção de DNA, diminui a respiração das raízes, interfere na ação das enzimas que governam a fosforilação de açúcares e precipitação de polissacarídeos da parede celular, além de perturbar a absorção, transporte e uso de vários nutrientes como P, K, Ca, Mg e Fe.

As considerações de MARSCHNER (1986) são no sentido de que os mecanismos fisiológicos dos efeitos tóxicos do alumínio sobre o crescimento das raízes ainda não estão completamente esclarecidos e cita Clarkson (1966) e Morimura *et alii* (1978) que descreveram a inibição da divisão ce

lular do meristema apical das raízes como um efeito primário do alumínio.

Ajustou-se regressão quadrática para todas as variáveis estudadas, sendo apresentada juntamente com a curva correspondente nas Figuras 3a, 3b, 3c e 3d, verificando-se que nas folhas do último verticilo ocorreu um ponto de máximo com 1925,5 ppm de concentração na dose de 13,6 ppm de alumínio na solução, acusando uma queda na concentração a partir deste ponto, como se observa na Figura 3a. Na Figura 3b percebe-se que a concentração de alumínio nas folhas dos verticilos inferiores aumentou com o incremento desse elemento na solução. No caule a concentração atingiu o ponto de máximo na concentração de alumínio na dose de 15 ppm de alumínio na solução, conforme é visto na Figura 3c. Não se ajustou nenhuma regressão para a variação da concentração de alumínio nas raízes, pois não houve diferenças significativas para este tipo de variação.

4.2.2. Acúmulo

As variações na quantidade total de alumínio e nas diversas partes das plantas em função das doses estudadas são apresentadas na Tabela 3. Detecta-se que o acúmulo total de alumínio pelas plantas alcançou níveis elevados, destacando-se as doses 5, 10 e 15 ppm de alumínio, acompanhando a concentração. GOODLAND (1971) propõe uma classificação geral para as plantas em relação ao alumínio, consi-

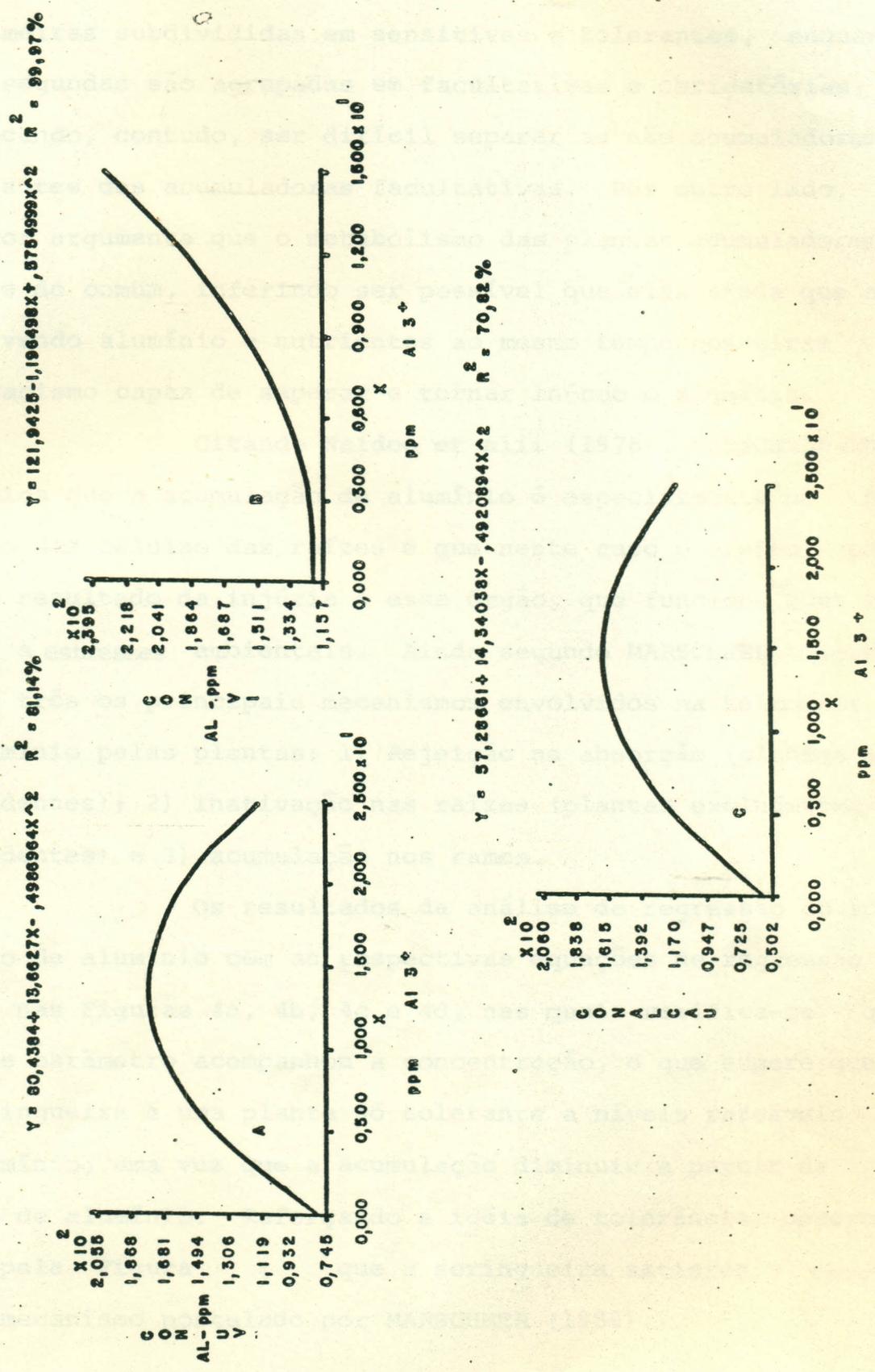


FIG.: 3 - CONCENTRAÇÃO DE ALUMÍNIO A - NAS FOLHAS DO ÚLTIMO VERTÍCULO B - NAS FOLHAS DOS VERTÍCULOS INFERIORES C - NO CAULE.

derando-as como não acumuladoras e acumuladoras, sendo as primeiras subdivididas em sensitivas e tolerantes, enquanto as segundas são agrupadas em facultativas e obrigatórias, explicando, contudo, ser difícil separar as não acumuladoras tolerantes das acumuladoras facultativas. Por outro lado, o autor argumenta que o metabolismo das plantas acumuladoras difere do comum, inferindo ser possível que elas ainda que absorvendo alumínio e nutrientes ao mesmo tempo possuam um mecanismo capaz de separar e tornar inócuo o alumínio.

Citando Naidoo *et alii* (1978), MARSCHNER (1986) indica que a acumulação de alumínio é especialmente no núcleo das células das raízes e que neste caso o efeito pode ser resultado da injúria a esse órgão, que funciona como sensor a estresses ambientais. Ainda segundo MARSCHNER (1986) são três os principais mecanismos envolvidos na tolerância a alumínio pelas plantas: 1) Rejeição na absorção (plantas excludentes); 2) inativação nas raízes (plantas excludentes/includentes) e 3) acumulação nos ramos.

Os resultados da análise de regressão do acúmulo de alumínio com as respectivas equações de regressão estão nas Figuras 4a, 4b, 4c e 4d, nas quais verifica-se que esse parâmetro acompanhou a concentração, o que sugere que a seringueira é uma planta só tolerante a níveis razoáveis de alumínio, uma vez que a acumulação diminuiu a partir de 10 ppm de alumínio. Reforçando a idéia de tolerância, observa-se pela Figura 4 que a seringueira satisfaz o terceiro mecanismo postulado por MARSCHNER (1986).

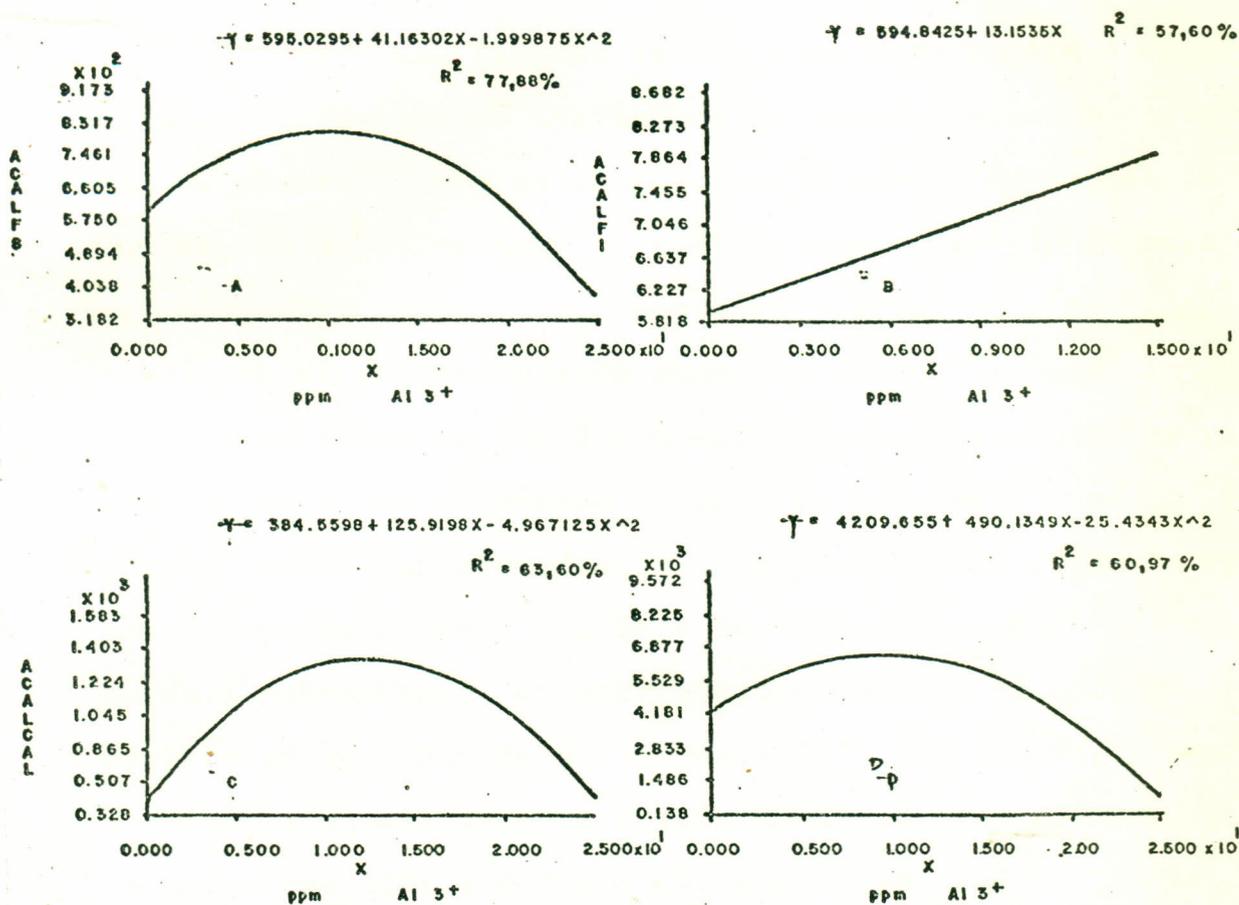


FIG. 4 - ACÚMULO DE ALUMÍNIO A - NAS FOLHAS DO ÚLTIMO VERTÍCULO B - NAS FOLHAS DOS VERTÍCULOS INFERIORES C - ACÚMULO TOTAL DE ALUMÍNIO NA PLANTA, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE ALUMÍNIO.

4.3. MACRONUTRIENTES

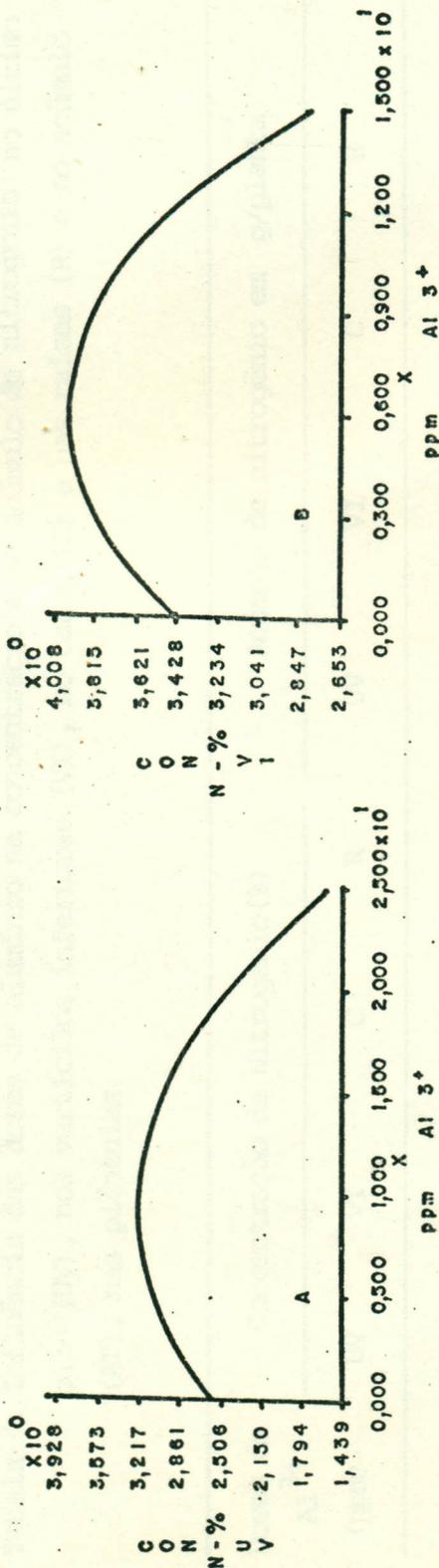
4.3.1. Nitrogênio

4.3.1.1. Concentração

Nas Figuras 5a, 5b e 5c e na Tabela 4 encontram-se os resultados analíticos da concentração de nitrogênio na planta, com as respectivas equações de regressão e indicações de diferenças significativas em função de seis doses de alumínio aplicadas. Registrou-se variação na concentração de nitrogênio quando aumentou a dose de alumínio aplicada, para todas as variáveis estudadas, exceto para as raízes. Ajustou-se regressão quadrática para esse tipo de variação, sendo apresentadas, juntamente com as curvas correspondentes nas Figuras 5a, 5b e 5c. Na Figura 5a, onde se estudou a concentração de nitrogênio no último verticilo, visualiza-se um ponto de máximo de 3,217% na dose de 10 ppm de alumínio a partir da qual inicia um decréscimo acentuado. Vale aqui ressaltar que a solução nutritiva usada continha N-NO_3^- e N-NH_4^+ e segundo FOY (1984), muitas plantas tolerantes a alumínio também toleram níveis de NH_4^+ que seriam tóxicos para outras plantas, podendo também essa tolerância ao alumínio ser caracterizada pela habilidade da planta em usar eficientemente o NO_3^- na presença de NH_4^+ . Este aspecto é também esclarecido por MENGEL e KIRKBY (1982) e MARSCHNER (1986). Para este último autor, plantas tolerantes a alumínio e que receberam somente NO_3^- como fonte de nitrogênio

$$Y = 2,597857 + ,1333557X - 7,007144E - 03X^2 \quad R^2 = 76,63\%$$

$$Y = 3,411625 + ,176325X - ,014325X^2 \quad R^2 = 87,35\%$$



$$Y = 1,867768 + ,0532625X - 2,948214E - 03X^2 \quad R^2 = 91,28\%$$

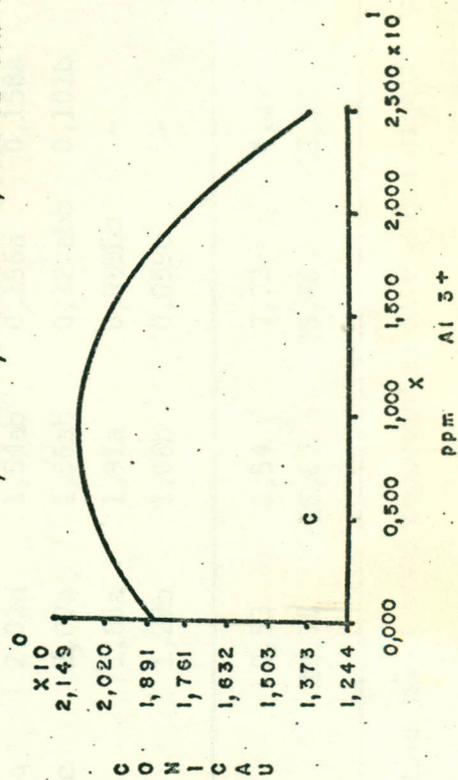


FIG.: 5 - CONCENTRAÇÃO DE NITROGÊNIO A - NAS FOLHAS DO ÚLTIMO VERTÍCULO B - NAS FOLHAS DOS VERTÍCULOS INFERIORES C - NO CAULE, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE ALUMÍNIO.

Tabela 4. Influência das doses de alumínio na concentração e no acúmulo de nitrogênio no último verticilo (UV), nos verticilos inferiores (VI), no caule (C) e nas raízes (R) e no acúmulo total (AT), nas plântulas.

Doses de Al ³⁺ (ppm)	Concentração de Nitrogênio(%)				Acúmulo de nitrogênio em g/planta				
	UV	VI	C	R	UV	VI	C	R	T
0	2,51bc	3,48b	1,93a	1,42ab	0,171a	0,187a	0,133ab	0,092ab	0,583a
5	3,00ab	3,71ab	1,98a	1,46ab	0,160ab	0,168a	0,153a	0,107ab	0,589a
10	3,81a	3,94a	2,02a	1,54ab	0,196a	0,158a	0,172a	0,122a	0,648a
15	2,62abc	2,71c	2,07a	1,56ab	0,122abc	0,101b	0,155a	0,191a	0,489a
20	2,28bc	-	1,85a	1,91a	0,089bc	-	0,094ab	0,087ab	0,269b
25	1,72c	-	1,29b	1,06b	0,059c	-	0,059b	0,043b	0,161b
Tukey (5%)	1,21	0,44	0,53	0,54	7,73	4,39	0,089	0,066	0,167
C.V. (%)	20,24	6,05	12,78	16,07	25,86	13,65	30,92	31,18	16,23

* Médias seguidas de letras não comuns representam diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade.

frequentemente apresentam um desenvolvimento pobre e desenvolvem clorose, o que seria causado ou por indução de deficiência de ferro ou por diminuição da atividade da enzima reductase de nitrato em algumas espécies. FOY (1984) adverte para a possibilidade de o excesso de alumínio reduzir sensivelmente a atividade da reductase de nitrato.

Pela Figura 5b percebe-se que o ponto de máxima concentração de nitrogênio nas folhas inferiores foi de 3,95% na dose de 6 ppm de alumínio. No caule, Figura 5c, a máxima concentração foi de 2,11% na dose de 10 ppm de alumínio, a partir da qual se observa uma queda na concentração. Não se ajustou nenhuma regressão para a variação da concentração de nitrogênio nas raízes, pois não houve diferenças significativas para este tipo de variação em função das doses de alumínio.

4.3.1.2. Acúmulo

A variação na quantidade de nitrogênio na planta é apresentada na Tabela 4 e Figuras 6a, 6b, 6c, 6d e 6e. Percebe-se que a absorção de nitrogênio pelas plantas sofreu influência das doses de alumínio, especialmente naquelas mais altas, em que a absorção foi sensivelmente prejudicada, à semelhança dos efeitos observados para a concentração. Estes resultados diferem daqueles encontrados por CARVALHO *et alii* (1985) que não detectaram diferenças para o acúmulo de nitrogênio. Nota-se na Figura 6e, onde se assinala o ajuste da

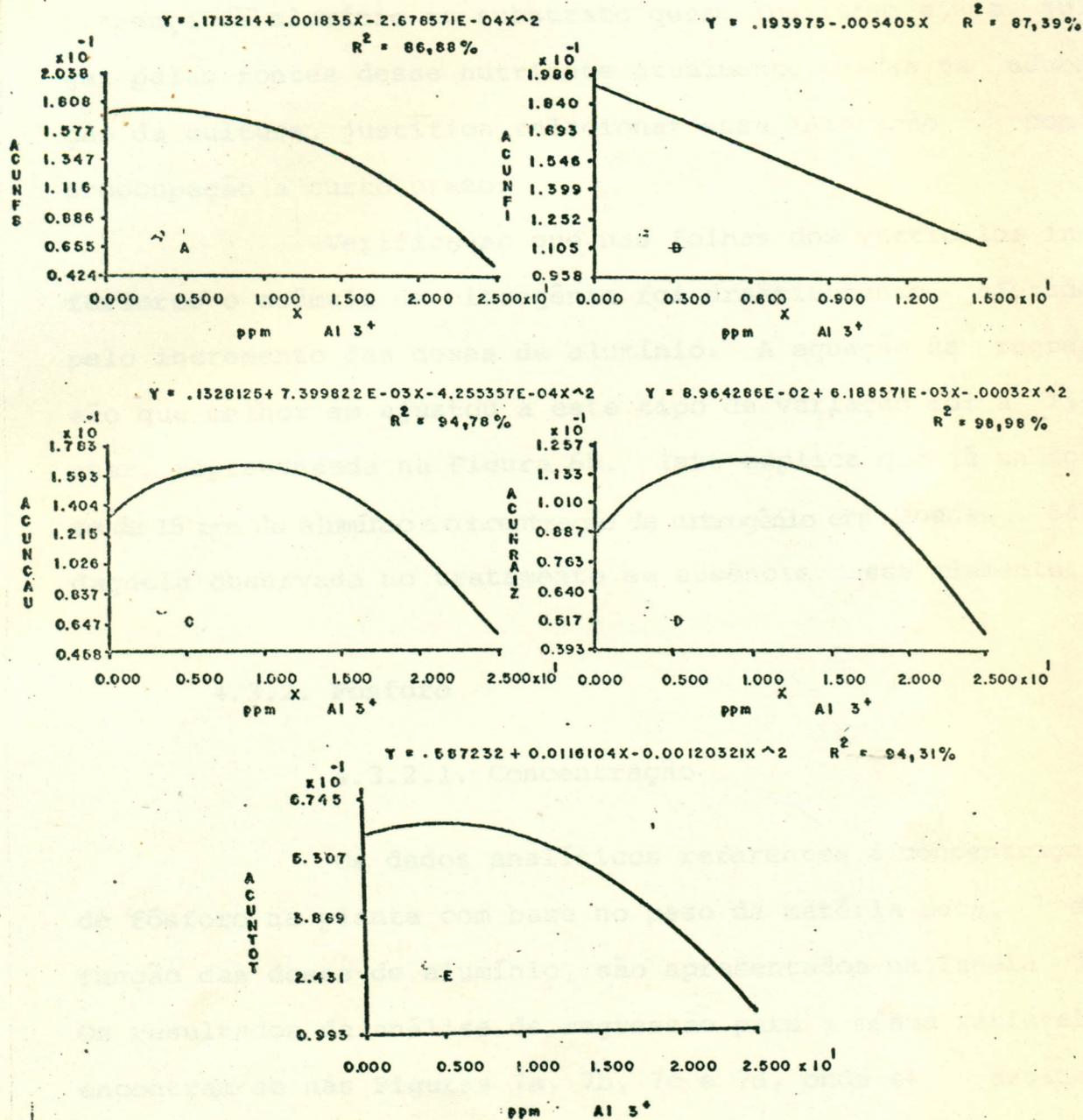


FIG. 16 - ACUMULO DE NITROGENIO A - NAS FOLHAS DO ULTIMO VERTICILLO B - NAS FOLHAS DOS VERTICILLOS INFERIORES C - NO CAULE D - NAS RAIZES E - ACUMULO TOTAL DE NITROGENIO NA PLANTA EM FUNÇÃO DAS DOSES DE ALUMINIO.

equação de regressão quadrática, que a medida que aumentou a dose de alumínio a partir de 10 ppm ocorreu um decréscimo no acúmulo de nitrogênio. As informações sobre o comportamento do nitrogênio na nutrição da seringueira em função da presença de alumínio no substrato quase inexistem e, a julgar pelas fontes desse nutriente atualmente usadas na adubação da cultura, justifica relacionar essa interação como preocupação a curto prazo.

Verifica-se que nas folhas dos verticilos inferiores o acúmulo de nitrogênio foi drasticamente afetado pelo incremento das doses de alumínio. A equação de regressão que melhor se ajustou a este tipo de variação foi a linear, representada na Figura 6b. Isto explica que já na dose de 15 ppm de alumínio a concentração de nitrogênio era apenas 54% daquela observada no tratamento em ausência desse elemento.

4.3.2. Fósforo

4.3.2.1. Concentração

Os dados analíticos referentes à concentração de fósforo na planta com base no peso da matéria seca, em função das doses de alumínio, são apresentados na Tabela 5. Os resultados da análise de regressão para a mesma variável, encontram-se nas Figuras 7a, 7b, 7c e 7d, onde se assinalam as respectivas equações de regressão.

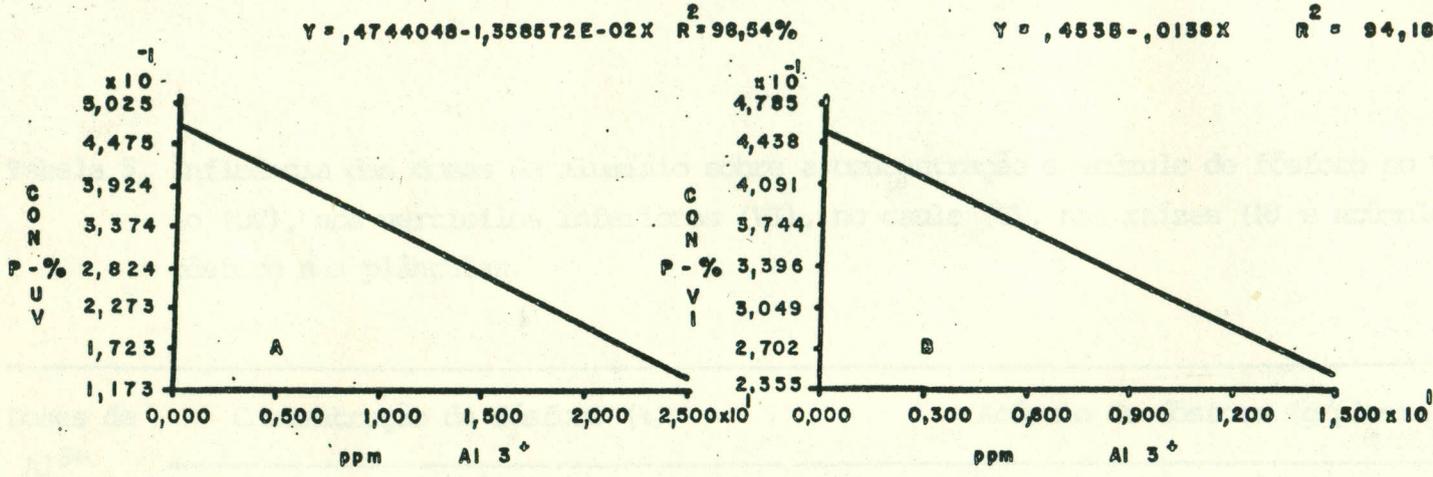
Percebe-se, através da Tabela 5 e das figuras acima mencionadas, que a concentração de fósforo na planta so

freu uma redução com o aumento da dose de alumínio no substrato. Este resultado concorda com aqueles encontrados por LAU (1979), que verificou efeito depressivo no teor de fósforo em plântulas do clone Tjir 1, quando as doses de alumínio aumentaram de Al_0 para Al_3 . Do mesmo modo, CARVALHO *et alii* (1985) encontraram evidências de limitação na concentração de fósforo em plântulas de seringueira, ocasionada por aumento das doses de alumínio na solução nutritiva. Este aspecto sugere que a tolerância da seringueira a alumínio está intimamente relacionada com a habilidade da planta em usar eficientemente o fósforo na presença daquele elemento.

Para MENGEL e KIRKBY (1982), na célula da planta o alumínio pode interferir no metabolismo do fósforo pela formação de complexos estáveis de Al-P, além de afetar as atividades das enzimas fosfoquinases e ATP-ases e de funcionar como agente fortemente complexador dos fosfatos dos ácidos nucleicos, o que pode resultar na inibição da divisão celular, dando, em consequência, menor concentração do nutriente nas plantas.

As observações de FOY (1984) indicam que a presença do alumínio no ambiente que envolve as raízes pode reduzir de modo acentuado as concentrações de fósforo orgânico, de fósforo inorgânico e de fósforo total na planta. Uma comparação entre os dados registrados na Tabela 5 e aqueles mostrados por SHORROCKS (1979) evidencia que só a partir da presença de 20 ppm de alumínio na solução, as plântulas apresentaram valores de concentração de fósforo no último verticilo, que indicam deficiência desse nutriente.

FIG. 7 - CONCENTRAÇÃO DE FOSFORO A - NAS FOLHAS DOS VERTICILOS INFERIORES FUNÇÃO DAS DOSES DE ALUMINIO.



FOLHAS DO ÚLTIMO VERTICÍLO B - NAS C - NO CAULE D - NAS RAIZES, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE ALUMINIO.

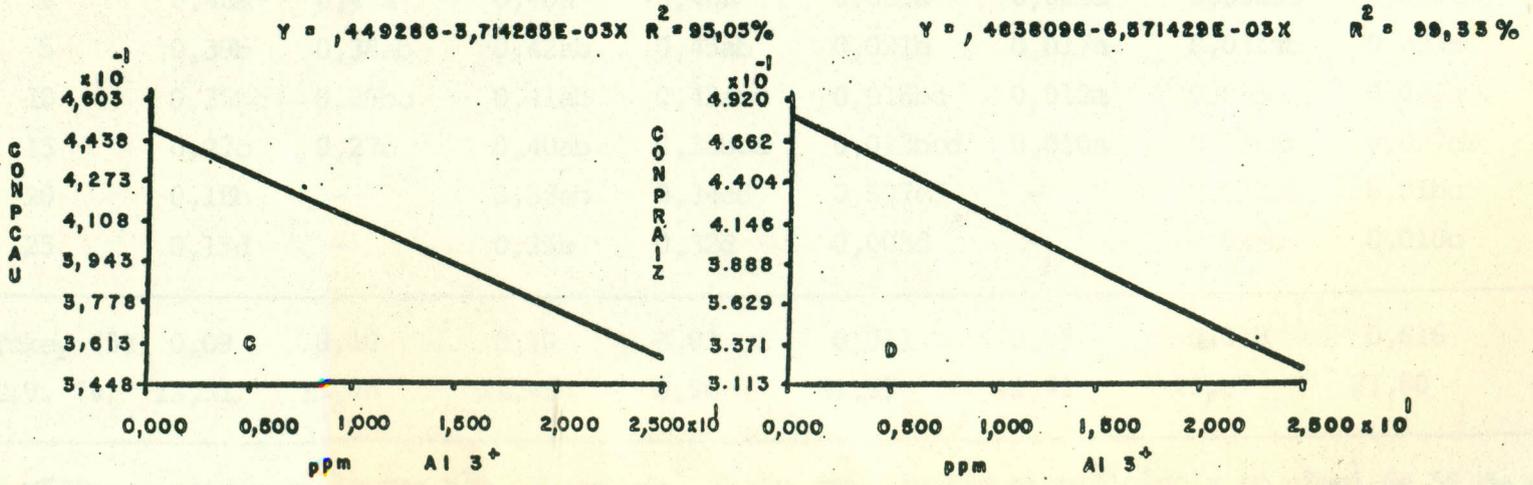


Tabela 5. Influência das doses de alumínio sobre a concentração e acúmulo de fósforo no último verticilo (UV), nos verticilos inferiores (VI), no caule (C), nas raízes (R) e acúmulo total (T) de fósforo nas plântulas.

Doses de Al^{3+} (ppm)	Concentração de fósforo (%)				Acúmulo de fósforo (g/planta)				
	UV	VI	C	R	UV	VI	C	R	T
0	0,48a*	0,47a	0,45a	0,48a	0,035a	0,085a	0,032ab	0,031ab	0,183a
5	0,39b	0,38ab	0,42ab	0,45ab	0,021b	0,017a	0,031ab	0,033a	0,102ab
10	0,35bc	0,29bc	0,41ab	0,42abc	0,018bc	0,012a	0,035a	0,033a	0,098ab
15	0,27c	0,27c	0,40ab	0,38bcd	0,013bcd	0,010a	0,030ab	0,027ab	0,076b
20	0,18b	-	0,38ab	0,34cd	0,007cd	-	0,018ab	0,01bc	0,041b
25	0,15d	-	0,35b	0,32d	0,005d	-	0,016b	0,010c	0,032b
Tukey (5%)	0,09	0,10	0,10	0,03	0,011	0,08	0,018	0,016	0,092
C.V. (%)	13,31	13,78	11,45	8,96	31,55	22,43	29,87	27,80	46,12

* Médias seguidas de letras não comuns nas colunas representam significância ao nível de 5% de probabilidade.

4.3.2.2. Acúmulo

A variação na quantidade de fósforo na planta em função das doses de alumínio é apresentada na Tabela 5. Vê-se que o aumento da concentração de alumínio na solução causou um decréscimo na absorção de fósforo e isto permite inferir que em doses superiores a 10 ppm de alumínio na solução este elemento pode interromper o desenvolvimento de plântulas de seringueira, por deficiência de fósforo.

A equação de regressão que melhor se ajustou à variação da quantidade de fósforo em função das doses de alumínio para folhas do último verticilo e acúmulo total na planta foi a linear, indicada juntamente com as retas correspondentes nas Figuras 8a e 8e, nas quais percebe-se que o alumínio contribuiu para uma queda acentuada do acúmulo de fósforo e isto caracteriza o efeito de suas interações. Para a variação na quantidade de fósforo acumulada nas folhas dos verticilos inferiores, no caule e nas raízes a equação de regressão que melhor se ajustou foi a quadrática, indicada juntamente com as curvas correspondentes nas Figuras 8b, 8c e 8d.

Uma explicação para este fato poderia ser dada pelas considerações de ADAMS (1980 / 1984), segundo as quais, nem todo alumínio absorvido torna-se adsorvido e/ou precipitado nas raízes ou próximo delas. O mesmo autor argumenta que tanto a tolerância como o acúmulo de alumínio e suas interações com o fósforo na planta sugerem que

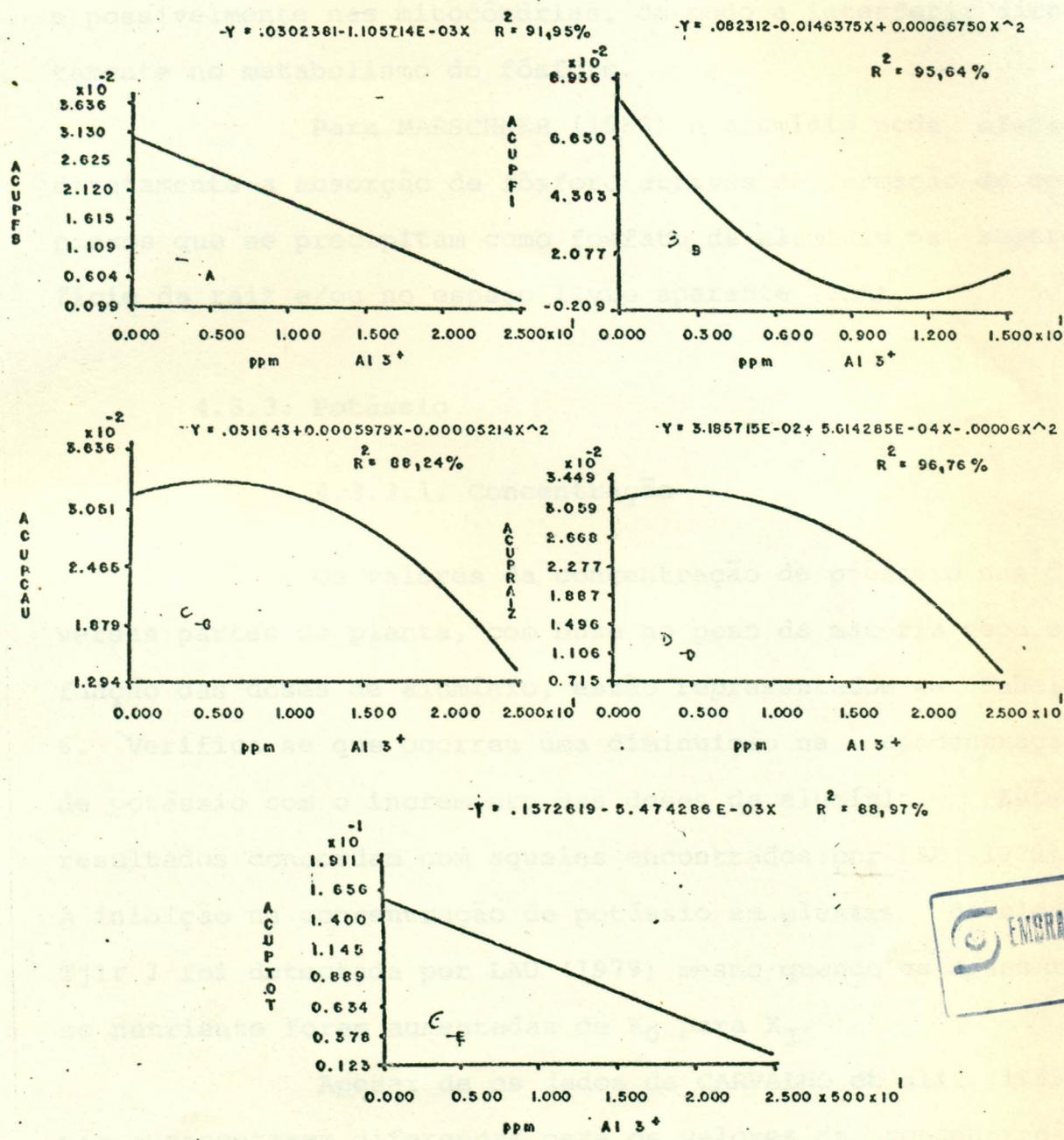


FIG.: 8 - ACÚMULO DE FÓSFORO A - NAS FOLHAS DO ÚLTIMO VERTÍCILO B - NAS FOLHAS DOS VERTÍCILOS INFERIORES C - NO CAULE D - NAS RAÍZES E - ACUMULO TOTAL DE FÓSFORO NA PLANTA, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE ALUMÍNIO.

ácidos orgânicos atuam como quelatantes, evitando a precipitação do alumínio, que assim se moverá livremente na célula e possivelmente nas mitocôndrias, de modo a interferir diretamente no metabolismo do fósforo.

Para MARSCHNER (1986) o alumínio pode afetar diretamente a absorção de fósforo através de formação de complexos que se precipitam como fosfato de alumínio na superfície da raiz e/ou no espaço livre aparente (ELA).

4.3.3. Potássio

4.3.3.1. Concentração

Os valores da concentração de potássio nas diversas partes da planta, com base no peso da matéria seca, em função das doses de alumínio, estão representados na Tabela 6. Verifica-se que ocorreu uma diminuição na concentração de potássio com o incremento das doses de alumínio. Estes resultados concordam com aqueles encontrados por LAU (1979). A inibição na concentração de potássio em plantas do clone Tjir 1 foi detectada por LAU (1979) mesmo quando as doses desse nutriente foram aumentadas de K_0 para K_3 .

Apesar de os dados de CARVALHO *et alii* (1985) não apresentarem diferenças para os valores de concentração de potássio em função do alumínio, nota-se uma tendência de limitação daquela variável com o incremento do alumínio na solução.

Tabela 6. Influência das doses de alumínio sobre a concentração e acúmulo de potássio no último verticilo (UV), nos verticilos inferiores (VI), no caule (C), nas raízes (R) e acúmulo total (T) de potássio nas plântulas.

Doses de Al^{3+} (ppm)	Concentração de potássio (%)				Acúmulo de potássio (g/planta)				
	UV	VI	C	R	UV	VI	C	R	T
0	1,57a*	1,37a	1,06a	1,39a	0,086a	0,058a	0,072a	0,090a	0,306a
5	1,48ab	1,28a	0,91ab	1,21ab	0,079a	0,057a	0,068ab	0,085ab	0,291ab
10	1,37ab	1,17a	0,82ab	1,03abc	0,078a	0,047a	0,071a	0,083ab	0,279ab
15	1,33ab	1,12a	0,81ab	0,98abc	0,064a	0,042a	0,060abc	0,070abc	0,236b
20	1,22b	-	0,79ab	0,83bc	0,047a	-	0,039bc	0,039bc	0,124c
25	0,92c	-	0,75b	0,75c	0,030a	-	0,034c	0,026c	0,090c
Tukey (5%)	0,28	0,51	0,28	0,44	0,057	0,079	0,029	0,050	0,069
C.V. (%)	9,49	19,65	14,68	18,98	39,89	44,52	22,73	34,25	13,73

* Médias seguidas de letras não comuns nas colunas representam significâncias ao nível de 5% de probabilidade.

Ajustou-se a regressão linear para esse tipo de variação, estando apresentada, juntamente com a reta correspondente, nas Figuras 9a, 9b e 9c.

Informações sobre a interação alumínio-potássio são escassas, contudo, FOY (1984) argumenta que tolerância a alumínio tem sido associada a notável absorção de potássio. De fato, no presente experimento, a concentração de potássio só é reduzida drásticamente a partir da aplicação de 5 ppm de alumínio na solução, e isto concorda também com USHERWOOD (1982) quando sugere que em altos índices de saturação é esperado que o alumínio exerça um controle considerável na absorção do potássio.

Concentrações de potássio nas folhas do último verticilo, maiores do que as concentrações nas raízes significa que mesmo sob estresse a planta foi capaz de absorver o nutriente ao ponto de os valores concordarem com SHORROCKS (1979) até o nível de 20 ppm de alumínio.

4.3.2.2. Acúmulo

A variação na quantidade de potássio acumulada na planta em função das doses de alumínio encontra-se na Tabela 6.

Registra-se que o acúmulo total bem como aqueles verificados no caule e nas raízes variaram com o incremento das doses de alumínio, enquanto nas folhas do último verticilo e nas dos verticilos inferiores o acúmulo de po-

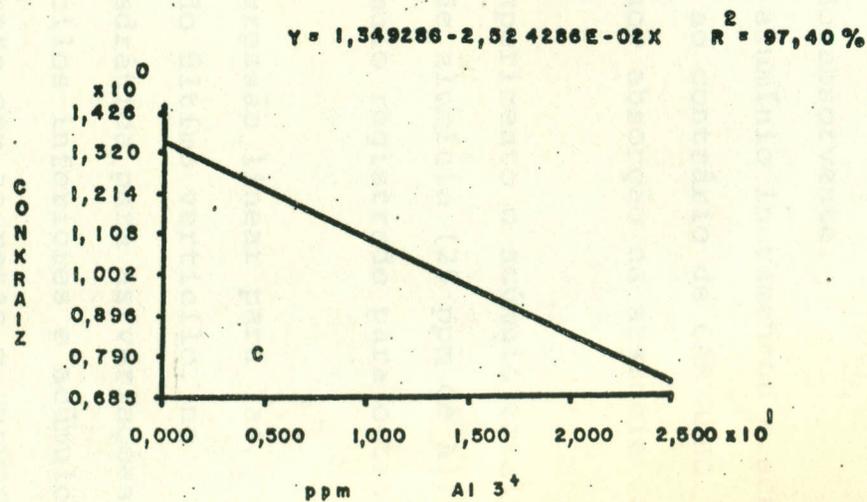
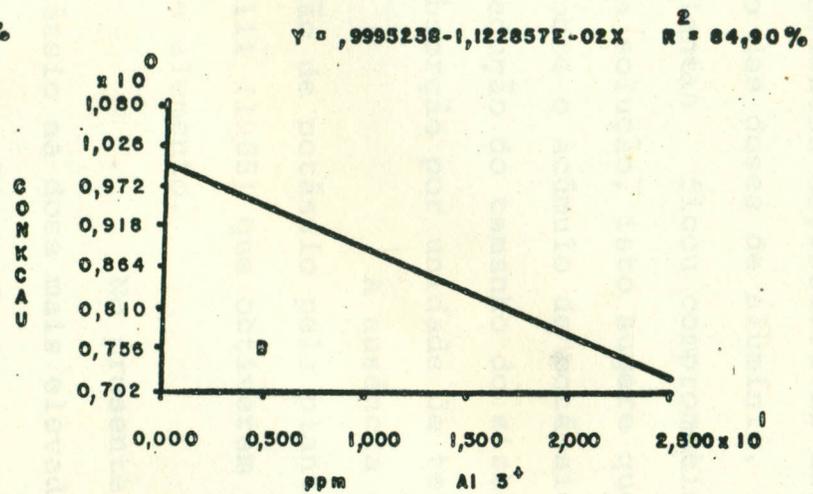
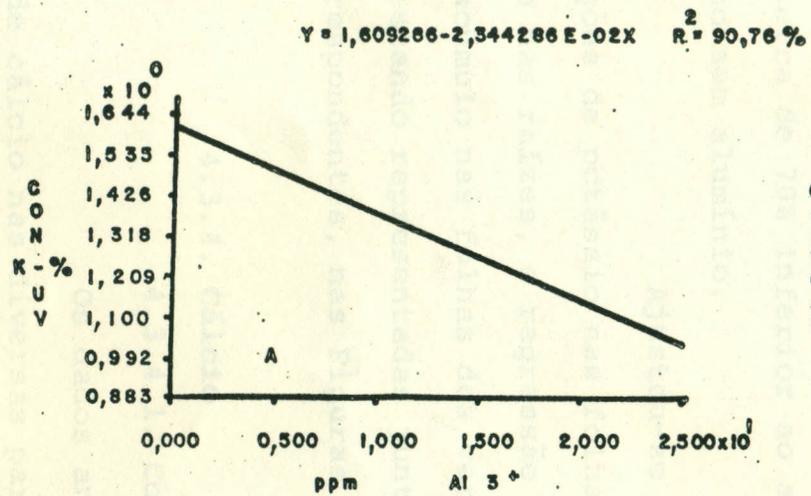


FIG.: 9 - CONCENTRAÇÃO DE POTÁSSIO, A- NAS FOLHAS DO ÚLTIMO VERTÍCULO B- NO CAULE C- NAS RAIZES, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE ALUMÍNIO.

tássio não apresentou variação, apesar de se observar uma tendência depressiva do acúmulo de potássio, com o incremento das doses de alumínio. Como o sistema radicular das plantas ficou comprometido a partir de 20 ppm de alumínio na solução, isto sugere que o efeito principal do alumínio sobre o acúmulo de potássio ocorre provavelmente através da redução do tamanho do sistema radicular e da capacidade de absorção por unidade de tecido absorvente.

A ausência de alumínio incrementou a acumulação de potássio pela planta, ao contrário de CARVALHO et alii (1985) que obtiveram menor absorção na ausência daquele elemento.

No presente experimento o acúmulo total de potássio na dose mais elevada de alumínio (25 ppm de Al) foi cerca de 70% inferior ao acúmulo registrado para o tratamento sem alumínio.

Ajustou-se regressão linear para as variações de potássio nas folhas do último verticilo, no caule e nas raízes, e regressão quadrática para as variações de acúmulo nas folhas dos verticilos inferiores e acúmulo total, estando representadas juntamente com as retas e curvas correspondentes, nas Figuras 10a, 10b, 10c, 10d e 10e.

4.3.4. Cálcio

4.3.4.1. Concentração

Os dados analíticos referentes à concentração de cálcio nas diversas partes da planta com base no peso de

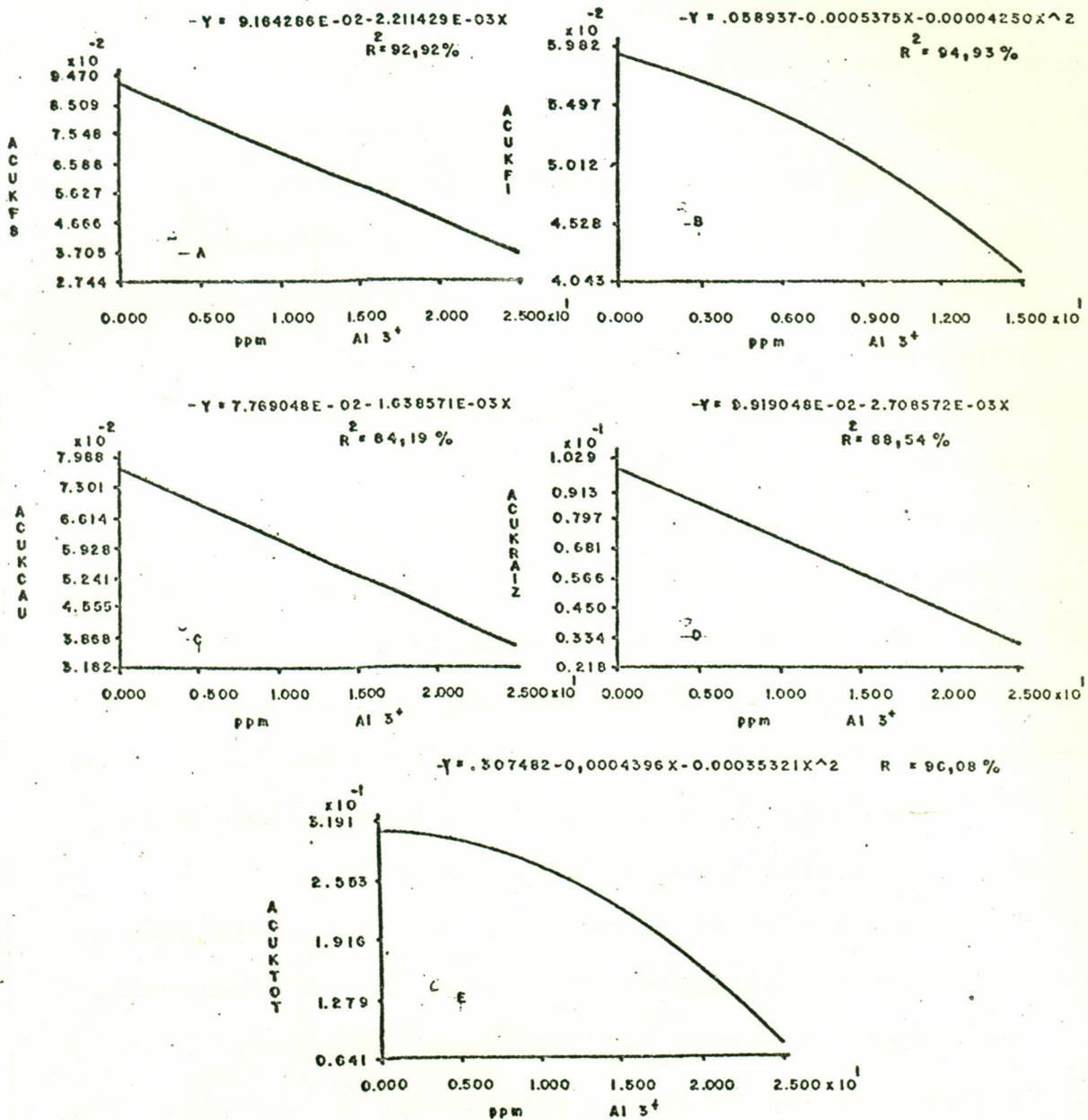


FIG. 10 - ACÚMULO DE POTÁSSIO A - NAS FOLHAS DO ÚLTIMO VERTICILO B - NAS FOLHAS DOS VERTICILOS INFERIORES C - NO CAULE D - NAS RAIZES E - ACÚMULO TOTAL DE POTÁSSIO NA PLANTA, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE ALUMÍNIO.

matéria seca, em função das doses de alumínio são apresentadas na Tabela 7. Percebe-se que o incremento da dose de alumínio causou um decréscimo no teor de cálcio para todas as variáveis estudadas. Os dados indicam que na dose mais alta de alumínio (25 ppm Al) o teor de cálcio é apenas 33% daquele alcançado na ausência do elemento na raiz. Limitação idêntica na concentração de cálcio na raiz e no caule de plantas de seringueira com o aumento da dose de alumínio foi encontrada por CARVALHO et alii (1985) e por LAU (1979).

Os resultados alcançados neste experimento concordam com as observações de MENGEL e KIRKBY (1982), segundo as quais, a toxicidade por alumínio é frequentemente acompanhada por baixas concentrações de cálcio nos tecidos das plantas. De fato, os dados da Tabela 7 mostram que o alumínio causou redução na concentração de cálcio nas folhas do último verticilo, ao ponto de nas doses mais altas desse elemento se constatarem níveis que já estariam caracterizando sintomas de deficiência de cálcio, segundo SHORROCK (1979).

Para FOY (1984) a toxicidade de alumínio pode se manifestar como uma deficiência de cálcio induzida, em consequência de uma redução do transporte do nutriente na planta, provocando um colapso nos pontos de crescimento ou nos pecíolos. O mesmo autor considera que em valores de $\text{pH} < 5,5$ o antagonismo Al x Ca seja provavelmente o fator limitante mais importante na absorção do cálcio. Como no presente experimento o pH foi mantido entre 4 e 5, para espelhar a realidade do cultivo da seringueira, provavelmente es

Tabela 7. Influência das doses de alumínio sobre a concentração e acúmulo de cálcio nas folhas do último verticilo (UV), nas folhas dos verticilos inferiores (VI), no caule (C), na raiz (R) e acúmulo total nas plântulas.

Doses de Al ³⁺ (ppm)	Concentração de cálcio (%)				Acúmulo de cálcio (g/planta)				
	UV	VI	C	R	UV	VI	C	R	T
0	0,56a*	0,96a	0,51a	0,24a	0,040a	0,052a	0,035ab	0,015a	0,143a
5	0,43b	0,85ab	0,49a	0,22ab	0,023b	0,039ab	0,038ab	0,016a	0,115ab
10	0,39b	0,74ab	0,46a	0,16bc	0,020b	0,029b	0,040a	0,012ab	0,103bc
15	0,38b	0,60b	0,43a	0,12cd	0,018bc	0,012b	0,032ab	0,008bc	0,080c
20	0,35b	-	0,38a	0,10cd	0,013bc	-	0,018ab	0,005c	0,036d
25	0,23c	-	0,31a	0,08d	0,008c	-	0,015b	0,003c	0,026d
Tukey (5%)	0,11	0,30	0,22	0,07	0,011	0,018	0,024	0,007	0,033
C.V. (%)	12,50	18,46	22,92	21,59	24,52	23,84	35,24	31,05	17,50

* Médias seguidas de letras não comuns nas colunas representam significância ao nível de 5% de probabilidade.

te aspecto tenha induzido os efeitos observados. Para os tipos de variação aqui estudado a regressão que melhor se ajustou foi a linear, estando apresentada, juntamente com as retas correspondentes, nas Figuras 11a, 11b, 11c e 11d.

4.3.4.2. Acúmulo

As quantidades de cálcio acumuladas na planta, com base no peso da matéria seca, em função da idade, estão apresentadas na Tabela 7. Depreende-se que como ocorreu com a concentração, houve um decréscimo na acumulação do nutriente com o aumento da dose de alumínio para todas as variáveis estudadas. Estes dados são semelhantes aos de CARVALHO *et alii* (1985) que observaram limitação na absorção de cálcio nas folhas, com o aumento da dose de alumínio.

As observações de MARSCHNER (1986) no sentido de que o alumínio pode inibir a absorção de cálcio principalmente como resultado do bloqueio ou competição nos sítios de troca justificam os efeitos registrados no presente experimento.

As equações de regressão que melhor se ajustaram à variação da quantidade de cálcio acumulada em relação às doses de alumínio presentes na solução, tornam a linear, para acumulação nas folhas inferiores raízes e total, apresentadas nas Figuras 12b, 12d e 12e, juntamente com as retas correspondentes. Já para as acumulações nas folhas do último verticilo e no caule as equações de regressão ajustadas foram qua-

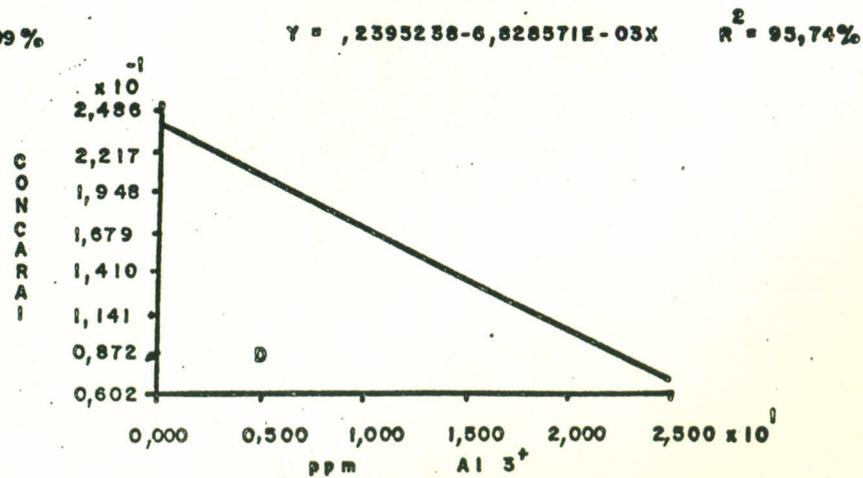
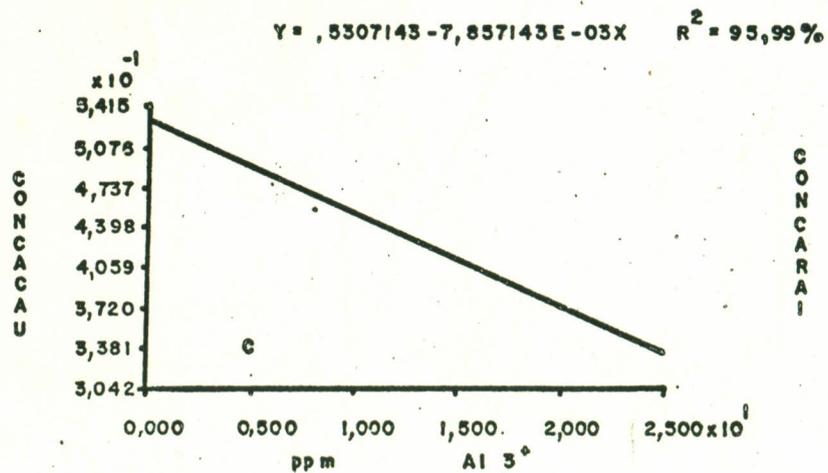
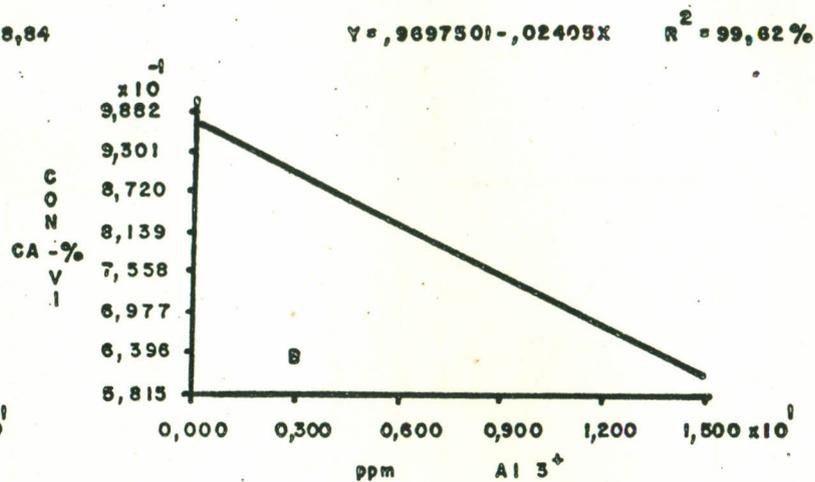
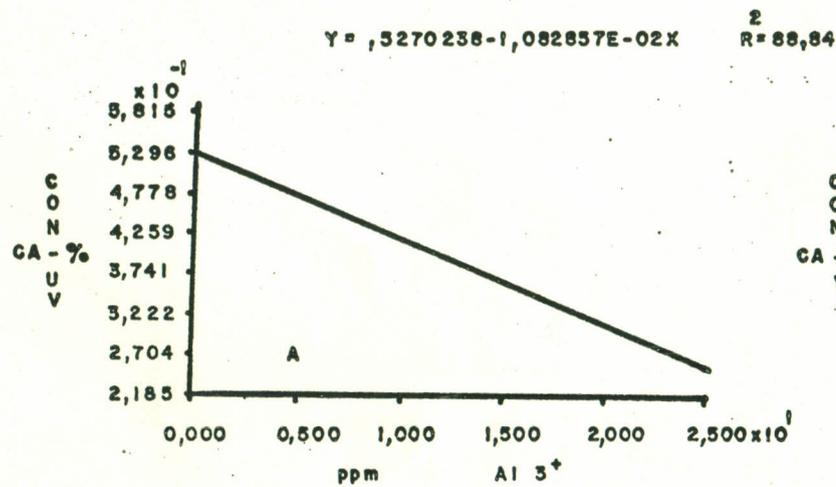


FIG. : II - CONCENTRAÇÃO DE CÁLCIO A - NAS FOLHAS DO ÚLTIMO VERTÍCILO B - NAS FOLHAS DOS VERTÍCILOS INFERIORES C - NO CAULE D - NAS RAÍZES, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE ALUMÍNIO.

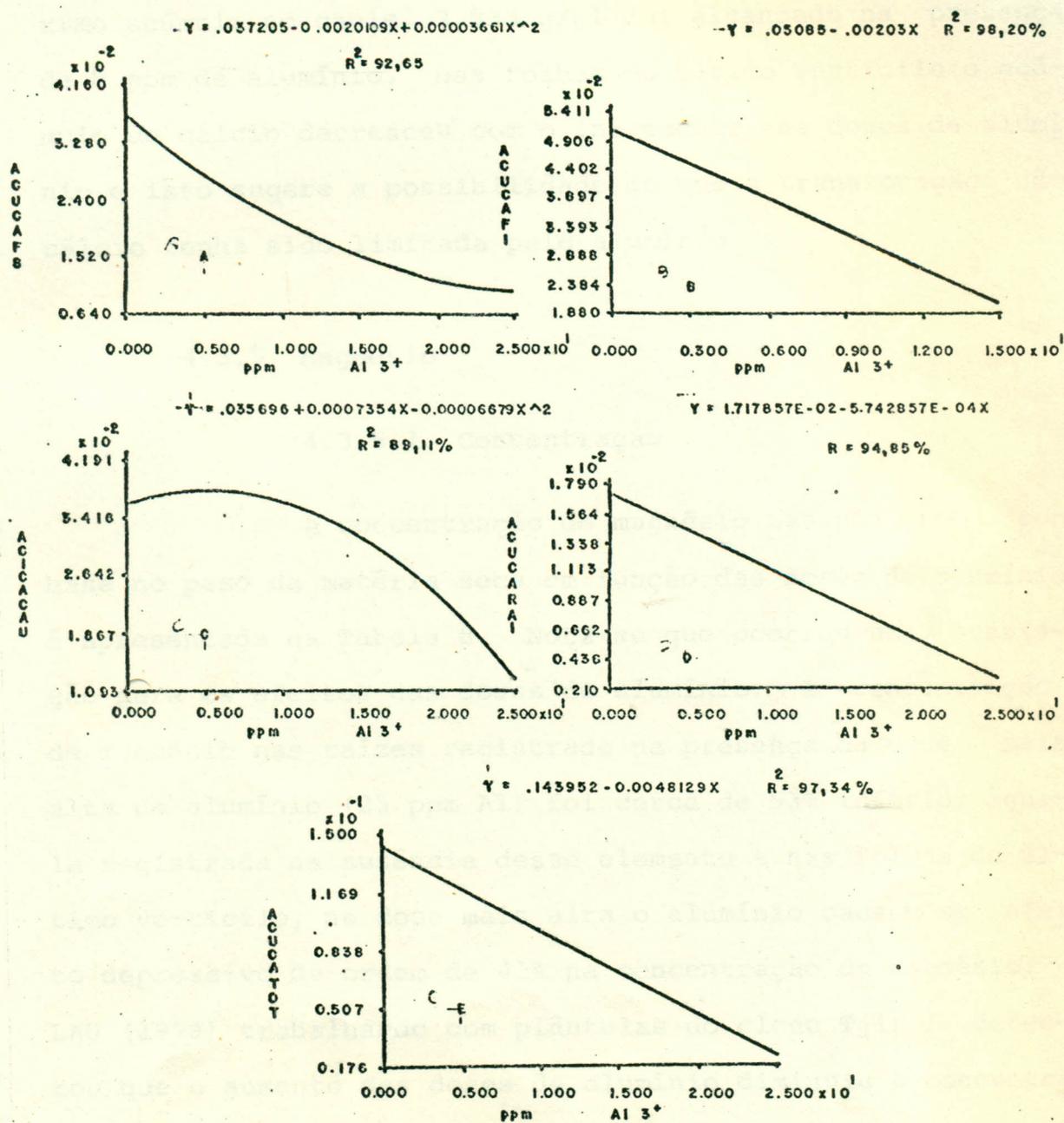


FIG. 12 - ACÚMULO DE CÁLCIO A - NAS FOLHAS DO ÚLTIMO VERTÍCILO B - NAS FOLHAS DOS VERTÍCILOS INFERIORES C - NO CAULE D - NAS RAÍZES E - ACÚMULO TOTAL DE CÁLCIO NA PLANTA EM FUNÇÃO DAS DOSES DE ALUMÍNIO.

dráticas, e estão apresentadas nas Figuras 12a e 12c, juntamente com as curvas correspondentes. Visualiza-se que os comportamentos dessas curvas são diferenciados. Enquanto o máximo acúmulo no caule, 3,833 g/pl foi alcançado na presença de 5 ppm de alumínio, nas folhas do último verticilo o acúmulo de cálcio decresceu com o incremento das doses de alumínio e isto sugere a possibilidade de que a translocação do cálcio tenha sido limitada pelo alumínio.

4.3.5. Magnésio

4.3.5.1. Concentração

A concentração de magnésio nas plantas com base no peso da matéria seca em função das doses de alumínio é apresentada na Tabela 8. Nota-se que ocorreu uma variação para os efeitos das doses de alumínio. A concentração de magnésio nas raízes registrada na presença da dose mais alta de alumínio (25 ppm Al) foi cerca de 53% inferior àquela registrada na ausência desse elemento. e nas folhas do último verticilo, na dose mais alta o alumínio causou um efeito depressivo da ordem de 41% na concentração de magnésio. LAU (1979) trabalhando com plântulas do clone Tjir 1 detectou que o aumento das doses de alumínio diminuiu a concentração de magnésio nas plantas, sendo os resultados semelhantes. Entretanto, CARVALHO et alii (1985) não encontraram diferenças para a interação alumínio x magnésio apesar de os dados apresentarem uma tendência geral de redução no teor de

Tabela 8. Influência das doses de alumínio sobre a concentração e acúmulo de magnésio nas folhas dos último verticilo (UV), nas folhas dos verticilos inferiores (VI), no caule (C), nas raízes (R) e sobre acúmulo total (T), nas plântulas.

Doses de Al ³⁺ (ppm)	Concentração de magnésio(%)				Acúmulo de magnésio (g/planta)				
	UV	VI	C	R	UV	VI	C	R	T
0	0,27a*	0,23a	0,23a	0,23a	0,019a	0,013a	0,016a	0,016a	0,063a
5	0,22ab	0,22a	0,21ab	0,20a	0,012b	0,010ab	0,016ab	0,015a	0,053ab
10	0,22ab	0,21a	0,20ab	0,19a	0,011bc	0,009ab	0,017a	0,015a	0,052ab
15	0,19ab	0,19a	0,20ab	0,18ab	0,009bc	0,007b	0,015abc	0,012ab	0,043b
20	0,18b	-	0,17b	0,17ab	0,007bc	-	0,008bc	0,008ab	0,023c
25	0,16b	-	0,15b	0,11b	0,005c	-	0,007c	0,004b	0,016c
Tukey (5%)	0,09	0,05	0,05	0,07	0,006	0,005	0,009	0,009	0,017
C.V. (%)	18,95	12,13	13,14	16,31	25,50	26,94	29,37	34,91	17,57

* Médias seguidas de letras não comuns nas colunas representam significância ao nível de 5% de probabilidade.

magnésio nas plântulas, com o incremento das doses de alumínio.

Segundo as observações de MENGEL e KIRKBY (1982), toxicidade de alumínio é frequentemente acompanhada de baixas concentrações de magnésio. Para ADAMS (1984) por efeito de concorrência, um aumento na concentração de alumínio ajudaria inibir a habilidade da planta em absorver e utilizar-se do magnésio. FOY (1984) relata a possibilidade de o magnésio atuar benéficamente sobre as plantas, em detrimento da toxicidade causada por alumínio, sugerindo que isto se deva à redução competitiva do alumínio em contato com as raízes ou ao decréscimo na atividade desse elemento.

As retas correspondentes à variação da concentração de magnésio, com base na produção de matéria seca, em função das doses de alumínio estão representadas nas Figuras 13a, 13b, 13c e 13d, juntamente com as equações de regressão lineares correspondentes, que foram aquelas que mais se ajustaram a este tipo de variação. Há diferença, também, na tendência da reta, onde, a concentração decresce até o final do período experimental.

4.3.5.2. Acúmulo

A variação do acúmulo total de magnésio na planta em função das doses de alumínio está representada na Tabela 8. O acúmulo desse nutriente foi alto inicialmente, apresentando um decréscimo com o aumento da dose de alumínio

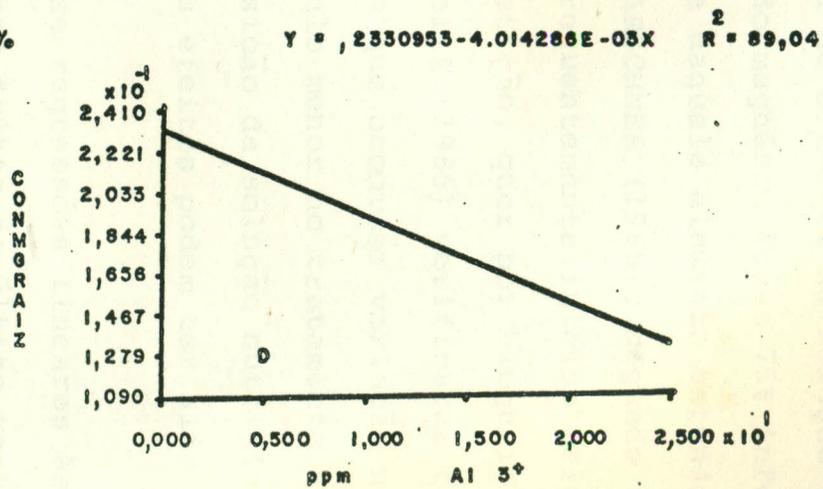
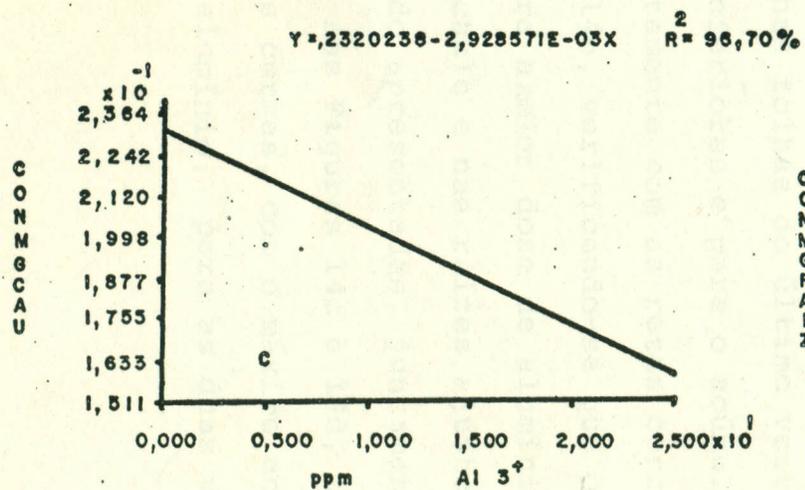
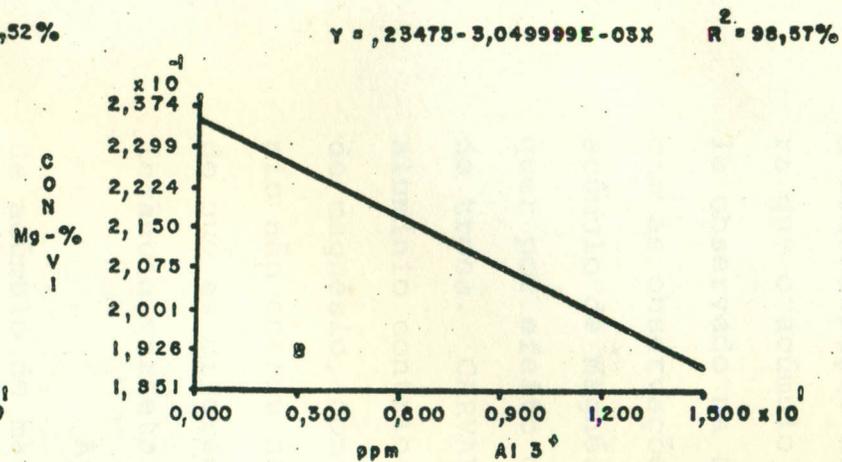
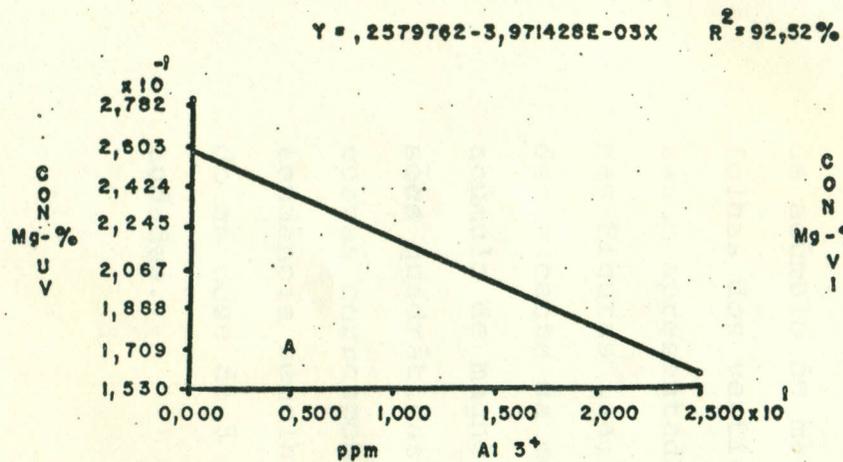
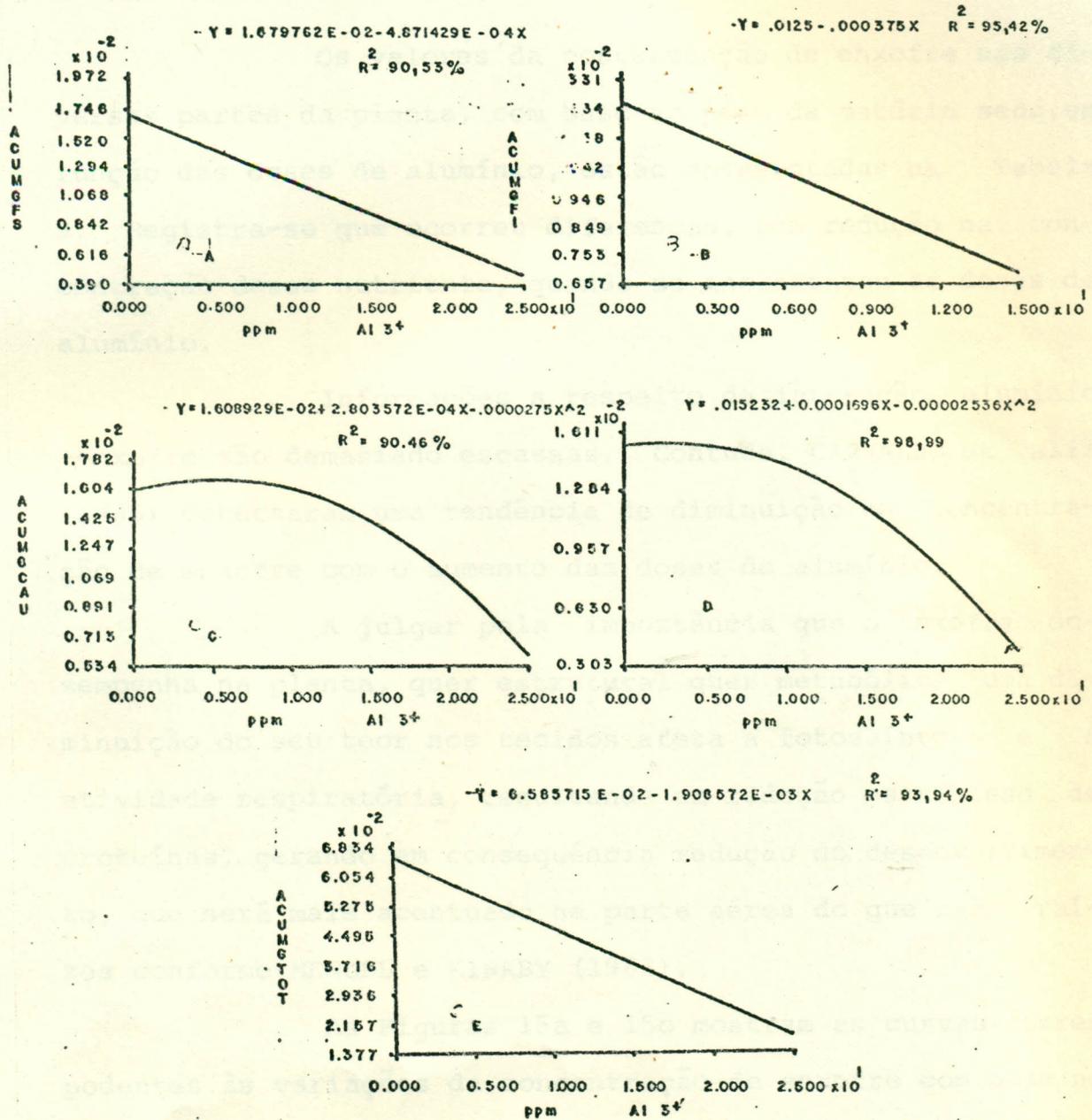


FIG.: 13 - CONCENTRAÇÃO DE MAGNÉSIO A.- NAS FOLHAS DO ÚLTIMO VERTÍCULO B.- NAS FOLHAS DOS VERTÍCULOS INFERIORES C.- NO CAULE D.- NAS RAÍZES, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE ALUMÍNIO.

para todas as variações estudadas. Verifica-se, ainda, que a concentração mais alta de alumínio na solução contribui para que o acúmulo total do magnésio fosse 75% inferior àquele observado na ausência daquele elemento estando de acordo com as observações de MARSCHNER (1986), segundo as quais, o acúmulo de magnésio é frequentemente inibido pelo alumínio, quer por efeito de competição, quer por bloqueio dos sítios de troca. CARVALHO *et alii* (1985) verificaram também que o alumínio contribuiu para que ocorresse variação no acúmulo de magnésio, com o acúmulo menor no tratamento onde o alumínio não entrou na composição da solução nutritiva, sugerindo que as diferenças nos efeitos podem ter sido devido a tolerância varietal.

Ajustou-se regressões lineares às variações de acúmulo de magnésio nas folhas do último verticilo, nas folhas dos verticilos inferiores e para o acúmulo total, estando apresentadas, juntamente com as retas correspondentes, nas Figuras 14a, 14b e 14e, verificando-se que o acúmulo é decrescente da menor para a maior dose de alumínio. Para o acúmulo de magnésio no caule e nas raízes ajustou-se regressões quadráticas, estando apresentadas, juntamente com as curvas correspondentes, nas Figuras 14c e 14d, notando-se uma tendência semelhante das curvas, com o máximo acúmulo ocorrendo na dose de 5 ppm de alumínio, para as duas variáveis estudadas.



-FIG.: 14 - ACÚMULO DE MAGNÉSIO A - NAS FOLHAS DO ÚLTIMO VERTÍCULO B - NAS FOLHAS DOS VERTÍCULOS INFERIORES C - NO CAULE D - NAS RAÍZES E - ACÚMULO TOTAL DE MAGNÉSIO NA PLANTA, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE ALUMÍNIO.

4.3.6. Enxofre

4.3.6.1. Concentração

Os valores da concentração de enxofre nas diversas partes da planta, com base no peso da matéria seca, em função das doses de alumínio, estão apresentadas na Tabela 9. Registra-se que ocorreu diferenças, com redução na concentração desse nutriente, quando se incrementou as doses de alumínio.

Informações a respeito da interação alumínio-enxofre são demasiado escassas. Contudo, CARVALHO et alii (1985) detectaram uma tendência de diminuição na concentração de enxofre com o aumento das doses de alumínio.

A julgar pela importância que o enxofre desempenha na planta, quer estrutural quer metabólica, uma diminuição do seu teor nos tecidos afeta a fotossíntese e a atividade respiratória, resultando em redução na síntese de proteínas, gerando em consequência redução do desenvolvimento, que será mais acentuado na parte aérea do que nas raízes conforme MENGEL e KIRKBY (1982).

As Figuras 15a e 15c mostram as curvas correspondentes às variações da concentração de enxofre com base no peso da matéria seca e em função das doses de alumínio, juntamente com as equações de regressão quadráticas, que foram aqueles que melhor se ajustaram a esse tipo de variação.

Verifica-se que a partir de 5 ppm de alumínio a concentração de enxofre na planta diminui sensivelmente.

Tabela 9. Influência das doses de alumínio sobre a concentração e acúmulo de enxofre nas folhas do último verticilo (UV), nas folhas dos verticilos inferiores (VI), no caule (C), nas raízes (R) e acúmulo total (T) nas plântulas.

Doses de Al^{3+} (ppm)	Concentração de enxofre(%)				Acúmulo de enxofre (g/planta)				
	UV	VI	C	R	UV	VI	C	R	T
0	0,23a*	0,24a	0,25a	0,22a	0,17a	0,014a	0,017a	0,015a	0,062a
5	0,22ab	0,23a	0,23ab	0,21a	0,11ab	0,010ab	0,017a	0,016a	0,055ab
10	0,20ab	0,22a	0,21ab	0,21a	0,10bc	0,009ab	0,018a	0,017a	0,054ab
15	0,19b	0,18a	0,19bc	0,21a	0,007bcd	0,006b	0,014ab	0,015a	0,042b
20	0,16c	-	0,16cd	0,19a	0,006cd	-	0,008bc	0,009ab	0,023c
25	0,12d	-	0,12d	0,11b	0,004d	-	0,005c	0,004b	0,013c
Tukey (5%)	0,03	0,11	0,04	0,05	0,005	0,006	0,008	0,008	0,016
C.V. (%)	7,12	24,44	9,40	11,75	25,90	30,84	26,50	29,58	17,00

* Médias seguidas de letras não comuns nas colunas representam significância ao nível de 5% de probabilidade.

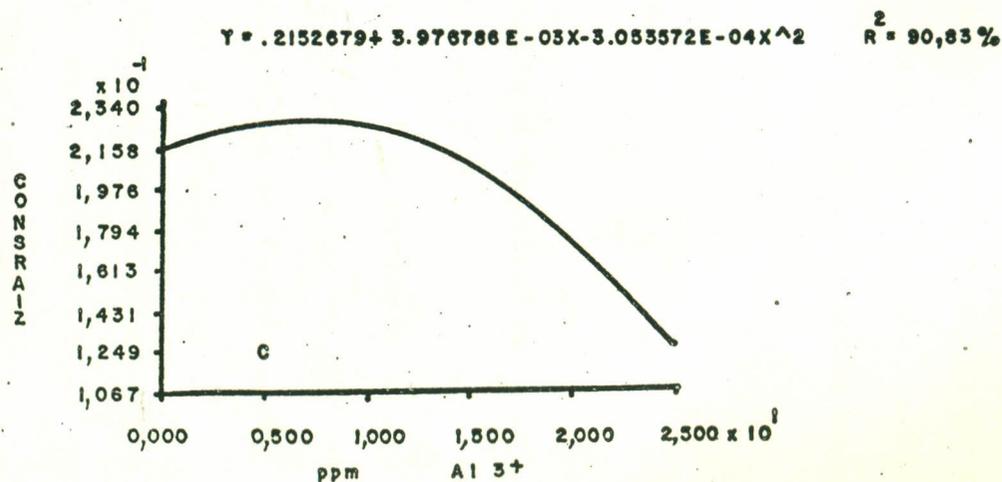
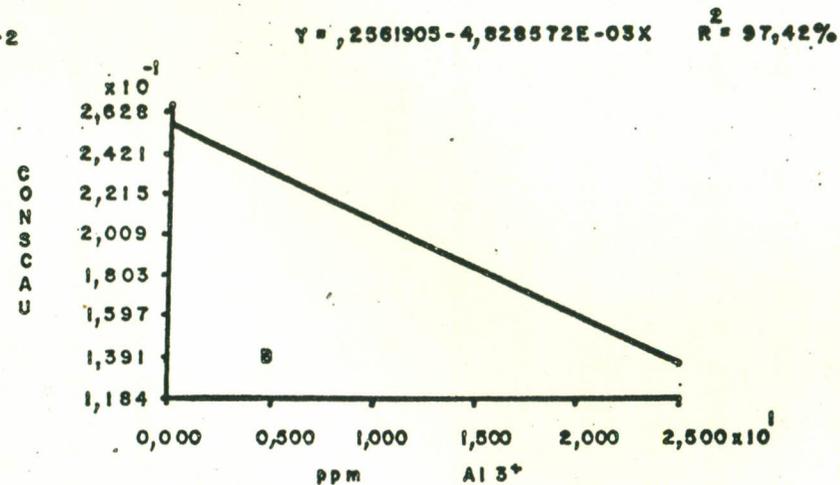
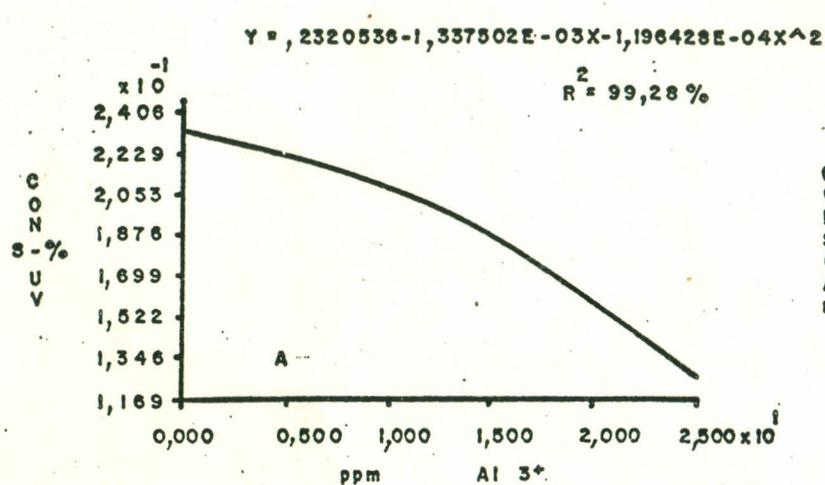


FIG.: 15 - CONCENTRAÇÃO DE ENXOFRE A- NAS FOLHAS DO ÚLTIMO VERTÍCULO B- NO CAULE C- NAS RAÍZES, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE ALUMÍNIO.

Ainda assim, os valores encontrados só atingem a caracterização de deficiência indicada por SHORROCKS (1979), a partir da dose de 5 ppm de alumínio. A Figura 5c mostra a reta correspondente à variação da concentração de enxofre em função das doses de alumínio, juntamente com a equação de regressão linear. A concentração de enxofre nas folhas do último verticilo, não apresenta variação e não se ajustou regressão para essa variável.

4.3.6.2. Acúmulo

Os dados analíticos referentes à quantidade de enxofre acumulada pela planta em função das doses de alumínio são apresentados na Tabela 9. Observa-se que à semelhança dos dados de concentração, a planta acumulou quantidades decrescentes desse nutriente. Nota-se também que o maior acúmulo ocorreu na ausência de alumínio. Esses resultados são contrários àqueles obtidos por CARVALHO *et alii* (1985), que registraram menor acúmulo de enxofre no tratamento onde o alumínio estava ausente. No presente experimento as diferenças entre tratamentos nas quantidades acumuladas são grandes, pois na dose mais elevada de alumínio a planta acumulou cerca de 79% menos enxofre do que na ausência daquele elemento.

Uma explicação para este fenômeno é dada pelo conhecimento de que o enxofre é um componente necessário em proteínas, BENNET e FRIEDEN (1971) e, segundo MENGEL e

KIRKBY (1982), uma deficiência desse nutriente resulta na inibição da síntese de proteínas. É que, segundo estes últimos autores, se a cisteína e a metionina que são aminoácidos contendo enxofre e são essenciais para formação dos blocos de proteínas, estiverem em deficiência, as proteínas não poderão ser sintetizadas e deste modo, a planta terá seu desenvolvimento comprometido.

As equações de regressão que melhor se ajustaram à variação da quantidade de enxofre acumulada nas folhas do último verticilo e nas dos verticilos inferiores, com base no peso de matéria seca, em relação às doses de alumínio foram as lineares apresentadas nas Figuras 16a e 16b, juntamente com as retas correspondentes. Para acúmulo no caule, raízes e acúmulo total ajustou-se regressão quadrática, cujas equações estão assinaladas juntamente com as Figuras 16c, 16d e 16e.

4.4. MICRONUTRIENTES

4.4.1. Ferro

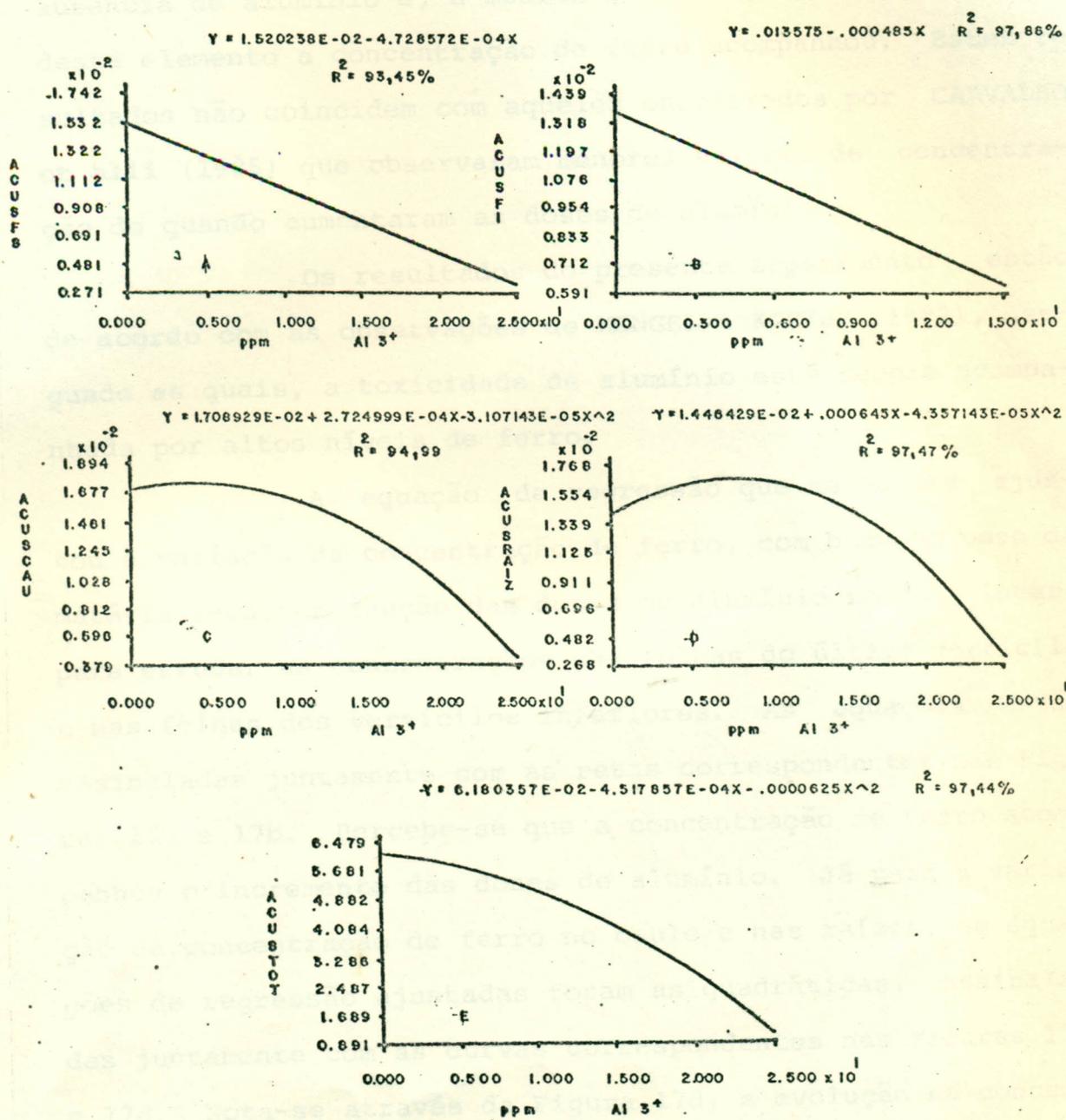
4.4.1.1. Concentração

A concentração de ferro na planta, com base no peso da matéria seca, em função das doses de alumínio, está representada na Tabela 10. Depreende-se que para todas as variáveis estudadas houve variação na concentração com o au-

Tabela 10. Influência das doses de alumínio sobre a concentração e acúmulo de ferro nas folhas do último verticilo (UV), nas folhas dos verticilos inferiores (VI), no caule (C), nas raízes (R) e acúmulo total (T) nas plântulas.

Doses de Al ³⁺ (ppm)	Concentração de ferro (ppm)				Acúmulo de ferro (ug/planta)				
	UV	VI	C	R	UV	VI	C	R	T
0	67,25b	80,50c	35,50b	227,00b	484,40a	439,12a	241,95b	1573,25a	2488,72c
5	94,25b	103,50bc	42,75b	405,25a	515,80a	470,52a	318,25b	2920,92a	4225,50ab
10	95,75b	123,00ab	70,50b	409,75a	488,13a	493,05a	587,25ab	3267,35a	4835,77a
15	111,25b	121,25a	74,50b	435,00a	475,50a	551,70a	561,60ab	2999,93a	4588,72a
20	130,25ab	-	152,50a	452,50a	505,38a	-	721,32a	2126,55a	3353,07abc
25	186,50a	-	155,50a	475,25a	628,37a	-	780,23a	1597,17a	2930,77bc
Tukey (5%)	70,88	31,31	41,13	169,98	333,23	205,83	382,30	1522,72	1553,10
C.V. (%)	27,54	12,93	20,61	18,80	28,67	20,06	31,75	31,71	18,47

* Médias seguidas de letras não comuns nas colunas representam significância ao nível de 5% de probabilidade.



-FIG.: 16- ACÚMULO DE ENXOFRE A-NAS FOLHAS DO ULTIMO VERTICILO B-NAS FOLHAS DOS VERTICILOS INFERIORES C-NO CAULE D-NAS RAIZES E- ACÚMULO TOTAL DE ENXOFRE NA PLANTA, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE ALUMÍNIO.

mento das doses de alumínio. A menor concentração ocorreu na ausência de alumínio e, à medida que se incrementou a dose desse elemento a concentração de ferro acompanhou. Estes resultados não coincidem com aqueles encontrados por CARVALHO *et alii* (1985) que observaram menores valores de concentração de quando aumentaram as doses de alumínio.

Os resultados do presente experimento estão de acordo com as observações de MENGEL e KIRKBY (1982), segundo as quais, a toxicidade de alumínio está sempre acompanhada por altos níveis de ferro.

A equação de regressão que melhor se ajustou à variação da concentração de ferro, com base no peso da matéria seca, em função das doses de alumínio foi a linear, para estudar as concentrações nas folhas do último verticilo e nas folhas dos verticilos inferiores. As equações estão assinaladas juntamente com as retas correspondentes nas Figuras 17a e 17b. Percebe-se que a concentração de ferro acompanhou o incremento das doses de alumínio. Já para a variação de concentração de ferro no caule e nas raízes, as equações de regressão ajustadas foram as quadráticas, assinaladas juntamente com as curvas correspondentes nas Figuras 17c e 17d. Nota-se através da Figura 17d, a evolução na concentração de ferro na raiz, com início da diminuição a partir da dose de 20 ppm de alumínio, sugerindo que substrato contendo alumínio pode comprometer o desenvolvimento da planta ainda que esta contenha suficiente suprimento de ferro nos

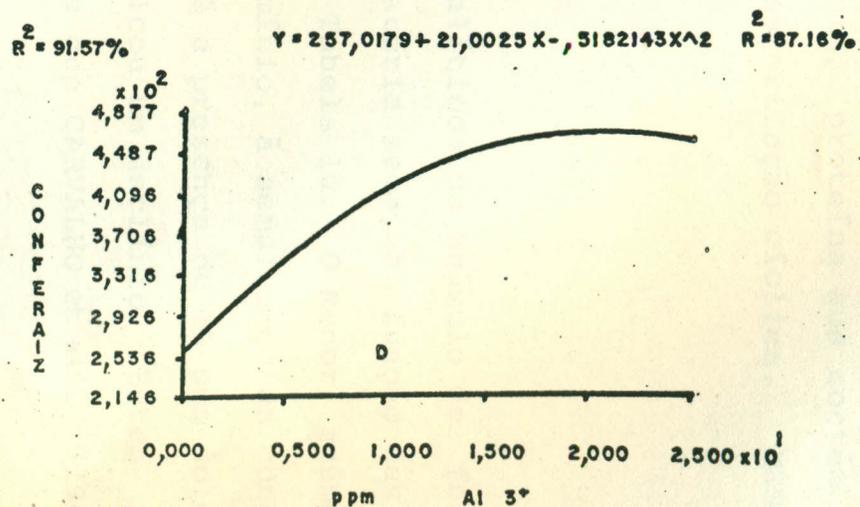
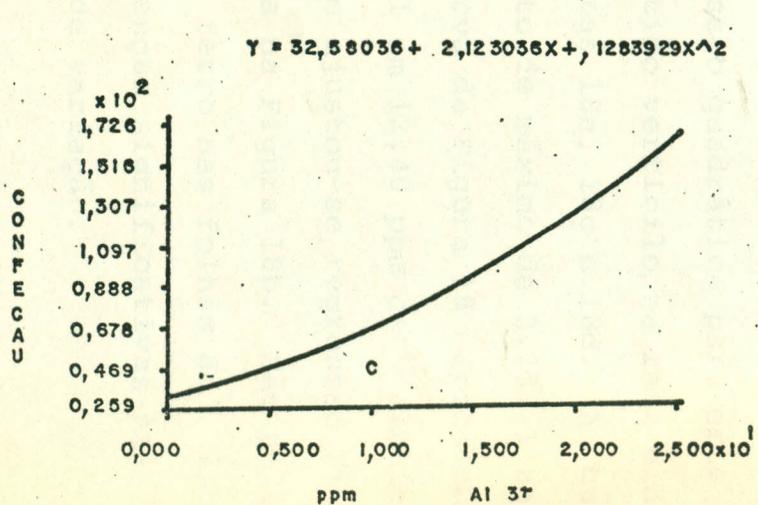
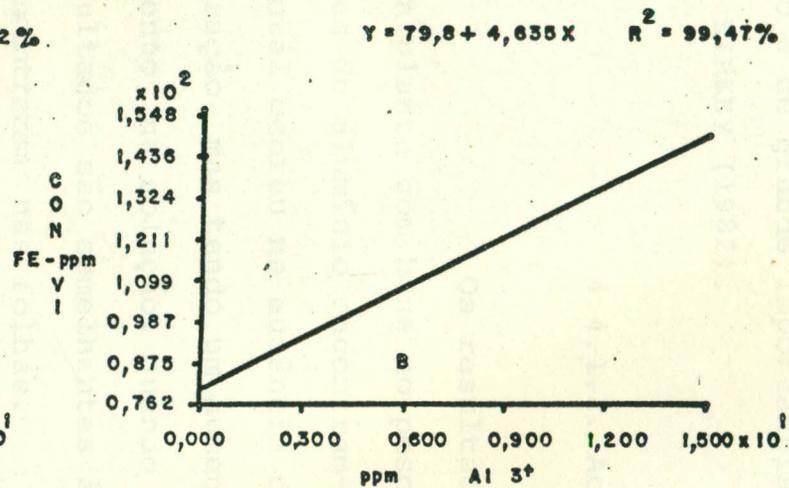
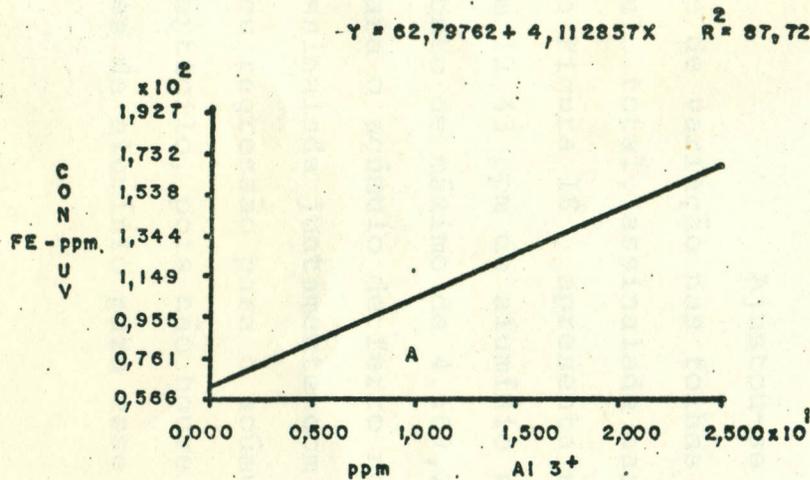


FIG.: 17 - CONCENTRAÇÃO DE FERRO A - NAS FOLHAS DO ÚLTIMO VERTÍCULO B - NAS FOLHAS DOS VERTÍCULOS INFERIORES C - NO CAULE D - NAS RAÍZES, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE ALUMÍNIO.

cloroplastos na forma de ferridoxina, proteína que contém ferro e de grande importância na fosforilação cíclica, MENGEL e KIRKBY (1982).

4.4.1.2. Acúmulo

Os resultados analíticos do acúmulo de ferro na planta com base no peso da matéria seca, em função das doses de alumínio encontram-se na Tabela 10. O menor acúmulo total ocorreu na ausência de alumínio, à semelhança da concentração, mas tendo um aumento até a presença de 10 ppm do elemento, na solução, quando se iniciou um declínio. Estes resultados são semelhantes àqueles que CARVALHO *et alii* (1985) encontraram nas folhas.

Ajustou-se regressão quadrática para este tipo de variação nas folhas do último verticilo, na raiz e acúmulo total, assinalada nas Figuras 18a, 18c e 18d. A curva da Figura 18a apresenta um ponto de máximo de 3.157,1 ug/pl em 12,43 ppm de alumínio e a curva da Figura 18c apresenta um ponto de máximo de 4.669,2 ug/pl em 12,40 ppm de alumínio. Para o acúmulo de ferro no caule ajustou-se regressão linear assinalada juntamente com a reta na Figura 18b. Não se ajustou regressão para o acúmulo de ferro nas folhas do último verticilo, pois não houve diferenças significativas nas doses de alumínio para esse tipo de variação.

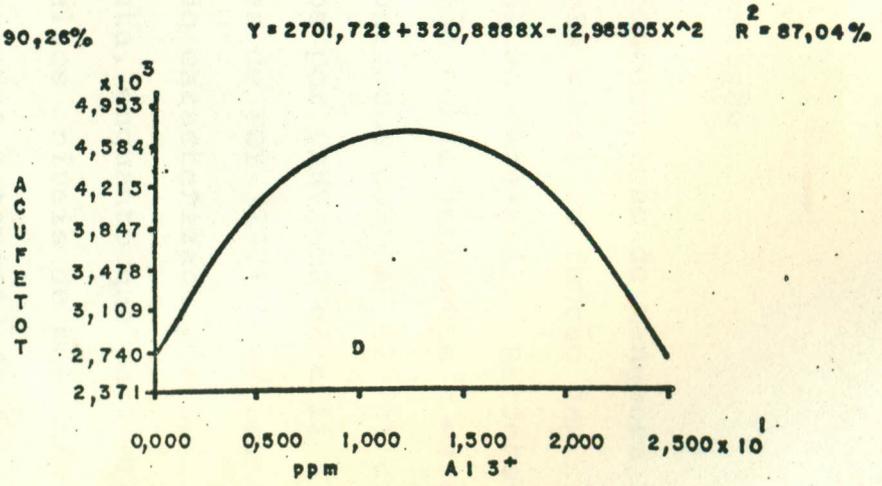
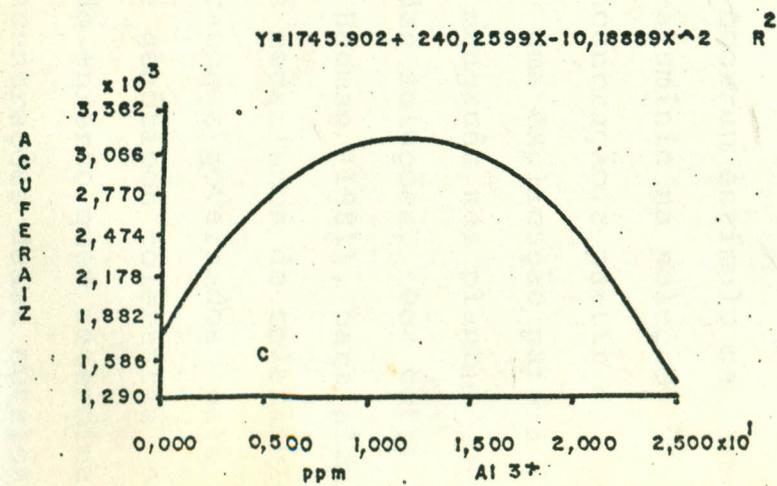
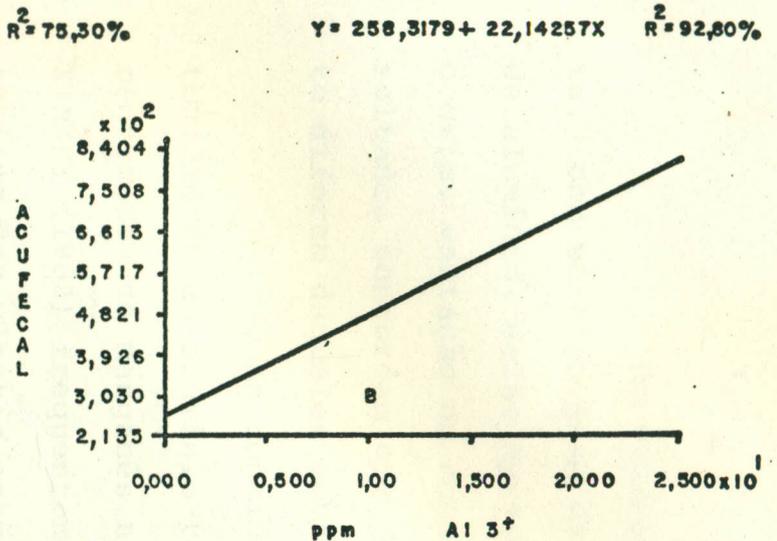
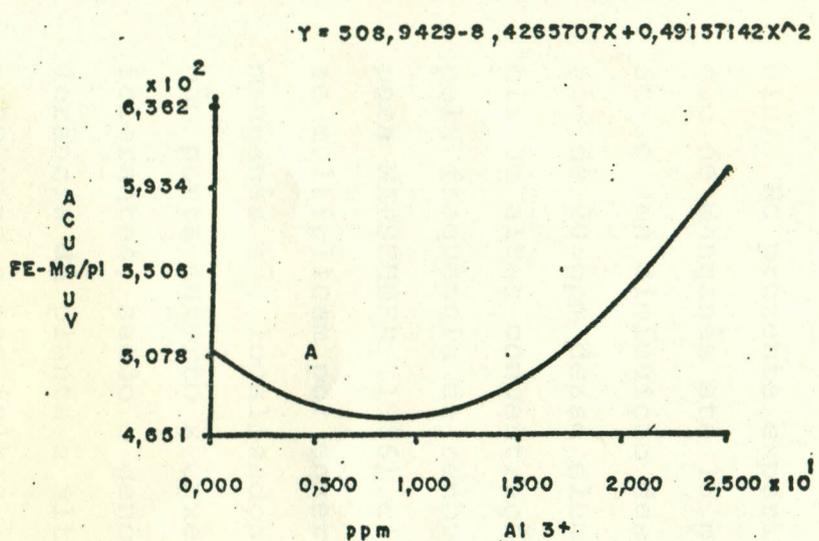


FIG. 118 - ACÚMULO DE FERRO A - NAS FOLHAS DO ÚLTIMO VERTÍCULO B - NO CAULE C - NAS RAÍZES D - ACÚMULO TOTAL DE FERRO NA PLANTA, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE ALUMÍNIO.

4.4.2. Manganês

4.4.2.1. Concentração

Os valores da concentração de manganês na planta, com base no peso da matéria seca, em função das doses de alumínio, estão apresentados na Tabela 11. Percebe-se que ocorreu variação na concentração desse nutriente e estes resultados concordam com os encontrados por LAU (1979) enquanto diferem daqueles encontrados por CARVALHO *et alii* (1985).

As considerações de FOY (1971) indicam que a toxicidade de alumínio tem sido caracterizada por baixas concentrações de manganês na planta, enquanto que para MENGEL e KIRKBY (1982) frequentemente altos níveis de manganês nos tecidos das plantas estão associadas a toxicidade de alumínio. No presente experimento ocorreu estímulo na concentração de manganês até 15 ppm de alumínio na solução, verificando-se uma diminuição dessa concentração a partir da aplicação de 20 ppm desse elemento. Uma explicação para a ocorrência de altas concentrações de manganês nas plantas é dada pela frequência de renovação das soluções. Por outro lado, para MARSCHNER (1986) citando Heeman (1981), para plantas que se multiplicam por enxertia os mecanismos de tolerância a manganês são localizados nos ramos e governados pela interação porta-enxerto x enxerto de genótipos tolerantes e não tolerantes, sendo o genótipo do enxerto quem determina a tolerância da planta a altas concentrações desse nutriente no substrato e nas folhas. A julgar pelas caracterizações dos

Tabela 11. Influência das doses de alumínio sobre a concentração e acúmulo de manganês nas folhas do último verticilo (UV), nas folhas dos verticilos inferiores (VI), no caule (C), nas raízes (R) e acúmulo total (T) nas plântulas.

Doses de Al ³⁺ (ppm)	Concentração de manganês (ppm)				Acúmulo de manganês (ug/pl)				
	UV	VI	C	R	UV	VI	C	R	T
0	64,50b*	199,75a	45,26b	31,75c	467,82a	1041,72a	307,79a	207,00a	2024,35ab
5	90,50ab	228,00a	54,00ab	37,00bc	481,54a	1040,55a	425,12a	272,92a	2219,95a
10	102,25ab	250,25a	58,00ab	39,00bc	495,25a	1002,20a	485,00a	311,20a	2324,48a
15	112,75ab	260,75a	66,50ab	47,00abc	526,00a	956,80a	487,10a	327,67a	2304,03a
20	132,00a	-	71,00a	55,25ab	532,45a	-	362,50a	250,94a	1137,70bc
25	146,75a	-	76,00a	62,75a	533,25a	-	350,25a	205,77a	1051,28c
Tukey (5%)	58,91	112,77	25,67	20,12	354,17	523,60	321,72	184,27	737,62
C.V. (%)	24,21	22,83	18,46	19,67	31,10	24,67	35,48	31,19	17,78

* Médias seguidas de letras não comuns nas colunas representam significância ao nível de 5% de probabilidade.

efeitos tóxicos do manganês descritas por FOY (1976), as concentrações desse nutriente encontradas neste experimento não determinaram injúria nas plantas de seringueira.

As retas correspondentes à variação de concentração de manganês na planta, com base no peso da matéria seca, em relação às doses de alumínio são apresentadas nas Figuras 19a, 19b e 19c, juntamente com as equações de regressão linear, que foram aquelas que mais se ajustaram a esse tipo de variação.

4.4.2.2. Acúmulo

A Tabela 11 apresenta a quantidade de manganês acumulada na planta em função das doses de alumínio. Nota-se que não houve variação para o acúmulo nas folhas do último verticilo, nas folhas dos verticilos inferiores, no caule e nas raízes, ocorrendo diferenças no acúmulo total desse nutriente. Essas diferenças nas quantidades acumuladas são semelhantes aos dados encontrados por CARVALHO *et alii* (1985) quando analisaram as folhas das plantas. Por outro lado, fazendo-se uma comparação entre as quantidades acumuladas pela seringueira, verifica-se que na presença de alumínio os dados do presente experimento são inferiores àqueles encontrados por CARVALHO *et alii* (1985), enquanto são semelhantes na ausência desse elemento. Essa diferença pode ter sido causada, provavelmente pela utilização de metodologias diferentes. Ajustou-se regressões quadráticas para este tipo de

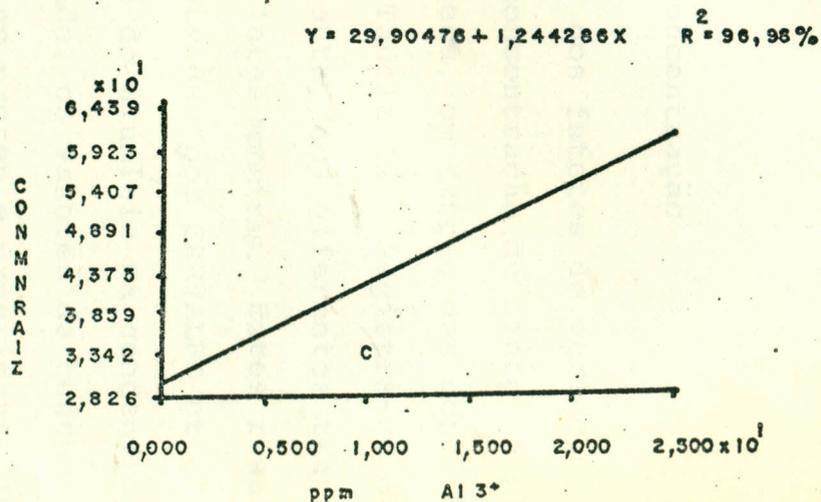
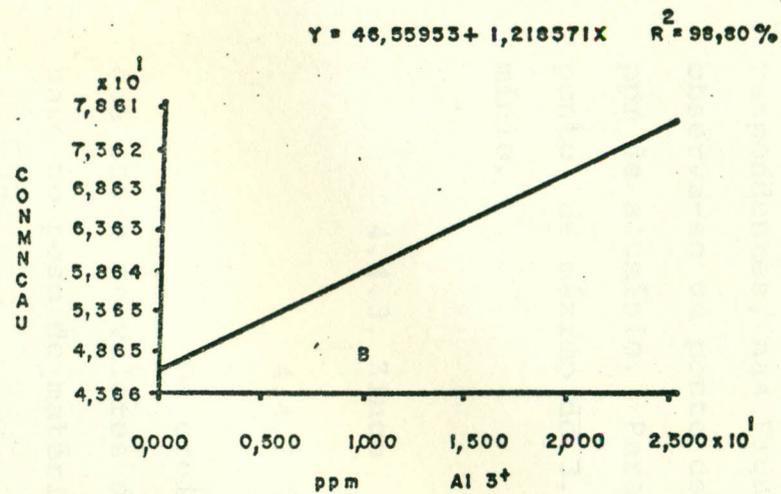
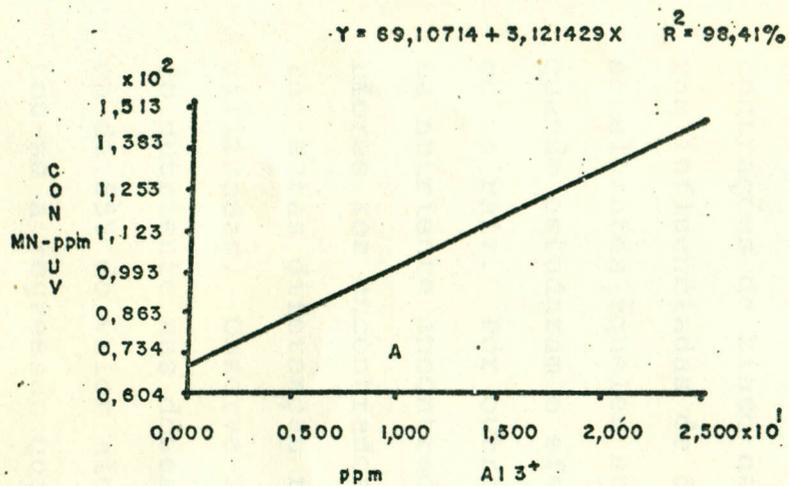


FIG.: 19 - CONCENTRAÇÃO DE MANGANÊS A - NAS FOLHAS DO ÚLTIMO VERTÍCULO B - NO CAULE C - NAS RAÍZES, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE ALUMÍNIO.

variação, sendo apresentadas, juntamente com as curvas correspondentes, nas Figuras 20a, 20b, 20c e 20d. Na Figura 20b observa-se um ponto de máximo de 5.322,7 ug/pl na dose de 15 ppm de alumínio. Para a raiz, observa-se na Figura 20c um ponto de máximo de 3.138 ug/ml na dose de 12,6 ppm de alumínio.

4.4.3. Zinco

4.4.3.1. Concentração

Os efeitos dos fatores de variação, estudados sobre os valores de concentração de zinco na planta, com base no peso de matéria seca, em função das doses de alumínio, são apresentados na Tabela 12. Registra-se que as concentrações de zinco na planta, nos diferentes tratamentos foram influenciadas de distintas maneiras. Estes resultados são semelhantes àqueles encontrados por CARVALHO et alii (1985) quando estudaram o efeito do alumínio na concentração de zinco na raiz. Por outro lado, os valores de concentração desse nutriente encontrados no presente experimento foram superiores aos encontrados por aqueles autores, julgando-se serem estas diferenças reflexos das diferenças de metodologias utilizadas. Observa-se ainda uma forte queda na concentração do nutriente nas doses mais altas de alumínio, atingindo cerca de 55% do valor alcançado na ausência desse elemento. Ajustou-se a regressão quadrática para esse tipo de variação nas folhas do último verticilo, nas folhas dos verticilos inferior

Tabela 12. Influência das doses de alumínio sobre a concentração e acúmulo de zinco nas folhas do último verticilo (UV), nas folhas dos verticilos inferiores (VI), no caule (C), nas raízes (R) e acúmulo total (T), nas plântulas.

Doses de Al ³⁺ (ppm)	Concentração de zinco (ppm)				Acúmulo de zinco (ug/planta)				
	UV	VI	C	R	UV	VI	C	R	T
0	32,00a*	37,25a	14,00a	20,00ab	227,77a	203,37a	95,30ab	189,00ab	715,45a
5	29,75ab	42,50a	17,00a	52,50a	160,57b	193,80ab	117,25ab	384,62a	856,25a
10	29,00ab	45,00a	23,25	29,50ab	148,62b	180,30ab	166,42a	239,52ab	737,12a
15	24,75b	20,00a	23,00a	27,50b	115,55bc	105,84b	176,30a	190,20ab	587,90a
20	18,50c	-	18,75a	26,75b	71,12cb	-	87,65ab	128,22b	287,15b
25	13,00d	-	13,25a	25,25b	43,62d	-	61,05b	77,37b	182,05b
Tukey (5%)	5,20	16,57	16,48	24,13	65,54	93,21	99,02	200,86	275,03
C.V. (%)	9,45	20,53	40,23	33,78	22,78	25,98	77,50	44,30	21,78

* Médias seguidas de letras não comuns nas colunas representam significância do nível de 5% de probabilidade.

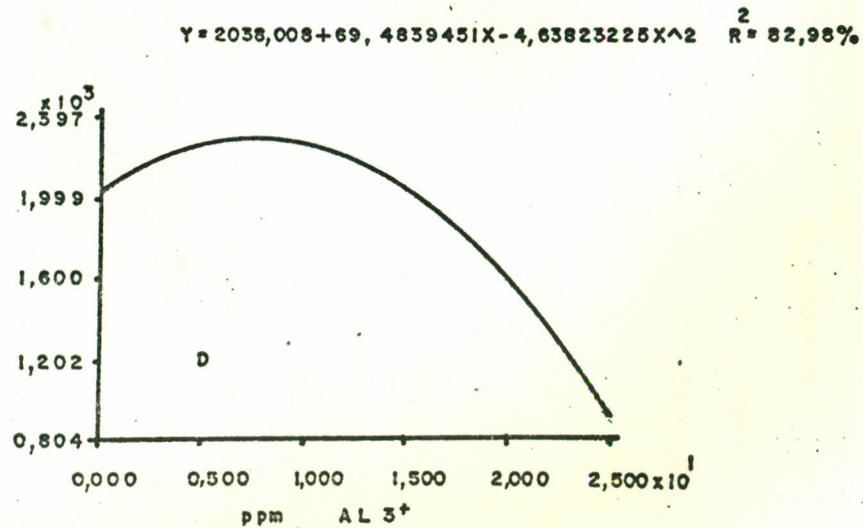
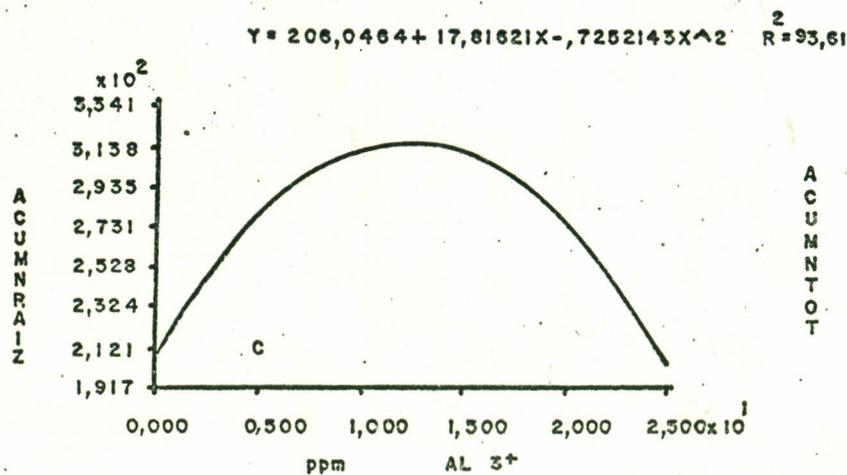
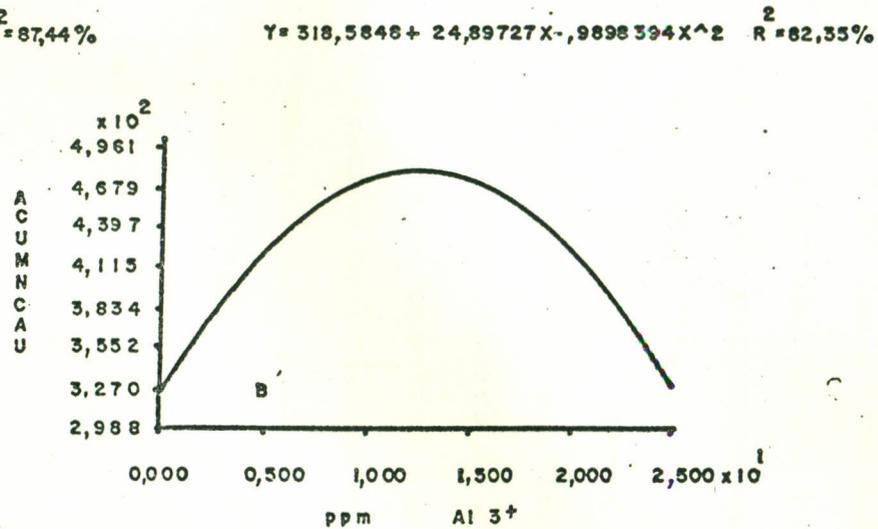
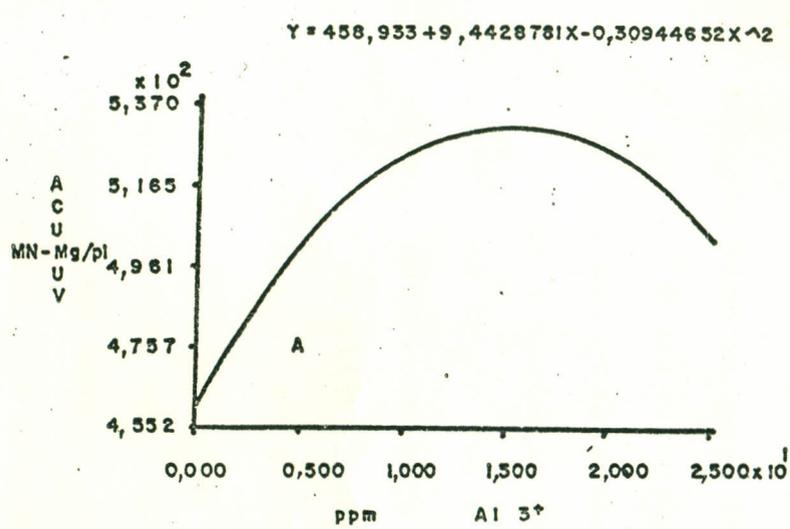


FIG.: 20 - ACÚMULO DE MANGANÊS A - NAS FOLHAS DO ÚLTIMO VERTÍCULO B - NO CAULE C - NAS RAIZES D - ACÚMULO TOTAL DE MANGANÊS NA PLANTA, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE ALUMÍNIO.

res e no caule, estando apresentada juntamente com as curvas correspondentes nas Figuras 21a, 21b e 21c. Não se ajustou regressão para concentração de zinco nas raízes por não se constatar diferenças significativas.

Como o nível de pH das soluções foi mantido entre 4,0 e 5,0, e a disponibilidade de zinco só é afetada em valores de índice de pH superiores a esses, MENGEL e KIRKBY (1982), é provável que a diminuição na concentração desse nutriente no presente experimento seja consequência de efeitos secundários, como injúria das raízes e queda das folhas dos fluxos inferiores nas doses mais elevadas de alumínio.

4.4.3.2. Acúmulo

A variação na quantidade de zinco na planta, com base no peso da matéria seca, em função das doses de alumínio, é apresentada na Tabela 12. Observa-se que o acúmulo foi alto nas doses mais baixas, não apresentando variação entre a ausência de alumínio e a dose de 15 ppm do elemento, mas tendo uma diminuição significativa nas doses mais altas. Este resultado coincide com aquele apresentado por CARVALHO *et alii* (1985), que obteve um grande aumento no acúmulo de zinco nas doses intermediárias de alumínio. Nota-se ainda no presente experimento que o acúmulo de zinco pela planta na dose mais alta de alumínio foi 75%, inferior àquela observada na ausência desse elemento.

A equação de regressão que melhor se ajustou

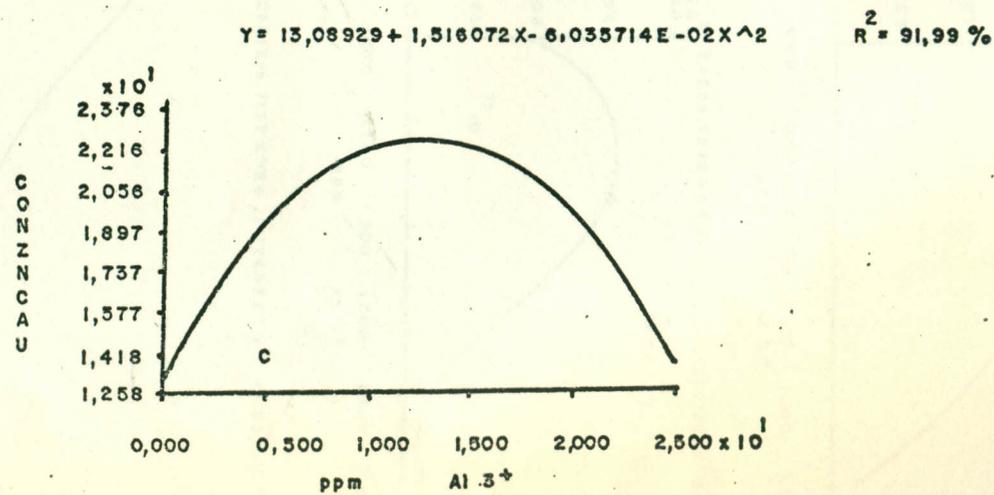
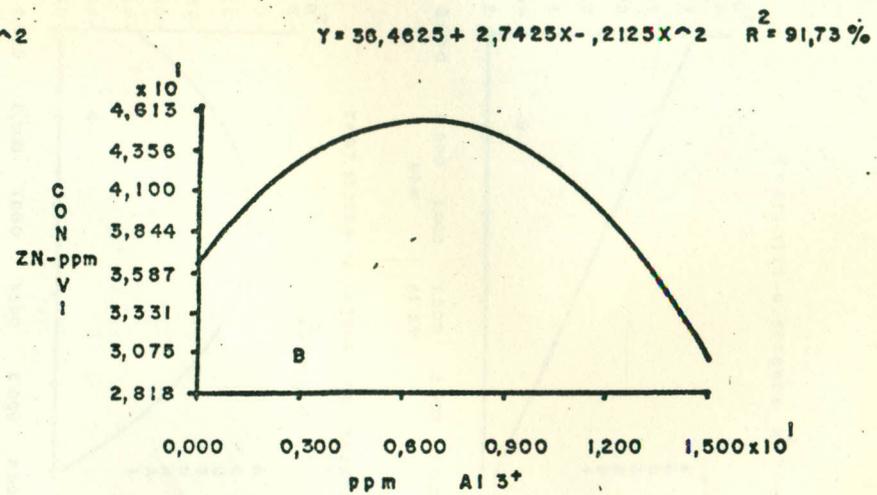
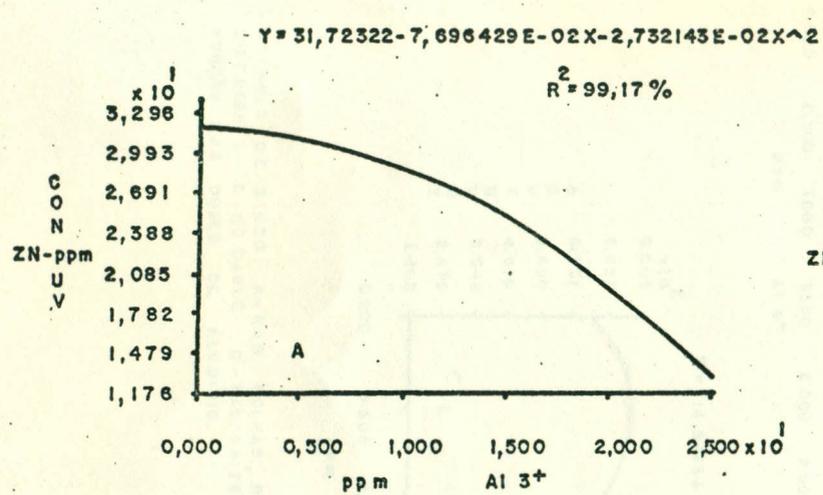


FIG.: 21 - CONCENTRAÇÃO DE ZINCO A - NAS FOLHAS DO ÚLTIMO VERTÍCILO B - NAS FOLHAS DOS VERTÍCILOS INFERIORES C - NO CAULE, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE ALUMÍNIO.

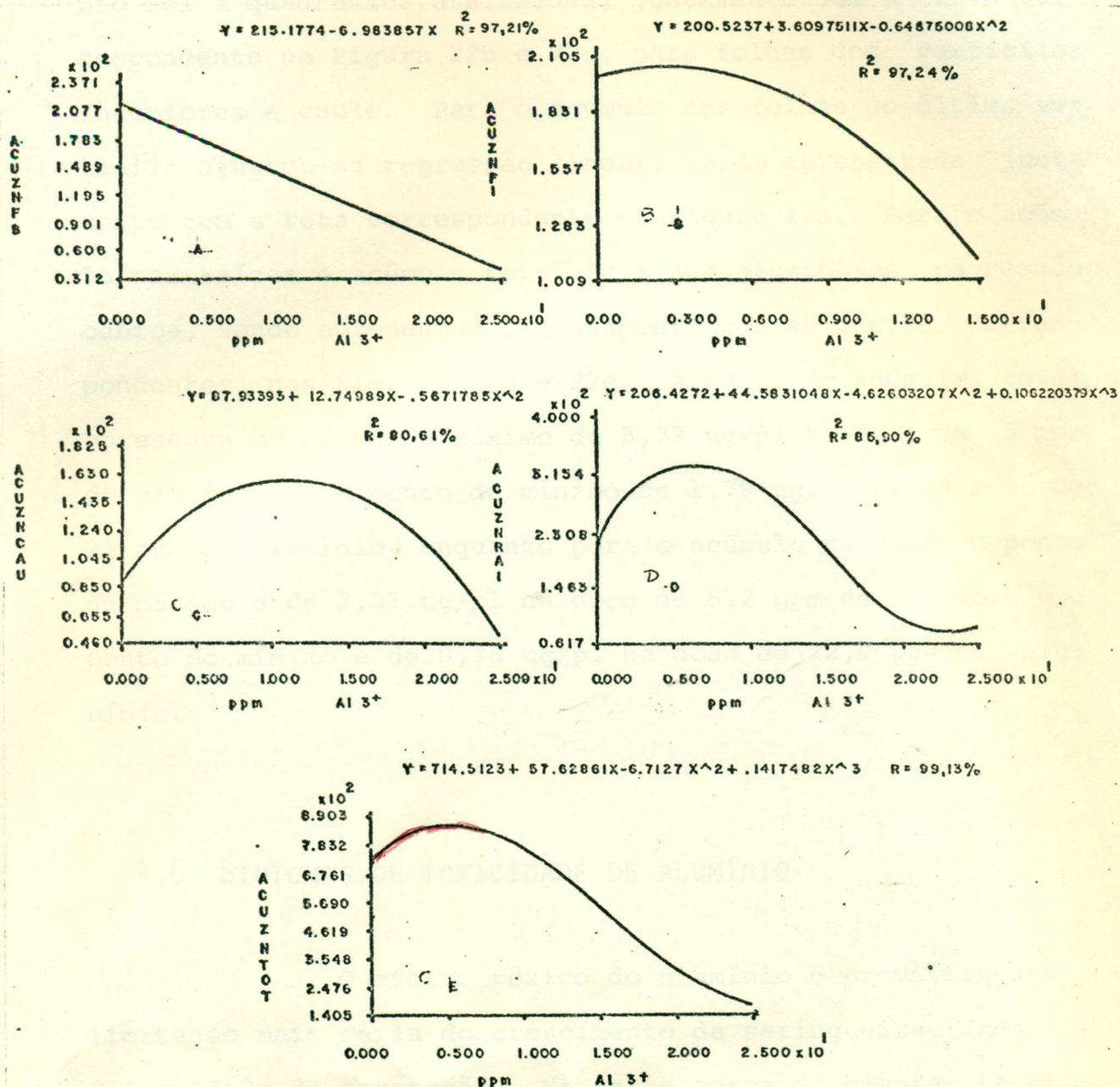


FIG.: 22 - ACUMULO DE ZINCO A - NAS FOLHAS, DO ÚLTIMO VERTICILO B - NAS FOLHAS DOS VERTICILOS INFERIORES C - NO CAULE D - NAS RAIZES E - ACUMULO TOTAL DE ZINCO NA PLANTA, EM FUNÇÃO DAS DOSES DE ALUMÍNIO.

ã variação do acúmulo de zinco em relação às doses de alumínio foi a quadrática, assinalada, juntamente com a curva correspondente na Figura 22b e 22c, para folhas dos verticilos inferiores e caule. Para o acúmulo nas folhas do último verticilo ajustou-se regressão linear, sendo apresentada juntamente com a reta correspondente na Figura 22a. Para o acúmulo nas raízes e acúmulo total de zinco ajustou-se regressão cúbica, sendo apresentada, juntamente com as curvas correspondentes, nas Figuras 22d e 22e. A curva do acúmulo total apresenta um ponto de máximo de 8,79 ug/pl na dose de 5 ppm de alumínio e um ponto de mínimo de 1,79 ug/pl na dose de 25 ppm de alumínio, enquanto para o acúmulo na raiz o ponto de máximo é de 3,31 ug/pl na dose de 6,2 ppm de alumínio e o ponto de mínimo é de 0,78 ug/pl na dose de 22,9 ppm de alumínio.

4.5. SINTOMAS DE TOXICIDADE DE ALUMÍNIO

O efeito tóxico do alumínio é provavelmente a limitação mais séria do crescimento da seringueira, dada a dificuldade de percepção. Na parte aérea da planta, os sintomas não são facilmente identificáveis, pois, se confundem principalmente com os sintomas visuais de deficiência de fósforo. As folhas têm o desenvolvimento atrofiado, apresentando sua coloração verde escuro e que se transforma em cor púrpura nas folhas baixas que caem precocemente.

Os mecanismos fisiológicos dos efeitos tóxicos do alumínio sobre o desenvolvimento da seringueira são totalmente desconhecidos. Os sinais de toxicidade de alumínio em seringueira aparecem primeiro no sistema radicular. Nas doses de 20 e 25 ppm de alumínio, as raízes afetadas tornam-se de cor marrom, grossas e quebradiças provavelmente como resultado da inibição do alongamento da raiz pivotante e das raízes laterais. O meristema apical das raízes torna-se espeso e morre. O sistema radicular, como um todo, toma um aspecto coralóide sem ramificações das raízes laterais, como se observa na Figura 23. A julgar pelos resultados obtidos, essas raízes espessas são ineficientes em absorver nutrientes.

Alguns aspectos observados em seringueira neste experimento são semelhantes às descrições apresentadas por MENGEL & KIRKBY (1982) e por FOY (1984), para outras espécies severamente injuriadas pela toxicidade de alumínio.

Muito embora os resultados obtidos tenham fornecido informações que atendem os objetivos propostos, as limitações impostas pela própria filosofia do estudo não recomendam comparações taxativas com situações observadas comumente no campo. Contudo, esta é a única maneira de atentar para os reflexos diretos de esgotamento das potencialidades de desenvolvimento da planta. De outro lado, os resultados alcançados demonstram a viabilidade de seu uso como parâmetro para avaliação das injúrias que a seringueira pode experimentar no campo, restando que estudos posteriores den



Figura 23. Efeito de níveis de alumínio sobre o desenvolvimento do sistema radicular de plântulas de seringueira.

tro desta mesma linha de pesquisa, identifiquem os fatores e/ou relações do sistema ambiente planta que estejam associadas com as limitações do desenvolvimento e das produções da seringueira cultivada em condições de solo extremamente ácidos.

Verifica-se pela Tabela 13, que no presente estudo, o alumínio na dose de 25 ppm proporcionou condição de deficiência de N, P e S nas folhas do último verticilo, enquanto não afetou as folhas dos verticilos inferiores, quando comparados os dados com aqueles obtidos por SHORROCKS (1979). Guardadas as devidas proporções, os dados do presente trabalho apresentam semelhança com os obtidos por VIÉ-GAS (1985) para N, P, K, Ca, Mg, e S, não sendo semelhantes aos obtidos por CARVALHO et alii (1985) e AMARAL (1983) no que diz respeito a S. Percebe-se ainda que na dose de 25ppm de alumínio os valores das concentrações de ferro e zinco foram semelhantes aos obtidos por CARVALHO et alii (1985) e AMARAL (1983).

Para manganês os resultados foram concordantes com os de AMARAL (1983) e em relação a SHORROCKS (1979), os resultados obtidos no presente trabalho foram discordantes para os 3 micronutrientes referidos.

Estes fatos sugerem a necessidade de que novos estudos deverão ser feitos, de tal maneira que permitam obter dados sobre o comportamento da seringueira em relação ao alumínio, ao solo e às interações entre eles.

Tabela 13. Níveis analíticos de macronutrientes e de micronutrientes determinados em folhas de plântulas de seringueira.

Elemento	Tipo de cultivo	Folhas do último verticilo		Folhas dos verticilos inferiores		Folhas da planta toda		Autor(es)
		Sadias	Deficientes	Sadias	Deficientes	Sadias	Deficientes	
Al ³⁺	Solução nutritiva	93,15 e 199,55(1)		121,57 e 233,85(2)		-		Presente trabalho
	Solução nutritiva	2,52 e	1,73(1)	3,49 e	2,72(2)	-		Presente trabalho
N %	Solução nutritiva	-		-		3,69 e 3,67(3)		CARVALHO et alii (1995)
	Campo (4)	-		-		2,97 e 3,26(5)		VIÉGAS (1985)
	Opala	-		-		3,50	1,94	AMARAL (1983)
	Areia	2,90-3,50	2,80-3,0	2,60-3,50	2,60-2,70	-		SHORROCKS (1979)
P %	Solução nutritiva	0,49 e	0,15(1)	0,47 e 0,28(2)		-		Presente trabalho
	Solução nutritiva	-		-		0,78 e 0,54(3)		CARVALHO et alii (1985)
	Campo (4)	-		-		0,08 e 0,14(6)		VIÉGAS (1985)
	Opala	-		-		0,25	0,14	AMARAL (1983)
	Areia	0,20-0,28	0,12-0,17	0,16-0,23	0,12-0,14	-		SHORROCKS (1979)
K %	Solução nutritiva	1,58 e	0,92(1)	0,38 e 1,12(2)		-		Presente trabalho
	Solução Nutritiva	-		-		1,48 e 1,27(3)		CARVALHO et alii (1985)
	Campo (4)	-		-		0,46 e 0,98(7)		VIÉGAS (1985)
	Opala	-		-		2,22	0,79	AMARAL (1983)
	Areia	1,10-1,60	0,40-0,50	1,00-1,40	0,30-0,40	-		SHORROCKS (1979)

Tabela 13. Níveis analíticos de macronutrientes e de micronutrientes determinados em folhas de plântulas de seringueira - Continuação

Elemento	Tipo de cultivo	Folhas do último verticilo		Folhas dos verticilos inferiores		Folhas da planta toda		Autor(es)
		Sadias	Deficientes	Sadias	Deficientes	Sadias	Deficientes	
Ca %	Solução nutritiva	0,57 e 0,24(1)		0,97 e 0,60(2)		-		Presente estudo
	Solução nutritiva	-		-		0,48 e 0,43(3)		CARVALHO et alii (1985)
	Campo(4)	-		-		0,61 e 0,63(8)		VIÉGAS (1985)
	Opala	-		-		1,28	0,59	AMARAL (1983)
	Areia	0,38-0,51	0,11-0,20	0,76-0,82	0,14-0,21	-		SHORROCKS (1979)
Mg %	Solução nutritiva	0,27 e 0,17(1)		0,23 e 0,19(2)		-		Presente trabalho
	Solução nutritiva	-		-		0,25 e 0,25(3)		CARVALHO et alii (1985)
	Campo (4)	-		-		0,28 e 0,44(9)		VIÉGAS (1985)
	Opala	-		-		0,50	0,26	AMARAL (1983)
	Areia	0,24-0,26	0,05-0,16	0,17-0,24	0,02-0,10	-		SHORROCKS (1979)
S %	Solução nutritiva	0,23 e 0,12(1)		0,24 e 0,18(2)		-		Presente trabalho
	Solução nutritiva	-		-		0,49 e 0,33(3)		CARVALHO et alii (1985)
	Campo (4)	-		-		0,12 e 0,17(10)		VIÉGAS (1985)
	Opala	-		-		0,10	0,10	AMARAL (1983)
	Areia	0,14-0,24	0,12	0,18-0,26	0,12-0,14	-		SHORROCKS (1979)

Tabela 13. Níveis analíticos de macronutrientes e de micronutrientes determinados em folhas de plântulas de seringueira - Continuação.

Elemento	Tipo de cultivo	Folhas do último verticilo		Folhas dos verticilos inferiores		Folhas da planta toda		Autor(es)
		Sadias	Deficientes	Sadias	Deficientes	Sadias	Deficientes	
Fe ppm	Solução nutritiva	67,25 e 148,50(1)		80,50 e 151,25(2)		-		Presente trabalho
	Solução nutritiva	-		-		164,0 e 182,0(3)		CARVALHO et alii (1985)
	Opala	-		-		184,3		AMARAL (1983)
	Areia	66-85	53-58	80-86	65-104	-		SHORROCKS (1979)
Mn ppm	Solução nutritiva	64,50 e 146,75(1)		199,75 e 260,75(2)		-		Presente trabalho
	Solução nutritiva	-		-		186,50 e 175,0(3)		CARVALHO et alii (1985)
	Opala	-		-		32		AMARAL (1983)
	Areia	11-35	6-8	16-38	9-14	-		SHORROCKS (1979)
Zn ppm	Solução Nutritiva	32,0 e 13,0(1)		27,25 e 29,0(2)		-		Presente trabalho
	Solução nutritiva	-		-		29,02 e 21,37(3)		CARVALHO et alii (1985)
	Opala	-		-		37,8		AMARAL (1983)
	Areia	3		-		-		SHORROCKS (1979)

1 - 0,0 ppm Al³⁺ e 25 ppm de Al³⁺; 2 - 0,0 ppm de Al³⁺ e 15 ppm de Al³⁺; 3 - 0,0 ppm de Al³⁺ e 80 ppm Al³⁺; 4 - Dados obtidos em função do estudo de doses de NPK; 5 - N₀ e N₂; 6 - P₀ e P₂; 7 - K₀ e K₂; 8 - K₀ e K₂; 9 - K₂ e K₀; 10 - P₂ e P₀.

5. CONCLUSÕES

- O desenvolvimento da seringueira é afetado a partir de 15 ppm de alumínio no substrato.

- A seringueira é acumuladora e tolerante à presença de concentrações de alumínio inferiores a 15 ppm no substrato. Níveis superiores de alumínio provocam distúrbios nutricionais na planta.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, F., 1980. Interactions of phosphorus with other elements in soils and in plants. In: The Role of Phosphorus in Agriculture. KHASAWNEH, F.E., ed. American Society of Agronomy. Madison, p.655-680.
- ADAMS, F., 1984. Crop Response to Lime in the Southern United States. In: Soil Acidity and Liming. 2ª ed. Ed. Fred Adams. American Society of Agronomy. Madison, p.211-265.
- AMARAL, W. do, 1983. Deficiências de macronutrientes e de boro em seringueira (*Hevea brasiliensis* L.). Dissertação de Mestrado. USP/ESALQ - Piracicaba, SP. 44p.
- BATAGLIA, O.C.; CARDOSO, M.; IGUE, T. & Van RAIJ, B, 1987. Desenvolvimento da seringueira em solos do Estado de São Paulo. Pesq. agropec. bras., Brasília, 22(4): 419-424.
- BENNET, T.P. & FRIEDEN, E., 1971. Tópicos modernos de bioquímica - Estrutura e função das moléculas biológicas. Trad. Francisco J. Salles Lara. Edgard Blücher. 175p.
- BRINKMANN, W.L.F. & NASCIMENTO, J.C. do, 1973. The effect of slash and burn agriculture on plant nutrients in the Tertiary Region of Central Amazonia. Acta Amazonia, nº 1, Ano III, abril 1973. p.55-61.

BOOLE-JONES, E.W., 1957. Copper, its effects on the growth of the rubber plant (*Hevea brasiliensis*). Plant and Soil, 10(2): 150-178.

CARVALHO, J.G. de; VIÉGAS, I. de J.M.; BUENO, N. & HAAG, H.P., 1985. Efeito do alumínio sobre o desenvolvimento, absorção e translocação de nutrientes pela seringueira (*Hevea brasiliensis*) em solução nutritiva (em preparação).

CARVALHO FILHO, R. & LEÃO, A.C., 1976. Solos do Projeto Ou to Preto, INCRA/RONDÔNIA (Área de expansão V - Jará). CEP-PEC. Boletim Técnico nº 49. 43p.

CERRI, C.C.; VOLKOFF, B. & EDUARDO, B.P., 1985. Efeito do desmatamento sobre a biomassa microbiana em Latossolo Amarelo da Amazônia. Rev. bras. Ci. Solo, 9(1): 1-4.

CHAN, H.Y., 1977. Soil Classification. In: Soils under *Hevea* and their management in Peninsular Malaysia. Ed. E. PUSHPARAJA e L.L. AMIN. RRIM. Kuala Lumpur, 1977. p.57-74.

FOY, C.D., 1971. Effects of Aluminum on Plant Growth. In: The Plant Root and its Environment. Ed. Carson, E.W. Charlottesville, p.601-642.

FOY, C.D., 1974. Effects of Aluminum on Plant Growth. In: The Plant Root and its Environment. Ed. E.Kl. Carson. University Press of Virginia. p.601-642.

FOY, C.D., 1976. Differential aluminum and manganese tolerance of plant species and varieties in Acid Soils. Ciência e Cultura, 28(2): 150-155.

FOY, C.D., 1984. Physiological effects of Hydrogen, Aluminum, and Manganese Toxicities in Acid Soil. In: Soil Acidity and Liming. 2ª ed. Ed. Fred Adams. Soil Sic. Soc. America. Madison. p.57-97.

GOODLAND, R., 1971. Oligotrofismo e alumínio no cerrado. In: III Simpósio sobre o Cerrado. Coord. Mario F. Ferri. Edgard Blücher Ltda. p.44-60.

HAAG, H.P.; BUENO, N. & PEREIRA, J.da P., 1986. Exigências minerais em uma cultura de seringueira. In: Simpósio sobre a cultura da Seringueira no Estado de São Paulo. Piracicaba, 14-17 abril de 1986. Fundação Cargill, p.33-82.

HOAGLAND, D.R. & ARNON, D.I., 1950. The Water-culture Method for growing Plants without Soil. Circular 347. California. Agr. Exp. Sta. Berkeley, EUA. 3lp.

LAU, C.H., 1975. Extraction of Potassium and Aluminum from Five Malaysian Soils by a Cation - Exchange Resin. Proceedings of the International Rubber Conference, Kuala Lumpur, p.23-36.

LAU, C.H., 1979. Rates of Extraction of Potassium and Aluminum from Five Malaysian Soils by a Cation exchange Resin. J. Rubb. Res. Inst., Malaysia, 27(2): 104-113.

LAU, C.H., 1979a. Chemistry and fertility of soils. In: RRIM Training on Soils, Soil Management and Nutrition of Hevea. Kuala Lumpur, p.41-53.

LAU, C.H., 1979b. Rates of Extraction of Potassium and Aluminum from Five Malaysian Soils by a Cation - exchange Resin. J. Rubb. Res. Inst. Malaysia, 27(2): 104-113.

MANARINO, R.P.; VOLKOFF, B.P. & CERRI, C.C., 1982. Comparação do húmus de capoeira e de floresta natural em Latossolos Amarelos da região Amazônica, Brasil. Colóquio Regional sobre Matéria Orgânica do Solo, 1. Piracicaba. Anais. CE-NA, São Paulo, PROMOCET, p.51-57.

MARSCHNER, H., 1986. Mineral Nutrition of Higher Plants. Institute of Plant Nutrition University of Hohenheim Federal Republica of Germany. 674p.

MENGEL, K. & KIRKBY, E.A., 1982. Principles of Plant Nutrition. 3ª Ed. Inst. Potash Inst. Bern., 655p.

PERKIN-ELMER, coord., 1976. Revision of analytical methods for atomic absorption spectrophotometry. Norwalk, Connecticut, EUA.

RANZANI, G., 1980. Identificação e caracterização de alguns solos da Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA. Acta Amazônica, 10(1): 7-41.

RODRIGUES, T.E.; REIS, R.S. dos; MORIKAWA, I.R.; FALESI, I. C. & SILVA, B.N.R. da, 1972. Levantamento detalhado dos solos do IPEAAOC. IPEAAOC. Boletim Técnico nº 3. Manaus, 63p.

SÁNCHEZ, P.A., 1981. Suelos del trópico. Características y manejo. Trad. E. Camacho, IICA, Costa Rica. 660p.

SÁNCHEZ, P.A. & BANDY, D.E., 1982. Suelos de la Amazonia y su manejo para produccion continua de cultivos. Suelos Ecuatoriales, XII(2): 301-15.

RODRIGUES

- SÁNCHEZ, P.A.; VILLACHICA, J.H. & BANDY, D.E., 1983. Soil Fertility Dynamics, after Cleaning a Tropical. Rain - forest in Peru. Soil Sci. Soc. Am. J., 47(6): 1171-78.
- SANTANA, M.B.M.; CABALA-ROSAND, F.P. & VASCONCELOS FILHO, A.P., 1977. Fertilidade dos solos ocupados com seringueira no Sul da Bahia e grau de tolerância dessa cultura ao alumínio. Rev. Theobroma, 7: 125-132.
- SARRUGE, J.R. & HAAG, H.P., 1974. Análise química em plantas. Piracicaba, E.S.A. "Luiz de Queiroz". 56p.
- SHORROCKS, V.M., 1979. Deficiências minerais em Hevea e plantas de cobertura associadas. Trad. MENDES, L.O.T. SU DHEVEA, Brasília, 76p.
- SOONG, N.K. & LAU, C.H., 1977. Physical and Chemical Properties of Soil. In: Soils under Hevea and their management in Peninsular Malaysia. Ed. E. Pushparajah e L.L. Amin. RRIM. Kuala Lumpur, 1977. p.25-56.
- SOONG, N.K., 1979. The physical properties of soil and soil conservation. In: RRIM Training Manual in Soils. Soil Management and Nutrition of Hevea. Kuala Lumpur, p. 15-40.
- USHERWOOD, N.R., 1982. Interação do potássio com outros ions. In: Potássio na agricultura brasileira. Ed. T. Yamada **et alii**. Piracicaba. Instituto da Potassa & Fosfato. Anais. Londrina, 1982. p.227-247.
- VIÉGAS, I. de J.M., 1985. Doses de NPK em viveiro de Hevea spp. na obtenção de plantas aptas para enxertia em Latossolo Amarelo textura média, na Ilha de Mosqueiro-PA. Dissertação de Mestrado. USP-ESALQ. Piracicaba-SP. 7lp.

VIEIRA, L.S., 1981. O solo e a cultura da seringueira (*Hevea* spp.). FICAP. Informe Didático nº 2. Belém, 1981. 177p.

ZAINOL, E., 1979. Distribution, properties and classification of soils under rubber. In: RRIM Training Manual on Soils, Soil Management and Nutrition of Hevea. Kuala Lumpur. p.54-73.

ZAKARIA, Z.Z. & GAMMON, N., 1979. Copper, zinc, manganese, iron and aluminum contents of soils commonly used for *Hevea brasiliensis* cultivation. I. Distribution within soil profiles. J. Rubb. Res. Inst. Malaysia, 27(2): 68-78.

