

CARLOS ANTONIO FERREIRA DE SOUSA

INFLUÊNCIA DO ALUMÍNIO NA MOBILIZAÇÃO DE RESER-
VAS, NUTRIÇÃO MINERAL E CRESCIMENTO DE PLAN-
TULAS DE SERINGUEIRA (*Hevea brasiliensis* Muell Arg.)

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura de Lavras, como parte das exigências do curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração, Fisiologia Vegetal, sub área Nutrição e Metabolismo de Plantas, para obtenção do grau de "MESTRE".

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS

LAVRAS - MINAS GERAIS


1991

INFLUENCIA DO ALUMINIO NA MOBILIZAÇÃO DE RESERVAS, NUTRIÇÃO
MINERAL E CRESCIMENTO DE PLANTULAS DE SERINGUEIRA
(*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.)

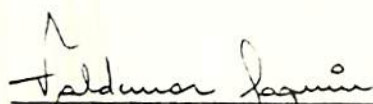
Aprovada:



Prof. Dr. Luiz Edson Mota de Oliveira
orientador


Prof. Dra. Janice Guedes de Carvalho

Prof. PhD. Fabiano Ribeiro do Vale



Prof. Dr. Valdemar Faquin

A meus pais
e irmãos,
DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A todos os colegas de curso e de mestrado, professores e funcionários da ESAL que contribuíram para a realização deste trabalho, bem como à CAPES, pela concessão da bolsa de estudo e ao CNPq, pelo financiamento do projeto de pesquisa.

Muito Obrigado.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Carlos Antônio Ferreira de Sousa, filho de Sabino Ferreira de Sousa e Antônia Joaquina de Sousa, nasceu na cidade de Fronteiras-PI, no dia 20 de fevereiro de 1965. Iniciou o 1º grau em 1971 no Colégio Estadual Costa Alvarenga, em Oeiras-PI, concluindo-o no Ginásio Isaias Coelho, no ano de 1979, em S. Mendes-PI. Em 1980, iniciou o 2º grau em Teresina-PI, transferindo-se, posteriormente, para Campina Grande-PB, concluindo esta etapa no Colégio Pré-Universitário Campinense, em 1982. Logo em seguida, ingressou no curso de Agronomia da Universidade Federal da Paraíba, concluindo-o em 1987. No ano de 1988, iniciou o curso de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, na Escola Superior de Agricultura de Lavras, em Lavras-MG, concluindo-o em 1991. Neste mesmo ano foi contratado, através de concurso público, pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Mato Grosso.

SUMARIO

1. INTRODUÇÃO.....	01
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	03
2.1. Sintomas visuais da toxicidade do alumínio.....	03
2.2. Toxicidade do alumínio e sua relação com a nutrição mineral.....	04
2.3. Toxicidade do alumínio a nível celular e subcelular.....	06
2.4. Toxicidade do alumínio e o metabolismo do nitrogênio.....	10
2.5. Aspectos da tolerância à toxicidade do alumínio.....	13
2.6. Interação entre pH, fósforo e alumínio em soluções nutritivas.....	15
3. MATERIAL E METODOS.....	17
3.1. Estabelecimento dos valores de pH e concentração de fósforo e alumínio na solução nutritiva.....	17
3.2. Influência do alumínio sobre o comportamento nutricional de plântulas de seringueira.....	19
3.3. Características analisadas.....	21
3.4. Análise estatística.....	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
4.1. Interação entre pH e níveis de fósforo e alumínio.....	23

4.2. Interação entre níveis de fósforo e alumínio.....	26
4.3. Produção de matéria seca e crescimento da raiz e parte aérea.....	28
4.4. Mobilização de reservas orgânicas e minerais das sementes	33
4.5. Nutrição mineral.....	41
4.5.1. Alumínio.....	41
4.5.2. Macronutrientes.....	45
4.5.2.1. Nitrogênio.....	45
4.5.2.2. Fósforo.....	48
4.5.2.3. Potássio.....	52
4.5.2.4. Cálcio.....	55
4.5.2.5. Magnésio.....	59
4.5.2.6. Enxofre.....	62
4.5.3. Micronutrientes.....	65
4.5.3.1. Cobre.....	65
4.5.3.2. Ferro.....	65
4.5.3.3. Manganês.....	69
4.5.3.4. Zinco.....	74
5. CONCLUSÕES.....	79
6. RESUMO.....	80
7. SUMMARY.....	83
8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	86
APENDICE.....	103

LISTA DE QUADROS

- QUADRO 1 - Concentração de nutrientes na solução nutritiva de BOLLE-JONES com força total..... 18
- QUADRO 2 - Teor de fósforo solúvel (ppm) determinado na solução nutritiva de BOLLE-JONES (1957) contendo diferentes níveis de fósforo e alumínio..... 27
- QUADRO 3 - Teor de alumínio solúvel (ppm) determinado na solução nutritiva de BOLLE-JONES contendo diferentes níveis de fósforo e alumínio..... 28

LISTA DE FIGURAS

FIGURA

- 01 - Efeitos do pH dos níveis de fósforo (A-4; B-8ppm) sobre a concentração de alumínio solúvel na solução..... 24
- 02 - Efeitos do pH e dos níveis de fósforo (A-16; B-32ppm) sobre a concentração de alumínio solúvel na solução..... 25
- 03 - Efeito da época de coleta sobre a produção de matéria seca nas raízes (A) e parte aérea (B) de plântulas de seringueira..... 29
- 04 - Efeito da época de coleta sobre a produção de matéria seca no caule (A) e lâmina foliar (B) de plântulas de seringueira..... 30
- 05 - Efeito da época de coleta sobre o comprimento da raiz (A) e da parte aérea (B) de plântulas de seringueira..... 32
- 06 - Efeito da época de coleta sobre o peso da matéria seca em sementes de plântulas de seringueira..... 34

07 - Efeito da época de coleta sobre o teor de nitrogênio (A) e fósforo (B) em sementes de plântulas de seringueira.....	35
08 - Efeito da época de coleta sobre o teor de nitrogênio (A) e cálcio (B) em sementes de plântulas de seringueira.....	36
09 - Efeito da época de coleta sobre o teor de magnésio (A) e enxofre (B) em sementes de plântulas de seringueira.....	37
10 - Efeito da época de coleta sobre o teor de cobre (A) e ferro (B) em sementes de plântulas de seringueira.....	38
11 - Efeito da época de coleta sobre o teor de magnésio (A) e zinco (B) em sementes de plântulas de seringueira.....	39
12 - Efeito da época de coleta sobre o teor de alumínio em sementes de plântulas de seringueira.....	40
13 - Efeitos de níveis de alumínio na solução nutritiva e da época de coleta sobre o teor de alumínio nas raízes (A) e parte aérea (B) de plântulas de seringueira.....	42
14 - Efeitos de níveis de alumínio na solução nutritiva e da época de coleta sobre o teor de alumínio no caule (A) e lâmina foliar (B) de plântulas de seringueira.....	44
15 - Efeito da época de coleta sobre o teor de nitrogênio nas raízes (A) e parte aérea (B) de plântulas de seringueira..	46
16 - Efeitos de níveis de alumínio na solução nutritiva e da época de coleta sobre o teor de nitrogênio no caule (A) e lâmina foliar (B) de plântulas de seringueira.....	47

- 17 - Efeito da época de coleta sobre o teor de fósforo nas raízes (A) e parte aérea (B) de plântulas de seringueira.. 49
- 18 - Efeitos de níveis de alumínio na solução nutritiva e da época de coleta sobre o teor de fósforo no caule (A) e lâmina foliar (B) de plântulas de seringueira..... 50
- 19 - Efeito da época de coleta sobre o teor de potássio nas raízes (A) e parte aérea (B) de plântulas de seringueira.. 53
- 20 - Efeito da época de coleta sobre o teor de potássio no caule (A) e lâmina (B) foliar de plântulas de seringueira. 54
- 21 - Efeitos de níveis de alumínio na solução nutritiva e da época de coleta sobre o teor de cálcio nas raízes (A) e parte aérea (B) de plântulas de seringueira..... 56
- 22 - Efeitos de níveis de alumínio na solução nutritiva e da época de coleta sobre o teor de cálcio no caule (A) e lâmina foliar (B) de plântulas de seringueira..... 58
- 23 - Efeito da época de coleta sobre o teor de magnésio nas raízes (A) e parte aérea (B) das plântulas de seringueira. 60
- 24 - Efeitos de níveis de alumínio na solução nutritiva e da época de coleta sobre o teor de magnésio no caule (A) e lâmina foliar (B) de plântulas de seringueira..... 61
- 25 - Efeitos de níveis de alumínio na solução nutritiva e da época de coleta sobre o teor de enxofre nas raízes (A) e parte aérea (B) de plântulas de seringueira..... 63

- 26 - Efeitos de níveis de alumínio na solução nutritiva e da época de coleta sobre o teor de enxofre no caule (A) e lâmina foliar (B) de plântulas de seringueira..... 64
- 27 - Efeitos de níveis de alumínio na solução nutritiva e da época de coleta sobre o teor de cobre nas raízes (A) e parte aérea (B) de plântulas de seringueira..... 66
- 28 - Efeito da época de coleta sobre o teor de cobre no caule (A) e lâmina foliar (B) de plântulas de seringueira..... 67
- 29 - Efeito de coleta sobre o teor de ferro nas raízes (A) e parte aérea (B) de plântulas de seringueira..... 68
- 30 - Efeitos de níveis de alumínio na solução nutritiva sobre o teor de ferro na parte aérea de plântulas de seringueira.. 70
- 31 - Efeitos de níveis de alumínio na solução nutritiva e da época de coleta sobre o teor de ferro no caule (A) e lâmina foliar (B) de plântulas de seringueira..... 71
- 32 - Efeitos de níveis de alumínio na solução nutritiva e da época de coleta sobre o teor de manganês nas raízes (A) e parte aérea (B) de plântulas de seringueira..... 72
- 33 - Efeitos de níveis de alumínio na solução nutritiva e da época de coleta sobre o teor de manganês no caule (A) e lâmina foliar (B) de plântulas de seringueira..... 73
- 34 - Efeitos de níveis de alumínio na solução nutritiva sobre o teor de manganês nas raízes de plântulas de seringueira... 75

- 35 - Efeito de época de coleta sobre o teor de zinco nas raízes
(A) e parte aérea (B) de plântulas de seringueira..... 76
- 36 - Efeito de coleta sobre o teor de zinco no caule (A) e
lâmina foliar (B) de plântulas de seringueira..... 77

1. INTRODUÇÃO

A seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.), tanto na sua região de origem quanto em diversas áreas de cultivo, enfrenta problemas relacionados à baixa fertilidade dos solos. Nestes, a escassez de minerais é agravada pelo alto teor de alumínio trocável, que compromete ainda mais o desenvolvimento e estabelecimento do seringal, bem como a produção de látex e a vida útil do mesmo (HAAG et alii, 1986). Sabe-se, entretanto, que a seringueira é uma espécie que apresenta uma grande variabilidade genética, em decorrência da fecundação cruzada (GONÇALVES, 1986) e, inclusive, esta variabilidade já foi mostrada em relação à tolerância à toxicidade do alumínio por DELU FILHO et alii (1989). Baseando-se nisso, observa-se que os clones hoje existentes e utilizados em cultivo, por estarem enxertados em cavalos de carga genética diferente e variável, não apresentam uniformidade de resposta no campo, quando cultivados em condições semelhantes (PEREIRA, 1986). Por outro lado, apesar da ação tóxica do alumínio já ter sido caracterizada em muitas espécies de plantas, em relação à seringueira, uma cultura em franca expansão nas áreas de solo sob cerrado, por se

constituirem em zonas de escape ao fungo *M. ulei* (CARMO & FIGUEIREDO, 1985), muito pouco foi estudado até o momento, e os raros trabalhos existentes relacionam a toxicidade do alumínio em plantas com estágio de crescimento avançado (SANTANA et alii, 1977; HENG, 1979; BUENO, 1987) e usando as mais variadas metodologias.

Este trabalho faz parte de um programa de pesquisa que tem o propósito de desenvolver uma metodologia que permita selecionar genótipos de seringueira tolerantes ao alumínio, cloná-los e, posteriormente, propagá-los. Dentro desse programa, o objetivo desse estudo foi caracterizar os efeitos do alumínio biologicamente tóxico sobre o crescimento, a nutrição mineral e a mobilização de reservas das sementes para as plântulas, visando estabelecer correlações entre os possíveis efeitos visuais e mensuráveis, que não sejam destrutivos, da toxicidade daquele cátion, com as alterações verificadas ao nível nutricional, confiáveis, para servirem de parâmetros para os estudos posteriores de seleção de genótipos tolerantes.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Sintomas visuais da toxicidade do alumínio

A inibição do crescimento das raízes é o sintoma primário da toxicidade do alumínio na maioria das plantas sensíveis (NAIDOO et alii, 1978). Assim, vários autores têm demonstrado esse efeito nas mais diversas espécies vegetais (BARTLETT & RIEGO, 1972; OHKI, 1985; TAYLOR & FOY, 1985a,b; TREJO CHANDIAS, 1985; KROEZE et alii, 1989; OLIVEIRA & RENA, 1989). Em trigo, por exemplo, TAYLOR & FOY (1985a,b) e OHKI (1985) descreveram a formação de raízes curtas, grossas e sem ramificação lateral, em consequência da toxicidade do alumínio. BARTLETT & RIEGO (1972) relataram que as raízes de plantas de milho tratadas com alumínio tornaram-se quebradiças e o crescimento dos ápices foi severamente retardado. Em cevada, HECHT-BUCHHOLZ & SCHUSTER (1987) observaram uma perda da dominância apical e a relacionaram à deformação das células apicais e autólise das células rizodermis, além da inibição da atividade mitótica provocadas pelo alumínio.

Na parte aérea, dependendo da planta, o efeito da toxicidade do alumínio é variável, ora se manifestando como uma deficiência de fósforo (OLIVEIRA, 1979), ora se apresentando como uma deficiência de cálcio ou magnésio (BENGTSSON et alii, 1988) e até mesmo como uma deficiência de ferro (TAYLOR & FOY, 1985 a,b).

2.2. Toxicidade do alumínio e sua relação com a nutrição mineral

A toxicidade do alumínio e sua interação com a absorção, transporte e utilização de minerais pelas plantas pode ser considerado um assunto complexo no estudo da nutrição mineral, pois envolve outros fatores do ambiente e da própria planta, que estão ligados a maior ou menor tolerância a este cátion (ROY et alii, 1988).

Em raízes de ervilha foi observado que o sítio primário de absorção de alumínio parece envolver as células da rizoderme (KLIMASHEVSKII et alii, 1970). Desta forma, JARVIS & HATCH (1987) demonstraram que a maior parte do alumínio estava associado com o meio exterior ou células epidérmicas adultas de raízes de trevo branco. Por outro lado, KESER et alii (1977) concluíram que o alumínio penetrou até a endoderme nas raízes das plantas de beterraba açucareira.

O íon alumínio é pouco móvel na planta mas, na forma de quelado de ácido orgânico, a sua translocação pode ser favorecida (BUENO, 1987). CALBO (1978), MOSQUIM (1978), OLIVEIRA (1979), JARVIS & HATCH (1987) demonstraram que o alumínio se acumula no sistema radicular, sendo muito pouco translocado para

a parte aérea. CLARKSON (1967) relaciona o fato do alumínio se acumular nas raízes com sua retenção pelos grupos carboxílicos dos ácidos poligalacturônicos das paredes celulares. Por outro lado, algumas plantas podem acumular alumínio nas folhas, como é o caso do chá (MATSUMOTO et alii, 1976), que o acumula nas células epidérmicas.

Há diversos trabalhos que relacionam a toxicidade do alumínio a uma diminuição no teor relativo de nutrientes. Assim, alguns trabalhos com sorgo evidenciam um efeito depressivo do alumínio sobre os teores de K^+ , NO_3^- e $SO_4^{=}$ (TREJO CHANDIAS, 1985), Ca^{+2} e Mg^{+2} (NOGUEIRA, 1979). Em mandioca, OLIVEIRA & RENA (1989) encontraram uma diminuição de K^+ e Mg^{+2} . De acordo com BARTLETT & RIEGO (1972), as raízes de milho expostas ao alumínio acumularam alumínio e ferro, mas somente traços destes elementos foram transportados para a parte aérea. Entretanto, em plantas de trigo, OHKI (1985) detectou um acúmulo de alumínio nas raízes, mas uma redução na absorção de ferro e manganês.

Porém, o efeito mais observado do alumínio parece ser sobre o metabolismo do fósforo, principalmente por sua retenção a nível radicular e a redução da translocação para a parte aérea (CALBO, 1978; MOSQUIM, 1978; OLIVEIRA, 1979). Sob este aspecto, BLOOM (1981) sugere que o $H_2PO_4^-$, que é a forma predominante do íon fosfato a baixo pH (3-7), provavelmente reage com alumínio ligado a grupos carboxílicos das paredes e membranas celulares das raízes, o que impede o seu transporte para os sítios de utilização no interior celular (RORISON, 1965). Por outro lado, uma vez que as raízes das plantas intoxicadas com alumínio

crecem menos (NAIDOO et alii, 1978; RENGEL, 1990), e o fósforo é um elemento pouco móvel no solo (MALAVOLTA, 1980), a dificuldade para que o fósforo chegue até a raiz é ainda maior.

O efeito competitivo entre alumínio e cálcio por ligantes orgânicos a nível de raiz já foi comprovado por diversos autores (LANCE & PEARSON, 1969; CLARKSON & SANDERSON, 1971; JARVIS & HATCH, 1987), que também relacionam a deficiência de cálcio a distúrbios na parede celular (JARVIS & HATCH, 1987) e alterações na permeabilidade da membrana das células das raízes (CALDWELL & HAUG, 1981).

Para FOY et alii (1967) e FOY et alii (1978), as raízes das plantas podem acumular alumínio por causa de uma maior capacidade de troca cátions, podendo provocar deficiência de cálcio ou magnésio. Assim, HECHT-BUCHHOLZ & SCHUSTER (1987) mencionam que mais magnésio ou cálcio pode ser necessário para competir com o alumínio, uma vez que estes autores, em concordância com RHUE & GROGAN (1977), sugerem que o magnésio é tão efetivo quanto o cálcio na proteção das raízes aos efeitos danosos do alumínio.

2.3. Toxicidade do alumínio a nível celular e subcelular

As bases bioquímicas para os mecanismos de toxicidade do alumínio a nível celular permanecem obscuras, apesar de muitos trabalhos avaliarem os efeitos tóxicos deste metal (SUHAYADA & HAUG, 1986).

ZHAO et alii (1987) relataram que nas células corticais de raízes de *G. rubra* o alumínio alterou as propriedades da

plasmalema e/ou do tonoplasto, resultando em: a) aumento da permeabilidade da membrana à uréia, metil-uréia e etil-uréia; b) diminuição da afinidade aos permeadores de lipídio (substâncias que têm afinidade por lipídios); c) diminuição da permeabilidade da membrana à água. As mudanças de permeabilidade sugerem que o alumínio altera a porção lipídica da membrana. O decréscimo na afinidade por lipídio e na permeabilidade à água pode indicar que o alumínio muda a densidade da porção lipídica. Tal efeito do Al^{+3} pode ser o resultado de sua ligação a regiões polares dos fosfolipídios ou às proteínas da membrana, pois uma mudança na configuração protéica e, portanto, na interação lipídio-proteína modificaria a mobilidade da dupla camada lipídica. Foi verificado, também, que as raízes de milho estressadas com alumínio podem sofrer uma redução no conteúdo de ácidos orgânicos, em consequência da injúria induzida por aquele cátion às membranas plasmáticas das células, facilitando a fuga de metabólitos (SUHAYADA & HAUG, 1986).

A queda no nível de ATP, atribuída à complexação do fósforo pelo alumínio, aliada à inibição na taxa de respiração (PFEFFER, 1986), sugere que um dos efeitos mais notáveis do alumínio seja a nível mitocondrial, muito embora não se possa creditar esse efeito à diminuição na taxa de produção de açúcares fosforilados (RODRIGUES, 1979), como o fez RORISON (1965). De acordo com NAIDOO et alii (1978), o alumínio e o fósforo ficam concentrados principalmente no apoplasto e/ou simplasto das células da coifa e formam um precipitado na superfície da célula. Em milho, RASMUSSEN (1968) não observou a presença do alumínio

nas células merismáticas e sugeriu que ele poderia estar confinado à coifa e à superfície da raiz. Entretanto, CLARKSON & SANDERSON (1969), usando escândio (^{46}Sc) como traçador para alumínio, mostraram que o mesmo se acumulou nas células merismáticas tanto quanto na coifa e sobre as superfícies das raízes de *Allium cepa* L.

De acordo com KINRAIDE & PARKER (1987), o acúmulo intracelular de alumínio pode não ser tóxico, desde que ele se ligue ao sulfato (SO_4^-), podendo, também, prender-se a novas espécies de ligantes que são mais comuns que o SO_4^- , tais como HPO_4^- , OH^- , ácidos orgânicos, nucleotídeos, proteínas e outros que, segundo PARKER et alii (1988), amenizam a toxicidade do alumínio na mesma proporção em que formam complexos.

Para MATSUMOTO et alii (1976), o alumínio no núcleo pode agir diretamente sobre a redução ou inibição da divisão celular, pela interferência na replicação dos ácidos nucleicos. A este respeito, SAMPSON et alii (1965) mostraram que as plantas tratadas com alumínio sintetizaram um DNA metabolicamente instável que, além do mais, possuía uma composição de bases não usual.

O alumínio fixado no citoplasma está provavelmente ligado ao RNA e membranas (SAMPSON et alii, 1965) e, neste caso, pode interferir com a síntese de proteínas e a produção de energia (SANTORO et alii, 1984). NAIDOO et alii (1978) sugeriram que o alumínio pode ter dois modos de ação sobre a inibição do crescimento. O primeiro, causado pela co-precipitação do alumínio e fósforo na superfície da raiz. Neste caso, a planta é privada de fósforo suficiente para atender a demanda metabólica das

célulase, conseqüentemente, o seu crescimento normal. O segundo efeito é intracelular, e pode ser o resultado da interferência do alumínio "per se" em funções metabolicamente essenciais para a divisão e crescimento celular normais.

Os trabalhos de MATSUMOTO et alii (1977) mostraram uma clara ligação do alumínio ao fosfato do DNA em cromatina isolada. Em trabalho posterior, MATSUMOTO & MORIMURA (1980) acrescentaram que a atividade da cromatina foi claramente inibida pelo tratamento com alumínio e asseguraram que a mudança na cromatina induzida pelo alumínio é devida principalmente à ligação do alumínio ao DNA. Esses mesmos pesquisadores sugeriram que a ação do alumínio é a seguinte: as fitas duplas de DNA são presas aos polímeros de alumínio e tornam-se incapazes de se separarem. Mencionam, também, que as fibras de cromatina são agrupadas pela ligação de polímeros de alumínio ao fosfato do DNA de uma ou de outra fibra, e tornam-se agregadas, o que resulta numa menor atividade transcricional. Os resultados obtidos por MATSUMOTO (1988), estudando o efeito do tratamento de raízes de ervilha com alumínio, sugerem que este cátion, absorvido pelas raízes em grande quantidade, provocou alterações estruturais na cromatina, isto é, sua concentração ou agregação. A conclusão obtida foi que a toxicidade do alumínio resulta em distúrbios na atividade nuclear, o que acarreta um bloqueio à divisão celular.

A seletividade da membrana citoplasmática, proporcionada pelo cálcio, é comprometida pela ligação do alumínio, que dá uma maior rigidez à membrana, provavelmente devido à ligação aos sítios negativos (BENGTSSON et alii, 1988).

Observações microscópicas revelaram a destruição de células epidérmicas e corticais e também a desintegração da membrana citoplasmática após o tratamento com alumínio (HECHT-RUCHHOLZ & FOY, 1981). Tal efeito pode ser o resultado de mudanças estruturais profundas induzidas pela ligação do alumínio às regiões polares dos fosfolípidios da membrana (ZHAO et alii, 1987).

2.4. Toxicidade do alumínio e o metabolismo do nitrogênio

O modo de atuação do alumínio sobre a nutrição nitrogenada das plantas cultivadas é ainda pouco conhecido (COSTA, 1986). Porém, as pesquisas têm demonstrado uma grande influência daquele cátion sobre as enzimas e metabólitos que regulam a assimilação do nitrogênio (GOMES, 1983; SANTORO et alii 1984; COSTA, 1986; CAMBRAIA et alii, 1988), embora os efeitos sejam diferentes, dependendo da espécie de planta e até mesmo da cultivar (FOY et alii, 1978).

A redutase do nitrato é uma enzima que cataliza a primeira reação da via assimilatória do nitrato, geralmente considerada como o passo limitante na utilização do nitrogênio, e uma de suas características é justamente ser induzida pelo seu substrato (CAMPBELL, 1988). Porém, FOY (1984) advertiu com relação à possibilidade do excesso de alumínio reduzir sensivelmente o fluxo de nitrato para o interior das raízes e, portanto, inibir a atividade da enzima. Com respeito a esta afirmativa, SANTORO et alii (1984) observaram que a diminuição da atividade da enzima em plantas de milho estava associada com um

baixo nível de nitrato nos tecidos, o que poderia ser em consequência da baixa taxa de absorção causada pela toxicidade do alumínio (LANCE & PEARSON, 1969; KOTZE et alii, 1977) ou por efeito direto deste íon sobre os sítios ativos de absorção do nitrato nas células das raízes. Quanto a este aspecto, PIMENTA (1986) observou que o alumínio afetou significativamente os parâmetros cinéticos de absorção do NO_3^- , ou seja, aumentou K_m e C_{min} e diminuiu V_{max} em dois cultivares de trigo, evidenciando um efeito negativo do alumínio sobre o giro e/ou a concentração dos carregadores nas raízes desta espécie, conseqüentemente, diminuindo o influxo de nitrato para o interior celular.

VALE (1982) e GONÇALVES (1983) relataram um aumento na absorção de nitrato na presença do alumínio, trabalhando com *Eucalyptus* e *Stylosanthes*, respectivamente. COSTA (1986) observou que em plantas de *Eucalyptus grandis* supridas apenas com nitrato, o alumínio estimulou a atividade da redutase do nitrato nas raízes e nas folhas e mais pronunciadamente ao nível de 3ppm na solução. Estes resultados não surpreendem porque outros trabalhos têm mostrado que, embora o alumínio não seja um elemento essencial, quando fornecido em baixas concentrações, pode trazer efeitos benéficos a muitas plantas (ROY et alii, 1988).

As enzimas sintetase da glutamina (GS) e sintetase do glutamato (GOGAT), que fazem parte da principal via de assimilação do NH_4^+ , oriundo da redução do nitrato e da absorção direta pelas plantas (CROCOMO, 1985), parecem também estar envolvidas na tolerância diferencial ao alumínio (GONÇALVES, 1983; PIMENTA, 1986). Verificando esta possibilidade, GONÇALVES (1983) encontrou um aumento na atividade da GS em *Stylosanthes* na

presença de alumínio, o que pode ser correlacionado, pelo menos em parte, com o aumento no nível de glutamina (GOMES, 1983). Da mesma forma, o aumento na atividade do sistema GS/GOGAT em raízes de sorgo na presença do alumínio (GOMES, 1983), pode ser um reflexo do aumento na absorção de amônio (VALE, 1982; GONÇALVES, 1983) e/ou um aumento no catabolismo de compostos nitrogenados provocado pelo alumínio (SANTORO et alii, 1984). PIMENTA (1986) não detectou interferência direta do alumínio nas moléculas das enzimas do sistema GS/GOGAT e reforçou a hipótese de que os efeitos do alumínio são indiretos, principalmente por alterações nos níveis dos diversos metabólitos que regulam as atividades destas duas enzimas. Finalmente, esse mesmo pesquisador verificou que a desidrogenase glutâmica (GDH), enzima alternativa à rota GS/GOGAT e que possui um Km alto para amônio parece não exercer qualquer papel na tolerância diferencial ao alumínio.

Vários autores observaram que o alumínio promove um aumento no teor de aminoácidos livres (MOSQUIM, 1978; SANTORO et alii, 1984; CAMBRAIA et alii, 1988) e interfere na interconversão entre os aminoácidos (AMARAL, 1983; GOMES, 1983). GOMES (1983) relatou que a asparagina era a principal forma de transporte do nitrogênio em plantas de sorgo, porém, quando as mesmas foram tratadas com alumínio, a contribuição dessa forma de nitrogênio caiu abruptamente, passando a glutamina a ser a forma preferencial de transporte. Isto levou aquele autor a concluir que uma das mais importantes interferências do alumínio no metabolismo nitrogenado pode ser o seu efeito no nível de glutamina, que está ligada não apenas ao processo de assimilação

do nitrogênio, mas, também, a inúmeras interconversões do nitrogênio orgânico.

2.5. Aspectos da tolerância à toxicidade do alumínio

Embora a base da tolerância das plantas ao alumínio não seja conhecida, várias hipóteses têm sido propostas e uma delas inclui a alteração do pH na zona da rizosfera (FOY et alii, 1965). Uma relação entre a tolerância ao alumínio e a capacidade de manter o pH relativamente alto no meio de crescimento tem sido demonstrado em *Triticum aestivum* (FOY & FLEMING, 1982). Entretanto, uma questão básica concernente à alteração do pH pela planta deve ser considerada, ou seja, para que o aumento de pH verificado em uma solução possa ser interpretado como um mecanismo de tolerância ao alumínio, é necessário que ele tenha ocorrido em consequência de uma maior absorção de ânions, principalmente o NO_3^- , quando o mesmo se encontra na mesma proporção que o NH_4^+ (TAYLOR & FOY, 1985 a,b). BLAMEY et alii (1983) demonstraram que o aumento de pH de 4.5 para 4.6 na solução nutritiva resultou num declínio de 26% na concentração do alumínio. Baseando-se nisso, eles relacionaram que as diferenças de pH observadas entre as cultivares de trigo mais tolerantes e mais sensíveis ao alumínio (na ordem de 0,25 unidades de pH em 9 dias) seriam, provavelmente, de significância biológica, mas isso não impedia o envolvimento de mecanismos adicionais de tolerância.

As proteínas parecem desempenhar um papel importante nos mecanismos de tolerância ao alumínio. Estes compostos orgânicos podem funcionar de dois modos: o íon é incorporado dentro de

mataloproteínas estáveis que continuam ativas (WAGNER & TROTTER, 1982), ou é complexado e, neste caso, a proteína se torna inativa (ANIOL, 1984).

A síntese de proteínas que se ligam ao alumínio e que são induzidas por ele pode ocorrer em diferentes compartimentos das células das raízes e, portanto, deve ser controlada por diferentes genes (ANIOL, 1984). De fato, a tolerância ao alumínio em trigo parece estar correlacionada à atuação de vários genes (LAFEVER & CAMPBELL, 1978) e parece explicar a existência de diferentes graus de tolerância (FOY & FLEMING, 1982).

A quelação dos íons alumínicos por ácidos orgânicos no interior da célula é considerada, também, uma hipótese para explicar o mecanismo de tolerância ao alumínio, uma vez que as plantas podem acumular estes quelados de alumínio sem efeitos tóxicos aparentes (BARTLETT & RIEGO, 1972). Na rizosfera, devido à exsudação de ácidos orgânicos, o alumínio também pode ser complexado. Foi verificado que em plantas de milho, os ácidos orgânicos que mais contribuem no efeito quelante do alumínio são os ácidos málico e trans-aconítico (SUHAYADA & HAUG, 1986). A afinidade relativamente forte entre o alumínio e o malato, em conjugação com altas concentrações observadas deste ácido orgânico nos tecidos das raízes de sorgo (CAMBRAIA et alii, 1988), sugerem um papel potencial para o malato no isolamento do alumínio intracelular em plantas do ciclo C₄ (SUHAYADA & HAUG, 1986).

2.6. Interação entre pH, fósforo e alumínio em soluções nutritivas

Embora o estudo da toxicidade do alumínio sobre as plantas, utilizando-se soluções nutritivas, tenha sido amplamente difundido (FOY et alii, 1978), muito pouca atenção tem sido dada à especiação do alumínio e a sua interação com os demais elementos minerais numa solução. Neste particular, os trabalhos têm preocupação maior apenas com o pH da solução de trabalho (FOY et alii, 1967; REID et alii, 1971; TAYLOR & FOY, 1985 a,b; LINDBERG, 1990). Entretanto, a química do alumínio na solução é complexa e muitos fatores podem resultar em uma considerável redução das espécies iônicas tóxicas (BLAMEY et alii, 1983), especialmente o pH e o conteúdo de fósforo (BLAMEY et alii, 1987). Existe na literatura uma opinião consensual de que as espécies de alumínio monoméricas, que se formam a pHs baixos, são as mais tóxicas às plantas (ALVA et alii, 1986; ASP et alii, 1988; NOBLE et alii, 1988; KINRAIDE & PARKER, 1989), embora não esteja definida a espécie monomérica mais tóxica, que parece depender do tipo de planta considerada (KINRAIDE & PARKER, 1990). Os resultados obtidos por KINRAIDE & PARKER (1990) e as pesquisas de ALVA et alii (1986) e NOBLE et alii (1988) podem ser interpretadas como uma evidência de que uma ou mais espécies de hidróxido de alumínio mononuclear são tóxicas a várias espécies dicotiledôneas. Segundo os resultados de ALVA et alii (1986) o Al^{+3} parece ser menos tóxico. KINRAIDE & PARKER (1990) explicam que as dicotiledôneas têm uma alta afinidade por sítios ligantes externos para H^+ , e que, quando ocupados pelo H^+ , o Al^{+3} não se

liga, ocorrendo um efeito de competição onde um controla a toxicidade do outro.

Baseando-se nestas informações e nos trabalhos de HENG (1979) e BUENO (1987), além de outros já citados, nota-se que é importante estabelecer a melhor relação de fósforo/alumínio e pH, que permita que a maior parte do alumínio presente na solução nutritiva esteja na forma monomérica, quando se pretende caracterizar os efeitos deste elemento sobre o desenvolvimento das plantas.

3. MATERIAL E METODOS

3.1. Estabelecimento dos valores de pH e concentração de fósforo e alumínio na solução nutritiva

Foi realizado um estudo preliminar que consistiu em avaliar as interações entre o pH e as concentrações de fósforo (P) e de alumínio (Al) e suas interferências sobre a formação do precipitado insolúvel fosfato de alumínio. Foram preparadas soluções com várias concentrações de alumínio (0, 4, 8, 16 e 32 ppm) e fósforo (0,4,8,16 e 32 ppm) nos pHs 3.5; 4.0; 4.5; 5.0; 5.5. Como fontes de fósforo e alumínio foram utilizados fosfato de potássio monobásico e sulfato de alumínio, respectivamente.

O experimento consistiu de um fatorial (5x5x5) inteiramente casualizado com duas repetições. Os pHs foram ajustados com KOH ou HCl, dependendo do valor desejado. Cada parcela experimental consistiu de 100 ml da solução contendo os níveis de P, Al e pH, que foi colocada em frascos de vidro, e deixada em repouso por aproximadamente uma semana. Após esse período, a solução foi agitada e filtrada através de um papel de

filtro qualitativo capaz de reter o precipitado fosfato de alumínio. Para a determinação do alumínio, utilizou-se o método da aluminona (HSU, 1963). Este experimento propiciou a determinação do pH 4.0 como sendo aquele que promoveu a menor formação do precipitado fosfato de alumínio.

Partindo-se do experimento anterior, onde se definiu o pH 4.0 como sendo o ideal, procedeu-se outro experimento, tomando-se por base a solução de BOLLE-JONES (1957) (Quadro 1), ajustada para que se mantivesse a mesma concentração de nutrientes em todos os níveis de alumínio, a 1/4 força sem o fósforo. Nesta solução estudou-se a influência da interação entre três níveis de fósforo (2.0, 4.0 e 8.0 ppm) e cinco níveis de alumínio (0, 5, 10, 15 e 20 ppm) sobre a precipitação dos dois ions. O delineamento utilizado foi um fatorial (5x3) inteiramente

QUADRO 1 - Concentração de nutrientes na solução nutritiva de BOLLE-JONES com força total.

Macronutrientes	Conc.(ppm)	Micronutrientes	Conc.(ppb)	
Nitrogênio	NO_3^-	70	Boro	11,7
	NH_4^+	42	Cloro	1460
Fósforo	31	Cobre	63	
Potássio	39	Ferro*	22	
Cálcio	80	Manganês	1098	
Magnésio	30	Molibênio	29	
Enxofre	120	Sódio	23000	
		Zinco	65	

* O Fe foi adicionado na forma de Fe-EDTA, pois não é encontrado na solução nutritiva de BOLLE-JONES (1957).

casualizado com duas repetições, e o pH foi ajustado com KOH ou HCl. Neste caso, a solução foi deixada em repouso por 24 horas e filtrada com papel de filtro qualitativo, sendo feitas as análises de fósforo e alumínio, baseadas na metodologia de LINDEMANN (1968) e HSU (1963), respectivamente.

A partir deste experimento, estabeleceu-se a concentração de 2ppm de fósforo que foi utilizada nos estudos sobre a influência dos níveis de alumínio (0, 5, 10, 15 e 20ppm), sobre o crescimento e comportamento nutricional de plântulas de seringueira.

3.2. Influência do alumínio sobre o comportamento nutricional de plântulas de seringueira

Após a definição do pH, níveis de fósforo e alumínio, utilizando-se como base a solução de BOLLE-JONES (1957) a 1/4 de força, partiu-se para o estudo do crescimento e comportamento nutricional das plântulas de seringueira cultivadas sob diferentes níveis de alumínio.

Utilizou-se as sementes clonais ilegítimas do genótipo RRIM-600 provenientes do município de Olímpia- SP, colhidas em março/90 e acondicionadas em sacos plásticos transparentes com pequenos furos, segundo recomendações de PEREIRA (1980).

Aproximadamente 15 dias após a coleta, as sementes foram imersas em hipoclorito de sódio 2% por cinco minutos e lavadas com água destilada. Em seguida, foi realizada a semeadura, em sementeira de areia, coberta com palhas de arroz, sendo executadas três irrigações diárias.

No 20^o dia após a semeadura, quando as plântulas ainda se encontravam no estágio de "palito", foram selecionadas quanto ao comprimento de raízes e transplantadas para vasos contendo oito litros de areia grossa, lavada com ácido clorídrico comercial. Os vasos, contendo areia seca, foram irrigados com um volume de 2,3 litros de solução, contendo os diferentes níveis de alumínio de cada tratamento, de tal forma que, após a irrigação, houvesse um excedente de 300 ml que era recolhido num "prato" colocado abaixo de cada vaso. Diariamente, entre 10:00-11:00 horas, media-se o volume da solução contida no "prato", despejando-a numa proveta e completando-o para 300 ml com água destilada pH 4.0. Após este procedimento, a areia era reirrigada com essa solução. A cada quatro dias trocava-se a solução dos vasos, colocando-se dois litros de uma nova solução sobre a areia contida no mesmo, deixando-se escorrer a solução anterior que se encontrava retida. Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, num fatorial com parcelas subdivididas no tempo e quatro repetições.

A forma de instalação do experimento não obedeceu o modelo convencional. Foi usado um vaso contendo 12 plântulas, que recebeu um tratamento e foi subdividido em quatro partes, constituindo-se as repetições. Cada repetição, portanto, foi composta por três plântulas. Os tratamentos usados foram os níveis de 0, 5, 10, 15 e 20 ppm de alumínio. A cada época de coleta foram sacrificadas as plântulas de 5 vasos, contendo cada um deles, um nível de alumínio e as quatro repetições de três plântulas. Após a 3^a coleta, que ocorreu no 15^o dia, as plântulas que seriam coletadas no 30^o e 50^o dia (4^a e 5^a coletas) foram

transferidas para uma sala de crescimento (temperatura de $26 \pm 2^{\circ}\text{C}$, radiação fotossinteticamente ativa de $128 \text{ micromoles cm}^{-2} \text{ S}^{-1}$ e umidade relativa do ar entre 60-70%), por causa do abaixamento da temperatura que poderia ocorrer na casa-de-vegetação com a chegada do inverno.

3.3. Características analisadas

A cada coleta mediu-se a altura da parte aérea (da inserção da semente à gema apical) e o comprimento das raízes (da inserção da semente ao ápice radicular principal), sendo que as plântulas foram separadas em: sementes, raízes e parte aérea até a 3ª coleta (15º dia); sementes, raízes, caules (caule + pecíolo) e lâminas foliares (folhas no estágio C e D) na 4ª coleta; raízes, caules e lâminas foliares na 5ª coleta, pois as plântulas não tinham mais sementes. As partes destacadas das plântulas foram lavadas com água corrente e água destilada, respectivamente, e colocadas em estufa de ventilação forçada a 70°C por 72 horas, quando, então, foram pesadas. Posteriormente, a matéria seca dessas partes foi moída em moinho tipo Willey, com peneira de 20 mesh (0.42mm), e submetidas à digestão nitroperclórica para a análise de P (LINDEMANN, 1968), K (fotometria de chama), S (turbidimetria), Al (HSU, 1963), Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn (espectrofotometria de absorção atômica) e à digestão sulfúrica para a análise do nitrogênio pelo método micro-Kjeldhal.

3.4. Análise estatística

A análise estatística relativa ao teor de nutrientes nas sementes, raízes e parte aérea, ao comprimento da raiz principal e altura da plântula e à quantidade de matéria seca nas sementes, raízes e parte aérea obedeceu ao esquema fatorial inteiramente casualizado, onde os fatores foram níveis de alumínio na solução nutritiva e época de coleta das plântulas, sendo ajustadas as respectivas equações de regressão. Com relação ao teor de nutrientes e à produção de matéria seca no caule e lâmina foliar, utilizou-se um delineamento experimental inteiramente casualizado para cada época e aplicou-se o teste de Tuckey às médias dos tratamentos com alumínio.

Os experimentos, envolvendo a interação fósforo/alumínio/pH não foram analisados estatisticamente. Com relação ao teor de nutrientes nas sementes, a análise estatística que consta no apêndice leva em consideração a percentagem de cada nutriente em relação ao peso seco, mas as Figuras foram plotadas levando-se em consideração a quantidade de moles do nutriente/3 sementes, para visualizar melhor a mobilização que ocorreu, da semente para a plântula.

As análises de variância e as equações de regressão foram procedidas pelo programa AVBRPOL de LIMA & SILVEIRA (1981), e se encontram no Apêndice.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Interação entre pH e níveis de fósforo e alumínio

Analisando-se a concentração de alumínio não precipitado nos pHs estudados (Figuras 1 e 2), observou-se que no pH 4.0, seguido pelo pH 3.5, foi detectada a mais alta concentração em todos os níveis de fósforo, refletindo a maior solubilidade do alumínio nestes pHs, o que está de acordo com ALVA et alii (1986), constituindo-se principalmente de formas monoméricas (KINRAIDE & PARKER, 1990). Por outro lado, nos pHs 4.5, 5.0, e 5.5, o alumínio solúvel detectado diminuiu significativamente em relação ao nível de alumínio presente inicialmente na solução, evidenciando a ocorrência do precipitado fosfato de alumínio (BLAMEY et alii, 1987), que ficou retido no papel de filtro. Em trabalho envolvendo a interação fósforo-alumínio, WHITE et alii (1976) observaram que depois de 48 horas a concentração de alumínio detectada foi mínima entre os pHs 4.6 e 4.9 e, novamente, a pH 6.9. Segundo os mesmos pesquisadores, na faixa de pH entre 4.6 e 4.9 há uma complexação média de 1 mol de fósforo para

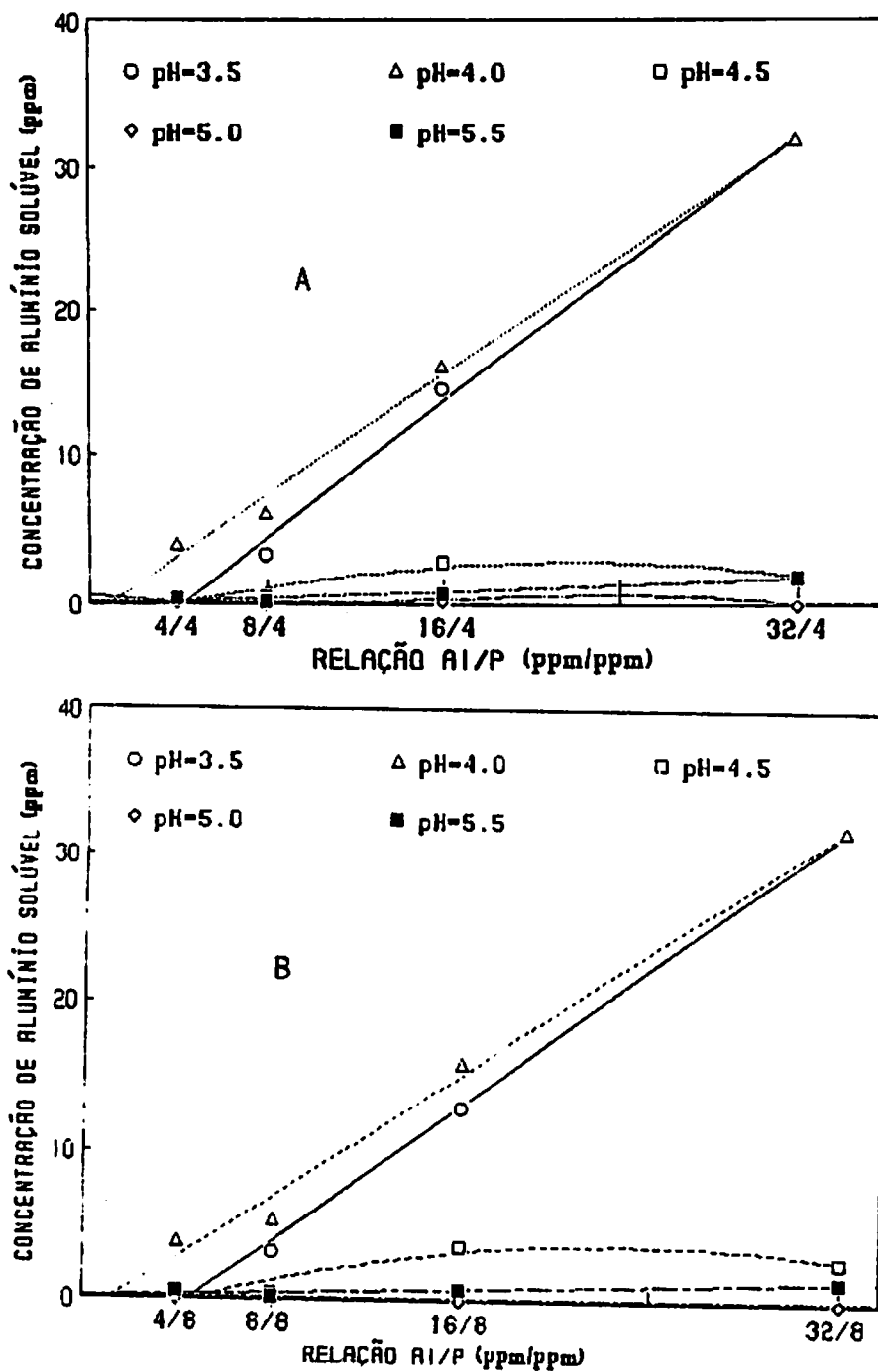


FIGURA 1. Efeitos do pH e dos níveis de fósforo (A=4; B=8ppm) sobre a concentração de alumínio solúvel na solução.

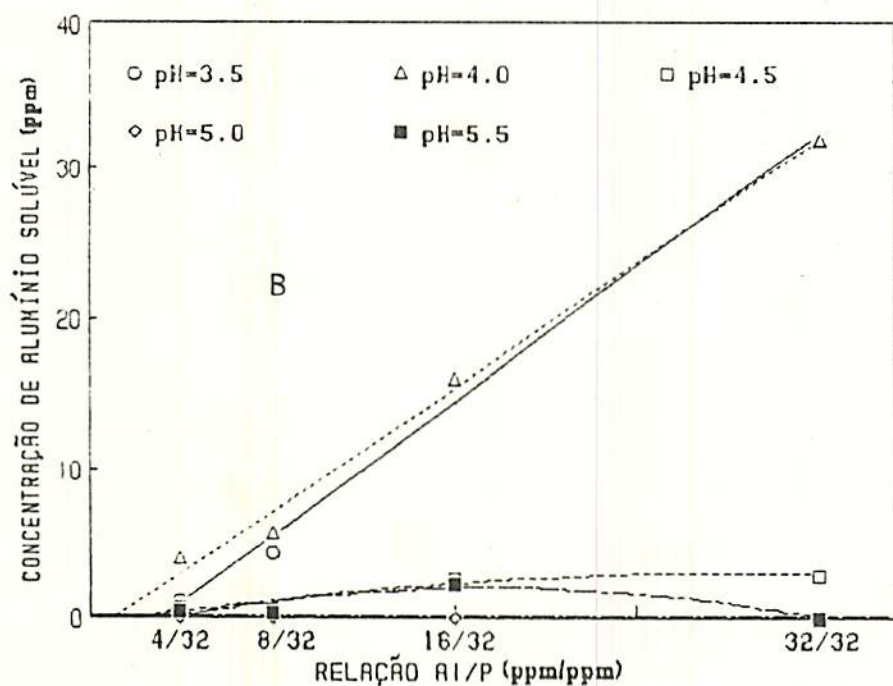
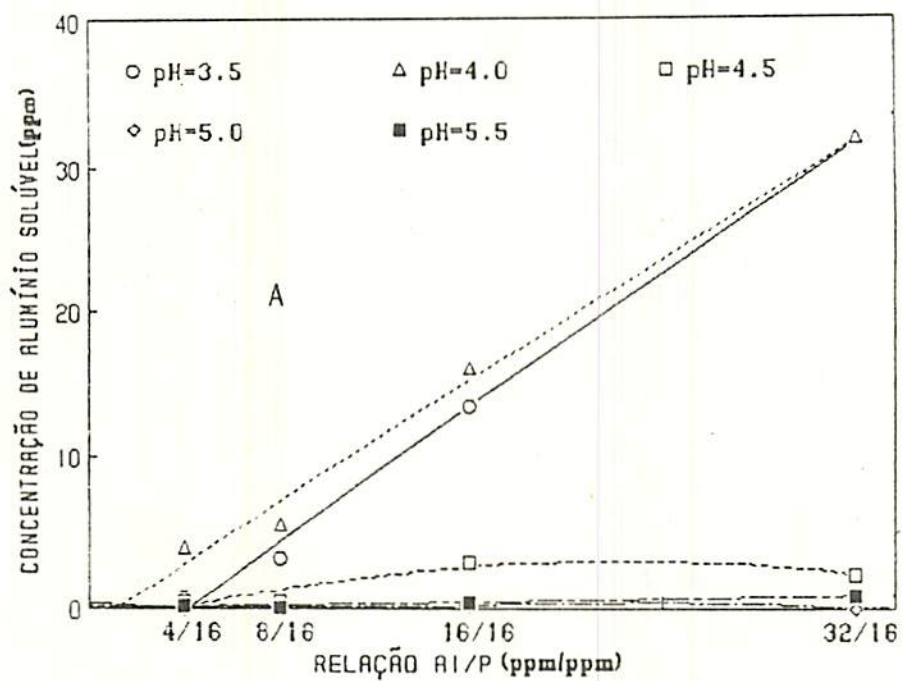


FIGURA 2. Efeitos do pH e dos níveis de fósforo (A-16; B-32 ppm) sobre a concentração de alumínio solúvel na solução.

cada 1,25 moles de alumínio. Entretanto, a pH 6.9, 1 mol de fósforo foi complexado por cada 10 moles de alumínio, um resultado que refletiu o aumento da afinidade do alumínio por hidroxilas quando a relação $\text{OH}/\text{H}_2\text{PO}_4^-$ aumentou. WHITE (1976) assinalou que os valores de pH ao redor de 5.0, quando a proporção de ions $\text{Al}/(\text{OH})^{2+}$ é aproximadamente 50%, forneceria as melhores condições para a formação de polímeros alumínio-fosfato, ao passo que pHs ao redor e acima de 7.0 resultariam na formação de polímeros hidróxi-alumínio. Estes efeitos seriam modificados de acordo com a relação molar P/Al das soluções.

A alteração nas espécies de alumínio em função do pH foram descritas por MARTINS (1988). Assim, em pH abaixo de 3.0 predomina a espécie trivalente (Al^{+3}); entre os pHs 4 e 5 predominam as espécies $\text{Al}(\text{OH})^{+2}$ e $\text{Al}(\text{OH})_2^{+1}$; na faixa de pH entre 5.5 a 7.5, o alumínio encontra-se precipitado na forma de $\text{Al}(\text{OH})_3$. Em pH superior a 7.5, a solubilidade do alumínio volta a aumentar bruscamente, passando a predominar as formas $\text{Al}(\text{OH})_4^{-1}$ e $\text{Al}(\text{OH})_6^{-3}$.

4.2. Interação entre níveis de fósforo e alumínio

A análise do Quadro 2 mostra que à medida em que se aumentou o nível de alumínio na solução nutritiva, o teor de fósforo decresceu. Da mesma forma, à medida em que se aumentou o nível de fósforo ocorreu um acentuado decréscimo nos níveis de alumínio (Quadro 3), sendo que o menor decréscimo nos teores de fósforo e alumínio solúvel na solução ocorreu quando foi

utilizado o menor nível de fósforo, devido à redução da probabilidade de formação do fosfato de alumínio insolúvel (TAYLOR & FOY, 1985a). As baixas concentrações de fósforo utilizadas para este tipo de estudo não devem ser consideradas limitantes quando se trabalha com plantas de seringueira nos estádios iniciais de crescimento e existe o cuidado da reposição periódica do fósforo absorvido ou uma frequência de troca das soluções durante o experimento.

QUADRO 2 - Teor de fósforo solúvel (ppm) determinado na solução nutritiva de BOLLE-JONES (1957) contendo diferentes níveis de fósforo e alumínio.

Níveis de alumínio (ppm)	Níveis de fósforo (ppm)		
	2	4	8
0	2,0 (100)	4,0 (100)	8,0 (100)*
5	1,0 (50,0)	2,1 (52,5)	4,7 (59,0)
10	1,0 (50,0)	1,2 (30,0)	1,7 (21,2)
15	0,4 (20,0)	0,6 (15,0)	0,9 (12,0)
20	0,5 (25,0)	0,6 (15,0)	0,5 (6,2)

* Os valores entre parênteses correspondem à porcentagem de fósforo da solução, que permaneceu na forma solúvel.

QUADRO 3 - Teor de alumínio solúvel (ppm) determinado na solução nutritiva de BOLLE-JONES contendo diferentes níveis de fósforo e alumínio.

Níveis de alumínio (ppm)	Níveis de fósforo (ppm)		
	2	4	8
0	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)*
5	2,0 (40,0)	1,0 (20,0)	0,5 (10,0)
10	5,0 (50,0)	3,6 (36,0)	1,7 (17,0)
15	8,0 (53,0)	8,7 (58,0)	3,0 (20,0)
20	16,0 (80,0)	11,7 (58,5)	6,0 (30,0)

* Os valores entre parênteses correspondem à porcentagem de alumínio da solução que permaneceu na forma solúvel.

4.3. Produção de matéria seca e crescimento da raiz e parte aérea

A produção de matéria seca nas diversas partes das plântulas de seringueira não foi influenciada pelo alumínio na solução nutritiva (Figuras 3 e 4), ao contrário dos resultados obtidos em outras espécies por alguns pesquisadores (JARVIS & HATCH, 1987; OLIVEIRA & RENA, 1989; RENGEL & ROBINSON, 1989). Neste trabalho, os níveis de alumínio influenciaram muito pouco a nutrição mineral das plântulas de seringueira, como será discutido posteriormente, e talvez por isso não ocorreu o aparecimento de qualquer sintoma visual da toxicidade, nem mesmo o decréscimo na produção de matéria seca. Há de se considerar, por outro lado, que o período de duração do tratamento com

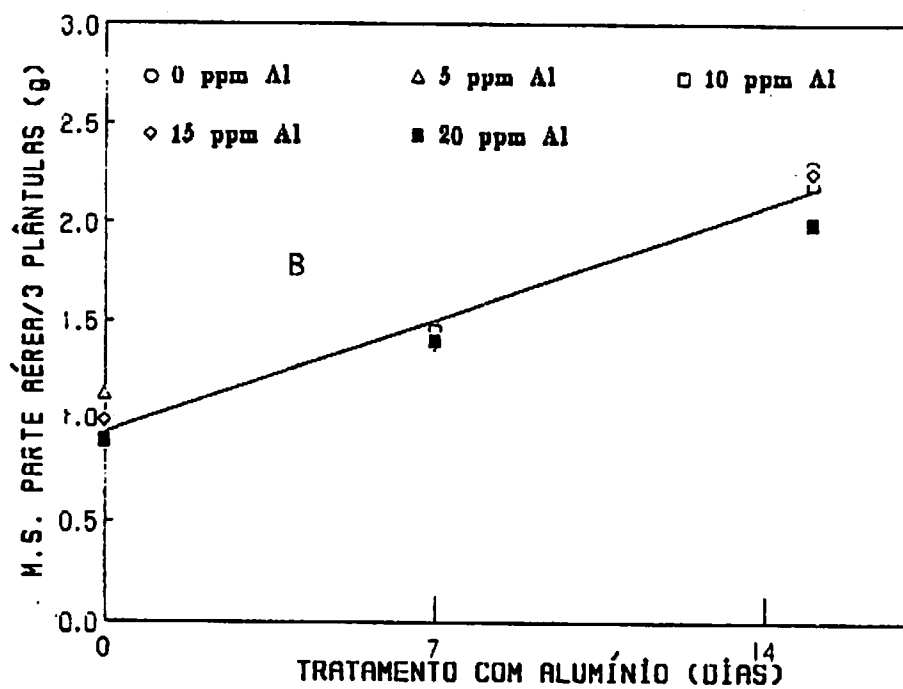
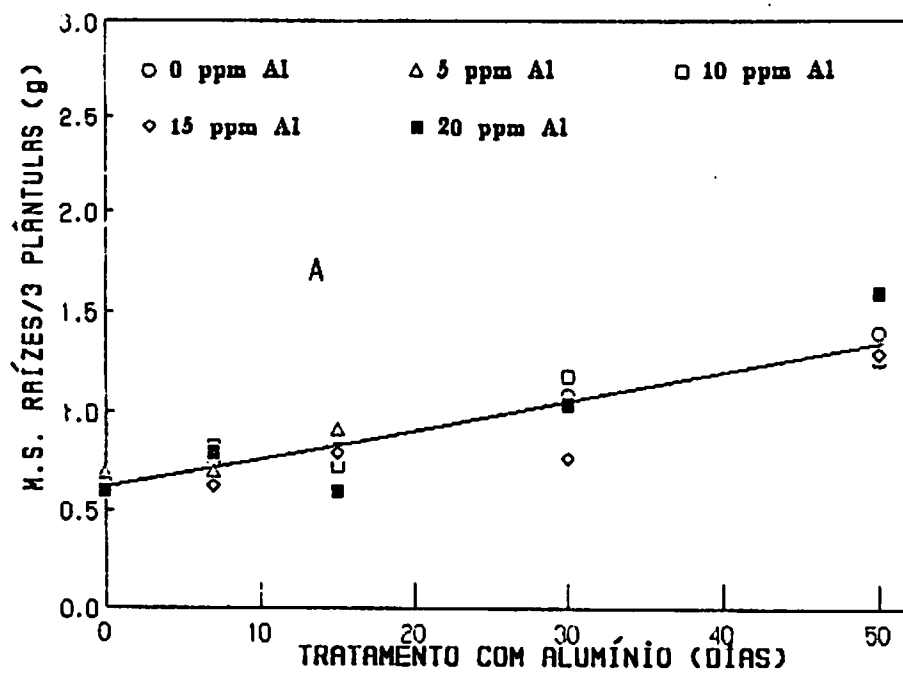


FIGURA 3. Efeito da época de coleta sobre a produção de matéria seca nas raízes (A) e parte aérea (B) de plântulas de seringueira.

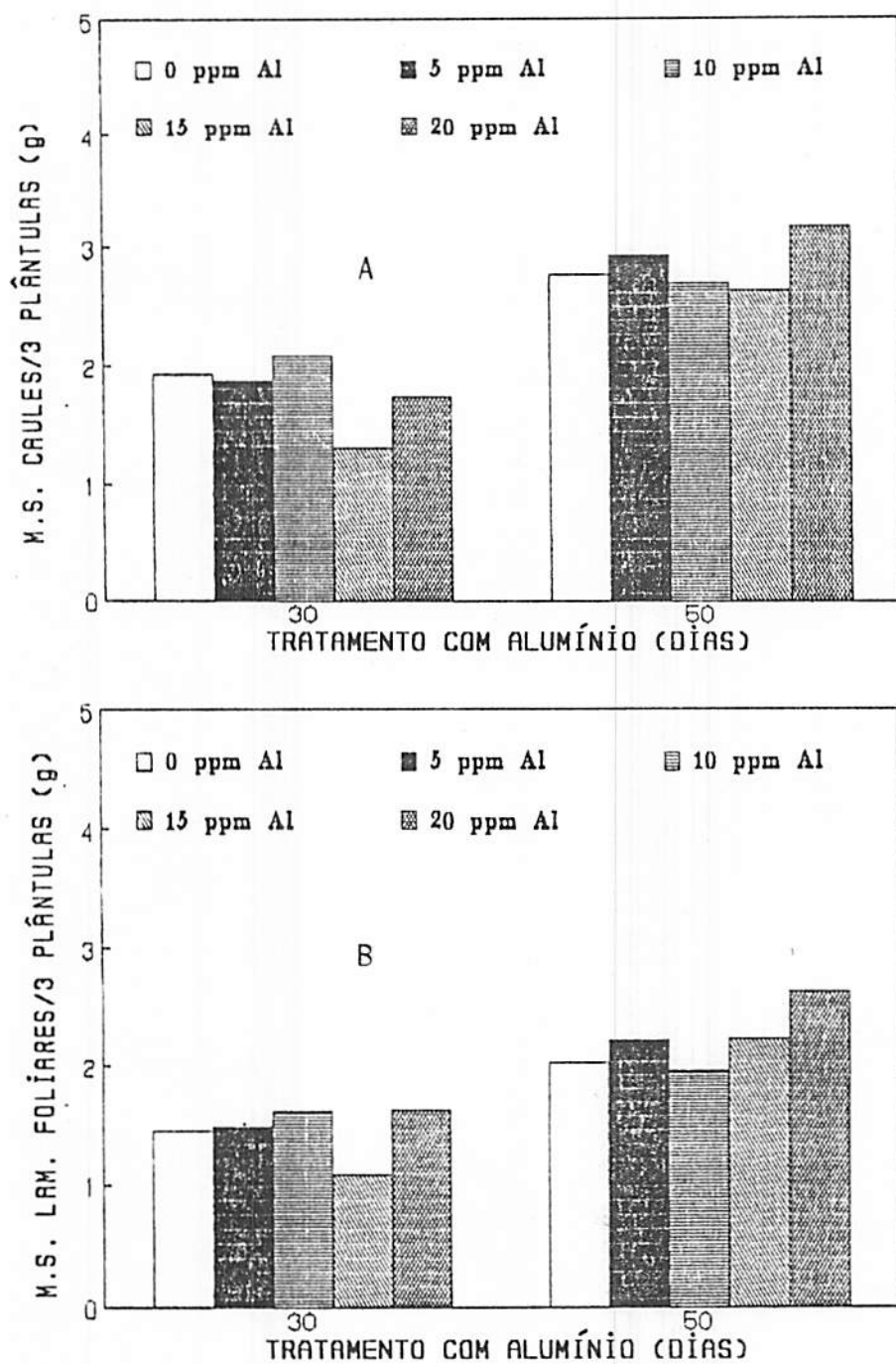


FIGURA 4. Efeito da época de coleta sobre a produção de matéria seca no caule (A) e lâmina foliar (B) de plântulas de seringueira.

alumínio (50 dias) pode ter sido limitante, visto que a seringueira é uma cultura perene e, portanto, de crescimento mais lento, além do aspecto de que o aparecimento do sintoma visual de toxicidade é o último evento de uma sequência que se inicia a nível de metabolismo celular, como explicou MALAVOLTA (1980).

Embora RENGEL (1990) mencione que as plântulas são mais sensíveis ao alumínio devido à estrutura e características funcionais de suas raízes, que são primariamente afetadas, não se observou o efeito tóxico desse íon no comprimento das mesmas (Figura 5A), nem no crescimento da parte aérea (Figura 5B), talvez porque o alumínio não tenha afetado o teor de magnésio, que protege as raízes (RHUE & GROGAN, 1977), além de afetar muito pouco o teor de cálcio. Com isso, o crescimento das raízes ocorreu normalmente, da mesma forma que a parte aérea, embora DELU FILHO et alii (1989) tenham mencionado que existe uma grande variabilidade genética entre plantas de seringueira com relação à tolerância ao alumínio, refletindo-se principalmente sobre o crescimento em altura e o comprimento da raiz.

Observou-se ainda, que as raízes e a parte aérea apresentaram um rápido crescimento inicial, seguido de um período estacionário, que corresponde ao intervalo entre os fluxos de lançamentos foliares (CASTRO & VIRGENS, 1986), para depois voltar a crescer com novo fluxo foliar.

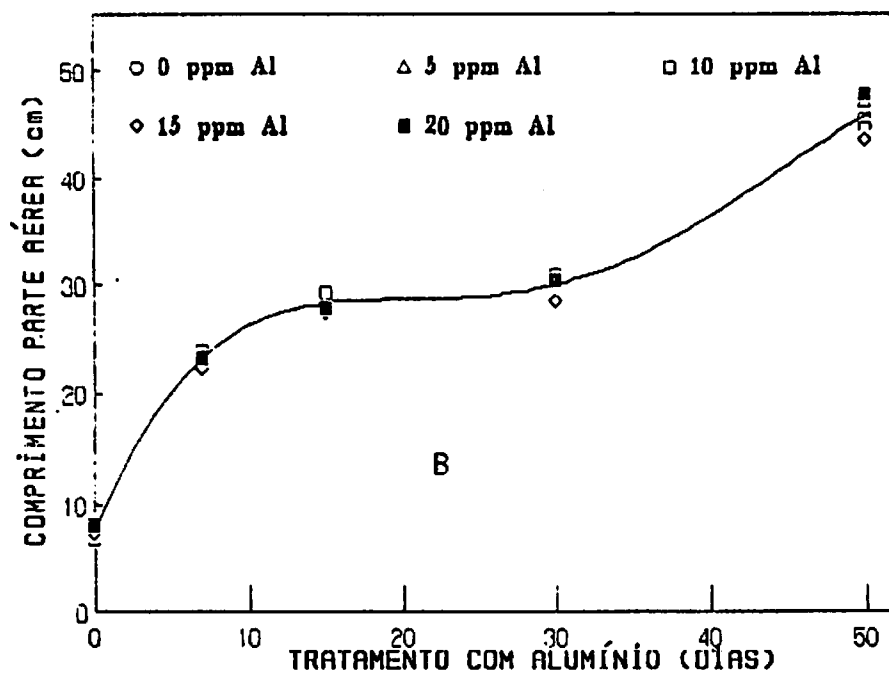
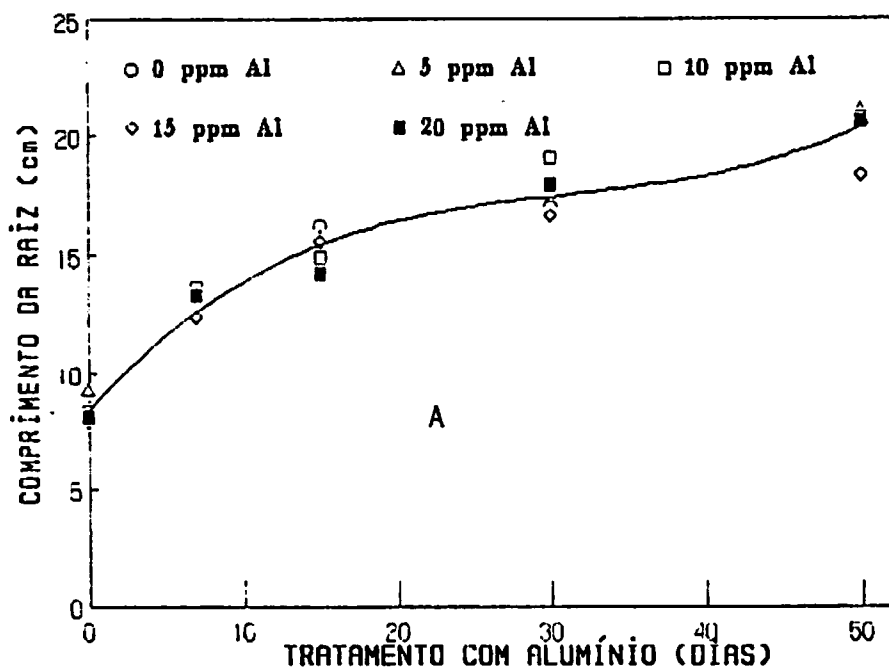


FIGURA 5. Efeito da época de coleta sobre o comprimento da raiz (A) e da parte aérea (B) de plântulas de seringueira.

4.4. Mobilização de reservas orgânicas e minerais das sementes

Durante o período de germinação das sementes de seringueira, ocorreu uma intensa mobilização de compostos orgânicos e nutrientes minerais para as plântula em crescimento, como mostram o decréscimo na matéria seca e na quantidade de nutrientes minerais das sementes (Figuras 6,7,8,9,10,11,12) mas o alumínio na solução nutritiva não interferiu nesse processo. Assim, cerca de 77% das reservas minerais e orgânicas das sementes foram utilizadas durante o processo de germinação e/ou consumidas durante o crescimento das plântulas (Figura 6). Entretanto, a exportação de macronutrientes das sementes para as plântulas foi variável. O nitrogênio, fósforo e potássio foram drenados de forma intensa pelas plântulas (Figuras 7 e 8A), mas o magnésio e o enxofre foram muito pouco demandados (Figura 9), sendo que o primeiro só foi retranslocado até 15^o dia e o segundo, a partir do 7^o dia. O cálcio não foi mobilizado da semente para a plântula (Figura 8B), muito provavelmente devido a sua dificuldade de transporte pelo floema (MENGEL & KIRKBY, 1987).

A explicação para a alta retranslocação de nitrogênio e fósforo é dada por CASTRO & VIRGENS (1986). Para estes pesquisadores, os fitatos, as proteínas de reserva da semente e os ácidos nucléicos são hidrolizados em inositol e fosfato inorgânico, aminoácidos e nucleotídeos, os quais são transportados para serem utilizados na biossíntese de constituintes celulares durante o crescimento inicial das plântulas. O potássio, como é de fácil translocação pelo floema

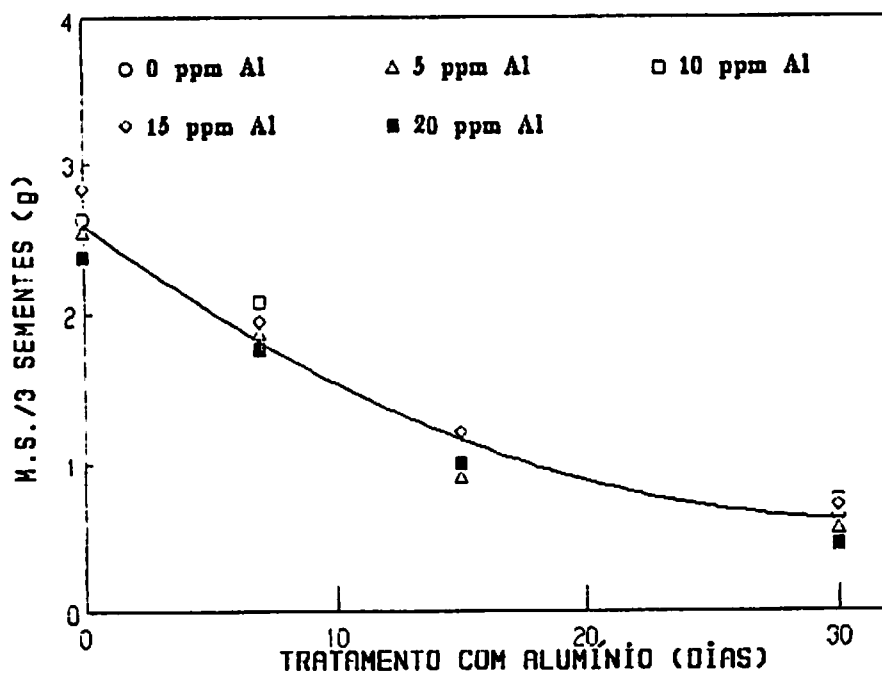


FIGURA 6. Efeito da época de coleta sobre o peso da matéria seca em sementes de plântulas de seringueira.

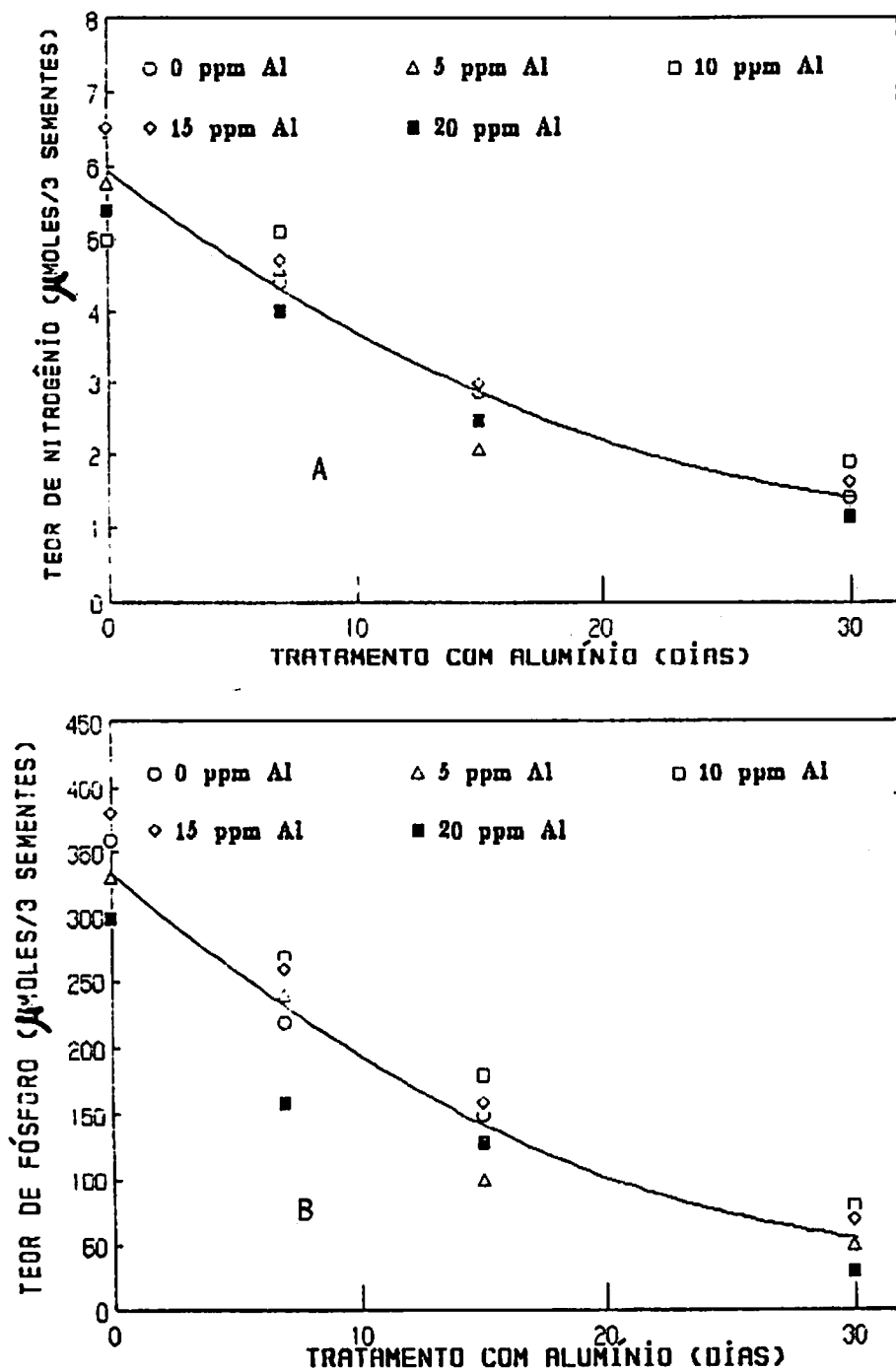


FIGURA 7. Efeito da época de coleta sobre o teor de nitrogênio (A) e fósforo (B) em sementes de plântulas de seringueira.

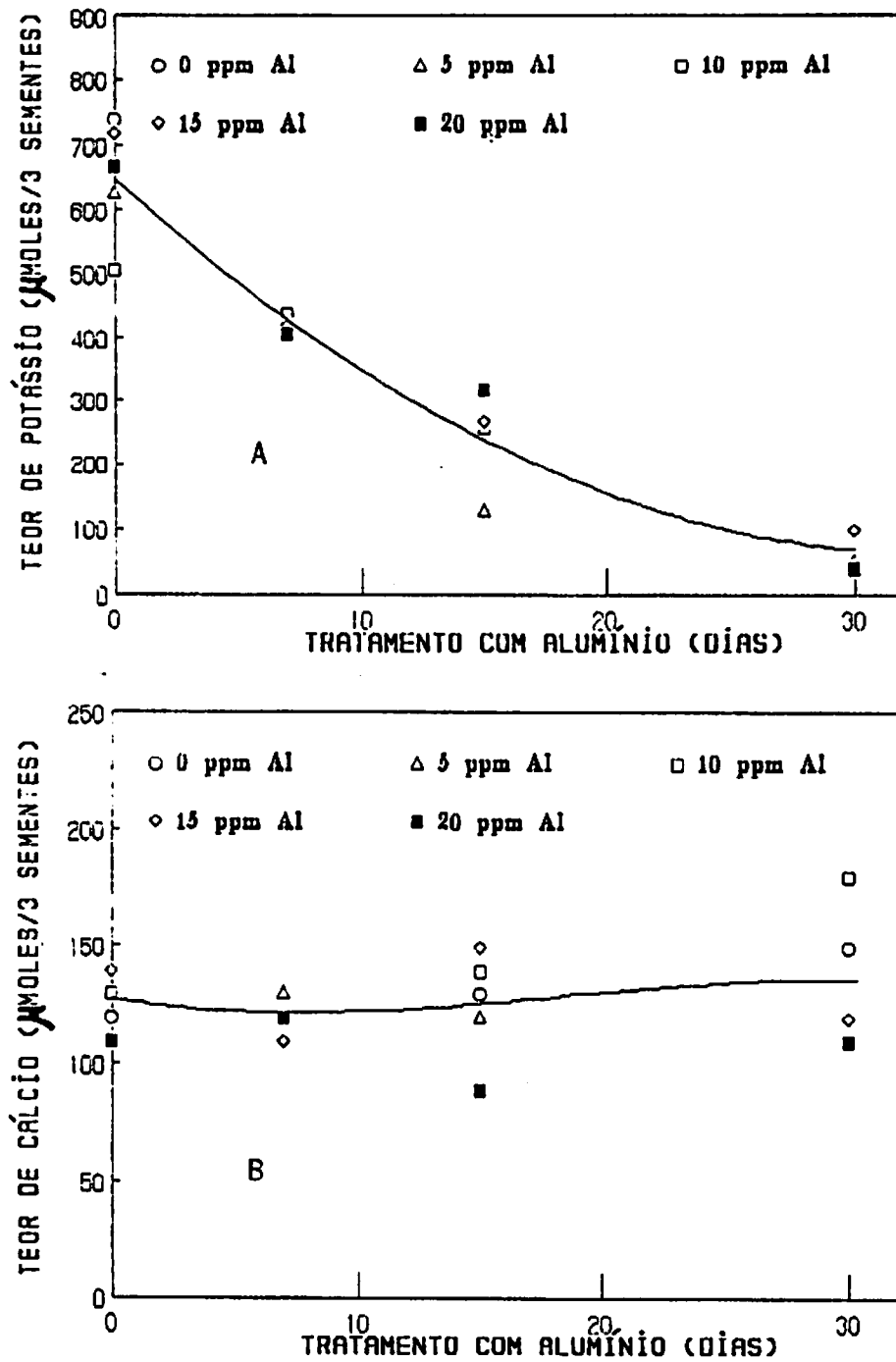


FIGURA 8. Efeito da época de coleta sobre o teor de potássio (A) e cálcio (B) em sementes de plântulas de seringueira.

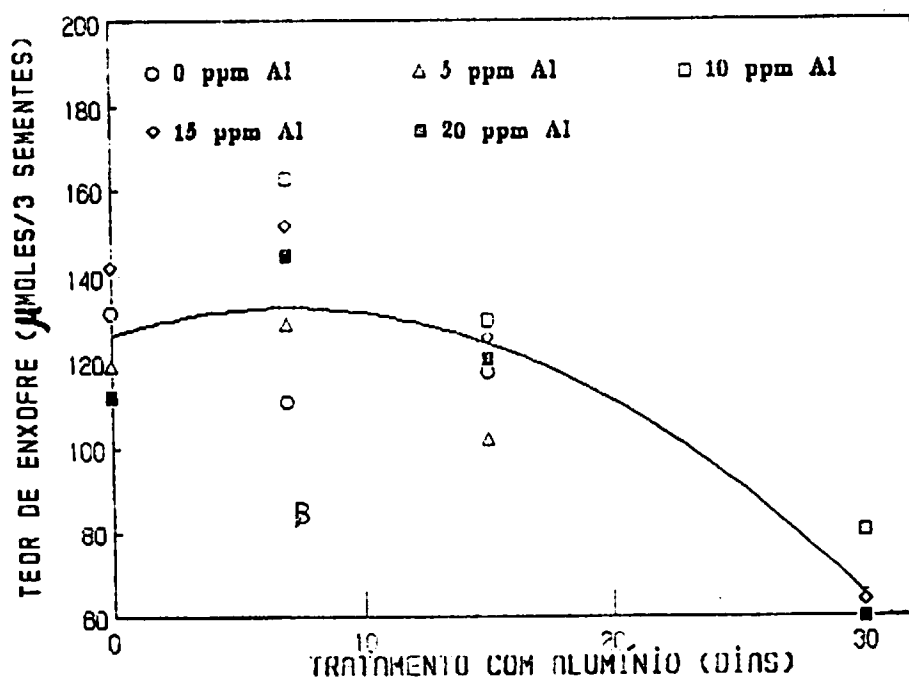
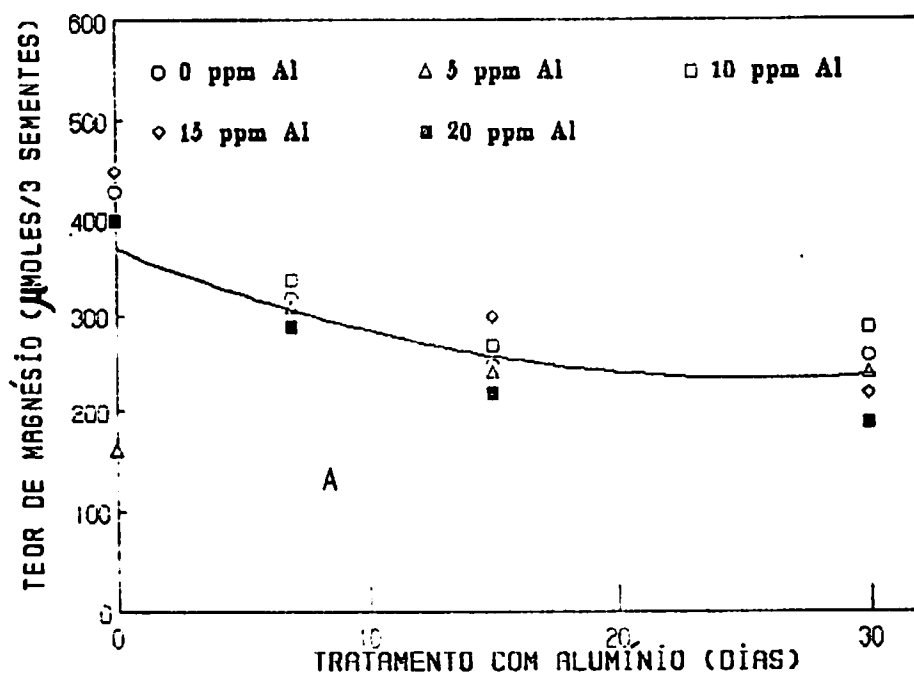


FIGURA 9. Efeito da época de coleta sobre o teor de magnésio (A) e enxofre (B) em sementes de plântulas de seringueira.

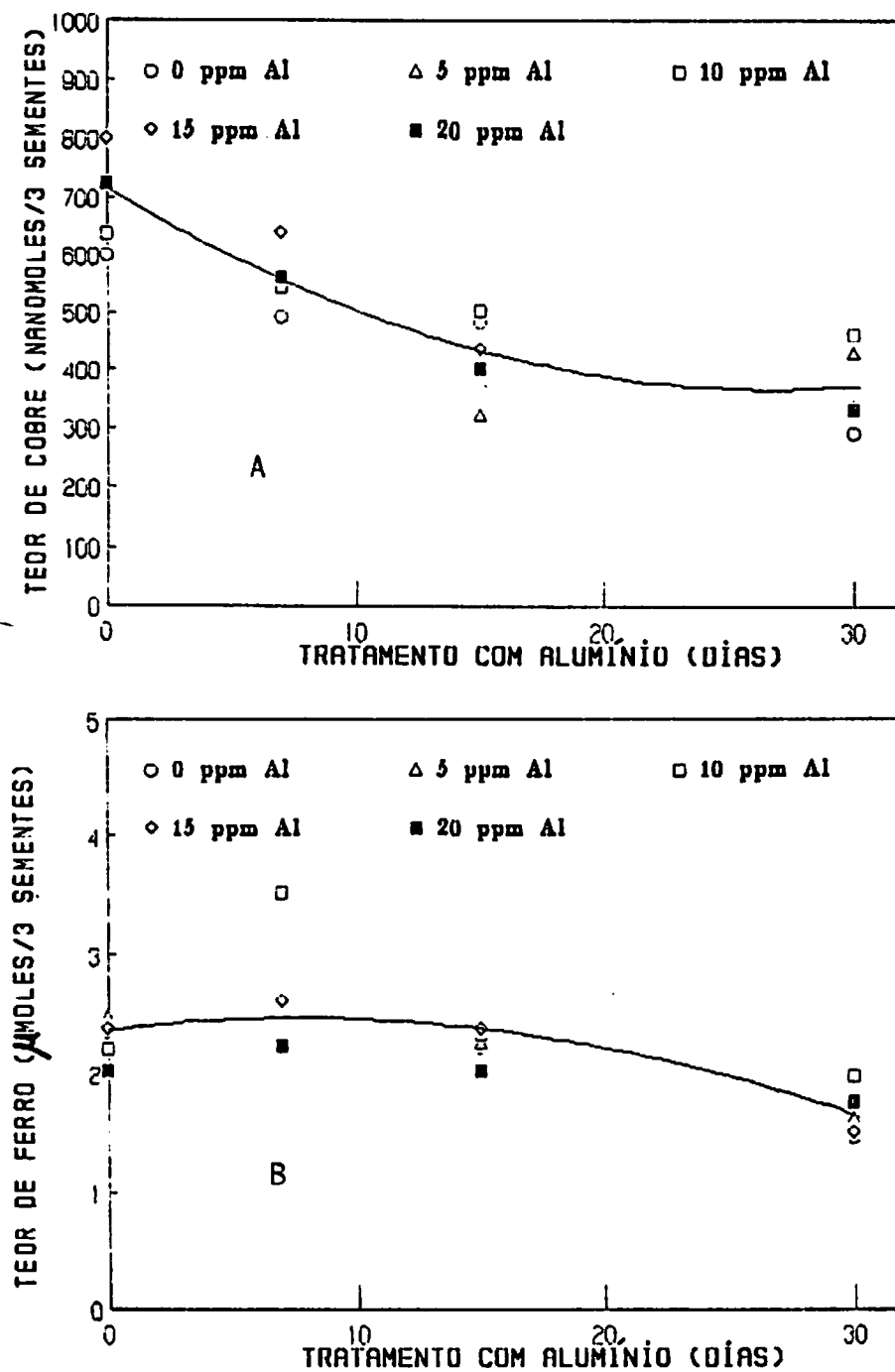


FIGURA 10. Efeito da época de coleta sobre o teor de cobre (A) e ferro (B) em sementes de plântulas de seringueira.

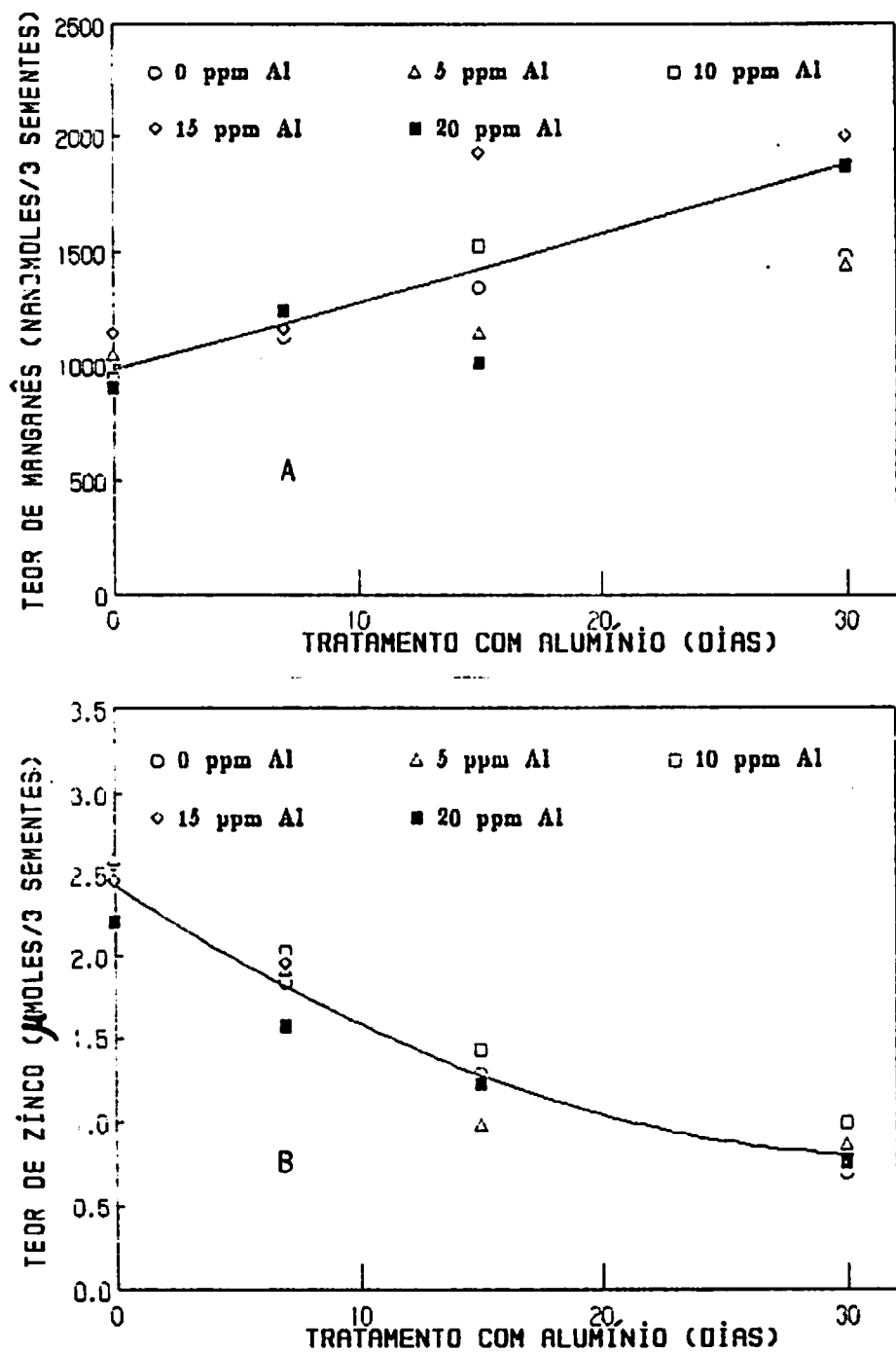


FIGURA II. Efeito da época de coleta sobre o teor de manganês (A) e zinco (B) em sementes de plântulas de seringueira.

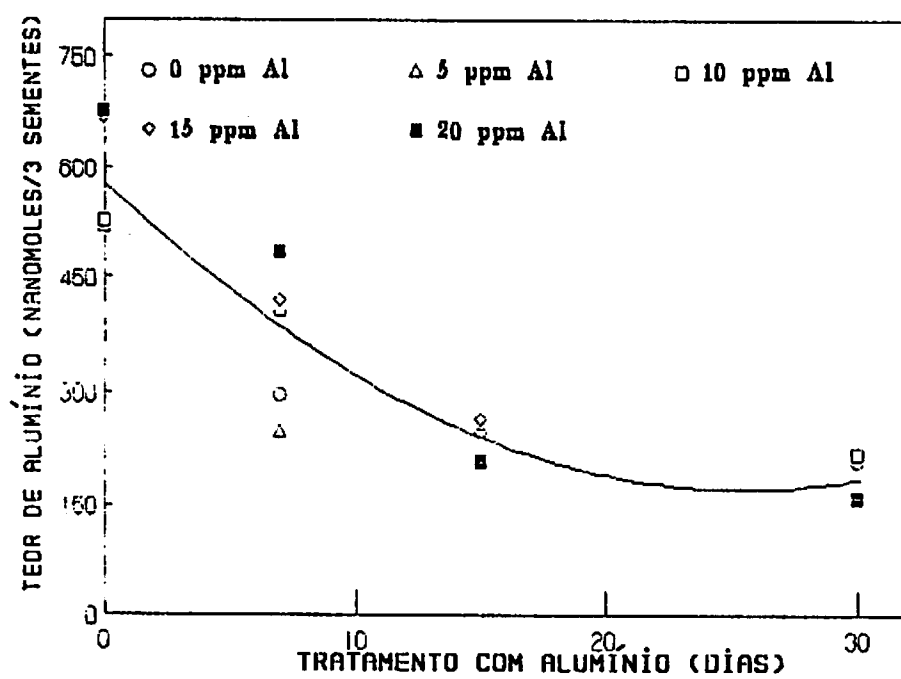


FIGURA 12. Efeito da época de coleta sobre o teor de alumínio em sementes de plântulas de seringueira.

(MALAVOLTA, 1980) e bastante exigido pela plântula de seringueira (HAAG et alii, 1986), não teve dificuldade para se retranslocar. Por outro lado, o magnésio, apesar de ser bastante móvel (MALAVOLTA, 1980), translocou-se muito pouco para a plântula.

Com relação aos micronutrientes, MALAVOLTA (1980) relatou que, de uma maneira geral, eles praticamente não se retranslocam devido a uma grande dificuldade de transporte pelo floema. Na semente de seringueira esse fato foi confirmado especialmente para o ferro e manganês (Figuras 10B e 11A), sendo que neste último ocorreu um acúmulo nas sementes. O cobre e o zinco apresentaram uma razoável taxa de retranslocação até o 15^o dia de experimentação (Figuras 10A e 11B). O alumínio da semente, talvez pelo fato de estar quelado por ácidos orgânicos (PARKER et alii, 1988), translocou-se bastante para a plântula (Figura 12), como sugeriu BUENO (1987).

4.5. Nutrição mineral

4.5.1. Alumínio

Nota-se na Figura 13A, que ao final do experimento, as raízes das plântulas que não receberam alumínio na solução nutritiva possuíam (3.5) ppm deste cátion, provavelmente, a maior parte, em decorrência de sua presença na semente e da retranslocação para a plântula. Observou-se, ainda, que a cada incremento de 5 ppm no nível de alumínio na solução nutritiva, correspondeu a 0,5 ppm de aumento no teor deste elemento na matéria seca da raiz. Este incremento se manteve até 15 ppm de

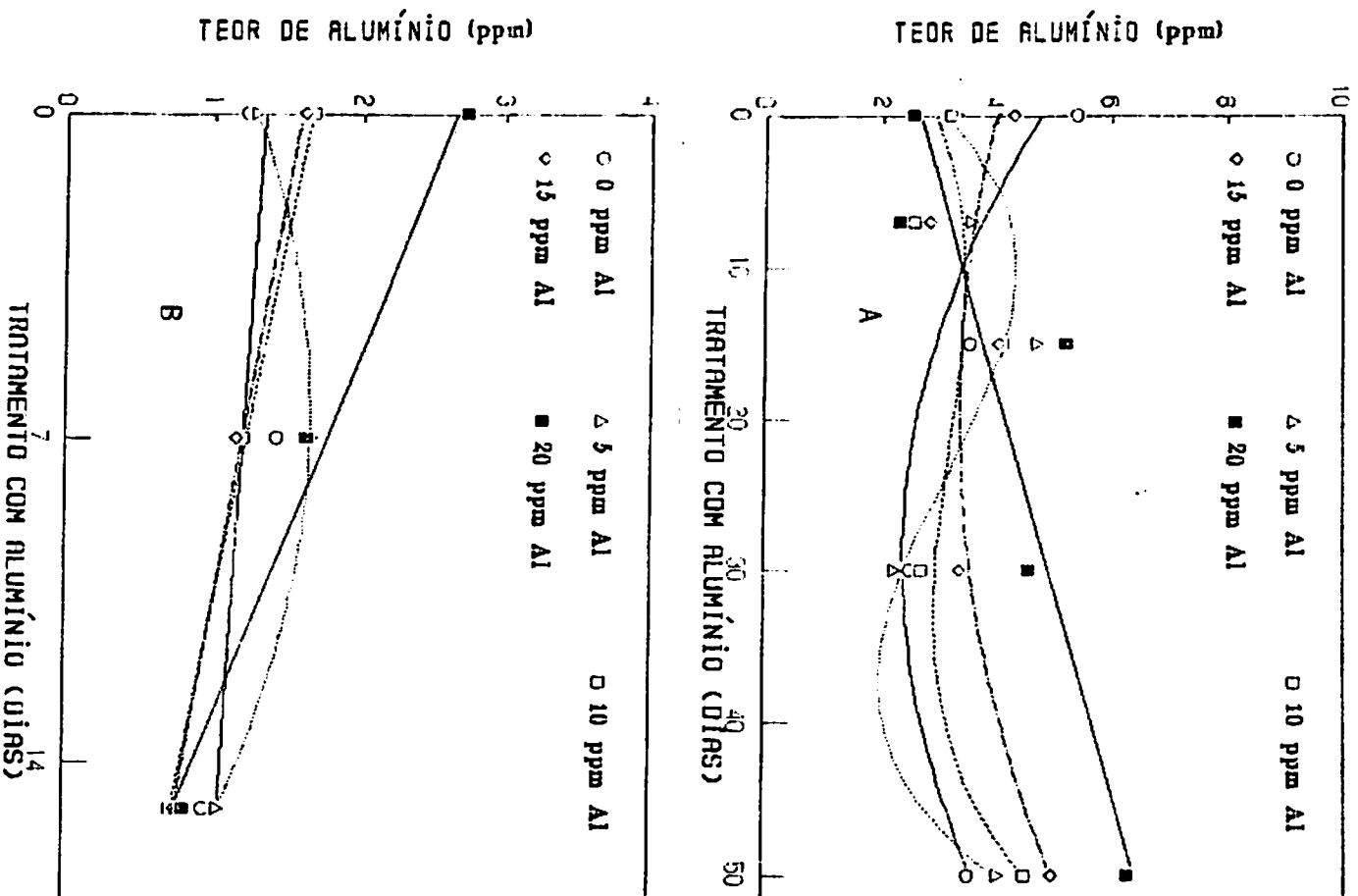


FIGURA 13. Efeitos de níveis de alumínio na solução nutritiva e da época de coleta sobre o teor de alumínio nas raízes (A) e parte aérea (B) de plântulas de seringueira.

alumínio na solução, pois de 15 para 20 ppm de alumínio, o teor de alumínio na matéria seca da raiz aumentou em 1,30 ppm.

Ressalta-se o fato de que o alumínio retranslocado da semente para a plântula é alumínio metabólico, ou seja, está no interior da célula (citoplasma, vacúolo), talvez quelado por ácidos orgânicos (PARKER et alii, 1988), ao passo que o teor adicional de alumínio é, em grande parte, alumínio não metabólico, o que significa que está adsorvido por compostos pécticos nas paredes celulares das raízes (CLARKSON, 1967), sem, no entanto, trazer prejuízos diretos às atividades metabólicas intracelulares (HOWELER & CADAVID, 1976).

Os sintomas visíveis dos efeitos atribuídos à toxicidade do alumínio, como encurtamento e engrossamento das raízes (OLIVEIRA, 1979; TAYLOR & FOY, 1985 a,b; BUENO, 1987), inibição da dominância apical (HETCH-BUCHHOLZ & SCHUSTER, 1987), não foram observados neste trabalho. Porém, a falta desses sintomas pode ser, em grande parte, atribuída, além do curto espaço de tempo de experimentação, aos níveis de cálcio e, principalmente, magnésio encontrados nas raízes, pois, de acordo com RHUE & GROGAN (1977), estes dois cátions possuem a capacidade de amenizar os efeitos da toxicidade do alumínio.

De modo geral, o teor de alumínio encontrado na parte aérea (Figura 13B), caule (Figura 14A), e lâmina foliar (Figura 14B) das plântulas de seringueira foi muito baixo, corroborando com os resultados de CALBO (1978), MOSQUIM (1978), JARVIS & HATCH (1987), LINDBERG (1990) e PAHLSSON (1990) que sugeriram que o alumínio apresenta pequena mobilidade na planta. Por outro lado, uma vez que as plântulas tratadas e não tratadas com alumínio

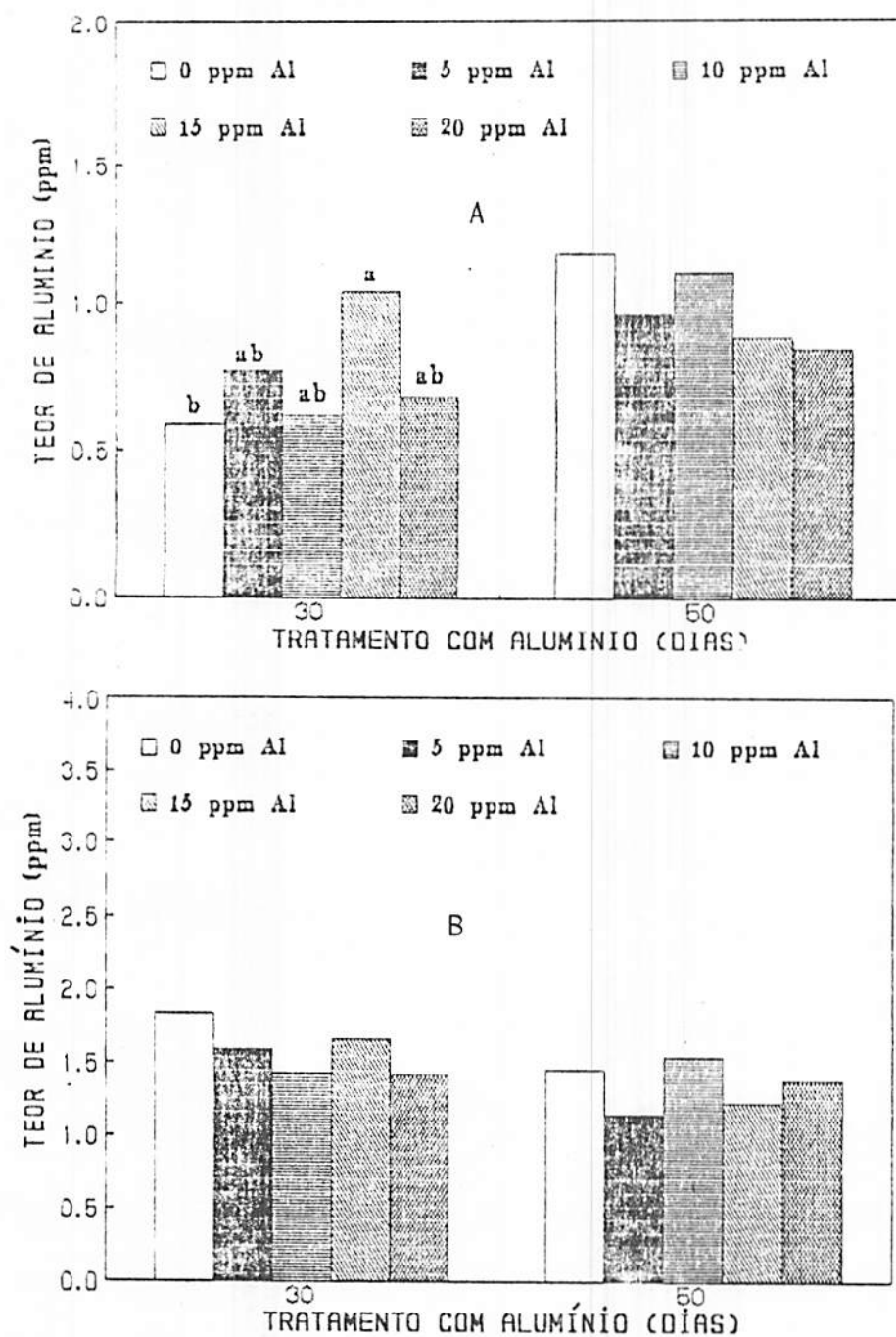


FIGURA 14. Efeitos de níveis de alumínio na solução nutritiva e da época de coleta sobre o teor de alumínio no caule (A) e lâmina foliar (B) de plântulas de seringueira.

apresentaram o mesmo teor deste elemento na parte aérea, pode-se sugerir que o mesmo foi retranslocado das sementes, provavelmente ligado a ácidos orgânicos, pois segundo WHITE (1976), o alumínio na forma de quelado é de fácil translocação e muito menos tóxico.

4.5.2. Macronutrientes

4.5.2.1. Nitrogênio

As raízes sofreram um decréscimo no teor de nitrogênio ao longo do período de experimentação, independentemente do nível de alumínio utilizado na solução nutritiva (Figura 15A). Este fato, provavelmente, pode ser atribuído ao acúmulo de matéria seca na própria raiz, promovendo um efeito de diluição do nitrogênio e/ou à baixa taxa de absorção do nitrogênio nas fases iniciais de crescimento das plântulas (HAAG et alii, 1986).

Na parte aérea, houve uma ligeira variação no teor de nitrogênio (Figura 15B), mas, também, não se verificou a influência dos tratamentos com alumínio, o que pode ser explicado pelo fato de que o conjunto parte aérea tenha sido analisado somente até o 15º dia, e o tempo teria sido insuficiente para que algum efeito do alumínio se manifestasse.

O caule não apresentou diferença entre os tratamentos (Figura 16A). A lâmina foliar das plântulas tratadas com alumínio, aos 30 dias, apresentaram o mais alto teor de nitrogênio em relação ao controle, porém essa situação foi invertida aos 50 dias (Figura 16B), sugerindo-se que, a

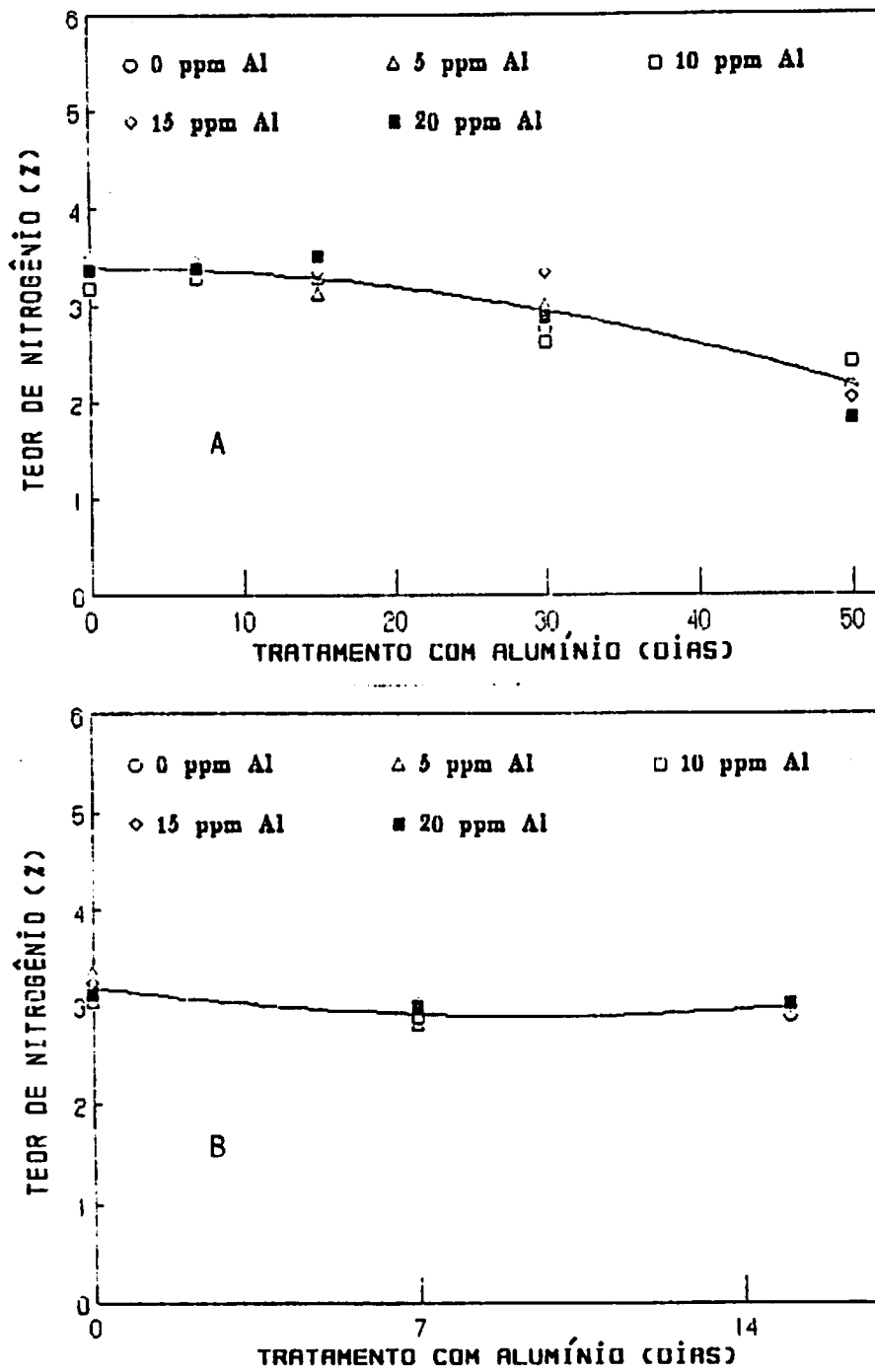


FIGURA 15. Efeito da época de coleta sobre o teor de nitrogênio nas raízes (A) e parte aérea (B) de plântulas de seringueira.

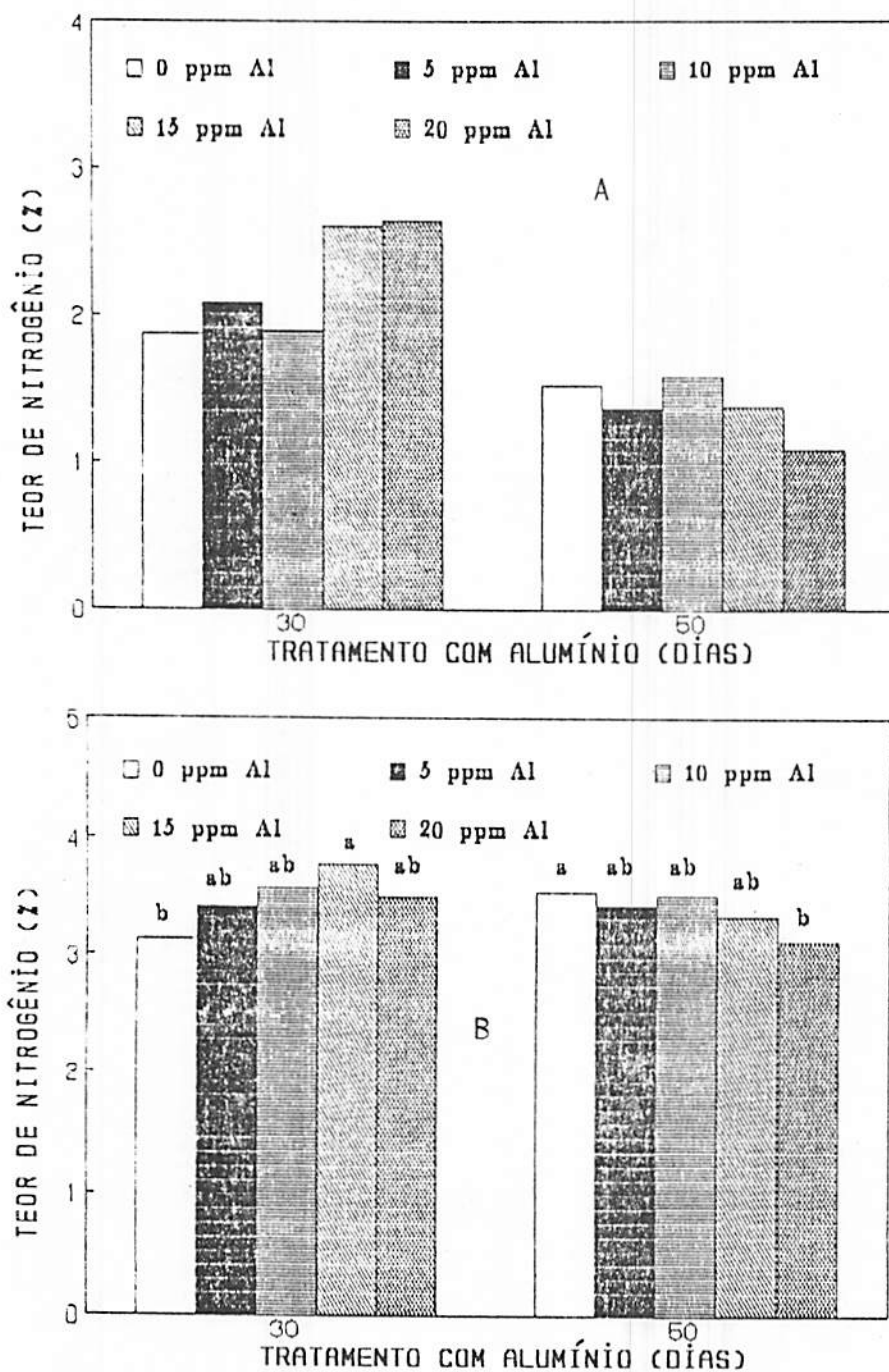


FIGURA 16. Efeitos de níveis de alumínio na solução nutritiva e da época de coleta sobre o teor de nitrogênio no caule (A) e lâmina foliar (B) de plântulas de seringueira.

princípio, o alumínio estimulou a absorção/translocação do nitrogênio para a folha, que foi consistentemente diminuída ao final do experimento.

Uma vez que COSTA (1986) sugere que o alumínio pode favorecer a absorção de NH_4^+ , o que pode ocorrer pelas modificações na permeabilidade e afinidade da plasmalena (ZHANG et alii, 1987), parece razoável admitir que a queda no teor de nitrogênio possa ter ocorrido em função do efeito prejudicial do alumínio sobre a redutase do nitrato, enzima que reduz NO_3^- a NO_2^- no interior da célula (RAJASEKHAR & OELMULLER, 1987) devido ao efeito sobre a absorção do nitrato. Sob este aspecto, SANTORO et alii (1984) observaram uma redução na atividade da redutase do nitrato em folhas de milho e atribuíram a uma diminuição no fluxo de nitrato provocada pelo alumínio, conforme demonstrou GOMES (1983). Porém PIMENTA (1986) demonstrou que o alumínio pode afetar também a própria molécula da enzima, e, inclusive, sugeriu uma inibição do tipo não competitiva, que se caracteriza pela formação de um complexo Al-enzima - NO_3^- , reduzindo a produção de NO_2^- , conseqüentemente, diminuindo o nitrogênio total.

4.5.2.2. Fósforo

O teor de fósforo se manteve praticamente estável nas raízes até o 30^o dia (Figura 17A) e na parte aérea até o 14^o dia (Figura 17B), quando as plântulas, provavelmente, ainda utilizavam as reservas da semente. A partir do 30^o dia até o final do experimento, o teor de fósforo decresceu em todas as partes das plântulas (Figuras 17 e 18), o que pode ser atribuído

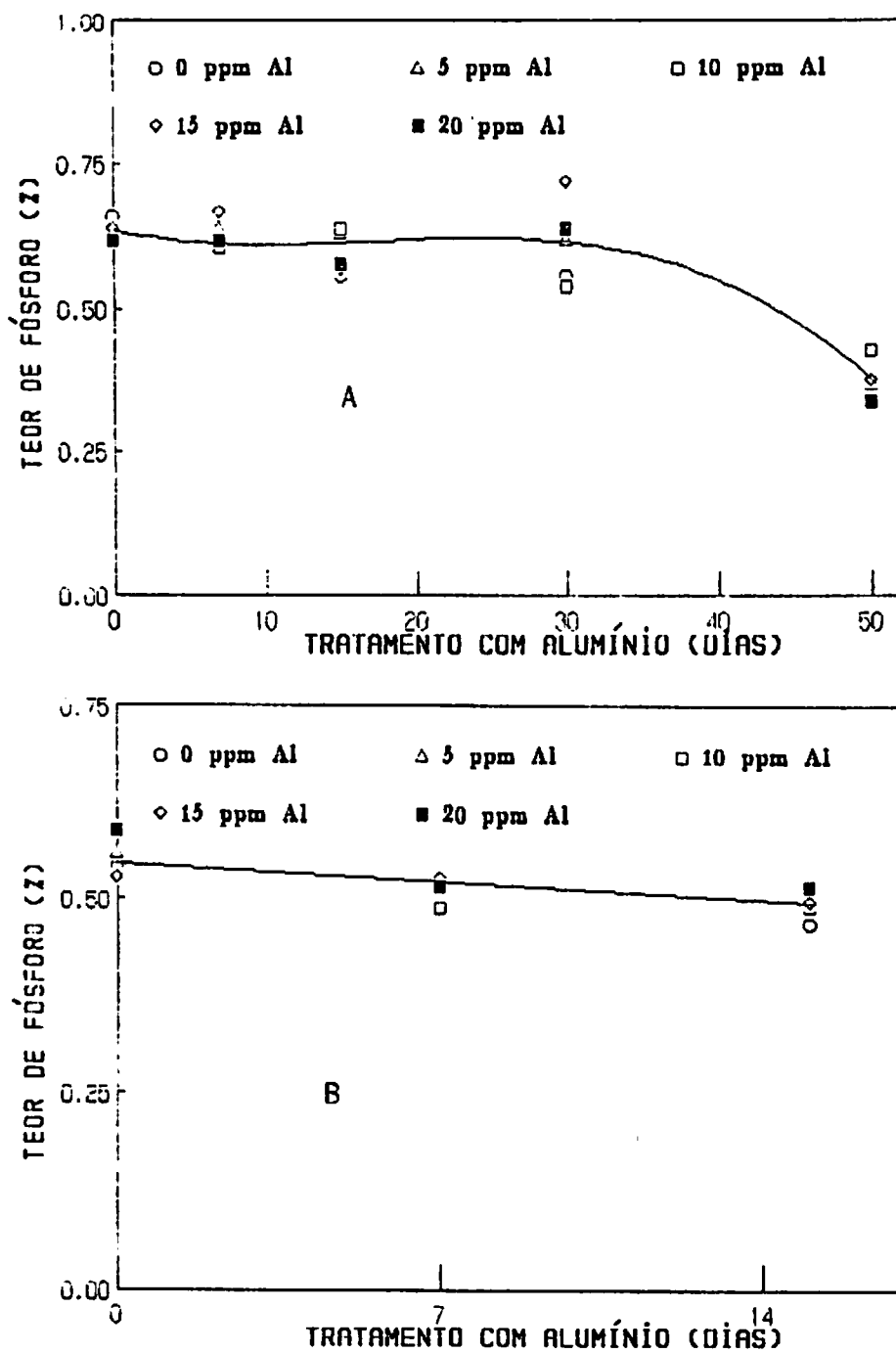


FIGURA 17. Efeito da época de coleta sobre o teor de fósforo nas raízes (A) e parte aérea (B) de plântulas de seringueira.

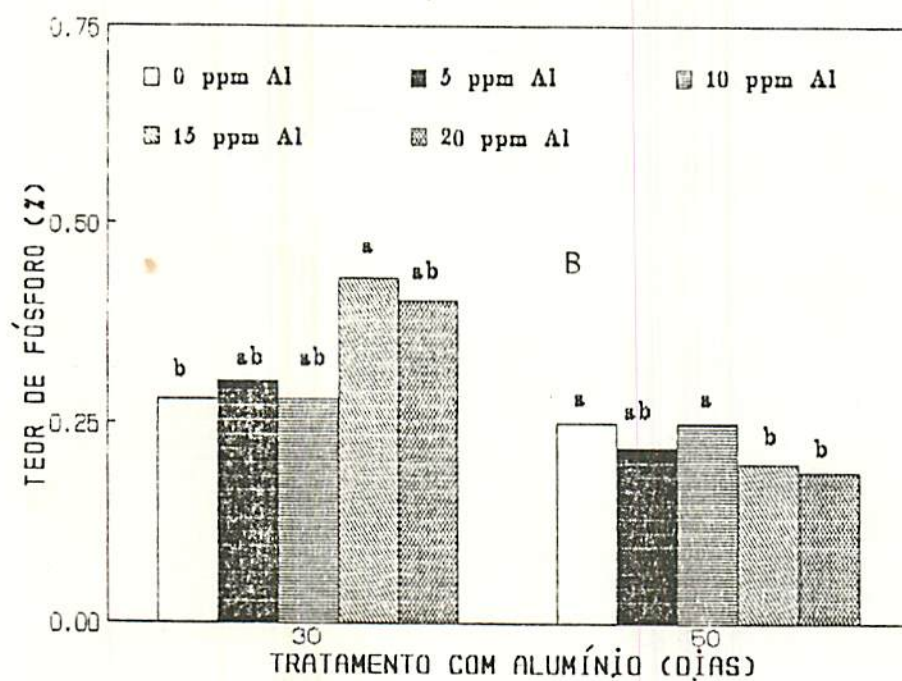
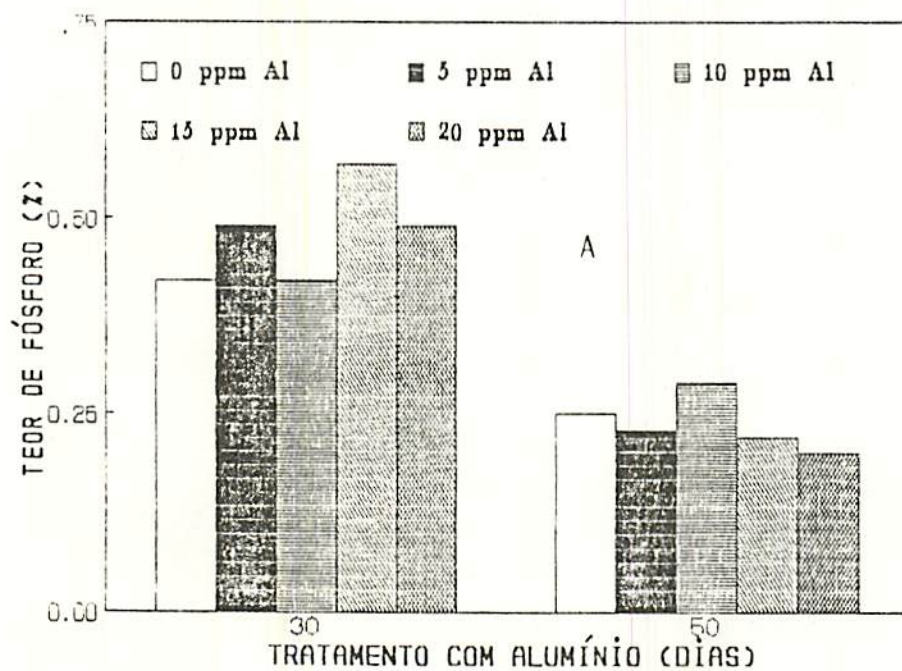


FIGURA 18. Efeitos de níveis de alumínio na solução nutritiva e da época de coleta sobre o teor de fósforo no caule (A) e lâmina foliar (B) de plântulas de seringueira.

a uma possível interrupção no fornecimento de fósforo pela semente, como sugerem os resultados apresentados na Figura 7.

Nas raízes das plântulas de seringueira não se observou qualquer aumento no teor de fósforo à medida em que se aumentou o nível de alumínio na solução nutritiva, ao contrário do aumento no teor de fósforo ocorrido no sistema radicular de várias espécies tratadas com alumínio (CLARKSON, 1966; WHITE, 1976; CALBO, 1978; MOSQUIM, 1978). Portanto, neste trabalho, o fósforo presente na raiz possivelmente é, em grande parte, fósforo metabólico, ou seja, está no interior do compartimento celular (RANDALL & VOSE, 1963; WHITE, 1976) e não fósforo trocável (CLARKSON, 1966), que, segundo CALBO (1978) é todo fósforo absorvido por estímulo do alumínio. BUENO (1987), em seu experimento com seringueira, apesar de trabalhar com a concentração de fósforo de 31ppm, também demonstrou que níveis crescentes de alumínio não aumentaram a absorção de fósforo pelas raízes. Porém, há de se ressaltar que aquele autor alternou o cultivo em solução de alumínio com o cultivo em solução nutritiva completa sem alumínio, por períodos de 24 horas e, com isso, reduziu o contato do alumínio com o fósforo, impedindo, dessa forma, o incremento adicional de fósforo, que é a precipitação referida por vários autores (WHITE, 1976; CALBO, 1978; MOSQUIM, 1978).

No caule (Figura 18A) e na lâmina foliar (Figura 18B), o nível de alumínio na solução nutritiva influenciou o padrão de distribuição de fósforo, de forma que aos 30 dias o teor de fósforo era mais alto nas plantas tratadas com alumínio, porém aos 50 dias o teor de fósforo foi menor, especialmente nas

plantas tratadas com 15 e 20 ppm de alumínio. Estes resultados sugerem que o alumínio diminuiu a absorção de fósforo pelas raízes e/ou sua consequente translocação para a parte aérea. Entretanto, parece provável que isto não ocorreu por causa da precipitação a nível de raiz como observaram CALBO (1978) e OLIVEIRA (1979), mas por um efeito direto do alumínio na translocação como sugeriram os trabalhos de CLARKSON (1966), HENG (1979) e HAYNES (1982).

4.5.2.3. Potássio

Os níveis de alumínio utilizados na solução nutritiva não influenciaram os teores de potássio na raiz (Figura 19A), na parte aérea (Figura 19B), no caule (Figura 20A), nem na lâmina foliar das plântulas de seringueira (Figura 20B). A não interferência do alumínio no teor de potássio na raiz pode indicar que não houve inibição da ATPase estimulada pelo magnésio, ligada à membrana, ao contrário do que foi verificado em ervilha por MATSUMOTO & YAMAYA (1986). Por sua vez, RENGEL & ROBINSON (1989) observaram que o alumínio estimulou a absorção de potássio em *Lolium multiflorum*, mas de acordo com PAHLSSON (1990) a possível explicação para isso é que as raízes normalmente tem um efluxo de potássio, que é muito maior a pHs mais baixos, e pode ser evitado pelo alumínio, dando-se a impressão de que a absorção foi aumentada. Em raízes de beterraba, o alumínio inibiu competitivamente a absorção passiva de potássio, mas estimulou a absorção ativa (LINDBERG, 1990).

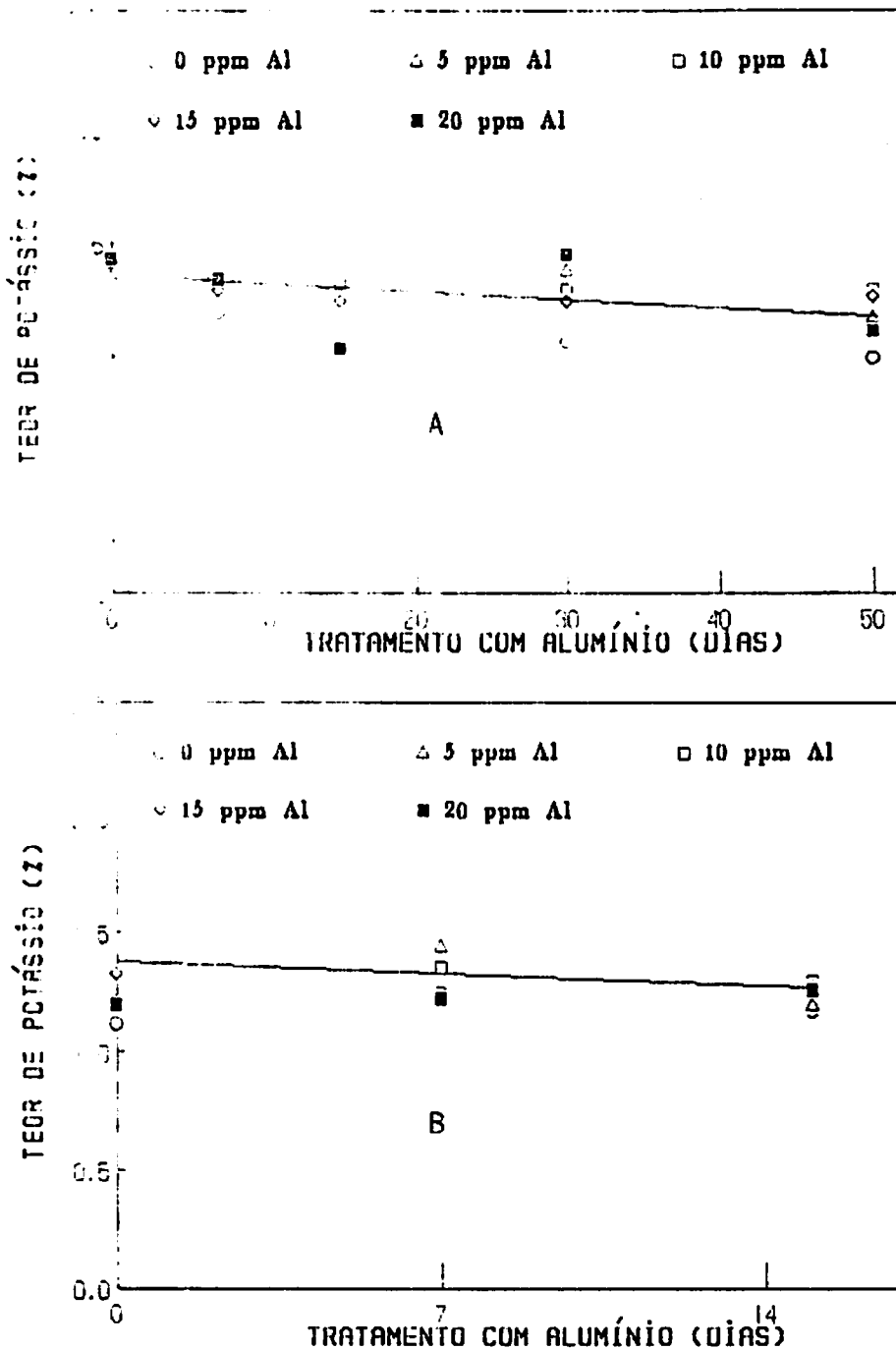


FIGURA 19. Efeito da época de coleta sobre o teor de potássio nas raízes (A) e parte aérea (B) de plântulas de seringueira.

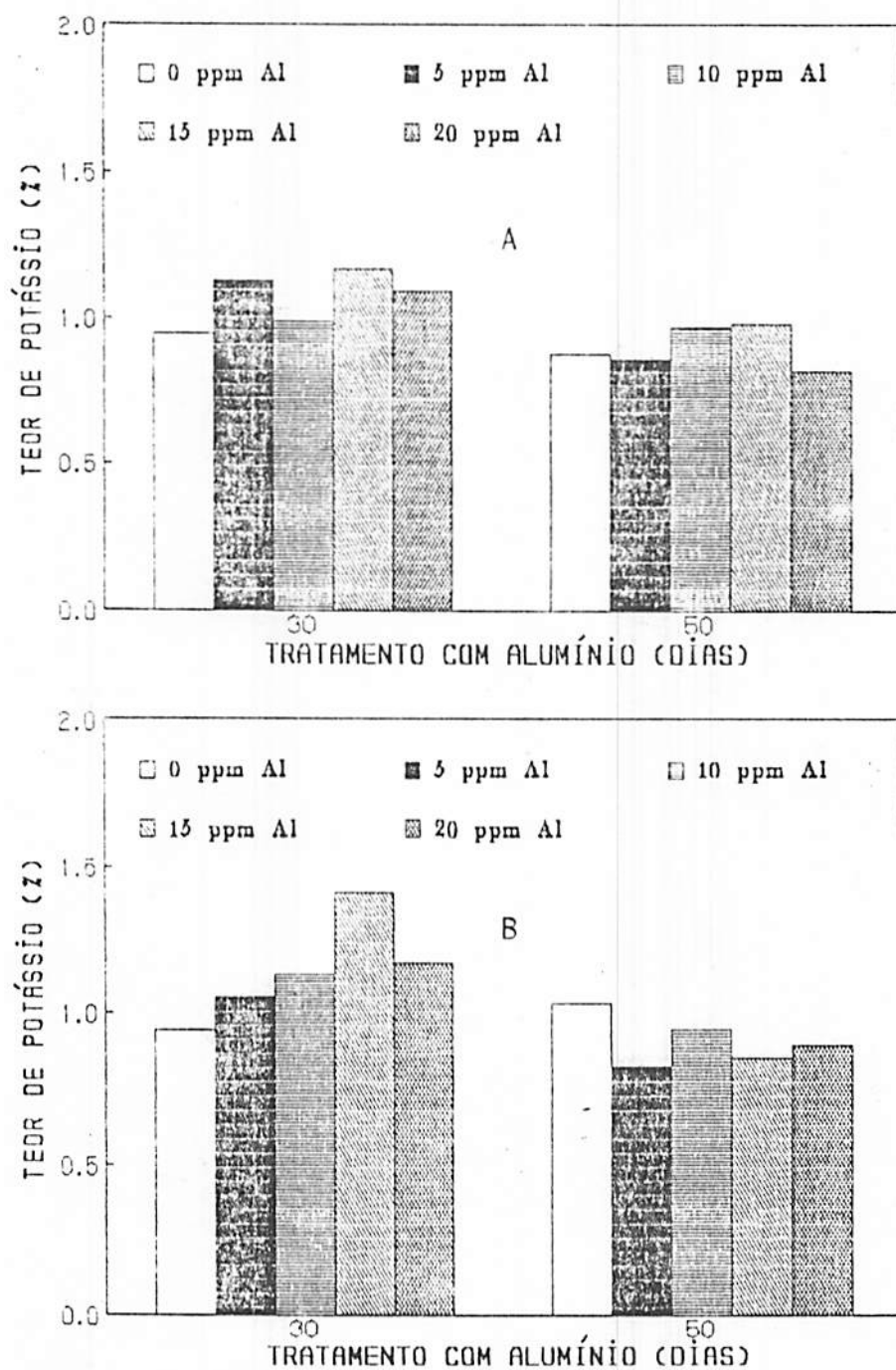


FIGURA 20. Efeito da época de coleta sobre o teor de potássio no caule (A) e lâmina foliar (B) de plântulas de seringueira.

4.5.2.4. Cálcio

O teor de cálcio nas plântulas de seringueira foi baixo, comparando-se aos resultados de SHORROCKS (1965), que mencionou ser o cálcio o elemento mais absorvido pela seringueira, depois do nitrogênio. O teor de cálcio nas raízes foi reduzido a partir do nível de 10 ppm de alumínio na solução, depois do 30^o dia de tratamento (Figura 21A). Esses resultados sugerem um efeito competitivo entre o cálcio e o alumínio pelas cargas negativas dos grupos carboxílicos dos ácidos poligalacturônicos das paredes celulares, à semelhança do que ocorreu em outros trabalhos (RORISON, 1965; CLARKSON, 1967; ASP et alii, 1988; PAHLSSON, 1990), reforçando as opiniões de RENGEL & ROBINSON (1989) de que o alumínio, por ser um cátion polivalente, quando penetra no espaço livre de DONNAN neutraliza as cargas negativas da parede celular e desloca outros cátions de mais baixa afinidade, como o Ca^{++} e o Mg^{++} . O alumínio pode, ainda, inibir a atividade da Ca^{+2} - ATPase pela ligação aos grupos polares aniônicos dos fosfolipídios, concorrendo para restringir a mobilidade da plasmalema (CALDWELL & HAUG, 1981). Baseando-se nisto, LINDBERG (1990) constatou que o alumínio diminuiu a absorção passiva e ativa do cálcio em raízes de beterraba.

Apesar do alumínio, a partir de 10 ppm na solução nutritiva, ter restringido a absorção de cálcio a nível de raiz, não se observou qualquer sintoma visual típico da deficiência desse elemento, que seriam resultantes de danos à integridade das membranas (LANCE & PEARSON, 1969) e na morfologia e alongamento

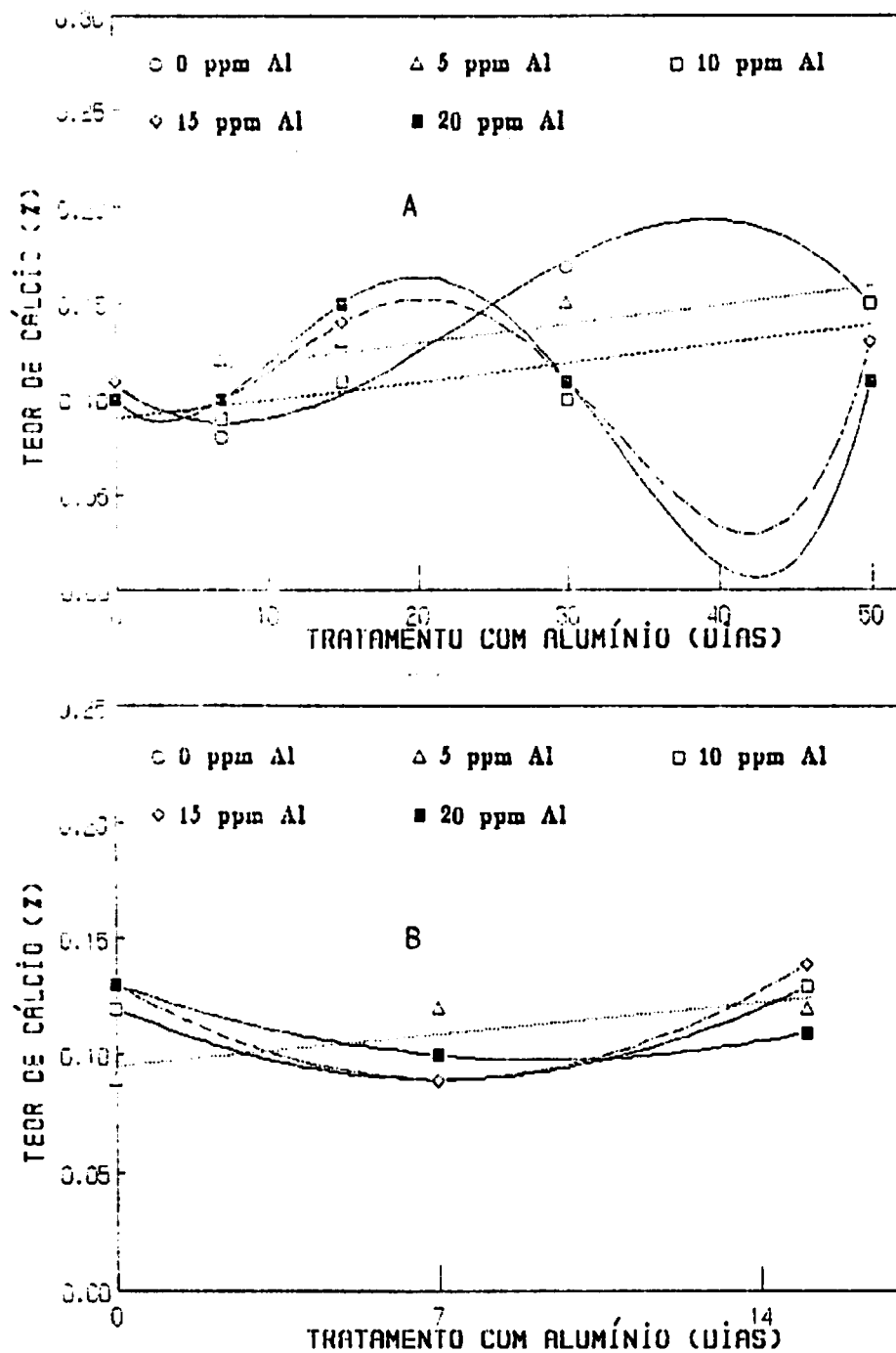


FIGURA 21. Efeitos de níveis de alumínio na solução nutritiva e da época de coleta sobre o teor de cálcio nas raízes (A) e parte aérea (B) de plântulas de seringueira

celular (ALVA et alii, 1986), uma vez que aparentemente as raízes cresceram normalmente em todos os tratamentos.

Os resultados desse trabalho concordam, pelo menos em parte, com aqueles obtidos por BUENO (1987) que encontrou um decréscimo de 77% no teor de cálcio na raiz de seringueira, utilizando um nível de 25ppm de alumínio na solução nutritiva.

O teor de cálcio na parte aérea (Figura 21B) não obedeceu à absorção inicial na raiz. De qualquer forma, o que se pode notar é que o tratamento com 5ppm de alumínio apresentou o maior teor de cálcio e o nível de 20ppm, o menor.

Analisando-se o caule (Figura 22A) observa-se que aos 30 dias, o tratamento com 15ppm de alumínio na solução nutritiva apresentou o maior teor de cálcio em relação aos demais. Aos 50 dias, os tratamentos com até 10ppm de alumínio na solução não diferiram entre si, enquanto que nos tratamentos com 15 e 20ppm de alumínio o teor de cálcio foi menor que no controle e diminuiu de 30 para 50 dias, evidenciando, além dos problemas iniciais de absorção, a interferência do alumínio no transporte e distribuição de cálcio na planta (ANDREW et alii, 1973; LINDBERG, 1990).

Na lâmina foliar, não se verificou efeito dos tratamentos com alumínio sobre o teor de cálcio (Figura 22B), mas um significativo acréscimo de 30 para 50 dias, que, segundo SHORROCKS (1965), continua até atingir aproximadamente o teor de 0,86%.

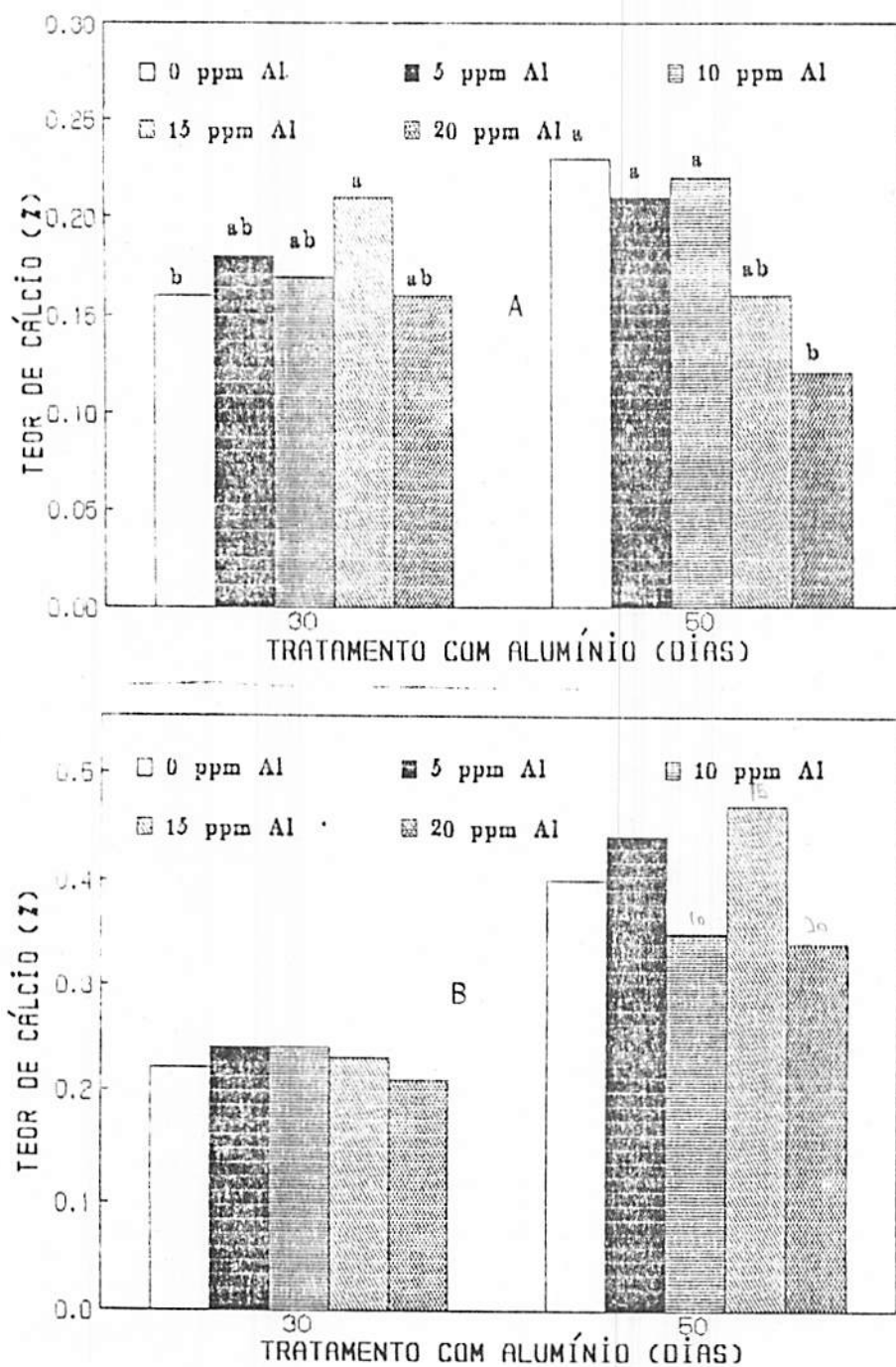


FIGURA 22. Efeitos de níveis de alumínio na solução nutritiva e da época de coleta sobre o teor de cálcio no caule (A) e lâmina foliar (B) de plântulas de seringueira.

4.5.2.5. Magnésio

O teor de magnésio manteve-se relativamente constante na raiz (Figura 23A) e parte aérea (Figura 23B) das plântulas de seringueira, independentemente do tratamento com alumínio, podendo-se inferir que a nível radicular não houve o efeito competitivo entre o alumínio e o magnésio sugerido por outros autores (HECHT-BUCHHOLZ & SCHUSTER, 1987; PAHLSSON, 1990; RENGEL, 1990), inclusive em plantas de seringueira (BUENO, 1987). Esses resultados, juntamente com aqueles observados para o potássio a nível de raiz, sugerem que as atividades da Mg^{+2} - ATPase e da $(K^{+} + Mg^{+2})$ - ATPase, que são as prováveis transportadoras destes elementos através da plasmalema (SUHAYADA & HAUG, 1986), não foram afetadas, diferindo do trabalho de RENGEL (1990), realizado com *L. multiflorum*, onde o alumínio aumentou o Km para magnésio, e aumentou o efluxo desse cátion, provavelmente por danos provocados à plasmalema. É provável que devido o magnésio ser tão efetivo quanto o cálcio na proteção das raízes (RHUE & GROGAN, 1977; RENGEL, 1990), as plântulas não manifestaram qualquer sintoma visível da toxicidade do alumínio a nível radicular.

Os níveis de alumínio utilizados na solução nutritiva influenciaram o teor de magnésio no caule (Figura 24A), mas não tiveram efeito na lâmina foliar (Figura 24B). Observa-se no caule, que o tratamento com 15ppm de alumínio apresentou o maior teor de magnésio aos 30 dias, enquanto que aos 50 dias não houve diferença entre os tratamentos.

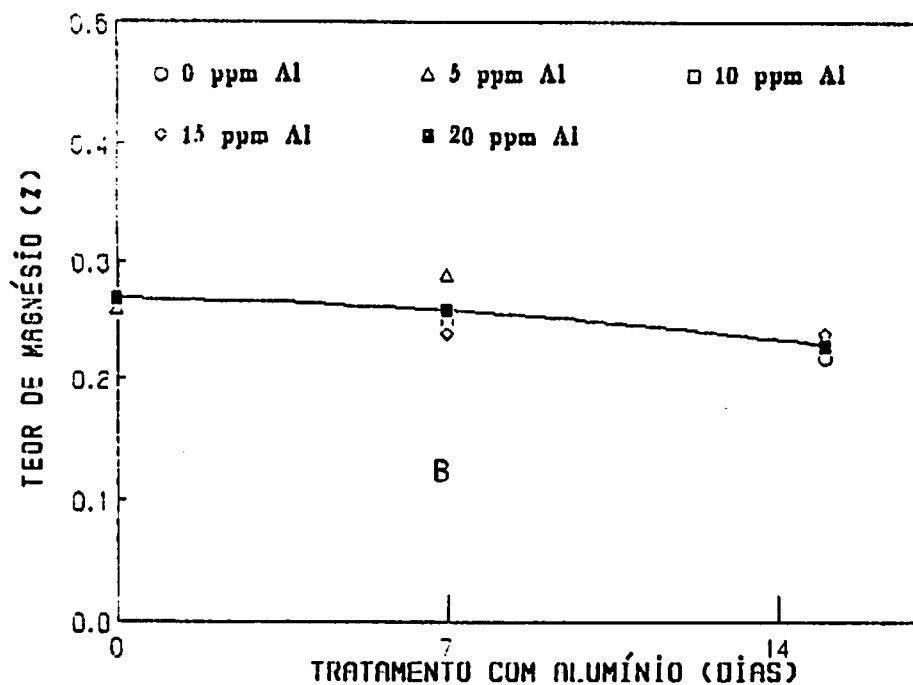
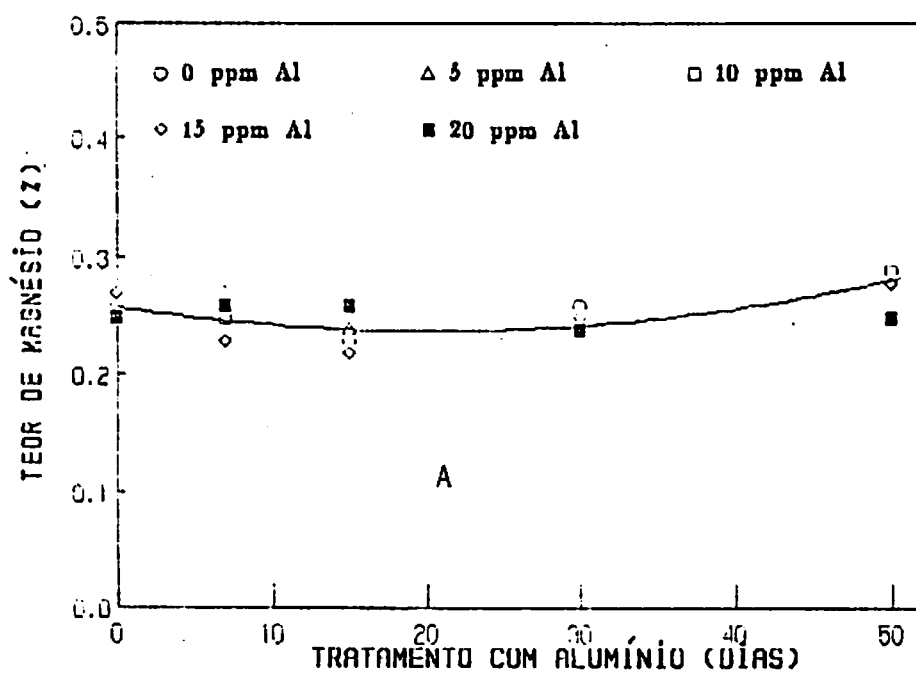


FIGURA 23. Efeito da época de coleta sobre o teor de magnésio nas raízes (A) e parte aérea (B) das plântulas de seringueira.

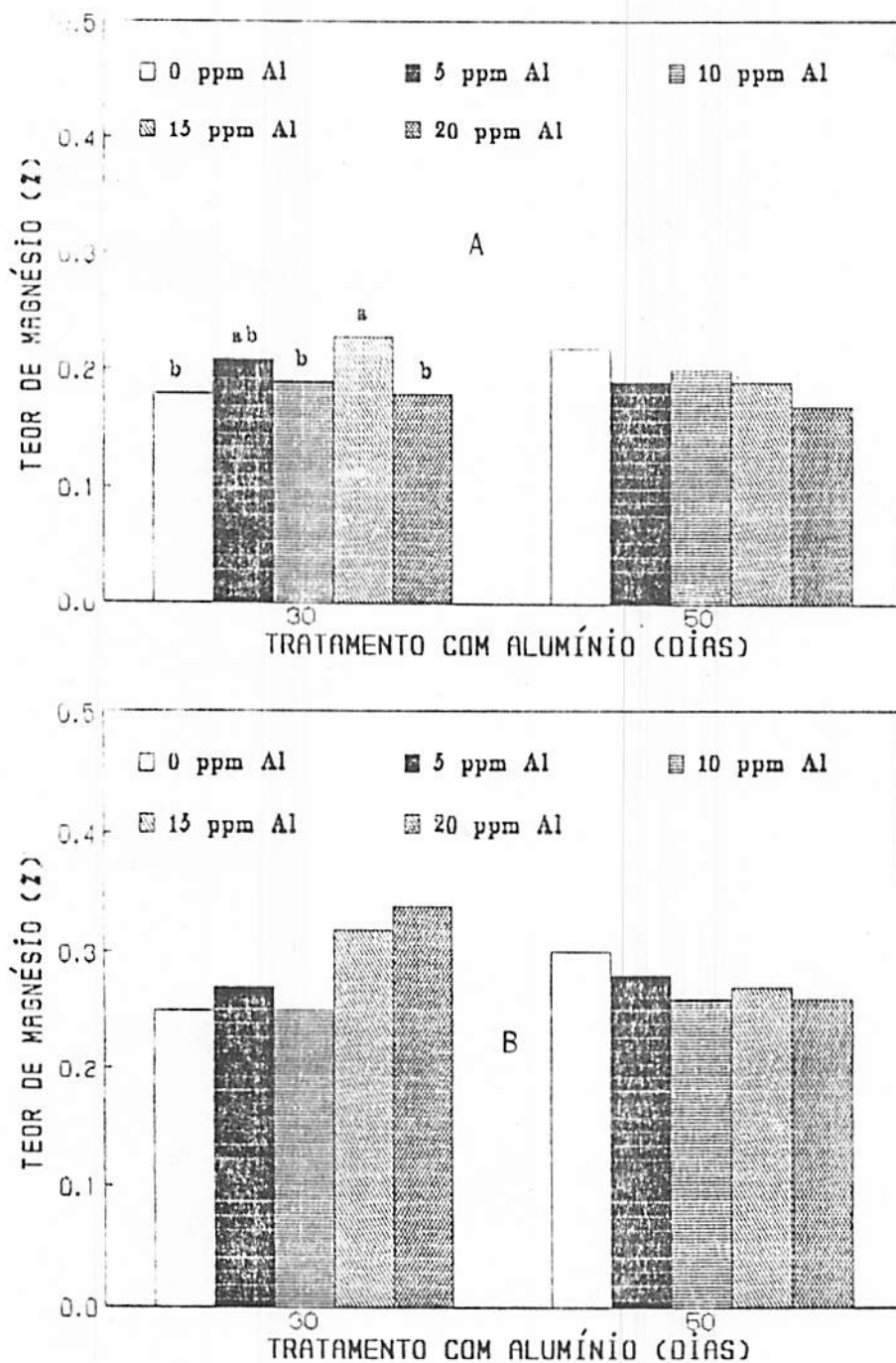


FIGURA 24. Efeitos de níveis de alumínio na solução nutritiva e da época de coleta sobre o teor de magnésio no caule (A) e lâmina foliar (B) de plântulas de seringueira.

4.5.2.6. Enxofre

O enxofre, segundo SHORROCKS (1965), é absorvido em quantidades semelhantes ao fósforo pela seringueira, mas os resultados deste trabalho discordam, mostrando que o teor de enxofre foi inferior ao de fósforo em todas as partes das plântulas (Figuras 25 e 26).

O teor de enxofre foi muito variável nas raízes, provavelmente em função da influência das reservas da semente, mas a partir do 30^o dia, a tendência dos tratamentos com alumínio foi acumular mais enxofre que o controle (Figura 25A), e segundo KINRAIDE & PARKER (1987) isso pode ser atribuído à possibilidade do alumínio se ligar ao sulfato no interior celular. Vale salientar que a concentração de enxofre na solução foi igual para todos os níveis de alumínio utilizados no trabalho.

Na parte aérea (Figura 25B), não houve a interferência dos níveis de alumínio e da duração dos tratamentos sobre o teor relativo de enxofre. Porém, a partir do 30^o dia, quando a parte aérea foi separada em caule e lâmina foliar, o teor de enxofre no caule (Figura 26A) foi significativamente maior que o controle na dose de 15ppm de alumínio, embora ao 50^o dia não houvesse diferença entre os tratamentos, o mesmo acontecendo com a lâmina foliar (Figura 26B).

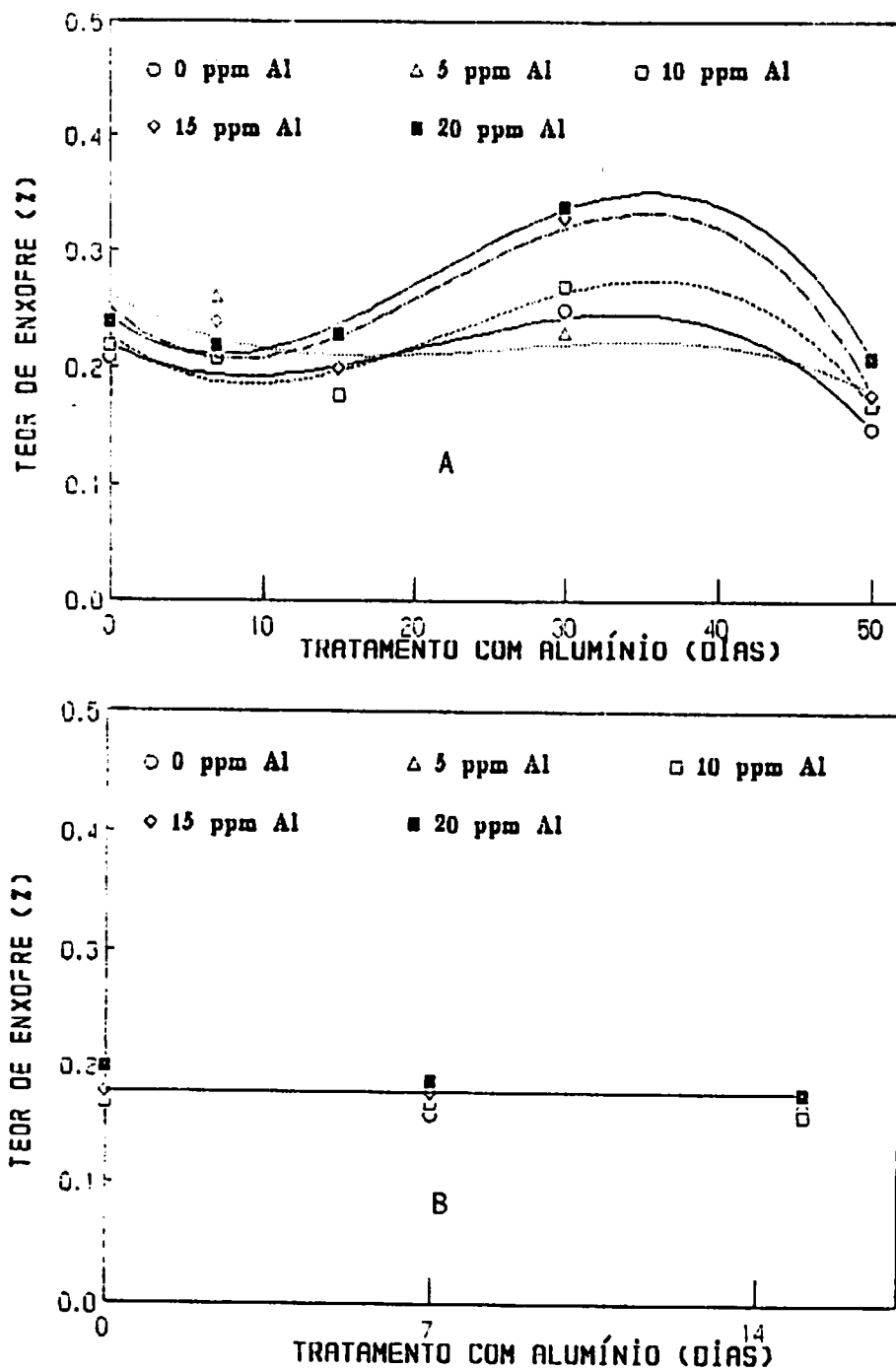


FIGURA 25. Efeitos de níveis de alumínio na solução nutritiva e da época de coleta sobre o teor de enxofre nas raízes (A) e parte aérea (B) das plântulas de seringueira.

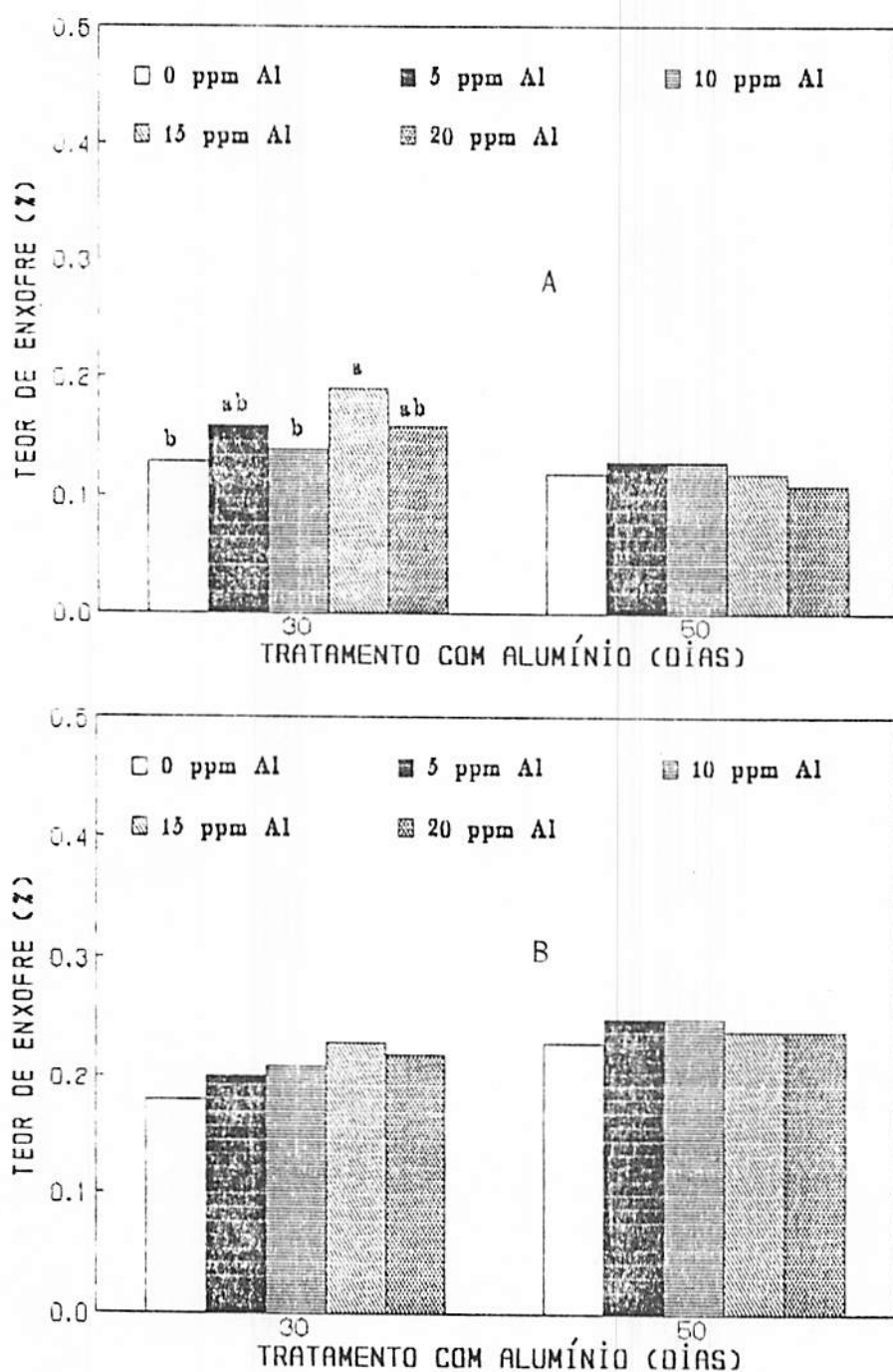


FIGURA 26. Efeitos de níveis de alumínio na solução nutritiva e da época de coleta sobre o teor de enxofre no caule (A) e lâmina foliar (B) de plântulas de seringueira.

4.5.3. Micronutrientes

4.5.3.1. Cobre

O teor de cobre detectado nas plântulas de seringueira tendeu a diminuir bruscamente em função do período de duração do experimento em todas as partes analisadas (Figuras 27 e 28), com exceção da lâmina foliar (Figura 28B), corroborando com os dados de SHORROCKS (1965), que constatou que o cobre é o micronutriente menos absorvido pela seringueira, e que sua absorção inicial é lenta.

Apesar da literatura relatar um efeito competitivo entre o alumínio e o cobre (FOY et alii 1978, LEE 1971), observou-se um efeito estimulante do alumínio sobre a absorção de cobre em batata. Porém, o que se verificou para a seringueira é que o alumínio não interferiu na absorção de cobre a nível de raiz (Figura 27A), e teve uma pequena influência na parte aérea (Figura 27B), que se manifestou apenas no início sem, contudo, modificar o teor de cobre a partir do 7^o dia de experimentação. No caule (Figura 28A) e lâmina foliar (Figura 28B) não houve diferença entre os tratamentos, com relação ao teor de cobre.

4.5.3.2. Ferro

Apesar da baixa taxa de retranslocação do ferro da semente para a plântula de seringueira, o seu teor se manteve estável na raiz até o 7^o dia, independentemente do tratamento com alumínio, aumentando consideravelmente a partir daí (Figura 29A),

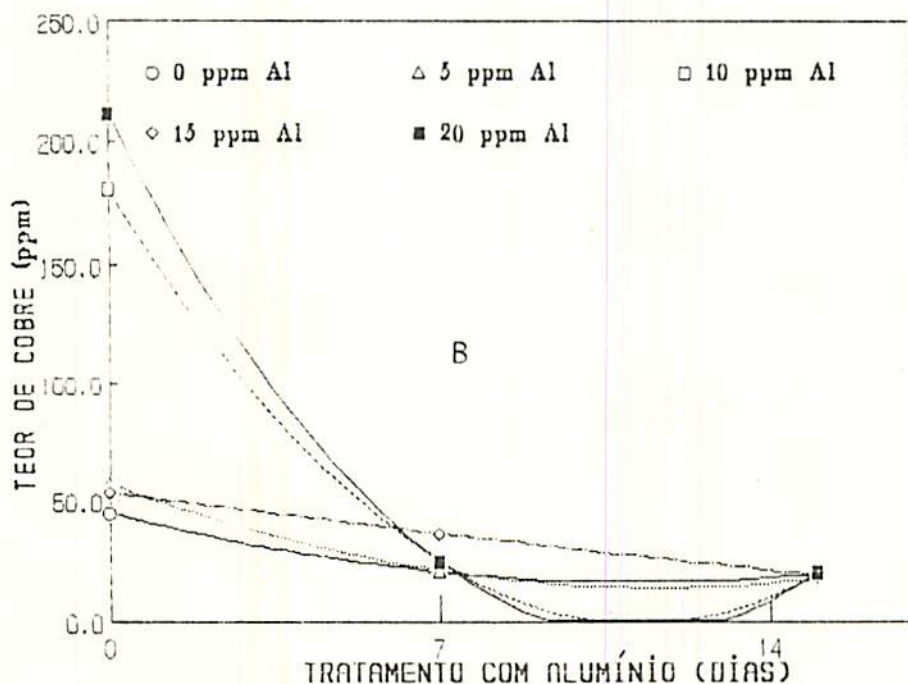
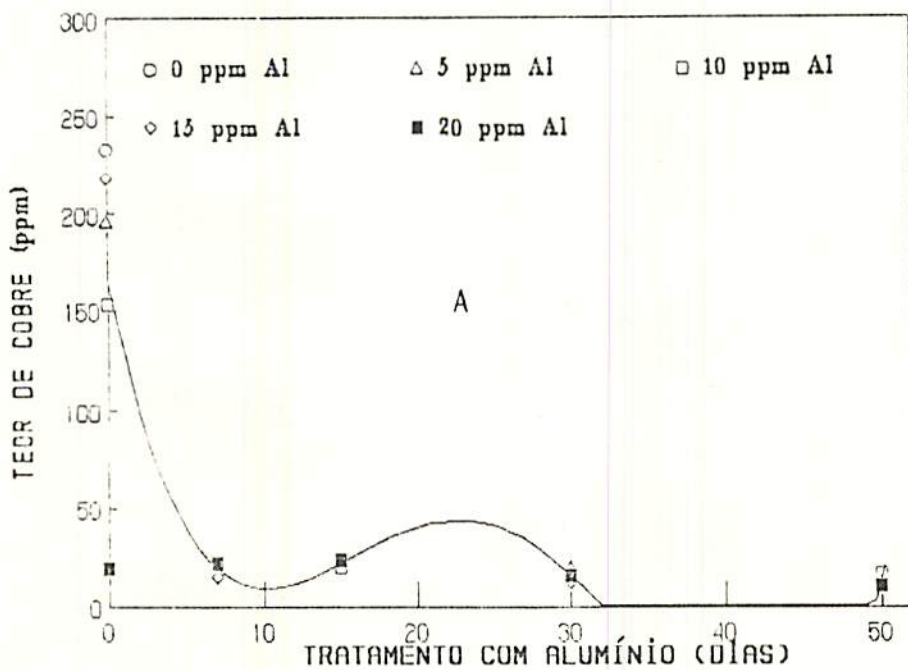


FIGURA 27. Efeitos de níveis de alumínio na solução nutritiva e da época de coleta sobre o teor de cobre nas raízes (A) e parte aérea (B) de plântulas de seringueira.

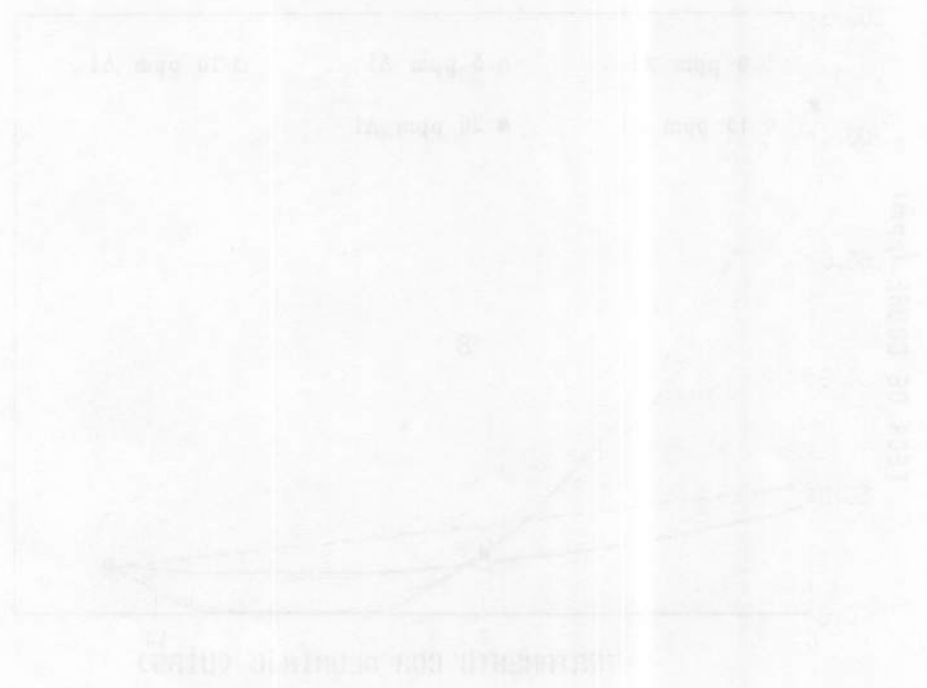


FIGURA 27. Efecto de los niveles de aluminio en la solución nutritiva en la absorción de cobre por parte de las plantas de copres. (A) efecto de la concentración de aluminio en la solución nutritiva sobre el nivel de cobre en las plantas. (B) efecto de la concentración de aluminio en la solución nutritiva sobre el nivel de aluminio en las plantas.

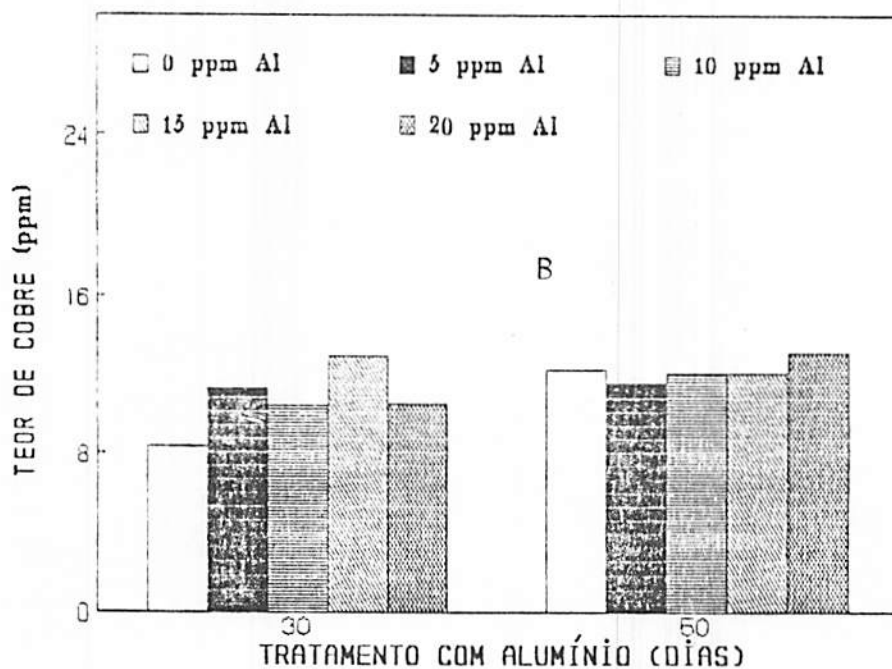
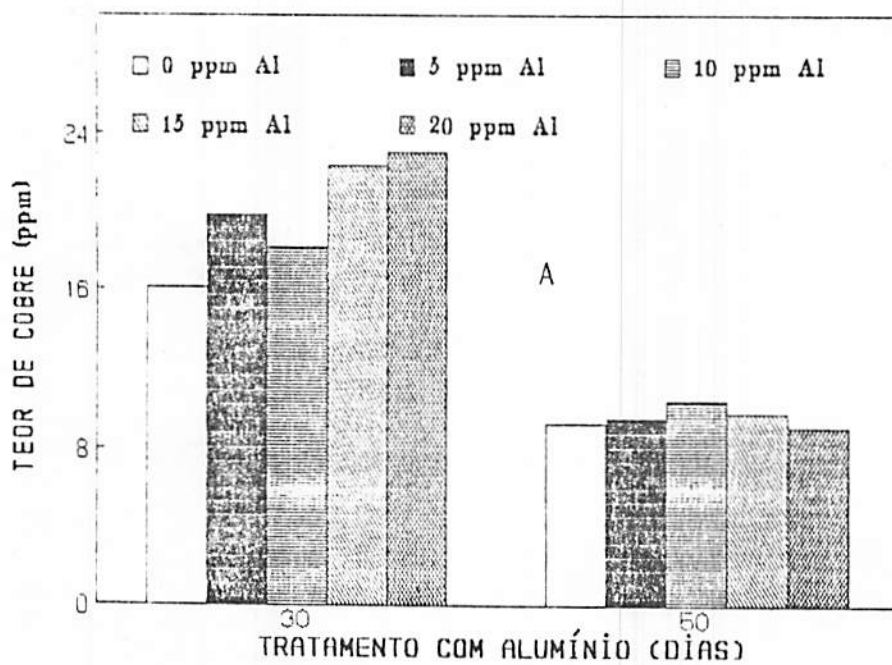


FIGURA 28. Efeito da época de coleta sobre o teor de cobre no caule (A) e lâmina foliar (B) de plântulas de seringueira.

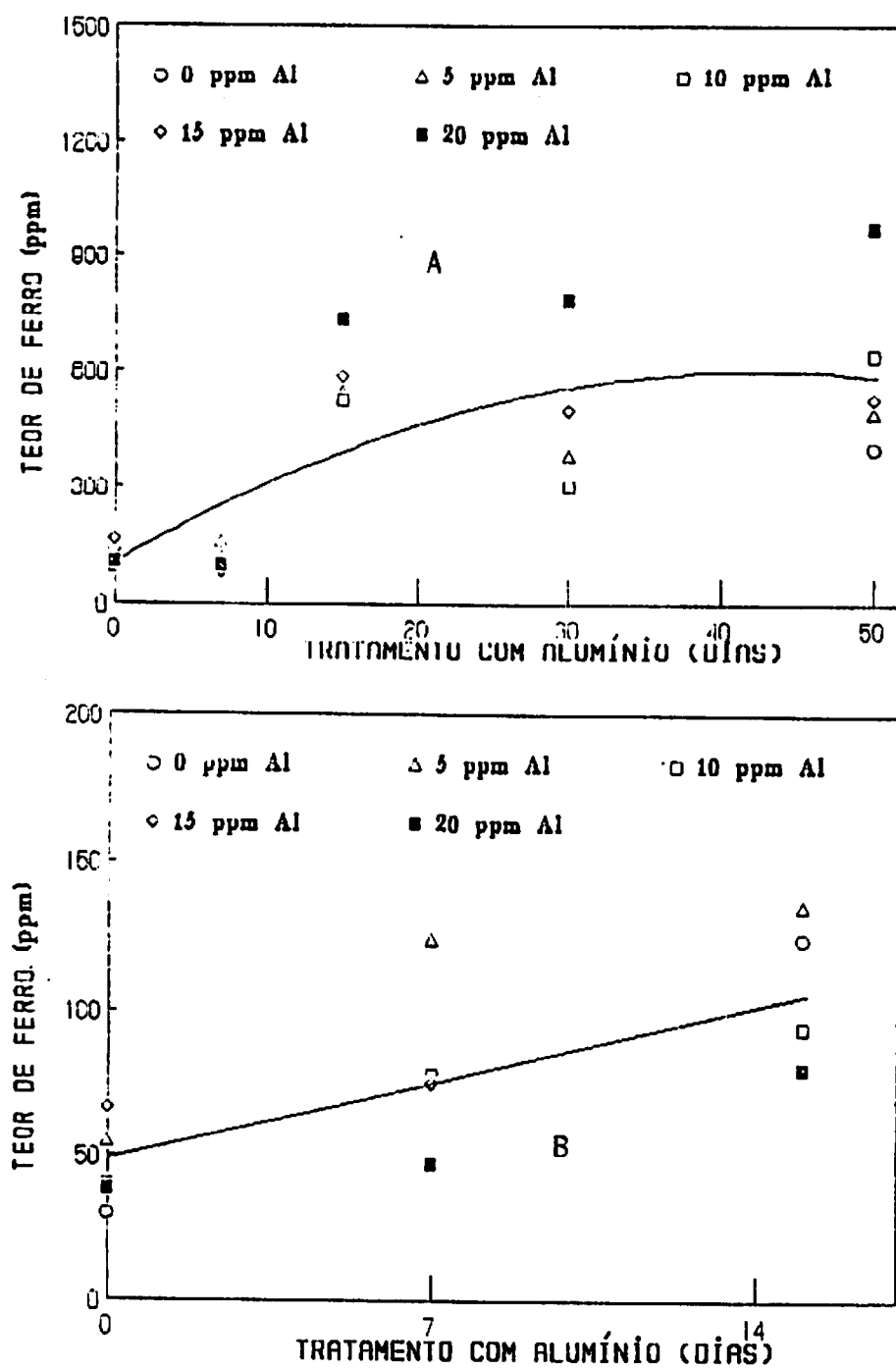


FIGURA 29. Efeito da época de coleta sobre o teor de ferro nas raízes (A) e parte aérea (B) de plântulas de seringueira.

sugerindo que a plântula tem uma alta taxa inicial de absorção de ferro (SHORROCKS, 1965). É necessário esclarecer, entretanto, que o ferro foi fornecido na forma de quelados orgânicos (Fe-EDTA) e isto pode ter favorecido a sua absorção (FAGERIA et alii, 1990).

Na parte aérea, houve uma correlação linear positiva entre o tempo de duração do experimento e o teor de ferro (Figura 29B), mas também os níveis de alumínio utilizados na solução nutritiva influenciaram o teor de ferro (Figura 30). Observou-se que o nível de 5ppm de alumínio favoreceu a translocação do ferro e os níveis de 10 a 15ppm de alumínio não diferiram do controle, e somente no nível de 20ppm de alumínio ocorreu um decréscimo significativo no teor de ferro. MARTINS (1988) explicou que o alumínio, em baixas concentrações, pode favorecer a translocação do ferro, substituindo-o em sítios importantes na raiz.

Houve uma queda no teor de ferro do caule de 30 para 50 dias em todos os tratamentos (Figura 31A) embora o alumínio não tenha influenciado. Mas na lâmina foliar (Figura 31B) merece destaque o aumento no teor de ferro nas plântulas controle de 30 para 50 dias, superando todos os tratamentos com alumínio. Isto indica que de alguma forma o alumínio interferiu na translocação do ferro.

4.5.3.3. Manganês

Embora SHORROCKS (1965) tenha afirmado que o ferro é o micronutriente mais absorvido pela seringueira, o que se observou neste trabalho é que o teor de manganês suplantou o de ferro em todas as partes das plântulas analisadas (Figuras 32 e 33). Nas

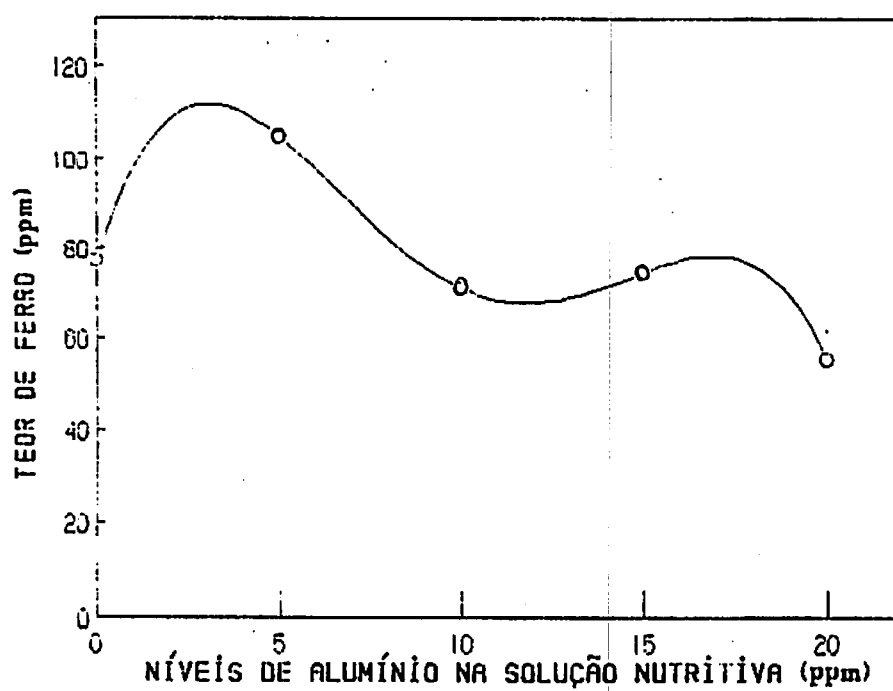


FIGURA 30. Efeitos de níveis de alumínio na solução nutritiva sobre o teor de ferro na parte aérea de plântulas de seringueira.

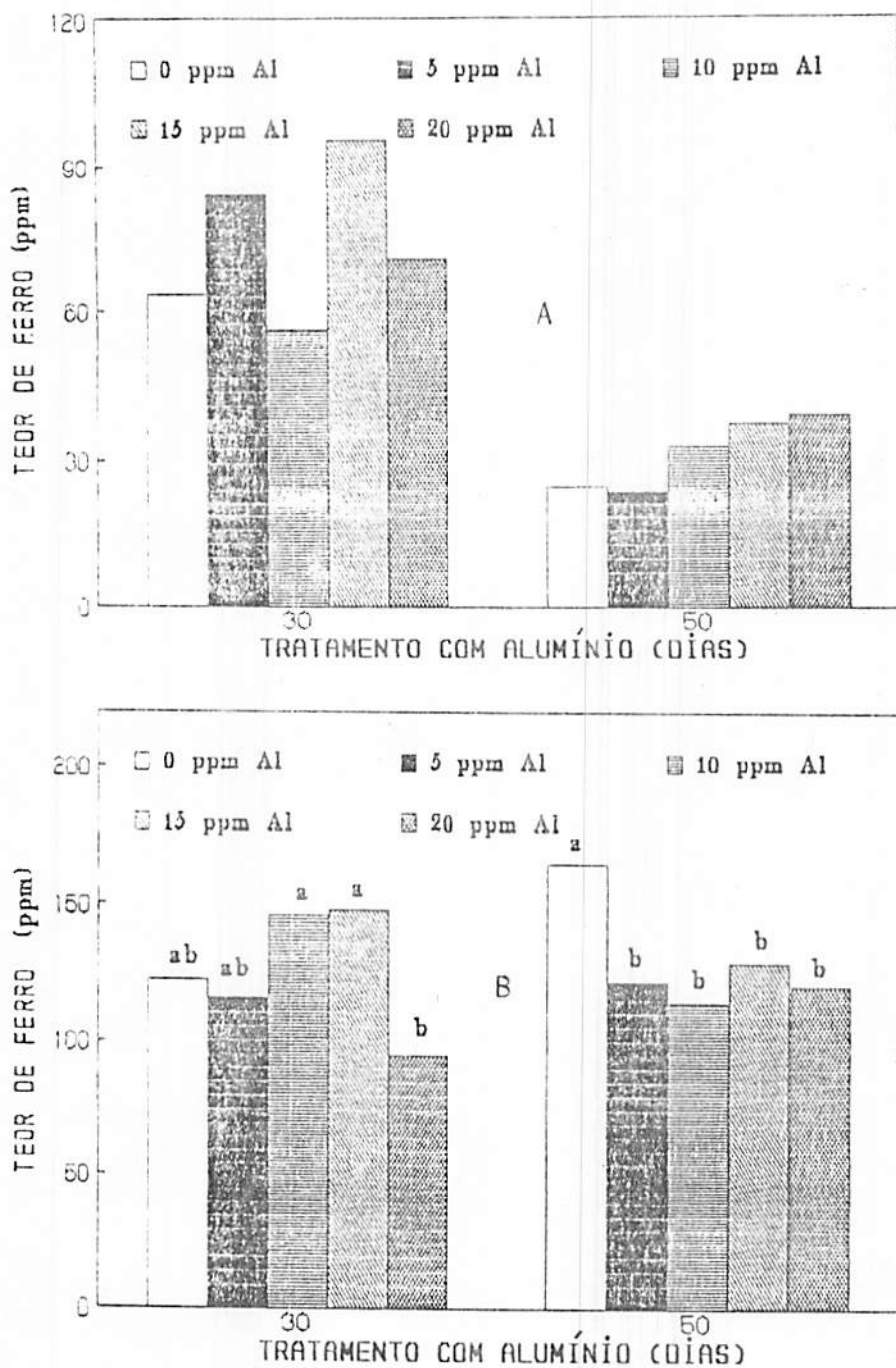


FIGURA 31. Efeitos de níveis de alumínio na solução nutritiva e da época de coleta sobre o teor de ferro no caule (A) e lâmina foliar (B) de plântulas de seringueira.

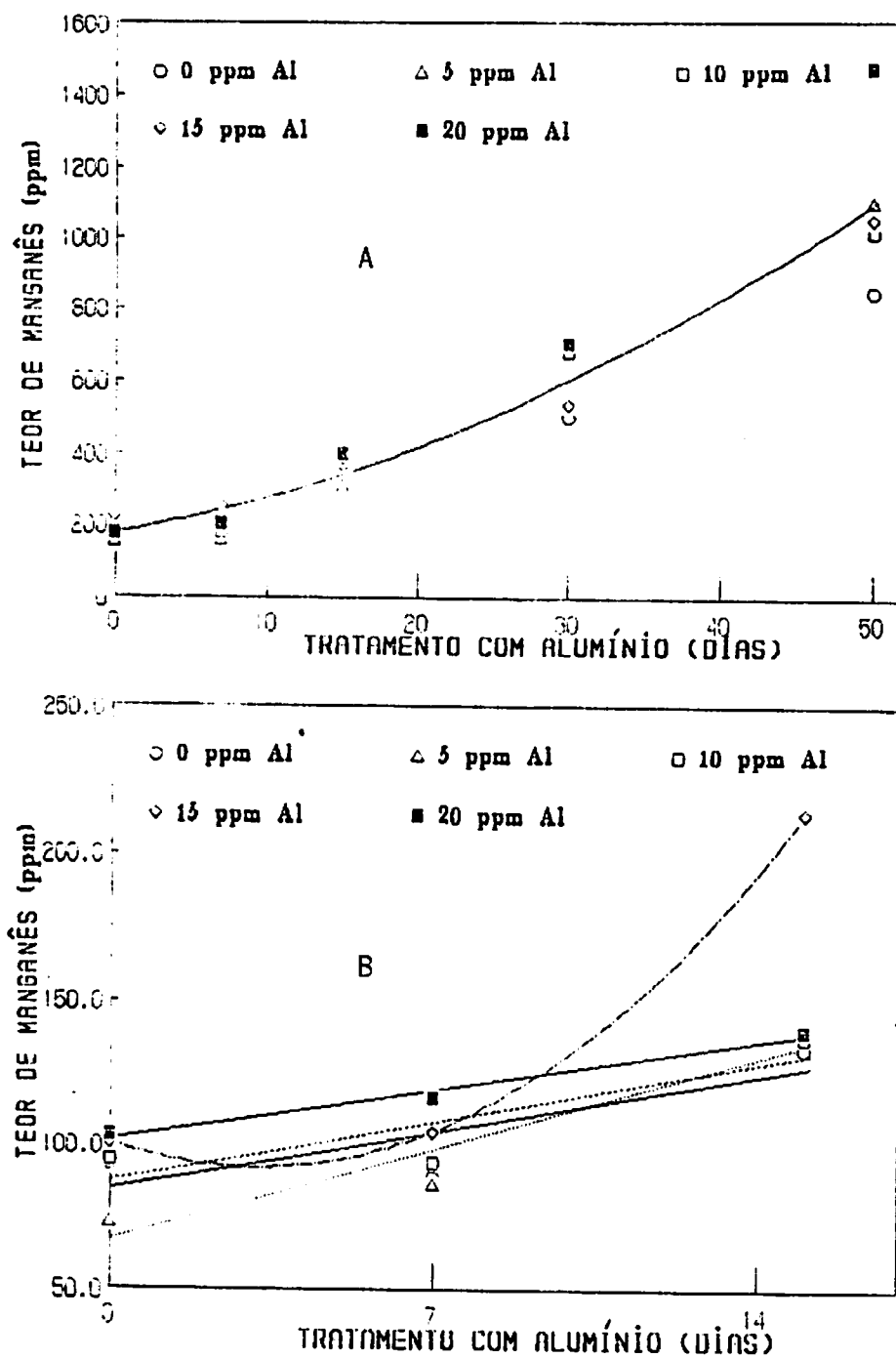


FIGURA 32. Efeitos de níveis de alumínio na solução nutritiva e de época de coleta sobre o teor de manganês nas raízes (A) e parte aérea (B) de plântulas de seringueira.

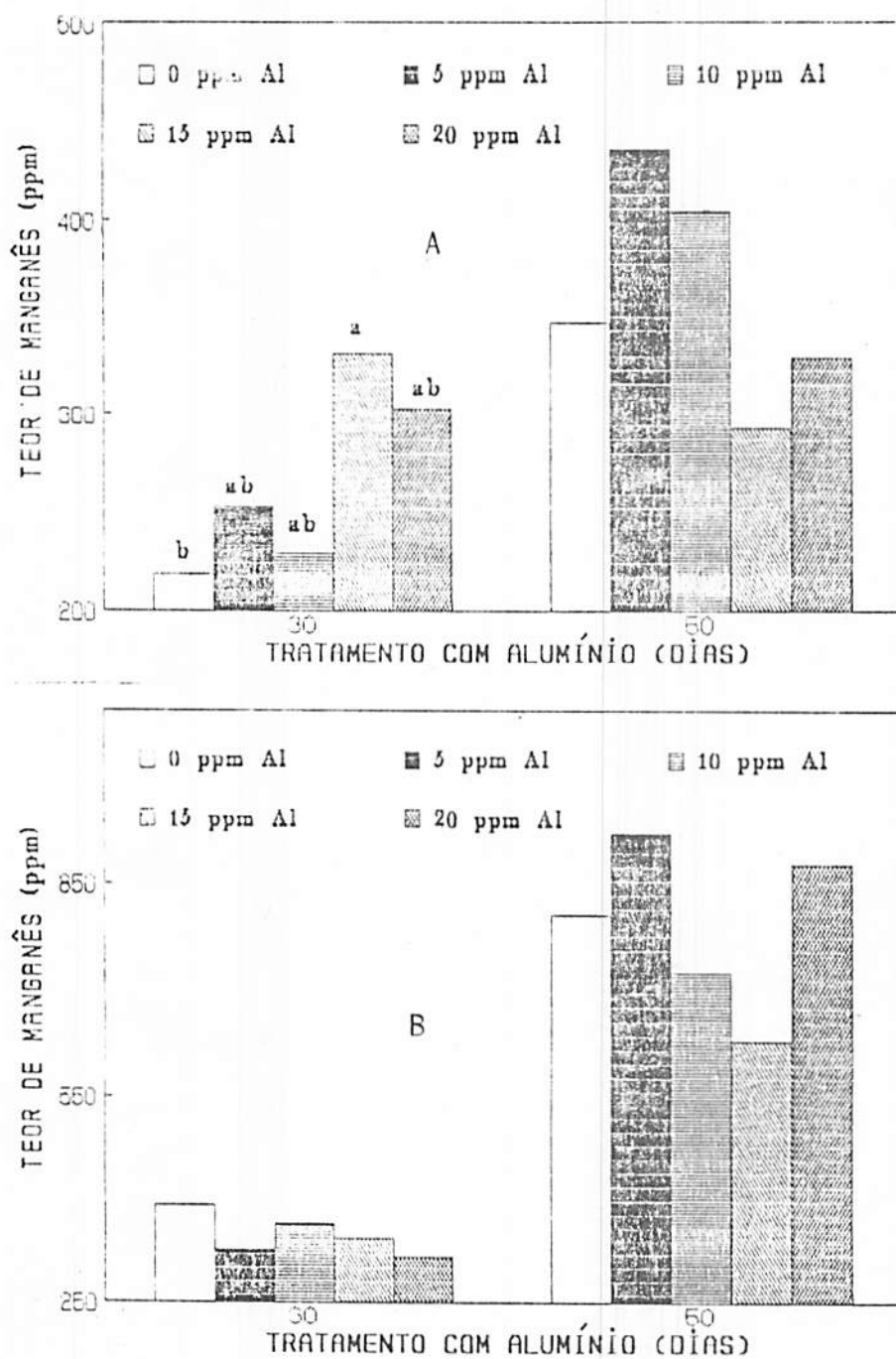


FIGURA 33. Efeitos de níveis de alumínio na solução nutritiva e da época de coleta sobre o teor de manganês no caule (A) e lâmina foliar (B) de plântulas de seringueira.

raízes, houve um aumento no teor de manganês tanto em função do tempo de duração do experimento (Figura 32A), quanto em função dos níveis crescentes de alumínio na solução (Figura 34), o que está de acordo com FREIRE (1976), que observou um efeito estimulante do alumínio na absorção de manganês em plantas de soja e feijão, mas contrário aos resultados de HENG (1979) e JARDIM & MALAVOLTA (1984). Talvez, o mecanismo que tenha favorecido a absorção de manganês em presença do alumínio tenha sido o mesmo explicado para o ferro, ou seja, o alumínio desloca o manganês da parede celular e o libera para a absorção, uma vez que estes dois ions podem ligar-se facilmente à parede celular.

Nota-se que os tratamentos com alumínio apresentaram o maior teor de manganês na parte aérea (Figura 32B). No caule, aos 30 dias, o tratamento com 15ppm de alumínio apresentou o maior teor de manganês em relação ao controle, enquanto que não houve diferença entre os tratamentos aos 50 dias (Figura 33A). Na lâmina foliar, o teor de manganês aumentou acentuadamente entre os 30 e 50 dias de experimento, porém não houve influência dos tratamentos com alumínio (Figura 32B).

4.5.3.4. Zinco

Os níveis de alumínio utilizados na solução nutritiva não afetaram os teores de zinco em nenhum dos órgãos das plântulas de seringueira (Figuras 35 e 36). Entretanto, PAHLSSON (1990), trabalhando com *Fagus sylvatica*, observou um efeito competitivo entre o alumínio e o zinco a nível de raiz, além de um impedimento ao transporte de zinco para a parte aérea.

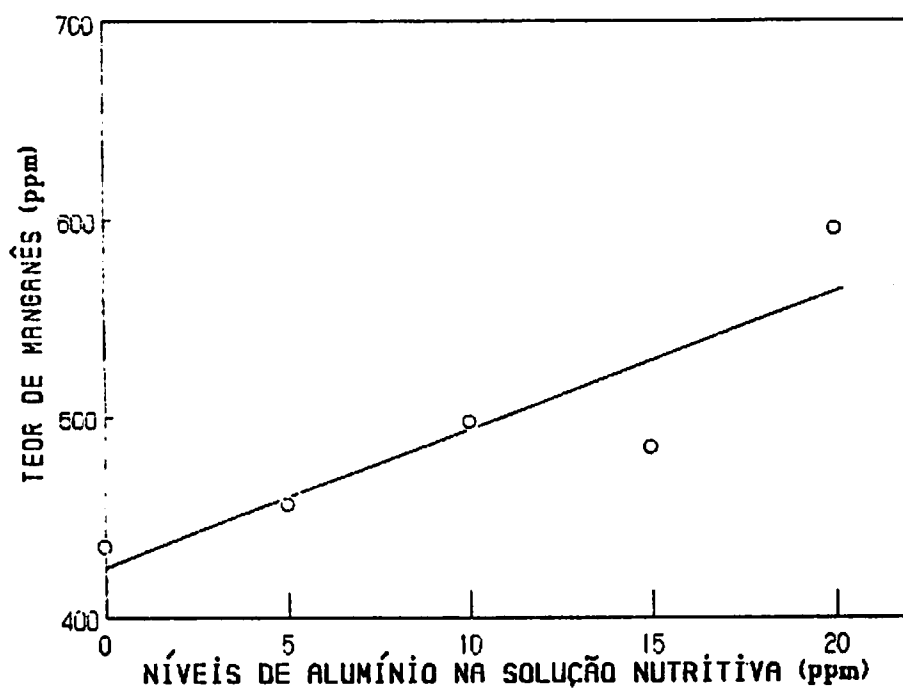


FIGURA 34. Efeitos de níveis de alumínio na solução nutritiva sobre o teor de manganês nas raízes de plântulas de seringueira.

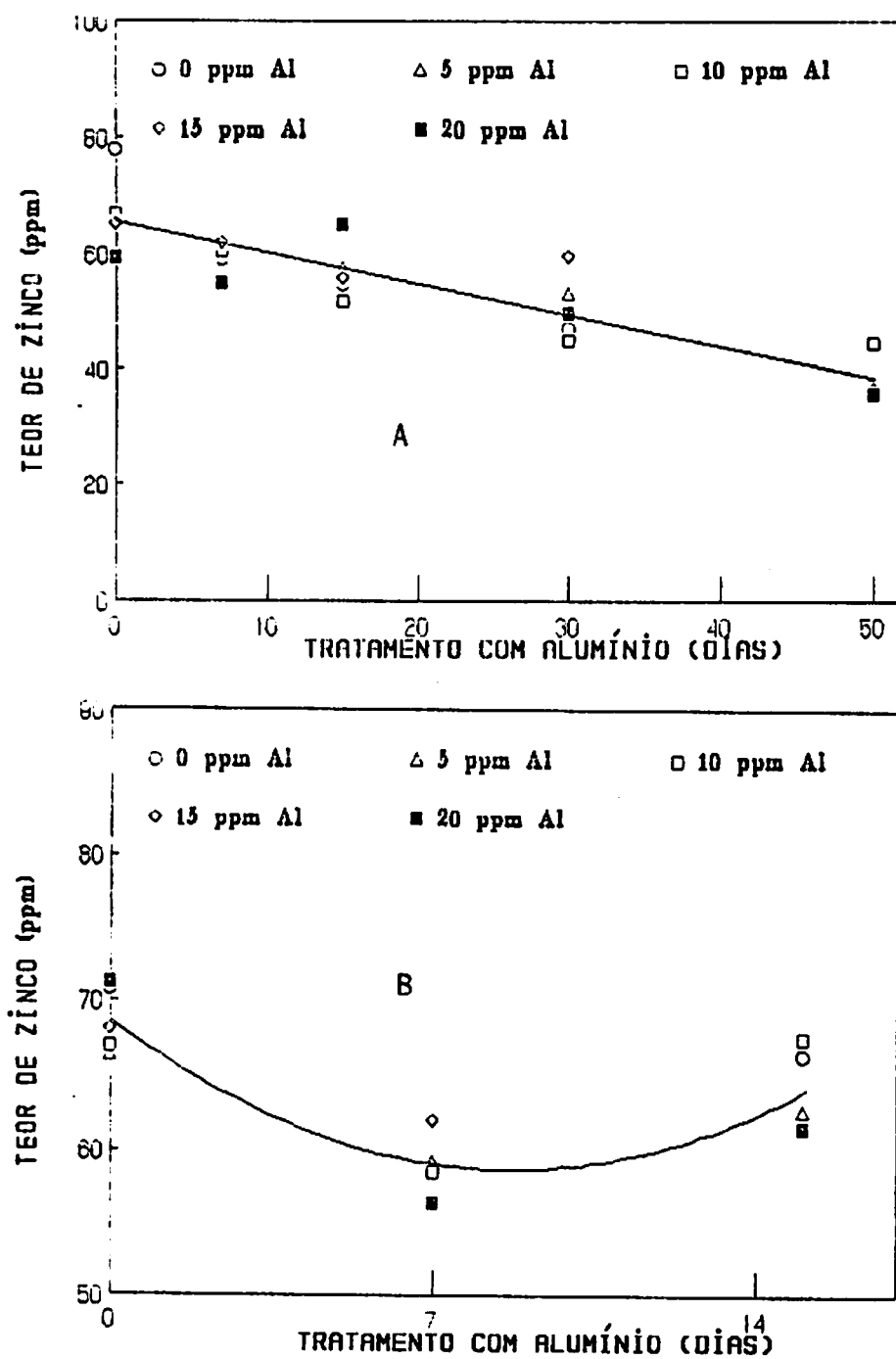


FIGURA 35. Efeito da época de coleta sobre o teor de zinco nas raízes (A) e parte aérea (B) de plântulas de seringueira.

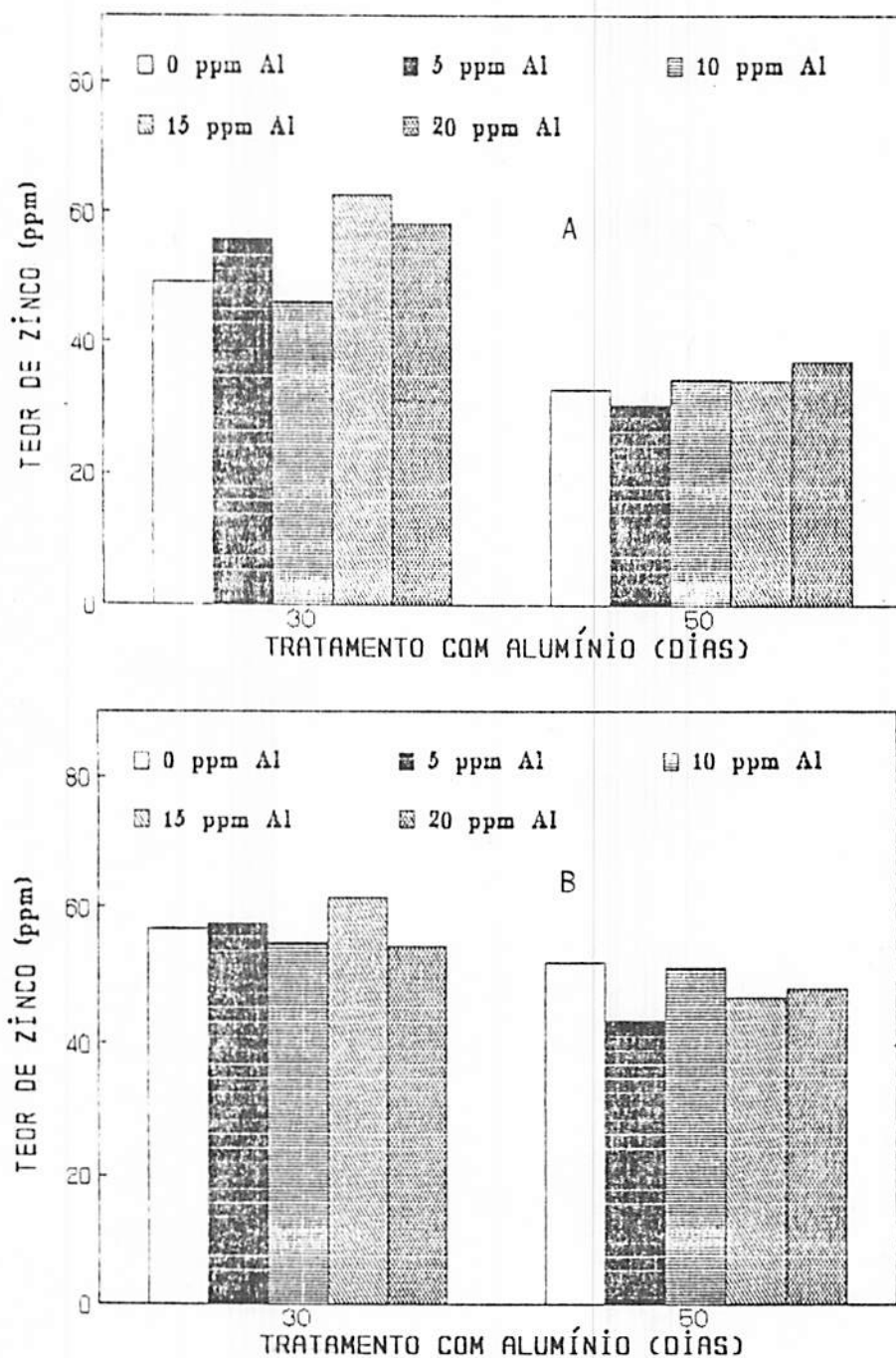


FIGURA 36. Efeito da época de coleta sobre o teor de zinco no caule (A) e lâmina foliar (B) de plântulas de seringueira.

O teor de zinco diminuiu principalmente nas raízes e caule durante todo o experimento, pressupondo-se que as plântulas não tem uma boa eficiência na absorção de zinco, como sugeriu SHORROCKS (1965).

5. CONCLUSÕES

Nas condições e no período de tempo em que foi conduzido o experimento, pode-se concluir que:

- O pH 4.0 e 2.0ppm de fósforo na solução foram as condições mais adequadas para o estudo envolvendo o alumínio biologicamente tóxico, até o nível de 20ppm.

- O alumínio foi absorvido em pequena quantidade pelas plântulas de seringueira, concentrando-se nas raízes, sendo muito pouco translocado para a parte aérea, e, com isso não afetou o comprimento das raízes, o crescimento da parte aérea, a produção de matéria seca, nem a mobilização de reservas orgânicas e minerais das sementes. Com relação à nutrição mineral, o alumínio diminuiu a absorção de N e P pelas raízes e sua conseqüente translocação para o caule e folhas, competiu com o cálcio na raiz a partir de 10ppm na solução, provocou o acúmulo de S na raiz, favoreceu a absorção/translocação de Fe no nível de 5ppm na solução e, em níveis crescentes, estimulou a absorção de manganês.

6. RESUMO

A cultura da seringueira se expandiu muito nos últimos anos para regiões consideradas de escape ao fungo *M. ulmi*, mas que apresentam solos com problemas nutricionais e elevada acidez, agravada pela presença do alumínio em níveis tóxicos, que pode acarretar prejuízos ao crescimento e desenvolvimento da planta, com reflexos sobre a produção e vida útil do seringal. Com vistas a este problema, esse trabalho teve como objetivo caracterizar os efeitos do alumínio biologicamente tóxico sobre o crescimento, a nutrição mineral e a mobilização de reservas das sementes para as plântulas de seringueira, visando estabelecer correlações entre os possíveis efeitos visuais e mensuráveis, que não sejam destrutivos, da toxicidade daquele cátion, com as alterações verificadas ao nível nutricional, confiáveis, que sirvam de parâmetros para estudos posteriores, visando a seleção de genótipos tolerantes ao alumínio.

Foram realizados dois experimentos preliminares para se definir o pH e o nível de fósforo a ser utilizado no experimento. O primeiro, utilizando-se as concentrações de 4,0; 8,0; 16,0 e 32,0ppm de fósforo e alumínio, nos pHs 3,5; 4,0; 4,5; 5,0 e 5,5,

em um esquema fatorial inteiramente casualizado, com duas repetições. Observou-se que, no pH 4,0, ocorreu a menor precipitação do alumínio pelo fósforo, em todas as concentrações de fósforo e alumínio estudadas. No segundo experimento preliminar, utilizando-se a solução nutritiva da BOLLE-JONES a 1/4 de força, e os níveis de 2.0, 4.0 e 8.0ppm para fósforo e 0, 5, 10, 15 e 20ppm para alumínio, em esquema fatorial inteiramente casualizado, notou-se que a concentração de 2ppm de fósforo foi a que apresentou a menor probabilidade de formação do precipitado fosfato de alumínio, em todas as concentrações de alumínio estudadas.

O experimento para se testar os efeitos dos níveis de alumínio na solução nutritiva sobre as plântulas de seringueira foi conduzido em casa-de-vegetação até o 25^o dia e, com a chegada do inverno, transferido para sala-de-crescimento, onde foi mantido até 50^o dia. As plântulas, no estágio de "palito", foram fixadas em vasos contendo 08 litros de areia grossa, lavada com ácido clorídrico comercial. Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições, sendo que as plântulas foram coletadas aos 0, 7, 15, 30 e 50 dias após a instalação do experimento. Os parâmetros analisados foram: altura da parte aérea e comprimento da raiz principal; peso da matéria seca da semente, raiz, parte aérea, caule e lâmina foliar, teor de alumínio, de macronutrientes e dos micronutrientes cobre, ferro, manganês e zinco, na matéria seca dos diversos órgãos.

Houve uma mobilização de 77% das reservas das sementes para as plântulas durante o período de experimentação. Dos minerais, o nitrogênio, o fósforo e o potássio foram os mais

retranslocados das sementes para as plântulas, enquanto que o magnésio e o enxofre foram pouco retranslocados e o cálcio não foi mobilizado. O alumínio foi bastante retranslocado, porém os micronutrientes não o foram.

O alumínio foi pouco absorvido pelas plântulas de seringueira, transportado para a parte aérea em pequena quantidade, influenciando muito pouco a nutrição mineral e, com isso, não se observou os seus efeitos sobre o crescimento da parte aérea, comprimento das raízes, mobilização de reservas das sementes e produção de matéria seca nos diversos órgãos das plântulas.

7. SUMMARY

INFLUENCE OF ALUMINUM ON RESERVES MOBILIZATION, MINERAL NUTRITION, AND GROWTH OF RUBBER (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) SEEDLINGS.

The rubber crop has been expanded in the last years to regions considered to be free of the fungus *M. ulei*, but having soils with nutritional problems and high acidity, aggravated by toxic levels of aluminum which can harm growth and development of the plant affecting yield and the life span of the crop. Having this problem in mind, the purpose of this study was to characterize the effects of biologically toxic aluminum on growth, mineral nutrition, and reserves mobilization from seeds to the rubber seedlings aiming to establish correlations between visual and non-destructively measurable effects of the aluminum toxicity with alterations at the nutritional level, which can be used further as parameters in selecting genotypes tolerant to aluminum.

Two preliminary trials to define pH and phosphorus levels were carried out. In the first trial concentrations of 4.0, 8.0, 16.0, and 32ppm of phosphorus and aluminum, and pHs of

3.5, 4.0, 4.5, 5.0 and 5.5 were evaluated in a completely randomized design in factorial scheme, with two replications. At pH 4.0 aluminum precipitation by phosphorus was the least in all concentrations of phosphorus and aluminum studied. In the second preliminary trial, the BOLLE-JONES' nutrient solution at 1/4 strength and levels of 2.0, 4.0 and 8.0ppm of phosphorus and 0,5, 10, 15 and 20ppm of aluminum were evaluated in a completely randomized design in a factorial scheme. The concentration of 2ppm of phosphorus presented the least probability in forming aluminum phosphate precipitate in all concentrations of aluminum studied.

The experiment to test the effects of aluminum levels in the nutrient solution on the rubber seedlings was carried out under greenhouse conditions up to the 25th day. Then, when the winter season started, it was transferred to the growth chamber and kept there up to the 50th. The seedlings, in the stage of "palito", were held in pots filled with 8 liters of coarse sand, previously washed with hydrochloric acid. The experimental design was completely randomized, with four replications. The seedlings were harvested at 0, 7, 15, 30 and 50 days after transplanting. The traits evaluated were: plant height and length of the main root, seed, root, top parts, stem, and leaf blade dry matter weights, amounts of aluminum, macronutrients and the micronutrients copper, iron, manganese, and zinc in the dry matter of several organs.

Sevent-seven per cent of seeds reserves were mobilized to the seedlings during the experimentation period. Among the minerals, nitrogen, phosphorus and potassium were translocated

the most from seeds to seedlings whereas very little magnesium and sulphur were translocated and calcium was not mobilized at all. The aluminum was very translocated, but micronutrients did not.

Little aluminum was taken up by rubber seedlings, transported to the plant top parts in little amounts, influencing very little mineral nutrition. Thus, no effects of this element was observed upon plant to part growth, roots length, mobilization of seeds reserves and dry matter yield of several seedlings organs.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

01. ALVA, A.K.; EDWARDS, D.G.; ASHER, C.J. & BLAMEY, F.P.C. Effects of phosphorus/aluminum molar ratio and calcium concentration on plant response to aluminum toxicity. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 50:133-137, 1986.
02. AMARAL, J.A.T. *Efeitos do alumínio, nitrato e amônio sobre o crescimento e suas inter-relações com os teores de carboidratos, compostos nitrogenados e potássio em Sylosanthes guianensis e S. macrocephala*. Viçosa, UFV, 1983. 37p. (Tese MS).
03. ANDREW, C.S.; JOHNSON, A.D. & SANDLAND, R.L. Effect of aluminium on the growth and chemical composition of some tropical and temperate pasture legumes. *Australian Journal of Agricultural Research*, Victoria, 24:325-339, 1973.

04. ANIOL, A. Induction tolerance in wheat seedlings by low doses of aluminium in the nutrient solution. *Plant Physiology*. Washington, 76(3):551-555, Mar. 1984.
05. ASP, H.; BENGTSSON, B. & JENSEN, P. Growth and cation uptake in spruce (*Picea abies* Karst.) grown in sand culture at various aluminium supply. *Plant and Soil*, Netherlands, 111:127-133, 1988.
06. BARTLETT, R.J. & RIEGO, D.C. Toxicity of aluminium in relation to pH and phosphorus. *Soil Science*, Baltimore, 114(3):194-200, Sept. 1972.
07. BENGTSSON, B.; ASP, H.; JENSEN, P. & BERGGREN, D. Influence of aluminum on phosphate and calcium uptake in beech (*Fagus sylvatica*) grown in nutrient solution and soil solution. *Physiologia plantarum*, Copenhagen, 74(2):299-305, Oct. 1988.
08. BLAMEY, F.P.C., EDWARDS, D.G. & ASHER, C.J. Effects of aluminum, OH: Al molar ratios, and ionic strength on soybean root elongation in solution culture. *Soil Science*, Baltimore, 136(4):197-207, Oct. 1983.
09. -----; -----, & -----. Hydrogen and aluminum tolerance. *Plant and Soil*, Netherlands, 99:31-37, 1987.
10. BLOOM, P.R. Phosphorus adsorption by an aluminium peat complex. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 45:267-272, 1981.

11. BOLLE-JONES, E.W. Cooper, its effects on the growth of the rubber plant (*Hevea brasiliensis*). *Plant and soil*, Netherlands, 10(2):160-178, 1957.
12. BUENO, N. 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, ESALQ, 1987. 92p. (Tese Doutorado).
13. CALBO, A.G. Efeito do alumínio sobre a absorção, o transporte e a distribuição de alguns elementos minerais, em dois cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor*, L.Moench). Viçosa, UFV, 1978. 43p. (Tese MS).
14. CALDWELL, C.R. & HAUG, A. Temperature dependence the barley root plasma membrane-bound Ca^{+2} and Mg^{+2} dependent ATPase. *Physiologia Plantarum*, Copenhagen, 53:117-124, 1981.
15. CAMBRAIA, J.; TREJO CHANDIAS, J.E.; SANT'ANNA, R. & ESTEVAO, M. de M. Efeito do alumínio e da proporção $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^-$ sobre a composição do nitrogênio solúvel em sorgo. *Revista Ceres*, Viçosa, 35(199):273-282, 1988.
16. CAMPBELL, W.H. Nitrate reductase and its role in nitrate assimilation in plants. *Physiologia Plantarum*. Copenhagen, 74(1):214-219, Sept. 1988.
17. CARMO, D.N. do & FIGUEIREDO, M. de S. Solos para seringueiras: manejo e conservação. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, 11(121):13-17, jan. 1985.

18. CASTRO, P.R.C. & VIRGENS, A.C. Fisiologia de seringueira. In: SIMPOSIO SOBRE A CULTURA DA SERINGUEIRA NO ESTADO DE SAO PAULO, I. Piracicaba. 1986. Trabalhos apresentados... Campinas, Fundação Cargill, 1986. p.253-270.
19. CLARKSON, D.T. Effect of aluminium on the uptake and metabolism of phosphorus by barley seedlings. *Plant Physiology*. Washington, 41(1):165-172, Jan. 1966.
20. ----- . Interactions between aluminium and phosphorus in root surfaces and cell wall material. *Plant and Soil*, Netherlands, 27:347-356, 1967.
21. ----- & SANDERSON, J. The uptake of a polyvalent cation and its distribution in the apices of *Allium cepa*: traces and autoradiographic studies. *Planta*, New York, 29:136-154, 1969.
22. ----- & ----- . Inhibition of the uptake and long-distance transport of calcium by aluminum and other polyvalent cations. *Journal of Experimental Botany*, London, 22:837-851, 1971.
23. COSTA, E.M. Efeitos do alumínio, nitrato e amônio sobre a nutrição nitrogenada em *Eucalyptus grandis* Hill (Maiden). Viçosa, UFV, 1986. 50p. (Tese MS).
24. CROCOMO, O.J. Assimilação do nitrogênio pelas plantas. In: FERRI, M.G., Coord. Fisiologia Vegetal. 2.ed. São Paulo, EPU, 1985. v.1, p.181-209.

25. DELU FILHO, N.; OLIVEIRA, L.E.M. de; ALVARENGA, A.A. de & GOMIDE, M.B. Seleção de genótipos de seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) tolerantes ao alumínio. In: REUNIAO DA SOCIEDADE LATINO AMERICANA DE FISIOLOGIA VEGETAL, 10, Puerto Iguazú, 1989. Anais...Puerto Iguazú, SLAFV, 1989. p.61.
26. FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. & WRIGHT, R.J. Iron nutrition of plants: an overview on the chemistry and physiology of its deficiency and toxicity. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, 25(4):553-570, abr., 1990.
27. FOY, C. D. Physiological effects of hydrogen, aluminium and manganese toxicities in acid soil. In: ADAMS, F. *Soil Acidity and Liming*. 2.ed. Madison, Soil Science Society of America, 1984. p.57-97.
28. -----; BURNS, G.R.; BROWN, J.C. & FLEMING, A.L. Differential aluminum tolerance of two wheat varieties associated with plant-induced pH changes around their roots. *Soil Science Society America Proceedings*, Madison, 29(1):64-67, Jan./Feb. 1965.

29. FOY, C.D.; FLEMING, A.L.; BURNS, G.R. & ARMIGER, W.H. Characterization of differential aluminium tolerance among varieties of wheat and barley. *Soil Science Society America Proceedings*, Madison, 31(4):513-521, July/Aug. 1967.
30. -----; CHANEY, R.L. & WHITE, M.C. The physiology of metal toxicity in plants. *Annual Review of Plant Physiology*, Washington, 29:511-566, 1978.
31. -----; FLEMING, A.L. Aluminum tolerance two wheat cultivars related to nitrate reductase activities. *Journal Plant Nutrition*, New York, 5:1313-1333, 1982.
32. FREIRE, J.R.J. Comportamento da soja e do seu rizóbio ao Al e Mn nos solos do Rio Grande do Sul. *Ciência e Cultura*. São Paulo, 28(2):169-170, fev. 1976.
33. GOMES, M.M.S. Efeito do alumínio sobre a composição da fração nitrogenada e sobre as formas de transporte em dois cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). Viçosa, UFV, 1983. 41p. (Tese MS).
34. GONÇALVES, M.C. Influência do alumínio, nitrato e amônio na absorção e na assimilação de nitrogênio em *Stylosanthes guianensis* e *S. macrocephala*. Viçosa, UFV, 1983. 38p. (Tese MS).

35. GONÇALVES, P. de S. Melhoramento genético da seringueira (*Hevea spp*). In: SIMPOSIO SOBRE A CULTURA DA SERINGUEIRA NO ESTADO DE SAO PAULO, I, Piracicaba, 1986. Trabalhos apresentados...Campinas, Fundação Cargill, 1986.p.95-123.
36. HAAG, H.P.; BUENO, N. & PEREIRA, J. da P. Exigências minerais em uma cultura de seringueira. In: SIMPOSIO SOBRE A CULTURA DA SERINGUEIRA NO ESTADO DE SAO PAULO, I, Piracicaba, 1986. Trabalhos apresentados...Campinas, Fundação Cargill, 1986. p.33-82.
37. HAYNES, R.J. Effect of liming on phosphate availability in acid soil. *Plant and soil*, Netherlands, 68(3):269-308, 1982.
38. HECHT-BUCHHOLZ, Ch. & FOY, C.D. Effect of aluminum toxicity on root morphology of barley. *Plant and Soil*. Netherlands, 63:93-95, 1981.
39. ----- & SCHUSTER, J. Responses of Al-tolerant Dayton and Al-sensitive Kearney barley cultivars to calcium and magnesium during Al stress. *Plant and Soil*, Netherlands, 99:47-61, 1987.
40. HENG, L.C. Effect of potassium and aluminium treatments on growth and nutrient uptake of rubber seedlings and on soil. *Journal of Rubber Research Institute of Malaysia*, Kuala Lumpur, 27(2):92-103, 1979.

41. HOWELER, R.H. & CADAVID, L.F. Screening of rice cultivars for tolerance to Al-toxicity in nutrient solutions as compared with a field screening method. *Agronomy Journal*, Madison, 68(4):551-55, July/Aug. 1976.
42. HSU, PA H.O. Effect of pH, phosphate and silicate on the determination of aluminium with aluminon. *Soil Science*, Baltimore, 96:230-238, 1963.
43. JARDIM, L.M.B.F. & MALAVOLTA, E. Efeito do alumínio sobre o desenvolvimento e composição mineral de quatro leguminosas forrageiras tropicais. *Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"*. Piracicaba, 61:689-723, 1984.
44. JARVIS, S.C. & HATCH, D.J. Differential effects of low concentrations of aluminium on the growth of four genotypes of white clover. *Plant and Soil*, Netherlands, 99:241-253, 1987.
45. KESER, M.; NEUBAUER, B.F.; HUTCHINSON, F.E. & VERRIL, D.B. Differential aluminum tolerance of sugarbeet cultivars, as evidenced by anatomical structure. *Agronomy Journal*. Madison, 69(3):347-350, May/June, 1977.
46. KINRAIDE, T.B. & PARKER, D.R. Non-phytotoxicity of the aluminum sulfate ion, $AlSO_4^+$. *Physiologia Plantarum*, Copenhagen, 71:207-212, 1987.

47. KINRAIDE, T.B. & PARKER, D.R. Assessing the fitotoxicity of mononuclear hidroxy-aluminum. *Plant and Cell Enviroment*, New York, 12:479-489, 1989.
48. ----- & ----- . Apparent phytotoxicity of mononuclear hidroxy-aluminum to four dicotyledonous species. *Physiologia Plantarum*, Washington, 79(2):283-288, June 1990.
49. KLIMASHEVSKII, E.L. & DEDOV, V.M. Localization of the mecanism of growth-inhibiting action of Al^{+3} in elongating cell walls. *Soviet Plant Physiology*, Washington, 22:1040-1046, 1976.
50. -----; MARKOVA, Yu.A.; SEREGINA, M.L.; GRODZINSKII, D.M. & KORAZENKO, T.D. Specifics of the physiological activity of pea plants in connection with unequal resistance of different varieties to mobile aluminum. *Soviet Plant Physiology*, Washington, 17(3):458-465, May/June, 1970.
51. KOTZE, W.A.G.; SHEAR, C.B. & FAUST, M. Effect of nitrogen source and aluminum in nutrient solution on the growth and mineral nutrition of apple and peach seedlings. *Journal of America Society Horticulture Science*, Mount, 102(3):279-282, May, 1977.

52. KROEZE, C.; PEGTEL, D.M. & BLOM, C.J.C. An experimental comparison of aluminium and manganese susceptibility in *Antennaria dioica*, *Arnica montana*, *Viola canina*, *Filago minima* and *Deschampsia flexuosa*. *Acta Botanica Neerlandica*, Amsterdam, 38(2):165-172, June, 1989.
53. LAFEVER, M.M. & CAMPBELL, L.G. Inheritance of aluminium tolerance in wheat. *Canadian Journal of Genetic and Cytology*, Ottawa, 20:355-364, 1978.
54. LANCE, J.C. & PEARSON, R.W. Effect of low concentrations of aluminium on growth and water and nutrient uptake by cotton roots. *Soil Science Society of America Proceeding*. Madison, 33(1):95-98, Jan./Feb. 1969.
55. LEE, C.R. Influence of aluminum on plant growth and mineral nutrition of potatoes. *Agronomy Journal*, Madison, 63(4)604-608, July/Aug. 1971.
56. LIMA, P.C. & SILVEIRA, J.V. Manual do usuário AVBRPOL; (Análise de variância para ensaios balanceados e regressão polinomial). 3.ed., Lavras, ESAL, 1981. 15p.
57. LINDBERG, S. Aluminium interactions with K^+ ($^{86}Rb^+$) and $^{45}Ca^{+2}$ fluxes in three cultivars of sugar beet (*Beta vulgaris*). *Physiologia Plantarum*, Copenhagen, 79:275-282, 1990.

58. LINDEMANN, W. Phosphate in *Chlorella*. Proc. 2nd United Nations Int'l. Conf. on the Peaceful Uses of Atomic Energy. 28:8-16, 1968.
59. MALAVOLTA, E. Elementos de Nutrição Mineral de Plantas. 3.ed. São Paulo, Agronômica Ceres, 1980. 251p.
60. MARTINS, C.E. *Tolerância de ecótipos de estilosantes à saturação de alumínio, em latossolo vermelho-escuro alico*. Viçosa, UFV, 1988. 105p. (Tese Doutorado).
61. MATSUMOTO, H. Changes of the structure of pea chromatin by aluminium. *Plant & Cell Physiology*, Tokyo, 29(2):281-287, Mar. 1988.
62. -----; HIRASAWA, G. & TAKAHASHI, E. Fractionation of chromosomal proteins of pea seedlings using procedures which avoid desnaturation. *Plant & Cell Physiology*, Tokyo, 17:955- 964, 1976.
63. ----- & MORIMURA, S. Repressed template activity of cromatins of pea roots treated by aluminum. *Plant & Cell Physiology*, Tokyo, 21(6):951-959, Sept. 1980.
64. -----; ----- & TAKAHASHI, E. Binding of aluminium to DNA of DNP in pea root nuclei. *Plant & Cell Physiology*, Tokyo, 12:987-993, 1977.

65. MATSUMOTO, H & YAMAYA, T. Inhibition of potassium uptake and regulation of membrane-associated Mg^{+2} - ATPase activity of pea roots by aluminium. *Soil Science and Plant Nutrition*, Maryland, 32:179-188, 1986.
66. MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. *Principles of Plant Nutrition*. 4. ed. Bern, International Potash Institute, 1987. 687p.
67. MOSQUIM, P.R. *Influência do alumínio sobre o crescimento e o metabolismo em plantas de Stylosanthes humilis H.B.K.* Viçosa, UFV, 1978. 29p. (Tese MS).
68. NAIDOO, G.; STEWART, McD & LEWIS, R.J. Accumulation sites of Al in snapbean and cotton roots. *Agronomy Journal*. Madison, 70(3):489-492, May/June, 1978.
69. NOBLE, A.D.; SUMNER, M.E. & ALVA, A.K. Comparison of aluminon and 8-Hydroxyquinoline methods in the presence of fluoride for assaying phytotoxic aluminium. *Soil Science Society America Journal*, Madison, 52:1059-1063, 1988.
70. NOGUEIRA, F.D. *Efeitos do alumínio no sorgo granífero (Sorghum bicolor L. Moench)*. Piracicaba, ESALQ, 1979. 120p. (Tese Doutorado).
71. OHKI, K. Aluminium toxicity effects on growth and nutrient compositions in wheat. *Agronomy Journal*, Madison, 77(6):951-956, Nov./Dec. 1985.

72. OLIVEIRA, L.E.M. *Crescimento e comportamento nutricional de cultivares de mandioca (Manihot esculenta Grantz) submetidos a níveis de alumínio*. Viçosa, UFV, 1979. 39p. (Tese MS).
73. -----, & RENA, A.B. Influência do alumínio sobre o comportamento nutricional de cultivares de mandioca em solução nutritiva. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 24(9):1119-1130, 1989.
74. PAHLSSON, A.M.B. Influence of aluminium on biomass, nutrients, soluble carbohydrates and phenols in beech (*Fagus sylvatica*). *Physiologia plantarum*. Copenhagen, 78:79-84, 1990.
75. PARKER, D.R.; ZELAZNY, L.W. & KINRAIDE, T.B. Comparison of three spectrophotometric methods for differentiating mono and polynuclear hydroxy-aluminium complexes. *Soil Science Society America Journal*. Madison, 52(1):67-75, Jan./Feb. 1988.
76. PEREIRA, J. da P. Conservação da viabilidade do poder germinativo da semente de seringueira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 15(2):237-244, abr. 1980.
77. -----, Formação de mudas de seringueira. In: SIMPOSIO SOBRE A CULTURA DA SERINGUEIRA NO ESTADO DE SÃO PAULO, I, Piracicaba, 1986. *Trabalhos apresentados...* Campinas, Fundação Cargill, 1986. p. 139-164.

78. PFEFFER, P.E.; TU, S.; GERASIMOWICZ, W.V. & CAVANAUGH, J.R.
In vivo ³¹P NMR studies of corn root tissue and its uptake
of toxic metals. *Plant Physiology*, Washington, 80:77-84,
1986.
79. PIMENTA, J.A. *Efeito do alumínio sobre a absorção e redução
do nitrato e sobre as enzimas responsáveis pela
assimilação do nitrogênio em dois cultivares de sorgo
(Sorghum bicolor L. Moench). Viçosa, UFV, 1986. 50p. (Tese
MS).*
80. RAJASEKHAR, V.K. & OELMULLER. Regulation of induction of
nitrate reductase and nitrite reductase in higher plants.
Physiologia Plantarum. Copenhagen, 71(4):517-521, Dec.
1987.
81. RANDALL, P.J. & VOSE, P.B. Effect of aluminium on uptake
and translocation of phosphorus ³² by perennial ryegrass.
Plant Physiology, Washington, 38:403-409, 1963.
82. RASMUSSEN, H.P. Entry and distribution of aluminium in *Zea
mays* L. Electron microprobe X-ray analysis. *Plant*, New
York, 81:28-37, 1968.
83. REID, D.A.; FLEMING, A.L. & FOY, C.D. A method for
determining aluminium response of barley in nutrient
solution in comparison to response in Al toxic soil.
Agronomy Journal. Madison, 63(4):600-603, July./Aug. 1971.



74. PETERSEN, P.L. & G.J. DEBARTOLO. 1962. The effect of aluminum on the growth of soybean roots and the uptake of ^{45}Ca by the roots. Plant Physiology, Washington, 33: 247-251.

75. PETERSEN, P.L. & G.J. DEBARTOLO. 1962. The effect of aluminum on the growth of soybean roots and the uptake of ^{45}Ca by the roots. Plant Physiology, Washington, 33: 247-251.

76. PETERSEN, P.L. & G.J. DEBARTOLO. 1962. The effect of aluminum on the growth of soybean roots and the uptake of ^{45}Ca by the roots. Plant Physiology, Washington, 33: 247-251.

77. PETERSEN, P.L. & G.J. DEBARTOLO. 1962. The effect of aluminum on the growth of soybean roots and the uptake of ^{45}Ca by the roots. Plant Physiology, Washington, 33: 247-251.

78. PETERSEN, P.L. & G.J. DEBARTOLO. 1962. The effect of aluminum on the growth of soybean roots and the uptake of ^{45}Ca by the roots. Plant Physiology, Washington, 33: 247-251.

79. PETERSEN, P.L. & G.J. DEBARTOLO. 1962. The effect of aluminum on the growth of soybean roots and the uptake of ^{45}Ca by the roots. Plant Physiology, Washington, 33: 247-251.

84. RHUE, R.D. & GROGAN, C.O. Screening corn for Al tolerance using different Ca and Mg concentrations. *Agronomy Journal*, Madison, 69(5):755-760, Sept/Oct. 1977.
85. RENGEL, Z. Competitive Al³⁺ inhibition of net Mg²⁺ uptake by intact *Lolium multiflorum* roots. II. Plant age effects. *Plant Physiology*, Washington, 93:1261-1267, 1990.
86. RENGEL, Z. & ROBINSON, D.L. Aluminium effects on growth and macronutrient uptake by annual ryegrass. *Agronomy Journal*, Madison, 81:208-215, 1989.
87. RODRIGUES, T. de J.D. *Crescimento de plantas e respiração de raízes de Stylosanthes na presença de alumínio em solução nutritiva*. Viçosa, UFV, 1979. 33p. (Tese MS).
88. RORISON, I.H. The effect of aluminium on the uptake and incorporation of phosphate by excised sainfoin roots. *New Phytologist*, Cambridge, 64:23-27, 1965.
89. ROY, A.K.; SHARMA, A. & TALUKDER, G. Some aspects of aluminium toxicity in plant. *The Botanical Review*, New York, 54(2):145-178, 1988.
90. SAMPSON, J.; CLARKSON, D.T. & DAVIES, D.D. DNA synthesis in aluminium treated roots of barley. *Science*, Washington, 148:1476-1477, 1965.
91. SANTORO, L.G.; SOARES, T.E. & MAGALHAES, A.C. Effects of aluminium on nitrate reduction in *Zea mays* L. *Phyton*, Buenos Aires, 44(1):75-80, maio, 1984.

92. SANTANA, M.B.M. de; CABALA-ROSAND, F.P. & VASCONCELOS FILHO, A.P. Fertilidade dos solos ocupados com a seringueira no sul da Bahia e grau de tolerancia dessa cultura ao aluminio. *Revista Theobroma*, Itabuna, 7:125-132, out./dez. 1977.
93. SHORROCKS, V.M. Mineral nutrition, growth and nutrient cycle of *Hevea brasiliensis*. I. Growth and nutrient content. *Journal of the Rubber Research Institute of Malaysia*, Kuala Lumpur, 19(1):1-8, 1965.
94. SUHAYADA, C.G. & HAUG, A. Organic acids aluminium toxicity in maize root membranes. *Physiologia Plantarum*. Copenhagen, 68(2):189-195, Oct. 1986.
95. TAYLOR, G.J. & FOY, C.D. Mecanismos of aluminium tolerance in *Triticum aestivum* L. (Wheat) I. Differential pH induced by winter cultivars in nutrient solutions. *American Journal of Botany*, Columbus, 72(5):695-701, 1985a.
96. ----- & ----- . Mecanismos of aluminium tolerance in *Triticum aestivum* L. (Wheat) II. Differential pH induced by spring cultivars in nutrient solutions. *American Journal of Botany*. Columbus, 72(5):702-706, 1985b.
97. TREJO CHANDIAS, J.E. Efeito do aluminio e da proporção $\text{NO}_3^- / \text{NH}_4^+$ sobre o balanço iônico, a composição nitrogenada e a atividade da redutase do nitrato em sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). Viçosa, UFV, 1985. 36p. (Tese MS).

- 98 VALE, F.R. do. *Efeito do alumínio sobre a cinética de absorção de nitrato, amônio e fosfato em milho (Zea mays L.) e em clone de eucalipto (Eucalyptus alba)*. Viçosa. UFV, 1982. 71p. (Tese MS).
99. WAGNER, G.J. & TROTTER, M.M. Induzible cadmium binding complexes of cabbage and tobacco. *Plant Physiology*, Washington, 69(1):204-209, Jan. 1982.
100. WHITE, R.E. Studies on mineral ion absorption by plants. III. The interactions of aluminium, phosphate and pH on the growth of *Medicago sativa*. *Plant and Soil*, Netherlands, 46(1):195-208, Jan. 1976.
101. -----; TIFFIN, L.O. & TAYLOR, A.W. The existence of polymeric complexes. In: Dilute solutions of aluminium and orthophosphate. *Plant and Soil*, Netherlands, 45:521-529, 1976.
102. ZHAO, X.J.; SUCOFF, E. & STADELMANN, E.J. Al^{+3} and Ca^{+2} alteration of membrane permeability of *Quercus rubra* root cortex cells. *Plant Physiology*, Washington, 86:169-172, 1987.

APENDICE

QUADRO 1 - Análises de variância do peso da matéria seca das sementes, raízes e parte aérea das plântulas de seringueira.

Causas da variação	Sementes		Raízes		Parte aérea	
	G.L.	S.Q.	G.L.	S.Q.	G.L.	S.Q.
Níveis de Al	4	0,1851 ns	4	0,0349 ns	4	0,0479 ns
Erro	15	0,0616	15	0,0266	15	0,0521
Parcelas	19	0,0876	19	0,0284	19	0,0512
C.V. (%)		15,98		17,78		14,81
Epocas de coleta	3	14,4789**	4	1,8070**	2	7,9643**
Interação	12	0,0538 ns	16	0,0446 ns	8	0,0272 ns
Erro	36	0,0991	48	0,0349	24	0,0516
Total	79	0,6308	99	0,1059	59	0,3128
C.V. (%)		20,26		20,36		14,75

*, ** ns significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

QUADRO 2 - Análises de variância do peso da matéria seca do caule e lâmina foliar das plântulas de seringueira.

Causas da Variação	G.L.	Caule		Lâmina foliar	
		Quadrado médio			
		30 dias	50 dias	30 dias	50 dias
Níveis de Al	4	0,330 ns	0,183 ns	0,1833 ns	0,276 ns
Erro	15	0,250	0,316	0,240	0,190
Total	19	0,267	0,228	0,288	0,208
C.V. (%)		27,83	19,72	33,59	19,60

*, ** ns significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

QUADRO 3 - Análises de variância da altura da parte aérea e comprimento da raiz principal das plântulas de seringueira.

Causas da variação	G.L.	Parte aérea	Raiz
		Quadrado médio	
Níveis de Al	4	7,7557 ns	3,7365 ns
Erro	15	17,0859	0,8003
Parcelas	19	15,1216	1,4185
C.V. (%)		15,31	6,0
Epocas de coleta	4	3787,8370**	417,9384**
Interação	16	2,8771 ns	2,8058 ns
Erro	48	4,6776	1,4169
Total	99	159,1200	18,4193
C.V. (%)		8,01	7,98

*, ** ns significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade e não significativo respectivamente.

QUADRO 4 - Análises de variância do teor de alumínio nas sementes, raízes e parte aérea das plântulas de seringueira.

Causas da variação	Sementes		Raízes		Parte aérea	
	G.L.	Q.M.	G.L.	Q.M.	G.L.	Q.M.
Níveis de Al	4	-	4	2,0833*	4	0,6369*
Erro	15	-	15	0,4689	15	0,1586
Parcelas	19	-	19	0,8088	19	0,2593
C.V. (%)				18,30		29,90
Epocas de coleta	3	-	4	13,2467**	2	3,5849**
Interação	12	-	16	3,3550**	8	0,5487*
Erro	36	-	48	1,0542	24	0,1637
Total	79	-	99	1,8172	59	0,3799
C.V. (%)				27,43		30,38

*, ** ns significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade e não significativo respectivamente.

QUADRO 5 - Análises de variância do teor de alumínio no caule e lâmina foliar das plântulas de seringueira.

Causas da variação	G.L.	Caule		Lâmina foliar	
		Quadrado médio			
		30 dias	50 dias	30 dias	50 dias
Níveis de Al	4	0,1289*	0,0854 ns	0,1223 ns	0,1045 ns
Erro	15	0,0368	0,0472	0,4333	0,2393
Total	19	0,0562	0,0552	0,3678	0,2109
C.V. (%)		25,95	21,84	41,46	36,09

*, ** ns significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade e não significativo respectivamente.

QUADRO 6 - Análises de variância do teor de nitrogênio nas sementes, raízes e parte aérea das plântulas de seringueira.

Causas da variação	Sementes		Raízes		Parte aérea	
	G.L.	Q.M.	G.L.	Q.M.	G.L.	Q.M.
Níveis de Al	4	0,0702 ns	4	0,0671 ns	4	0,0528 ns
Erro	15	0,2837	15	0,0722	15	0,0462
Parcelas	19	0,2388	19		19	0,0466
C.V. (%)		16,18		8,82		7,04
Epocas de coleta	3	0,1939 ns	4	5,3223**	2	0,2957**
Interação	12	0,1501 ns	16	0,1469 ns	8	0,0190 ns
Erro	36	0,1174	48	0,0889	24	0,0348
Total	79	0,1491	99	0,3100	59	0,0468
C.V. (%)		10,41		9,79		6,35

*, ** ns significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade e não significativo respectivamente.

QUADRO 7 - Análises de variância do teor de nitrogênio no caule e lâmina foliar das plântulas de seringueira.

Causas da variação	G.L.	Caule		Lâmina foliar	
		Quadrado médio			
		30 dias	50 dias	30 dias	50 dias
Níveis de Al	4	0,5724 ns	0,1425 ns	0,2185*	0,1168*
Erro	15	0,2153	0,0998	0,0584	0,0352
Total	19	0,2905	0,1088	0,0921	0,0524
C.V. (%)		20,93	22,70	6,94	5,54

*, ** ns significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

QUADRO 8 - Análises de variância do teor de fósforo nas sementes, raízes e parte aérea das plântulas de seringueira.

Causas da variação	Sementes		Raízes		Parte aérea	
	G.L.	Q.M.	G.L.	Q.M.	G.L.	Q.M.
Níveis de Al	4	0,0054 ns	4	0,0058 ns	4	0,0016 ns
Erro	15	0,0060	15	0,0064	15	0,0013
Parcelas	19	0,0058	19	0,0062	19	0,0014
C.V. (%)		19,99		13,96		6,97
Epocas de coleta	3	0,0987**	4	0,2387**	2	0,0142**
Interação	12	0,0060 ns	16	0,0069 ns	8	0,0016 ns
Erro	36	0,0092	48	0,0082	24	0,0016
Total	79	0,0110	99	0,0016	59	0,0018
C.V. (%)		24,81		15,86		7,62

*, ** ns significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade e não significativo respectivamente.

QUADRO 9 - Análises de variância do teor de fósforo no caule e lâmina foliar das plântulas de seringueira.

Causas da variação	G.L.	Caule		Lâmina foliar	
		Quadrado médio			
		30 dias	50 dias	30 dias	50 dias
Níveis de Al	4	0,0168 ns	0,0050 ns	0,0206*	0,0033*
Erro	15	0,0073	0,0049	0,0056	0,0009
Total	19	0,0093	0,0494	0,0088	0,0014
C.V. (%)		17,82	29,27	22,32	13,42

*, ** ns significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

QUADRO 10 - Análises de variância do teor de potássio nas sementes, raízes e parte aérea das plântulas de seringueira.

Causas da variação	Sementes		Raízes		Parte aérea	
	G.L.	Q.M.	G.L.	Q.M.	G.L.	Q.M.
Níveis de Al	4	0,0886 ns	4	0,0590 ns	4	0,0238 ns
Erro	15	0,0477	15	0,0220	15	0,0228
Parcelas	19	0,0563	19	0,0298	19	0,0230
C.V. (%)		28,18		11,46		12,02
Epocas de coleta	3	1,4616**	4	0,1141*	2	0,0407 ns
Interação	12	0,0795 ns	16	0,0482 ns	8	0,0240 ns
Erro	36	0,0433	48	0,0330	24	0,0148
Total	79	0,1068	99	0,370	59	0,0187
C.V. (%)		26,86		14,01		9,68

*, ** ns significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

QUADRO 11 - Análises de variância do teor de potássio no caule e lâmina foliar das plântulas de seringueira.

Causas da variação	G.L.	Caule		Lâmina foliar	
		Quadrado médio			
		30 dias	50 dias	30 dias	50 dias
Níveis de Al	4	0,0347 ns	0,0199 ns	0,1251 ns	0,0260 ns
Erro	15	0,0151	0,0103	0,0431	0,0223
Total	19	0,0192	0,0123	0,0603	0,0231
C.V. (%)		11,52	11,26	18,19	16,48

*, ** ns significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

QUADRO 12 - Análises de variância do teor de cálcio nas sementes, raízes e parte aérea das plântulas de seringueira.

Causas da variação	Sementes		Raízes		Parte aérea	
	G.L.	Q.M.	G.L.	Q.M.	G.L.	Q.M.
Níveis de Al	4	0,0168 ns	4	0,0016*	4	0,0001 ns
Erro	15	0,0212	15	0,0003	15	0,0002
Parcelas	19	0,0202	19	0,0006	19	0,0002
C.V. (%)		32,41		15,77		12,09
Epocas de coleta	3	1,8880**	4	0,0069**	2	0,0046**
Interação	12	0,0225 ns	16	0,0014**	8	0,0010*
Erro	36	0,0159	48	0,0006	24	0,0004
Total	79	0,0895	99	0,0009	59	0,0005
C.V. (%)		28,15		20,03		17,40

*, ** ns significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

QUADRO 13 - Análises de variância do teor de cálcio no caule e lâmina foliar das plântulas de seringueira.

Causas da variação	G.L.	Caule		Lâmina foliar	
		Quadrado médio			
		30 dias	50 dias	30 dias	50 dias
Níveis de Al	4	0,0023*	0,0092*	0,0007 ns	0,0133 ns
Erro	15	0,0006	0,0019	0,0026	0,0049
Total	19	0,0010	0,0035	0,0022	0,0067
C.V. (%)		14,81	23,46	22,41	17,56

*, ** ns significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

QUADRO 14 - Análises de variância do teor de magnésio nas sementes, raízes e parte aérea das plântulas de seringueira.

Causas da variação	Sementes		Raízes		Parte aérea	
	G.L.	Q.M.	G.L.	Q.M.	G.L.	Q.M.
Níveis de Al	4	0,0150 ns	4	0,0004 ns	4	0,0002 ns
Erro	15	0,0055	15	0,0004	15	0,0004
Parcelas	19	0,0075	19	0,0004	19	0,0002
C.V. (%)		13,18		8,23		6,11
Epocas de coleta	3	1,3097**	4	0,0057**	2	0,0062**
Interação	12	0,0200 ns	16	0,0008 ns	8	0,0007 ns
Erro	36	0,0156	48	0,0007	24	0,0003
Total	79	0,0627	99	0,0008	59	0,0005
C.V. (%)		22,14		10,43		7,23

*, ** ns significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

QUADRO 15 - Análises de variância do teor de magnésio no caule e lâmina foliar de plântulas de seringueira.

Causas da Variação	G.L.	Caule		Lâmina foliar	
		Quadrado médio			
		30 dias	50 dias	30 dias	50 dias
Níveis de Al	4	0,0015*	0,0014 ns	0,0066 ns	0,0012 ns
Erro	15	0,0003	0,0005	0,0022	0,0016
Total	19	0,0006	0,0007	0,0031	0,0015
C.V. (%)		9,49	11,68	16,36	14,57

*, ** ns significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

QUADRO 16 - Análises de variância do teor de enxofre nas sementes, raízes e parte aérea das plântulas de seringueira.

Causas da variação	Sementes		Raízes		Parte aérea	
	G.L.	Q.M.	G.L.	Q.M.	G.L.	Q.M.
Níveis de Al	4	0,0070*	4	0,0068**	4	0,0012 ns
Erro	15	0,0015	15	0,0005	15	0,0004
Parcelas	19	0,0027	19	0,0018	19	0,0004
C.V. (%)		14,66		10,13		11,98
Epocas de coleta	3	0,1649**	4	0,0328**	2	0,0008 ns
Interação	12	0,0026 ns	16	0,0020**	8	0,0003 ns
Erro	36	0,0028	48	0,0004	24	0,0002
Total	79	0,0087	99	0,0022	59	0,0004
C.V. (%)		19,66		8,96		9,33

*, ** ns significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

QUADRO 17 - Análises de variância do teor de enxofre no caule e lâmina foliar das plântulas de seringueira.

Causas da variação	G.L.	Caule		Lâmina foliar	
		Quadrado médio			
		30 dias	50 dias	30 dias	50 dias
Níveis de Al	4	0,0022**	0,0004 ns	0,0016 ns	0,0003 ns
Erro	15	0,0003	0,0004	0,0011	0,0010
Total	19	0,0007	0,0004	0,0012	0,0008
C.V. (%)		10,65	16,33	15,63	13,13

*, ** ns significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

QUADRO 18 - Análises de variância do teor de cobre nas sementes, raízes e parte aérea das plântulas de seringueira.

Causas da variação	Sementes		Raízes		Parte aérea	
	G.L.	Q.M.	G.L.	Q.M.	G.L.	Q.M.
Níveis de Al	4	120,7125 ns	4	5764,3447 ns	4	8679,9804 ns
Erro	15	42,8008	15	2971,2849	15	3129,4836
Parcelas	19	59,2032	19	3559,2977	19	4298,0094
C.V. (%)		26,09		114,16		107,91
Epocas de coleta	3	1828,8238**	4	85914,539**	2	51224,5703**
Interação	12	84,4703 ns	16	6027,8662 ns	8	8568,4219**
Erro	36	53,7899	48	3676,7177	24	2300,5376
Total	79	125,3575	99	6966,2822	59	5772,5667
C.V. (%)		29,24		126,99		92,52

*, ** ns significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

QUADRO 19 - Análises de variância do teor de cobre no caule e lâmina foliar das plântulas de seringueira.

Causas da variação	G.L.	Quadrado médio			
		Caule		Lâmina foliar	
		30 dias	50 dias	30 dias	50 dias
Níveis de Al	4	33,4290 ns	1,1028 ns	11,1030 ns	1,3785 ns
Erro	15	27,4111	2,4911	11,3498	3,2451
Total	19	28,6780	2,1988	11,2978	2,8521
C.V. (%)		26,28	16,39	31,26	14,68

*, ** ns significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

QUADRO 20 - Análises de variância do teor de ferro nas sementes, raízes e parte aérea das plântulas de seringueira.

Causas da variação	Sementes		Raízes		Parte aérea	
	G.L.	Q.M.	G.L.	Q.M.	G.L.	Q.M.
Níveis de Al	4	1933,6784 ns	4	180142,1250 ns	4	3807,7575*
Erro	15	1093,6891	15	64616,9883	15	866,9582
Parcelas	19	1270,5289	19	88938,0723	19	1486,0739
C.V. (%)		33,31		66,77		38,30
Epocas de coleta	3	40013,1835**	4	1178470,0000**	2	16794,5781**
Interação	12	1610,4376 ns	16	55530,5234 ns	8	1317,2212 ns
Erro	36	1075,2212	48	71245,3828	24	1371,4461
Total	79	2638,1782	99	112311,2020	59	1945,6032
C.V. (%)		33,03		70,11		48,17

*, ** ns significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

QUADRO 21 - Análises de variância do teor de ferro no caule e lâmina foliar de plântulas de seringueira.

Causas da variação	G.L.	Caule		Lâmina foliar	
		Quadrado médio			
		30 dias	50 dias	30 dias	50 dias
Níveis de Al	4	1010,9302 ns	197,4495	1918,8878**	1541,4343**
Erro	15	366,1486	592,7670	307,6542	134,2982
Total	19	501,8921	509,5423	646,8613	430,5373
C.V. (%)		25,86	76,95	14,01	8,91

*, ** ns significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

QUADRO 22 - Análises de variância do teor de manganês nas sementes, raízes e parte aérea das plântulas de seringueira.

Causas da variação	Sementes		Raízes		Parte aérea	
	G.L.	Q.M.	G.L.	Q.M.	G.L.	Q.M.
Níveis de Al	4	1337,3939 ns	4	76708,7578*	4	2942,3767**
Erro	15	517,5926	15	23390,8769	15	289,6903
Parcelas	19	690,1824	19	34615,6940	19	848,1506
C.V. (%)		31,24		30,93		14,78
Epocas de coleta	3	85530,4297**	4	2834444,0000**	2	22511,8769**
Interação	12	1731,8281 ns	16	47110,3672 ns	8	1403,4463*
Erro	36	713,0592	48	25849,7754	24	499,4780
Total	79	4047,3453	99	143081,3232	59	1436,2763
C.V. (%)		36,67		32,51		19,41

*, ** ns significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

QUADRO 23 - Análises de variância do teor de manganês no caule e lâmina foliar das plântulas de seringueira.

Causas da variação	G.L.	Caule		Lâmina foliar	
		Quadrado médio			
		30 dias	50 dias	30 dias	50 dias
Níveis de Al	4	9159,1455*	13410,7715ns	3801,6216ns	54664,253ns
Erro	15	2369,9717	5776,9121	14824,2900	31220,3164
Total	19	3799,2713	7384,0403	12503,7278	36155,8848
C.V. (%)		18,20	20,97	34,79	22,33

*, ** ns significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

QUADRO 24 - Análises de variância do teor de zinco nas sementes, raízes e parte aérea das plântulas de seringueira.

Causas da variação	Sementes		Raízes		Parte aérea	
	G.L.	Q.M.	G.L.	Q.M.	G.L.	Q.M.
Níveis de Al	4	447,2029 ns	4	25,1248 ns	4	13,2709 ns
Erro	15	168,0992	15	38,3483	15	21,5539
Parcelas	19	226,8579	19	35,5644	19	19,8101
C.V. (%)		18,28		11,29		7,268
Epocas de coleta	3	2435,0246**	4	2334,3064**	2	459,7031**
Interação	12	351,4505 ns	16	116,1760 ns	8	27,2229 ns
Erro	36	212,0120	48	69,5296	24	31,0693
Total	79	321,5027	99	160,3073	59	43,6654
C.V. (%)		20,53		15,20		8,72

*, ** ns significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

QUADRO 25 - Análises de variância do teor de zinco no caule e lâmina foliar de plântulas de seringueira.

Causas da variação	G.L.	Caule		Lâmina foliar	
		30 dias	50 dias	30 dias	50 dias
Níveis de Al	4	174,7538 ns	22,9734 ns	60,9768 ns	48,6630 ns
Erro	15	103,2031	51,2513	70,6923	30,7818
Total	19	118,2664	45,2980	68,6469	34,5463
C.V. (%)		18,63	21,26	14,64	11,53

*, ** ns significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

QUADRO 26 - Equações de regressão para o peso da matéria seca nas sementes, raízes e parte aérea das plântulas de seringueira.

Orgão da plântula	Equações	r ²
Semente	$Y = 2,5941 - 0,1237X + 19 \times 10^{-3} X^2$	0,99
Raíz	$Y = 0,6141 + 0,0149X$	0,98
Parte aérea	$Y = 0,9289 + 0,08335X$	0,98

QUADRO 27 - Equações e regressão para a altura da parte aérea e comprimento da raiz principal das plântulas de seringueira.

Orgão da plântula	Equações	r ²
Parte aérea	$Y = 7,4895 + 3,416X - 0,1969X^2 + 47 \times 10^{-3} X^3 - 4 \times 10^{-5} X^4$	1,00
Raíz	$Y = 8,4702 + 0,7441X - 0,0217X^2 + 2 \times 10^{-4} X^3$	0,99

QUADRO 26 - Equações de regressão para o peso da matéria seca nas sementes, raízes e parte aérea das plântulas de seringueira.

Orgão da plântula	Equações	r ²
Semente	$Y = 2,5941 - 0,1237X + 19 \times 10^{-3} X^2$	0,99
Raiz	$Y = 0,6141 + 0,0149X$	0,98
Parte aérea	$Y = 0,9289 + 0,0835X$	0,98

QUADRO 27 - Equações de regressão para a altura da parte aérea e comprimento da raiz principal das plântulas de seringueira.

Orgão da plântula	Equações	r ²
Parte aérea	$Y = 7,4895 + 3,416X - 0,1969X^2 + 47 \times 10^{-3} X^3 - 4 \times 10^{-5} X^4$	1,00
Raiz	$Y = 8,4702 + 0,7441X - 0,0217X^2 + 2 \times 10^{-4} X^3$	0,99

QUADRO 28 - Equações de regressão para o teor de macronutrientes nas raízes e parte aérea das plântulas de seringueira.

ELEMENTO	RAIZ		PARTE AEREA	
	EQUAÇÃO	r ²	EQUAÇÃO	r ²
Nitrogênio	$Y = 3,4822+6X10^{-4}X-5X10^{-4}X^2$ (E)	0,99	$Y = 3,1935-0,0496X+25X10^{-3}X^2$ (E)	1,00
Fósforo	$Y = 0,6457-72X10^{-3}+4X10^{-4}X^2-8X10^{-6}X^3$ (E)	0,98	$Y = 0,5507-35X10^{-3}X$ (E)	0,98
Potássio	$Y = 1,3678-35X10^{-3}X$ (E)	0,84		
Cálcio	$Y_1 = 0,11-0,005X+4X10^{-4}X^2-6X10^{-6}X^3$	0,99	$Y_1 = 0,125-82X10^{-3}X+5X10^{-4}X^2$	1,00
	$Y_2 = 0,1117+10^{-3}X$	0,78	$Y_2 = 0,969+31X10^{-3}X$	1,00
	$Y_3 = 0,8879+82X10^{-3}X$	0,74	$Y_3 = 0,12-78X10^{-3}X+5X10^{-4}X^2$	1,00
	$Y_4 = 0,11-8X10^{-3}X+10^{-3}X^2-5X10^{-5}X^3+6X10^{-7}X^4$	1,00	$Y_4 = 0,13-0,0104X+7X10^{-4}X^2$	1,00
	$Y_5 = 0,1-8X+10^{-3}X10^{-3}X^2-6X10^{-5}X^3+7X10^{-7}X^4$	1,00	$Y_5 = 0,1325-82X10^{-3}X+4X10^{-4}X^2$	1,00
Magnésio	$Y = 0,2594-19X10^{-3}X+4X10^{-5}X^2$ (E)	0,92	$Y = 0,2725-23X10^{-3}X$ (E)	0,97
	$Y_1 = 0,22-0,0057X+4X10^{-4}X^2-6X10^{-6}X^3$	0,88		
	$Y_2 = 0,26-0,0075X+3X10^{-4}X^2-4X10^{-6}X^3$	0,54		
Enxofre	$Y_3 = 0,232-0,01X+6X10^{-4}X^2-9X10^{-6}X^3$	0,87		
	$Y_4 = 0,25-0,012X+8X10^{-4}X^2-10^{-5}X^3$	0,85		
	$Y_5 = 0,245-0,01X+8X10^{-4}X^2-10^{-5}X^3$	0,99		

Y₁ - Efeito da época de coleta no nível de 0ppm de Al

E - Efeito de época de coleta

Y₂ - Efeito da época de coleta no nível de 5ppm de Al

N - Efeito de nível de Al

Y₃ - Efeito da época de coleta no nível de 10ppm de Al

Y₄ - Efeito da época de coleta no nível de 15ppm de Al

Y₅ - Efeito da época de coleta no nível de 20ppm de Al

QUADRO 29 - Equações de regressão para o teor de macronutrientes e Alumínio nas raízes e Parte aérea das plântulas de seringueira.

ELEMENTO	RAIZ		PARTE AEREA	
	EQUAÇÃO	r ²	EQUAÇÃO	r ²
Cobre	$Y = 164,87 - 38,67X + 3,21X^2 - 0,18X^3 + 10^{-3}X^4$ (E)	1,00	$Y_1 = n.s.$	-
			$Y_2 = n.s.$	-
			$Y_3 = 181,67 - 32,47X + 1,44X^2$	1,00
			$Y_4 = n.s.$	-
			$Y_5 = 212,22 - 39X + 1,75X^2$	1,00
Ferro	$Y = 184,78 - 72 + 23,353X - 0,273X^2$ (E)	0,80	$Y = 48,9486 + 3,8103X$ (E)	0,97
			$Y = 77,52 + 26,07X - 6,89X^2 + 0,44X^3 + 0,81X^4$ (N)	1,00
		0,99	$Y_1 = 84,71 + 2,83X$	0,72
		0,80	$Y_2 = 66,88 + 4,61X$	0,93
			$Y_3 = 87,53 + 2,96X$	0,77
Manganês	$Y = 177,81 + 8,82X + 0,21X^2$ (E) $Y = 424,52 + 7,88X$ (N)		$Y_4 = 183,42 + 1,43X + 0,07X^2$	1,00
			$Y_5 = 182,05 + 2,48$	0,98
Zinco	$Y = 65,74 - 0,53X$ (E)	0,97	$Y = 68,67 - 2,38X + 0,13X^2$ (E)	1,00
			$Y_1 = 4,77 - 0,163X + 3X10^{-3}X^2$	0,55
			$Y_2 = 3,1 + 0,27X - 0,817X^2 + 2X10^{-4}X^3$	0,75
Alumínio	$Y_3 = 2,94 + 0,11X - 7X10^{-3}X^2 + 10^{-4}X^3$ $Y_4 = 4 - 0,864X + 17X10^{-3}X^2$ $Y_5 = 2,7 + 0,87X$	0,56	$Y_3 = 1,65 - 0,86X$	0,99
		0,57	$Y_4 = 1,58 - 0,85X$	0,99
		0,71	$Y_5 = 2,66 - 0,13X$	0,98

Y_1 - Efeito da época de coleta no nível de 0ppm de Al
 Y_2 - Efeito da época de coleta no nível de 5ppm de Al
 Y_3 - Efeito da época de coleta no nível de 10ppm de Al
 Y_4 - Efeito da época de coleta no nível de 15ppm de Al
 Y_5 - Efeito da época de coleta no nível de 20ppm de Al

E - Efeito de época de coleta
 N - Efeito de nível de Al
 n.s. não significativo