

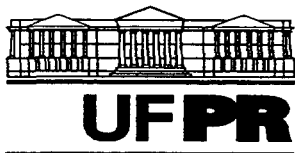
**RICARDO MIRANDA DE BRITZ**

**EFEITO DO ALUMÍNIO EM DUAS ESPÉCIES ARBÓREAS DA  
PLANÍCIE LITORÂNEA DA ILHA DO MEL, PR.**

**Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor em Ciências Florestais, área de concentração: Silvicultura.**

**Orientador: Prof. Dr. Carlos Bruno Reissman**

**CURITIBA  
2001**



Universidade Federal do Paraná  
Setor de Ciências Agrárias – Centro de Ciências Florestais e da Madeira  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**  
Av. Lothário Meissner, 3400 - Jardim Botânico – CAMPUS III  
80210-170 - CURITIBA - Paraná  
Tel. (41) 360.4212 - Fax. (41) 360.4211 - <http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao>  
e-mail: [pinheiro@floresta.ufpr.br](mailto:pinheiro@floresta.ufpr.br)

## PARECER

Defesa nº 436

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após argüir o doutorando *RICARDO MIRANDA DE BRITZ* em relação ao seu trabalho de tese intitulado “ALUMÍNIO EM DUAS ESPÉCIES ARBÓREAS DA PLANÍCIE LITORÂNEA DA ILHA DO MEL, PR”, é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do acadêmico, habilitando-o ao título de *Doutor em Ciências Florestais*, na área de concentração em *Silvicultura*.

  
**Dr. Carlos Bruno Reissmann**

Professor e pesquisador do Departamento de Solos da UFPR  
Orientador e presidente da banca examinadora



**Dr. Mauro Valdir Schumacher**

Professor e pesquisador da Universidade Federal de Santa Maria-RS

Primeiro examinador



**Dr. Carlos Alberto Ferreira**

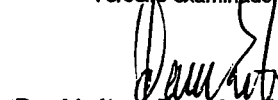
Pesquisador da EMBRAPA-Floresta

Segundo examinador

  
**Dr. Renato Marques**

Professor e Pesquisador do Departamento de Solos da UFPR

Terceto examinador



**Dr. Helton Damim da Silva**

Pesquisador da EMBRAPA-Floresta

Quarto examinador



Curitiba, 21 de junho de 2001.

  
**Nivaldo Eduardo Rizzi**

Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

**Franklin Galvão**

Vice-coordenador

## AGRADECIMENTOS

Muitas pessoas e instituições contribuíram para a realização deste trabalho, todos solícitos e em muito me incentivaram, à todos sou muito grato, dentre estes:

Ao Prof. Dr. Carlos Bruno Reissmann, mentor deste trabalho, pelo incentivo, orientação, amizade e pela caminhada nos mais de 12 anos de pesquisa.

Aos co-orientadores, Prof. Dr. Antonio Savio Mangrich (Dep. de Química da UFPR) Prof. Dra. Celina Wisniewski (Dep. de Solos da UFPR), Prof. Dr. Mario Takao Inoue (Dep. de Silvicultura e Manejo UFPR) e Dr. Mitsuru Osaki (Faculty of Agriculture, Hokkaido University, Japão), pelo apoio, sugestões e correções feitas ao manuscrito.

Aos Drs. Mitsuru Osaki, Toshihiro Watanabe, Takuro Shinano, Toshiaki Tadano, e estudantes que trabalham no laboratório "Development of Plant Function", na Faculdade de Agricultura da Universidade de Hokkaido, pelo financiamento e acolhida no Japão, no período que lá estive trabalhando, o qual permitiu em muito o enriquecimento deste trabalho.

Ao Dr. Yedo Alquini do Dep. de Botânica da UFPR, pela orientação e utilização do laboratório nas pesquisas relacionadas ao estudo anatômico das plantas.

Ao pesquisador da EMBRAPA, Sérgio Gaiad, pela orientação e uso do laboratório no qual foi possível a realização das pesquisas com micorrizas.

Ao Dr. Antonio Carlos Nogueira do Dep. de Silvicultura e Manejo da UFPR, pela orientação na condução dos experimentos de germinação no seu laboratório.

Ao Dr. Luís Pereira Ramos do Dep. de Química da UFPR, por orientar e viabilizar o uso do laboratório para a realização de análises dos ácidos orgânicos.

Aos amigos professores Márcia Mendes Marques, Sandro Menezes Silva, Luciana Andréa Pires e Renato Marques pelo apoio nesta pesquisa e por outros trabalhos que desenvolvemos juntos.

Ao Departamento de Solos da UFPR por disponibilizar a infraestrutura, laboratórios, e aos funcionários e professores, onde foi realizada a pesquisa, sem o qual este trabalho não poderia ter sido executado.

Aos funcionários do Departamento de Solos, Aldair, Rui, Roberto, Elda, Ana e outros, pela orientação e colaboração na execução das análises de laboratório e nos experimentos da casa de vegetação.

Ao Mauro de Moura Britto e José Tadeu Motta, funcionários do IAP, por autorizaram as pesquisas realizadas na Estação Ecológica da Ilha do Mel.

Aos professores das disciplinas ofertadas no curso de pós-graduação em Engenharia Florestal, pela cordialidade e conhecimentos transmitidos.

Aos colegas do curso de pós-graduação em Engenharia Florestal, pelo companheirismo e troca de idéias.

Aos funcionários da Biblioteca do Setor de Ciências Agrárias, sempre cordiais e prestativos.

À coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Capes, pela bolsa de estudo concedida.

A minha família e amigos, que tornam esta vida cada vez melhor.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE ANEXOS.....	x
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	xiv
RESUMO.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	4
2.1 AS ESPÉCIES.....	4
2.1.1 <i>Tapirira guianensis</i> .....	4
2.1.2 <i>Faramea marginata</i> .....	4
2.2 ALUMÍNIO NOS SOLOS.....	5
2.2.1 Distribuição dos Solos Ácidos no Planeta.....	7
2.2.2 Formas de Al no Solo.....	8
2.2.3 Formas Tóxicas do Al no solo.....	9
2.3 TOXIDEZ DO ALUMÍNIO NAS PLANTAS.....	12
2.3.1 Sintomas na Planta.....	12
2.3.2 Localização do Al na estrutura das plantas.....	13
2.3.2 Transporte do Al.....	15
2.3.4 Efeitos Fisiológicos.....	16
2.3.4.1 Interação Al x Si.....	24
2.4 EFEITOS BENÉFICOS DO Al.....	28
2.5 MECANISMOS DE ADAPTAÇÃO AOS SOLOS ÁCIDOS.....	30
2.5.1 Tolerância.....	32
2.5.1.1 Plantas acumuladoras de Al.....	34
2.5.2 Exclusão.....	37
2.5.2.1 Mudanças do pH na rizosfera.....	37
2.5.2.2 Excreção de queladores pela raiz.....	40
2.5.2.3 Micorrizas.....	43
2.6 TOXIDEZ DO Al EM ÁRVORES.....	47
3 METODOLOGIA.....	51
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL.....	51
3.2 CARACTERIZAÇÃO DAS ESPÉCIES.....	53
3.3 GERMINAÇÃO DAS ESPÉCIES.....	54
3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	55
3.4.1 Experimento na Floresta.....	55
3.4.2 Experimento no Rizotrom.....	56
3.4.3 Experimento em Hidroponia.....	57
3.4.4 Medidas de Luminosidade.....	58
3.4.5 Variáveis Analisadas.....	58
3.5 ANÁLISES DE SOLO.....	59
3.6 ANÁLISES EM <i>Faramea marginata</i> .....	60
3.6.1 Análise Foliar.....	60
3.6.2 Distribuição do Al e Si nas Folhas.....	60
3.7 PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS.....	61
3.8 ENDOMICORRIZAS.....	62
3.9 ANÁLISE ANATÔMICA.....	62
3.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	62

<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	68
4.1 EXPERIMENTOS COM <i>Tapirira guianensis</i> NA FLORESTA.....	68
4.1.1 Características Químicas do Solo.....	68
4.1.2 Micorrizas.....	82
4.1.3 Crescimento das Plantas.....	84
4.1.4 Nutrientes nas plantas.....	88
4.1.4.1 Raiz.....	93
4.1.4.2 Caule.....	95
4.1.4.3 Folhas.....	97
4.2 EXPERIMENTO COM <i>Tapirira guianensis</i> NO RIZOTROM.....	100
4.2.1 Características Químicas do Solo.....	100
4.2.3 Crescimento das Plantas.....	109
4.2.4 Nutrientes nas plantas.....	111
4.2.4.1 Raiz.....	117
4.2.4.2 Caule.....	118
4.2.4.3 Folhas.....	119
4.3 EXPERIMENTOS COM <i>Tapirira guianensis</i> EM HIDROPONIA.....	121
4.3.1 Primeiro Experimento.....	121
4.3.2 Segundo Experimento.....	123
4.3.3 Teor de Nutrientes na Planta.....	130
4.3.4 Conteúdo de Nutrientes na Planta.....	138
4.4 EXPERIMENTOS COM <i>Faramea marginata</i> .....	148
4.4.1 Testes de germinação.....	148
4.4.2 Experimentos no Campo e na Casa de Vegetação.....	150
4.4.3 Análise Foliar.....	154
4.4.4 Localização do Al.....	160
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	172
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	174
<b>7. ANEXOS</b> .....	194

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – FATORES, AUTOVALORES, E PERCENTAGEM DA VARIÂNCIA EXPLICADA, PARA OS PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO NO EXPERIMENTO REALIZADO NA FLORESTA COM <i>T. guianensis</i> .....	73
TABELA 2 – PESOS FATORIAIS ROTACIONADOS, COMUNALIDADES E VARIÂNCIA ESPECÍFICA DOS PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO DO EXPERIMENTO REALIZADO NA FLORESTA COM <i>T. guianensis</i> .....	73
TABELA 3 – AJUSTE DA REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA ENTRE A VARIÁVEL DEPENDENTE (TRATAMENTOS) E AS VARIÁVEIS DA PLANTA.....	85
TABELA 4 – FATORES, AUTOVALORES, E PERCENTAGEM DA VARIÂNCIA EXPLICADA, NAS FRAÇÕES DE <i>Tapirira guianensis</i> DO EXPERIMENTO REALIZADO NA FLORESTA COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE Al .....	91
TABELA 5 – PESOS FATORIAIS ROTACIONADOS (ROTAÇÃO VARIMAX), ESTIMADOS PELO MÉTODO DOS COMPONENTES PRINCIPAIS, COMUNALIDADES E VARIÂNCIA ESPECÍFICA DOS NUTRIENTES NAS FOLHAS, CAULE E RAIZ DO EXPERIMENTO REALIZADO NA FLORESTA COM <i>T. guianensis</i> .....	92
TABELA 6 – FATORES, AUTOVALORES, E PERCENTAGEM DA VARIÂNCIA EXPLICADA, PARAS OS PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO NÃO RIZOSFÉRICO E RIZOSFÉRICO DO EXPERIMENTO REALIZADO NO RIZOTROM COM <i>T. guianensis</i> .....	104
TABELA 7 – PESOS FATORIAIS ROTACIONADOS, ESTIMADOS PELO MÉTODO DOS COMPONENTES PRINCIPAIS, COMUNALIDADES E VARIÂNCIA ESPECÍFICA DOS PARÂMETROS DO SOLO NÃO RIZOSFÉRICO E RIZOSFÉRICO, NO EXPERIMENTO REALIZADO NO RIZOTROM .....	105
TABELA 8 – AJUSTE DA REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA ENTRE OS TRATAMENTOS E AS VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO DA PLANTA, NO EXPERIMENTO REALIZADO NA CASA DE VEGETAÇÃO .....	109
TABELA 9 – FATORES, AUTOVALORES, E PERCENTAGEM DA VARIÂNCIA EXPLICADA, NAS FRAÇÕES DE <i>Tapirira guianensis</i> DO EXPERIMENTO REALIZADO NO RIZOTROM COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE Al .....	114
TABELA 10 – PESOS FATORIAIS ROTACIONADOS (ROTAÇÃO VARIMAX), ESTIMADOS PELO MÉTODO DOS COMPONENTES PRINCIPAIS, COMUNALIDADES E VARIÂNCIA ESPECÍFICA DOS NUTRIENTES NAS FOLHAS, CAULE E RAIZ DO EXPERIMENTO REALIZADO NO RIZOTROM COM <i>T. guianensis</i> .....	115
TABELA 11 – TEORES DE Al (mmol L <sup>-1</sup> ), NO EXPERIMENTO EM HIDROTONIA REALIZADO COM <i>T. guianensis</i> , MEDIDOS AO FINAL DO EXPERIMENTO .....	125

TABELA 12 – ÍNDICES DE CORRELAÇÃO ENTRE AS DIVERSAS FORMAS DE AI NA SOLUÇÃO NUTRITIVA HIDROPÔNICA. ....	125
TABELA 13 – FATORES, AUTOVALORES, E PERCENTAGEM DA VARIÂNCIA EXPLICADA, PARA OS NUTRIENTES DAS FRAÇÕES DE <i>T. guianensis</i> NO EXPERIMENTO REALIZADO EM HIDROTONIA ..	134
TABELA 14 – PESOS FATORIAIS ROTACIONADOS, COMUNALIDADES E VARIÂNCIA ESPECÍFICA DOS NUTRIENTES DAS FRAÇÕES DE <i>T. guianensis</i> NO EXPERIMENTO REALIZADO EM HIDROTONIA .....	136
TABELA 15 – FATORES, AUTOVALORES, E PERCENTAGEM DA VARIÂNCIA EXPLICADA, PARA OS NUTRIENTES DAS FRAÇÕES DE <i>T. guianensis</i> DO EXPERIMENTO REALIZADO EM HIDROTONIA .....	142
TABELA 16 – PESOS FATORIAIS ROTACIONADOS, COMUNALIDADES E VARIÂNCIA ESPECÍFICA DO CONTEÚDO DE NUTRIENTES DAS FRAÇÕES DE <i>T. guianensis</i> NO EXPERIMENTO REALIZADO EM HIDROTONIA .....	143
TABELA 17 – TEORES DE AI E Si, DE PLÂNTULAS DE <i>F. marginata</i> , SUBMETIDAS A DIVERSOS TRATAMENTOS DE Si E AI EM HIDROTONIA, DA TESTEMUNHA DO EXPERIMENTO NA FLORESTA E NO RIZOTROM, E SUBMETIDA A 100 mg.kg <sup>-1</sup> DE AI NO SOLO NO RIZOTROM.....	153
TABELA 18- ANÁLISES DAS FOLHAS DE <i>Faramea marginata</i> . ....	154
TABELA 19 – TEORES MÉDIOS DE NUTRIENTES AI E Si EM FOLHAS DE <i>F. marginata</i> EM DIFERENTES GRAUS DE DESENVOLVIMENTO, COLETADAS NAS FLORESTAS PLANÍCIE LITORÂNEA E DE ENCOSTA NA ILHA DO MEL.....	156
TABELA 20 – FATORES, AUTOVALORES, E PERCENTAGEM DA VARIÂNCIA EXPLICADA, PARA OS TEORES DE NUTRIENTES DAS FOLHAS DE <i>F. marginata</i> .....	157
TABELA 21 – PESOS FATORIAIS ROTACIONADOS, COMUNALIDADES E VARIÂNCIA ESPECÍFICA DOS NUTRIENTES NAS FOLHAS DE <i>F. marginata</i> , COLETADAS NA PLANÍCIE LITORÂNEA E NA ENCOSTA.....	157

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	51
FIGURA 2 – DIAGRAMA CLIMÁTICO DE WALTER DA ÁREA DE ESTUDO....	52
FIGURA 3 – FLORES DE <i>F. marginata</i> .....	64
FIGURA 4 – ÁRVORE DE <i>F. marginata</i> COM FRUTOS.....	64
FIGURA 5 – GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE <i>F. marginata</i> .....	64
FIGURA 6 – PLANTIO DE <i>T. guianensis</i> E <i>F. marginata</i> NO INTERIOR DA FLORESTA.....	65
FIGURA 7 – DETALHE DAS PLÂNTULAS DE <i>T. guianensis</i> CULTIVADAS NO INTERIOR DA FLORESTA.....	65
FIGURA 8 – CAPTAÇÃO DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO DAS PLANTAS NO INTERIOR DA FLORESTA.....	65
FIGURA 9 – RIZOTROM COM APLICAÇÃO DE AGAR PARA MEDIR MUDANÇAS NO PH DA RIZOSFERA.....	66
FIGURA 10 – DETALHE DAS CAIXAS UTILIZADAS PARA OS EXPERIMENTOS COM HIDROPONIA.....	66
FIGURA 11 – PLÂNTULAS DE <i>F. marginata</i> , UTILIZADAS PARA PLANTIO NO EXPERIMENTO COM HIDROPONIA.....	66
FIGURA 12 – EXPERIMENTO EM HIDROPONIA CONDUZIDO COM <i>T. guianensis</i> E <i>F. marginata</i> .....	67
FIGURA 13 – SEGUNDO EXPERIMENTO EM HIDROPONIA REALIZADO COM <i>T. guianensis</i> .....	67
FIGURA 14 – FOLHAS NOVAS, MADURAS E VELHAS COLETADAS EM ÁRVORES ADULTAS DE <i>F. marginata</i> .....	67
FIGURA 15 – CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO NÃO RIZOSFÉRICO E RIZOSFÉRICO TRATADOS COM DOSES CRESCENTES DE Al EM mg/ kg DE SOLO, NO EXPERIMENTO FEITO COM O PLANTIO DE <i>T. guianensis</i> NO INTERIOR DA FLORESTA.....	71
FIGURA 16 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS PESOS DAS VARIÁVEIS EM RELAÇÃO AOS FATORES 1 E 2, DOS PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO NÃO RIZOSFÉRICO E RIZOSFÉRICO DO EXPERIMENTO REALIZADO NO CAMPO. EXTRAÇÃO – COMPONENTES PRINCIPAIS, ROTAÇÃO VARIMAX.....	75
FIGURA 17 – NÚMERO DE ESPOROS NO SOLO E PORCENTAGEM DE COLONIZAÇÃO DE MICORRIZAS NAS RAÍZES DE <i>Tapirira guianensis</i> , DO EXPERIMENTO REALIZADO NA FLORESTA COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE Al.	83
FIGURA 18 – RESPOSTA DOS PARÂMETROS DE CRESCIMENTO DE <i>T. guianensis</i> , NOS EXPERIMENTOS REALIZADOS NA FLORESTA FRENTE A DOSES CRESCENTES DE Al.....	86
FIGURA 19 - MÉDIAS DE NUTRIENTES E Al, MEDIDOS NAS FRAÇÕES DE <i>T. guianensis</i> , DO EXPERIMENTO REALIZADO NA FLORESTA COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE Al...	89
FIGURA 25– REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS PESOS DAS VARIÁVEIS DOS NUTRIENTES DAS FRAÇÕES DE <i>T. guianensis</i> , DO EXPERIMENTO REALIZADO NA FLORESTA.....	99



FIGURA 21 – CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO NÃO RIZOSFÉRICO E RIZOSFÉRICO TRATADOS COM DOSES CRESCENTES DE Al EM mg/ kg DE SOLO, NO EXPERIMENTO FEITO COM O PLANTIO DE <i>T. guianensis</i> NO RIZOTROM.....	101
FIGURA 22 – AVALIAÇÃO DAS MUDANÇAS DO PH NA RIZOSFERA, ATRAVÉS DO CONTATO DE AGAR COM CORANTE INDICADOR EM <i>T.GUIANENSIS</i> , SUBMETIDA A 100mg DE Al POR kg DE SOLO EM RIZOTROM.....	103
FIGURA 23 – ACIDIFICAÇÃO DA RIZOSFERA (COR AMARELA) DE <i>T.guianensis</i> EM AGAR (pH 6) COM N AMONIACAL COMO FONTE DE NITROGÊNIO.....	103
FIGURA 24 – EXPERIMENTO NO RIZOTROM COM <i>T.guianensis</i> SUBMETIDA A DOSES CRESCENTES DE Al.....	103
FIGURA 25 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS PESOS DAS VARIÁVEIS EM RELAÇÃO AOS FATORES 1 E 2, DOS PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO DO EXPERIMENTO REALIZADO NO RIZOTROM. EXTRAÇÃO – COMPONENTES PRINCIPAIS, ROTAÇÃO VARIMAX.....	106
FIGURA 26 – PERCENTAGEM DOS CÁTIONS NA CTC DO SOLO NA FLORESTA, E NO RIZOTROM.....	108
FIGURA 27 – PARÂMETROS BIOMÉTRICOS DE <i>T.guianensis</i> , FRENTE A DOSES CRESCENTES DE Al (mg.Kg <sup>-1</sup> ), NO EXPERIMENTO REALIZADO EM RIZOTROM, NA CASA DE VEGETAÇÃO.....	110
FIGURA 28 – EFEITO DE DOSES CRESCENTES DE Al (mg Al/ kg de solo) NOS TEORES DE NUTRIENTES E ALUMÍNIO MEDIDOS NAS FRAÇÕES DE <i>T. guianensis</i> , DO EXPERIMENTO REALIZADO NO RIZOTROM.....	112
FIGURA 29 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS PESOS DAS VARIÁVEIS DOS NUTRIENTES DAS FRAÇÕES DE <i>T. guianensis</i> , DO EXPERIMENTO REALIZADO NO RIZOTROM.....	116
FIGURA 30 – PARÂMETROS DE DESENVOLVIMENTO DE <i>T. guianensis</i> , NO PRIMEIRO EXPERIMENTO REALIZADO EM HIDROPÔNIA FRENTE A DOSES CRESCENTES DE Al.....	122
FIGURA 31 – PARÂMETROS DE DESENVOLVIMENTO DE <i>T. guianensis</i> , NO SEGUNDO EXPERIMENTO REALIZADO EM HIDROPÔNIA FRENTE A DOSES CRESCENTES DE Al.....	124
FIGURA 32 – ASPECTO DO DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS DE <i>T. guianensis</i> , EM RELAÇÃO AOS TRATAMENTOS COM TEORES CRESCENTES DE Al, DA DIREITA PARA ESQUERDA.....	126
FIGURA 33 – CORTES TRANSVERSAIS DA REGIÃO DA NERVURA CENTRAL DE FOLHA DE <i>T. guianensis</i> , SUBMETIDA A TRATAMENTO COM 6mM DE Al EM HIDROPONIA. AUMENTO DA FOTO SUPERIOR: 10 X, FOTO INFERIOR: 40X.....	126
FIGURA 34 – FOTO ACIMA - CORTE TRANSVERSAL DA RAIZ <i>T. guianensis</i> NA TESTEMUNHA. FOTO ABAIXO, SUBMETIDA A TRATAMENTO COM 6mM DE Al EM HIDROPÔNIA. AUMENTO DAS FOTOS: 40X.....	127

FIGURA 35 – TEORES MÉDIOS DE NUTRIENTES E ALUMÍNIO, MEDIDOS NAS FRAÇÕES DE <i>T. guianensis</i> , DO EXPERIMENTO REALIZADO EM MEIO HIDROPÔNICO A DOSES CRESCENTES DE Al.....	132
FIGURA 36 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS PESOS FATORIAIS DAS VARIÁVEIS DOS NUTRIENTES DAS FRAÇÕES DE <i>T. guianensis</i> , DO EXPERIMENTO REALIZADO EM HIDROTONIA...	137
FIGURA 37 – CONTEÚDO DE NUTRIENTES E ALUMÍNIO, MEDIDOS NAS FRAÇÕES DE <i>T. guianensis</i> , DO EXPERIMENTO REALIZADO EM HIDROTONIA COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES Al.....	139
FIGURA 38 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS PESOS FATORIAIS DO CONTEÚDO DE NUTRIENTES DAS FRAÇÕES DE <i>T. guianensis</i> , DO EXPERIMENTO REALIZADO EM HIDROTONIA..	144
FIGURA 39 – CURVAS DE PORCENTAGEM DE GERMINAÇÃO: a- EXPERIMENTO INICIADO EM 01/07/1997; b- EXPERIMENTO INICIADO EM 06/08/1997 c- TRATAMENTOS COM Al (0,25 E 1,00 mmol L <sup>-1</sup> ) E Si + Al (1,00 mmol L <sup>-1</sup> ).....	149
FIGURA 40 – PLÂNTULAS DE <i>F. marginata</i> NO EXPERIMENTO REALIZADO NA FLORESTA.....	152
FIGURA 41 – PLÂNTULAS DE <i>F. marginata</i> AO LADO DE <i>T. guianensis</i> NO EXPERIMENTO REALIZADO NA FLORESTA.....	152
FIGURA 42 – PLÂNTULAS DE <i>F. marginata</i> no rizotrom, COM MORTE E INICIO DE CLOROSE EM ALGUMAS PLANTAS.....	152
FIGURA 43 – PLÂNTULAS DE <i>F. marginata</i> NO EXPERIMENTO EM HIDROTONIA.....	153
FIGURA 44 – PLÂNTULAS DE <i>F. marginata</i> , APRESENTANDO CLOROSE NO EXPERIMENTO REALIZADO EM HIDROTONIA.....	153
FIGURA 45 – DISTRIBUIÇÃO DO Al E Si EM FOLHAS DE <i>F. marginata</i> COLETADAS DE ÁRVORES ADULTAS NA FLORESTA, ATRAVÉS DA ANÁLISE EM RAIOS X FLUORESCENTE.....	162
FIGURA 46 – CORTE TRANSVERSAL DA NERVURA CENTRAL DE FOLHAS MADURAS DE <i>F. marginata</i> , COLETADA DE INDIVÍDUOS ADULTOS NA FLORESTA. A COLORAÇÃO AZUL REPRESENTA OS LOCAIS DE ACUMULO DE Al. AUMENTO DE 10X.....	162
FIGURA 47 – CORTE TRANSVERSAL DA NERVURA CENTRAL FOCALIZANDO A FACE ADAXIAL DE FOLHAS MADURAS DE <i>F. marginata</i> , COLETADA DE INDIVÍDUOS ADULTOS NA FLORESTA. A COLORAÇÃO AZUL REPRESENTA OS LOCAIS DE ACUMULO DE Al. AUMENTO DE 40X.....	163
FIGURA 48 – CORTE TRANSVERSAL DA NERVURA CENTRAL FOCALIZANDO A FACE ABAXIAL DE FOLHAS MADURAS DE <i>F. marginata</i> , COLETADA DE INDIVÍDUOS ADULTOS NA FLORESTA. A COLORAÇÃO AZUL REPRESENTA OS LOCAIS DE ACUMULO DE Al. AUMENTO DE 40X.....	163
FIGURA 49 – CORTE TRANSVERSAL DO LIMBO DE FOLHAS MADURAS DE <i>F. marginata</i> , COLETADA DE INDIVÍDUOS ADULTOS NA FLORESTA. A COLORAÇÃO AZUL REPRESENTA OS LOCAIS DE ACUMULO DE Al. AUMENTO DE 40X.....	164

FIGURA 50 – CORTE TRANSVERSAL DA LIMBO DA FOLHA DE PLÂNTULA DE <i>F. marginata</i> , CULTIVADA EM SOLO NO RIZOTROM, SEM ADIÇÃO DE AI E COLORIDA COM PCV. AUMENTO DE 40X.....	158
FIGURA 51 – CORTE TRANSVERSAL DA NERVURA DA FOLHA DE PLÂNTULA DE <i>F. marginata</i> , CULTIVADA EM SOLO NO RIZOTROM, COM ADIÇÃO DE 100 mg.kg <sup>-1</sup> DE AI E COLORIDA COM PCV. AUMENTO DE 10X.....	158
FIGURA 52 – CORTE TRANSVERSAL DA NERVURA DA FOLHA DE PLÂNTULA DE <i>F. marginata</i> , COLETADAS NO FLORESTA E COLORIDA COM PCV. AUMENTO DE 10 X.....	159
FIGURA 53 – DETALHE DO CORTE TRANSVERSAL DA REGIÃO DA NERVURA DA FOLHA DE <i>F. marginata</i> , NAS PLANTAS SUBMETIDAS A TRATAMENTOS COM AI E Si EM HIDROPÔNIA E COLORIDA COM PCV. AUMENTO DE 40 X.....	159
FIGURA 54 – CORTE TRANSVERSAL DA REGIÃO DA NERVURA DE FOLHAS NOVAS DE <i>F. marginata</i> , SUBMETIDA A TRATAMENTO COM 1mM DE AI E COLORIDA COM PCV. a- AUMENTO DE 10 X; b - AUMENTO DE 40 X; c - AUMENTO DE 100 X.....	170
FIGURA 55 – CORTE TRASVERSAL DA REGIÃO DA NERVURA DE FOLHAS VELHAS DE <i>F. marginata</i> , SUBMETIDA A TRATAMENTO COM 1mM DE AI E COLORIDA COM PCV. AUMENTO DE 40 X.....	171
FIGURA 56 – CORTE TRANSVERSAL DA REGIÃO DA NERVURA DE FOLHAS NOVAS DE <i>F. marginata</i> , SUBMETIDA A TRATAMENTO COM 2mM DE AI E COLORIDA COM PCV. AUMENTO DE 40 X.....	171
FIGURA 57 – CORTE TRANSVERSAL DA REGIÃO DO LIMBO DE FOLHAS NOVAS DE <i>F. marginata</i> , SUBMETIDA A TRATAMENTO COM 2mM DE AI E COLORIDA COM PCV. AUMENTO DE 40 X.....	171

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1 -	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO	194
ANEXO 2 -	COMPOSIÇÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA DE MACHLIS & TORREY	194
ANEXO 3 -	MÉDIAS, DESVIO PADRÃO E COMPARAÇÃO DE MÉDIAS DOS PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO, TRATADOS COM DOSES CRESCENTES DE AI, NO EXPERIMENTO COM O PLANTIO DE <i>T. guianensis</i> NA FLORESTA	195
ANEXO 4 -	ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO RIZOSFÉRICO E NÃO RIZOSFÉRICO DOS EXPERIMENTOS REALIZADOS NA FLORESTA COM <i>T. guianensis</i> SUBMITIDA A DOSES CRESCENTES DE AI	196
ANEXO 5 -	MATRIZES DE CORRELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO NO EXPERIMENTO COM <i>T. guianensis</i> NA FLORESTA	198
ANEXO 6 -	NÚMERO DE ESPOROS NO SOLO E PERCENTAGEM DE COLONIZAÇÃO DE MICORRIZAS NA RAIZ DE <i>T. guianensis</i> , DO EXPERIMENTO REALIZADO NA FLORESTA COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE AI	200
ANEXO 7 -	ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CONTAGEM DE ESPOROS NO SOLO E COLONIZAÇÃO DE RAÍZES POR MICORRIZAS EM <i>T. guianensis</i> , NOS EXPERIMENTOS REALIZADOS EM CAMPO FRENTE A DOSES CRESCENTES DE AI	200
ANEXO 8 -	MATRIZES DE CORRELAÇÃO ENTRE O NÚMERO DE ESPOROS NO SOLO E PERCENTAGEM COLONIZAÇÃO DE MICORRIZAS EM <i>T. guianensis</i> , E OS PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO DO EXPERIMENTO REALIZADO NA FLORESTA COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE AI	201
ANEXO 9 -	MÉDIAS E DESVIO PADRÃO DOS PARÂMETROS DE CRESCIMENTO MEDIDOS EM <i>Tapirira guianensis</i> , DO EXPERIMENTO REALIZADO NA FLORESTA COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE AI	201
ANEXO 10 -	ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS PARÂMETROS DE CRESCIMENTO DE <i>T. guianensis</i> , NOS EXPERIMENTOS REALIZADOS NA FLORESTA FRENTE A DOSES CRESCENTES DE AI	202
ANEXO 11 -	MATRIZES DE CORRELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS MEDIDOS EM <i>Tapirira guianensis</i> E OS PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO, DO EXPERIMENTO REALIZADO NA FLORESTA COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE AI	203
ANEXO 12 -	MÉDIAS E DESVIO PADRÃO DOS NUTRIENTES E AI AVALIADOS EM <i>Tapirira guianensis</i> , NO EXPERIMENTO DA FLORESTA COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE AI	204
ANEXO 13 -	ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS TEORES DE NUTRIENTES, E AL PARA FOLHA, CAULE E RAIZ DE <i>T. guianensis</i> , NOS EXPERIMENTOS REALIZADOS NA FLORESTA FRENTE A DOSES CRESCENTES DE AI	206

ANEXO 14 -	MATRIZES DE CORRELAÇÃO ENTRE NUTRIENTES MEDIDOS NAS FRAÇÕES DE <i>Tapirira guianensis</i> E SEUS PARÂMETROS DE CRESCIMENTO, DO EXPERIMENTO REALIZADO NA FLORESTA COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE AI	210
ANEXO 15 -	MATRIZES DE CORRELAÇÃO ENTRE NUTRIENTES MEDIDOS NAS FRAÇÕES DE <i>Tapirira guianensis</i> DO EXPERIMENTO REALIZADO NO CAMPO COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE AI	211
ANEXO 16 -	MATRIZES DE CORRELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO E TEORES DE NUTRIENTES DAS FRAÇÕES DE <i>Tapirira guianensis</i> . EXPERIMENTO REALIZADO NO CAMPO COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE AI	212
ANEXO 17 -	MATRIZES DE CORRELAÇÃO ENTRE PERCENTAGEM DE COLONIZAÇÃO POR MICORRIZAS E OS NUTRIENTES DAS FRAÇÕES DE <i>Tapirira guianensis</i> . EXPERIMENTO REALIZADO NO CAMPO COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE AI	215
ANEXO 18 -	MÉDIAS, DESVIO PADRÃO E COMPARAÇÃO DE MÉDIAS DOS PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO, TRATADOS COM DOSES CRESCENTES DE AI, NO EXPERIMENTO COM O PLANTIO DE <i>T. guianensis</i> NO RIZOTROM	215
ANEXO 19 -	ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO NÃO RIZOSFÉRICO E RIZOSFÉRICO, DOS EXPERIMENTOS REALIZADOS NOS RIZOTRONS COM <i>T. guianensis</i> SUBMETIDA A DOSES CRESCENTES DE AI	216
ANEXO 20 -	MATRIZES DE CORRELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO NO EXPERIMENTO COM <i>T. guianensis</i> NO RIZOTROM	218
ANEXO 21 -	PARÂMETROS BIOMÉTRICOS DE <i>T. GUIANENSIS</i> , FRENTE A DOSES CRESCENTES DE AI, NO EXPERIMENTO REALIZADO NO RIZOTROM	220
ANEXO 22 -	ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS PARÂMETROS DE DESENVOLVIMENTO DE <i>T. guianensis</i> , NO EXPERIMENTO REALIZADO COM O RIZOTROM FRENTE A DOSES CRESCENTES DE AI	220
ANEXO 23 -	MATRIZES DE CORRELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS MEDIDOS EM <i>Tapirira guianensis</i> E OS PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO, DO EXPERIMENTO REALIZADO NA FLORESTA COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE AI	221
ANEXO 24 -	MÉDIAS E DESVIO PADRÃO DE NUTRIENTES E AI EM <i>Tapirira guianensis</i> , NO EXPERIMENTO EM RIZOTRON COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE AI (mg AI/ kg de solo).	222
ANEXO 25 -	ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS TEORES DE NUTRIENTES E AI NA FOLHA, CAULE E RAIZ DE <i>T. guianensis</i> , NOS EXPERIMENTOS REALIZADOS NO RIZOTROM FRENTE A DOSES CRESCENTES DE AI	224

ANEXO 26 -	MATRIZES DE CORRELAÇÃO ENTRE NUTRIENTES MEDIDOS NAS FRAÇÕES DE <i>Tapirira guianensis</i> E SEUS PARÂMETROS DE CRESCIMENTO, DO EXPERIMENTO REALIZADO NO RIZOTROM COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE AI	229
ANEXO 27 -	MATRIZES DE CORRELAÇÃO ENTRE NUTRIENTES MEDIDOS NAS FRAÇÕES DE <i>Tapirira guianensis</i> DO EXPERIMENTO REALIZADO NO RIZOTROM COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE AI	230
ANEXO 28 -	MATRIZES DE CORRELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO E TEORES DE NUTRIENTES DAS FRAÇÕES DE <i>Tapirira guianensis</i> . EXPERIMENTO REALIZADO NO RIZOTROM COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE AI	231
ANEXO 29 -	MÉDIAS, DESVIO PADRÃO E COMPARAÇÃO DE MÉDIAS, PARA OS PARÂMETROS DE DESENVOLVIMENTO DE <i>Tapirira guianensis</i> , NO PRIMEIRO EXPERIMENTO REALIZADO EM HIDROPONIA FRENTE A DOSES CRESCENTES DE AI	233
ANEXO 30 -	ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS PARÂMETROS DE DESENVOLVIMENTO DE <i>T. guianensis</i> , NO PRIMEIRO EXPERIMENTO REALIZADO EM HIDROPÔNIA FRENTE A DOSES CRESCENTES DE AI	234
ANEXO 31 -	MÉDIAS, DESVIO PADRÃO E COMPARAÇÃO DE MÉDIAS, PARA OS PARÂMETROS DE DESENVOLVIMENTO DE <i>Tapirira guianensis</i> , NO SEGUNDO EXPERIMENTO REALIZADO EM HIDROPONIA FRENTE A DOSES CRESCENTES DE AI	235
ANEXO 32 -	ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS PARÂMETROS DE DESENVOLVIMENTO DE <i>T. guianensis</i> , NO SEGUNDO EXPERIMENTO REALIZADO EM HIDROPÔNIA FRENTE A DOSES CRESCENTES DE AI	236
ANEXO 33 -	ÍNDICES DE CORRELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS DE DESENVOLVIMENTO DE <i>T. guianensis</i> E AS DIVERSAS FORMAS DE AI NA SOLUÇÃO NUTRITIVA HIDROPÔNICA	236
ANEXO 34 -	MÉDIAS E DESVIO PADRÃO DE NUTRIENTES E AI, NAS FRAÇÕES DE <i>T. guianensis</i> , EM EXPERIMENTO REALIZADO EM MEIO HIDROPÔNICO COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE AI	237
ANEXO 35 -	ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS TEORES DE NA FOLHA, CAULE E RAIZ DE <i>T. guianensis</i> , NOS EXPERIMENTOS REALIZADOS EM MEIO HIDROPÔNICO COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE AI	239
ANEXO 36 -	MATRIZES DE CORRELAÇÃO ENTRE OS NUTRIENTES MEDIDOS NAS FRAÇÕES DE <i>T. guianensis</i> E OS PARÂMETROS DE CRESCIMENTO DO EXPERIMENTO REALIZADO EM HIDROPÔNIA A DOSES CRESCENTES DE AI	234
ANEXO 37 -	MATRIZES DE CORRELAÇÃO ENTRE OS NUTRIENTES MEDIDOS NAS FRAÇÕES DE <i>T. guianensis</i> E AS DIVERSAS FORMAS DE AL NA SOLUÇÃO HIDROPÔNICA	245

ANEXO 38 -	MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE OS NUTRIENTES MEDIDOS NAS FRAÇÕES DE <i>T. guianensis</i> , DO EXPERIMENTO REALIZADO EM HIDROPONIA COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE AI	246
ANEXO 39 -	CONTEÚDO MÉDIO E DESVIO PADRÃO DE NUTRIENTES E AI, NAS FRAÇÕES DE <i>T. guianensis</i> , EM EXPERIMENTO REALIZADO EM HIDROPONIA COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE AI	247
ANEXO 40 -	ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO CONTEÚDO DE NUTRIENTES NAS FRAÇÕES DE <i>T. guianensis</i> , NOS EXPERIMENTOS REALIZADOS EM MEIO HIDROPÔNICO COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE AI	249
ANEXO 41 -	MATRIZES DE CORRELAÇÃO ENTRE O CONTEÚDO DE NUTRIENTES NAS FRAÇÕES DE <i>T. guianensis</i> , E SEUS PARÂMETROS DE DESENVOLVIMENTO DO EXPERIMENTO REALIZADO EM HIDROPONIA COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES DE CRESCENTES AI	254
ANEXO 42 -	MATRIZES DE CORRELAÇÃO ENTRE O CONTEÚDO DE NUTRIENTES NAS FRAÇÕES DE <i>T. guianensis</i> , E AS DIVERSAS FORMAS DE AL NA SOLUÇÃO NUTRITIVA HIDROPÔNICA	255
ANEXO 43 -	ANÁLISE DE VARIÂNCIA REFERENTE AOS TRATAMENTOS (TESTEMUNHA, 0,25 MM E 1,0 MM DE AI E AI + SI (1,0 MM)) DOS TESTES DE GERMINAÇÃO REALIZADOS COM <i>F. marginata</i>	256
ANEXO 44 -	MÉDIA E DESVIO PADRÃO DE SEMENTES GERMINADAS NOS DIFERENTES TRATAMENTOS DO TESTE DE GERMINAÇÃO COM <i>Faramea marginata</i>	256
ANEXO 45 -	ANÁLISE DE VARIÂNCIA ENTRE OS TEORES DE NUTRIENTES DAS FOLHAS DE <i>F. marginata</i> COLETADAS NO MORRO E NA PLANÍCIE LITORÂNEA	257
ANEXO 46 -	ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS TEORES DE NUTRIENTES DE FOLHAS NOVAS, MADURAS E VELHAS DE <i>F. marginata</i> COLETADAS NA PLANÍCIE LITORÂNEA DA ILHA DO MEL	258
ANEXO 47 -	ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS TEORES DE NUTRIENTES DE FOLHAS NOVAS, MADURAS E VELHAS DE <i>F. marginata</i> COLETADAS NA ENCOSTA DOS MORROS NA ILHA DO MEL	259
ANEXO 48 -	MATRIZES DE CORRELAÇÃO ENTRE OS NUTRIENTES MEDIDOS NAS FOLHAS, EM DIFERENTES NÍVEIS DE DESENVOLVIMENTO DE <i>F. marginata</i>	260

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Ag	-	Prata
Al	-	Alumínio
Au	-	Ouro
B	-	Boro
Bi	-	Bismuto
C	-	Carbono
Ca	-	Cálcio
Cd	-	Cádmio
CTC	-	Capacidade de troca catiônica
Cu	-	Cobre
ED	-	Endomicorrizas
EM	-	Ectomicorrizas
FAA	-	Formol + Álcool + Ácido acético
Fe	-	Ferro
F	-	Flúor
H	-	Hidrogênio
HCl	-	Ácido clorídrico
K	-	Potássio
m	-	Saturação com Alumínio
mM	-	miliMol
M	-	Mol
MA	-	Micorrizas arbusculares
Mg	-	Magnésio
Mn	-	Manganês
N	-	Nitrogênio
P	-	Fósforo
ppm	-	Partes por milhão ( $\text{mg. kg}^{-1}$ )
PSV	-	Pirocatecol violeta
SB	-	Soma de bases
Si	-	Silício
Sn	-	Estanho
T	-	Capacidade de troca catiônica
Ti	-	Titânio
V	-	Saturação em bases
Zn	-	Zinco



## RESUMO

Foram realizados experimentos, visando testar duas espécies arbóreas nativas de uma floresta da planície litorânea da Ilha do Mel, uma acumuladora de Al (*Faramea marginata*) e outra não acumuladora (*Tapirira guianensis*), frente a DOSES crescentes de Al. O primeiro experimento foi um bioensaio no interior da floresta, com a duração de 2 anos (0, 25, 50, 100, 150 mg de Al/kg de solo). O segundo, durante o mesmo período e tipo de solo, foi implementado em rizotrom (0, 100, 200 mg de Al/kg de solo), e o terceiro, em solução nutritiva (0, 0,25, 0,5, 1,0, 2,0, 4,0 e 6,0 mmol L<sup>-1</sup> de Al) com duração de 7 meses, ambos em casa de vegetação. No experimento com *T. guianensis*, a aplicação do Al no solo, proporcionou um aumento nos teores deste elemento no mesmo, e uma diminuição das bases trocáveis. A capacidade de troca catiônica (CTC) foi relacionada à matéria orgânica do solo, onde neste caso encontram-se os principais sítios de troca. No solo da floresta, ocorreram modificações nas características químicas da rizosfera, com aumento nos teores de Al, K, C e P e conseqüentemente na CTC. Na casa de vegetação, estas diferenças não ocorreram, havendo uma maior substituição das bases trocáveis pelo Al. Na floresta, houve uma diminuição significativa no peso das folhas e um aumento no peso das raízes, correlacionadas principalmente com algumas variáveis químicas do solo, principalmente do solo rizosférico. Em relação a aspectos nutricionais, houve aumento nos teores de N, K, Fe e Al e diminuição de Ca, Mg e Mn. Onde foram aplicadas as maiores doses de Al aumentou a colonização das raízes por micorrizas. No rizotrom, houve uma tendência de diminuição nos parâmetros biométricos da planta, principalmente na raiz. Os teores de nutrientes diminuíram em todos os componentes da planta, com exceção do Al, que aumentou. No experimento realizado em hidroponia, houve aumento no desenvolvimento das plantas, e diminuição nos teores de nutrientes, devido ao efeito de diluição. Em termos de quantidades absorvidas, houve aumento de todos os nutrientes, com exceção do P. Cerca 70% do Al contido na solução nutritiva quelou-se a substâncias orgânicas. Houve um grande acúmulo de Al na raiz, cerca de 50 vezes maior que a testemunha, localizado somente na região da epiderme. É sugerido que a tolerância de *T. guianensis* ao Al em seu ambiente natural, está relacionada à exclusão deste elemento na raiz, através de modificações bioquímicas e microbiológicas na rizosfera. Os experimentos com *F. marginata*, demonstraram uma grande fragilidade desta espécie quando cultivada fora de seu ambiente natural, apresentando uma grande mortalidade de indivíduos. No campo ocorreram problemas com herbivoria. A germinação das sementes apresentou índices satisfatórios, não tendo sido influenciada por teores crescentes de Al. Nas observações anatômicas das folhas de plantas sadias foi observado um acúmulo maior de Al na região do apoplasto, principalmente onde os espaços intercelulares eram maiores, não adentrando para o interior da célula. Em hidroponia, as plantas não apresentaram um bom desenvolvimento. O Al não mais acumulou-se no apoplasto e sim nos vacúolos, ou mesmo incorporando-se a todo o interior da célula. Quando comparados os teores nas folhas de *F. marginata* coletadas em diferentes ambientes, observou-se relações entre os teores de Al e os de Mg e Si. A maior relação ocorreu entre Al e Si, mantendo uma relação de 2:1, nos teores destes elementos. Os resultados apresentados sugerem que nas folhas de *F. marginata*, um dos principais mecanismos de desintoxicação do Al, seja a co-deposição de Al e Si na região do apoplasto.

## ABSTRACT

Experiments had been carried out to test two native tree species from the quaternary coastal plains forest, one Al accumulator species (*Faramea marginata*) and other not accumulator (*Tapirira guianensis*), submitted to different levels of Al. The first experiment was conducted under natural environment conditions, during two years (0, 25, 50, 100, 150 mg of Al/kg of soil). The second, in the same period of time and soil, was done in a rizotron (0, 100, 200 mg of Al/kg of soil), and the third experiment utilizing hydroponic culture (0, 0,25, 0,5, 1,0, 2,0, 4,0 e 6,0 mmol L<sup>-1</sup> of Al), both were developed in greenhouse conditions during seven months. In the experiment with *T. guianensis*, the aluminium application resulted in the increase of the element in soil and reduced the exchangeable bases. The Exchangeable Cation Capacity (CEC<sub>total</sub> - T) was related with soil organic matter, where the majority of exchangeable places are located. In the rhizosphere of the forest soil the levels of Al, K, C, P and CEC increased. In the greenhouse this differences did not occur, but a greater substitution of the exchangeable bases was observed. In the forest experiment, increasing levels of Al promoted a negative effect on leaf dry weight while the root dry weight increased. These parameters were correlated to some chemical properties of the soil, especially the rhizosphere soil. N, K, Fe and Al concentrations increased and Ca, Mg and Mn concentrations decreased in the leaves and roots by Al application. In the roots, a stronger mycorrhizal infestation was observed in the treatments with higher Al doses. In the experiment using rizotron all growth parameters diminished significantly, mainly the weight of roots. The levels of nutrients decreased on all parts of the plant, with exception of Al, that increased. In the experiment using hydroponic culture, a benefit on plant development was observed, but the level of nutrients diminished as a consequence of the dilution effect. In terms of absorbed nutrients an increase has been detected, except for P. Approximately 70 % of Al in the nutrient solution is supposed to be related to bound with organic substances. The concentration of Al in the roots, located in epidermis region, was fifty times higher in the control. It is suggested that *T. guianensis* is able to maintain its growth by means of biochemical and microbiological alterations in the rhizosphere, especially in its natural habitat where Al is excluded from the roots. The *Faramea marginata* experiment, demonstrated the great fragility of this species when grown out from its natural environment, considering the large mortality rate. Problems have occurred with herbivory in the field also. The germination of seeds showed satisfactory index, not being influenced by crescent levels of Al. Al accumulation in the leaves apoplast was detected mainly where the space among the cells was greater. No Al entered the cell. In the hydroponic culture the plants showed a week development. The Al did not accumulate in the apoplast, but in the vacuoles and also in the simplast. Comparing the levels of nutrients of *F. marginata* collected in different places, strong relations could be observed between Al and Mg and Si levels. The greatest value occurred between Al and Si, approximately 2:1. The results suggested that in the *F. marginata* leaves the main Al tolerance mechanism is the Al and Si co-deposition in the apoplast.

## 1 INTRODUÇÃO

O alumínio é o metal mais abundante e o terceiro elemento em quantidade na crosta terrestre. A maior parte está incorporado nos aluminossilicatos dos solos, mas poucas quantidades aparecem na forma solúvel capazes de influenciar os sistemas biológicos (RENGEL, 1992).

Este elemento, recentemente, foi incluído na lista dos metais classificados como tóxicos, juntamente com Ag, Cd, Sn, Au, Hg, Ti e Bi, não se conhecendo a sua função essencial na fisiologia dos organismos vivos. O Al foi classificado desta forma, devido a seus efeitos tóxicos em plantas e bactérias, proveniente de sua solubilização nos solos, mas, difere significativamente em termos químicos dos demais elementos tóxicos, sendo menos severo (BEVERIDGE et al. 1997).

Devido a sua grande quantidade nos solos, sua liberação para os cursos d'água torna-o acessível aos organismos vivos. Atualmente, suas concentrações têm aumentado nos sistemas biológicos em função da chuva ácida (MARTIN, 1994). O efeito tóxico do Al nos organismos vivos foi avaliado em peixes (DRISCOLL et al. 1980), e nos seres humanos (MARTIN, 1994). Sua toxidez para o organismo humano foi reconhecida, primeiramente, na medicina renal, quando este elemento foi identificado como agente causador de desordens neurológicas e ósseas em pacientes submetidos a hemodiálise. Tem sido levantada a questão da ingestão do Al nos alimentos, água, medicamentos, e outros, como possível causa de várias doenças, em particular o mal de Alzheimer (BIRCHALL, 1992; MARTIN, 1994).

A toxidez do Al é reconhecida desde o início do século como um importante fator limitante no crescimento das plantas em muitos solos ácidos, sendo mais severa em solos com pH abaixo de 5,0 (FOY, 1975; FOY et al. 1978). Tal fato se reflete na produção agrícola, pois os solos ácidos compreendem 40 % das terras aráveis do planeta (KOCHIAN, 1995). A fertilidade na maior parte desses solos é baixa, e mais de 70 % dos solos ácidos da América tropical, apresentam excesso de Al, deficiência de Ca e Mg, e cerca de 100 % são deficientes em P (SANCHEZ & SALINAS, 1981). No Brasil, também esses são os solos predominantes (OLMOS & CAMARGO, 1976).

Desde o início do século, tem sido estudado o efeito da toxidez do Al em espécies agrícolas. Recentemente, a química do Al nos solos e nos sistemas biológicos tem suscitado bastante interesse, através de uma intensa procura de

variedades mais tolerantes ao Al, no intuito de diminuir os gastos com insumos não renováveis.

Ecossistemas florestais distribuem-se no planeta na sua maior parte em solos ácidos. É de se esperar que durante o processo de evolução tenha ocorrido uma adaptação a esses ambientes, permitindo que espécies arbóreas através de mecanismos específicos, pudessem apresentar bom desenvolvimento neste tipo de solo.

O desflorestamento, em grandes áreas da América do Sul e Central e sudoeste da Ásia, expôs ecossistemas com solos bastante frágeis ao um rápido aumento na disponibilidade do Al (SPOSITO, 1996).

Os estudos de toxidez de Al em árvores tem se intensificado principalmente em função do efeito das chuvas ácidas na Europa, Rússia e América do Norte, promovendo a poluição das águas e diminuição da produtividade das florestas (JOSLIN & WOLFE, 1989; SPOSITO, 1996).

Os mecanismo de adaptação à toxidez do Al nas espécies das florestas tropicais ainda é desconhecido, devendo ser levado em consideração aspectos relacionados ao conhecimento do funcionamento do ecossistema e da autoecologia das espécies.

Uns dos aspectos inerentes as florestas tropicais é a alta pluviosidade, onde os nutrientes estão sujeitos à lixiviação. Outro aspecto também relacionado a pluviosidade, é a baixa fertilidade dos solos. A existência de florestas exuberantes advém de mecanismos que minimizam as perdas de nutrientes. JORDAN (1985), indicou os seguintes mecanismos como sendo os principais: grande biomassa de raízes concentrada na superfície do solo, micorrizas, manutenção de uma complexa comunidade microbiológica no solo, folhas com longa vida, esclerofilia, compostos secundários, resistência a insetos, eficiência no uso dos nutrientes, redistribuição de nutrientes antes da abscisão foliar, presença de epifilia e folhas acuminadas, dentre outros.

Embora as espécies estejam adaptadas às condições ambientais adversas encontradas nos solos arenosos da Ilha do Mel, possivelmente essas possuam adaptações nutricionais diferenciadas, o que é refletido pelos diferentes níveis de nutrientes encontrados em cada espécie. As variações nos níveis de nutrientes podem indicar estratégias diferentes no que se refere à nutrição das espécies e a adaptação ao ambiente (BRITZ et al, 1997)

Em estudo realizado sobre a ciclagem de nutrientes minerais, em duas florestas da planície litorânea da Ilha do Mel (BRITZ, 1994), foi constatada a ocorrência em um mesmo ecossistema de duas espécies, com diferenças extremas em relação aos teores foliares de Al. *Faramea marginata* com teores atingindo 18.500 ug/g, cerca de 100 vezes mais Al que a média das demais espécies. Por outro lado, a espécie mais importante desta formação, *Tapirira guianensis*, no mesmo período de coleta apresentou um teor foliar de 138 ug/g deste elemento, indicando níveis de absorção de Al extremamente distintos.

Embora *Faramea marginata* represente apenas 2 % do total de folhas depositadas no solo da floresta, calculou-se que cerca de 60 % do Al depositado no piso florestal é oriundo das folhas desta espécie, enquanto *Tapirira guianensis* deposita cerca de 23% do total de folhas e somente cerca de 5 % do Al (BRITZ et al, dados não publicados).

Esse trabalho pretendeu dar continuidade às pesquisas relacionadas à ecologia da vegetação na Ilha do Mel, avaliando aspectos relacionados à nutrição destas duas espécies, que sobrevivem no mesmo ambiente, estando adaptadas a solos extremamente ácidos e com alta disponibilidade de Al.

Desta forma, teve-se como objetivo principal estudar o comportamento das duas espécies arbóreas, uma acumuladora (*Faramea marginata*) e outra não acumuladora (*Tapirira guianensis*) de alumínio, frente a níveis crescentes deste metal, em seu ambiente natural e em casa de vegetação, utilizando diferentes substratos (solo e solução hidropônica).

Os objetivos específicos relacionados às repostas frente aos níveis crescentes de Al foram:

- a) Avaliar as modificações químicas do solo em uma condição natural (interior da floresta) e na casa de vegetação.
- b) Comparar as modificações químicas entre solo rizosférico e não rizosférico.
- c) Avaliar a contagem de esporos e colonização por micorrizas no solo da floresta.
- d) Comparar o crescimento das plantas e estado nutricional em diferentes condições ambientais (casa de vegetação e floresta) e diferentes substratos (solo e solução hidropônica).
- e) Identificar e localizar o Al nas estruturas da planta, através de estudos anatômicos.
- f) Identificar mecanismos de tolerância ao Al nas duas espécies avaliadas.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 AS ESPÉCIES

#### 2.1.1 *Tapirira guianensis*

*Tapirira guianensis* Aublet (Anacardiaceae), foi descrita primeiramente nas Guianas Francesas, onde a palavra tapirirá é referente ao seu nome indígena. Ocorre desde a América Central até o Brasil Meridional, tendo seu limite austral nas planícies quaternárias de Paulo Lopes, na costa centro-sul de Santa Catarina (FLEIG, 1989).

No sul do Brasil ela é denominada de cupiuva (FLEIG, 1989). Já em outras regiões também é chamada de peito de pombo ou pau de pombo, além de várias outras denominações (LORENZI, 1992).

Em Santa Catarina, KLEIN (1980) salienta que esta espécie é dominante em áreas situadas próximas da costa marítima e cujas altitudes não ultrapassem os 300-400m. É nestas condições edáficas que esta encontra seu ótimo de vitalidade, sendo também bastante freqüente em determinados estágios das planícies quaternárias recentes do litoral, principalmente em solos arenosos enxutos.

No Estado do Paraná, além de ocorrer na planície litorânea é encontrada no segundo planalto, no cerrado em Sengés, e em São Paulo e Mato Grosso do Sul, nas formações aluviais da Floresta Estacional Semidecidual, em afluentes do rio Paraná, não raro tornando-se uma das dominantes (FLEIG, 1989).

Segundo LORENZI (1992), a madeira é fácil de trabalhar, sendo muito empregada na confecção de brinquedos, compensados, embalagens e caixotaria leve, móveis comuns, entalhes, etc. A árvore pode ser empregada com sucesso nos reflorestamentos heterogêneos de áreas degradadas de preservação permanente, principalmente em locais úmidos. Os frutos são apreciados pela fauna.

#### 2.1.2 *Faramea marginata*

Esta espécie de Rubiaceae, é citada em vários trabalhos como ocorrente em vários ambientes nos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, principalmente na planície costeira (SILVA, 1990).

No município de Brusque (Santa Catarina), em diversas formações da Floresta Atlântica, esta espécie é citada como uma das mais importantes no subosque (VELOSO & KLEIN, 1957; 1959). Também consta das descrições da vegetação marítima de Santa Catarina, nas localidades de Palhoça e Laguna (REITZ, 1961), nas florestas mais desenvolvidas da planície costeira (VELOSO & KLEIN, 1961), como arbusto nas planícies brejosas e em áreas menos úmidas em floresta da planície litorânea, em terrenos brejosos, nas várzeas férteis das planícies aluviais em Santa Catarina e Rio Grande do Sul (VELOSO & KLEIN, 1963). É considerada por estes autores como espécie que prefere locais úmidos, sendo freqüente em várzeas brejosas na planície quaternária, planície ao longo dos rios, em planícies de solo compacto, e também em locais mais secos.

Em seus estudos, em vários pontos da encosta Atlântica de Santa Catarina, VELOSO & KLEIN (1968a e b) consideraram *F. marginata* como uma espécie indiferente, ou seja, que não tem nenhuma afinidade pronunciada por determinado habitat, distribuindo-se por toda a encosta Atlântica. KLEIN (1980) indicou esta espécie como característica e exclusiva da mata pluvial da encosta atlântica no Estado de Santa Catarina, sendo bastante freqüente no baixo e médio Vale do Itajaí.

Nas florestas da Planície litorânea da Ilha do Mel, ela ocorre em condições particulares, em florestas mais desenvolvidas onde o nível do lençol freático aflora nos períodos mais chuvosos (verão). Neste tipo de formação ela representa a espécie mais importante do extrato médio florestal, portanto, vivendo em condições de sombreamento (MENEZES-SILVA, 1998).

*F. marginata* tem grande importância na ciclagem do Al nas florestas onde ocorre, em virtude de ser acumuladora. Embora contribua com menos de 2 % do total de folhas que caem na floresta (BRITZ, 1994), ela representa mais de 60 % do total de Al depositado no solo florestal através da queda das folhas (dados não publicados).

## 2.2 ALUMÍNIO NOS SOLOS

Segundo NORDSTROM & MAY (1996), a maior parte das reações envolvendo o Al no ambiente ocorrem na presença de água, sendo rápidas e relacionadas a formas mononucleares<sup>1</sup> de Al. A forma aquosa livre do íon alumínio,

---

<sup>1</sup> O termo mononuclear, segundo estes autores, significa que estequiometricamente somente um íon alumínio está envolvido no complexo metal - ligante.

$\text{Al}^{3+}$ , é coordenada por 6 moléculas em uma configuração octohedral, que pode ser representada pela fórmula  $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ . A hidrólise do íon Al é a perda progressiva dos prótons pelas moléculas de água na solução, mantendo o equilíbrio na dissociação. A primeira reação de hidrólise pode ser escrita da seguinte forma.  $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+} + \text{H}_2\text{O} = \text{Al}(\text{H}_2\text{O})_5\text{OH}^{2+} + \text{H}^+$ , que é comumente abreviada pela seguinte expressão,  $\text{Al}^{3+} + \text{H}_2\text{O} = \text{AlOH}^{2+} + \text{H}^+$ .

A toxidez do Al limita o crescimento das plantas em muitos solos ácidos, sendo mais severa em pH abaixo de 5.0 (FOY, 1975; FOY et al., 1978). Define-se simplificada e o que seja acidez do solo como um excesso de prótons na solução do solo, acompanhado do aumento de níveis tóxicos de Al e Mn, e o decréscimo a níveis inadequados dos cátions Ca, Mg e K (GILLMAN, 1991).

A toxidez do Al é prejudicial também no subsolo, pois restringe o desenvolvimento e ramificação da raiz em profundidade, o que prejudica a tolerância à seca das plantas e afeta o uso de elementos nutritivos do subsolo (FOY, 1975).

MARSCHNER (1991) salienta que em solos ácidos o crescimento das plantas pode ser limitado por uma variedade de fatores ou pela interação destes, onde os principais são: o aumento da concentração de  $\text{H}^+$ , causando toxidez de  $\text{H}^+$ ; aumento na concentração do  $\text{Al}^{3+}$ , e a conseqüente toxidez de  $\text{Al}^{3+}$ ; aumento na concentração de  $\text{Mn}^{2+}$ , causando toxidez de  $\text{Mn}^{2+}$ ; diminuição na concentração e absorção de cátions metálicos, causando deficiência de Ca, Mg e K; diminuição na absorção de P e Mo com a conseqüente deficiência destes elementos; inibição no crescimento das raízes, causando deficiência de nutrientes e água; aumento da lixiviação, causando deficiência de nutrientes. Cada um destes fatores depende: da espécie de planta e genótipo; tipo de solo e horizontes; material de origem, pH do solo; concentração e tipo de Al; estrutura do solo e aeração; e condições climáticas.

O baixo crescimento das culturas agrícolas em solos ácidos pode estar diretamente relacionado à toxidez de Al (FOY, 1976). Exceto em situações extremas, o pH por si afeta diretamente o crescimento das plantas (UEXKÜLL & MUTERT, 1995).

Segundo KELTJENS, (1997), a capacidade de absorção de nutrientes pelas plantas em solos ácidos pode ser dificultada por: competição/interação nos locais de absorção da raiz entre Al e H com os nutrientes P, K, Mg e Ca; impedimento do crescimento da raiz, e como conseqüência da diminuição da área de contato com o solo; formação de raízes grossas com baixa superfície externa, menos eficientes na absorção de nutrientes, principalmente do P.



### 2.2.1 Distribuição dos Solos Ácidos no Planeta

Os solos ácidos desenvolvem-se preferencialmente em clima úmido, a água é um importante fator de formação desses solos, promovendo a hidrólise do Al.

O entendimento da solubilização e especiação do Al nos solos ácidos é importante na previsão da quantidade de Al tóxico que está presente no solo (RITCHIE, 1995).

A solubilidade do Al é inicialmente controlada pelos minerais de mais alta solubilidade presentes no solo (minerais primários), dentre eles os óxidos, hidróxidos, sulfatos e hidroxissulfatos, fostatos e aluminossilicatos. Processos pedogênicos vagorosamente removem os minerais mais solúveis, e os mais estáveis suportam a menor atividade do Al (minerais secundários), finalmente controlando sua solubilidade. A sílica representa um importante papel neste processo. Quando esta persiste no solo não sendo removida pela lixiviação, formam-se os minerais de argila 2:1, apresentando uma solubilidade de Al baixa. Mas quando esta é removida (alta pluviosidade), formam-se os minerais de argila 1:1, aumentando a solubilidade do Al (LINDSAY & WALTHALL, 1996).

Em uma escala global existem dois principais cinturões de solos ácidos: um na zona temperada úmida norte coberta principalmente por florestas de coníferas; e outra no trópico úmido, coberto por savanas e florestas tropicais, com os respectivos solos característicos destas zonas (UEXKÜLL & MUTERT, 1995).

As maiores áreas de solos ácidos potencialmente aráveis estão nos trópicos úmidos, seguidos das zonas temperadas do hemisfério norte. Nos países mais industrializados, notadamente no leste da Europa, América do Norte e extremo Oriente, através da utilização de calagem e fertilizantes fosfatados, houve a correção da acidez dos solos. Por outro lado, ocorreu a acidificação do solo em extensas áreas, devido aos seguintes fatores: emissão de nitrogênio e enxofre na atmosfera e posterior retorno ao solo, uso de fertilizantes nitrogenados, e uso intensivo do solo (UEXKÜLL & MUTERT, 1995).

Em trabalho recente, ESWARAN et al. (1997) estimaram que 26 % das terras do planeta (37,77 milhões de Km<sup>2</sup>) que não estão totalmente ocupadas pelo gelo são constituídas por solos ácidos, e em 20 % destas terras a acidez atinge também o subsolo (profundidade entre 25 e 75 cm). A América do Sul possui a maior percentagem e área (66,1% - 11,8 milhões km<sup>2</sup>) ocupada por solos ácidos sendo que o Brasil apresenta as maiores proporções.

Estes autores mapearam os solos ácidos das áreas livres do gelo no planeta, dividindo-os em 4 classes de pH (medido em KCl): a) extremamente ácidos  $\text{pH} < 3,5$ , geralmente solos com sulfato ácido das planícies costeiras, onde o hidrogênio é a principal causa da acidez; b) altamente ácido, pH de 3,5 a 4,5, onde toxidez do Al é o maior problema; c) moderadamente ácido, pH entre 4,5 e 5,5, onde o Al continua sendo a causa da acidez; d) acidez mínima, pH entre 5,5 e 6,5 onde a acidez é negligenciável. Na tabela abaixo, constam as áreas de distribuição dos solos ácidos (em milhões de  $\text{Km}^2$ ) por classe de acidez global e em algumas regiões.

Classe pH	Global		América do Sul		América do Norte		África		Sul e Leste da Ásia		Europa	
	área	%	área	%	área	%	área	%	área	%	área	%
5,5-6,5	12.503	8,5	2.446	13,7	2.073	10,8	4.306	14,0	1.704	4,8	34	0,7
4,5-5,5	15.400	10,5	4.443	24,8	3.009	15,7	3.278	10,7	1.906	5,5	532	11,5
3,5-4,5	9.773	6,7	3.645	20,4	904	4,7	1.193	3,9	3.187	9,1	1.310	28,2
<3,5	98	0,07	1.279	7,1	0	0,0	31	0,1	66	0,2	108	2,3
<b>Total</b>	<b>37.774</b>	<b>25,9</b>	<b>11.803</b>	<b>66,1</b>	<b>5.986</b>	<b>31,2</b>	<b>8.808</b>	<b>28,7</b>	<b>6.873</b>	<b>19,7</b>	<b>1.984</b>	<b>42,7</b>

Em termos globais na presença de solos ácidos, o Al é o problema dominante em cerca de 67% da área total de ocorrência destes solos. Já onde existe acidez no subsolo, ele é o maior problema em 80 % desta área (ESWARAN et al., 1997).

### 2.2.2 Formas de Al no Solo

Em virtude do Al existir na solução do solo em diferentes formas iônicas, as pesquisas para elucidar o mecanismo de toxidez do Al têm se deparado com uma grande dificuldade, que é a falta de entendimento da especiação do Al. A solução do solo que envolve a raiz apresenta três categorias básicas em relação às espécies de Al: formas mononucleares de Al; polinucleares, e Al em complexos de baixo peso molecular (KOCHIAN, 1995).

Abaixo do pH 4, o Al solúvel existe sob a forma de  $\text{Al}^{3+}$  [ $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ ], acima deste pH, a concentração do  $\text{Al}^{3+}$  decresce drasticamente, tornando-se insignificante acima do pH 5,5. A elevação do pH acima de 4, através de sucessivas desprotonações, ocorre a substituição por espécies de hidróxidos de Al, dentre elas  $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_3$  e  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$  (MARSCHNER, 1986). Em pH neutro, ocorrem formas relativamente insolúveis de  $\text{Al}(\text{OH})_3$  (gibbsite). Quando o pH aumenta

a valores próximos ao do citoplasma (aproximadamente pH 7,4), predomina o íon aluminato ( $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ ). Quando a atividade total do Al é aumentada, particularmente em condições em que a solução é parcialmente neutralizada, formas polinucleares de Al (espécies contendo mais que um átomo de Al) podem ser formadas, a mais importante destas é o tridecamero, referido como  $\text{Al}_{13}$  (KOCHIAN, 1995). Esta espécie polinuclear é importante no processo de tratamento de águas, em medicamentos, em certos catalisadores, e parece potencialmente tóxica para alguns organismos aquáticos e terrestres, sendo necessários mais estudos de sua ocorrência na natureza (BERTSCH & PARKER, 1996).

O Al forma fortes complexos com o íon fluoreto ( $\text{F}^-$ ), especialmente em solos ácidos onde o  $\text{Al}^{3+}$  tem uma alta atividade. Este complexo foi encontrado na água de precipitação interna de florestas localizadas em Espodosolos. Também nestes solos são importantes os complexos com sílica. Outros complexos podem ser formados no solo com sulfatos, fosfatos, nitratos e substâncias orgânicas (LINDSAY & WALTHALL, 1996).

O Al monomérico forma complexos de baixo peso molecular com carboxilatos, sulfatos, fosfatos e ácidos orgânicos. O Al também pode ligar-se reversivelmente com algumas macromoléculas incluindo proteínas, polinucleotídeos e glicosídeos. As constantes de equilíbrio são avaliadas por muitas reações envolvendo a hidrólise e complexação do Al, e essas constantes podem ser usadas para estimar a concentração e a atividade das diferentes espécies de Al, usando-se programas computacionais de especiação (KOCHIAN, 1995).

As substâncias orgânicas produzidas por microorganismos ou plantas na rizosfera e nos horizontes orgânicos tem importante papel na complexação do Al no solo, modificando as reações deste elemento com as argilas e superfície dos óxidos, reduzindo a toxidez dos solos ácidos, regulando adsorção e desorção de fosfatos, dentre outros. As constantes de estabilidade entre Al e ligantes orgânicos são utilizadas para avaliar processos ambientais, como a decomposição mineral, eluviação do Al, deposição ácida, toxidez do Al, formação de agregados no solo, dentre outros (VANCE et al. 1996).

### 2.2.3 Formas Tóxicas do Al no Solo

As formas de Al tóxicas às plantas suscitam muito debate. Na revisão realizada por KINRAIDE (1991) é salientado que o  $\text{Al}^{+3}$  em condições ácidas reage

com outros ligantes formando várias espécies químicas. Uma ou mais destas espécies químicas é rizotóxica (inibe o crescimento da raiz).

Um dos primeiros trabalhos avaliando espécies químicas de Al e sua toxidez em solução nutritiva foi realizado por BARTLETT & RIEGO (1972). Estes autores verificaram a ocorrência de toxidez de Al no milho, realizando experimentos envolvendo formas polinucleares de hidróxido de Al, avaliando a relação com o pH e fósforo.

BLAMEY et al. (1983), estudando o crescimento das raízes de soja em solução nutritiva, variando o pH, Al e P, obtiveram altas correlações entre o crescimento relativo da raiz e a soma das espécies monoméricas. Estes autores, salientaram que é difícil a identificação de qual espécie é tóxica, porque a atividade de uma espécie altera a atividade de outra, havendo colinearidade entre as mesmas.

ALVA et al. (1986a), avaliaram a influência de várias concentrações de P e Ca em solução nutritiva, em relação às concentrações de Al total, monomérico, soma de Al monomérico, e crescimento da raiz de várias espécies de planta. Encontraram efeitos benéficos do Ca no crescimento da raiz, entretanto, quando a somatória de Al monomérico era maior que 18  $\mu\text{M}$ , não ocorria mais a remediação da toxidez de Al.

ALVA et al. (1986b), apresentaram evidências que, para algumas espécies de dicotiledôneas,  $\text{Al}(\text{OH})_2^{2+}$  ou  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$  são as espécies mais tóxicas e o  $\text{Al}^{3+}$  é menos tóxico. Posteriormente, KINRAIDE & PARKER (1990) reavaliaram os dados destes autores e realizaram outros experimentos, confirmando estes resultados.

NOBLE et al. (1988), avaliando diferentes níveis de  $\text{CaSO}_4$  e pH em soluções nutritivas, em relação às formas de Al e crescimento de raiz de soja, encontraram altas correlações com  $\text{Al}^{3+}$  e baixas correlações com  $\text{AlSO}_4$ , indicando que a forma  $\text{AlSO}_4$  é menos tóxica. Estes autores introduziram um coeficiente (CAB), que correlacionou-se melhor com o crescimento da raiz de soja e que representa o balanço entre Ca e o Al.

PARKER et al. (1988) encontraram uma boa relação entre a atividade do  $\text{Al}^{3+}$  e a toxidez no trigo, afirmando não haver uma boa relação entre a soma de espécies monoméricas e a toxidez do Al, sugerindo a existência de hidróxidos de Al polinucleares, que seriam formas mais tóxicas.

KINRAIDE (1990), suscitou que em soluções alcalinas o íon aluminato,  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ , algumas vezes, pode ser a forma tóxica. Em contrapartida, o autor lança a

hipótese de que este íon não é tóxico e que provavelmente a toxidez observada está relacionada à forma polinuclear ( $Al_{13}$ ).

Existem evidências indicando que a forma "tridecamer" ( $Al_{13}$ ) seja a espécie polinuclear primária, formada parcialmente pela hidrólise de soluções de Al. Esta foi preparada artificialmente no laboratório em uma larga variedade de condições de síntese e concentrações de Al total. É formada em condições próximas ao pH neutro, sendo instável e considerada a espécie mais tóxica, (KINRAIDE, 1991). Sua ocorrência nos solos, em ambiente natural, foi detectada uma única vez por HUNTER & ROSS (1991), em Espodossolos. BERSTSCH & PARKER (1996) salientaram que em outras avaliações no mesmo tipo de solo esta não foi detectada, suscitando que a presença do  $Al_{13}$  pode ter sido mascarada por outros metais paramagnéticos. Até o momento, sua presença só foi constatada em laboratório.

Os complexos com fluoreto ( $F^-$ ), em algumas situações parecem também aliviar a toxidez de Al. TANAKA et al. (1987), comparando a toxidez dos complexos de  $Al^{3+}$ ,  $AlSO_4^+$ , e  $AlF^{2+}$  em cevada, encontraram um menor crescimento da raiz no tratamento com  $Al^{3+}$ .

As formas de Al complexadas por substâncias orgânicas reduzem a toxidez do Al em solos ácidos (VANCE et al. 1996). O baixo peso molecular dos ácidos orgânicos aumentam a solubilidade da fase sólida do Al nos solos. O mecanismo envolvido na dissolução do Al contido nos sólidos incluem: a quelação do Al na solução, reduzindo a atividade do metal livre; troca de ligações dos ácidos orgânicos com a superfície dos óxidos de Al; e o aumento na dissolução dos metais na presença dos ácidos orgânicos (FOX et al. 1990).

MIYAZAWA et al. (2000), verificaram que a redução da toxidez de Al após a aplicação de resíduos vegetais e esterco de animais ocorre por dois processos químicos: hidrólise devido ao aumento do pH e complexação por ácidos orgânicos.

Como o Al pode existir em diferentes formas iônicas em solução aquosa, a especiação destas formas torna-se de vital importância no entendimento da toxidez do Al. Evidências mais recentes salientam que o Al pode entrar nas células da raiz muito rapidamente, indicando que ocorre a especiação do Al na solução do simplasto, em pH acima de 7, em conjunto com uma mistura de íons orgânicos e inorgânicos. É necessário saber, no entanto, como estas espécies de Al ultrapassaram a membrana plasmática. Se a toxidez do Al ocorrer no apoplasto a especiação do Al na rizosfera torna-se de grande importância (KOCHIAN, 1995).

## 2.3 TOXIDEZ DO ALUMÍNIO NAS PLANTAS

### 2.3.1 Sintomas na Planta

Os sintomas de danos pelo Al não são facilmente identificáveis. Em algumas plantas são similares à deficiência do P (atrofia geral, folhas maduras pequenas e verde escuras, amarelamento e morte da ponta das folhas). Por outro lado, em função da indução de deficiência de Ca ou redução do transporte de Ca, aparecem o enrolamento das folhas novas e colapso nos pontos de crescimento e pecíolos (FOY et al. 1978). Foram constatados sintomas de clorose de Fe induzida pelo Al em sorgo e trigo (CHANG et al. 1998).

O principal sintoma de toxidez do Al é a redução do desenvolvimento da raiz. O Al inibe o crescimento da raiz a partir de 1 hora de contato. Normalmente, a partir de 4 a 6 horas de exposição, afeta o crescimento da região terminal da raiz (RENGEL, 1992). Várias formas de danos aparecem nas raízes, como escurecimento, engrossamento e raízes quebradiças. Em geral as mudas são mais suscetíveis do que as plantas desenvolvidas (FOY et al. 1978).

A inibição do crescimento da raiz inicia-se na ponta da raiz primária, seguida da ponta da secundária, terciária, e assim por diante em todo sistema radicial, tendo finalmente uma aparência similar a arame farpado ou coraliforme. Observações em microscópio eletrônico revelaram várias mudanças morfológicas na superfície da raiz, tais como: diminuição da turgescência das células epidérmicas (cevada), ocorrência de um grande número de pequenas depressões (aveia e arroz), destruição das células da epiderme e de fora do córtex (milho) e uma ruptura profunda nas células do córtex (ervilha). Todas essas modificações ocorreram na ponta da raiz nas regiões de crescimento, poucas modificações ocorreram na região proximal da raiz (WAGATSUMA et al. 1987).

WHEELER et al. (1993), utilizando-se de microscópio ótico e eletrônico, observaram em trigo, depósitos globulares entre a parede celular e a membrana celular da epiderme, depois de 10 horas de exposição ao Al. Após 3 dias, as células começam a inchar e aumentar os vacúolos. Os tecidos aparecem desorganizados e degenerados, particularmente na epiderme e nas células externas do córtex, na região compreendida de 4 a 6 mm da ponta da raiz.

### 2.3.2 Localização do Al na estrutura das plantas

Uma das dificuldades de localizar o Al na estrutura das plantas está na falta de um método com alta sensibilidade para detectá-lo. Como este não apresenta traços radioativos, são utilizados vários métodos no sentido de se formar compostos coloridos com Al (KATAOKA et al. 1997). Também é bastante utilizada para observar a distribuição dos elementos minerais nas plantas, a microanálise com fluorescência de raios X. No caso do Al, só recentemente este método foi aplicado, principalmente para localizar o Al nas raízes, por apresentarem teores mais elevados, visto que o método também é de baixa sensibilidade (HODSON & WILKINS, 1991). Na parte aérea o Al só é detectado nas plantas acumuladoras, devido às altas concentrações deste elemento (WATANABE et al. 1998).

O Al foi localizado no núcleo e na parede celular da raiz de plântulas de ervilha submetidas ao Al (MATSUMOTO et al. 1976). WAGATSUMA et al. (1988) avaliaram o acúmulo de Al em três porções da raiz: a ponta (0,3 cm da ponta), no meio (1,5 cm da ponta), e a proximal (4,5 cm da ponta), de variedades tolerantes e sensíveis ao Al (arroz, aveia, milho, ervilha e cevada). Em todas as partes da raiz e em todas as espécies o acúmulo maior foi na região da epiderme e endoderme e menor no córtex. As regiões externas das células corticais foram coloridas com mais intensidade na ponta da raiz. Em contraste, na endoderme e na estele, a intensidade maior foi na porção proximal da raiz. Em geral, as plantas sensíveis ao Al apresentaram um maior acúmulo no córtex.

O Al acumula-se principalmente em células epidérmicas e corticais. Em algumas espécies de plantas, o Al foi detectado em células da endoderme da parede celular e citoplasma, em tecidos da stele, citoplasma cortical e células do parenquima do xilema (ROY et al. 1988).

Em um grande número de trabalhos foi observado o acúmulo de Al na raiz, na parede celular das células corticais de espécies arbóreas, não sendo detectado no interior da endoderme (HODSON & WILKINS, 1991; HEIM et al. 1999). Em *Picea abies*, GODBOLD et al. (1995) encontraram uma quantidade maior de Al na parede celular das células do córtex da raiz, à medida que o pH era mais elevado na solução nutritiva.

Em *Melastoma malabathricum*, que é uma planta acumuladora, o Al foi encontrado no xilema, indicando transporte para os vasos (WATANABE et al. 1998).

Em plantas não acumuladoras, o Al pode estar ligado ao núcleo, mitocôndria e a proteínas no interior da célula (TICE et al. 1992).

IKEDA & TADANO (1993), utilizando-se de microscopia eletrônica, observaram na coifa de raízes de cevada expostas ao Al, engrossamento da parede celular, acumulação de pequenas vesículas no entorno do Complexo de Golgi e aumento no número de vacúolos.

MATSUMOTO et al. (1976; 1977), após terem observado um maior acúmulo de Al no núcleo das células de ervilhas, através de método de coloração, isolaram o núcleo da célula, através de centrifugação, concluindo que o Al estava ligado ao DNA.

Outros métodos utilizam ao invés da visualização do Al, sua quantificação em diversas partes da célula. ZHANG & TAYLOR (1989;1990), utilizando-se de métodos indiretos para quantificação do Al, encontraram no interior das pontas das células da raiz de trigo, quantidades significativas de Al, após 30 minutos de exposição a este elemento. LAZOF et al. (1994), utilizando-se de um método direto e mais sensível para detectar o Al ("secondary ion mass spectrometry"), encontraram um acúmulo de Al nas pontas da raiz de soja após 30 minutos de exposição a pequenas quantidades de Al, na periferia e no centro da raiz, sendo uma grande quantidade localizada no interior da célula.

KATAOKA et al. (1997), avaliando um novo método mais sensível (coloração fluorescente com "lumogallion"), constataram uma grande precisão do método, onde em poucas horas pode-se observar a distribuição do Al nas raízes da soja. O Al distribui-se primeiramente na coifa e depois na ponta da raiz, não chegando ao córtex.

Este método foi utilizado por SILVA et al. (2000), juntamente com microscopia a laser, em raízes de genótipos tolerantes e sensíveis ao Al. No genótipo sensível, após 30 minutos de contato com o Al, este entrou na célula, penetrando no núcleo da região meristemática da ponta da raiz. Também houve acúmulo na periferia da célula. No genótipo tolerante, quantidades menores de Al foram acumuladas.

A localização do Al nas folhas acha-se bem descrita nos trabalhos realizados com plantas acumuladoras. MATSUMOTO et al. (1976), encontraram acúmulo de Al somente na epiderme de folhas jovens e velhas nas folhas de chá (*Chamellia sinensis*). HARIDASAN et al. (1986), nas folhas de espécies acumuladoras do cerrado, localizaram altas concentrações de Al na epiderme, em todos os elementos



do floema, nas nervuras principal e secundárias. O Al não foi detectado nos elementos do vaso, fibras do xilema e parenquima paliçádico. WATANABE et al. (1998), observaram um acúmulo de Al na epiderme e nas células do mesófilo nas folhas de *Melastoma malabathricum*, em plantas que foram supridas com Al. Nos tratamentos sem Al, estas regiões não foram coloridas. Nas raízes, a coloração foi mais acentuada na ponta, especialmente a epiderme e a endoderme, mas também no xilema. Em nenhuma destas situações foi observado acúmulo de Al no interior da célula. Este autor salienta que é comum, em plantas acumuladoras, concentrarem o Al na epiderme, e que o acúmulo no mesófilo sugere algum efeito do Al na fotossíntese, ressaltam ainda, que a sua presença no xilema indica que este é transportado para os vasos.

### 2.3.3 Transporte do Al

Existem evidências diretas que o ápice da raiz é o sitio primário da inibição do crescimento da raiz, em função do Al. Se a raiz inteira (trigo), excetuando-se o ápice da raiz, for exposta ao Al, o crescimento da raiz é normal (RYAN et al., 1993, citados por KOCHIAN, 1995). BENNET & BREEN (1991) sugerem que a absorção do Al pela raiz inicialmente ocorre na coifa, onde as células superficiais têm uma pronunciada função secretora. Mudanças na estrutura da mucilagem, em função do contato com o Al, permitem a ocorrência de um mecanismo de estímulo-resposta, através da transdução de sinais para o meristema da raiz, inibindo seu crescimento. KOCHIAN (1995) sugere que estudos relacionados à interação com o Al devem ser focados no ápice da raiz.

O transporte do Al até as células corticais pode ser via apoplasto ou simplasto. O último caso é menos significativo, tendo sido indicado devido a presença de Al no núcleo da célula. O Al pode passar pela parede celular cortical via apoplasto, e entrar no estelo via plasmalema até a endoderme (ROY et al. 1988).

ZHANG & TAYLOR (1989; 1990) sugeriram duas fases para a absorção do Al. A primeira, denominada fase rápida, onde o Al acumula-se no apoplasma nos primeiros 30 minutos de contato, e a segunda, denominada fase linear, é mais lenta, continuando o acúmulo no apoplasma, mas também ocorrendo absorção do Al no interior da célula. VÁZQUEZ et al. (1999) observaram, após 4 horas de exposição ao Al em raízes de genótipos tolerantes (trigo), quantidades consideráveis de Al na parede celular e nos vacúolos das células.

Íons, especialmente polivalentes, dentre eles o  $Al^{3+}$ , são insolúveis nas camadas de lipídios da membrana plasmática, caracterizando-se como uma barreira no transporte para o interior da célula. Mesmo assim, em muitos casos, o Al move-se para o interior da célula rapidamente (DELHAIZE & RYAN, 1995). LAZOF et al. (1994) detectaram Al no simplasto das células da raiz de soja após 30 minutos de exposição ao Al.

A endoderme representa uma barreira para o transporte do Al via apoplasma para as células corticais, visto que as estrias de Caspari, hidrófobas, não permitem a passagem de íons. O mesmo ocorre com a membrana plasmática (também hidrófoba). Suscitou-se os seguintes mecanismos de passagem pela membrana: por endocitose do Al já complexado; através de canais protéicos abertos nas camadas de lipídios com pouca especificidade em relação aos íons; ou ainda, por lesões na membrana plasmática. Nenhum destes mecanismos foi comprovado adequadamente (RENGEL, 1992).

O transporte do Al até as folhas é desconhecido, e as informações existentes estão relacionadas a espécies acumuladoras de Al. Segundo MARSCHNER (1991), nestas plantas o transporte é realizado por complexos de Al com substâncias orgânicas. NAGATA et al. (1993) afirmam que no chá o transporte viabiliza-se pela complexação com o flúor. HARIDASAN et al. (1986) sugerem a translocação do Al via floema.

#### 2.3.4 Efeitos Fisiológicos

Visto que o Al interage com estruturas extra e intracelulares, uma grande diversidade de mecanismos sobre a toxidez do Al tem sido levantada. Estes incluem interações com a parede celular na raiz, processos de transporte pela membrana plasmática, ou mesmo seu rompimento e, interação do Al nos constituintes do simplasto, dentre eles com a proteína "calmodulin". Todas estas evidências não foram comprovadas totalmente, sendo freqüentemente tema de controvérsia (KOCHIAN, 1995).

Os efeitos tóxicos no crescimento das plantas são atribuídos a diversos fatores fisiológicos e bioquímicos, em geral relacionados à redução no crescimento da raiz (ROY et al. 1988). Estes podem ocorrer com exposição ao Al durante um curto período de tempo (minutos, às vezes segundos) ou períodos mais longos (horas ou alguns dias). Os estudos realizados por longos períodos são mais

enganosos, visto que as respostas ao efeito primário do Al não são necessariamente causadas diretamente pelo Al, mas muito mais em consequência dos danos relacionados a este elemento, em função de numerosos processos fisiológicos e bioquímicos. Só recentemente as pesquisas realizadas com respostas em curto período de tempo têm sido incrementadas (RENGEL, 1992).

O primeiro sintoma da toxidez de Al é a inibição do crescimento da raiz, ocorrendo rapidamente após a exposição ao Al. Porém este mecanismo, em nível celular, ainda é pouco conhecido (KOCHIAN & SHAFF, 1991). CLARKSON (1965) observou no alho, a correlação entre inibição no crescimento da raiz e a diminuição da atividade mitótica.

Outro possível mecanismo é a inibição da elongação da célula, através da redução da sua elasticidade, quando do acúmulo do Al junto a uma série de polímeros na parede celular ou, ainda, pela redução nas taxas de síntese da parede celular (KOCHIAN & SHAFF, 1991). No milho observou-se uma ruptura na função secretora do Complexo de Golgi, o que implicou em uma diminuição no fornecimento dos precursores da síntese da parede celular, na coifa e no meristema apical da raiz (BENNET et al. 1985).

Como a divisão celular ocorre em ciclos de aproximadamente 24 horas e a inibição do crescimento da raiz inicia-se após uma ou duas horas, os primeiros estágios de diminuição do crescimento estão relacionados ao não alongamento da raiz e, depois de 24 horas, à diminuição da divisão celular (KOCHIAN, 1995).

Altas concentrações de Al inibem o crescimento das raízes diretamente, pela inibição da divisão celular ou pela inibição do alongamento da célula, ou ainda, pela combinação de ambos. A inibição direta da divisão celular requer altas concentrações de formas tóxicas monoméricas de Al. Em moderadas concentrações, entretanto, a inibição do alongamento da célula é o fator mais provável da não divisão da célula, refletindo uma regulação interna deste mecanismo (MARSCHNER, 1991).

No simplasto, a concentração de  $Al^{3+}$  torna-se muito baixa, em virtude do pH estar próximo à neutralidade e pela presença de ligantes potenciais (DELHAIZE & RYAN, 1995).

O Al pode penetrar no interior da célula rapidamente ao mesmo tempo em que ocorre a diminuição do crescimento da raiz. Seu efeito tóxico no interior da célula ainda é discutível, visto que provavelmente este seja neutralizado por uma série de mecanismos que conferem tolerância às plantas. Em alguns experimentos,

ao se retirar o Al do apoplasto, a raiz novamente retorna a seu crescimento, podendo indicar que o mecanismo de toxidez está mais relacionada a esta porção da raiz (DELHAIZE & RYAN, 1995).

Segundo MATSUMOTO (1991), as dificuldades encontradas para tentar elucidar a níveis bioquímicos e fisiológicos em relação aos processos que causam a toxidez do Al, estão associadas a uma ou todas das seguintes razões: 1) as formas químicas do Al são muito variáveis, de acordo com a força iônica, pH, temperatura e a presença de outros íons; 2) as respostas das plantas ao Al diferem entre as espécies e no mesmo tecido, em função das condições fisiológicas; 3) dificuldade em determinar as formas químicas do Al associadas às células das plantas.

Para o entendimento do mecanismo básico da toxidez do Al na raiz são necessárias informações sobre os danos oriundos no espaço intracelular ou na célula. Não existe consenso de qual o local da toxidez do Al. É sabido que o  $Al^{3+}$  pode ligar-se e precipitar-se prontamente entre as paredes celulares das células das raízes (KOCHIAN, 1995), sendo considerado o primeiro passo da toxidez, influenciando em todas as outras respostas, como o metabolismo do Ca e as modificações na membrana (RENGEL, 1992; GODBOLD et al. 1995). Nesta região ocorre grande parte dos processos relacionados à toxidez de Al, sendo denominada de apoplasto.

O termo apoplasto foi introduzido por Ernst Münch para separar o simplasto "vivo" do apoplasto "morto", mas este significado tem sido mudado (SATTELMACHER et al. 1998). CANNY (1995) define apoplasto como o espaço na planta fora do simplasto. Este inclui a parede celular, espaços intercelulares e do lúmen do xilema.

Salienta-se a grande importância desta região para diferentes processos, principalmente em relação ao transporte de água e nutrientes. Outros processos podem ser citados, dentre eles: colonização de microorganismos, inclusive fixadores de N; reações de defesa contra patógenos; variação genética na eficiência nutricional; tolerância contra íons adversos (SATTELMACHER et al. 1998). A entrada de nutrientes para a raiz da planta, da solução do solo via micorrizas, primeiramente encontra o apoplasto (PETERSON & CHOLEWA, 1998).

O pH no apoplasto da raiz tem grande importância na absorção de nutrientes e transporte de substâncias orgânicas, sendo controlado por limites estreitos. É também essencial para o crescimento da raiz sobre várias condições externas. Este varia conforme a espécie de planta, estando relacionado ao ambiente em que cresce

(YU et al. 2000). Estes autores avaliaram os cinco principais métodos para medir o pH e concluíram que muitos dos métodos utilizados não são adequados. Ao avaliar este parâmetro, deve ser especificado anteriormente qual dos componentes do apoplasto vai ser medido, antes de definir o método ou métodos utilizados.

Para entender os mecanismos fisiológicos da toxidez do Al, é necessário entender o processo de transporte de cátions que ocorre na região do apoplasto. As raízes que crescem em solos ácidos apresentam um gradiente em termos de concentração de H do citoplasma (pH 7-7,5), para a solução do solo (pH 3-5), de 3 a 4 pontos de magnitude, sendo necessário o bombeamento do H para fora da célula. Em contrapartida é estimulada a absorção de ânions, desta forma inibindo a absorção de cátions em particular o Mg. Para o K, existem canais específicos na membrana plasmática que favorecem o transporte (MARSCHNER, 1991).

Simplificadamente a parede celular pode ser descrita como um esqueleto de celulose/hemicelulose embebido em uma matriz de pectina. Esta matriz apresenta cargas negativas devido aos grupos carboxílicos (MASION & BERTSCH, 1997). Devido a estas cargas negativas é medida a capacidade de troca catiônica da raiz, que em solos ácidos normalmente é baixa. Esta CTC normalmente é medida em toda a raiz, mas tem grande variação ao longo da mesma (HORST, 1995).

Estas cargas, no apoplasto, mantêm os cátions, principalmente, Ca, Mg, Zn, e Mn em grandes quantidades, podendo ser substituídos pelo Al (MARSCHNER, 1991).

A exposição da raiz ao Al pode afetar a integridade da membrana, por sua interação com as proteínas e lipídios alterando sua permeabilidade; pode modificar as cargas elétricas afetando a saída do H, a entrada de K e causando deficiência de Fe e Zn (ZHAO et al. 1987; CAKMAK & HORST, 1991); ou ainda, compete com o Ca (RENGEL, 1992).

As concentrações de Ca no citoplasma, de 0,2 a 0,3  $\mu\text{M}$ , são consideradas baixas, se comparadas a 0,5 a 5 mM do Mg e 100-150 mM do K. A absorção do Ca e o transporte radial através do córtex da raiz é realizada via apoplasto, preferencialmente nas zonas apical e basal das raízes laterais, penetrando nas estrias de Caspari e finalmente no córtex (MARSCHNER, 1991).

A baixa concentração do Ca no citoplasma previne a reação deste com fosfatos inorgânicos. Esta reação poderia formar precipitados insolúveis que afetariam severamente o metabolismo da célula, tornando o Ca tóxico. Para manter

baixa a atividade do Ca é necessário que diferentes organelas celulares o isolem e, ainda, haja seu bombeamento para fora da célula (RENGEL, 1992).

Ao mesmo tempo o Ca é necessário para uma série de processos metabólicos que ocorrem no interior da célula. Provavelmente existe um transporte energético passivo do Ca para o citosol mediado por um canal de passagem (DELHAIZE & RYAN, 1995).

A diminuição do Ca na superfície externa da membrana plasmática durante o período inicial do tratamento com Al ocasiona um distúrbio na homeostase do Ca, gerando um sinal que pode ocasionar a síntese de calose (1,3- $\beta$ -glucan) (RENGEL, 1992). Isto se deve provavelmente a um aumento do fluxo do Ca dentro do citosol e posteriormente induz à formação de calose na região intracelular, mais especificamente na rizoderme e nas células da coifa da raiz. Este seria um mecanismo de proteção impedindo a penetração do Al no apoplasto nas camadas mais profundas do córtex da raiz. Esta resposta permite retornar o potencial de crescimento a longo-prazo. Esta região da raiz é importante na síntese de fitohormônios (ácido abscísico) que emitem sinais para realização do crescimento. A inibição em sua síntese pode estar relacionada também à formação da calose (MARSCHNER, 1991).

O papel das substâncias de crescimento, auxinas e citocininas, parece estar relacionado à interação Ca-Al, alterando o transporte da auxina e a biosíntese e transporte da citocinina (RENGEL, 1992).

Calmodulin é uma proteína encontrada no protoplasto responsável pela regulação do Ca na célula (HAUG & SHI, 1991). Está presente em grandes quantidades na coifa da raiz, na qual foi considerado o principal local de injúria do Al (RENGEL, 1992). Na presença do Al ocorrem mudanças estruturais e funcionais nesta proteína que prejudicam seu funcionamento, tendo sido indicado como uma lesão importante em termos de toxidez de Al (SIEGEL & HAUG, 1983a, b).

Existe controvérsias na literatura em relação a interação do Al / calmodulin como um dos principais sítios de toxidez de Al (KOCHIAN, 1995). HORST (1995), não acredita que distúrbios na homeostase celular do Ca seja o gatilho para a toxidez do Al, indicando como principal sítio a parede celular e a face externa da membrana celular.

HUANG et al. (1992 a; b), salientam que a maior parte do transporte do Ca em raízes intactas de trigo ocorre no ápice da raiz, e, a diminuição de sua absorção nesta região é relacionada à competição com o Al, em função de um possível

bloqueio de canais de transporte do Ca. GODBOLD et al. (1995), analisando o efeito do Al no apoplasto na raiz de *Picea Abies* em diferentes níveis de pH (3,2; 4; e 5) em solução nutritiva, encontraram uma diminuição tanto de Ca quanto de Al nesta região em pH mais baixo (3,2), concluindo que não só a saída do Ca do apoplasto reflete os efeitos tóxicos causados pelo Al, e que, no experimento realizado não existe uma relação clara entre a concentração de Al na parede celular e o grau de inibição do crescimento da raiz.

RYAN et al. (1994) demonstraram que, embora o Al diminua o crescimento das raízes de trigo, isto não está diretamente relacionado a magnitude da absorção e transporte do Ca para a parte aérea.

Recentemente, RYAN et al. (1997), no que diz respeito à interação entre Ca e Al, propuseram 3 tipos de possíveis interações: (a) Al inibe o transporte de Ca para o simplasto nas células da raiz; (b) O Al rompe a homeostase no citoplasma; e (c) o Al desloca o Ca no apoplasto. Estes autores chegaram as seguintes conclusões: a primeira, que os resultados encontrados não confirmam a teoria na qual o deslocamento do Ca do apoplasto, teria relação com o impedimento do crescimento da raiz pela substituição pelo Al, e a segunda, que a diminuição da toxidez do Al por cátions, está associada à redução do acúmulo do Al na raiz. A presença dos cátions diminui a densidade das cargas negativas na membrana e reduz a acumulação eletrostática de todos os cátions, incluindo o Al, em direção da superfície da célula. O crescimento da raiz está mais relacionado a atividade do Al na superfície da membrana plasmática, do que na atividade do Al na solução nutritiva.

KINRAIDE (1998), propôs alguns mecanismos em que o Ca alivia a toxidez mineral através do deslocamento da superfície da célula do agente tóxico. Mas salienta que estes mecanismos servem apenas para experimentos baseados em crescimento de curtos períodos de tempo, como no trigo, por exemplo. Para outras espécies, órgãos ou experimentos realizados em períodos maiores de tempo, como o caso das florestas em declínio induzidas pela toxidez de Al, exibem outros padrões em relação à amenização da toxidez pelo Ca.

KELTJENS & TAN (1993), estudando a interação do Al, Mg e Ca em diferentes espécies de mono e dicotiledôneas, encontraram que Mg foi mais efetivo na amenização da toxidez do Al nas monocotiledôneas, e que o Ca foi mais efetivo nas dicotiledôneas. WHEELER & DODD (1995), avaliaram o efeito da toxidez de Al em 34 espécies de leguminosas de região temperada em solução nutritiva com baixa força iônica, não encontrando sintomas visuais de toxidez, e efeito pouco significativo

na concentração do Mg e Ca, somente com a diminuição nos teores de Ca na parte aérea de algumas espécies. Avaliando diversas monocotiledôneas no mesmo tipo de solução nutritiva, WLEELER et al. (1992a e b), observaram sintomas visuais de toxidez de Al e diminuição nos teores de Ca e Mg na parte aérea das plantas. WHEELER & DODD (1995), sugerem que o mecanismo de toxidez de Al entre estes grupos de plantas é diferente, baseando-se no efeito do Al na nutrição da planta e em sintomas físicos.

A razão entre Ca e Al (CAB) no substrato de crescimento das raízes, foi utilizada como um importante parâmetro no intuito de prever o impacto negativo do Al solúvel, no crescimento das árvores em ecossistemas florestais, principalmente os sujeitos a chuva ácida (ERICSSON et al. 1998). De forma similar SVERDRUP et al. (1992) introduziram a relação  $(Ca + Mg)/Al$  ou  $(Ca + Mg + K)/Al$ . ERICSSON et al. (1998), não encontraram uma relação em seus experimentos deste parâmetro em relação a inibição na absorção de cátions induzida pelo Al. O mesmo ocorreu com KELTJENS (1990), afirmando que esta razão só pode ser utilizada quando combinada com a atividade e especiação dos vários íons na solução, e que, na presença de substâncias orgânicas queladoras, esta é ainda menos eficiente.

OENE (1998), desenvolveu um modelo de absorção de Ca e Mg baseado na interação com o Al. Este demonstrou que o efeito do Al é inverso ao aumento destes nutrientes na solução nutritiva, e que também existe um efeito competitivo entre Ca e Mg, onde o aumento do Ca tem efeito negativo na absorção de Mg.

RENGEL (1990), avaliando o efeito da toxidez de Al na absorção de Mg em *Lolium multiflorum*, encontrou um efeito bastante rápido menos de 30 minutos, sugerindo que a lesão primária é extracelular. Altos níveis de outros cátions, tais como, Al, H e Ca, proporcionam o deslocamento do Mg na CTC da raiz. Isto ocasiona respostas negativas na absorção de Mg (KELTJENS, 1995).

A ligação entre Al, Ca e Mg na CTC da raiz é dependente do pH, indicando que a ligação destes elementos no apoplasto das células da raiz não é controlada pela disponibilidade de grupos carboxilatos e hidroxilatos da pectina da parede celular, mas sim pelo seu grau de dissociação. Aumentando a quantidade de prótons na solução externa, diminuem as quantidades de Ca, Mg e Al no apoplasto. Na presença do Al as quantidades de Ca e Mg no apoplasto diminuem sensivelmente independente da quantidade de Al (GODBOLD & JENTSCHKE 1998). Segundo estes autores, em *Picea abies*, a diminuição do Ca no apoplasto reflete em uma diminuição na parte aérea. O mesmo não ocorre com o Mg, onde o teor na parte



aérea não é controlado pela quantidade de Mg no apoplasto e nem pelos níveis de Al na solução.

No experimento realizado por ASP et al. (1988), em *Picea abies*, a presença do Al em um curto período de tempo (3 dias), diminuiu os teores de Ca e Mg na raiz, mas aumentou na parte aérea indicando que houve o transporte destes cátions mesmo na presença do Al. Na presença de teores bastante elevados de Al (10mM), Ca e Mg diminuíram na parte aérea. KELTJENS (1990) obteve um aumento nos teores destes elementos na raiz e parte aérea de *Pseudotsuga menziessii*, indicando um deslocamento de Ca e Mg da raiz, sendo transportado para a parte aérea.

Níveis de pH muito baixos pode influenciar na toxidez do Al. GODBOLD et al. (1995), obtiveram um acúmulo menor de Al na parede celular das raízes de *Picea abies* em solução nutritiva com pH 3,2 quando comparado ao pH 4 e 5. Estes autores também avaliaram a presença de Al na parede celular em relação as formas de N em plantas micorrizadas e não micorrizadas. Nas plantas micorrizadas a concentração de Al foi mais alta na presença da forma nítrica e vice-versa nas plantas não micorrizadas. Nas plantas com micorrizas, esperava-se um aumento do Al, em função de uma possível diminuição do pH no apoplasto na presença da forma amoniacal, o que não ocorreu. KLOTZ & HORST (1988), encontraram que a forma amoniacal aumenta a tolerância do Al na soja, atribuindo a restrição da ad/absorção do Al como resultado da competição com as cargas positivas das espécies de Al ligadas aos sítios do apoplasto.

Outro possível mecanismo, esta relacionado a acidificação da parede celular, alterando a atividade do  $H^+$ -ATPase na membrana celular, diminuindo o bombeamento do íon  $H^+$  (RENGEL, 1992).

O efeito do Al na absorção de P e K não é diretamente causada pelo Al, mas por fatores secundários como a destruição da estrutura da raiz ou a inibição da atividade da ATPase na membrana plasmática da raiz (OSAKI et al. 1997).

Segundo ASP et al. (1988), pode haver efeito positivo na absorção de K nas folhas na presença de quantidades baixas de Al (0,1 e 1,0 mM), atribuída a diminuição do defluxo de K para fora da raiz e sua absorção para as folhas. Já em quantidades altas de Al, a diminuição de absorção de K nas raízes de *Picea abies*, pode estar relacionada a formação do complexo Al-ATP, diminuindo a concentração do metabolismo ativo do K.

Também são conhecidos o efeito do estresse do Al na absorção e transporte de Cu, Zn, Fe e Mn (ROY et al., 1988).

Recentemente alguns estudos tem evidenciado uma interação entre Al/Si nas plantas, onde o Si pode ter um efeito inibidor da toxidez de Al (HAMMOND et al. 1995).

#### 2.3.4.1 Interação Al x Si

Tem sido demonstrado que o ácido silícico previne os efeitos tóxicos do Al em algumas enzimas e em peixes, podendo ter efeito protetor contra diferentes doenças, tais como, osteomalacia e encefalopatia. Em estudos epidemiológicos sugerem uma relação inversa entre Si e o mal de Alzheimer, restringindo a absorção de Al (BIRCHALL, 1992).

Em plantas cultivadas foi demonstrado o efeito de amenização do Al através da adição de Si em solução nutritiva, no sorgo (GALVEZ et al. 1987; HODSON & SANGSTER 1993; Li et al. 1996), no milho (BARCELO et al. 1993; MA et al. 1997; CORRALES et al. 1997), na soja (BAYLIS et al. 1994), em cevada (HAMMOND et al. 1995), no arroz (RAHMAN et al. 1998; HARA et al. 1999), no trigo (COCKER et al. 1998). No caso do algodão a resposta não foi significativa (LI et al. 1989).

O Si é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre. Em solução é encontrado na forma de ácido monosilícico,  $\text{Si(OH)}_4$ , em pH abaixo de 9. No solo também esta é a forma predominante, sendo encontrado em concentrações que variam de 7 a 80 ppm. Sua concentração é controlada pela reação de adsorção com uma série de componentes inorgânicos e é dependente do pH (JONES & HANDRECK, 1967). Em pH abaixo de 4 ele é livre na solução (RAVEN, 1983).

Em minerais altamente resistentes como o quartzo ele é completamente indisponível. Em solos ácidos tende a apresentar altas concentrações, e quando efetuada a calagem ocorre uma diminuição em sua absorção em muitas plantas cultivadas (MENGEL & KIRKBY, 1987).

O Si está presente em baixas concentrações nos organismos vivos, não existindo ligações de Si com C, e nem ligações estáveis Si-O-C. É essencial para o metabolismo de diatomáceas e para alguns mamíferos, sendo também importante na osteo - gênese (BIRCHALL, 1992).

Segundo EPSTEIN (1994), o Si desempenha um papel importante na biologia das plantas, pelas seguintes evidências: grande parte do Si absorvido é depositado sob forma amorfa, de forma geral associada a parede celular, variando sua morfologia e padrão conforme o genótipo e condições ambientais; afeta a

absorção e translocação de micro e macronutrientes; tem efeito positivo no crescimento e desenvolvimento de muitas plantas, principalmente conferindo resistência mecânica a parede celular; o Si mitiga ou abole os efeitos adversos do excesso de P ou metais pesados ou salinidade no meio; a impregnação de Si na parede celular contribui com a resistência das plantas ao ataque de fungos, parasitas, herbívoros, incluindo insetos fitopatógenos.

Embora ocorra em grande quantidade nas plantas, o Si não é considerado um elemento essencial, desta forma não é componente da maior parte das soluções nutritivas, sendo considerado um contaminante. Ele está presente nas impurezas dos sais dos macronutrientes utilizados na solução nutritiva, na água desmineralizada ou destilada, no reservatório e na poeira (EPSTEIN, 1994). Mesmo soluções nutritivas altamente purificadas podem conter traços do elemento, de modo que as plantas nelas cultivadas podem ser beneficiadas (EPSTEIN, 1975).

As plantas cultivadas podem ser divididas em 3 grupos em relação ao conteúdo de Si. Dicotilodôneas com baixos teores, tem menos de 0,1 % com base no peso seco; gramíneas de terras secas com teores intermediários (1 %) e gramíneas de terras úmidas, como o arroz mais de 5% (JONES & HANDRECK, 1967). TAKAHASHI E MIYAKE (1977) citado por EPSTEIN (1994), analisaram 9 elementos em 175 espécies que se desenvolviam no mesmo solo, o Si foi o elemento que apresentou maior variabilidade nos teores. Os autores consideraram que plantas com mais de 1 % de Si em relação ao peso seco da folha são acumuladoras, encontrando 34 espécies acumuladoras (19 %), em média com 1,96 % de Si. As não acumuladoras (81 % das espécies) continham em média 0,25 % de Si.

Em relação a absorção e transporte de Al e Si de várias espécies de plantas, estas foram agrupadas em 4 situações: Al acumuladoras (dicotiledôneas arborescentes) com baixos níveis de absorção de Si; Si acumuladoras (gramíneas de terras secas e úmidas), sem a acumulação de grandes quantidades de Al; as espécies que tem moderada quantidade destes dois elementos (Gimnosperma e algumas dicotiledôneas arborescentes), e finalmente as que excluem ambos os elementos (dicotiledôneas herbáceas) (HODSON & EVANS, 1995).

GOLLEY et al. (1980), ao avaliarem o teor de Si em 32 famílias de 118 espécies de árvores, encontraram uma grande variação nos teores entre espécies, com média total entre as espécies de 474 ppm. As famílias com médias maiores foram Myrtaceae (1.073 ppm) e Rubiaceae (1.504 ppm).

A concentração de Si nas plantas enquadraria-o como um macronutriente, visto que os menores teores (0,1%) com base no peso seco correspondem aos elementos P, S, Ca e Mg, e as maiores concentrações 10 % excedem as concentrações de K e N (EPSTEIN, 1994).

O arroz é a cultura que melhor responde ao Si, especialmente no que diz respeito ao aparecimento dos órgãos reprodutivos (MENGEL & KIRKBY, 1987). Para *Equisetum arvense* que é uma planta acumuladora de Si, este elemento é essencial (CHEN & LEWIN, 1969).

RAVEN (1983), em revisão sobre absorção e transporte de Si, sugeriu que o transporte ativo ocorre através das membranas da planta sob a forma de  $\text{Si(OH)}_4$ , não sendo requerido transporte passivo. Uma vez dentro da planta, este é transportado a longas distâncias pelo xilema. A maior parte do  $\text{Si(OH)}_4$  é depositada nas plantas superiores em uma forma amorfa de sílica (fitólitos).

A deposição ocorre frequentemente no apoplasto, algumas vezes no lúmen da célula e no final do curso do xilema nas células epidérmicas da folha (HODSON & EVANS, 1995).

COCKER et al. (1997), em 3 tratamentos, um com Si, outro com Al, e outro com ambos, localizaram estes elementos na raiz de sorgo, encontrando a maior deposição de sílica nas células da endoderme no tratamento só com Si. No tratamento só com Al, este foi localizado somente na região da epiderme e da hipoderme, ocorrendo uma ligação com o fósforo na parede celular. Quando a solução nutritiva continha os dois elementos somente o Si foi depositado na endoderme, e ambos estavam presentes nas paredes da epiderme.

VÁZQUEZ et al. (1999), encontraram acúmulo de Al e Si nos vacúolos de plantas de trigo tolerantes ao Al, indicando que possivelmente o Si teve um papel inibidor da toxidez do Al no interior da célula.

O efeito do Si em plantas acumuladoras de Al foi analisada somente por WATANABE et al. (1997), não encontrando efeito significativo no crescimento e na absorção de Al em *Melastoma malabathricum*.

O mecanismo de amenização da toxidez de Al em cultura hidropônica não é claro. GALVEZ et al. (1987), LI et al. (1989; 1996), sugerem como principal mecanismo, o aumento do pH da solução nutritiva após a adição do Si, diminuindo a toxidez do Al. HODSON & SANGSTER (1993), salientam a co-precipitação do Al e Si em células epidérmicas em tecidos mais novos e mais velhos da raiz de sorgo. BAYLIS et al. (1994) e MA et al. (1997), sugerem a formação de uma espécie

subcoloidal inerte de "hidroxialuminiosilicato", como sendo responsável pela amenização da toxidez de Al.

COCKER et al. (1998), indicaram 3 opções: aumento do pH durante a preparação da solução nutritiva, através da adição do Si; diminuição da disponibilidade de Al, em função da formação de espécies de "hidroxialuminiosilicatos" (HAS) durante o crescimento da planta; ou desintoxicação da planta, através da co-deposição de Al e Si na parede celular. Estes autores sugerem que na parede celular da raiz ocorrem aluminiosilicatos (AS) e/ou a formação de HAS, e conseqüentemente a desintoxicação do Al. Os fatores que promoveriam a formação de AS/HAS neste compartimento, incluem: alto pH do apoplasto; presença de substâncias orgânicas; e a presença na parede celular e no apoplasto de formas reativas de Al e Si.

HODSON & EVANS (1995), afirmam que não há dúvida sobre efeito na diminuição da toxidez de Al em algumas espécies de plantas e sobre determinadas condições. Os mecanismos responsáveis pela amenização dos efeitos tóxicos, provavelmente envolvem, o efeito da solução, o decréscimo da atividade do Al fora da planta, efeitos no citoplasma e na atividade enzimática.

O efeito em relação as interações entre Si e Al na solução é pouco conhecido, devido a falta de informação existente no que diz respeito a especiação e seus efeitos tóxicos. Entretanto a complexação e o decréscimo da atividade externa do Al devem ser consideradas. O fato é que diferentes plantas respondem de forma diferente na mesma solução nutritiva, sendo forte indicativo que os efeitos na planta também estão envolvidos neste processo (HODSON & EVANS, 1995).

Uma razoável base de dados sugere que a co-deposição de Al/Si faz parte do mecanismo de amenização da toxidez do Al pelo Si. Tanto as análises químicas como as microanálises indicam dois grupos de espécies, utilizando diferentes mecanismos. Um grupo incluindo as gramíneas e os cereais, usando o Si para precipitar o Al na parede celular epidérmica da raiz. E o segundo grupo, constituído pelas gimnospermas, em que permite que o Al seja transportado e co-precipitado na parte aérea, representando um mecanismo desintoxicação interna do Al (HODSON & EVANS, 1995).

As concentrações de Al e Si na célula são muito baixas. Existem evidências que o Al possa inibir a atividade de algumas enzimas, mas na presença do Si esta é neutralizada. Mais pesquisas são necessárias para esclarecer o complexo sistema

enzimático na célula, mas é concebível que o Si no citoplasma complexe parcialmente com o Al amenizando a toxidez (HODSON & EVANS, 1995).

Também é possível que o Si possa diminuir a toxidez do Al indiretamente através do efeito positivo que este causa em alguns casos na absorção e transporte de Ca, prevenindo danos à membrana e reduzindo a saída do P da membrana (HODSON & EVANS, 1995).

COCKER et al. (1998), propuseram um modelo de amenização da toxidez de Al pelo Si, enfocando várias possíveis reações que ocorreriam no apoplasto, mas concluem que as interações ocorridas neste compartimento são mais complexas. Outro aspecto abordado por estes autores, é que a maioria dos experimentos realizados nesta área foram em solução nutritiva, e que no sistema do solo quase nada foi realizado.

## 2. 4 EFEITOS BENÉFICOS DO Al

O Al não é reconhecido como um elemento essencial para o crescimento das plantas, mas sob determinadas condições, baixas concentrações aumentam o crescimento e produzem outros efeitos desejáveis. Plantas que apresentaram crescimento positivo com a adição de Al, são: arroz, legumes tropicais, eucaliptos, chá, pêssego, beterraba, milho e trigo (FOY et al. 1978).

Em plantas de chá (*Camellia sinensis*), considerada acumuladora de Al, MATSUMOTO et al. (1976) afirmaram que o efeito fisiológico positivo do Al, está na formação de raízes novas, e que o aumento do crescimento da planta depende primariamente da função positiva do  $Al^{3+}$  na raiz.

O efeito benéfico difere entre genótipos como no caso de diferentes cultivares de arroz e trigo, e também em relação ao substrato. Por exemplo: aumento da solubilidade e disponibilidade do Fe em solos calcários (hidrólise do Al e diminuição do pH); corrigindo ou prevenindo a deficiência interna de Fe pela sua liberação de sítios inativos em plantas calcícolas; bloqueando cargas negativas nos sítios da parede celular, e por meio disto promovendo a absorção de P; corrigindo ou prevenindo a toxidez de P; atrasando a deterioração da raiz em soluções com baixos níveis de Ca, através da diminuição do crescimento e prevenindo sua diminuição no meio; alterando a distribuição dos reguladores de crescimento; prevenindo a toxidez de Cu e Mn, e, servindo de fungicida (FOY et al. 1978).

KONISHI et al. (1985), cultivando plantas de chá em solução nutritiva, observaram um aumento do crescimento da planta na presença do Al, além de apresentar um papel regulador na absorção e utilização do P. Houve um considerável decréscimo do Ca e leve redução no teor de Mg, e ainda, aumento na absorção de N e K.

No crescimento de mudas de espécies arbóreas os efeitos benéficos do Al são mais prováveis, já que naturalmente estas espécies desenvolvem-se em solos ácidos. KELTJENS (1990), em *Pseudotsuga menziesii*, no tratamento com um nível moderado de Al (4mg/ litro), observou um aumento no crescimento e na concentração de nutrientes. O crescimento de *Betula pendula* é reduzido somente quando a concentração de Al excede 3mM na solução nutritiva (GÖRANSSON & ELSHUSET, 1987)

HARIDASAN (1988), plantando uma espécie acumuladora de Al (*Miconia albicans*) em um solo de cerrado (pH 4,7) e um solo calcário (pH 7,2), observou um bom desenvolvimento somente no solo mais ácido com maior disponibilidade de Al, sugerindo um possível efeito benéfico do Al no metabolismo desta planta.

Em avaliação feita a respeito de características nutricionais de várias espécies nativas em diferentes tipos de solo na Tailândia e Malásia, OSAKI et al. (1995), observaram efeitos benéficos em tratamentos com Al nas espécies nativas, indicando que estas espécies estão bem adaptadas a condições de solos ácidos e baixas disponibilidades de P e K. Estes autores realizaram experimentos em relação a tolerância ao Al em duas das principais espécies, uma acumuladora (*Melastoma malabathricum*) e outra não acumuladora (*Melaleuca cajuputi*), concluindo que o Al é um elemento importante para a absorção de P nas duas espécies.

Em experimentos realizados com diversas plantas, incluindo acumuladoras de Al, não acumuladoras, e as que acumulam na raiz, OSAKI et al. (1997), dividiu as 13 espécies analisadas em: sensíveis (1 espécie); meio-tolerante (4 espécies); tolerante (1 espécie); e as plantas estimuladas (7 espécies). Em grande parte das espécies além de haver efeito benéfico no crescimento houve aumento na absorção de N, P, e K. A absorção de Ca e Mg foi inibida em grande parte das espécies, não sendo afetada em espécies adaptadas a viver em solos ácidos.

WATANABE et al. (1997) avaliaram o crescimento de uma espécie acumuladora de Al (*Melastoma malabathricum*) em relação ao Al, Ca, Mg e Si. O Al teve efeito benéfico no crescimento, já Ca, Mg e Si não apresentaram efeito significativo, sendo que na falta de Ca houve decréscimo no crescimento.

Os mecanismos relacionados aos efeitos benéficos do Al nas plantas são pouco conhecidos. Um deles refere-se a amenização da toxidez do  $H^+$ , estimulando sua exclusão e conseqüente aumento na polaridade elétrica da transmembrana, estimulando a absorção de nutrientes e promovendo o crescimento (KINRAIDE, 1988; KINRAIDE et al, 1992). OSAKI et al. (1997), avaliando o efeito do pH e Al no crescimento e absorção de nutrientes em diferentes espécies, concluíram que o efeito do pH é menos significativo do que o do Al, salientando que o estímulo ao crescimento promovido pelo Al, não está relacionado somente a amenização da toxidez do  $H^+$ , mas também, ao aumento na atividade da raiz em relação a absorção do P.

MALKANTHI et al. (1995) citado por OSAKI et al. (1997), em um experimento usando raízes cortadas de aveia, encontraram aumento na absorção de P e K na presença do Al, e quando utilizaram um inibidor metabólico tal fenômeno desapareceu. OSAKI et al. (1997) sugerem que o aumento na absorção de P, pode estar relacionado a energia metabólica necessária para sua absorção, e que estudos relacionados ao efeito do Al no bombeamento do H ou absorção de P serão necessários para entender o mecanismo de aumento do crescimento em plantas adaptadas a solos ácidos.

## 2.5 MECANISMOS DE ADAPTAÇÃO AOS SOLOS ÁCIDOS

De acordo com KELTJENS (1997), o crescimento das plantas em solos ácidos pode ser restringido por uma série de fatores complexos. Em geral, em solos moderadamente ácidos o suprimento de P, Mg, K e Ca, é comprometido. Em solos muito ácidos, a toxidez de Al é fator principal que limita o crescimento das plantas

A evolução natural das diferentes comunidades florísticas em diferentes tipos de solo, desenvolveu espécies e ecótipos adaptados a um particular estresse de determinado metal. Esta adaptação foi revertida pelas práticas agrícolas, modificando o ambiente e a implantação de espécies não adaptadas (ANIOL, 1991).

As plantas nativas adaptadas aos solos ácidos utilizam uma variedade de mecanismos para enfrentar os fatores adversos destes solos. Estas não apresentam sintomas de deficiência ou de toxicidade. No entanto, esta adaptação não reflete uma alta eficiência na absorção de nutrientes (razão entre matéria seca produzida por unidade de nutriente). As principais estratégias para evitar as condições adversas da acidez do solo são: aumento do pH da rizosfera pela própria raiz;



aumento dos queladores de Al e da atividade de ectoenzimas (fosfatases ácidas); deposição do Al nos vacúolos e aumento na superfície de contato com o solo das raízes através da infecção por micorrizas. Estes parcialmente diminuem a toxidez deste elemento, mas provavelmente impõe um alto custo energético em termo de alocação de fotossíntatos e conseqüentemente um crescimento mais lento (MARSCHNER, 1991; CUENCA et al. 1990).

A nutrição do P é um dos mais importantes fatores limitantes para o crescimento das plantas em solos ácidos. O solo varia em uma micro escala na disponibilidade de Al e P, tanto horizontalmente como em profundidade. As plantas adaptaram-se a essa situação, direcionando seu crescimento para as situações que lhe proporcionam maiores benefícios. Além disto, aumentam sua absorção através da solubilização do P pela excreção de ácidos orgânicos, e pela simbiose com micorrizas (KELTJENS, 1997).

FOY et al. (1978) reuniu em três grupos as plantas tolerantes ao Al. No primeiro, a concentração nas folhas não difere das plantas sensíveis ao Al, mas nas raízes as plantas tolerantes contém menos Al, relacionando este mecanismo a exclusão do mesmo. O segundo grupo, apresenta baixas concentrações de Al nas folhas e altas concentrações nas raízes. O terceiro grupo, compreende as plantas acumuladoras de Al, ou seja, as plantas que tem altas concentrações de Al nas folhas.

Uma divisão similar foi apresentada por GOODLAND E FERRI (1979), dividindo as plantas em: acumuladoras obrigatórias e facultativas, e não-acumuladoras tolerantes e sensíveis. As não-acumuladoras sensíveis, são aquelas plantas nas quais baixas concentrações de Al no solo são tóxicas. As não-acumuladoras tolerantes são plantas que possuem a capacidade de absorver nutrientes em presença de altas concentrações de íons Al no solo. As plantas acumuladoras facultativas são também tolerantes a altos níveis de Al, porém, em determinadas situações, elas o acumulam, enquanto que, em outras, não o fazem. As acumuladoras obrigatórias são aquelas plantas que sempre acumulam o alumínio em altos níveis em qualquer tipo de substrato.

Segundo FOY (1988), a tolerância ao Al é controlada por diferentes genes agindo dentro de diferentes características bioquímicas em diferentes plantas. As plantas tolerantes previnem o contato com o Al nas raízes, ou desintoxicam o Al antes de ele ser absorvido. A tolerância ao Al em algumas plantas pode envolver dois mecanismos em conjunto, a exclusão do Al e a desintoxicação interna. A

tolerância ao Al tem sido associada a vários aspectos, dentre eles: mudança do pH na zona da raiz; capacidade de troca catiônica da raiz; ligação do Al com sítios não metabólicos na raiz e na parte aérea; eficiência na absorção de P, Ca, Mg e Fe; atividade da fosfatase na raiz; concentração interna de Si; tolerância ou preferência a diferentes formas de N ( $\text{NH}_4$  ou  $\text{NO}_3$ ); e ácidos orgânicos.

TAYLOR (1995) postula a existência de um mecanismo de defesa contra o Al em nível celular, incluindo aquele que é relacionado a mecanismos externos limítrofes entre a passagem do Al pela membrana e/ou sua exclusão em sítios extracelulares, e ainda, aos mecanismos existentes dentre da célula de desintoxicação do Al. As células da planta acumulam Al mais rapidamente em cultura de células que as raízes intactas e células isoladas são mais sensíveis ao Al que os tecidos complexos. Este autor salienta que existem vários empecilhos técnicos em termos metodológicos para comprovar esta afirmativa, principalmente no que diz respeito a especiação e mensuração do Al na célula e a avaliação de sua toxidez.

A resistência ao Al pode ser dividida em dois mecanismos: o de exclusão das raízes e o que confere tolerância ao Al (KOCHIAN, 1995; MARSCHNER 1991).

### 2.5.1 Tolerância

Os mecanismos de tolerância ao Al foram menos estudados, e o conhecimento a este respeito é mais fragmentado (KOCHIAN, 1995).

A tolerância ao Al, atua em nível de simplasto, e provavelmente ocorre quando a resistência externa foi ineficiente. Algumas hipóteses podem ser levantadas a respeito deste mecanismo de resistência, dentre elas: quelação no citosol; compartimentação no vacúolo; evolução de enzimas tolerantes, e, elevada atividade enzimática (TAYLOR, 1995).

As espécies e genótipos de plantas variam largamente em relação à tolerância ao Al, e muitas destas diferenças são hereditárias. O entendimento dos mecanismos envolvendo a tolerância de Al ajuda na escolha das plantas à serem utilizadas em solos ácidos (MIYASAKA et al. 1989).

A tolerância a solos ácidos deve-se aos seguintes mecanismos: diferenças genotípicas na demanda interna de nutrientes, por ex. no caso do Ca, onde cultivares apresentam diferentes demandas de Ca (ex. tomate e ervilha); a retranslocação do N antes da abscisão foliar também é um importante mecanismo de

manter este nutriente na planta, variando também em diferentes genótipos; outro aspecto está relacionado à tolerância dos tecidos a presença do Al, como no caso das plantas acumuladoras, ou de plantas não acumuladoras que o ligam o Al à proteínas no interior da célula ou são compartimentadas nos vacúolos (MARSCHNER, 1991).

Vários relatos observam a presença do Al no interior da célula (ver item 2.3.2 localização do Al), LAZOF et al. (1994), salientam que em menos de 30 minutos de exposição, ocorre a incorporação do Al na célula. O Al no interior da célula esta submetido a pH neutro, portanto a baixas concentrações, mas não quer dizer que este não influa no metabolismo. O Al tem afinidade com uma infinidade de componentes da célula (nucleotídeos, RNA, DNA, proteínas, ácidos carboxílicos, fosfolípidios, flavonóides, antocianinas), ou seja, muito baixas concentrações de Al livre no simplasto é potencialmente tóxica (TAYLOR, 1991).

A desintoxicação do Al por exsudados não explica somente a proteção da raiz no apoplasto mas reduz a absorção no simplasto. A toxidez de formas complexadas de Al no simplasto, depende da estabilidade relativa do complexo Al/exsudados na raiz, comparado com os sítios de ligação com o Al no simplasto. A formação de complexos de Al com alta estabilidade está associada ao grande número de plantas tolerantes ao Al (HORST, 1995).

Faltam evidências diretas que a exsudação de malato esteja relacionada a redução intracelular de Al. Entretanto, tem sido proposto que a exsudação de ácidos orgânicos ou malato mantém baixos os níveis de  $Al^{3+}$  na rizosfera, desse modo proporcionando o refluxo do Al para fora das células da raiz (LAZOF et al. 1996).

Mais informações na distribuição sub-celular do Al na ponta das raízes, ajudariam a estabelecer a relativa importância do papel dos sítios no apoplasto e simplasto, e também, do papel da compartimentação do Al na resistência ou tolerância à síndrome de toxidez do Al. Infelizmente, investigações ultraestruturais que relatem a localização sub-celular do Al na ponta da raiz em crescimento, de espécies tolerantes, são escassas (VÁSQUEZ et al. 1999).

Estes autores realizaram observações ultraestruturais em uma variedade de milho tolerante ao Al, encontrando uma resposta a exposição de baixas concentrações de Al após 4 horas, mas com efeito na divisão das células da raiz somente depois de 24 horas. Após 4 horas, houve diminuição no crescimento da raiz, modificações na homeostase de cátions no apoplasto e a estrutura da parede celular foi severamente modificada. Houve também depósitos de complexos Al-P na

parede celular e aumento de Al nos vacúolos. Depois de 24 horas, tais efeitos não foram observados, ocorrendo a diminuição do Al na parede celular, e nos vacúolos, houve aumento de P e Si. Sugeriu-se a possibilidade do mecanismo de tolerância ocorrer nos dois níveis do apoplasto e simplasto.

Da mesma forma estes dois mecanismos são sugeridos por MA et al. (1998), no caso de "buckwheat" (*Fagopyrum esculentum*), através da secreção de ácido oxálico pelas raízes e exclusão do Al, e pela formação do complexo 1:3 Al-oxalato não tóxico no interior da célula.

Vários mecanismos internos de tolerância ao Al são relatados para plantas acumuladoras de Al.

#### 2.5.1.1 Plantas acumuladoras de Al.

As espécies acumuladoras de Alumínio são aquelas que apresentam concentrações foliares acima de 1.000 mg/Kg (CHENERY & SPORNE, 1976). Estes autores identificaram 37 famílias com representantes de espécies acumuladoras de um total de 259 famílias de dicotiledôneas (segundo a classificação de Diels), sendo a maior parte de espécies de hábito arbóreo. Ao relacionar as famílias acumuladoras de Al com caracteres evolutivos, concluíram que o acúmulo de Al é um caráter primitivo. CHENERY (1948), indicou as famílias Rubiaceae e Melastomataceae como as de maior número em termos de espécies acumuladoras de Al.

O chá (*Camellia sinensis*), espécie bastante utilizada comercialmente acumula mais de 30.000 mg.kg<sup>-1</sup> nas folhas maduras. Já as folhas novas apresentam conteúdos menores que 1000 mg.kg<sup>-1</sup>, sugerindo um processo lento de acumulação (MATSUMOTO et al. 1976).

Na região central do Brasil, onde predomina a vegetação do cerrado, foram encontradas várias espécies acumuladoras de Al, das famílias Melastomataceae, Rubiaceae e Vochysiaceae, com conteúdo nas folhas variando de 4300 mg.kg<sup>-1</sup> a 14120 mg.kg<sup>-1</sup> (HARIDASAN, 1982). MEDEIROS & HARIDASAN (1985), trabalhando nesta mesma região avaliaram a sazonalidade nos teores de Al de 4 espécies acumuladoras, encontrando teores mais baixos no período de maior pluviosidade.

Também no Cerrado, GEOGHEGAN & SPRENT (1996), analisaram os teores de Al de 40 espécies, metade delas sendo consideradas acumuladoras de Al, dentre elas, espécies da família Compositae, Rubiaceae, Melastomataceae e

Leguminosae. Nesta última, foram observadas muitas espécies com presença de nódulos na raiz. Os autores concluíram que apesar destas espécies nativas sobreviverem em solos com altas concentrações de Al, não apresentam sintomas de deficiência, e que os teores foliares de nutrientes não são significativamente diferentes entre espécies acumuladoras e não acumuladoras, embora os teores sejam considerados baixos se forem comparados com plantas agrícolas.

GOLLEY et al. (1980), analisando os nutrientes de 118 espécies de árvores da floresta tropical, encontraram 2459 ppm de Al nas folhas na média destas espécies, mas com uma alta variabilidade. Na raiz a média foi maior, 3021 ppm, com uma menor variabilidade. Esta alta variação nos teores de Al nas folhas está relacionada à plantas que acumulam grandes quantidades de Al. Estes autores fizeram uma média dos teores de Al nas folhas das famílias amostradas, onde as acumuladoras de Al, são: Melastomataceae (20.158 ppm), Monimiaceae (2.409 ppm), Myrtaceae (5.312 ppm), Rhizophoraceae (9.578 ppm), Rubiaceae (17.536 ppm) e Violaceae (11.139 ppm).

MAZORRA et al. (1987), avaliando os teores de Al e seu comportamento sazonal em espécies de uma comunidade onde predominam palmeiras, na Venezuela, dividiu estas espécies em 3 grupos. O primeiro, que apresenta os maiores teores de Al, com uma variação bimodal nos teores durante o ano, denominado de acumuladoras de Al perenes. O segundo, com teores maiores nas raízes do que nas folhas e apresentando teores mais elevados no final da estação de crescimento, foi denominado de acumuladoras de Al tardias. E o último, constituindo de espécies herbáceas onde os teores são mais baixos e oscilam próximo ao limite definido para as espécies acumuladoras (1000 ppm).

HARIDASAN et al. (1987), avaliaram o teor de Al e outros cátions nos tecidos de folhas de plantas acumuladoras de Al, em dois diferentes tipos de solo, concluíram que os altos teores de Al nas folhas não interferem na absorção e transporte dos outros cátions, encontrando um acúmulo maior de Al no floema.

HARIDASAN (1988), implantou um experimento utilizando solos calcáreo e ácido, com plantio de mudas de uma espécie acumuladora de Al (*Miconia albicans*). No solo de pH básico onde a disponibilidade de Al é baixa esta espécie não apresentou bom desenvolvimento, sugerindo que provavelmente o Al tenha um papel importante no metabolismo desta espécie.

CUENCA et al. (1990), avaliaram a tolerância ao Al de algumas espécies nativas de florestas de altitude do norte da Venezuela, incluindo uma espécie

acumuladora da família Rubiaceae (*Richeria grandis*). Esta espécie apresentou alto teor de Al na seiva e baixo pH (2,8), apresentando 35 % do teor de Al sob forma iônica. Estes autores sugeriram como possíveis mecanismos para neutralizar esta forma de Al na planta, a sua deposição em compartimentos como vasos do xilema, vacúolos e parede celular, a fim de não prejudicar o metabolismo no citoplasma.

Em pesquisa que analisa os teores de nutrientes das principais espécies, em diferentes compartimentos de uma floresta tropical úmida do Sri Lanka, JAYASEVERA (1992), encontrou uma média para os teores de Al das folhas do dossel superior de 92 mgkg<sup>-1</sup>. Já ao realizar uma amostragem no subosque, sem identificar as espécies de planta analisadas, encontrou um teor de 12.800 mgkg<sup>-1</sup>, tendo sido o único elemento, dos 17 analisados, que apresentou diferença significativa entre compartimentos. Os resultados obtidos por este autor, possivelmente indica a presença de espécies acumuladoras de Al somente no subosque.

Analisando os teores de nutrientes em Floresta Tropical Atlântica, BRITZ et al. (1997), encontraram uma média 1935 mgkg<sup>-1</sup> de Al nas folhas das 10 principais espécies desta floresta, sendo que ao retirar-se a espécie acumuladora esta média cai para 116 mgkg<sup>-1</sup>. A espécie acumuladora (*Faramea marginata*- Rubiaceae) apresenta 16.375 mgkg<sup>-1</sup> de Al nas folhas, sendo a espécie arbórea característica do subosque desta floresta.

Alguns mecanismos internos de tolerância ao Al em espécies acumuladoras tem sido descritos na literatura.

MARSCHNER (1991), salientou que o acúmulo de Al nas folhas não reflete alta tolerância ao Al, mas sim, o resultado da sua quelação na rizosfera e a translocação do Al quelado para o tecido da folha.

Em relação ao chá (*Camellia sinensis*), o processo de neutralização do Al é muito importante, devido a sua utilização como bebida. NAGATA et al. (1992), concluiu que nas folhas de chá o Al está ligado a uma proteína, a catequina. Entretanto, parte deste Al, está ligado também à ácidos orgânicos e fenóis. Posteriormente, NAGATA et al. (1993), sugeriram que o transporte do Al até as folhas é realizado por um complexo de Al com flúor, em um processo não metabólico, onde ao chegar às folhas este é modificado drasticamente.

A relação entre o Al e os pigmentos que proporcionam a coloração azul em uma planta acumuladora de Al a hortênsia (*Hydrangea macrophylla*) foi analisada por TAKEDA et al. (1985). MA et al. (1997), avaliaram o mecanismo interno de

desintoxicação do Al nesta planta, estando relacionado a formação de uma forte ligação entre o citrato e o Al. Entretanto, estes autores não localizaram onde ocorre tal processo se no citoplasma ou nos vacúolos, ou ainda, de que forma este Al é absorvido ou transportado para a folha.

Nas folhas e raízes de *Melastoma malabatricum* a principal ligação com o Al parece ser o ácido oxálico, formando complexos Al-oxalato (WATANABE et al. 1998).

## 2.5.2 Exclusão

O mecanismo de exclusão baseia-se no impedimento do Al ultrapassar a membrana plasmática e entrar no interior da célula. Sugere-se 6 mecanismos, dentre eles: imobilização do Al na parede celular ou baixa CTC da parede celular; permeabilidade seletiva da membrana plasmática; modificação do pH na rizosfera ou no apoplasma; exsudação de ligantes queladores; exsudação de fosfato, e, refluxo de Al (TAYLOR, 1995).

### 2.5.2.1 Mudanças do pH na rizosfera

Vários cultivares tolerantes ao Al aumentam o pH na solução nutritiva ou na rizosfera, decrescendo a solubilidade de formas tóxicas de Al. Em contraste, cultivares sensíveis não possuem tal capacidade, sendo afetados pela toxidez do Al, com apenas pequenas doses deste elemento. O mesmo ocorreu com genótipos de trigo avaliando-se o solo da rizosfera plantados em vasos (FOY et al. 1978).

O pH da rizosfera pode diferir do restante do solo em duas unidades, dependendo da planta ou dos fatores do solo. Os mais importantes fatores que induzem a mudança de pH na rizosfera são: o balanço da razão de absorção cation/anion; diferenças na liberação de  $H^+$  e  $HCO_3^-$  (ou  $OH^-$ ), e excreção de ácidos orgânicos (MARSCHNER, 1995).

Espécies crescendo no mesmo tipo de solo, apresentam diferenças no pH da rizosfera, devido a características genéticas particulares que induzem a diferentes razões de absorção de cátions e ânions (MARSCHNER, 1995).

A absorção das formas iônicas de nitrogênio também estão relacionadas às modificações do pH na rizosfera. As plantas absorvem N sobre 3 principais formas: ânion (nitrato), cátions (amônio), ou  $N_2$ . Para manter o balanço de cargas durante o

processo de absorção, íons  $H^+$  ou  $OH^-$  são excluídos para fora da raiz. O  $H^+$  é derivado da dissociação de ácidos orgânicos dentro da célula, e o  $OH^-$  da descarboxilação de ânions de ácidos orgânicos. A absorção de  $NH_4^+$  e fixação de  $N_2$  resulta na exclusão de íons  $H^+$ , e conseqüente diminuição no pH. A absorção de  $NO_3^-$  resulta na saída de íons  $OH^-$ , aumentando o pH da rizosfera. Em solos ácidos geralmente o N apresenta-se sob as duas formas ( $NH_4^+$  e  $NO_3^-$ ), a preferência por uma ou por outra, provavelmente é um fator importante em relação a tolerância ao Al (KELTJENS & ULDEN, 1987).

Em solos ácidos, a razão de nitrificação é menor do que em solos neutros, e plantas adaptadas a solos ácidos preferem  $NH_4^+$  se comparado ao  $NO_3^-$ , ou toleram altas concentrações de  $NH_4^+$ . Entretanto, este clássico conceito é baseado em experimentos realizados em solução nutritiva com altas doses de  $NH_4^+$ . Nos solos ácidos com altas temperaturas a forma  $NO_3^-$  é a forma dominante de suprir o N. A preferência na absorção de N sob forma  $NO_3^-$  junto com a alta atividade de nitrato redutase na zona apical da raiz, são os dois principais fatores responsáveis pelo aumento do pH na rizosfera nas espécies tolerantes a solos ácidos (MARSCHNER 1991).

HÄUSSLING et al. (1985), avaliando métodos não destrutivos para medir o pH na rizosfera, em *Picea abies*, encontraram em mudas de 4 anos de idade, em experimentos realizados em vasos, pH mais elevado na rizosfera quando este foi suprido com  $NO_3^-$  em relação a forma  $NH_4^+$ , da mesma forma que ocorre com plantas anuais. Em ambos os casos, o local de pH mais elevado, foi a ponta da raiz e a coifa. Estes autores, atribuem as modificações do pH ao longo da raiz desta espécie, as diferenças nas razões de absorção entre cátions e ânions, na razão de redução do nitrato, exudação de substâncias orgânicas e atividade de microorganismos na rizosfera, e o aumento do pH na ponta da raiz, à formação de muscilagem.

Já no trigo, foi encontrado um resultado diferente. O fornecimento de N na forma  $NO_3^-$ , proporcionou a diminuição no pH na zona apical (MARSCHNER & RÖMHELD, 1983). Estes concluem que o aumento ou diminuição do pH na rizosfera, através do suprimento de N sob a forma  $NO_3^-$ , varia conforme o substrato (solução nutritiva ou solo), os níveis adicionados, e a espécie de planta.

Muitas espécies tem preferência pela forma amoniacal sobre a nítrica quando ambas estão presentes, favorecendo a acidificação da rizosfera (KELTJENS, 1997). KELTJENS & LOENEN (1989), avaliando 5 espécies arbóreas em solução nutritiva,



encontraram preferência pela absorção da forma amoniacal, sugerindo que em solos ácidos a nitrificação geralmente é inibida com a conseqüente acidificação da rizosfera.

KLOTZ & HORST (1988) em experimentos realizados com soja, mantendo pH constante da solução nutritiva, indicaram uma maior tolerância desta espécie ao Al, quando o N foi fornecido na forma amoniacal, onde é necessária uma maior quantidade de Al para inibir o crescimento da raiz em relação a forma nítrica. Estes autores concluíram, que em relação a mecanismos de tolerância ao Al, as diferenças na absorção e assimilação de  $\text{NO}_3^-$  ou  $\text{NH}_4^+$  são mais importantes do que a indução de modificações no pH da rizosfera.

KELTJENS (1997), levanta a hipótese que no solo, ao contrário da solução nutritiva, a absorção destas duas formas de N, é função de sua abundância no solo, ou seja, quanto maior a quantidade no solo, maior é a absorção, e não pela preferência fisiológica da planta. GIJSMAN (1991), salienta que a razão de absorção  $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$  é dependente da umidade do solo, aumentando de 2,3 a 5,6 a medida que aumenta a umidade. *Pseudotsuga menziesii*, também apresenta preferência em absorver o amônio em condições de solo úmido. A absorção do amônio está relacionada a umidade do solo em função de sua baixa mobilidade (GIJSMAN & NOORDWIJK, 1991)

Estudos baseados na adição de diferentes formas N em solução nutritiva ou em areia tem concluído que o aumento do pH, não tem muita importância no aumento a tolerância do Al (MARSCHNER, 1991; HARIRIAH et al. 1994).

As mudanças no pH da rizosfera afetam a nutrição das plantas. Sua diminuição, pode promover a excreção de ácidos orgânicos, que promovem a desintoxicação do Al por complexação, aumentando a solubilização do P (MARSCHNER, 1995b). Outros nutrientes influenciados por mudanças no pH da rizosfera, são o Fe, Mn, N, Ca e Mg (MARSCHNER et al. 1986; MARSCHNER, 1995).

Em alguns experimentos com espécies florestais, observou-se uma maior tolerância ao Al, em pH mais baixo, na presença de quantidades moderadas de Al. Quando aumentava-se consideravelmente os teores de Al na solução, esta diferença na toxidez em relação ao pH, não ocorria (GODBOLD et al. 1995; KELTJENS 1990). GODBOLD & JENTSCHKE (1998), em *Picea abies*, em baixo pH (3,2), encontraram uma diminuição do Al no apoplasto, sugerindo um efeito amenizador da toxidez do

Al por prótons. De outra forma pode ter havido diminuição de formas mais tóxicas de Al na solução como espécies de  $Al_{13}$  e Al-OH.

O mecanismo de aumento do pH na rizosfera como forma de excluir formas tóxicas do Al foi bastante salientado na literatura e conceitualmente é bastante atrativo, mas ainda não apresenta evidências convincentes em relação a exclusão do Al. Muitos dos estudos realizados enfocam a raiz como um todo e não locais específicos como a coifa, indicada como principal sítio de toxidez do Al (KOCHIAN 1995).

Segundo KELTJENS (1997), a adaptação das plantas a solos ácidos não está relacionada a capacidade específica da mudança do pH na rizosfera, mas sim a mecanismos como exsudação de ácidos orgânicos e infecção por micorrizas, que são mais efetivos.

#### 2.5.2.2 Excreção de queladores pela raiz

Os exsudados da raiz compreendem substâncias orgânicas de elevado e baixo peso molecular. Os mais importantes solutos de elevado peso molecular são mucilagens e ectoenzimas, e os de baixo peso molecular são ácidos orgânicos, açúcares, compostos fenólicos e aminoácidos (MARSCHNER, 1995).

Complexos bioquímicos e compostos queladores normalmente tem uma existência transitória no solo e em ambientes aquáticos. As quantidades encontradas em determinado tempo representam a dinâmica do balanço entre a síntese e destruição por microorganismos (STEVENSON, 1986).

As quantidades mensuráveis usualmente podem ser encontradas nos locais favoráveis à proliferação de microorganismos, dentre eles a rizosfera e horizontes de solo ricos em matéria orgânica. Os seguintes compostos e suas principais fontes, são importantes na complexação com o Al: ácidos cítrico, málico e tartárico - são produzidos por bactérias na rizosfera, na decomposição de resíduos de plantas, em exsudados da raiz, em extratos aquosos da serapilheira e do gotejamento do dossel; ácidos oxálicos - são produzidos por fungos nos solos florestais, incluindo fungos micorrízicos, particularmente abundantes em solos ácidos; ácidos fenólicos - formados pela decomposição de plantas (lignina), abundantes no gotejamento do dossel florestal e lixiviados da serapilheira, envolvendo a mobilização e transporte de Al em solos ácidos, e; fenóis poliméricos - presentes em altas quantidades nos lixiviados da serapilheira (VANCE et al., 1996).

A excreção de ácidos orgânicos que quelam o Al na rizosfera tem sido salientado como um importante mecanismo de tolerância a solos ácidos. SUHAYDA & HAUG (1986), sugerem que a presença do ácido cítrico e málico em concentrações suficientes na raiz previnem a toxidez do Al em nível celular, sendo que cada um destes ácidos atua de diferentes formas em diferentes espécies de planta (MA et al. 1997).

Os ácidos orgânicos estão relacionados a uma série de processos que ocorrem na rizosfera, incluindo aquisição de nutrientes, desintoxicação de metais, amenização de estresses anaeróbios na raiz, dissolução de minerais e atração de patógenos. Na raiz estes ocorrem tanto no citoplasma quando nos vacúolos da célula, com uma maior concentração neste último, podendo ocupar de 15 a 90 % do volume da célula. A zona apical da raiz, é o principal local de armazenamento dos ácidos orgânicos, parecendo ser o sítio de produção destas substâncias (JONES, 1998).

MIYASAKA et al. (1991) encontraram 10 vezes mais ácido cítrico em genótipos de feijão tolerantes ao Al, do que em relação aos sensíveis ao Al. Cultivares de trigo mais tolerantes, apresentaram exsudação mais elevada de ácido málico (DELHAIZE et al. 1993; PELLET et al. 1996). Outros exemplos podem ser citados, dentre eles, ácido cítrico no milho (PELLET et al. 1995), ácido cítrico em *Cassia tora* (MA et al. 1997), ácido oxálico em "buckwheat" (ZHENG et al. 1998; MA & MIYASAKA, 1998), dentre outros.

ZHENG et al. (1998), sugerem que a exsudação de ácidos orgânicos apresenta uma secreção contínua durante longos períodos e em níveis altos. Esta ocorre principalmente no ápice da raiz, local de maior sensibilidade ao Al, e declina com a maturidade da raiz (KELTJENS, 1997).

O mecanismo de exclusão não necessariamente deve ocorrer fora da raiz (HEIM et al. 1999). Os ácidos orgânicos agem neutralizando o Al que causa toxidez em determinados sítios sensíveis do apoplasto, excluindo o Al de sítios sensíveis do simplasto (HORST, 1995).

O efeito dos ácidos orgânicos na quelação do Al pelas árvores foi pouco estudado. Em várias espécies de *Pinus*, SMITH (1969), encontrou respostas diferentes para exsudação de ácido, acético, oxálico e succínico. Os dois primeiros em altas quantidades. DAHLGREN et al. (1991), discutem a co-precipitação do Al com oxalato e fosfato como possível mecanismo de retenção do Al nas raízes finas de *Tsuga mertensiana* e *Abies amabilis*.

HEIM et al. (1999) não detectou influência de ácidos orgânicos como mecanismo de tolerância ao Al em *Picea abies*. Sugerem que talvez esta ocorra através da complexação com substâncias fenólicas presentes na superfície da raiz e da precipitação com fosfato. Esta imobilização do Al possivelmente ocorra no apoplasto das células da raiz.

Recentemente, pesquisas relacionadas a modificações genéticas vem sendo realizadas nesta área. Plantas de fumo e mamão transgênicas, foram alteradas para introduzir o gene de citrato sintetase, aumentando a produção de ácido cítrico, resultando em aumento na resistência a toxidez do Al nestas duas plantas (FUENTE et al. 1997).

A superfície da raiz, principalmente na zona apical, pode ser coberta por uma substância gelatinosa de alto peso molecular, que constitui de 20 a 50 % de ácidos poliurônicos, dependendo da espécie de planta. Esta foi denominada de mucigel e é constituída, por uma mistura desta substância gelatinosa, com microorganismos e partículas do solo (MARSCHNER, 1995a).

Tem sido proposto que a pectina (ácido poligalacturônico), presente na parede celular e excretada sob a forma de mucilagem na raiz, desempenha um importante papel na inibição da toxidez do Al (OSTATEK-BOCZYNSKI et al. 1995). Estes autores sugeriram que a ligação Ca-pectato, mais do que a pectina é responsável pela ligação do Al na parede celular das células da raiz, e conseqüentemente desempenha um papel importante na toxidez do Al nas plantas.

HORST et al. (1992), demonstraram que 50 % do Al total dos últimos 5 mm da ponta da raiz está ligado a mucilagem. Removendo-a antes do tratamento com Al, facilita a entrada de Al na raiz, tornando-a mais sensível a este elemento.

De outro modo, o desaparecimento da mucilagem na região da coifa da raiz de trigo, é o primeiro sintoma visual da toxidez do Al. A deposição da mucilagem não ocorre, devido a inibição de seu transporte das vesículas, onde esta é armazenada (PUTHOTA et al. 1991). Também em trigo, ARCHAMBAULT et al. (1996), encontrou que 25 a 35 % do Al está ligado a mucilagem na raiz, e que a cinética de absorção do Al acontece em duas fases, a primeira fase ocorrendo nos primeiros 30 minutos, e uma segunda fase linear mais lenta.

Já LI et al. (2000), embora tenham encontrado uma intensa ligação da mucilagem com o Al nas raízes de milho, na qual não é fitotóxica em termos de induzir a morte de células e a formação de calose, sua presença não influenciou em termos de crescimento da raiz. Já as raízes de trigo, mesmo com a mucilagem, na

presença do Al, houve diminuição em seu crescimento. Entretanto, estes autores salientam que na solução nutritiva a capacidade de ligação da mucilagem com o Al foi baixa para conferir uma proteção, mas que nos solos esta deve ser investigada. MARSCHNER (1995a), citando HORST et al. (1990), indicam que ocorre um aumento na produção de mucilagem com o contato mecânico no solo, sendo que este fator pode conferir maior tolerância do Al das raízes que crescem no solo, em relação as que crescem em solução nutritiva.

A mucilagem apresenta também uma infinidade de funções biológicas, dentre elas: proteção das zonas apicais da raiz contra dessecação; lubrificação quando do movimento pelo solo; facilitação ou restrição na absorção de íons; interação com as partículas do solo; aumento do contato entre solo e raiz; e aumento da agregação do solo na rizosfera (MARSCHNER, 1995a,b).

A excreção de substâncias orgânicas na rizosfera influencia na absorção e solubilidade de uma série de nutrientes, como exemplo, atuando na redução do Fe e Mn na rizosfera, na complexação do Al e no aumento na atividade de fosfatase ácida (DINKELAKER et al. 1993).

A grande superfície das raízes é inerente ao genótipo influenciando na absorção do P. A presença de fosfatases na rizosfera permite a utilização de P. O aumento da população de microorganismos na rizosfera, e conseqüente excreção de substâncias orgânicas, também representa um mecanismo de adaptação aos solos ácidos (MARSCHNER, 1991).

Os ácidos orgânicos influenciam na liberação do P e do Al na superfície das partículas do solo, formando complexos estáveis com o Al. A ocorrência e posição dos grupos funcionais carboxílicos e fenólicos determinam a capacidade de complexar Al (SCHNITZER & SKINNER, 1985).

GERKE (1992), analisando a liberação de fosfato, Al e Fe em três tipos de solo, em relação a várias concentrações de ácido cítrico, encontrou uma maior solubilização destes elementos na presença deste ácido, com um efeito mais pronunciado em Espodossolos, em que o P está ligado a matéria orgânica.

### 2.5.2.3 Micorrizas

As micorrizas são associações mutualísticas formadas por fungos de solo e raízes de plantas. Em relação as características morfológicas da colonização das raízes pelo fungo, tais associações podem ser agrupadas em endomicorrizas

(micorrizas vesicular-arbuscular - MVA), ectomicorrizas e ectoendomicorrizas (LOPES et al. 1983).

De acordo com a terminologia corrente as MA (micorrizas arbusculares), são endomicorrizas porque os fungos se desenvolvem internamente em uma raiz hospedeira em suas estruturas intracelulares (BONFANTE & PEROTTO, 1995).

As ectomicorrizas (EM) ocorrem nas florestas de coníferas nas regiões boreais, temperadas, em altas altitudes em regiões tropicais, em regiões áridas e semiáridas, nas florestas de Eucaliptus da Austrália, e nas florestas tropicais da Malásia e nordeste da Austrália. As florestas do sudoeste da Ásia misturam MA/EM. Na maior parte das florestas tropicais úmidas e decíduas da América do Sul, África e Índia, predominam as MA (ALLEN et al. 1995).

Os fungos EM são relativamente seletivos em relação a planta hospedeira, no entanto, os MA tendem a ser generalistas. Os primeiros tem alta diversidade de espécies, já as MA apresentam baixa diversidade de espécies (aproximadamente 150) mas alta diversidade fisiológica, onde mesma espécie pode conceder diferentes benefícios fisiológicos (ALLEN et al. 1995).

Em condições naturais 90 % das plantas terrestres formam micorrizas. Mais de 6000 espécies de fungo são capazes de estabelecer micorrizas com aproximadamente 240.000 espécies de planta. As MA são as mais comuns ocorrendo em 80 % das espécies de planta (BONFANTE & PEROTTO, 1995).

As MA, invadem as raízes hospedeiras com um grande volume de tecidos fúngicos, interagindo com o metabolismo da planta, que fornece uma série de carboidratos. Sua presença na raiz influencia positivamente em uma série de processos fisiológicos. Na maioria das vezes o primeiro efeito observado é o fornecimento de fosfato aumentando o crescimento da planta. As hifas externas exploram um grande volume de solo e absorvem o fosfato disponível na região de entorno da raiz. O fosfato é levado por um sistema de transporte bem desenvolvido até os arbúsculos intercelulares, através de enzimas especializadas (GIANINAZZI-PEARSON & GIANINAZZI, 1983).

Outros aspectos são salientados em relação a importância destes organismos, tais como: possuir papel importante na agregação do solo (TINSDALL, 1994), decréscimo da severidade de doenças causadas por fungos fitopatogênicos, aumento na nodulação e fixação de N atmosférico, tolerância maior a estresse de água, aumento na produção de hormônios nas plantas, modificações de ordem

anatômica e fisiológica no hospedeiro proporcionando melhor adaptabilidade da planta às condições ambientais adversas (LOPES et al. 1983).

O inoculo das MA é constituído por esporos e esporocarpos, micelium, raízes micorrizadas intactas ou fragmentadas. Existem informações sobre a germinação de esporos em laboratório, mas em campo estas são escassas. Em experimentos de laboratório, são fatores importantes para a germinação, a temperatura, pH e ambiente iônico. Os esporos podem ser armazenados em condições de viabilidade por longos períodos em ambiente seco. A germinação parece não ser influenciada pela presença de uma raiz hospedeira. Em geral, depois de uma série de condições favoráveis de temperatura e umidade, a germinação inicia-se decorridos alguns dias (SANDERS & SHEIKH, 1983).

A infecção ocorre através de propágulos no solo ou de raízes vizinhas micorrizadas. Em condições específicas os propágulos germinam e o micélio produzido só poderá crescer extensivamente se a infecção for estabelecida (SANDERS & SHEIKH, 1983).

A quantidade de infecção é usualmente medida pela proporção do comprimento da raiz que é colonizada por hifas de MA (BAREA, 1991).

A ocorrência de micorrizas em florestas tropicais como componente importante destes ecossistemas é salientada por muitos autores (JANOS, 1980; FOGEL & HUNT, 1983; JORDAN 1985; ALSOPP & STOCK, 1993). Estes ecossistemas geralmente com solos de baixa fertilidade são extremamente dependentes da ciclagem de nutrientes, onde na trama de raízes dos solos, as micorrizas e outros fungos desempenham papel importante para evitar perdas de nutrientes no sistema, propiciando maior facilidade e rapidez na decomposição de matéria orgânica e na absorção dos mesmos. STARK & JORDAN, 1978, comprovaram que certos nutrientes provenientes da matéria orgânica e da chuva depositados no solo, movem-se diretamente para as raízes sem passar para o solo mineral (STARK & JORDAN, 1978). As raízes ao entrarem em contato direto com a serapilheira em decomposição, através de mecanismos de exsudação, absorção direta ou transferência através de micorrizas, retiram nutrientes essenciais, além de acelerar a velocidade de decomposição (LUIZÃO & SCHUBART, 1986).

Acredita-se que nas florestas tropicais em ambientes de acidez elevada os fungos sejam os microorganismos decompositores predominantes enquanto as formigas e os cupins desempenham papel fundamental na quebra e mistura da serapilheira com o solo (LUIZÃO, 1982). Através de um processo intenso de

decomposição devido a elevada umidade e temperatura, ocorre uma solubilização rápida dos nutrientes, que em seguida, estariam disponíveis as plantas, e com ajuda de uma densa rede de raízes e uma intensa atividade de micorrizas seriam prontamente absorvidos (JORDAN, 1985).

A constatação da existência de MA em solos arenosos na planície litorânea, e sua importância ecológica no sistema foi observada nos estudos de TRUFFEN et al. (1989) e TRUFFEN (1990 a e b), na Ilha do Cardoso, Estado de São Paulo, representando ambientes similares aos encontrados na Ilha do Mel tanto a nível florístico, como de estrutura e funcionamento.

A infecção por micorrizas afeta a nutrição mineral da planta hospedeira, diretamente aumentando seu crescimento através da aquisição de nutrientes pelos fungos, ou indiretamente modificando as taxas de transpiração e a composição da microflora da rizosfera (MARSCHNER & DELL, 1994).

O aumento na absorção de P em plantas micorrizadas é consagrado na literatura. Para tanto, foram sugeridos alguns mecanismos, que incluem: exploração de um maior volume do solo; rápido movimento do P nas hifas das micorrizas; e, solubilização do P no solo. Esta última é atribuída a exsudação de ácidos orgânicos e fosfatases. Plantas com micorrizas aumentam a absorção de fosfato em locais com baixas fontes de P, dentre elas fosfatos de Fe e Al e fosfato de rocha (BOLAN, 1991).

Quando aumenta a quantidade de P no solo a infecção pelas MA diminui, provavelmente porque para a planta, o custo do carbono na simbiose não é compensado pelos efeitos benéficos (MARSCHNER & DELL, 1994).

Ao lado da facilitação na absorção de P, as MA também aumentam a absorção de N e Cu. O mecanismo parece ser similar ao do P, envolvendo o transporte da rede de hifas até a raiz. Para o N, o nitrato é mais móvel, mas os íons amônio (dominante em solos ácidos) são mais fortemente absorvidos pelos solos e se difundem mais lentamente (NEWSHAM et al. 1995).

Em leguminosas a presença de MA aumenta a nodulação e correspondente aumento na fixação de N<sub>2</sub>. No caso das MA existe indicativos que a forma preferencial de absorção é a amoniacal, podendo ocorrer diminuição no pH na interface entre hifa e solo (MARSCHNER & DELL, 1994).

É factível que as MA aumentem a absorção de K, Cu e Zn em muitos solos, mas sua contribuição na nutrição de Mg, B e Fe não está bem substanciada (MARSCHNER & DELL, 1994).



Em geral não existe correlação entre micorrizas e pH do solo, é sabido que dependendo do pH algumas espécies de micorrizas são favorecidas, ou que o pH do solo modifica a solubilidade dos nutrientes, podendo indiretamente influenciar na formação e/ou atividade das MA (BAREA, 1991).

Em solos ácidos de baixa fertilidade os efeitos nutricionais das MA, aumentam a absorção de N, P, Zn e Cu e diminuem a absorção de Mn, além de proteger a planta por efeitos causados pela toxidez de Al e Mn (SIQUEIRA & MOREIRA, 1997).

Além das micorrizas, os microorganismos do solo são de grande importância na nutrição das plantas em solos ácidos. A raiz excreta grandes quantidades de C no solo, aumentando a população de microorganismos, principalmente na região da rizosfera. Estes microorganismos influenciam na absorção de alguns nutrientes (ex. Mn e N), alterando indiretamente a morfologia e fisiologia da raiz (MARSCHNER, 1991).

Na literatura são bastante escassos os dados em relação a interação do Al com as MA. LAMBAIS & CARDOSO (1988), sugeriram um efeito inibidor da germinação de esporos e colonização por micorrizas. SIQUEIRA & MOREIRA (1997), salientaram que plantas adaptadas a solos ácidos são fortemente micorrizadas, mas com um número de espécies restrito e adaptadas a estas condições, desta forma, protegendo a planta contra efeitos tóxicos de Al e Mn.

## 2.6 TOXIDEZ DO Al EM ÁRVORES

As pesquisas com o alumínio em ecossistemas florestais, tem sido intensificados no intuito de identificar degradação das florestas da América do Norte e da Europa em função da chuva ácida. Estes trabalhos foram realizados em casas de vegetação, para avaliar a tolerância das espécies arbóreas a diferentes níveis de Al, sendo realizados tanto em solos como em hidroponia (JOSLIN & WOLF, 1989; NOSKO et al. 1988; DEWALD et al. 1990; KUHN et al. 1995). Na procura de aproximar-se das condições de campo, estudos interdisciplinares no sudeste da Alemanha, foram realizados induzindo chuvas ácidas artificiais na floresta, através de irrigação (KREUTZE & WEISS, 1998).

GODBOLD et al. (1988), indicaram como maior causa do declínio das florestas na Alemanha, a acidificação do solo e conseqüente solubilização do Al. Em experimentos utilizando solução nutritiva, ocorreu uma drástica inibição no

crescimento das raízes de *Picea abies*, expostas ao Al, com conseqüente deslocamento do Ca e Mg do apoplasto nas células do córtex da raiz. Nesta mesma espécie GODBOLD et al. (1995), avaliando a resposta do Al em soluções variando em termos de pH (3,2, 4 e 5), encontraram teores mais altos de Al na raiz a medida que o pH aumentou, e também, quantidades maiores nas pontas da raiz. O aumento nos teores de Al foi relacionado ao aumento de Al na parede celular das células do córtex da raiz.

Segundo KREUTZER & WEISS (1998), são claras as evidências em relação as respostas ao estresse perante ao Al, através dos danos a raiz e conseqüente inibição em seu crescimento, nos experimentos realizados em solução nutritiva com diferentes níveis de Al monomérico e razões Ca/Al. Entretanto, estes resultados não podem ser transferidos para o campo, pois não levam em consideração o efeito da rizosfera, incluindo a formação de micorrizas.

O efeito da toxidez do Al está relacionado as quantidades aplicadas. GÖRANSSON & ELDHUSET (1987), avaliando o crescimento de *Betula pendula* em solução nutritiva, encontraram uma redução no crescimento a partir de doses de 3mM de Al, sendo que concentrações maiores que 15mM foram letais. Os autores concluíram que a diminuição no crescimento ocorre somente em altas concentrações de Al, e que não existe razão para sugerir que o Al limite o crescimento desta espécie nos solos ácidos em condição natural. ILVESNIEMI & FREER-SMITH (1992), em *Pinus taeda* e *Picea abies*, relacionaram a toxidez do Al às condições nutricionais destas espécies, ou seja, quando bem supridas de nutrientes o Al não proporcionou efeitos negativos em seu crescimento. Em condições de campo, modificações ocorridas no solo pela chuva ácida, como diminuição de bases e aumento da disponibilidade de Al podem ocasionar diminuição no crescimento.

Experimentos realizados com chuva ácida artificial realizados na Noruega e Suécia não apresentaram indicações claras em relação a toxidez do Al, indicando apenas em alguns casos a ocorrência de deficiência de Mg, em função da lixiviação de cátions, e a redução do crescimento por algum tempo depois da irrigação em função de efeitos competitivos com a população de microorganismos do solo (KREUTZER & WEISS, 1998).

Da mesma forma no sul da Alemanha, a irrigação ácida causou diminuição no crescimento da raiz, mas não correlacionou-se com a concentração de Al ou a razão molar entre Ca e Al na solução do solo, e sim, com altas concentrações de

prótons ( $H^+$ ) na água de irrigação (HAHN & MARSCHNER, 1998). WISSMEIER et al. (1998), na mesma área e no mesmo experimento, concluíram que em condições de campo para avaliar o suplemento de Al a formação de calose é um parâmetro mais sensível que o comprimento da raiz.

Os trabalhos realizados nestas regiões apresentam uma infinidade de condições experimentais, espécies e objetivos, não havendo um padrão no que diz respeito aos resultados obtidos, indicando que o Al afeta as espécies de árvores de forma diferente conforme as espécies e situações.

A relação entre acidificação do solo, conteúdo de Al e declínio das florestas é afetada por diversos fatores, incluindo o local e as espécies. Solos rasos com área restrita para o desenvolvimento da raiz são mais vulneráveis. Quantidades de 1 a 2 mg por litro de Al na solução do solo podem causar danos no sistema radicular. Estas quantidades podem variar até 160 mg, conforme os teores de Ca no solo (ROY et al. 1988).

VOGT et al. (1987a e b) avaliando a concentração de Al em ecossistemas florestais não perturbados com predomínio de *Abies amabilis* e *Tsuga mertensiana*, observaram que a maior parte do Al se concentra nas raízes. Este componente representa 66 % da produção anual líquida deste ecossistema e como as concentrações de Al na raiz são altas, 82 % dos reservatórios biológicos de Al são recirculados anualmente. Como grande parte do Al tóxico concentra-se na raiz, a senescência das raízes representa um mecanismo efetivo de remover o Al dos tecidos vivos.

No Brasil, estudos sobre a toxicidade de Al em árvores, foram realizados por NEVES et al. (1982a), testando o efeito de cinco níveis de Al sobre o crescimento e absorção de nutrientes em quatro espécies de eucalipto. Os autores classificaram as espécies, quanto ao efeito de toxidez do Al em relação ao crescimento da raiz e parte aérea. *Eucalyptus cloeziana* foi a espécie mais suscetível a toxidez, com um nível superior de Al na parte aérea, e níveis inferiores de P na parte aérea e nas raízes.

NEVES et al. (1982b), testaram em casa de vegetação o efeito da alta saturação do Al em dois latossolos, através aplicação de corretivos em 3 espécies de eucalipto. O peso da parte aérea e das raízes e o conteúdo de P, K, Ca, e Mg na parte aérea, não apresentou diferenças significativas. VALE et al. (1982;1984) e COSTA (1986), analisaram o efeito do Al sobre a forma de nutrição quanto ao nitrogênio em *E. alba* e *E. grandis*. A forma amoniacal foi mais absorvida que a

nítrica, não modificando o pH do meio, sendo que a aplicação de Al apresentou uma tendência em aumentar a absorção da forma nítrica.

Estudos em espécies tropicais são bastante escassos. BUENO et al. (1988; 1989a; 1989b) realizaram estudos em solução nutritiva, com o propósito de comparar os efeitos de doses crescentes de Al sobre o desenvolvimento de plantas de seringueira. Os autores concluíram que o desenvolvimento das plantas foi afetado a partir de 15 ppm de Al na solução, provocando distúrbios nutricionais na planta.

PAVAN & BIRGHAM (1982), avaliaram a toxidez do Al em mudas de café em solução nutritiva. O desenvolvimento da parte aérea e da raiz apresentou decréscimo progressivo com os tratamentos de Al, apresentando vários sintomas de toxidez. Os autores relacionaram estes resultados a alta atividade do  $Al^{3+}$ . BRACCINI et al. (1998a e b), estudaram nove genótipos desta espécie, observaram uma redução no comprimento da raiz principal, altura das plantas, na área foliar e aumento de raízes secundárias, com o aumento das concentrações de Al em solução nutritiva.

Em um ensaio em vasos, SIMÕES et al. (1973), testaram *Araucaria angustifolia*, a doses crescentes de Al, avaliando a altura total e o diâmetro do colo. Decorridos 1 ano de experimento, concluíram que na dose moderada (1,00 e.mg de Al) a espécie mostrou-se tolerante ao Al, e, doses maiores foram prejudiciais ao crescimento.

CUENCA et al. (1990), estudaram 15 espécies arbóreas de uma floresta nebulosa no nordeste da Venezuela, incluindo espécies acumuladoras de Al, em solos bastante ácidos e com alta disponibilidade de Al, concluíram que, as árvores crescendo naturalmente neste ambiente, mostram uma série de mecanismos de tolerância, dentre eles, deposição do Al em vacúolos, quelatação do Al e alcalinização da rizosfera.

### 3 METODOLOGIA

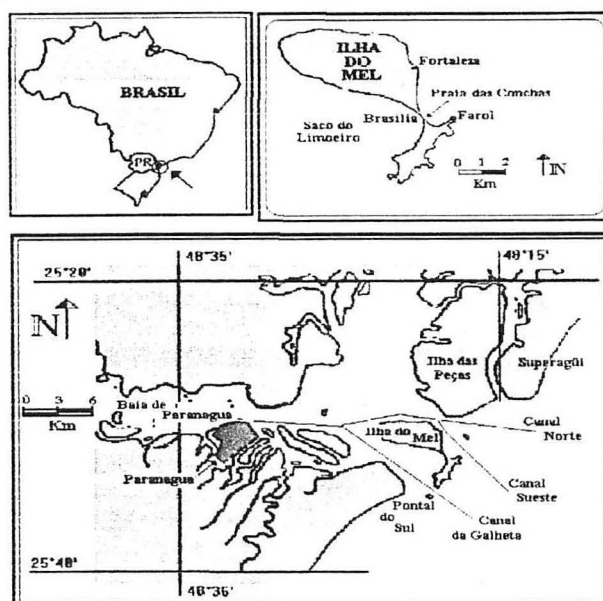
Para testar duas espécies (*Tapirira guianensis* e *Faramea marginata*), frente a diferentes doses de Al, foram conduzidos três experimentos. O primeiro foi implantado no interior da floresta, onde ocorrem naturalmente estas espécies; os outros dois em casa de vegetação, utilizando-se de rizotrons e hidroponia.

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL

Visando avaliar o desenvolvimento das espécies em uma situação próxima a do ambiente natural, o primeiro experimento foi implantado no interior de uma Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas (segundo a classificação de VELOSO et al. (1991)), localizada na Ilha do Mel.

A Ilha do Mel situa-se no litoral do Estado do Paraná, Brasil (figura 1), fazendo parte do município de Paranaguá, com coordenadas: 25° 30' S e 48° 20' O; tem perímetro aproximado de 35 km e área de 2762 ha.

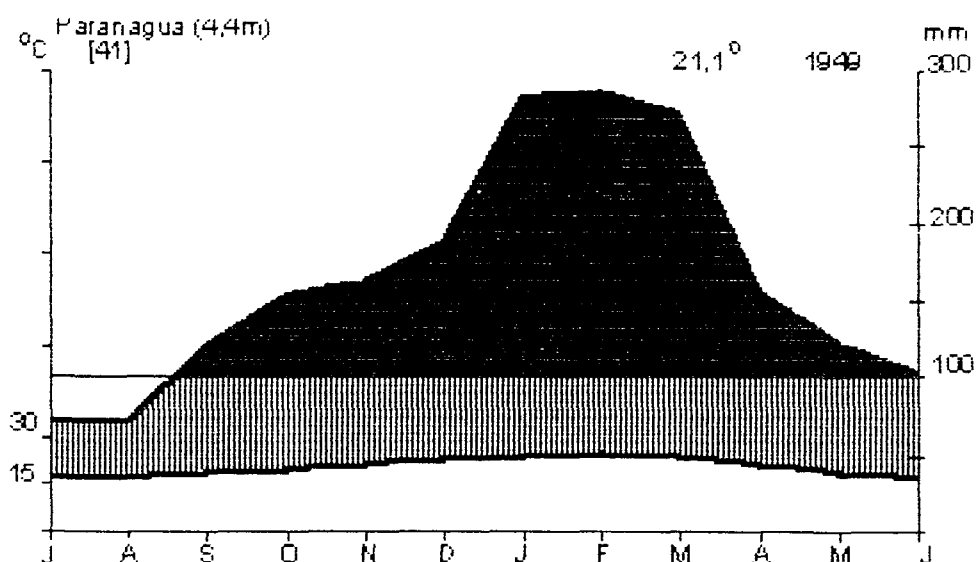
**FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**



O clima é de transição entre a região tropical e sub-tropical (MAACK, 1981), pertencendo a zona climática Af, segundo a classificação de Köppen. As cartas climáticas, elaboradas pelo IAPAR (1978), caracterizam o clima como mesotérmico, superúmido, sem estação seca e isento de geadas. A temperatura média anual para a região (período de 40 anos) foi de 21,0 °C, sendo a média mensal mais alta

registrada em fevereiro ( $25,1^{\circ}\text{C}$ ), e a mais baixa em julho ( $17,3^{\circ}\text{C}$ ). A precipitação anual média medida durante um período de 41 anos foi de 1959 mm, sendo que as maiores pluviosidades médias ocorrem de janeiro a março, e as menores em julho e agosto (SILVA, 1990). O diagrama climático de Walter (figura 2) ilustra as variações sazonais da temperatura e pluviosidade (médias de 41 anos), no posto meteorológico de Paranaguá, que dista aproximadamente 20 km em linha reta da área de estudo.

**FIGURA 2 - DIAGRAMA CLIMÁTICO DE WALTER DA ÁREA DE ESTUDO**



Através da avaliação do balanço hídrico seqüencial de 15 anos, SILVA, (1990) e BRITZ (1994), observaram uma existência esporádica de déficit hídrico. Quando da ocorrência do evento, a água do solo era repostada imediatamente com as primeiras chuvas, apresentando períodos curtos de duração.

Na Ilha do Mel distinguem-se duas áreas bem características em relação a sua geologia, a dos morros, formada por rochas do embasamento ou escudo cristalino, e a da planície, que corresponde à maior parte da Ilha, formada por sedimentos marinhos depositados no período holocênico (ANGULO, 1992).

A área deste estudo, encontra-se na Estação Ecológica da Ilha do Mel, a uma distância de aproximadamente 100 metros do mar. O solo desta área foi classificado como podzol, álico, fortemente ácido, de textura arenosa, onde a profundidade do horizonte B iluvial está relacionada com a faixa de oscilação do lençol freático. Em termos de fertilidade caracteriza-se pela baixa CTC, alta potencialidade de lixiviação, fazendo com que a matéria orgânica seja a principal

responsável pela retenção de íons no solo. Ocorrem também dois compartimentos distintos de nutrientes, um no horizonte A1, e outro, no B iluvial (BRITTEZ et al. 1997). Avaliando-se as características químicas de dois perfis de solo (anexo 1, p. 194), BRITTEZ et al. (1997), consideraram o solo de baixa fertilidade, no entanto, a floresta apresenta bom desenvolvimento.

No estudo realizado por MENEZES-SILVA (1998), a área estudada está enquadrada na classe de floresta fechada inundável, caracterizada por apresentar 3 estratos: um inferior, constituído principalmente por indivíduos jovens do estrato superior, um intermediário, que além de jovens do dossel ocorrem espécies arbustivas e arbóreas adaptadas à sombra (ciófilas), e um superior, com árvores atingindo alturas de mais de 20 metros. Este autor, realizou um estudo quantitativo nesta área, designando-a em uma sub-classe de floresta fechada periodicamente inundável. O estrato médio e superior desta floresta apresenta, respectivamente, 37 e 54 espécies, 4,13 e 36,87 m<sup>2</sup>/ha de área basal e densidade total de 2106 e 1666 indivíduos/ha. *Faramea marginata* é a espécie que apresenta maior valor de importância na análise fitossociológica para o estrato médio e *Tapirira guianensis* no estrato superior. A primeira representa 32,5 % em termos de número de indivíduos (687 ind/ha), e 30,5 % da área basal do total de indivíduos deste estrato. *T. guianensis* representa 9,4 % (157 ind/ha), e 23,7 % da área basal do total de indivíduos do estrato superior. *F. marginata* também é a terceira em termos de valor de importância na análise do estrato superior sendo a maior em número de indivíduos (253 ind/ha).

Em suma, na estrutura desta floresta, *T. guianensis* apresenta indivíduos de grande porte (mais de 20 metros de altura) bem distribuídos por toda a floresta, fazendo parte quase que exclusivamente do dossel superior. Já *F. marginata*, embora tenha sido bem amostrada no dossel superior, ocupa somente áreas sombreadas com alturas que chegam a aproximadamente 10 metros estando também bem distribuída em toda a área.

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DAS ESPÉCIES

*Tapirira guianensis* é representante de Anacardiaceae, é uma árvore de 8 – 14 m, com tronco de 40 – 60 cm de diâmetro, perenifolia, pioneira. Possui folhas compostas com 4-5 jugas, folíolos muito variáveis na forma, número e tamanho, membranáceos, glabros, de 4-12 cm de comprimento. Ocorre em quase todo o

território brasileiro, na floresta ombrófila da planície. É também encontrada em formações secundárias de solos úmidos como os encontrados em várzeas e beira de rios. Embora possa ser encontrada amplamente também em ambientes secos de encostas, é na várzea úmida que apresenta seu maior desenvolvimento (LORENZI, 1992). Quando jovem sobrevive a sombra, e no estágio adulto é heliófila, sobrevivendo desde ambientes secos a bastante úmidos (FLEIG, 1989).

Na Ilha do Mel, ela é encontrada em quase todas as formações da planície litorânea, desde formações arbustivas em ambiente mais seco até as formações florestais mais desenvolvidas, onde o lençol freático é bastante superficial. Na área onde foi realizado o experimento, ela é a espécie arbórea dominante (MENEZES-SILVA, 1998).

Em relação às fenofases de floração e frutificação, elas ocorrem de outubro a janeiro, e de janeiro a abril, respectivamente (Marcia C. M. Marques<sup>2</sup> – comunicação pessoal).

*Faramea marginata* Chamisso (Rubiaceae), é uma arvoreta com flores hermafroditas, completamente glabra, folhas curto-pecioladas, oblongo-elípticas, cuspidadas, agudas pela base, 9-13 cm de comprimento; estípulas semiorbiculares com ápice linear comprido, decíduas; inflorescência laxamente paniculadas, corimbiformes; fruto deprimido globoso, 8 mm de diâmetro. Esta espécie é denominada popularmente de "pimenteira selvagem" (SMITH & DOWNS, 1956).

Na Ilha do Mel, esta ocorre nas florestas mais desenvolvidas da Planície litorânea, (MENEZES-SILVA, 1998). e também nas encostas dos morros na Floresta Ombrófila Densa -Floresta Atlântica (SILVA et al. 1994). Sua floração (figura 3) ocorre de novembro a fevereiro, e sua frutificação (figura 4) de fevereiro a setembro (Marcia C.M. Marques – comunicação pessoal).

### 3.3 GERMINAÇÃO DAS ESPÉCIES

Para *T. guianensis* não foram realizados testes de germinação, devido a existência de dados na literatura sobre sua germinação (LORENZI, 1992; LANDGRAF 1994), e em virtude de sua abundância na regeneração natural, facilitando a obtenção de mudas. Como não havia informações sobre a germinação e regeneração de *F. marginata*, foram implantados experimentos de germinação.

---

<sup>2</sup> Prof. do Departamento de Botânica da Universidade Federal do Paraná.



Os frutos foram coletados manualmente durante um período de 3 meses, de cerca de 25 diferentes indivíduos, em seu ambiente natural. Alteram a coloração d verde para preto não uniformemente quando maduros, tendo que ser coletados um a um nos cachos, sendo despulpados em seguida sobre peneira e água corrente.

O primeiro experimento de germinação foi realizado em 01/07/1997, em câmaras germinadoras, mantidas à temperatura de 25<sup>0</sup>C. As sementes foram dispostas em número de 49 em gerbox, sobre papel esterilizado, num total de 27 repetições. O segundo ensaio foi realizado em 06/08/1997, da mesma forma, com 11 repetições. A contagem do número de sementes germinadas foi feita semanalmente por um período de 112 dias no primeiro experimento e 75 dias no segundo experimento (figura 5).

Um terceiro experimento foi conduzido da mesma forma, com 4 tratamentos, 7 repetições e 16 sementes em cada gerbox. Este foi realizado em 13/05/99 durante um período de 110 dias. A umidade foi estabelecida e mantida com soluções de Alumínio e Silício, utilizando-se dos seguintes tratamentos: testemunha, 0,25 mmol L<sup>-1</sup> Al, 1 mmol L<sup>-1</sup> Al, 1 mmol L<sup>-1</sup> Al + 1 mmol L<sup>-1</sup> Si.

### 3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

#### 3.4.1 Experimento na Floresta

A pesquisa foi conduzida no interior da floresta com delineamento experimental em blocos casualizados, com 5 repetições. Cada parcela foi constituída por 15 plantas. Nos tratamentos aplicaram-se 5 doses de Al: 0, 25 mg/kg, 50 mg/kg, 100 mg/kg, 150 mg/kg sob a forma de AlCl<sub>3</sub>. 6 H<sub>2</sub>O, para as duas espécies estudadas, totalizando 750 plantas (figura 6). A aplicação foi subdividida em 6 aplicações semanais. Em virtude de um leve amarelecimento em algumas plântulas no início de seu desenvolvimento (10 meses antes da aplicação dos tratamentos), decidiu-se por adicionar solução nutritiva de MACHLIS & TORREY (1974) (anexo 2, p. 194), em duas ocasiões. Com o desaparecimento destes sintomas tal prática não foi mais utilizada.

As sementes das duas espécies foram coletadas na área do experimento e despulpadas, como descrito anteriormente nos ensaios de germinação. A coleta de sementes de *T. guianensis* deu-se a partir de março/1997, e de *F. marginata* em junho/1997, sendo plantadas imediatamente após a coleta. Em cada recipiente de

saco plástico foram plantadas três sementes, onde após um período de desenvolvimento foi mantida apenas uma planta (Figura 7). O experimento foi finalizado em junho de 1999.

O encanteiramento com os sacos plásticos deu-se sobre uma lona plástica no solo da floresta. Os sacos das mudas foram preenchidos com aproximadamente  $1,5 \text{ dm}^3$  de solo do próprio local, coletados até uma profundidade de 20 cm (horizonte A1 do solo), tendo sido homogeneizados. A irrigação das plantas foi realizada utilizando-se água da chuva, captada no interior da floresta por lonas de plástico (figura 8). A água foi armazenada em um reservatório suspenso em um andaime. A rega, quando necessária, era realizada semanalmente.

#### 3.4.2 Experimento no Rizotrom

O experimento foi conduzido em casa de vegetação. O rizotrom era constituído por uma caixa de madeira com dimensões de 25 x 40 x 2 cm, com paredes de vidro. As caixas foram preenchidas com solo coletado no horizonte A1 da floresta, peneirado (peneira de 2mm) e homogeneizado. Para cada tratamento foram feitas 3 repetições com 4-5 plantas, totalizando para as duas espécies 18 caixas. Para *F. marginata* foram utilizadas plântulas germinadas em câmara de germinação, e para *T. guianensis* foram utilizadas plântulas recém germinadas na serapilheira da floresta. O plantio de *T. guianensis* foi realizado em março/1997 e de *F. marginata* em junho/1997, sendo o experimento finalizado em maio/1999. Foram aplicados as seguintes doses de Alumínio para cada tratamento: testemunha, 100mg/kg de solo e 200 mg/kg de solo, sob a forma de  $\text{AlSO}_4$ . Esta foi aplicada gradativamente durante um período de 3 meses, uma vez por semana, totalizando 16 aplicações. Periodicamente foi adicionada solução nutritiva de MACHLIS & TORREY (1974).

Para avaliar a mudança de pH na rizosfera, foi utilizada a metodologia de DINKELAKER et al. (1993), preparando-se solução de agar 1%, misturada com verde de bromocresol na concentração final de 0,006 %, à temperatura de aproximadamente  $50^\circ\text{C}$ , sendo ajustado o pH 7 (cor azul). Em copos de becker de 25ml, foram ajustadas várias soluções variando de pH 3 a 7, para obter-se os padrões de mudança de cor de acordo com o pH. Foram retirados os vidros do rizotrom de modo a expor as raízes. A solução de agar, enquanto ainda quente, foi colocada em uma forma acrílica. Quando este começou a solidificar-se, foi removido

escorregando-o com ajuda de uma espátula por sobre a região da rizosfera, permanecendo por algumas horas de modo que a reação pudesse ocorrer (figura 9).

### 3.4.3 Experimento em Hidroponia

Um experimento preliminar foi realizado utilizando-se 5 caixas de 70 litros (figura 10) para *T. guianensis* e 7 para *F. marginata*. As plântulas de *T. guianensis* foram obtidas pela coleta na regeneração natural, levadas a laboratório, lavadas as raízes com água deionizada e hipoclorito de sódio. As de *F. marginata* foram retiradas dos germinadores, colocadas em solo da floresta (figura 11), para um período de adaptação, e, posteriormente, lavadas da mesma maneira como feito para a outra espécie. Em cada caixa foram conduzidas 10 plantas, permanecendo em solução nutritiva durante um período de dois meses para adaptação (figura 12). O pH da solução foi mantido em 4,0. Em seguida foram aplicados os seguintes tratamentos, para as duas espécies : testemunha, 0,25mmol L<sup>-1</sup>, 0,5mmol L<sup>-1</sup>, 1,0 mmol L<sup>-1</sup> e 2,0 mmol L<sup>-1</sup> de Al na forma de AlCl<sub>3</sub> 6 H<sub>2</sub>O. Para *F. marginata* foram incluídos mais dois tratamentos 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de Al+Si e 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de Si. O Si foi aplicado sob a forma de Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>. A solução nutritiva utilizada foi baseada em OSAKI et al. (1997), e, apresentava a seguinte composição: 2,14 mmol L<sup>-1</sup> N ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), 0,32 mmol L<sup>-1</sup> P (NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O), 0,77mmol L<sup>-1</sup> K (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:KCL = 1:1), 1,25 mmol L<sup>-1</sup> Ca (CaCl<sub>2</sub>. 2H<sub>2</sub>O), 0,82 mmol L<sup>-1</sup> Mg (MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O), 35,8 µmol L<sup>-1</sup> Fe (FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O), 9,1 µmol L<sup>-1</sup> Mn (MnSO<sub>4</sub>.4H<sub>2</sub>O), 46,3 µmol L<sup>-1</sup> B (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>), 3,1 µmol L<sup>-1</sup> Zn (ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O), 0,16 µmol L<sup>-1</sup> Cu (CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O), 0,05 µmol L<sup>-1</sup> Mo ((NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>.Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>.4H<sub>2</sub>O). O período deste experimento foi de 7 meses (08/98 a 02/99).

Um segundo experimento, somente com *T. guianensis*, foi realizado no período entre 06/99 e 12/99, tendo sido aplicados os seguintes tratamentos: testemunha - 0,5 mmol L<sup>-1</sup>, 1,0 mmol L<sup>-1</sup>, 2,0 mmol L<sup>-1</sup>, 4 mmol L<sup>-1</sup> e 6 mmol L<sup>-1</sup> de Al sob a forma de AlCl<sub>3</sub> 6H<sub>2</sub>O. Cada tratamento possuía 2 caixas com 10 plantas (figura 13). Foi utilizada a mesma solução nutritiva descrita anteriormente, tendo sido mantida a pH 4,0. Neste experimento, as variáveis foram medidas agrupando 3 plantas por caixa. Na planta restante de cada caixa, da mesma forma que com *F. marginata*, foram reservadas para estudos anatômicos, objetivando localizar o Al nas estruturas da raiz e da folha.

### 3.4.4 Medidas de Luminosidade

Visando avaliar e comparar a luminosidade no interior da floresta e da casa de vegetação, foram feitas medidas em relação a incidência de luz utilizando-se de um luxímetro. As medidas foram realizadas em dois dias consecutivos (primeiro dia na floresta, segundo dia na casa de vegetação), sem a presença de nuvens. As medidas foram tomadas em dois períodos, às 10:00 e 14:00 horas.

Foram feitas 5 medidas da intensidade luminosa a pleno sol, e 15 medidas em cada um dos locais avaliados. A partir destes dados foi calculada a intensidade luminosa relativa, onde a média das medidas realizadas a pleno sol, representam a luminosidade de 100 %.

### 3.4.5 Variáveis Analisadas

#### Na planta

- Comprimento das raízes, medido pelo método da linha interceptada (TENNANT, 1975); altura da planta medida através de régua métrica; diâmetro do caule na altura do colo, medido com paquímetro, e contagem das folhas.
- Massa seca das folhas, caule, raízes e relação número de folhas/peso seco das folhas.
- Nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn) e Al nas folhas, caule e raízes.
- Percentagem de colonização das endomicorrizas (micorrizas arbusculares).

#### No Solo

- pH,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  e  $\text{Al}^{+++}$ ,  $\text{K}^+$ , acidez ( $\text{H}^+$  +  $\text{Al}^{+++}$ ), C e P extraível.
- Teores totais de Al.
- Al monomérico.

#### Na água (hidroponia)

- Al total
- Al monomérico
- Ácidos orgânicos

### 3.5 ANÁLISES DE SOLO

A separação do solo rizosférico e não rizosférico do experimento na floresta foi realizada da seguinte forma: no campo abria-se o saco plástico onde encontrava-se a planta por sobre um saco plástico estendido no solo, destorroava-se com cuidado o bloco de solo até quando restasse somente o solo aderido à raiz, o solo assim separado esta fração constituiu o solo não rizosférico. Em outro saco plástico, estendido no solo, batia-se cuidadosamente o solo aderido à raiz que foi caracterizado como o solo rizosférico. Este procedimento foi repetido nas 15 plantas de cada repetição dos tratamentos, portanto perfazendo 5 repetições. No laboratório, o mesmo procedimento foi realizado em cada rizotrom, perfazendo 3 repetições.

As análises de solo foram realizadas no Laboratório de Química e Fertilidade de Solos, da Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, em Curitiba, Estado do Paraná. As amostras de solo foram secas ao ar e peneiradas (malha de 2 mm) e submetidas as seguintes análises, de acordo com as recomendações da EMBRAPA (1979): pH em solução 0,01 M de cloreto de cálcio;  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  e  $\text{Al}^{+++}$  extraíveis com cloreto de potássio 1 N; acidez extraível ( $\text{H}^+$  +  $\text{Al}^{+++}$ ) com acetato de cálcio 1 N à pH 7; P e K extraíveis através do extrator de Melich. O C foi determinado pela metodologia de Walkley e Black. Com estes dados foram calculados os seguintes valores: Soma de bases (SB), Capacidade de troca catiônica total (T), Saturação por bases (V), Saturação por Alumínio (m).

Foi analisado o teor total de Al no solo, segundo a metodologia descrita por HILDEBRAND (1976/1977), através da digestão total, com ácido fluorídrico e ácido perclórico.

O Al monomérico foi medido pela metodologia do aluminon no solo e na solução hidropônica, e nas folhas de *F. marginata* pelo PCV (violeta de pirocatecol) segundo KERVEN et al. (1989). Para esta análise, a solução do solo, foi extraída através de centrifugação pelo método adaptado de REYNOLDS (1984).

### 3.6 ANÁLISES EM *Faramea marginata*

#### 3.6.1 Análise Foliar

Para fins comparativos, foram coletadas folhas em brotação (novas), em desenvolvimento (médias) e velhas (figura 14), em dois ambientes distintos: na planície litorânea onde foram desenvolvidos os experimentos (solo arenoso) e na encosta do morro (solo argiloso). No morro, esta espécie ocorre com menor freqüência. As áreas distanciam-se em cerca de 6 quilômetros. As amostras foram coletadas de 5 indivíduos em cada área, totalizando 30 amostras. Foram avaliados os teores de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Si e Al.

Visando avaliar a complexação do Al com ácidos orgânicos nas folhas, primeiramente extraiu-se o Al com etanol. Em duas amostras, 20 gramas de folhas liofilizadas foram adicionadas a 2 litros de etanol, misturados por 1 hora. Para uma das amostras o pH foi ajustado a 1, e para a outra, não houve ajuste do pH. Os extratos foram filtrados e analisados Al e Si por absorção atômica.

Outra extração foi realizada da mesma maneira com água deionizada, tendo sido misturada por 4 horas. O pH da água deionizada foi ajustado em 3 amostras para 1, 4 e 12, com NaOH e HCl, outra amostra não foi ajustada. As amostras foram filtradas e analisados o Al e Si por absorção atômica. O Si também foi analisado por colorimetria (método do azul de molibidênio). O Al monomérico foi analisado pelo método do violeta de pirocatecol (KERVEN et al. 1989). A concentração dos ácidos orgânicos (ácido cítrico e oxálico) foi medida por eletroforese de capilaridade (Quanta 4000 CE, Waters).

#### 3.6.2 Distribuição do Al e Si nas Folhas.

Folhas maduras de *F. marginata* foram avaliadas por microscopia analítica de fluorescência de raio-x (XGT – 2000w, Horiba, Japão) na Faculdade de Agricultura da Universidade de Hokkaido, Japão. Foi utilizado, como planta controle, *Melastoma malabathricum*, que também é acumuladora de Al, mas não acumuladora de Si (WATANABE et al. 1997). Folhas frescas foram prensadas e secas, e usadas para análise. Os parâmetros analíticos foram os seguintes: tubo de raio x; tubo de voltagem Rh; fluxo da corrente 1,5 kV, 1,0 mA.

### 3.7 PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS

As análises químicas do material vegetal foram realizadas no Laboratório de Nutrição de Plantas e no Laboratório de Solos, da Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, em Curitiba, Estado do Paraná.

O material vegetal, depois de seco à temperatura de 70 °C, foi homogeneizado e moído. O preparo e digestão das amostras foram realizados pelo método de via seca, de acordo com as instruções de HILDEBRAND et al. (1976/77), onde o material é queimado em mufla à 500 °C, e solubilizada em HCl 10 %. Após filtragem foram determinados os teores de P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn e Al.

O P foi determinado pelo método colorimétrico com vanadato-molibdato de amônio (cor amarela), em espectrofotômetro UV/VIS- 554 Perkin-Elmer. O N foi determinado pelo método de Kjeldahl. Os demais elementos em espectrofotômetro de absorção atômica 2380 Perkin-Elmer.

Al e Si nas folhas de *F. marginata*, foram analisados após digestão úmida, onde em 50 mg de material foi adicionado 1,25 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, com período de reação de 12 horas, sendo a seguir adicionado 0,5 ml de peróxido de hidrogênio, com fases de aquecimento de 1 hora a 200°C, por três vezes.

O Al e Si foram determinados em espectrofotômetro de absorção atômica 2380 Perkin-Elmer.

O Si também foi determinado pelo método colorimétrico de azul de molibdênio, desenvolvido na Faculdade de Agricultura da Universidade de Hokkaido, Japão. Este consiste em colocar o papel de filtro utilizado para filtrar a solução, após a digestão úmida, em um tubo plástico com uma solução de 30 ml de NaOH (5%), deixando-o em banho-maria a 90 °C, por uma hora. O papel filtro é então lavado com água deionizada, sendo transferido para um balão de 100ml.

Uma alíquota de 2,5 ml desta solução é transferida para um tubo de ensaio, sendo ajustado o pH até a neutralidade, usando 5 M de HCl, adicionando 2 gotas de fenoftaleína. A seguir, É colocado 1,25 ml de HCl (0.25 N) e 1,25 ml de molibdato de amônio, misturado e, após 3 minutos é adicionado 2,5 ml de sulfito de sódio, mexe-se, espera-se por 10 minutos. O Si é determinado colorimetricamente a 650 nm em espectrofotômetro UV/VIS.

Para avaliação do Al complexado com substâncias orgânicas na solução hidropônica, mediu-se o Al em espectrofotômetro de absorção atômica, antes, e após a incineração e solubilização com HCl, segundo o método sugerido por

BLOOM & ERICH (1996). A diferença entre as duas medidas representa o Al complexado com substâncias orgânicas.

### 3.8 ENDOMICORRIZAS

A colonização e contagem de esporos das endomicorrizas foi realizada somente no experimento da floresta, onde foram avaliadas 5 plantas por tratamento em *T. guianensis* e, em 5 plantas não submetidas a adição do Al em *F. marginata*. A coloração de fragmentos de raízes, para a detecção de micorrizas, foi efetuada conforme metodologia de PHILIPS & HAYMAN (1970). A avaliação da porcentagem de colonização foi quantificada conforme o método da placa quadriculada (GIOVANNETTI & MOSSE, 1980).

A contagem de esporos seguiu o procedimento descrito por BRUNDRETT (1994).

### 3.9 ANÁLISE ANATÔMICA

As folhas e raízes das duas espécies estudadas foram colocadas em fixador (FAA), imediatamente após sua coleta. Posteriormente estas amostras foram transferidas para Álcool 70%. As amostras foram cortadas manualmente com lâminas de aço inox. Estas foram imersas em 0,02 % de violeta de pirocatecol (PCV) e 2,5 % de solução tampão de hexamina-NH<sub>4</sub>OH (pH 6,2) por 15 minutos, visando a coloração, sendo posteriormente, lavadas com a solução tampão, e analisado em microscopia fotônica.

### 3.10 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O delineamento utilizado foi o em blocos casualizados. A homogeneidade das variâncias foi testada pelo teste de Bartlett, sendo os valores transformados quando necessário para posterior análise de variância. Os resultados obtidos em função dos tratamentos com doses crescentes de Al, foram avaliados através de ajuste linear e quadrático de curvas de regressão.

Em algumas situações, foram utilizadas análises de regressão múltipla, sendo a seleção das variáveis que melhor se ajustasse à equação, efetuada pelo



método “stepwise”. As matrizes de correlação foram calculadas pelos coeficientes de correlação de Pearson.

Para facilitar a interpretação dos dados, reuniu-se variáveis altamente relacionadas em um número menor de variáveis (fatores), através da análise fatorial do método estatístico multivariado (JOHNSON & WICHERN, 1988). A escolha do número de fatores foi baseada no método de Kaiser (autovalores  $> 1$ ), sendo que em algumas situações foram incluídos fatores com autovalores próximos a 1. Após a definição dos fatores, para uma melhor visualização dos dados, foi realizada a rotação varimax normalizada.

FIGURA 3 – FLORES DE *Fareamea marginata*



FIGURA 4 - ÁRVORE DE *F. marginata* COM FRUTOS



FIGURA 5 – GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE *F. marginata*



FIGURA 6 – PLANTIO DE *T. guianensis* E *F. marginata* NO INTERIOR DA FLORESTAFIGURA 7 - DETALHE DAS PLÂNTULAS DE *T. guianensis* CULTIVADAS NO INTERIOR DA FLORESTA

FIGURA 8 – CAPTAÇÃO DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO DAS PLANTAS NO INTERIOR DA FLORESTA



FIGURA 9 – RIZOTROM COM APLICAÇÃO DE AGAR PARA MEDIR MUDANÇAS NO pH DA RIZOSFERA

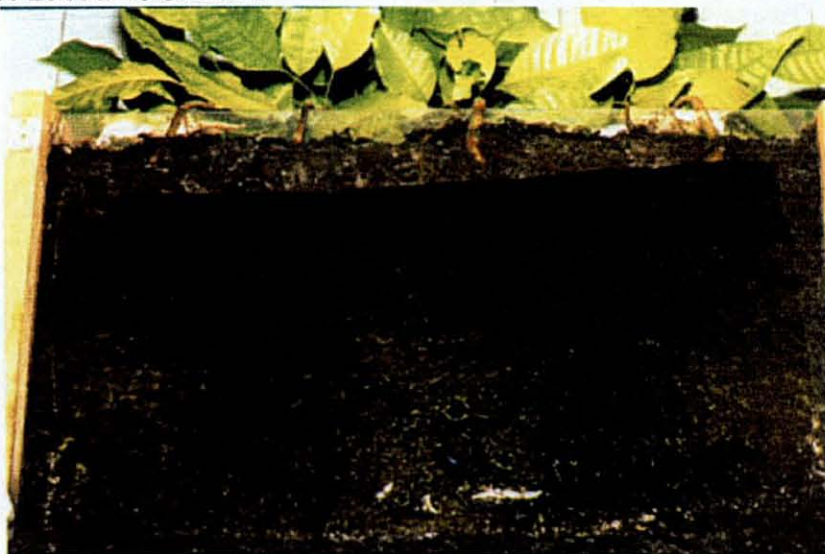


FIGURA 10 – DETALHE DAS CAIXAS UTILIZADAS PARA OS EXPERIMENTOS COM HIDROPONIA

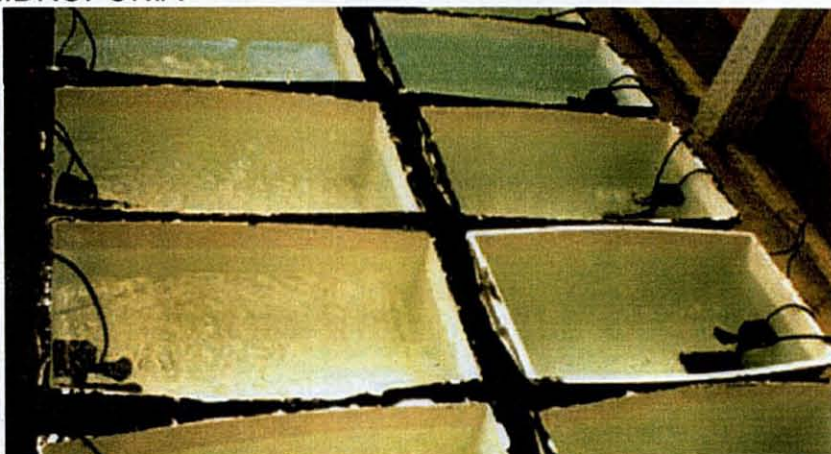


FIGURA 11 – PLÂNTULAS DE *F.marginata*, UTILIZADAS PARA PLANTIO NO EXPERIMENTO COM HIDROPONIA



FIGURA 12 – EXPERIMENTO EM HIDROPONIA CONDUZIDO COM *T. guianensis* E *F.marginata*



FIGURA 13 – SEGUNDO EXPERIMENTO EM HIDROPONIA REALIZADO COM *T.guianensis*



FIGURA 14 – FOLHAS NOVAS, MADURAS E VELHAS COLETADAS EM ÁRVORES ADULTAS DE *F.marginata*.



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 EXPERIMENTO COM *Tapirira guianensis* NA FLORESTA

#### 4.1.1 Características Químicas do Solo

As médias referente as análises realizadas dos parâmetros químicos das duas frações de solo (não rizosférico e rizosférico) submetidos a doses crescentes de Al, constam do anexo 3 (p. 195). A análise de variância (ver anexo 4, p. 196) mostrou diferenças significativas entre estas duas frações, no que se refere aos valores de Al trocável e monomérico, H<sup>+</sup> Al, K, C e no valor T, sendo maiores no solo rizosférico. O P também apresentou valores significativamente maiores no solo rizosférico, nas parcelas onde foram aplicadas as maiores doses de Al.

Em relação às diferenças encontradas frente a doses crescentes de Al, com exceção do K e Al total (não rizosférico e rizosférico), P e Al extraível (não rizosférico) e C (rizosférico), todos os demais apresentaram diferenças significativas.

A figura 15 ilustra o comportamento destes parâmetros frente aos diferentes doses de Al, através do ajuste de curvas realizado por análise de regressão. Observa-se que a medida que aumenta a aplicação do Al, os valores do pH, Ca + Mg, Ca e saturação por bases (V), diminuem, e os demais parâmetros aumentam.

O pH sofreu uma diminuição significativa em relação à testemunha, em média de 3,52 para 3,30, para o primeiro tratamento com Al, nas duas frações de solos analisadas (não rizosférico e rizosférico). A partir da aplicação das demais doses, o pH manteve-se estável. Este apresentou correlação significativa (ao nível de significância de 5 % – anexo 5, p. 198) com os demais parâmetros, com exceção do K, P e Al total no solo não rizosférico, e Al total no solo rizosférico. As correlações foram positivas com Ca, Ca +Mg, e saturação por bases (V).

O Al<sup>3+</sup> extraível aumentou significativamente frente as doses crescentes de Al, somente no solo rizosférico (fig. 15), e principalmente quando das aplicações maiores que 100mg/Kg. Os coeficientes de correlação de Pearson (anexo 5, p. 198), foram significativos e positivos para os parâmetros: acidez extraível (H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup>), capacidade de troca catiônica total (T), P, C, saturação com Al (m), e negativa para o pH. No solo rizosférico as correlações tiveram coeficientes mais altos, além de ocorrer correlação positiva também com K e Al monomérico, e negativa, com saturação por bases (V).

Os valores da acidez extraível ( $H^+ + Al^{3+}$ ), aumentaram a partir da aplicação do Al, crescendo gradativamente com o aumento das doses, e estabilizando-se nas mais elevadas (fig.15). Este apresenta correlação positiva com a maior parte dos parâmetros com exceção do Ca, Ca + Mg, SB e Al total, sendo os coeficientes de correlação também maiores no solo rizosférico (anexo 5, p. 198).

Os teores de Ca + Mg, Ca e SB (soma de bases), apresentaram uma curva decrescente até aplicação de 50 mg de Al por kg de solo, estabilizando-se na dosagem de 100 e 150 mg/ kg (fig.15), com seus valores chegando a menos da metade do teor inicial. Estes, exibiram nos dois tipos de solo, altos índices de correlação negativos com o Al monomérico e saturação com Al, e positivo, com a saturação por bases.

O K permaneceu estável em relação às diferentes doses de Al, sendo obtidas correlações positivas com P, C, e o valor T, nas duas frações dos solos. No solo rizosférico, onde seus valores são maiores, este também acusou índices de correlações positivos e significativos para pH, Al, H + Al e Al monomérico (anexo 5, p.198).

O P manifestou um comportamento diferente entre solo não rizosférico e rizosférico. No primeiro caso seus teores permaneceram estáveis quando da adição do Al, já no solo rizosférico aumentaram significativamente, estabilizando quando adicionou-se mais que 100 mg/kg (fig. 15). No solo não rizosférico, as correlações foram significativas e positivas com Al e H + Al, e no solo rizosférico, além dos índices maiores, este correlacionou-se também com C, saturação com Al e Al monomérico, todas positivas.

Ocorreu uma pequena tendência de aumento nos valores de C com o aumento nas doses de Al aplicadas, tendendo a uma estabilização nas doses maiores (fig. 15). A análise de variância apontou valores significativos a nível de 95 % de probabilidade (ver anexo 4, p. 196), já no ajuste da regressão o coeficiente de determinação não foi significativo. Este elemento apresentou correlação positiva no solo não rizosférico com Al, H + Al, K, T e m, e negativa com o pH. Já no solo rizosférico houve também correlação positiva com o Al monomérico e negativa com V.

O valor calculado de T segue o mesmo comportamento de H + Al, V, Ca, e Ca + Mg. O valor m aumenta significativamente até a dosagem de 50 mg/kg estabilizando-se em 100 e 150 mg/kg para os dois solos. A saturação em Al (m) exibiu correlações maiores com o Al monomérico do que em relação ao Al extraível.

O Al total, não apresentou diferenças significativas nem entre solos nem entre tratamentos.

O Al monomérico aumentou significativamente nos dois solos analisados, sendo bem maior no solo rizosférico, onde a partir do tratamento com 50mg/kg de Al seus teores já estabilizaram-se.

Ao analisar-se a matriz de correlação do solo não rizosférico e rizosférico (anexo 5, p. 198), verifica-se que muitas variáveis possuem índices de correlação significativos entre si. Através da análise fatorial pode-se reunir variáveis relacionadas em um número menor de variáveis. Para o solo não rizosférico, estas foram reunidas em 4 fatores, que explicam 87,5 % da variância total (tabela 1). No solo rizosférico, os 4 fatores representaram 92,4 % da variância total.

Na tabela 2, consta os pesos de cada fator, as comunalidades e variância específica para cada parâmetro do solo. As comunalidades representam a porção da variância de cada variável que é compartilhada com as demais variáveis, através dos fatores comuns, enquanto a porção que não é comum às outras variáveis é representada pela variância específica. Para melhor interpretação dos dados foi feita a rotação varimax normalizada dos dados.

Pela análise dos carregamentos maiores que 0,600 (em negrito), o primeiro fator, engloba as seguintes variáveis: Ca + Mg; Ca; soma de bases (SB); saturação por Al (m); saturação por bases (V) e Al monomérico. O segundo fator é constituído pelas variáveis pH, Al, H + Al, a CTC total (T) e o C. O terceiro fator é representado por K e P, e o quarto fator, pelo Al total.

Os mesmos fatores foram observados no solo rizosférico, com a diferença que o Al extraível, migrou do fator 2 para junto do K e P, e o pH do fator 2 para o 1.

Na figura 16, os pesos de cada variável são plotados em relação ao fator 1 (abcissas) e fator 2 (ordenadas). Nas porções das extremidades direita e esquerda do gráfico, localizam-se as variáveis mais representativas para o fator 1, e, nas extremidades superior e inferior, para o fator 2.

Observa-se neste gráfico, que no solo não rizosférico ocorrem dois grupamentos no fator 1, um grupamento envolvendo as variáveis, m e Al monomérico, e outro, devido aos pesos negativos envolvendo Ca + Mg, Ca, SB e V. No segundo fator apenas o pH ficou afastado dos demais componentes do grupo, devido a seu índice negativo.



FIGURA 15- CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO NÃO RIZOSFÉRICO E RIZOSFÉRICO TRATADOS COM DOSES CRESCENTES DE AI EM mg/ kg DE SOLO, NO EXPERIMENTO FEITO COM O PLANTIO DE *T. guianensis* NO INTERIOR DA FLORESTA.

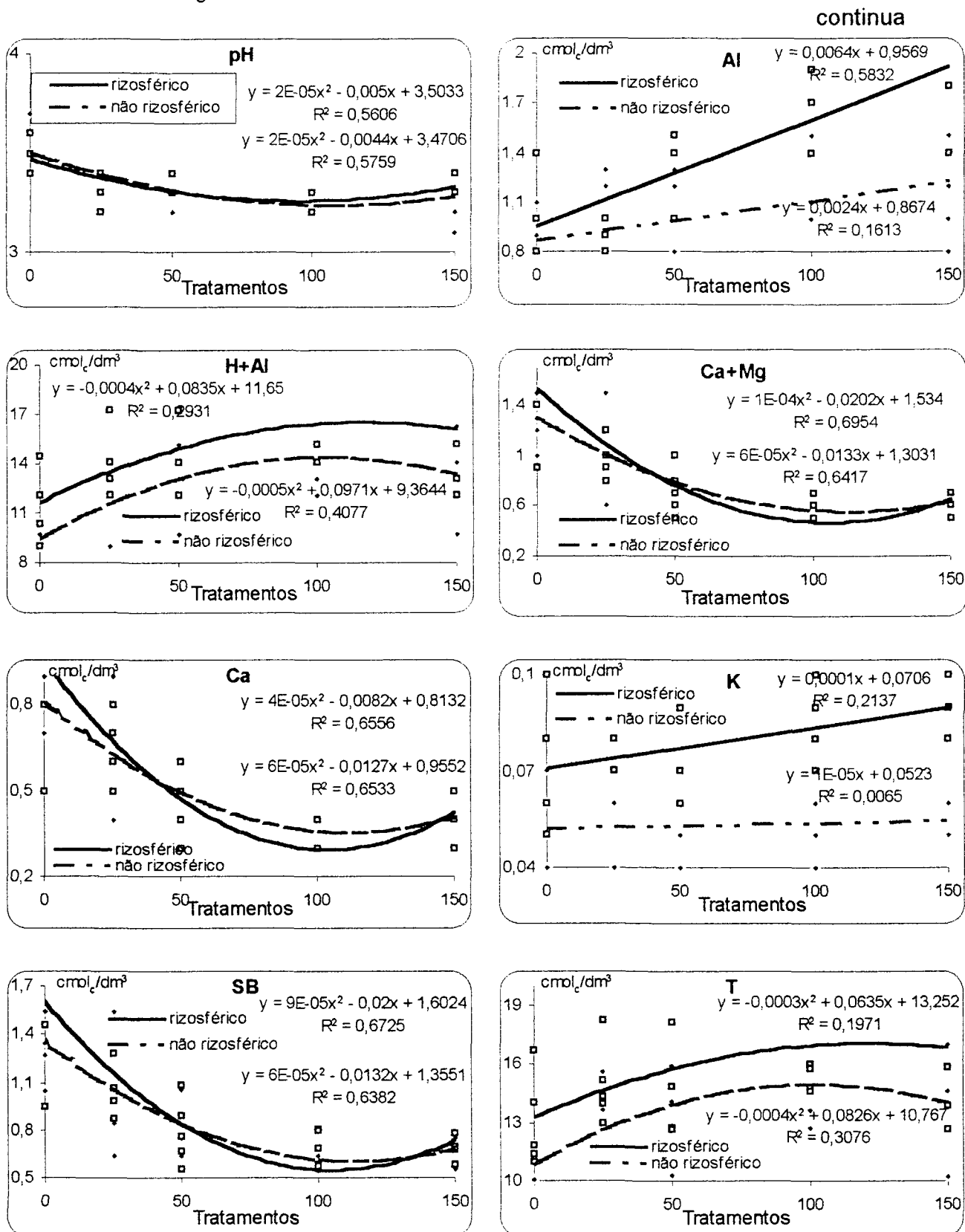


FIGURA 15- CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO NÃO RIZOSFÉRICO E RIZOSFÉRICO TRATADOS COM DOSES CRESCENTES DE Al EM mg/ kg DE SOLO, NO EXPERIMENTO FEITO COM O PLANTIO DE *T. guianensis* NO INTERIOR DA FLORESTA.

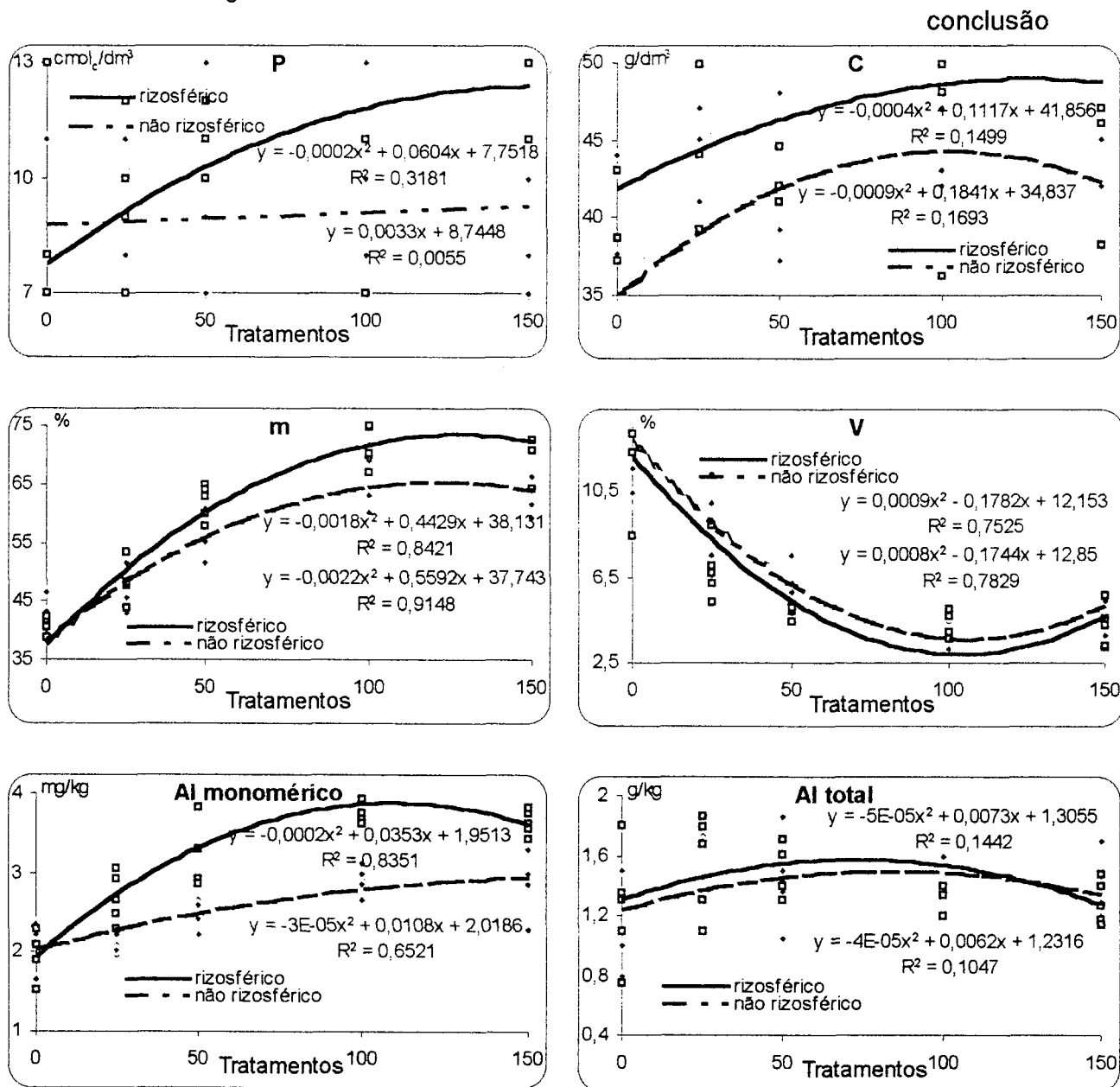


TABELA 1 – FATORES, AUTOVALORES, E PERCENTAGEM DA VARIÂNCIA EXPLICADA, PARA OS PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO NO EXPERIMENTO REALIZADO NA FLORESTA COM *T. guianensis*.

SOLO NÃO RIZOSFÉRICO					
Fatores	Autovalores	Total da variância explicada (%)	Autovalores acumulados	Total da variância acumulada (%)	
1	7,546	50,31	7,546	50,31	
2	3,427	22,85	10,973	73,15	
3	1,202	8,01	12,175	81,17	
4	1,018	6,78	13,192	87,95	

SOLO RIZOSFÉRICO					
Fatores	Autovalores	Total da variância explicada (%)	Autovalores acumulados	Total da variância acumulada (%)	
1	8,636	57,57	8,636	57,57	
2	3,153	21,02	11,788	78,59	
3	1,222	8,15	13,010	86,74	
4	0,845	5,64	13,856	92,37	

TABELA 2 – PESOS FATORIAIS ROTACIONADOS, COMUNALIDADES E VARIÂNCIA ESPECÍFICA DOS PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO DO EXPERIMENTO REALIZADO NA FLORESTA COM *T. guianensis*.

continua

SOLO NÃO RIZOSFÉRICO						
	Pesos fatoriais rotacionados				Comunalida- des	Variância específica
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4		
Tratamentos	0,827	0,454	-0,048	0,074	0,897	0,103
pH	-0,409	-0,767	0,068	0,219	0,809	0,191
Al	0,032	0,838	0,175	0,224	0,784	0,216
H + Al	0,307	<b>0,776</b>	0,382	-0,275	0,918	0,082
Ca + Mg	<b>-0,977</b>	0,035	-0,012	0,164	0,982	0,018
Ca	<b>-0,969</b>	0,023	-0,020	0,177	0,972	0,028
K	0,007	0,248	<b>0,877</b>	-0,111	0,842	0,158
T	0,188	<b>0,804</b>	0,406	-0,254	0,911	0,089
SB	<b>-0,976</b>	0,042	0,013	0,161	0,981	0,019
P	-0,040	0,260	<b>0,861</b>	0,219	0,858	0,142
C	0,003	<b>0,823</b>	0,292	-0,090	0,771	0,229
m	<b>0,815</b>	0,540	0,050	-0,059	0,962	0,038
V	<b>-0,821</b>	-0,373	0,019	0,375	0,954	0,046
Al total	0,187	0,149	-0,047	<b>-0,867</b>	0,811	0,189
Al monom.	<b>0,748</b>	0,360	0,069	0,218	0,742	0,258

TABELA 2 – PESOS FATORIAIS ROTACIONADOS, COMUNALIDADES E VARIÂNCIA ESPECÍFICA DOS PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO DO EXPERIMENTO REALIZADO NA FLORESTA COM *T. guianensis*.  
conclusão

SOLO RIZOSFÉRICO						
	Pesos fatoriais rotacionados				Comunalida- des	Variância específica
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4		
Tratamentos	<b>0,783</b>	0,192	0,197	0,497	0,935	0,065
pH	<b>-0,628</b>	-0,588	0,229	-0,118	0,806	0,194
Al	0,348	0,475	0,159	<b>0,676</b>	0,830	0,170
H + Al	0,257	<b>0,875</b>	-0,085	0,344	0,958	0,042
Ca + Mg	<b>-0,982</b>	-0,057	0,121	-0,021	0,983	0,017
Ca	<b>-0,977</b>	-0,018	0,139	-0,002	0,975	0,025
K	-0,014	0,511	0,026	<b>0,774</b>	0,860	0,140
T	0,125	<b>0,899</b>	-0,071	0,357	0,956	0,044
SB	<b>-0,984</b>	-0,040	0,122	0,004	0,984	0,016
P	0,147	0,237	-0,170	<b>0,907</b>	0,929	0,071
C	0,110	<b>0,906</b>	0,014	0,194	0,871	0,129
m	<b>0,850</b>	0,258	0,068	0,395	0,950	0,050
V	<b>-0,901</b>	-0,352	0,199	-0,098	0,985	0,015
Al total	0,179	0,085	<b>-0,957</b>	0,033	0,955	0,045
Al monomér.	<b>0,816</b>	0,321	0,044	0,326	0,877	0,123

A disposição dos pesos fatoriais no solo rizosférico é bastante similar ao do solo não rizosférico (figura 16), apenas com a diferença do deslocamento do Al extraível para junto dos parâmetros K e P (fator 3).

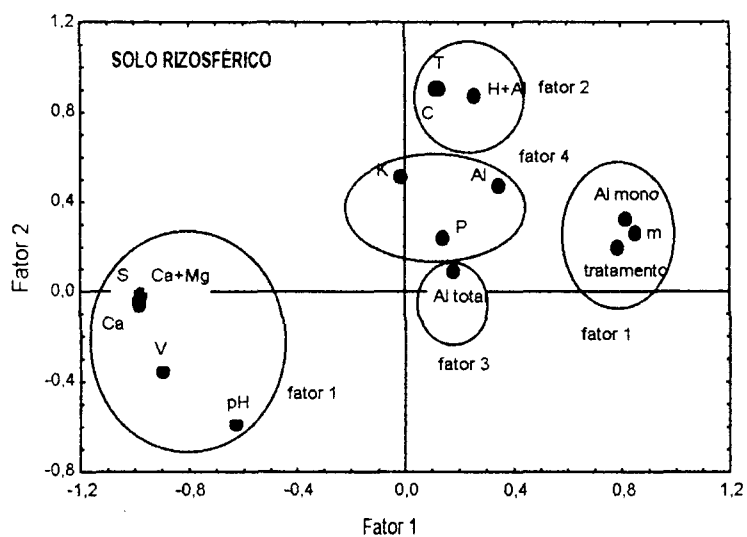
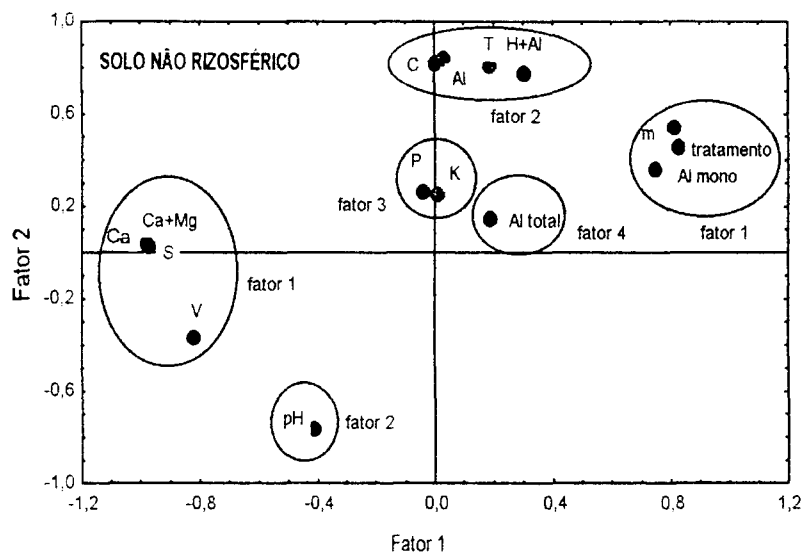
O fator 1 pode ser considerado como sendo o que está relacionado as modificações diretas causadas pela adição do Al (tratamentos), refletindo no aumento ocorrido no valor m, que expressa a proporção que o Al participa na CTC efetiva.

Participou deste fator somente o Al monomérico, e não o extraível, o que pode indicar diferenças em relação as estes dois métodos de análise do Al. O método de extração por centrifugação (Al monomérico) apresentou as mais altas correlações com a variável dependente (tratamento). O valor da saturação por Al (m) também apresentou estreita correlação com Al monomérico (fig. 16).

O calculo de m, baseia-se no Al extraível e na soma de bases. Como o aumento do Al monomérico nos tratamentos apresentou correlações elevadas com a diminuição das bases, este foi mais representativo para o valor m do que o Al extraível. Como consequência, o Al extraível não participou do fator 1.

Observou-se correlações mais elevadas das bases com o Al monomérico na rizosfera (anexo 5, p. 198).

FIGURA 16 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS PESOS DAS VARIÁVEIS EM RELAÇÃO AOS FATORES 1 E 2, DOS PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO NÃO RIZOSFÉRICO E RIZOSFÉRICO DO EXPERIMENTO REALIZADO NA FLORESTA. EXTRAÇÃO – COMPONENTES PRINCIPAIS, ROTAÇÃO VARIMAX.



WRIGHT et al (1989), testando diversos extratores de Al no solo (KCl, CuCl<sub>2</sub>, LaCl<sub>3</sub>), além da análise do Al na solução do solo por três métodos colorimétricos, constatou que a extração com CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup> é o método que melhor correlacionou-se com crescimento das raízes de trigo, e o que extraiu as menores quantidades de Al. Estes autores sugerem que os outros extratores, dentre eles o KCl, extraem além do Al trocável também o não trocável. Já os métodos colorimétricos, para análise da solução do solo, apresentaram baixas correlações, visto que devem ter reagido também com o Al orgânico. Neste caso o método mais adequado seria o idealizado por KERVEN et al. (1989), pois não mede o Al orgânico. Este é o método utilizado para medir o Al monomérico neste trabalho. Já BALIGAR et al. (1991) encontraram uma boa correlação entre o crescimento de raiz de trigo e a extração de Al com KCl no horizonte A do solo. BERTCH & BLOOM (1996), salientaram que a extração com KCl é ineficiente na extração do Al na forma orgânica e, dependendo da quantidade de Al e natureza da matéria orgânica, este extraí de 50% a menos de 10 % do Al orgânico.

Esta troca pode apresentar situações distintas, conforme as características da matéria orgânica no solo. Esta possui uma variedade de grupos funcionais ácidos, que têm uma alta especificidade em relação à complexação e quelação com o Al. Como exemplo, cita-se que normalmente os grupos fenólicos são mais fortemente ligados que os grupos carboxílicos (McBRIDE, 1994). Fenóis e ácidos fenólicos têm considerável importância na complexação e translocação do Al e Fe em solos florestais (VANCE et al, 1996). A complexação com formas solúveis e insolúveis da matéria orgânica com o Al é bastante complexa e altamente dependente do pH, dos grupos funcionais, da solubilidade da matéria orgânica e da fase sólida (McBRIDE, 1994). Os complexos orgânicos, ligados ao Al, aumentam o Al total solúvel na solução e sua mobilidade no solo. No entanto, identificar estes ligantes orgânicos é bastante difícil, devido a grande heterogeneidade destes no solo (LINDSAY & WALTHALL, 1996).

No campo, ocorre uma entrada de matéria orgânica, resultante da deposição de serapilheira e sua decomposição, e ainda, lixiviados provenientes da água da chuva. Tanto a água de gotejamento do dossel quanto a serapilheira lixiviam substâncias orgânicas, capazes de complexar o Al (MALCOLM & MCCRACKEN, 1968; TAM et al, 1991), além de nutrientes e Al.

POHLMAN & MCCOLL (1988), estudando o efeito dos ácidos orgânicos na serapilheira, concluíram que estes, especificamente os polifenóis lixiviados da serapilheira ou produzidos durante o processo de decomposição, são os principais agentes causadores da dissolução do Al e Fe nos solos florestais. A quantidade destes metais dissolvidos é também diretamente proporcional à quantidade de ácidos orgânicos lixiviados da serapilheira para o solo.

A aplicação do Al, influenciou muito pouco no aumento de Al extraível no solo. Devido a isto, em termos de correlação com os outros parâmetros este foi agrupado no fator 2 (fig.16). Na rizosfera, este aumento foi maior (o dobro) principalmente com a aplicação das doses mais elevadas, indicando uma forte influência da raiz em relação ao aumento na disponibilidade deste elemento. Em função deste aumento, o Al extraível, somente na rizosfera, foi agrupado junto com o P e K (fator 3). O Al monomérico também apresentou aumento em seus teores na rizosfera, mas diferiu do Al extraível, devido a sua maior correlação com os valores das bases trocáveis.

Pode-se atribuir tal aumento na rizosfera, em parte, à complexação com substâncias orgânicas exsudadas pela raiz, mas os métodos utilizados refletem a análise do Al solúvel no solo, e não o ligado à matéria orgânica. Supõe-se que em um primeiro momento, o Al é fixado no solo por diferentes substâncias orgânicas, porém, onde as ligações são mais fracas, ocorre sua liberação, e conseqüente aumento na disponibilidade. Ao se fazer uma razão entre os dois métodos utilizados para analisar Al, Al monomérico e o extraível, observa-se uma tendência na diminuição dos teores analisados pelo primeiro método, o que pode ser indicativo que o Al medido pela extração com HCl extraia um pouco do Al ligado a matéria orgânica.

Aspectos relacionados a ligações do Al na matéria orgânica e sua solubilização ainda não foram esclarecidos. ROSS et al. (1991) tentaram avaliar em Espodossolos as diferentes espécies de Al trocáveis e não trocáveis ligados à matéria orgânica, utilizando vários extratores, mas não obtiveram bons resultados.

Os parâmetros do solo que diminuíram seus valores drasticamente, pela adição de Al, foram as bases principais, Ca e Mg, e os parâmetros, SB e V, diretamente relacionados a estas. Na maior parte da literatura, as trocas são analisadas frente a fase inorgânica de solos argilosos. Neste estudo, devido às características do solo, a substituição das bases ocorreu na matéria orgânica. Ao avaliar-se as constantes de estabilidade dos complexos de metais com ácidos

húmicos e fúlvicos em relação à ligação com os cátions, observa-se que o Al liga-se mais fortemente a estas substâncias que Ca e Mg, diminuindo a CTC da matéria orgânica (SCHNITZER, 1978). Portanto, possivelmente, ao adicionar-se Al ao solo, este substituiu o Ca e Mg nestes sítios de troca.

Os teores de Al extraível não correlacionaram-se com os teores de Ca e Mg (anexo 5, p. 198), ao contrário do Al monomérico. Ou seja, o método colorimétrico (Al monomérico) foi mais efetivo em termos das respostas do solo aos tratamentos com Al em relação a estas bases do que o Al extraível por KCl. No experimento na casa de vegetação, os dois métodos apresentaram altas correlações com os teores destas bases.

A maior parte dos Espodossolos são ácidos e apresentam deficiência de N, P, K, Ca e micronutrientes. É consagrada na literatura que esta deficiência juntamente com a toxidez do Al, são os principais fatores responsáveis pelo baixo desenvolvimento das plantas neste ambiente (BALIGAR & FAGERIA, 1997). BALIGAR et al. (1991) salientam que, em solos ácidos, as limitações no crescimento da raiz não podem ser explicadas somente pela presença do Al, que a disponibilidade de Ca e Mg devem ser consideradas.

As variações ocorridas no pH, com a aplicação do Al, refletiram em quase todos os outros parâmetros do solo, tanto no campo quanto na casa de vegetação, o que se verifica pelos índices de correlação significativos com a maior parte dos parâmetros avaliados. A concentração de  $H^+$  tem um pronunciado efeito em uma série de constituintes do solo, principalmente nos minerais, microorganismos e raízes das plantas. Altas concentrações de  $H^+$  favorecem a intemperização dos minerais liberando vários íons como  $H^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ , e a solubilidade de sais como carbonatos, fosfatos e sulfatos (MENGEL & KIRKBY, 1987).

Neste experimento, o pH diminuiu em média de 3,5 para 3,3. Esta reação imediata frente a presença do Al, não se mantém mesmo com o aumento das doses deste elemento, o que reflete o alto poder de tamponamento da matéria orgânica do solo. O pH e o Al tiveram influências diferenciadas, visto que a correlação entre si foi baixa.

A não existência de diferenças significativas no pH entre o solo rizosférico e não rizosférico, pode indicar que o sistema radicial da planta não modificou o pH do solo. Esta medida realizada através da separação mecânica do solo, pode imbuir alguns erros, segundo RÖMHELD (1986), visto que as modificações do pH na rizosfera ocorrem ao longo de um gradiente de distância na raiz, no qual, este



método não leva em consideração e, ainda, compromete a avaliação nas raízes finas. Mudanças no pH da rizosfera afeta diretamente a solubilidade do Al no solo (GAHOONIA, 1993). A importância na remediação da toxidez do  $Al^{3+}$ , via aumento do pH da rizosfera foi bastante discutida na literatura (ver seção 2.5.2.1), tendo sido indicado por muitos anos como um dos principais processos de proteção da planta à toxidez do Al. Atualmente vários autores indicam como de menor importância. DEGENHARDT et al. (1998) salientam que as medidas de pH na solução do solo apresentam problemas sobre dois aspectos: o primeiro está relacionado à forma de N absorvida pelas plantas, onde a absorção de  $NO_3^-$ , causa alcalinização do meio, e do  $NH_4^+$  causa acidificação; o segundo é que esta medida de pH reflete as mudanças associadas a toda a raiz e não aos sítios primários que causam a toxidez do  $Al^{3+}$ .

Os Espodosolos, em função de suas características naturais, contêm baixas quantidades de argila, tendo como consequência uma baixa quantidade de  $NH_4^+$  armazenada. Mas de outra forma, existe uma entrada constante de N, pela fixação biológica, pela deposição atmosférica das formas  $NH_3$ ,  $NH_4^+$  e  $NO_3^-$ , além do originário da decomposição da matéria orgânica (STEVENSON, 1986).

KELTJENS (1997) concluiu que a adaptação das plantas a solos ácidos baseada na sua capacidade de modificar o pH da rizosfera, está longe da realidade, principalmente no que diz respeito a experimentos utilizando soluções nutritivas, e que a exsudação de ácidos orgânicos, resultando na quelação do Al, é um processo muito mais efetivo.

No fator 2, foram agrupados H + Al, CTC total (T) e o C. O valor T é função das quantidades de H + Al, visto que representam mais de 80% no cálculo deste valor. Portanto, este fator agrupou os parâmetros relacionados aos sítios de troca no solo, principalmente com a matéria orgânica.

A CTC total pode ser dividida em efetiva, aquela ocupada por cátions efetivamente trocáveis, como  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$  e  $Al^{3+}$ , e aquela ocupada pelo H não trocável. Pelo fato do H bloquear as cargas, sendo retirado apenas por neutralização do meio, se diz que essa CTC é pH dependente. Em níveis elevados de acidez, haverá muitos íons  $H^+$  para ocupar as cargas negativas do solo, impedindo os processos de troca (TOMÉ Jr., 1997).

Segundo MARSCHNER (1991), níveis altos de  $H^+$  em algumas situações podem ser mais fitotóxicos que o  $Al^{3+}$ , principalmente onde o conteúdo de matéria orgânica é maior, como por exemplo no horizonte A do solo.

Na análise fatorial, o C ficou agrupado com H + Al e a CTC, devido aos altos índices de correlação, o que reflete a importância da matéria orgânica na CTC deste solo.

HAY & LACERDA (1980) e HAY et al. (1981) obtiveram, em solos semelhantes aos aqui estudados, altos índices de correlação entre matéria orgânica e CTC. SILVA (1990) obteve correlações significativas da matéria orgânica com a CTC, P, K, Mg e Ca, no mesmo tipo de solo, também na Ilha do Mel.

Os índices de correlação entre CTC e C, e CTC e pH, foram maiores no primeiro caso. ROSS et al. (1991), estudando 148 horizontes de Espodosolos florestais, salientam que abaixo de pH 5,3 a CTC é linearmente correlacionada com a matéria orgânica e independente do pH. Como as trocas neste solo são na maior parte com a fase orgânica, o poder de tamponamento do mesmo é bastante alto. A aplicação do Al tenderia a promover um abaixamento mais drástico no pH, o que não ocorre.

O fator 3, foi representado pelos elementos P e K. Estes elementos foram separados neste fator por apresentarem alta correlação positiva entre si e maiores teores no solo rizosférico, principalmente onde foram aplicadas doses mais elevadas de Al.

No solo não rizosférico não houve correlação entre pH, P e K, visto que seus teores ficaram constantes com a aplicação do Al, e no pH observou-se uma pequena diminuição. Já no solo rizosférico ocorreram correlações negativas, visto que P e K aumentaram seus teores.

Em solos ácidos, o K é facilmente lixiviado e substituído pelo Al. Nos solos arenosos, este processo é mais drástico. Ao contrário do que se esperava, não ocorreu diminuição do K nos tratamentos com Al neste experimento, visto que na floresta existe um aporte constante de K proveniente da lixiviação das copas, calculado em cerca de 45 Kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (BRITZ, 1994). A matéria orgânica tem papel importante na fixação de parte deste K no solo, como pode ser visto pelos índices de correlação significativo com o C. O mesmo ocorre com o P, onde a maior parte esta associada à matéria orgânica (MENGEL & KIRKBY, 1987).

O aumento dos teores na rizosfera indica que modificações, nesta região, permitiram que o K não fosse lixiviado.

O suprimento de P, K e micronutrientes à planta está relacionado ao processo de difusão destes do solo para a raiz, ou seja, as espécies que possuem maior comprimento e densidade de raízes absorvem maiores quantidades destes

elementos (BALIGAR & FAGERIA, 1997). KELTJENS (1997) salienta que, em solos ácidos florestais, existem pequenas variações quanto à disponibilidade de P e Al em uma microescala. As raízes crescem no sentido de procura destes nutrientes mobilizando P insolúvel, Al e fosfatos de Fe, através de dois mecanismos. O primeiro, solubilizando o P, através da excreção de ácidos orgânicos. O Al e o Fe que poderiam causar toxidez seriam prontamente quelados por esses ácidos. O segundo, relaciona-se ao aumento da absorção do P pela simbiose com micorrizas (ver seção 2.5.2.3).

Em suma, o fator 3 representa a influência da rizosfera na amenização da toxidez do Al, através das modificações bioquímicas e microbiológicas nesta região do solo (ver seção 2.5). A tendência de aumento do C no solo perante os tratamentos com o Al, pode caracterizar uma reação da planta através da exsudação de substâncias orgânicas.

Olhando do ponto de vista do funcionamento deste ecossistema, onde *T. guianensis* é dominante (SILVA, 1999), a ciclagem de nutrientes é dependente do ciclo da matéria orgânica. A deposição de serapilheira é a principal fonte, que ao se decompor, acumula-se no horizonte A do solo (BRITTEZ, 1994). A decomposição é bastante rápida (BRITTEZ & PIRES, 1999), onde existe a necessidade de evitar perdas de nutrientes via lixiviação, devido aos solos de baixa fertilidade. Neste processo, as raízes exercem um papel muito importante na retenção de nutrientes e na decomposição da serapilheira (STARK & JORDAN, 1978; JORDAN 1985). Ao entrarem em contato direto com a serapilheira em decomposição, através de mecanismo de exsudação e absorção direta, retiram nutrientes essenciais (LUIZÃO & SHUBART, 1986). É de se esperar, embora não se tenha feito nenhuma análise específica neste sentido, que as raízes desta espécie exsudem uma quantidade significativa de material orgânico na rizosfera, pelas características funcionais deste ecossistema. Portanto, a presença do Al, implementou o processo.

O Al total, não correlacionou-se com nenhum outro parâmetro do solo, como pode ser constatado na figura 16, onde este apresenta-se isolado. As quantidades de Al encontradas são na maior parte provenientes do material de origem do solo, que contém Al em sua composição (BRITTEZ et al., 1997), quantidades essas, muito superiores àquelas que fizeram parte da movimentação e troca no solo e no sistema biológico.

#### 4.1.2 Micorrizas

As médias obtidos com a avaliação da contagem de esporos no solo e a colonização das raízes das plantas de *T.guianensis* por micorrizas, perante os tratamentos com Al constam do anexo 6 (p. 200).

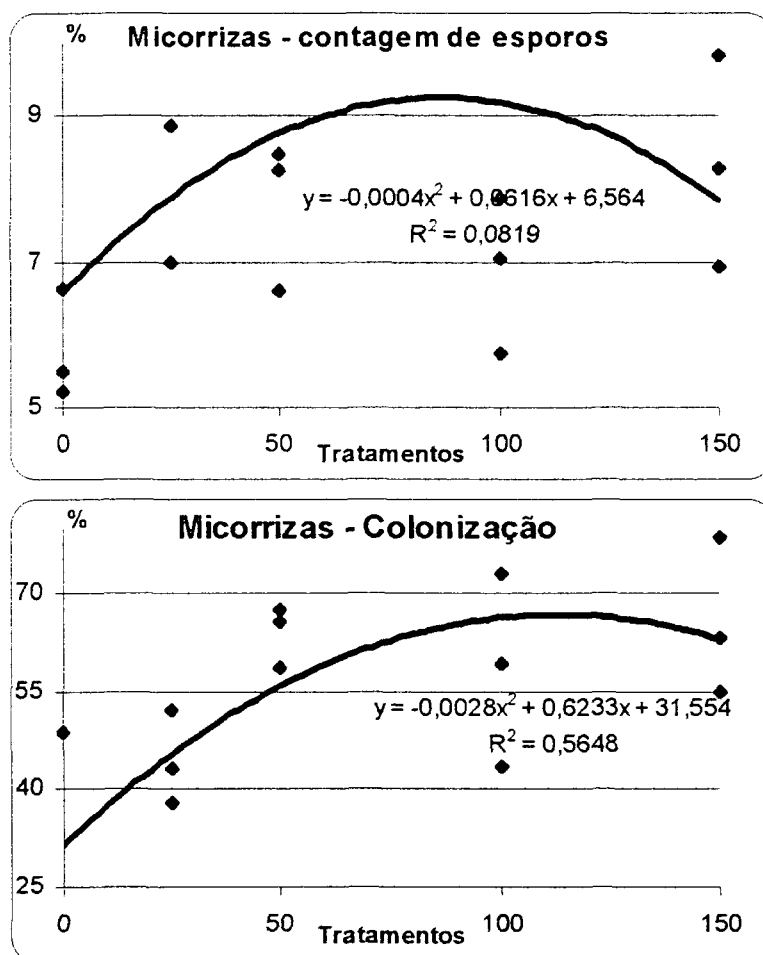
A contagem de esporos não apresentou diferenças significativas (nível de significância de 5 %) entre tratamentos na análise de variância (anexo 7, p. 200), apresentando uma pequena elevação na curva até o tratamento com 50mg/g de Al, e decrescendo posteriormente.

Em relação à colonização das raízes por micorrizas, ocorreram diferenças significativas para os diversos tratamentos de Al (anexo 7). A percentagem de colonização aumentou até o tratamento com 50 mg/kg de Al, estabilizando-se posteriormente (figura 17).

Quando correlacionado com os demais parâmetros do solo (anexo 8, p. 201), o número de esporos apresentou índice positivo somente com K (nível de significância de 10 %), no solo rizosférico.

A colonização de micorrizas nas raízes correlacionou-se negativamente com Ca, Ca + Mg, soma de bases, saturação por bases, pH e, positivamente, com H + Al, saturação com Al e Al monomérico (anexo 8 - níveis de significância de 5 e 10 %). No solo rizosférico, o comportamento foi semelhante, onde P e K também apresentaram correlações altamente significativas (nível de significância de 5 %).

FIGURA 17 – NÚMERO DE ESPOROS NO SOLO E PERCENTAGEM DE COLONIZAÇÃO DE MICORRIZAS NAS RAÍZES DE *Tapirira guianensis*, DO EXPERIMENTO REALIZADO NA FLORESTA COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE Al.



Em geral não existe correlação entre micorrizas e pH do solo. É sabido que, dependendo do pH, algumas espécies de micorrizas são favorecidas, ou que o pH do solo modifica a solubilidade dos nutrientes, podendo indiretamente influenciar na formação e/ou atividade das micorrizas arbusculares (BAREA, 1991). Entretanto, micorrizas arbusculares (MA) são encontradas em solos com pH variando de 2,7 a 9,2. Em pH abaixo de 5,5, a toxidez de Al, em sistemas agrícolas, é o componente inibidor mais importante para o desenvolvimento de espécies de MA (SIQUEIRA & MOREIRA, 1997). Estes autores salientaram que tanto em termos de diversidade, como de tamanho de populações, a influência do pH ainda é uma questão em aberto.

LAMBAIS & CARDOSO (1988), sugeriram que em solos ácidos o Al é o principal inibidor da germinação de esporos e colonização de micorrizas. Em

contraste, plantas adaptadas a solos ácidos são mais fortemente micorrizadas, mas diminuem o número de espécies, indicando que algumas MA indígenas estão adaptadas às condições ácidas, protegendo a planta contra os efeitos tóxicos do Al e Mn (SIQUEIRA & MOREIRA, 1997).

O aumento na colonização de micorrizas, durante os tratamentos com Al, resultou em uma correlação positiva com aumento de K, P e Al monomérico na rizosfera.

Dados de SMITH & GIANINAZZI-PEARSON (1988), indicam que as hifas das MA podem crescer no solo em média de 1m/cm de raiz. Tal fato é de grande importância para a absorção de N, P e K no que concerne à difusão. BAREA (1991), salienta que estes nutrientes podem ser exauridos na região de rizosfera, quando estão em baixas concentrações no solo, em virtude da razão da difusão ser menor que a absorção.

São bem conhecidos os efeitos benéficos das MA na absorção do P pela planta, sendo absorvidas as formas lábeis e não lábeis incluindo o P na forma orgânica, e também na forma de fosfatos de ferro e alumínio, através da solubilização com ácidos orgânicos e fosfatases (BAREA, 1991; BOLAN 1991; SIQUEIRA & MOREIRA, 1997).

Cabe salientar que, na região da rizosfera, existe uma intensa atividade de outros organismos, que interagem estimulando ou inibindo a atividade das micorrizas (FITTER & GARBAYE, 1994). No experimento realizado no campo, estes aspectos aliados a processos bioquímicos que ocorrem na rizosfera, podem explicar os teores mais elevados de K e P nesta região.

#### 4.1.3 Crescimento das Plantas

As médias e desvio padrão das medidas realizadas em *Tapirira guianensis*, são apresentados no anexo 9 (p. 201).

Dentre os parâmetros analisados, apenas peso das folhas e das raízes resultaram em diferenças significativas na análise de variância (anexo 10, p.202), frente as doses crescentes de Al.

O peso das folhas decresceu em todos os tratamentos, aumentando com a dose mais elevada (figura 18). Já o peso da raiz apresentou-se estável nas doses mais baixas, aumentando significativamente nas mais elevadas. O comprimento da raiz, embora não apresentasse diferença estatística entre tratamentos, exibe uma

tendência de aumento (figura 18). O mesmo ocorre com a relação entre peso seco e número de folhas.

MARSCHNER (1991) salienta que existe uma rápida regeneração das raízes em condições químicas desfavoráveis, com aumento na demanda de fotossintatos requeridos pela raiz, mas não necessariamente diminuí o crescimento da parte área.

Utilizando-se da regressão múltipla para avaliar qual dos parâmetros melhor refletiu o efeito do tratamento (variável dependente), foram selecionadas (seleção "stepwise") as variáveis peso da raiz e folhas (tabela 3).

TABELA 3 – AJUSTE DA REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA ENTRE A VARIÁVEL DEPENDENTE (TRATAMENTOS) E AS VARIÁVEIS DA PLANTA.

n=25	B	Nível de probab.	Características da regressão
intercepto	37,32817	0,290322	R= 0,782
Folhas	-93,7122	0,000124	R <sup>2</sup> = 0,613
Raiz	123,8785	1,77E-05	Erro padrão=35,711

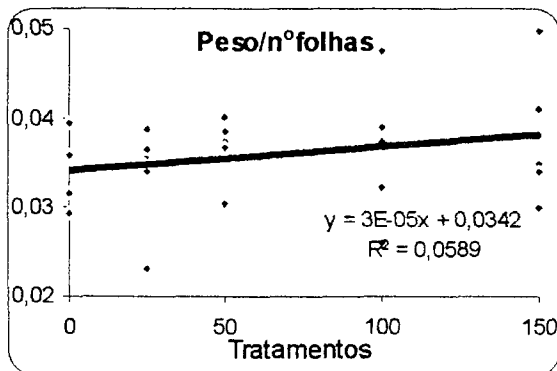
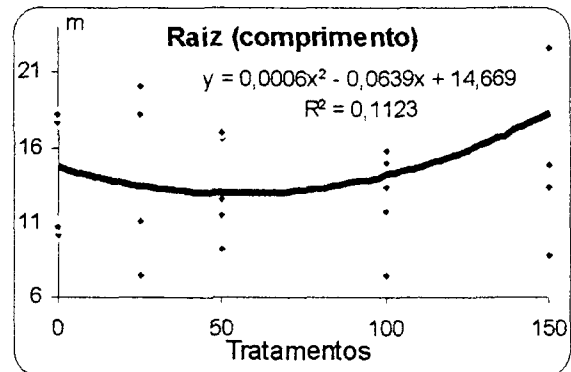
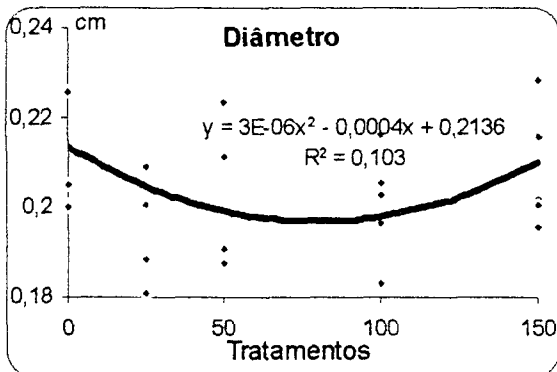
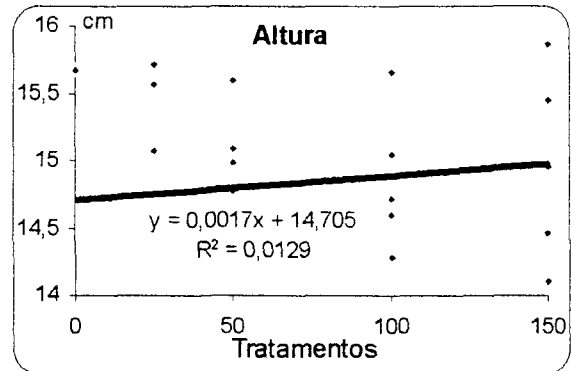
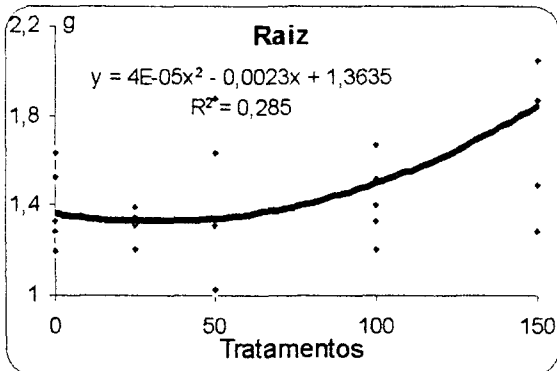
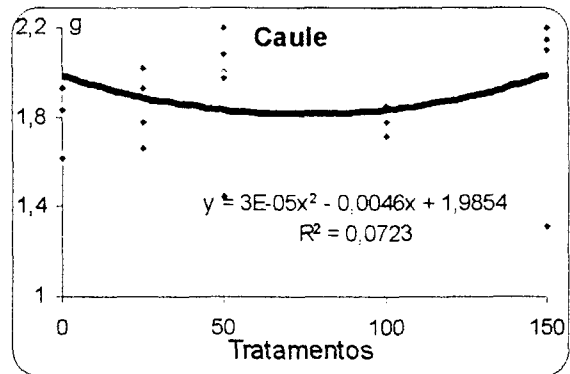
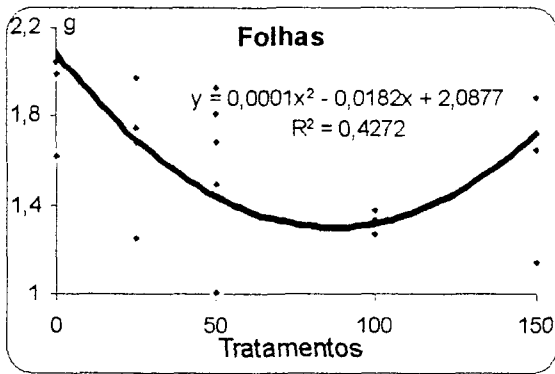
A análise de correlação entre os parâmetros do solo e as variáveis da planta (anexo 11, p. 203), permitiu constatar um maior número de valores significativos (nível de significância de 5 %) para o solo rizosférico, sendo que o peso de folhas e de raízes foram os mais representativos.

O peso das folhas decresceu em resposta a doses mais elevadas de Al. Este decréscimo correlacionou-se positivamente com o pH, Ca+Mg, Ca e saturação por bases, e negativamente, com saturação por Al e Al monomérico, principalmente no solo rizosférico. Estes parâmetros do solo correspondem ao fator 1, ou seja, àqueles mais afetados pela adição do Al no solo.

Isto indica que a baixa disponibilidade de Ca e Mg no solo, em função do aumento do Al monomérico, influenciou negativamente no desenvolvimento da parte aérea da planta.

Outro aspecto está relacionado à incidência de luz. Esta espécie é considerada heliófila, quando adulta, e esciófita ou de luz difusa quando jovem (FLEIG, 1989). Embora suporte uma baixa luminosidade existe a possibilidade que esta tenha influenciado negativamente no crescimento da parte aérea.

FIGURA 18 – RESPOSTA DOS PARÂMETROS DE CRESCIMENTO DE *T. guianensis*, NOS EXPERIMENTOS REALIZADOS NA FLORESTA FRENTE A DOSES CRESCENTES DE AI





O peso da raiz aumentou significativamente com a aplicação das doses mais elevadas de Al. Os índices de correlação entre parâmetros de crescimento e frações do solo, foram mais elevados com o solo rizosférico, principalmente com os parâmetros agrupados anteriormente nos fatores 2 e 3 (Al extraível, H + Al, CTC total, C, K e P), ou seja, aos fatores mais relacionados à troca catiônica no solo, e às características particulares da rizosfera.

Este resultado se opõe ao que foi relatado na literatura em relação às espécies agrícolas, onde o sintoma inicial e mais significativo da toxidez do Al é a inibição do crescimento da raiz. Em experimentos com espécies florestais também ocorrem efeitos negativos e positivos. Quando positivos, estão sempre relacionados às quantidades de Al adicionadas, onde em quantidades moderadas o Al apresenta efeito benéfico (ver seções 2.4 e 2.6).

O crescimento da raiz supostamente proporcionaria um aumento na absorção de K e P que é realizado principalmente pelo processo de difusão, soma-se ainda, o aumento da colonização por micorrizas e conseqüente aumento na absorção destes elementos. E, finalmente, a complexação do Al com substâncias orgânicas, neutralizando a sua toxidez. Todos estes processos, como já salientado, ocorrendo na rizosfera.

KOLCHIAN (1995) utilizou o termo "Al resistente" para designar as plantas capazes de manter o crescimento da raiz e o vigor em solos ou soluções ácidas na presença de Al tóxico. As plantas resistentes ao Al foram divididas segundo dois mecanismos: as que facilitam a exclusão do Al da raiz, e as que toleram o Al em seu simplasto. Neste sentido, *T. guianensis*, pode ser considerada uma planta que possui mecanismo de exclusão do Al.

CUENCA et al (1990), estudando a tolerância ao Al em árvores tropicais, citam, como um dos principais mecanismos, a quelação do Al na solução do solo. Salientam a produção de agentes queladores e exsudados, bem como seu transporte, que provavelmente implica em um alto custo energético, resultando em menores taxas de crescimento.

#### 4.1.4 Nutrientes nas plantas

As médias dos teores de macronutrientes e micronutrientes das folhas, caule e raiz em *T. guianensis*, submetidas a doses crescentes de Al, estão no anexo 12 (p. 204).

O ajuste das curvas de regressão entre teores de macro e micronutrientes e os tratamentos com Al, são ilustrados na figura 19.

A análise de variância (anexo 13, p. 206) apontou diferenças significativas para os teores do componente folha, nos seguintes elementos: N, K, Ca, Fe, Mn e Al. Para o caule: N, P, K, Mg, Fe, Zn e Al. Para a raiz: N, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn e Al.

Através da matriz de correlação (anexo 14, p. 210) entre os teores de nutrientes e as variáveis de crescimento da planta, observa-se poucos índices de correlação significativos. Os mais elevados são entre peso de folhas, e Al, Mn (nível de significância de 5 %), N e K (nível de significância de 10 %). O peso do caule, da raiz e peso/n<sup>o</sup> de folhas não correlacionaram-se com nenhum nutriente. Comprimento da raiz e altura correlacionaram-se negativamente com P e Mg, respectivamente.

Da mesma forma que nas folhas, os teores Al e K no caule correlacionaram-se negativamente com peso das folhas, e positivamente com Mn e Mg. Outras correlações positivas (nível de significância de 5 %) foram peso da raiz e peso / n<sup>o</sup> de folhas com o P, peso do caule com Mn e peso da raiz com N.

Os teores de Mg, Mn e Fe na raiz correlacionarem-se positivamente com os valores de peso das folhas e negativamente com Al. A outra correlação significativa foi entre peso do caule e Mn.

FIGURA 19 - MÉDIAS DE NUTRIENTES E AL, MEDIDOS NAS FRAÇÕES DE *T. guianensis*, DO EXPERIMENTO REALIZADO NO CAMPO COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE Al ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ).

continua

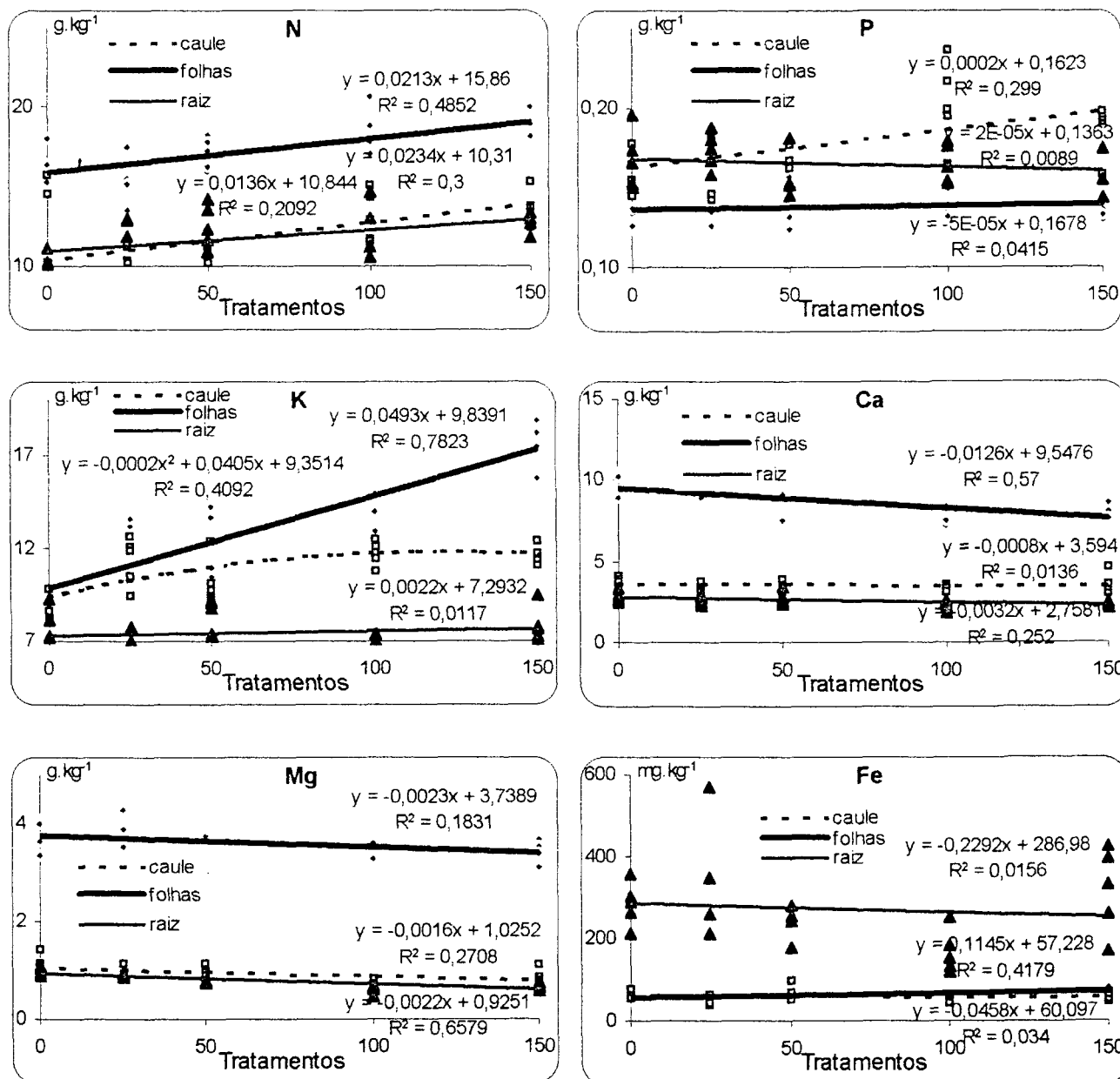
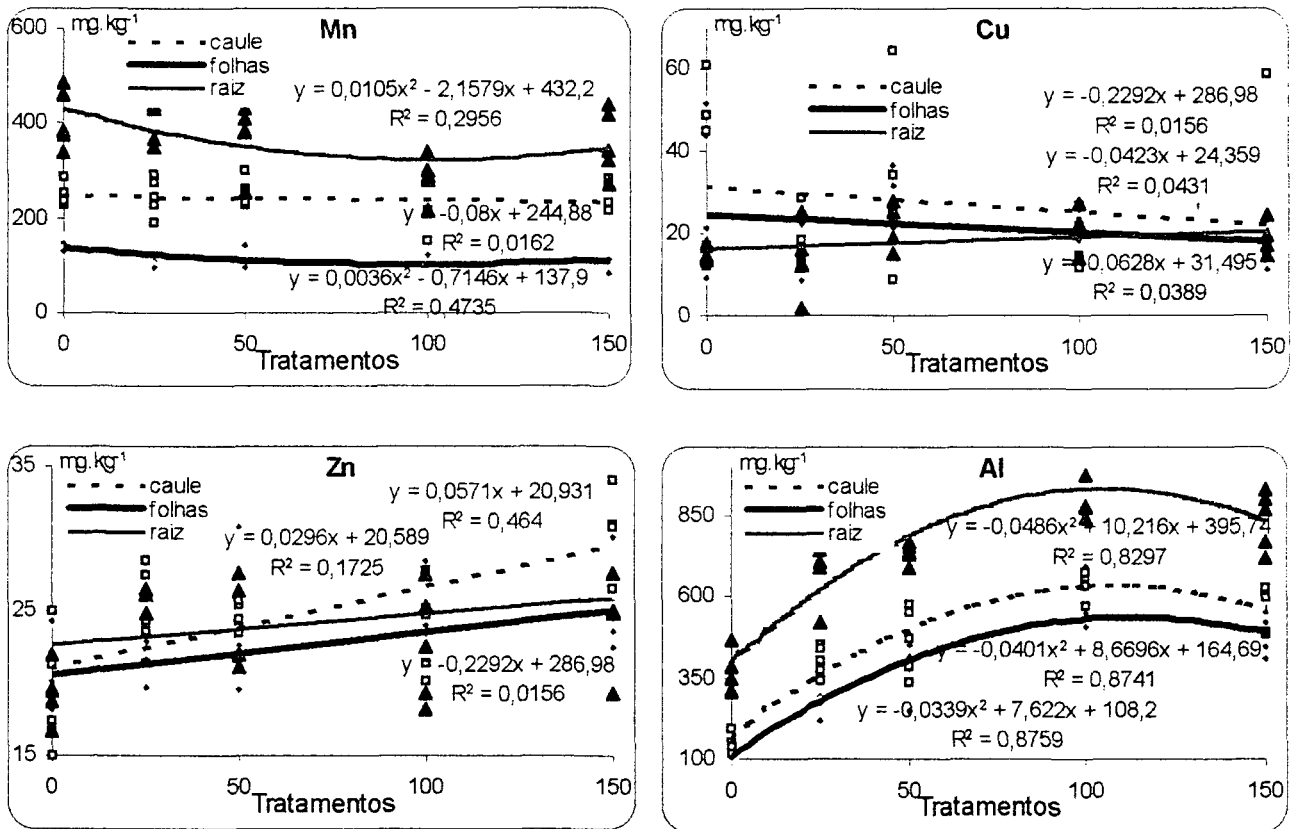


FIGURA 19 - MÉDIAS DE NUTRIENTES E AI, MEDIDOS NAS FRAÇÕES DE *T. guianensis*, DO EXPERIMENTO REALIZADO NO CAMPO COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE Al (mg.kg<sup>-1</sup>).  
conclusão



Ao calcular-se os índices de correlação entre os nutrientes (anexo 15, p. 211) nas diferentes frações (folha, caule e raiz), verifica-se que muitas variáveis possuem índices de correlação significativos entre si. Reunindo as variáveis relacionadas no componente folhas, através da análise fatorial, obtiveram-se 4 fatores que explicam 81,33 % da variância total (tabela 4). No caule as variáveis foram reunidas em 5 fatores representando 83,77 % da variância total. O mesmo ocorreu com a fração raiz, com 80,13 % da variância total.

Na tabela 5 constam os pesos de cada fator, após a rotação varimax normalizada, as comunalidades e a variância específica dos nutrientes nas folhas, caule e raiz.

TABELA 4 – FATORES, AUTOVALORES, E PERCENTAGEM DA VARIÂNCIA EXPLICADA, NAS FRAÇÕES DE *Tapirira guianensis* DO EXPERIMENTO REALIZADO NA FLORESTA COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE AI.

FOLHAS				
Fatores	Autovalores	Total da variância explicada (%)	Autovalores acumulados	Total da variância acumulada (%)
1	5,262	47,84	5,262	47,84
2	1,450	13,18	6,712	61,02
3	1,235	11,22	7,947	72,24
4	0,999	9,08	8,946	81,33
CAULE				
Fatores	Autovalores	Total da variância explicada (%)	Autovalores acumulados	Total da variância acumulada (%)
1	4,222	38,38	4,222	38,38
2	1,717	15,61	5,938	53,99
3	1,210	11,00	7,148	64,98
4	1,129	10,27	8,278	75,25
5	0,937	8,52	9,214	83,77
RAIZ				
Fatores	Autovalores	Total da variância explicada (%)	Autovalores acumulados	Total da variância acumulada (%)
1	3,779	34,35	3,779	34,35
2	1,778	16,16	5,556	50,51
3	1,253	11,39	6,810	61,91
4	1,095	9,95	7,905	71,86
5	0,910	8,27	8,814	80,13

TABELA 5 – PESOS FATORIAIS ROTACIONADOS (ROTAÇÃO VARIMAX), ESTIMADOS PELO MÉTODO DOS COMPONENTES PRINCIPAIS, COMUNALIDADES E VARIÂNCIA ESPECÍFICA DOS NUTRIENTES NAS FOLHAS, CAULE E RAIZ DO EXPERIMENTO REALIZADO NA FLORESTA COM *T. guianensis*.

continua

FOLHAS							
	Pesos fatoriais rotacionados				Comunalida- des	Variância específica	
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4			
Tratamentos	0,455	0,259	0,201	<b>0,756</b>	0,885	0,115	
N	0,133	0,259	-0,187	<b>0,774</b>	0,719	0,281	
P	-0,151	<b>0,621</b>	-0,494	0,267	0,724	0,276	
K	0,247	0,323	0,256	<b>0,795</b>	0,864	0,136	
Ca	-0,378	-0,496	0,041	<b>-0,644</b>	0,805	0,195	
Mg	<b>-0,915</b>	0,085	0,105	-0,146	0,877	0,123	
Fe	<b>0,800</b>	0,163	0,102	0,332	0,788	0,212	
Mn	-0,033	0,290	-0,119	<b>-0,845</b>	0,813	0,187	
Cu	0,051	-0,099	<b>-0,893</b>	-0,143	0,830	0,170	
Zn	0,092	<b>0,888</b>	0,210	0,121	0,855	0,145	
Al	0,339	0,355	-0,008	<b>0,739</b>	0,787	0,213	

CAULE							
	Pesos fatoriais rotacionados					Comunali- dades	Variância específica
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5		
Tratamentos	<b>0,775</b>	0,113	0,045	0,028	0,499	0,866	0,134
N	0,152	0,124	0,080	-0,063	<b>0,888</b>	0,837	0,163
P	0,390	-0,207	0,153	0,335	<b>0,645</b>	0,747	0,253
K	<b>0,780</b>	0,074	0,215	0,268	-0,010	0,732	0,268
Ca	-0,074	0,000	-0,118	<b>-0,937</b>	-0,006	0,898	0,102
Mg	-0,457	-0,540	0,084	<b>-0,585</b>	-0,213	0,895	0,105
Fe	0,030	0,034	<b>-0,823</b>	-0,303	-0,209	0,815	0,185
Mn	0,000	<b>-0,932</b>	-0,133	0,005	-0,021	0,887	0,113
Cu	-0,257	-0,168	<b>-0,787</b>	0,124	0,014	0,730	0,270
Zn	<b>0,829</b>	-0,401	0,035	-0,243	0,160	0,935	0,065
Al	<b>0,835</b>	0,218	0,088	0,220	0,268	0,872	0,128

RAIZ							
	Pesos fatoriais rotacionados					Comunali- dades	Variância específica
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5		
Tratamentos	<b>-0,849</b>	0,210	0,154	-0,083	-0,028	0,796	0,204
N	-0,256	0,418	<b>0,667</b>	0,299	0,044	0,777	0,223
P	0,160	-0,067	-0,059	<b>0,937</b>	0,092	0,921	0,079
K	0,067	-0,164	<b>0,850</b>	-0,280	0,141	0,852	0,148
Ca	<b>0,767</b>	0,358	0,056	0,021	-0,345	0,839	0,161
Mg	<b>0,918</b>	-0,011	-0,020	0,089	0,222	0,901	0,099
Fe	0,148	0,180	0,071	0,099	<b>0,899</b>	0,877	0,123
Mn	<b>0,627</b>	0,496	-0,133	0,111	0,151	0,692	0,308
Cu	-0,390	-0,070	0,419	0,070	-0,206	0,380	0,620
Zn	-0,108	<b>0,923</b>	-0,026	-0,101	0,162	0,900	0,100
Al	<b>-0,830</b>	0,370	0,144	-0,062	-0,167	0,879	0,121

#### 4.1.4.1 Raiz

Através da análise dos carregamentos maiores que 0,600 (tabela 5 e figura 20) na fração raiz, Ca, Mg, Mn e Al foram agrupados no fator 1. N e K, no fator 3; Zn no fator 2; Fe no fator 5, e P no fator 4.

Na raiz, o fator mais importante é representado pelo agrupamento de Ca, Mg, Mn e Al (fig. 20). Os 3 primeiros apresentam uma diminuição nos teores, e o Al, um aumento (fig. 19).

Os teores de Mg e Al, que apresentaram alta correlação negativa entre si, correlacionaram-se com todos os parâmetros do solo rizosférico (anexo 16, p. 212), apresentando os índices mais elevados.

É de consenso na literatura que o maior sítio de acúmulo de Al é a região do apoplasto na raiz, sendo indicado como o principal sítio de toxidez deste elemento, daí, o grande aumento ocorrido nos teores quando da adição do Al.

Os teores de Ca e Mn na raiz, obtiveram índices significativos na análise de correlação (anexo 16) com os parâmetros agrupados no fator 1 (análise fatorial do solo), pH, Ca + Mg, Ca, valor V, valor m e Al monomérico, ou seja, possivelmente foram diretamente influenciados pela adição do Al.

O Al interfere na absorção de Ca e Mg, pela diminuição da disponibilidade no solo, e pela competição entre estes elementos nos sítios de troca das raízes (OENE, 1998). A manutenção de Ca, Mg e Mn no apoplasma das células da raiz é necessária para a absorção destes cátions, sendo que o deslocamento de Ca e Mg pelo Al já foi comprovado (MARSCHNER, 1991). GODBOLD (1991), sugere que o Al inibe a absorção de Mg tanto pelo deslocamento do apoplasma da raiz quanto pela diminuição do Mg no plasmalema e sua absorção na membrana. O Mg apresentou um decréscimo mais acentuado na raiz que os demais nutrientes, sua diminuição foi altamente correlacionada com o aumento do Al e a conseqüente diminuição de Ca e Mg na solução do solo.

O Ca foi menos afetado pelos tratamentos com Al, havendo uma diminuição nos teores menos acentuada. As correlações com os parâmetros do solo foram menos significativas.

Segundo, RYAN et al (1997), o mecanismo de toxidez de Al ainda não é claro, no que diz respeito a interação entre Ca e Al. Segundo estes autores, foram

propostas 3 tipos de interação: (a) Al inibe o transporte de Ca para o simplasto nas células da raiz; (b) O Al rompe a homeostase no citoplasma; e (c) o Al desloca o Ca de sítios críticos no apoplasto.

Aumentando a quantidade de prótons na solução externa, diminuem as quantidades de Ca, Mg e Al no apoplasto. Na presença do Al, as quantidades de Ca e Mg no apoplasto diminuem sensivelmente independente da quantidade de Al (GODBOLD & JENTSCHKE 1998).

O Zn na raiz, apresentou-se como um fator isolado na análise fatorial, aumentando seus teores no decorrer dos tratamentos. Este não correlacionou-se com nenhum parâmetro do solo (anexo 16). Juntamente com o Al estes foram os únicos elementos na raiz que apresentaram índices significativos em relação a colonização por micorrizas (anexo 17, p. 215). Existem vários trabalhos indicando o aumento na absorção de Zn relacionado a infecção por micorrizas arbusculares (MARSCHNER & DELL, 1984).

Outro fator é constituído pelo grupamento do N e K, sendo que o primeiro aumentou o seu teor com a aplicação do Al, estabilizando-se, e o segundo, permaneceu estável. Somente o N correlacionou-se com os parâmetros do solo (agrupados no fator 1), pH, Ca + Mg, Ca, valor V, valor m e Al monomérico, e ainda, com o teor de Al nas raízes. Estes resultados indicam um efeito positivo na absorção do N em relação a presença do Al no solo e na raiz. Nas revisões realizadas por FOY et al, (1978) e ROY et al (1988), indicam respostas bastante diferentes entre experimentos em relação a absorção de N, em alguns casos positivos e outros negativos. Grande parte dos experimentos foram relacionados à adição de N amoniacal ou nítrico, as mudanças no pH da rizosfera, e o efeito destas formas de N na amenização da toxidez de Al (ver seção 2.5.2.1).

Atribui-se que efeitos negativos do Al ocorrem em função da competição dos sítios de absorção do K com o Al (ROY et al, 1988) ou em relação à inibição do transporte ativo do K (PFEFFER et al, 1986). Neste caso, o Al não afetou a absorção do K, mantendo-se estável em todos os tratamentos e não correlacionando-se com nenhum parâmetro do solo. ASP et al (1988) encontrou resultados semelhantes em experimentos realizados com *Picea abies* com os teores de K se mantendo em mesmo nível na raiz. A pouca influência do Al na absorção do K é devido a existência de canais específicos de absorção do K na membrana plasmática, que não são influenciados pela presença do Al (MARSCHNER, 1991).



Os elementos Fe e P, participaram isolados em fatores diferentes, não correlacionando-se com os teores dos demais nutrientes da raiz. Embora tenha ocorrido um aumento de P na rizosfera, seus teores mantiveram-se constantes na raiz frente aos tratamentos com o Al. Muitas plantas agrícolas tem diminuída a absorção de P com a presença do Al, algumas vezes associadas à precipitação de formas insolúveis de P na raiz, e na parede celular do córtex, endoderme, estele, e até mesmo no interior da célula, inibindo o crescimento das plantas (FOY et al, 1978).

Vários mecanismos relacionados à minimização da toxidez do Al, pelo P são citados na literatura ou seja; aumento na superfície das raízes; presença de fosfatases na rizosfera; aumento da população de microorganismos e excreção de substâncias orgânicas na rizosfera; e presença de micorrizas (ver seção 2.5.2.2 e 2.5.2.3). Supõe-se que todos estes mecanismos estão presentes no ambiente do experimento realizado no campo.

O Fe apresentou um grande acúmulo na raiz, mas seus teores não foram afetados pela presença de doses crescentes de Al. A solubilidade do Fe no solo é governada principalmente por quelatos de Fe, derivados da matéria orgânica, microorganismos e exsudados da raiz (MARSCHNER, 1986). A ligação de Fe e Al com compostos orgânicos, como já salientado anteriormente, é comum neste ecossistema, sendo um importante aspecto da formação dos Espodossolos.

Nas revisões de FOY et al, (1978) e ROY et al (1988), vários exemplos são citados, com aumento e redução na absorção de Fe perante a presença de Al.

#### 4.1.4.2 Caule

Na fração caule, foram agrupados no fator 1, Zn e Al, no fator 5, N e P, no fator 4 o Ca, no fator 3, Fe e Cu, e finalmente no fator 2, Mg e Mn.

Na fração caule, distinguiram-se 5 fatores (fig. 20). O primeiro deles foi constituído pelo agrupamento das variáveis Al, Zn e K, tendo estes elementos um aumento significativo durante o tratamento com Al.

O teor de Al no caule, de forma semelhante ao que havia ocorrido na raiz, apresenta altas correlações com os parâmetros químicos analisados no solo, principalmente da rizosfera. Isto indica que o aumento dos teores no solo, proporcionou uma absorção e transporte para o caule. Pouco se sabe sobre o transporte do Al nas plantas, a maior parte dos trabalhos neste sentido estão

relacionados a plantas acumuladoras de Al. MARSCHNER (1991), sugere que nestas plantas, o Al seja complexado no solo e transportado nesta forma até a parte aérea. NAGATA et al (1993), sugeriram que no chá, o transporte do Al até as folhas é realizado por um complexo de Al com flúor em um processo não metabólico, onde ao chegar às folhas este é modificado drasticamente. WATANABE et al (1998), também em uma planta acumuladora, observou acúmulo de Al no xilema, sugerindo que este penetra no xilema e é transportado para os vasos.

A absorção e transporte do zinco foram implementados pelos tratamentos com Al. A forma como o Zn é transportado da raiz para as demais partes da planta é pouco conhecida (MENGEL & KIRKBY, 1987). O transporte de longa distância no xilema, pode ocorrer ligado a ácidos orgânicos ou na forma livre de cátion divalente (MARSCHNER, 1986).

Os teores de Zn e K, na raiz, não correlacionaram-se com os parâmetros químicos do solo, já no caule, estes apresentaram correlações altas com a maior parte destes parâmetros (anexo 16). Os teores de K na raiz permaneceram estáveis, e no caule eles aumentaram com o aumento de Al do solo, indicando um aumento na absorção de K. Este elemento é caracterizado pela alta mobilidade nas plantas em todos os níveis, na célula, nos tecidos e no transporte via xilema e floema (MARSCHNER, 1986).

N e P, foram reunidos em um outro fator (fig. 20) e também tiveram seus teores aumentados no caule (fig. 19), perante os tratamentos com Al. O caule, exibiu os maiores teores de P, apresentando comportamento crescente em seus teores até o tratamento de 100 mg/kg, estabilizando-se. Nas folhas e raízes, este permaneceu estável. O P teve correlações significativas com quase todos parâmetros do solo rizosférico (anexo 16) e com a colonização com micorrizas (anexo 17), o que não havia ocorrido na raiz. O aumento dos teores de P extraível no solo rizosférico não correlacionou-se com o aumento dos teores no caule, indicando que os processos de absorção e transporte foram mais importantes para a elevação nos teores no caule.

Os teores de N do caule, também apresentaram índices de correlação maiores com os parâmetros do solo, do que os teores de N na raiz. Tanto o N quanto o P na absorção e transporte na planta, envolvem uma série de reações e processos bioquímicos na planta, que poderiam ter sido beneficiados com o acréscimo de Al no solo.

Outro agrupamento foi constituído pelos teores de Ca e Mg (tab. 5), apresentando comportamento semelhante ao que já havia ocorrido na raiz. O Ca, manteve seus teores estáveis frente aos tratamentos com Al, apresentando baixas correlações com os parâmetros químicos do solo.

O Mg, foi o único elemento cujos teores no caule apresentaram pequena tendência de decréscimo, embora com uma aproximação com o Ca, teve uma tendência a ficar isolado na análise fatorial (fig. 20). Este apresentou índices de correlação altos com quase todos os parâmetros do solo rizosférico (anexo 16, p. 212), principalmente com a saturação em bases, indicando uma possível competição com os outros cátions, como já havia sido salientado em relação os teores na raiz.

Em outro fator, agrupou-se Fe e Cu (fig. 20), com os teores permanecendo estáveis durante os tratamentos. Da mesma forma do que na raiz o Fe não correlacionou-se com os parâmetros químicos do solo (anexo 16). O Cu correlacionou-se com alguns parâmetros do solo rizosférico, agrupados no fator 2, fator este relacionado aos sítios de trocas do solo, ou seja com a matéria orgânica.

O Mn permaneceu isolado, sem correlacionar-se com os parâmetros químicos do solo. Em relação aos demais nutrientes do caule, só apresentou correlação significativa com o Mg, que segundo MENGEL & KIRKBY (1987), apresenta funções bioquímicas semelhantes na planta.

#### 4.1.4.3 Folhas

Através da análise dos carregamentos maiores que 0,600 (tabela 5 e figura 20), no componente folhas, o fator 4, agrupou as seguintes variáveis: N, K, Ca, Mn e Al. O fator 1, reuniu Mg e Fe, fator 2, P e Zn, e o fator 3, foi representado pelo Cu.

O grupamento mais significativo é representado pelos elementos N, K, Al, Mn e Ca, onde os 3 primeiros tiveram seus teores aumentados com a aplicação do Al, e os dois últimos, diminuídos. O aumento dos teores de N e K em relação aos tratamentos foi maior nas folhas se comparado ao caule e a raiz (fig. 19), o mesmo ocorreu com Mn e Ca com uma diminuição mais intensa nas folhas. Estes, foram os que apresentaram índices de correlação mais elevados com os parâmetros do solo (anexo 16), principalmente com os agrupados no fator 1, e também, com Al extraível e H + Al (fator 2, no solo). Somente o Mn não correlacionou-se com os dois últimos parâmetros. Estes também apresentaram índices significativos com a percentagem

de colonização de micorrizas. Indicando o efeito significativo que a adição do Al teve na composição nutricional desta espécie.

Em outro fator, reuniram-se Mg e Fe. O primeiro com uma pequena diminuição em seus teores, menor do que a ocorrida nas frações caule e raiz, e o Fe, com um pequeno aumento, diferente do que havia ocorrido com os teores na raiz e nas folhas, que permaneceram constantes. Estes dois elementos participam conjuntamente, além de várias reações bioquímicas nas folhas, na biosíntese de clorofila. Igualmente relacionaram-se com a percentagem de colonização de micorrizas, e com os parâmetros do fator 1 do solo.

P e Zn, foram agrupados em um outro fator em função da não alteração de seus teores com a aplicação do Al, desta forma apresentaram baixas correlações com os parâmetros do solo.

O Cu permaneceu isolado devido a alta variabilidade dos dados deste elemento nas amostras, não correlacionando-se também com os parâmetros do solo.

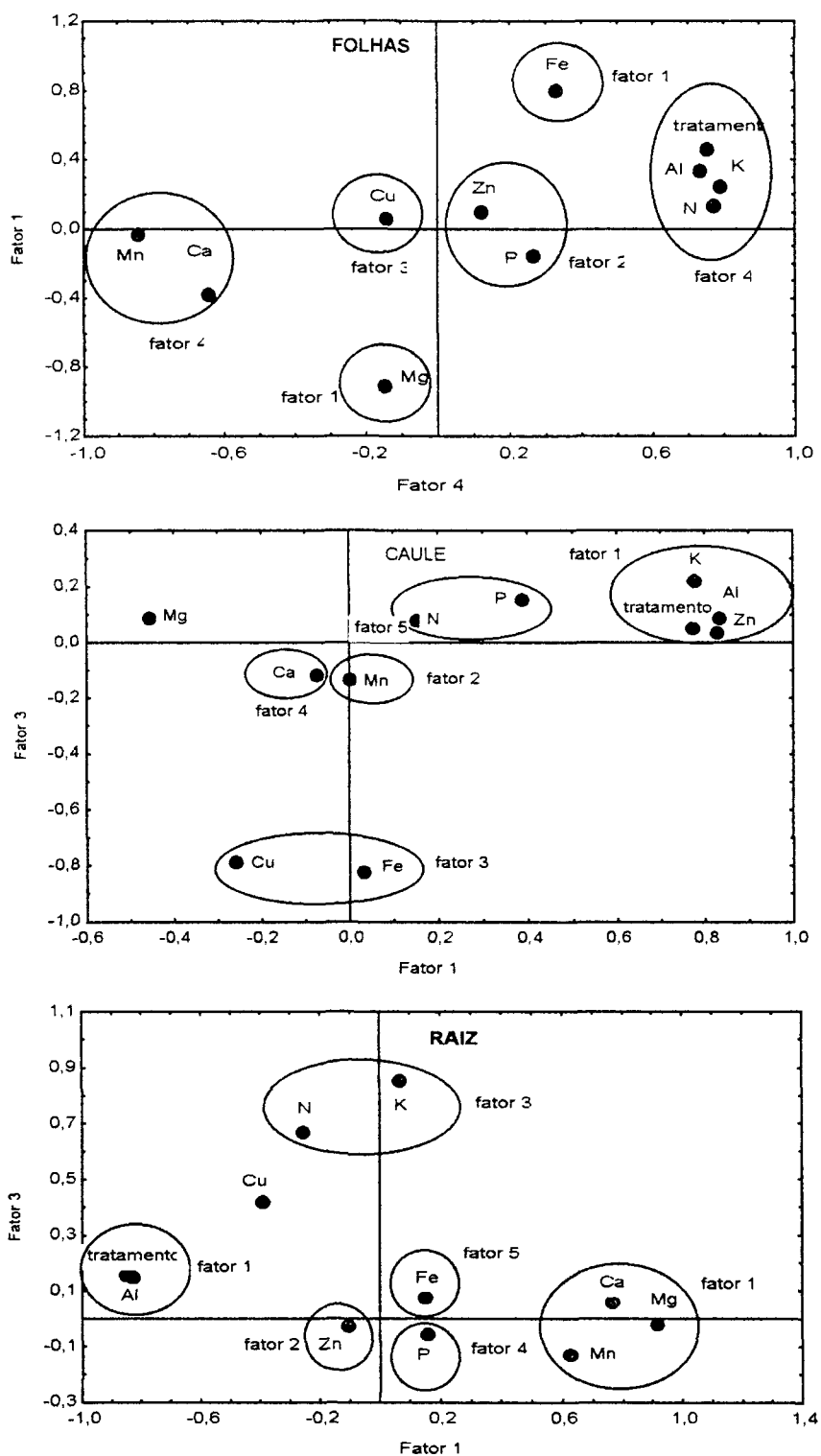
As correlações entre colonização por micorrizas e os teores de nutrientes nas diferentes partes da planta (anexo 17. p. 215), apresentaram índices significativos de N e Fe só na folha, P e K na folha e no caule, Zn no caule e na raiz, Al em todas as frações, e, índices negativos para Mn e Mg na folha.

MARSCHNER & BELL (1994) salientaram o efeito benéfico causado por MA na absorção de P,  $\text{NH}_4$ , K, Ca,  $\text{SO}_4$ , Cu e Zn. Em câmaras experimentais as hifas externas de MA podem suprir a planta 80% do P, 25 % do N, 10 % K, 25 % do Zn e 60 % do Cu.

Em solos ácidos de baixa fertilidade os efeitos nutricionais das MA, aumentam a absorção de N, P, Zn e Cu e diminuem a absorção de Mn, além de proteger a planta por efeitos causados pela toxidez de Al e Mn, Ocorre também aumento nos teores de N, P, Ca, Mg, K, S, Zn e Cu nos tecidos (SIQUEIRA & MOREIRA, 1997).

O teor de Mn na folha foi inversamente correlacionado. MARCHNER (1995), salienta que em plantas micorrizadas os teores de Mn nas folhas podem ser menores, relacionando a inibição na rizosfera de microorganismos redutores de Mn pelas MA.

FIGURA 20 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS PESOS DAS VARIÁVEIS DOS NUTRIENTES DAS FRAÇÕES DE *T. guianensis*, DO EXPERIMENTO REALIZADO NA FLORESTA



NOTA: Extração por componentes principais, rotação varimax.

## 4.2 EXPERIMENTO COM *Tapirira guianensis* NO RIZOTROM

### 4.2.1 Características Químicas do Solo

De forma diferente do que ocorreu no interior da floresta, os parâmetros químicos do solo avaliados no rizotrom não apresentaram diferenças significativas na análise de variância (anexo 19, p.216), entre o solo rizosférico e o não rizosférico, quando adicionadas quantidades crescentes de Al ao solo. No anexo 18 (p. 215), encontram-se as médias obtidas para estes parâmetros nas duas frações de solo. Na figura 21 é visualizado o comportamento destes parâmetros, através do ajuste das curvas de regressão.

Ocorreu uma diminuição significativa no valor do pH com o aumento das doses de Al nos tratamentos. O pH correlaciono-se com a maior parte dos demais parâmetros do solo e da rizosfera (anexo 20, p. 218), com exceção do C e do Al total.

Em relação à avaliação visual das modificações do pH na rizosfera, foi observado uma tendência de aumento (figura 22), em algumas porções da raiz, somente após um contato com agar durante um período de 24 horas.

Ao avaliar-se estas modificações em plântulas colocadas em placa de petri, em contato com agar contendo N na forma amoniacal (figura 23), observou-se uma diminuição do pH na rizosfera (cor amarela), após um período de exposição de 6 horas. O pH do meio foi ajustado a pH 6 (cor azul), utilizando-se do corante verde de bromocresol.

MARSCHNER (1995b) salientou que diferentes espécies de planta crescendo no mesmo solo, têm respostas diferentes em relação à modificação no pH da rizosfera, frente à adição de N. A preferência das plantas frente à absorção destas duas formas de N, também causa muita polêmica na literatura (ver seção 2.5.2.1).

O Al extraível, saturação com Al, acidez extraível e o P, apresentaram variação semelhante, aumentando seus níveis significativamente em todos os tratamentos. O mesmo ocorreu com a capacidade de troca catiônica (T), mas com um padrão de curva, menos acentuado (figura 21).

As curvas de Ca, Ca +Mg, SB, K e V exibiram valores bem mais elevados na testemunha diminuindo acentuadamente em relação aos tratamentos com Al.

O C e o Al total não apresentaram variações significativas perante os tratamentos e nem correlacionaram-se com os demais elementos.

FIGURA 21- CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO NÃO RIZOSFÉRICO E RIZOSFÉRICO TRATADOS COM DOSES CRESCENTES DE Al EM mg/ kg DE SOLO, NO EXPERIMENTO FEITO COM O PLANTIO DE *T. guianensis* NO RIZOTROM.

continua

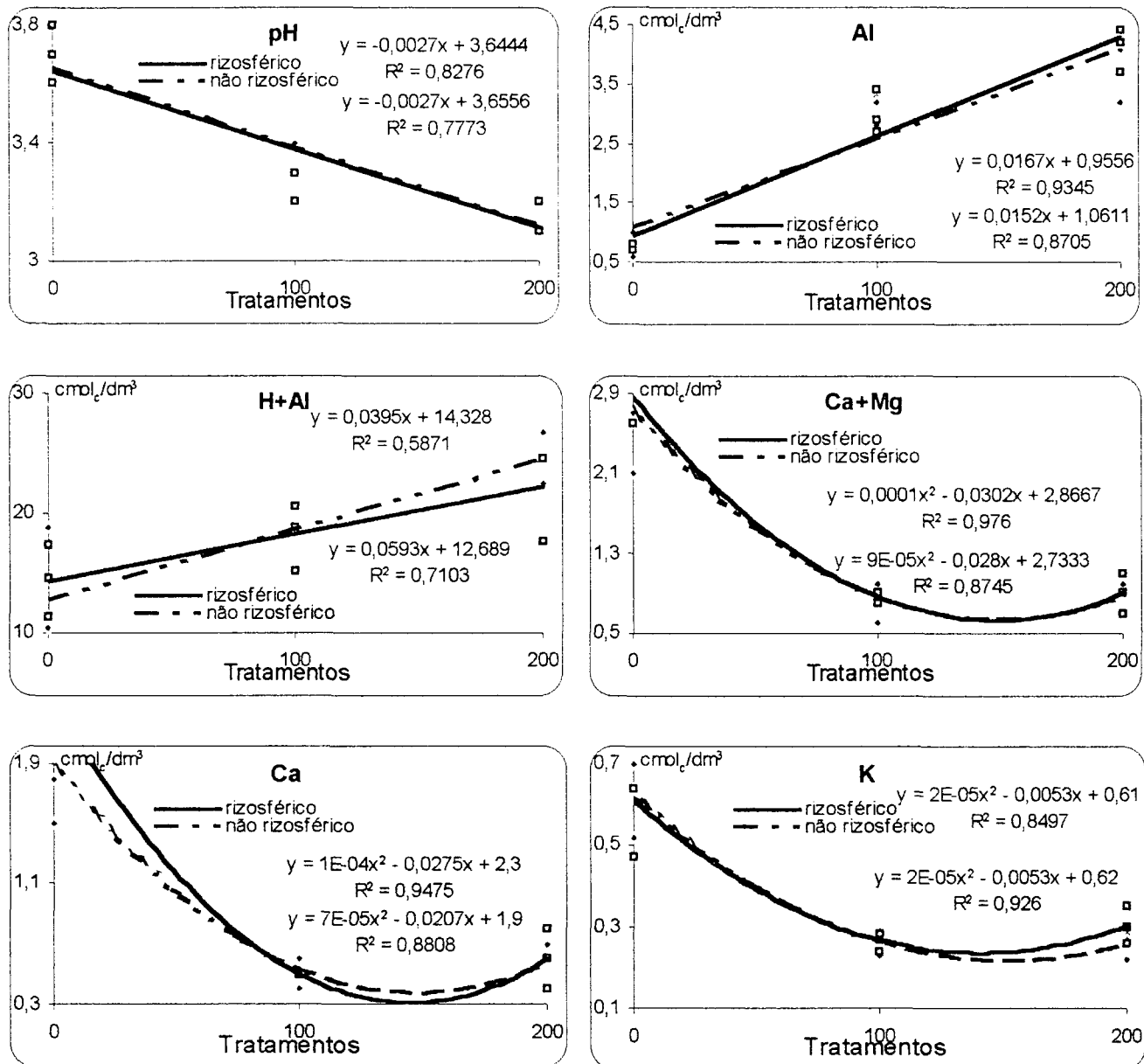


FIGURA 21 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO NÃO RIZOSFÉRICO E RIZOSFÉRICO TRATADOS COM DOSES CRESCENTES DE AI EM mg/ kg DE SOLO, NO EXPERIMENTO FEITO COM O PLANTIO DE *T. guianensis* NO RIZOTROM.

conclusão

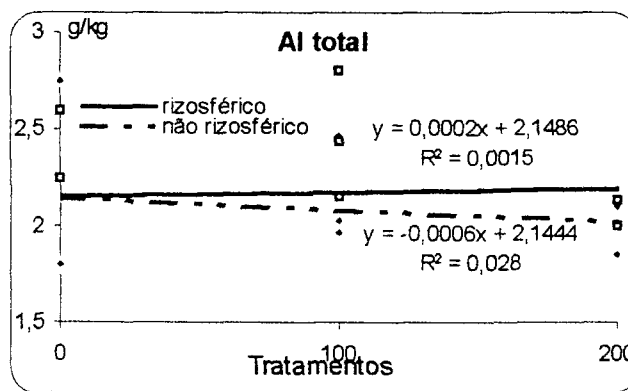
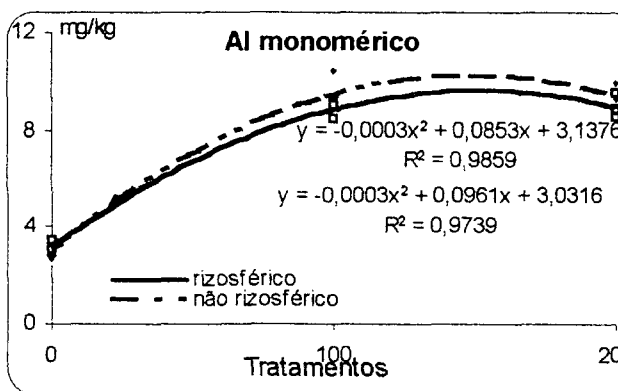
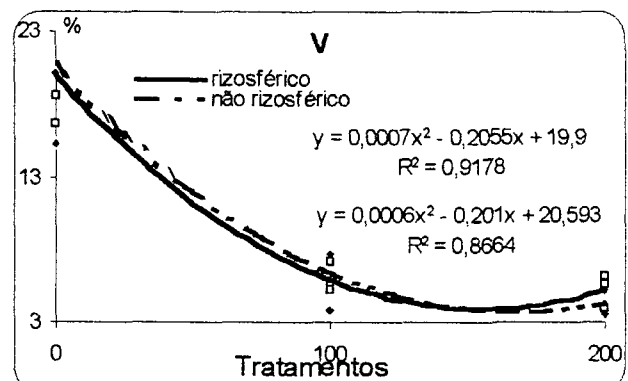
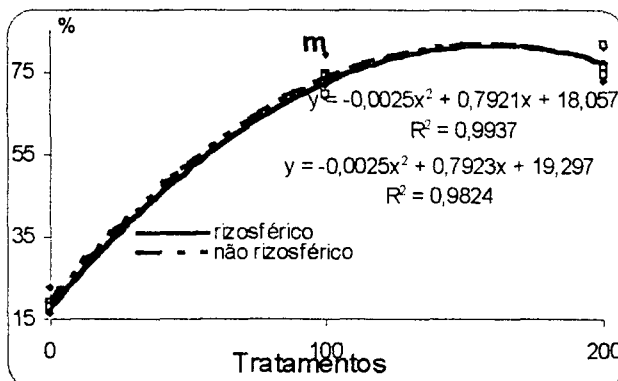
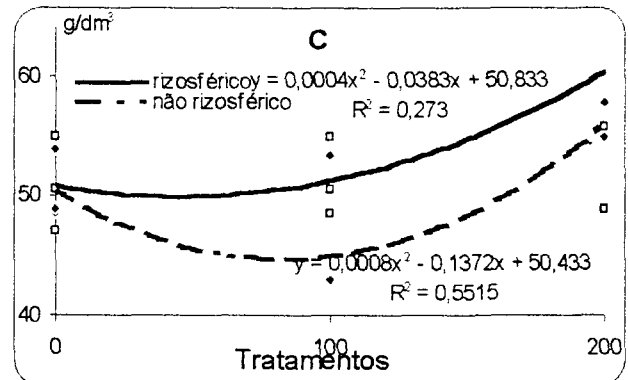
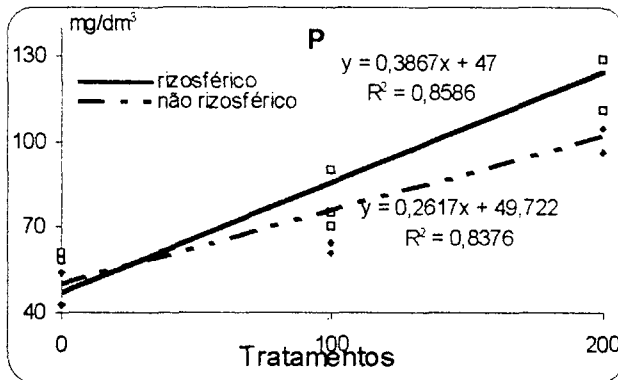
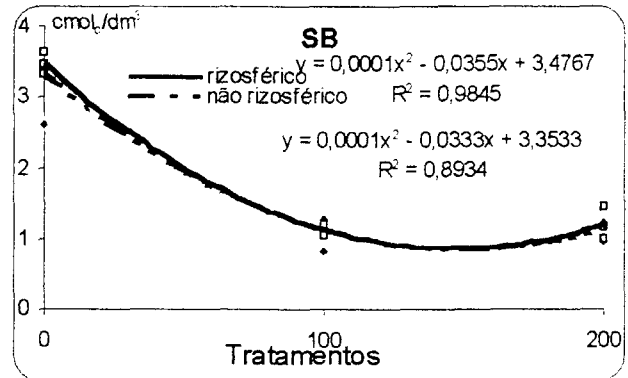
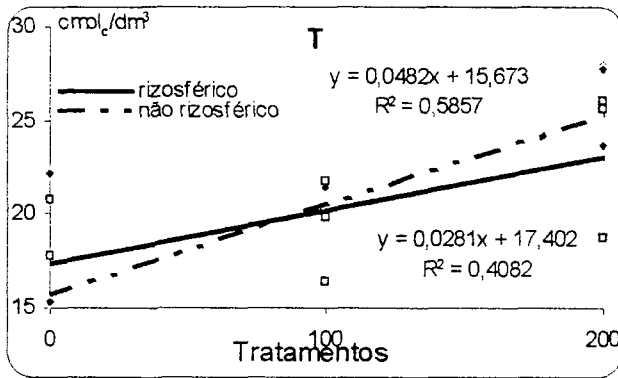




FIGURA 22 – AVALIAÇÃO DAS MUDANÇAS DO PH NA RIZOSFERA, ATRAVÉS DO CONTATO DE AGAR E CORANTE INDICADOR EM *T.guianensis*, SUBMETIDA A 100 mg DE AI POR kg DE SOLO EM RIZOTROM.

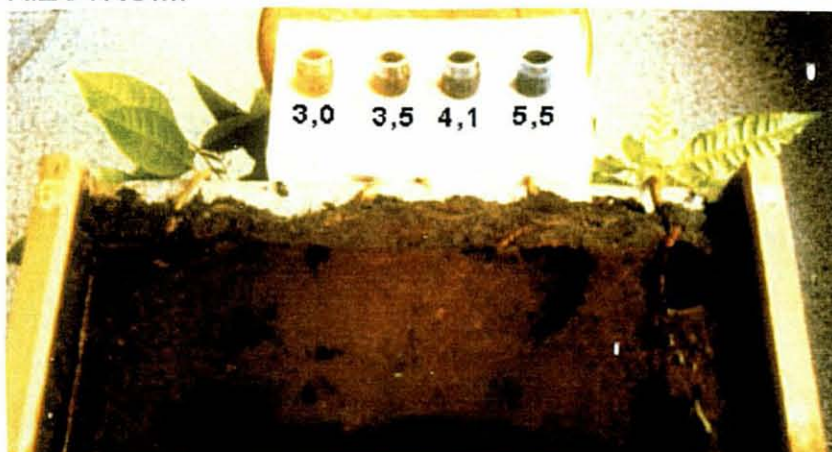


FIGURA 23- ACIDIFICAÇÃO DA RIZOSFERA (COR AMARELA) DE *T.guianensis* EM AGAR (pH 6) COM N AMONICAL COMO FONTE DE NITRIGÊNIO.

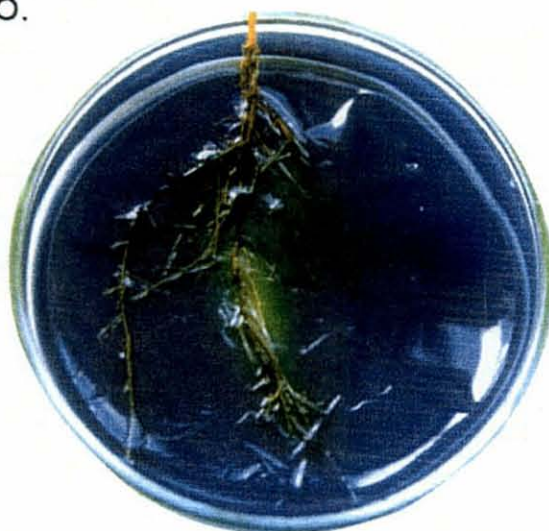


FIGURA 24 - EXPERIMENTO NO RIZOTROM COM *T.guianensis* SUBMETIDA A DOSES CRESCENTES DE AI



No anexo 20 (p.218) observa-se uma série de parâmetros correlacionados, sendo estes agrupados através de análise fatorial. Os parâmetros do solo foram reunidos em 3 fatores que explicaram 94,34 % da variância total (tabela 6). Na rizosfera os 3 fatores representaram 95,13 % da variância total.

**TABELA 6 – FATORES, AUTOVALORES, E PERCENTAGEM DA VARIÂNCIA EXPLICADA, PARAS OS PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO NÃO RIZOSFÉRICO E RIZOSFÉRICO DO EXPERIMENTO REALIZADO NO RIZOTROM COM *T. guianensis*.**

SOLO NÃO RIZOSFÉRICO				
Fatores Solo	Autovalores	Total da variância explicada (%)	Autovalores acumulados	Total da variância acumulada (%)
1	10,896	72,64	10,896	72,64
2	2,135	14,23	13,031	86,87
3	1,120	7,47	14,151	94,34

SOLO RIZOSFÉRICO				
Fatores Rizosfera	Autovalores	Total da variância explicada (%)	Autovalores acumulados	Total da variância acumulada (%)
1	11,206	74,71	11,206	74,71
2	2,217	14,78	13,423	89,49
3	0,847	5,65	14,270	95,13

Os pesos de cada fator, as comunalidades e a variância específica para cada parâmetro do solo constam na tabela 7.

Pela análise dos carregamentos maiores que 0,600, o primeiro fator, e mais significativo no solo e na rizosfera, engloba a maior parte das variáveis: pH; Al; Ca + Mg; Ca; K soma de bases (SB); P; saturação por Al (m); saturação por bases (V) e Al monomérico. O segundo fator é constituído pelas variáveis H + Al, a CTC total (T) e o C. O terceiro fator é representado pelo Al total.

Analisando a figura 25, observa-se que a disposição dos pesos fatoriais no solo rizosférico é bastante similar a do solo não rizosférico. Nestas duas porções do solo ocorrem dois grupamentos no fator 1, um grupamento envolvendo as variáveis com pesos negativos e outro com pesos positivos.

O fator 1 apresentou um número maior de parâmetros neste experimento em relação ao realizado na floresta. Os elementos K e P que faziam parte do fator 3 (no experimento realizado na floresta), passaram a fazer parte deste fator, o mesmo ocorrendo com variáveis pH e Al extraível (fator 2 do experimento na floresta). Como já salientado anteriormente, este fator está relacionado as modificações diretas causadas pela adição do Al (tratamentos) nos dois experimentos. Ou seja, o

experimento realizado no rizotrom parece ter sido afetado mais diretamente pelas doses de Al aplicadas.

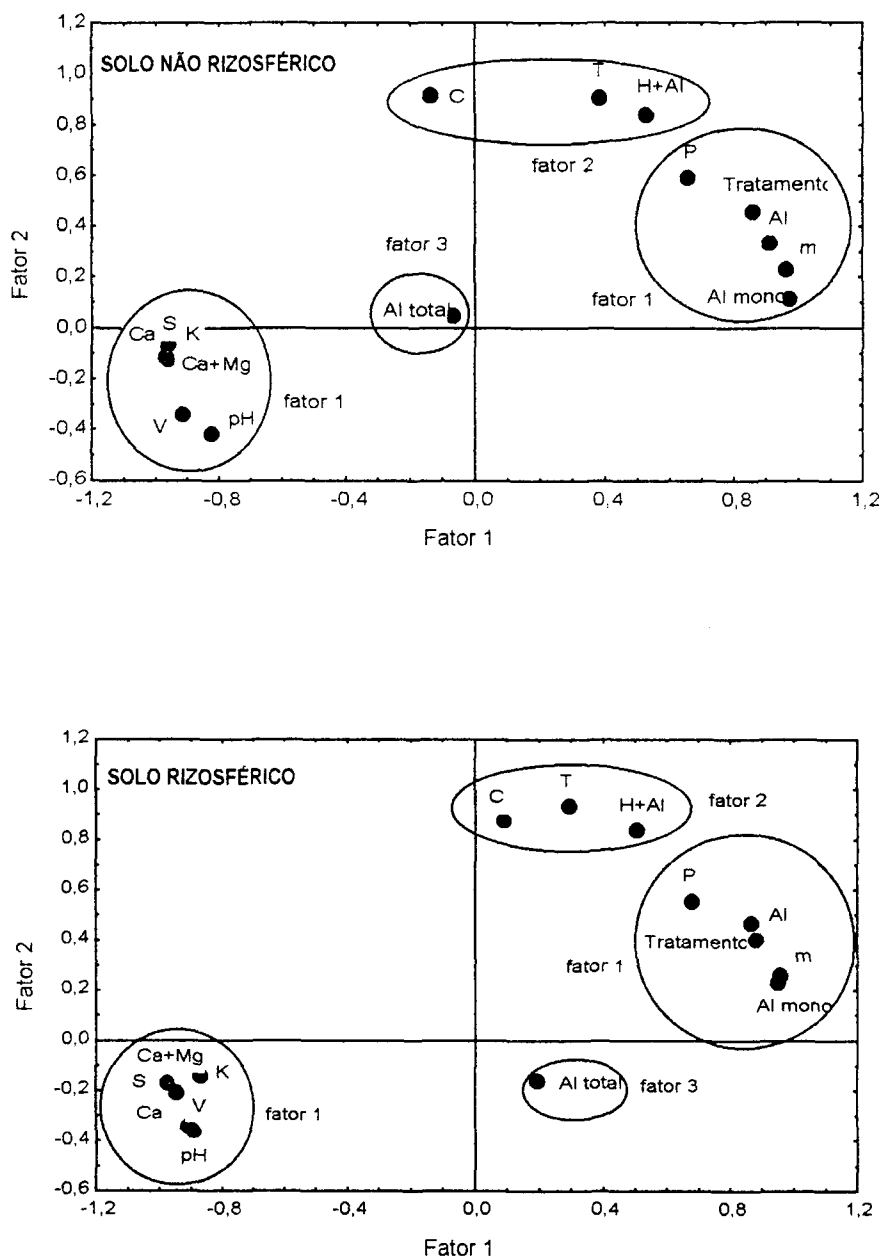
TABELA 7 – PESOS FATORIAIS ROTACIONADOS, ESTIMADOS PELO MÉTODO DOS COMPONENTES PRINCIPAIS, COMUNALIDADES E VARIÂNCIA ESPECÍFICA DOS PARÂMETROS DO SOLO NÃO RIZOSFÉRICO E RIZOSFÉRICO, NO EXPERIMENTO REALIZADO NO RIZOTROM

SOLO NÃO RIZOSFÉRICO						
	Pesos fatoriais rotacionados			Comunalid.	Variância específica	
	Fator 1	Fator 2	Fator 3			
Tratamen.	<b>0,858</b>	0,459	0,134	0,964	0,036	
pH	<b>-0,823</b>	-0,417	-0,012	0,852	0,148	
Al	<b>0,916</b>	0,332	0,090	0,957	0,043	
H + Al	0,531	<b>0,836</b>	-0,121	0,995	0,005	
Ca + Mg	<b>-0,959</b>	-0,125	0,004	0,935	0,065	
Ca	<b>-0,965</b>	-0,116	0,059	0,948	0,052	
K	<b>-0,961</b>	-0,071	-0,191	0,965	0,035	
T	0,386	<b>0,909</b>	-0,140	0,995	0,005	
SB	<b>-0,965</b>	-0,117	-0,027	0,946	0,054	
P	<b>0,656</b>	0,588	0,196	0,815	0,185	
C	-0,134	<b>0,918</b>	0,055	0,863	0,137	
m	<b>0,966</b>	0,230	0,016	0,987	0,013	
V	<b>-0,909</b>	-0,339	0,182	0,975	0,025	
Al total	-0,065	0,048	<b>-0,990</b>	0,986	0,014	
Al monom.	<b>0,976</b>	0,118	0,027	0,967	0,033	

SOLO RIZOSFÉRICO						
	Pesos fatoriais rotacionados			Comunalid.	Variância específica	
	Fator 1	Fator 2	Fator 3			
Tratamen.	<b>0,885</b>	0,400	0,057	0,946	0,054	
pH	<b>-0,889</b>	-0,366	0,220	0,973	0,027	
Al	<b>0,872</b>	0,463	0,004	0,974	0,026	
H + Al	0,506	<b>0,838</b>	-0,075	0,964	0,036	
Ca + Mg	<b>-0,976</b>	-0,168	0,039	0,983	0,017	
Ca	<b>-0,941</b>	-0,210	0,190	0,965	0,035	
K	<b>-0,872</b>	-0,147	0,443	0,977	0,023	
T	0,295	<b>0,930</b>	-0,057	0,955	0,045	
SB	<b>-0,975</b>	-0,168	0,101	0,989	0,011	
P	<b>0,679</b>	0,552	0,313	0,864	0,136	
C	0,092	<b>0,874</b>	0,271	0,846	0,154	
m	<b>0,960</b>	0,256	-0,096	0,996	0,004	
V	<b>-0,903</b>	-0,343	0,152	0,957	0,043	
Al total	0,198	-0,158	<b>-0,925</b>	0,920	0,080	
Al monom.	<b>0,951</b>	0,229	-0,063	0,962	0,038	

FIGURA 25 –REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS PESOS DAS VARIÁVEIS EM RELAÇÃO AOS FATORES 1 E 2, DOS PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO DO EXPERIMENTO REALIZADO NO RIZOTROM. EXTRAÇÃO – COMPONENTES PRINCIPAIS, ROTAÇÃO VARIMAX.



O Al extraível e monomérico (fator 1), apresentaram altas correlações entre si ( $R=0,96$ ) e com o tratamento (respectivamente,  $R= 0,97$  e  $0,87$ ), o mesmo ocorrendo com o valor m (anexo 20, p. 218). Tanto no solo rizosférico como no não rizosférico, o aumento junto aos tratamentos foi maior cerca de 4 vezes, tanto no parâmetro Al extraível quanto no monomérico. Na figura 25, observa-se que todas estas variáveis encontram-se agrupadas.

Os teores de P e K, neste experimento, foram muito maiores do que o encontrado na floresta, provavelmente devido à adição de solução nutritiva para a manutenção das plantas. Estes elementos apresentaram comportamentos distintos, não correlacionando-se entre si. O P aumentou os seus teores e o K teve seus valores diminuídos.

Nos solos arenosos, os teores de K são muito baixos, sendo altamente lixiviados. Sua presença está relacionada à existência de minerais argilosos principalmente primários (MENGEL & KIRKBY, 1987). Os teores de K no solo na casa de vegetação, são cerca de 8 vezes maiores do que os da floresta. Este aumento indica que houve algum tipo de ligação deste com a matéria orgânica. MENGEL & KIRKBY (1987) salientam que este elemento tem uma ligação bastante fraca com a matéria orgânica sendo facilmente substituído por outros cátions. Nos tratamentos com Al, o K foi substituído por este elemento, mas mesmo assim permaneceu com quantidades 3 vezes mais elevadas do que no solo da floresta.

O aumento do P parece estar relacionado ao aumento do Al no solo, onde apresentou altas correlações, principalmente com o Al extraível ( $R=0,88$ ). Em solos ácidos o fosfato é prontamente precipitado na forma insolúvel de Fe-fosfato ou Al-fosfato (STEVENSON, 1986). Isto em parte pode ter ocorrido, mas o Al e P medidos, constituem-se formas solúveis. De outra forma, a presença do P em solos tropicais está relacionada à presença da matéria orgânica, sendo constituído principalmente por fosfatos de inositol, fosfolipídios e ácidos nucleicos. Os fosfatos de inositol estão presentes em maior quantidade e também tendem a formar complexos insolúveis com Al e Fe (STEVENSON, 1986).

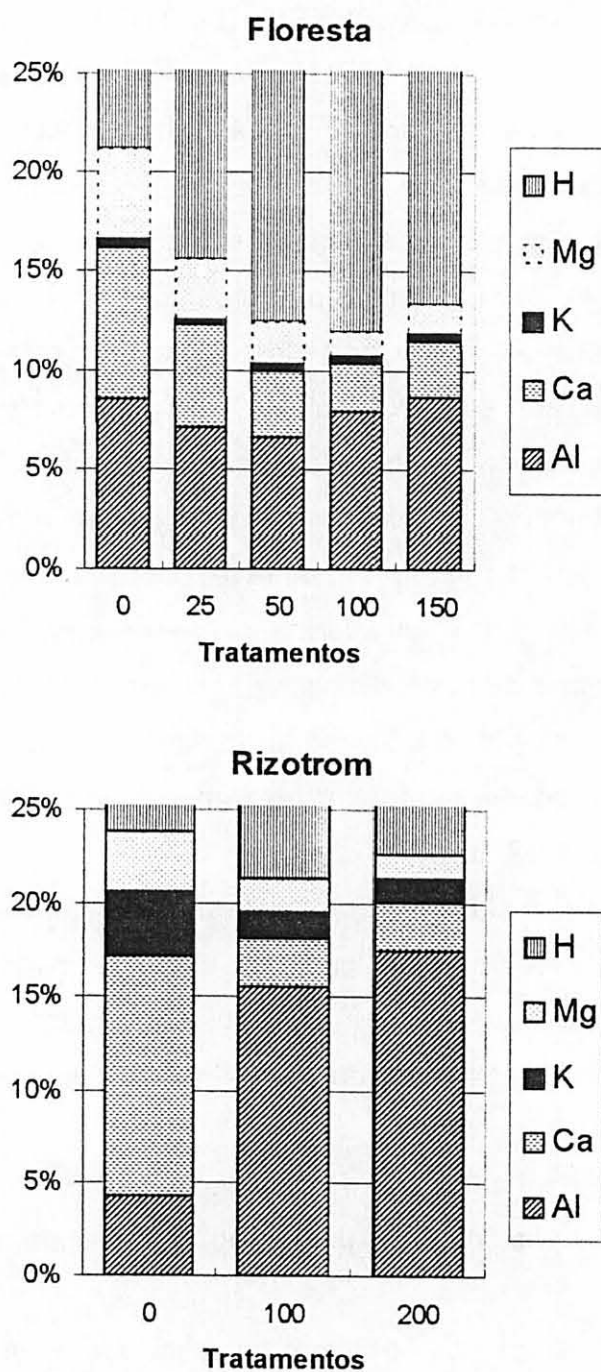
Poucos trabalhos têm sido feitos no intuito de avaliar o papel dos complexos húmicos com o P, e de como influenciam na disponibilidade para as plantas. Complexos potencialmente solúveis, organico-Al-fosfato, existem na solução do solo, mas pouco se sabe a seu respeito e como eles afetam a química do P e Al no solo (VANCE et al, 1996).

O pH apresentou uma amplitude de variação de 3,7 para 3,2, maior que a da floresta, podendo estar relacionado a um menor poder tampão no solo, neste experimento.

A influência da aplicação do Al foi mais significativa neste experimento, visto que o pH e o Al, apresentaram altas índices de correlação entre si, o que não ocorreu no experimento na floresta.

Observa-se também (figura 26), que o Al ocupa uma maior proporção na CTC total neste experimento se comparado ao experimento na floresta, em contrapartida o  $H^+$  foi menor. Em condições naturais a presença de grandes quantidades de  $H^+$  trocável é associada a altas quantidades de matéria orgânica, baixo pH e baixo Al total (ROSS et al., 1991).

FIGURA 26 – PERCENTAGEM DOS CÁTIOS NA CTC DO SOLO NA FLORESTA, E NO RIZOTROM.



#### 4.2.2. Crescimento das plantas

Os resultados obtidos (médias e desvio padrão) em relação as respostas das variáveis biométricas de *Tapirira guianensis* nos rizotrons, frente a aplicações crescentes de Al, estão no anexo 21 (p. 220).

As medidas realizadas apresentaram diferenças significativas apenas para peso de raiz (nível de significância de 5 %) e comprimento de raiz (nível de significância de 10 %) na análise de variância (anexo 22, p. 221).

Embora os demais parâmetros não apresentassem médias diferentes na análise estatística, ao ajustar-se as curvas através da regressão, observa-se uma diminuição em quase todos os parâmetros quando aumentadas as doses de Al (figura 27).

Ao analisar-se as correlações dos parâmetros de crescimento (tabela 18), o índice mais elevado foi entre peso das folhas e caule, que por conseguinte não apresentaram índices significativos com o peso da raiz. Já as medidas de diâmetro correlacionaram-se somente com peso da raiz. Entre os demais parâmetros todas as correlações foram significativas.

Ao se fazer o ajuste linear entre os tratamentos e os parâmetros de crescimento através de regressão múltipla, foi selecionada a variável peso da raiz (seleção "stepwise"), como sendo a mais representativa dentro do modelo (tabela 8).

TABELA 8 – AJUSTE DA REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA ENTRE OS TRATAMENTOS E AS VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO DA PLANTA, NO EXPERIMENTO REALIZADO NA CASA DE VEGETAÇÃO.

Backward n=9	B	p-level	Características da regressão
intercepto	528,286	0,0007	R= 0,8527 R <sup>2</sup> = 0,688
Raiz (peso)	-26,452	0,0035	Erro padrão=72,544

Na correlação entre as variáveis de crescimento e os parâmetros de solo (anexo 23, p.221), tanto no solo rizosférico como não rizosférico, o peso das raízes apresentou correlações mais estreitas com quase todos os parâmetros, exceto C e Al total, salienta-se os índices elevados com Al monomérico. Todas as correlações negativas estão relacionadas ao Al (Al, H +Al, T, e m), com exceção do P.

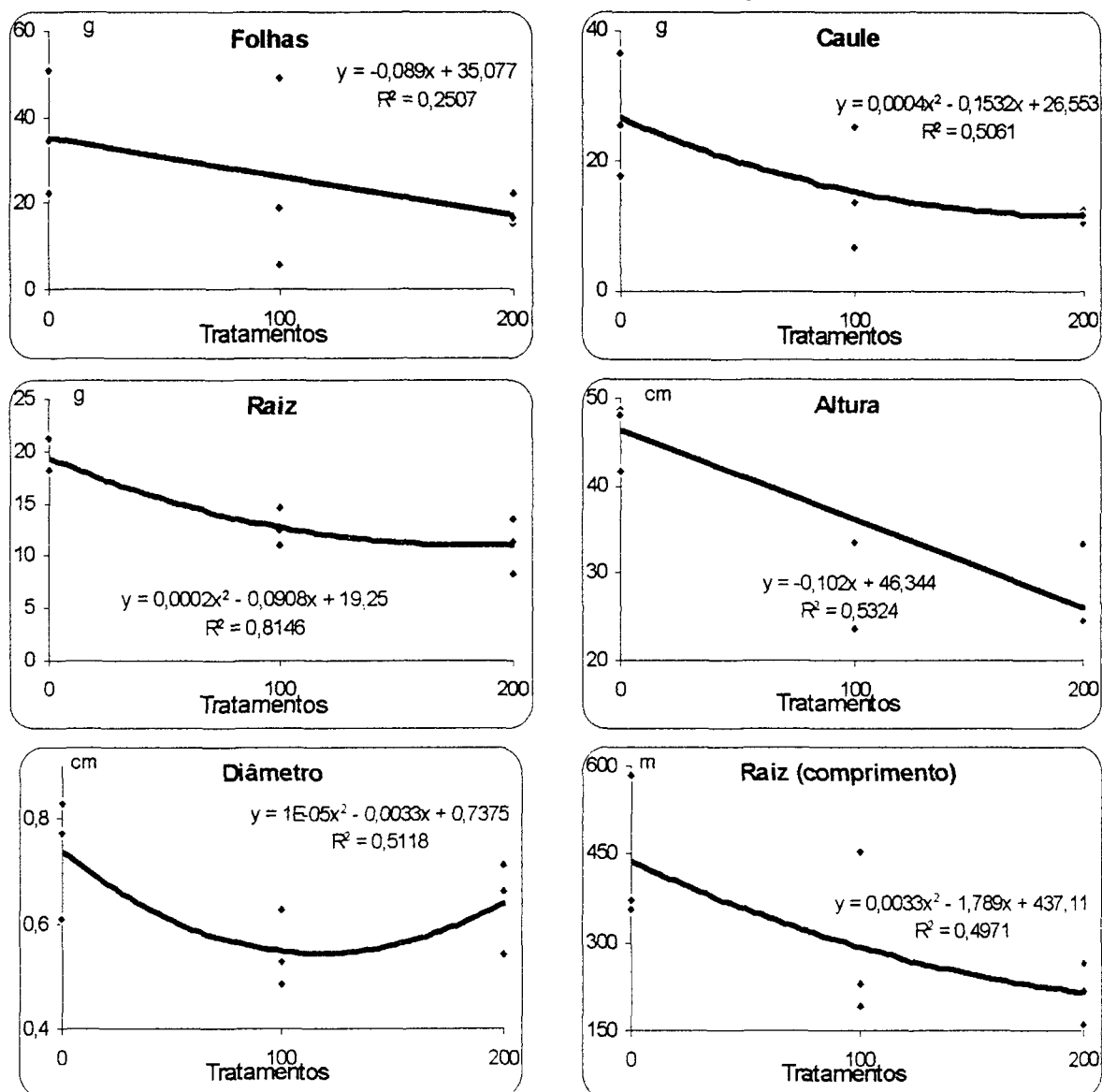
O peso do caule também correlacionou-se positivamente com vários parâmetros do solo rizosférico e não rizosférico, dentre eles: Ca +Mg, Ca, K e saturação por bases (V), e negativamente, com H+Al, Al extraível e saturação por Al (m), no solo não rizosférico. No solo rizosférico, também com pH e Al monomérico.

Diferente do experimento do campo, neste experimento o tratamento com Al propiciou uma outra reação no solo. O mecanismo de exclusão da raiz não superou as quantidades elevadas de Al no solo, inibindo o crescimento das raízes e, conseqüentemente, a absorção de nutrientes e água, impedindo seu crescimento.

Altas concentrações de Al podem refletir diretamente no crescimento da raiz, inibindo seu crescimento e alongamento (MARSCHNER, 1991). Esta inibição envolve uma série de processos fisiológicos e químicos, bastante estudados na literatura (ver seção 2.3).

O principal fator responsável pela inibição do crescimento da raiz nos solos ácidos, são as baixas concentrações de Ca, combinadas com as altas concentrações de H e de formas tóxicas de Al (MARSCHNER, 1991).

FIGURA 27 – PARÂMETROS BIOMÉTRICOS DE *T. guianensis*, FRENTE A DOSES CRESCENTES DE Al ( $\text{mg.Kg}^{-1}$ ), NO EXPERIMENTO REALIZADO EM RIZOTROM, NA CASA DE VEGETAÇÃO.





### 4.2.3 Nutrientes nas plantas

O resultado das análises dos teores de macro, micronutrientes e Al nas plantas submetidas a doses crescentes de Al, avaliados no experimento realizado nos rizotrons, constam do anexo 24 (p. 222).

Os nutrientes com modificações significativas em seus teores, perante os tratamentos com Al, segundo a análise de variância (anexo 25, p. 224), foram: na fração folhas, P, Ca e Fe ; na fração caule, Mg e Al; e na fração raiz, P, Mg, Mn e Al.

O comportamento dos nutrientes e Al perante doses crescentes de Al, podem ser visualizados na figura 28 através do ajuste das curvas de regressão.

A relação entre os teores de nutrientes das folhas, caule e raiz com as variáveis que avaliam o crescimento da planta, medida pelos coeficientes de correlação, constam do anexo 26 (p. 229).

O diâmetro das plantas não correlaciona-se com os teores de nutrientes das folhas. Os teores de P, Ca e Al, correlacionaram-se significativamente com as demais variáveis.

A maior parte dos teores de nutrientes (P, K, Ca, Mg, Fe) e Al no caule, exibiram correlações significativas com as variáveis de crescimento, com algumas exceções em relação ao diâmetro (P, K e Al) e peso de raiz (P e K). As relações entre os teores de nutrientes na raiz, foram semelhantes as encontradas para os teores do caule. Os elementos P, K, Ca, Mg, Fe, Zn e Al, correlacionaram-se com a maior parte das variáveis.

FIGURA 28 – EFEITO DE DOSES CRESCENTES DE Al (mg Al/ kg de solo) NOS TEORES DE NUTRIENTES E ALUMÍNIO MEDIDOS NAS FRAÇÕES DE *T. guianensis*, DO EXPERIMENTO REALIZADO NO RIZOTROM.

continua

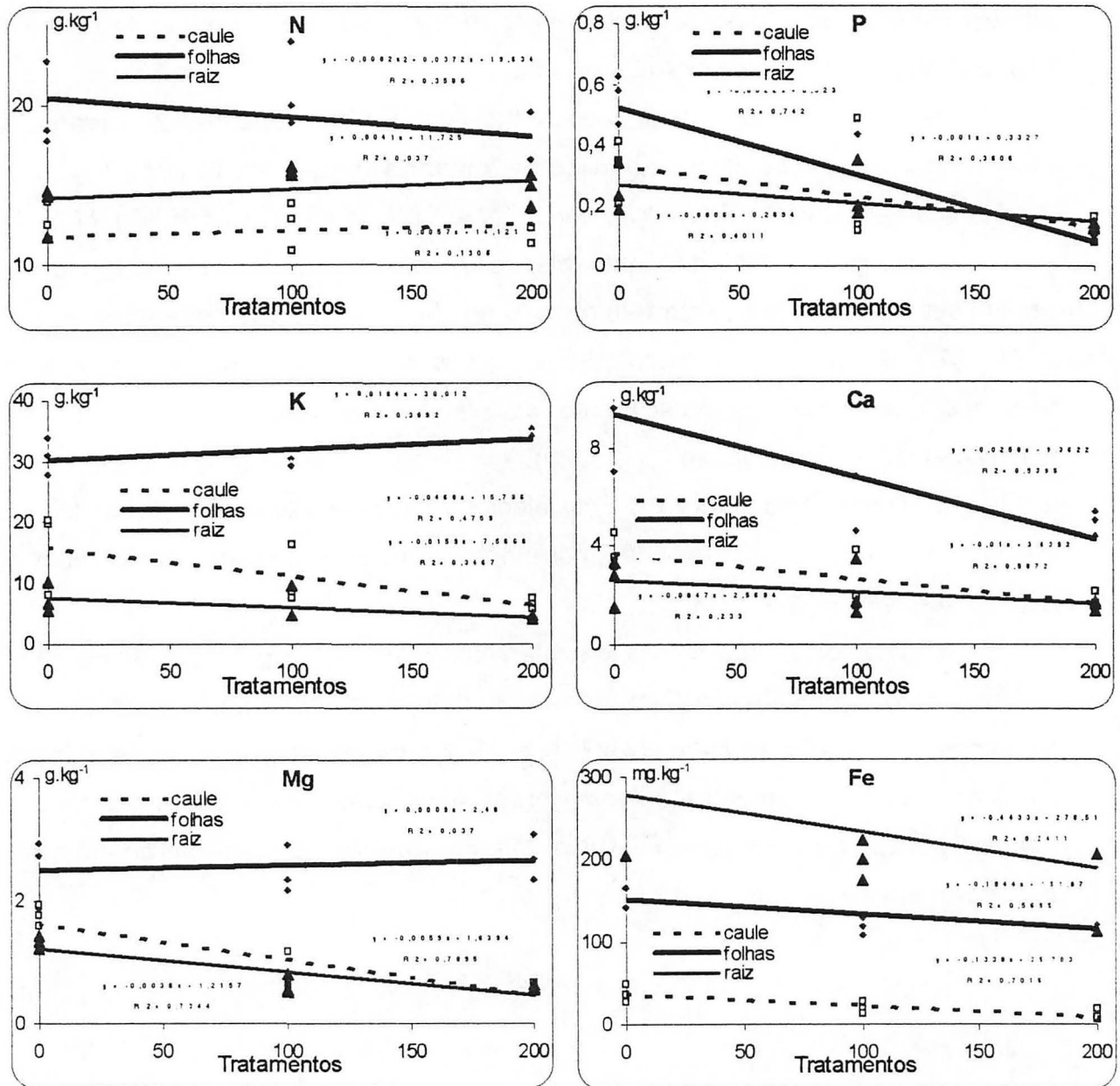
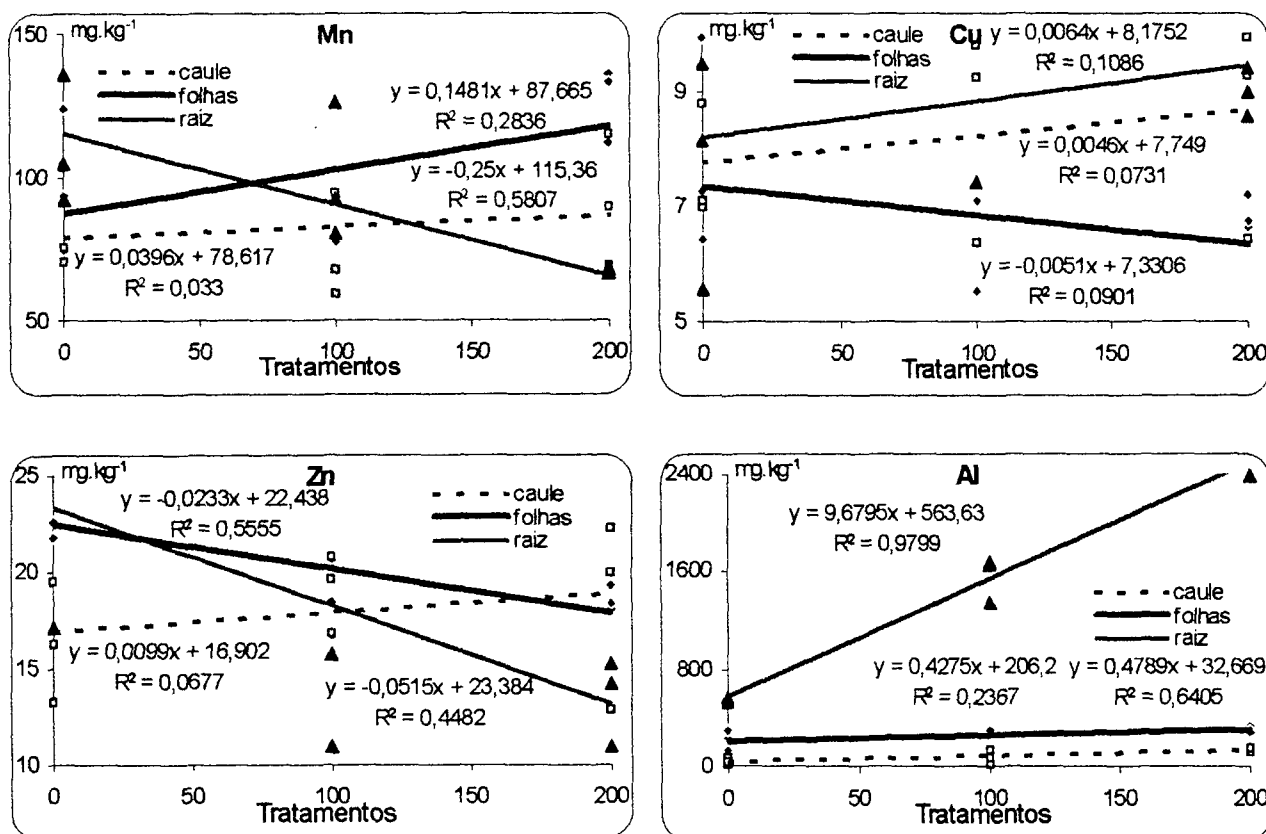


FIGURA 28 - EFEITO DE DOSES CRESCENTES DE Al (mg Al/ kg de solo) NOS TEORES DE NUTRIENTES E ALUMÍNIO MEDIDOS NAS FRAÇÕES DE *T. guianensis*, DO EXPERIMENTO REALIZADO NO RIZOTRÔM.

conclusão



A matriz de correlação entre os nutrientes, nas folhas, caule e raiz, consta do anexo 27 (p. 230).

Reunindo as variáveis relacionadas no componente folhas, através da análise fatorial, obteve-se 4 fatores que explicam 96,56 % da variância total (tabela 9). No caule, as variáveis foram reunidas em 3 fatores representando 91,34 % da variância total. O mesmo ocorreu com a fração raiz com 86,75 % da variância total.

Na tabela 10 constam os pesos de cada fator após feita a rotação varimax normalizada, as comunalidades, e a variância específica dos nutrientes nas folhas, caule e raiz.

Na figura 29, observa-se a representação gráfica dos pesos das variáveis em relação aos fatores.

TABELA 9 – FATORES, AUTOVALORES, E PERCENTAGEM DA VARIÂNCIA EXPLICADA, NAS FRAÇÕES DE *Tapirira guianensis* DO EXPERIMENTO REALIZADO NO RIZOTROM COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE AI.

FOLHAS				
Fatores	Autovalores	Total da variância explicada (%)	Autovalores acumulados	Total da variância acumulada (%)
1	4,902	44,56	4,902	44,56
2	3,470	31,55	8,372	76,11
3	1,296	11,78	9,668	87,89
4	0,954	8,67	10,621	96,56

CAULE				
Fatores	Autovalores	Total da variância explicada (%)	Autovalores acumulados	Total da variância acumulada (%)
1	6,350	57,73	6,350	57,73
2	2,714	24,67	9,064	82,40
3	0,984	8,95	10,048	91,34

RAIZ				
Fatores	Autovalores	Total da variância explicada (%)	Autovalores acumulados	Total da variância acumulada (%)
1	6,824	62,04	6,824	62,04
2	1,702	15,47	8,526	77,51
3	1,016	9,24	9,542	86,75

TABELA 10 – PESOS FATORIAIS ROTACIONADOS (ROTAÇÃO VARIMAX), ESTIMADOS PELO MÉTODO DOS COMPONENTES PRINCIPAIS, COMUNALIDADES E VARIÂNCIA ESPECÍFICA DOS NUTRIENTES NAS FOLHAS, CAULE E RAIZ DO EXPERIMENTO REALIZADO NO RIZOTROM COM *T. guianensis*.

FOLHAS						
	Pesos fatoriais rotacionados				Comunali- dades	Variância Específica
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4		
Tratamentos	<b>0,780</b>	0,321	-0,529	-0,079	0,998	0,002
N	0,084	<b>-0,912</b>	0,315	0,002	0,939	0,061
P	<b>-0,796</b>	-0,555	0,131	-0,111	0,971	0,029
K	0,125	0,077	<b>-0,951</b>	0,173	0,956	0,044
Ca	<b>-0,870</b>	-0,420	-0,177	0,150	0,987	0,013
Mg	0,208	-0,065	0,052	<b>-0,966</b>	0,984	0,016
Fe	<b>-0,953</b>	0,217	0,143	0,050	0,979	0,021
Mn	-0,087	0,481	<b>-0,822</b>	-0,114	0,926	0,074
Cu	<b>-0,745</b>	0,238	-0,432	0,403	0,960	0,040
Zn	<b>-0,953</b>	0,057	0,014	0,197	0,951	0,049
Al	0,153	<b>0,957</b>	-0,132	0,124	0,972	0,028

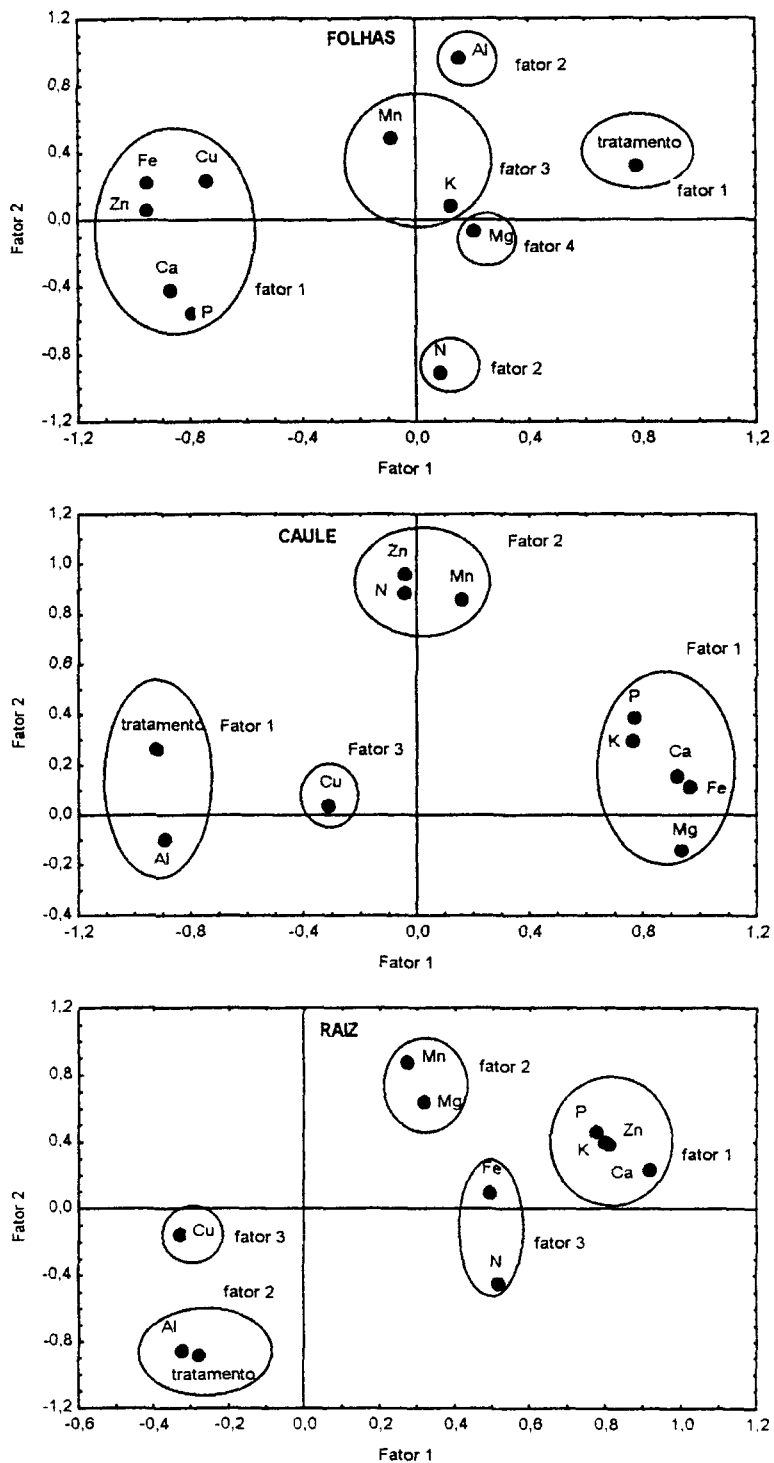
  

CAULE					
	Pesos fatoriais rotacionados			Comunali- dades	Variância específica
	Fator 1	Fator 2	Fator 3		
Tratamentos	<b>-0,922</b>	0,265	-0,005	0,921	0,079
N	-0,045	<b>0,885</b>	0,338	0,899	0,101
P	<b>0,768</b>	0,389	0,444	0,938	0,062
K	<b>0,763</b>	0,299	0,471	0,893	0,107
Ca	<b>0,924</b>	0,149	0,268	0,948	0,052
Mg	<b>0,939</b>	-0,141	0,176	0,933	0,067
Fe	<b>0,970</b>	0,107	0,034	0,954	0,046
Mn	0,163	<b>0,856</b>	0,010	0,759	0,241
Cu	-0,314	0,039	<b>-0,932</b>	0,969	0,031
Zn	-0,039	<b>0,955</b>	-0,212	0,959	0,041
Al	<b>-0,889</b>	-0,098	-0,275	0,875	0,125

RAIZ					
	Pesos fatoriais rotacionados			Comunali- dades	Variância específica
	Fator 1	Fator 2	Fator 3		
Tratamentos	-0,276	<b>-0,880</b>	-0,263	0,919	0,081
N	0,519	-0,444	<b>-0,669</b>	0,914	0,086
P	<b>0,775</b>	0,454	0,172	0,836	0,164
K	<b>0,810</b>	0,388	0,198	0,846	0,154
Ca	<b>0,917</b>	0,230	0,228	0,946	0,054
Mg	0,322	<b>0,631</b>	<b>0,647</b>	0,920	0,080
Fe	0,493	0,088	<b>0,691</b>	0,728	0,272
Mn	0,276	<b>0,872</b>	0,047	0,838	0,162
Cu	-0,329	-0,160	<b>-0,732</b>	0,670	0,330
Zn	<b>0,802</b>	0,391	0,420	0,973	0,027
Al	-0,325	<b>-0,859</b>	-0,331	0,952	0,048

FIGURA 29 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS PESOS DAS VARIÁVEIS DOS NUTRIENTES DAS FRAÇÕES DE *T. guianensis*, DO EXPERIMENTO REALIZADO NO RIZOTROM



#### 4.2.3.1 Raiz

No componente raiz, P, K, Ca e Zn foram agrupados no fator 1, Mg, Mn e Al no fator 2, N, Mg, Fe e Cu no fator 3, em ordem de seqüência dos maiores pesos dentro da combinação linear que define estes fatores. O elemento Mg apresentou carregamentos maiores que 0,600 em dois fatores rotacionados.

O grupamento mais representativo neste componente, é formado por P, K, Ca e Zn, cujos teores diminuíram face a doses crescentes de Al.

Destes, somente o Zn apresentou correlações significativas com parâmetros do solo (anexo 28, p. 231), principalmente com as bases trocáveis, que também tiveram seus valores diminuídos nos tratamentos com Al. No experimento de campo os teores de Zn haviam aumentado, principalmente por processos ocorridos com a modificação da rizosfera (aumento na colonização por micorrizas).

Supõe-se que o decréscimo do P, também possa estar relacionado a menor eficiência da planta neste experimento em modificar as características do solo no entorno da raiz.

A diminuição de Ca e K não foi tão drástica, não observando-se diferenças estatísticas significativas. Como foi salientado anteriormente, o K, possui canais específicos para sua absorção, além das ionofases, sendo menos afetado pelo acúmulo do Al no apoplasto. Em relação ao Ca, o comprometimento na absorção, pelo menos em parte, deve-se à sua substituição em sítios do apoplasto da raiz, aspecto que ainda é duvidoso segundo muitos autores (ver seção 2.3.4). Nos dois casos a diminuição drástica dos teores trocáveis no solo, deve também ter influenciado negativamente na absorção destes nutrientes.

Os elementos Mg, Mn e Al, reagiram mais diretamente em relação aos tratamentos com Al, os dois primeiros com uma diminuição acentuada, e o Al com um aumento 4,5 vezes maior em relação à testemunha (anexo 24, p. 222). Estes elementos também participaram do mesmo fator no experimento de campo.

Ao contrário dos elementos reunidos no fator anterior, estes apresentaram altos índices de correlação com quase todos parâmetros do solo, com exceção do C e Al total (anexo 28, p. 231).

O Mn não correlacionou-se com as bases trocáveis, mas apresentou um alto índice de correlação negativo com a CTC do solo. O que indica uma possível relação com sua diminuição dos sítios de troca no solo. Sua absorção muitas vezes é prejudicada pela competição com outros cations divalentes (MENGEL & KIRKBY,

1987). Neste caso, provavelmente isto não deve ter ocorrido, tanto pela diminuição dos cations divalentes no solo, quanto na raiz, o que implica em uma possível competição com Al. ROY et al (1988), em revisão da literatura, encontraram situações onde com a aplicação do Al, houve diminuição na raiz e na parte aérea da planta, e algumas situações onde houve acúmulo na raiz e diminuição na parte aérea.

O Mg e o Al reagiram de forma semelhante neste e no experimento do campo, somente que de forma mais acentuada. O aumento nos teores de Al na raiz foram muito maiores e a redução do Mg foi bastante acentuada (fig. 28). A planta não conseguiu excluir o Al da raiz, havendo um acúmulo neste componente. Neste caso, o fato de não ter havido modificações nos parâmetros químicos do solo de entorno da raiz, supostamente indica a impossibilidade da planta em proteger-se aos efeitos tóxicos do Al, através do mecanismo de exclusão do Al da raiz, prejudicando a absorção dos demais elementos (ver seção 2.3). Teores tão elevados de Al na raiz, provavelmente prejudicam a absorção dos demais nutrientes dependentes da CTC da raiz para sua absorção.

Um terceiro grupo é formado por N, Fe e Cu. O N aumentou seus teores, enquanto, Fe e Cu, apresentaram valores estáveis perante os tratamentos, o primeiro com tendência a diminuição e o segundo de aumento (fig. 28). Estes, foram pouco influenciados pelas modificações ocorridas no solo (anexo 28, p. 231) e apresentaram comportamento similar ao experimento realizado no campo.

O Mg também poderia ter sido agrupado neste fator (carregamento maior que 0,600), estando correlacionado com o Fe.

#### 4.2.3.2 Caule

Na fração caule, tem-se o fator 1, como o mais importante representado por P, K, Ca, Mg, Fe, e Al, seguido do fator 2, com N, Mn e Zn, finalizando com o fator 3 com o Cu.

No fator 1, os elementos, P, K, Ca, Mg e Fe, tendem a diminuir seus teores e, o Al aumenta significativamente frente aos tratamentos com Al (fig. 28). Com exceção do P, estes são os únicos elementos que correlacionam-se com a maior parte dos parâmetros do solo (anexo 28, p. 231).



O outro grupamento é representado por N, Mn e Zn, que mantêm seus teores estáveis. Da mesma forma o Cu, que por não correlacionar-se com os demais parâmetros forma um fator independente.

Comparando estes resultados com o do experimento de campo, observa-se uma grande diferença. Os nutrientes que neste caso tendiam a diminuir (P, K, Ca, Mg e Fe), no campo, ou aumentaram (P e K), ou permaneciam estáveis (Ca e Fe).

N, Mn, Zn e Cu que mantiveram os teores estáveis neste experimento, no campo, ou aumentaram (N e Zn), ou também não apresentaram modificações significativas (Mn e Cu).

Cabe salientar que Mn e Cu, possuem teores bem mais elevados nas plantas (raiz, caule e folhas) cultivadas na floresta. E P e K, embora tivessem seus teores diminuídos, este são maiores nas plantas da casa de vegetação, do que no campo, devido as maiores quantidades destes elementos no solo, provavelmente em função da aplicação da solução nutritiva.

#### 4.2.3.3 Folhas

Através da análise dos carregamentos maiores que 0,600 (tabela 10), no componente folhas, o fator 1 agrupou as seguintes variáveis: P, Ca, Fe, Cu e Zn, o fator 2, N e Al, o fator 3, K e Mn, e o fator 4, foi representado pelo Mg.

Os elementos P, Ca, Fe, Cu e Zn, formaram o grupo de correlações mais importante, todos diminuíram seus teores a partir das doses crescentes de Al (fig. 28). Estes foram os parâmetros que correlacionaram-se com a maior parte dos parâmetros do solo, com exceção do Cu (anexo 28, p. 231).

No experimento de campo, P, Zn ficaram estáveis, e Fe aumentou perante os tratamentos. Ca diminuiu nos dois experimentos, mas esta foi mais acentuada na casa de vegetação. Os teores de Cu apresentaram teores muito maiores no campo do que na casa de vegetação, com uma variabilidade bastante alta entre amostras. Nos dois casos houve tendência de estabilidade nos tratamentos.

O segundo grupo é composto por N e Al. O primeiro com tendência de redução dos teores, e o Al, com tendência a aumentar (fig. 28). Estes não correlacionaram-se com os parâmetros do solo.

O N apresenta teores mais elevados nas folhas, do que nas raízes e no caule. As folhas tendem a diminuir seus teores a partir da aplicação do Al, ao contrário o caule e a raiz, tendem a aumentar. Isto pode indicar que o transporte de

N tenha sido afetado em relação aos tratamentos com Al. No experimento do campo seus teores foram aumentados em todas as frações da planta.

O Al que havia apresentado altíssimos teores na raiz, nas folhas, teve apenas uma tendência de aumento (fig. 28).

Estes resultados, indicam que ocorreu um mecanismo de exclusão do Al na raiz, impedindo o transporte para a parte aérea, já que os teores no caule foram baixos. Esta exclusão provavelmente ocorreu no interior da raiz e no rizoplano, haja visto os teores elevados de Al neste componente. Também é provável que tal mecanismo não tenha ocorrido na rizosfera, visto que as modificações dos parâmetros químicos do solo rizosférico e não rizosférico, foram pequenas.

Normalmente é reconhecida a precipitação do Al e P na raiz (FOY et al 1978), mas este fato, não pode ser sustentado no presente estudo, porque embora ocorram altos teores de P disponível no solo, os teores foram baixos na raiz e tenderam a diminuir com as doses crescentes de Al.

No entanto, o teor de Al na raiz apresentou um alto índice de correlação ( $R=0,94$ ) com o P do solo. Seu significado é de difícil explicação, apesar do P disponível aumentar com o nível crescente de Al, não foi absorvido na mesma proporção que o Al, que foi altíssima.

Agrupados em um outro fator no componente folhas, os elementos K e Mn, aumentaram seus teores. Nos dois experimentos realizados o Al condicionou o aumento dos teores de K na parte aérea da planta.

Ao contrário do que havia ocorrido no campo, o Mn teve seus teores aumentados nas folhas, segundo MARSCHNER (1986), condições ácidas no solo aumentam a sua disponibilidade.

O Mg representou o último fator no componente folhas. Seus teores permaneceram estáveis em relação aos tratamentos. Este não se correlacionou com os demais nutrientes (anexo 27, 230), nem com os parâmetros do solo (anexo 28, p. 231). Em ambos os experimentos, houve diminuição dos teores nos componentes raiz e caule com a aplicação de Al. Nas folhas não ocorreram modificações significativas.

### 4.3 EXPERIMENTOS COM *Tapirira guianensis* EM HIDROPONIA

A avaliação da toxidez de Al, utilizando como substrato solos ácidos, apresenta dificuldades em função da complexidade de fatores envolvidos. Para suplantar estas dificuldades os experimentos têm sido conduzidos em solução nutritiva, controlando-se o pH e concentração dos elementos, em estudos de curto e longo prazo (BLAMEY et al. 1991).

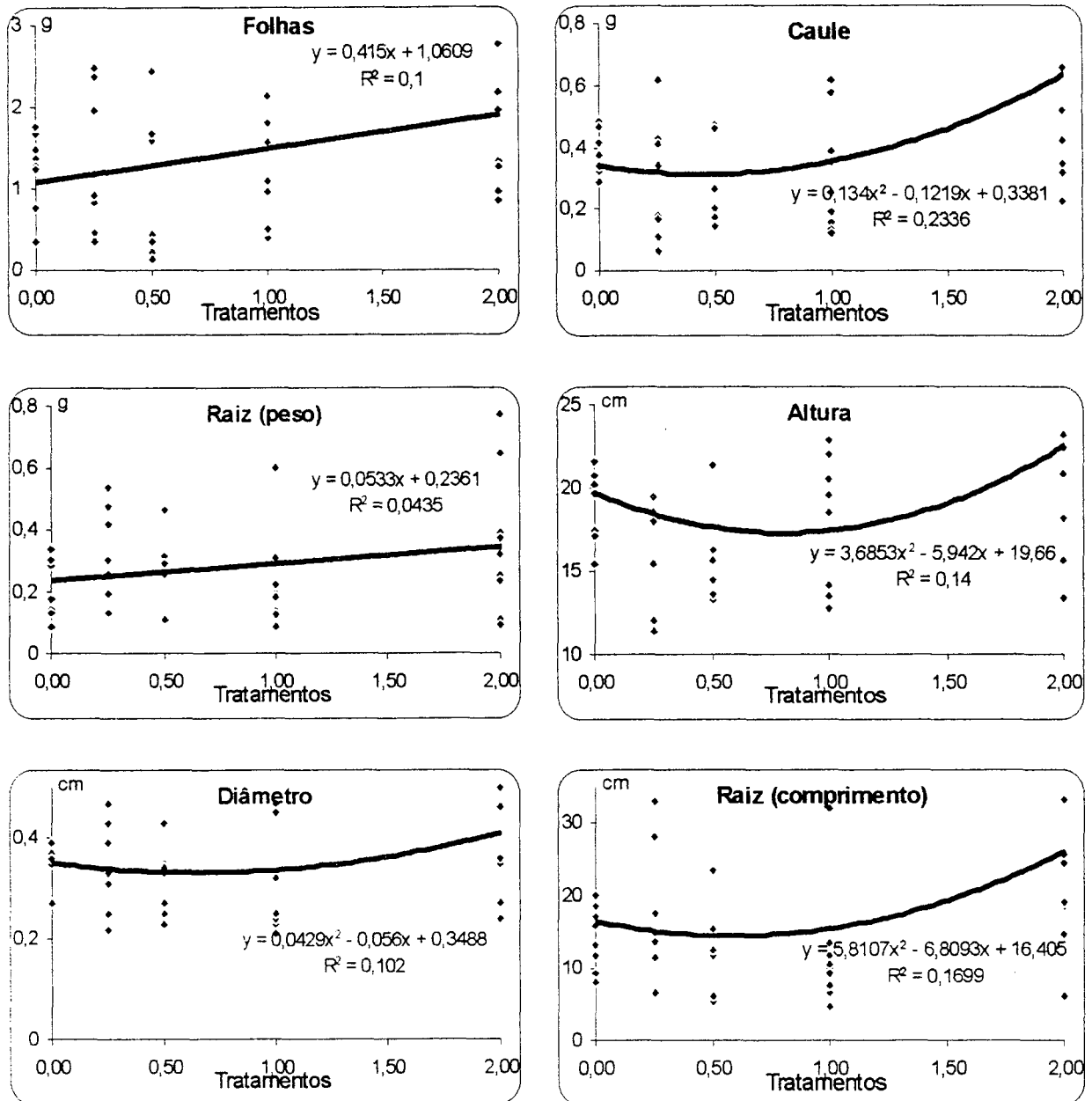
#### 4.3.1 Primeiro Experimento

As médias dos parâmetros biométricos de *T. guianensis*, cultivada em hidroponia, frente a níveis crescentes de Al, estão tabuladas no anexo 29 (p. 233).

Observaram-se diferenças significativas na análise de variância, apenas para o peso do caule e comprimento da raiz (anexo 30, p.234). Embora não tenham sido registradas diferenças significativas para os demais parâmetros, a figura 30 aponta uma tendência de aumento nos valores de todos os parâmetros, a medida que aumentam os teores de Al na solução hidropônica.

Em relação a peso das folhas, peso da raiz, diâmetro do caule e comprimento da raiz observou-se uma tendência de aumento nos valores para o tratamento de  $0,25 \text{ mmol L}^{-1}$ , com posterior diminuição em  $0,5 \text{ mmol L}^{-1}$ , e novo aumento em  $2 \text{ mmol L}^{-1}$ .

FIGURA 30 – PARÂMETROS DE CRESCIMENTO DE *Tapirira guianensis*, NO PRIMEIRO EXPERIMENTO REALIZADO EM HIDROPÔNIA FRENTE A DOSES CRESCENTES DE Al (mmol L<sup>-1</sup>).



#### 4.3.2 Segundo Experimento

Neste segundo experimento realizado com *T.guianensis*, utilizou-se um número maior de tratamentos, de plantas e teores mais elevados de Al. As médias e desvio padrão estão tabulados no anexo 31 (p. 235).

A análise de variância (anexo 32, p. 236) registrou diferenças significativas entre os tratamentos, para peso de folhas, caule e raiz, diâmetro do caule e a relação entre peso e número de folhas.

Também neste experimento observa-se, que alguns parâmetros têm seus valores diminuídos da testemunha para o tratamento de 0,5 mmol L<sup>-1</sup> de Al e, posteriormente, aumentando gradativamente, tendo os maiores valores no tratamento de 6 mmol L<sup>-1</sup>.

Aspectos do crescimento das plantas podem ser visualizados no ajustes de curvas de regressão na figura 31, e na figura 32.

Em todos os tratamentos foram realizados cortes transversais na raiz e folhas visando colorir as estruturas que apresentassem acúmulo de Al.

Nas folhas, em nenhum tratamento pode se observar o acúmulo de Al, devido às baixas quantidades existentes, não alcançando o nível de sensibilidade do método (figura 33).

Na raiz, os teores de Al foram maiores, acumulando-se principalmente na epiderme da raiz, não penetrando nas demais estruturas da mesma (figura 34).

Na tabela 11 constam os resultados das análises do Al na solução nutritiva a pH 4,0, onde o Al monomérico é o Al inorgânico medido pelo método colorimétrico. O Al total foi medido por absorção atômica de duas formas: diretamente da solução nutritiva; e após a queima em mufla. A diferença entre os dois, representa supostamente o Al orgânico, ou seja, a diferença entre o Al total digerido e o não digerido. Foi também calculada a diferença entre o Al total digerido e Al monomérico.

O Al monomérico alcançou valores que variaram percentualmente de 20 a 35 % em função dos tratamentos. Já o Al medido diretamente da solução nutritiva apresentou percentagens mais baixas, variando de 1 a 15 %. O Al orgânico apresentou valores maiores que 60 %, e o digerido menos Al monomérico em uma faixa de 50 a 75 %. Todas estas medidas estão altamente correlacionadas, a maior parte com coeficientes de determinação acima de 0,96 (tabela 12).

FIGURA 31 – PARÂMETROS DE CRESCIMENTO DE *Tapirira guianensis*, NO SEGUNDO EXPERIMENTO REALIZADO EM HIDROPÔNIA FRENTE A DOSES CRESCENTES DE AI (mmol L<sup>-1</sup>).

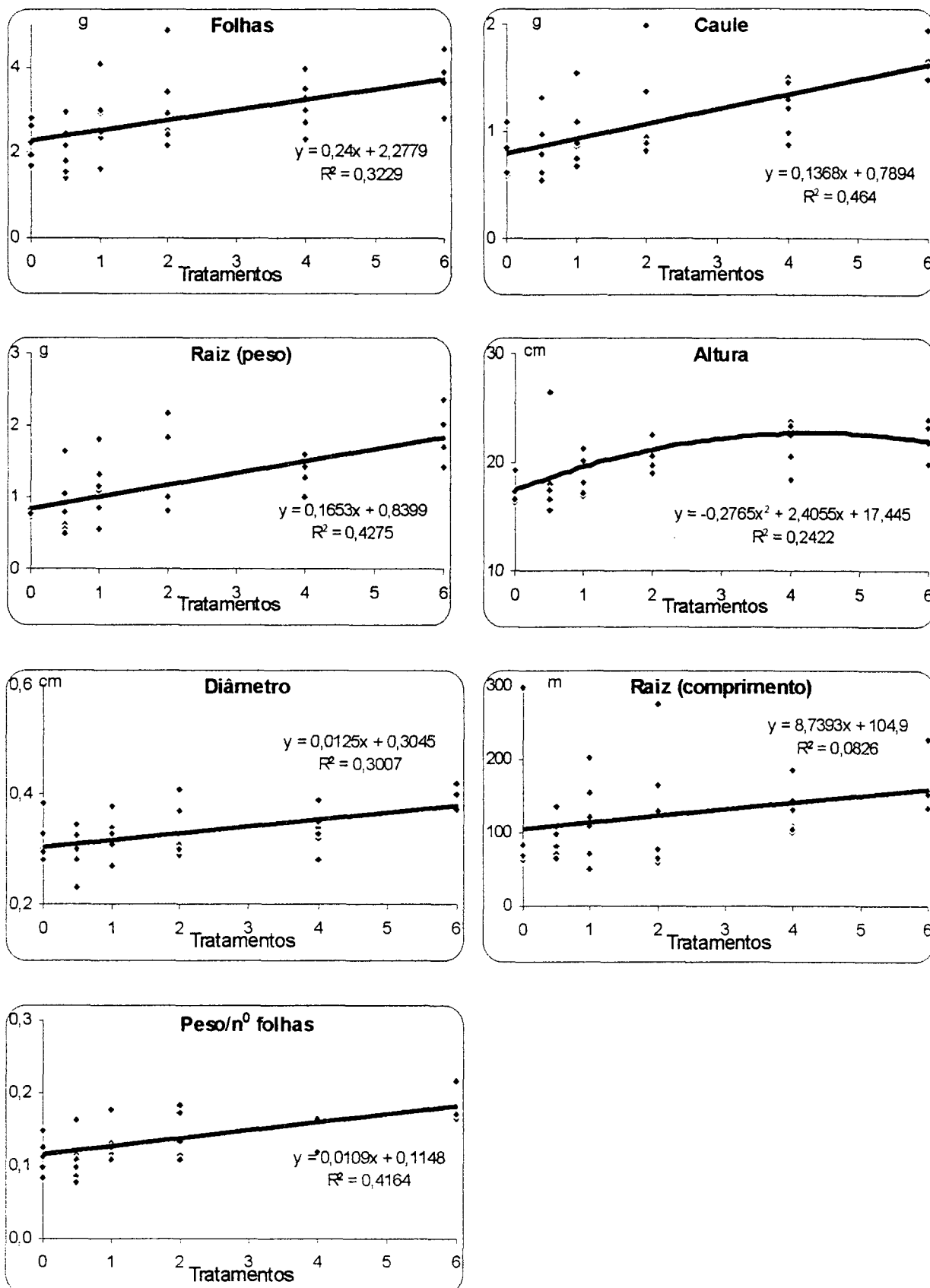


TABELA 11 – TEORES DE Al (mmol L<sup>-1</sup>), NO EXPERIMENTO EM HIDROPONIA REALIZADO COM *T. guianensis*, MEDIDOS AO FINAL DO EXPERIMENTO.

Tratam	Caixas	Al <sup>(1)</sup> mon.	% <sup>(6)</sup>	Al <sup>(2)</sup>	% <sup>(6)</sup>	Al total dig <sup>(3)</sup>	% <sup>(6)</sup>	Al dig – Al mon. (4)	% <sup>(6)</sup>	Al dig – Al total (5)	% <sup>(6)</sup>
0	A	0,03	0	0,01	0	0,00	0	-0,03	0	-0,01	0
0	B	0,01	0	0,01	0	0,00	0	-0,01	0	-0,01	0
0,5	A	0,08	9	0,09	1	0,44	89	0,36	72	0,36	71
0,5	B	0,15	21	0,11	5	0,54	107	0,39	77	0,43	86
1	A	0,23	30	0,20	1	0,98	98	0,75	75	0,79	79
1	B	0,31	33	0,21	3	1,04	104	0,72	72	0,83	83
2	A	0,54	21	0,37	14	1,85	93	1,31	66	1,48	74
2	B	0,53	27	0,38	13	1,89	94	1,36	68	1,51	76
4	A	1,26	30	0,76	11	3,81	95	2,56	64	3,05	76
4	B	1,31	34	0,61	15	3,04	76	1,72	43	2,43	61
6	A	1,40	22	0,90	14	4,48	75	3,08	51	3,59	60
6	B	1,37	20	1,13	11	5,65	94	4,28	71	4,52	75

(1) Al monom.- Al momomérico, medido por método colorimétrico.

(2) Al total – medido em espectrofotômetro UV/VIS

(3) Al total dig.- Al total digerido medido em espectrofotômetro UV/VIS após incineração da amostra em mufla e diluição em HCl.

(4) Al dig – Al mon.- Al total digerido menos o Al monomérico.

(5) Al dig – Al total - Al total digerido menos Al total.

(6) % em relação aos teores de Al dos tratamentos.

TABELA 12 – ÍNDICES DE CORRELAÇÃO ENTRE AS DIVERSAS FORMAS DE Al NA SOLUÇÃO NUTRITIVA HIDROPÔNICA.

	Tratamen.	Al monom.	Al tot. diger.	Al total	Aldig - Al mon.	Al dig.- Al total
Tratamentos	1,00					
Al monomér.	0,97**	1,00				
Al total diger.	0,99**	0,96**	1,00			
Al total	0,99**	0,96**	1,00**	1,00		
Al dig.-Al mon.	0,97**	0,92**	0,99**	0,99**	1,00	
Al dig.-Al total	0,99**	0,96**	1,00**	1,00**	0,99**	1,00

\* significativo a 90 % de probabilidade.

\*\* significativo a 95 % de probabilidade

Os índices de correlação entre os parâmetros de crescimento da planta e as diversas formas de Al, foram significativos para todos os parâmetros exceto para comprimento da raiz (anexo 33, p.236).

Nos dois experimentos realizados em solução hidropônica, todos os parâmetros biométricos apresentaram tendências a aumentar frente aos níveis crescentes de Al. Além disto, de não se observaram sintomas de deficiência nutricional. Ou seja, o Al nas concentrações empregadas, foi benéfico ao desenvolvimento desta espécie.

FIGURA 32 – ASPECTO DO DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS DE *T. guianensis*, EM RELAÇÃO AOS TRATAMENTOS COM TEORES CRESCENTES DE Al, DA DIREITA PARA ESQUERDA.



FIGURA 33 – CORTES TRANSVERSAIS DA REGIÃO DA NERVURA CENTRAL DE FOLHA DE *T. guianensis*, SUBMETIDA A TRATAMENTO COM  $6\text{mmol L}^{-1}$  DE Al EM HIDROPONIA, ONDE NÃO HAVENDO A COLORAÇÃO AZUL NÃO HÁ ACÚMULO DE Al. AUMENTO DA FOTO SUPERIOR: 10 X, FOTO INFERIOR: 40X.

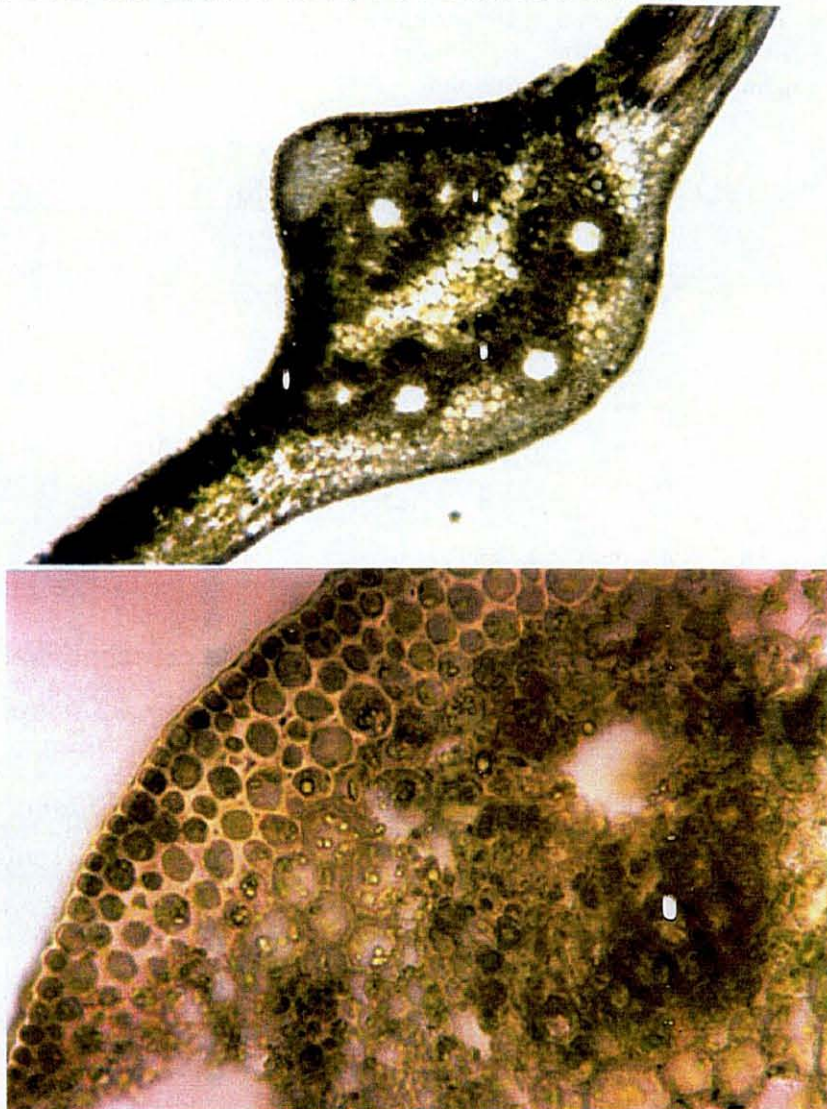
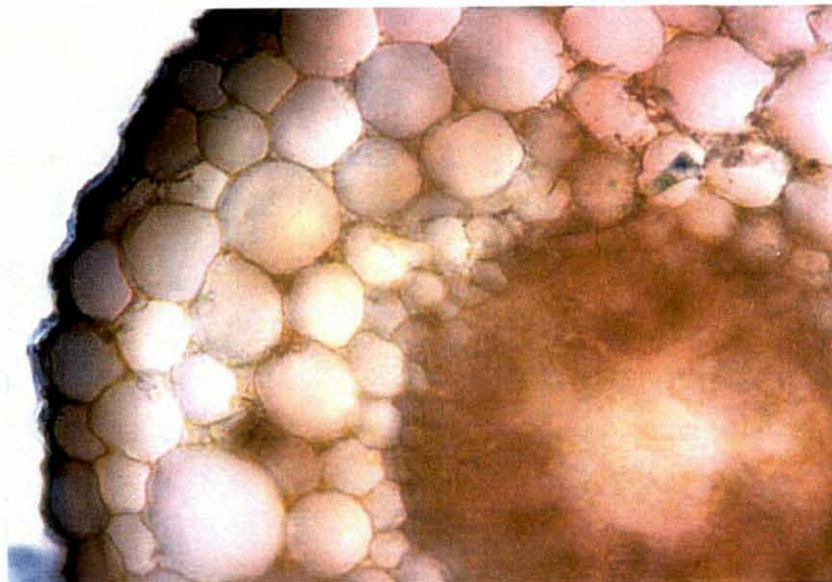
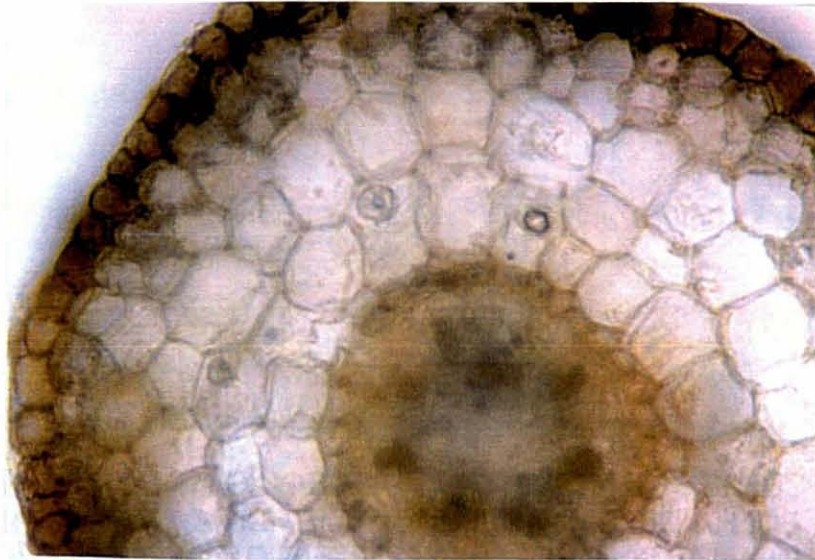




FIGURA 34 – FOTO ACIMA - CORTE TRANSVERSAL DA RAIZ *T. guianensis* NA TESTEMUNHA. FOTO ABAIXO, SUBMETIDA A TRATAMENTO COM  $6\text{mmol L}^{-1}$  DE AI EM HIDROPÔNIA, ONDE OBSERVA-SE A COLORAÇÃO AZUL OCORRE ACÚMULO DE AI. AUMENTO DAS FOTOS: 40X.



Alguns parâmetros tiveram seus valores diminuídos da testemunha para o tratamento de  $0,5 \text{ mmol L}^{-1}$  de Al, com posterior aumento (anexos 29 e 31). Esta diminuição não está relacionada às concentrações das diferentes espécies de Al na solução nutritiva, não tendo-se uma explicação plausível para a ocorrência de tal fenômeno.

A tolerância das espécies e cultivares a diferentes quantidade de Al na solução é bastante variada (WHEELER et al, 1993). Em plantas sensíveis ao Al utilizadas na agricultura, concentrações de até  $20 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$  em solução nutritiva induzem sintomas de toxidez. As árvores são consideradas relativamente mais tolerantes, estudos realizados em plântulas de *Betula pendula*, demonstraram que as reações no crescimento aparecem somente a partir de  $3 \text{ mmol L}^{-1}$  na solução (GORANSSON & ELDHUSET, 1987).

Entretanto, resultados diferentes em uma mesma espécie têm sido observado, em função de diferenças na composição química da solução nutritiva. As possíveis causas são efeitos relacionados à modificação da atividade do Al, efeitos específicos dos íons e da força iônica na solução (BLAMEY et al, 1991).

A hidrólise do Al permite a formação de diferentes espécies de Al (ver seções 2.2.2 e 2.2.3) , dentre elas as espécies de Al monomérico, polimérico e Al orgânico. Esta ultima não é considera tóxica. Em solução, o Al monomérico é formado pela soma do  $\text{Al}^{3+}$  com  $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_3^0$  e  $\text{AlSO}_4^+$ . As quantidades de cada uma destas espécies, e sua toxidez, variam conforme o pH e a força iônica, sendo difícil avaliar qual a forma mais tóxica devido à colinearidade (KINRAIDE, 1991). PAVAN & BINGHAN (1982), em solução nutritiva mantida em pH 4,0, associaram a diminuição do crescimento da raiz do café ao  $\text{Al}^{3+}$ . ALVA et al. (1986), em solução nutritiva com pH variando de 4 a 5, constataram a presença de  $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$  e  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ , como as espécies mais tóxicas para a soja, em pH 4,5, sendo que o  $\text{Al}^{3+}$  teve pouca influência no crescimento da raiz. Desta forma, soluções com pH 4,0 seriam menos tóxicas, devido às baixas concentrações destas formas mais tóxicas (MOORE, 1974 citado por MENGEL & KIRKBY, 1987, p. 58). Segundo KINRAIDE (1991), o efeito verdadeiro destas espécies no crescimento da raiz ainda é obscuro.

BLOOM & ERICH (1996) sugerem para análise do Al total, em amostras de águas retiradas de ambiente natural, que se elimine a fase coloidal. Esta inclui Al associado com ácidos fúlvicos, húmicos e minerais de argila. Um dos métodos de

eliminação sugeridos por estes autores é a queima por três horas e solubilização com ácido. Em se tratando de solução nutritiva não existe argila, portanto quando se realiza este procedimento, queima-se a matéria orgânica ligada ao Al, liberando-o.

Ao se analisar o Al na solução nutritiva por absorção atômica antes e após a queima por combustão, os teores de Al aumentaram consideravelmente (tabela 11), apresentando uma relação linear altíssima com um coeficiente de determinação de 0,999, indicando uma alta acuracidade do processo.

As espécies de Al na solução, provavelmente, possuíam uma quantidade maior de Al ligado a complexos orgânicos em relação ao Al inorgânico em todos os tratamentos com Al, o que pode indicar uma alta atividade de exsudação de complexos orgânicos pela raiz, propiciando em grande parte a neutralização de Al tóxico na solução.

Em relação ao Al inorgânico, provavelmente este estava na forma predominante de  $Al^{3+}$ , visto que em pH 4, as formas de hidróxidos de Al, que são as mais tóxicas, estão presentes em pequena quantidade (ver seção 2.2.3).

As diferentes espécies de Al na solução foram altamente correlacionadas, o que refletiu em respostas semelhantes no que diz respeito aos parâmetros de crescimento da planta, apresentando correlações positivas, ou seja, aumento dos padrões de crescimento à medida que aumenta as quantidades de Al na solução.

Em solução nutritiva, baixos níveis de Al ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) causaram redução no crescimento da raiz em variedades de trigo e milho sensíveis ao Al (PELLET et al., 1995; 1996). Espécies florestais de regiões temperadas (*Picea abies*) são tolerantes a concentrações acima de  $0,3 \text{ mmol L}^{-1}$  de Al antes de seu crescimento ser reduzido (HEIM et al., 1999). *T. guianensis* no tratamento com  $6 \text{ mmol L}^{-1}$  de Al ainda apresentou aumentos em seu crescimento.

Esta espécie apresenta uma alta plasticidade em termos ambientais, ocorrendo em ambientes variados, desde a América Central ao sul do Brasil, inclusive em solos com altos teores de Al, como os do Cerrado.

Como pode-se observar, a maior parte do Al da solução nutritiva é constituído por Al orgânico. Este material orgânico é proveniente da planta na solução hidropônica. Vários mecanismos de tolerância vêm sendo discutidos na literatura, um dos quais o de exclusão no apoplasto do Al (espaço intracelular e da parede celular), através da excreção de substâncias orgânicas que ligando-se formam complexos estáveis com o Al, e apresentam menos fitotoxicidade que os íons livres  $Al^{3+}$  (HUE et al., 1986).

Várias são as citações em relação à excreção de ácidos orgânicos em experimentos com solução nutritiva, principalmente em plantas agrícolas (DELHAIZE et al., 1993; PELLET et al., 1995; ZHENG et al., 1998). Em plantas jovens de diversas espécies de pinheiros, SMITH (1969) observou em solução nutritiva a exsudação de ácidos orgânicos.

Foram encontrados apenas traços de ácidos orgânicos na solução nutritiva neste experimento, tendo sido constatado visualmente a presença de uma mucilagem no entorno da raiz.

Segundo MARSHNER (1991), é difícil constatar a presença de ácidos orgânicos em solução nutritiva, não só pela baixa produção de exsudados, mas também pela rápida degradação por microorganismos e pela diluição na solução.

HORST et al. (1982) encontraram uma mucilagem ao redor da raiz de "cowpea" composta por polissacarídeos e ácidos poliurônicos secretados pelas células da raiz, indicando como mais um mecanismo de tolerância ao Al. Esta mucilagem é altamente resistente à degradação microbiológica e pode ter um efeito inibidor da toxidez com Al, mas necessita ser melhor estudada (MARSHNER, 1991).

HEIM et al. (1999), em *Picea abies*, em solução nutritiva, atribuíram a tolerância ao Al a imobilização no apoplasto e não pela exsudação de substâncias orgânicas. Ao revisar este tema, salientaram que existe pouca informação sobre este assunto em espécies florestais.

#### 4.3.3 Teor de Nutrientes na Planta

As médias dos teores de nutrientes e Al, nas diferentes frações de *T. guianensis*, submetida a tratamentos com doses crescentes de Al, no segundo experimento em hidroponia constam do anexo 34 (p. 237). A figura 35 ilustra o comportamento do ajuste das curvas de regressão perante os tratamentos. Todos os elementos analisados apresentaram diferenças significativas, ao nível de significância de 1%, entre tratamentos (anexo 35, p. 239).

As folhas apresentaram teores mais elevados de N, seguido da raiz e depois caule. Em todos eles houve decréscimo em seus teores à medida que aumentava o conteúdo de Al na solução nutritiva, com tendência a estabilização ao final da curva.

Na média dos tratamentos, folhas e raiz continham valores próximos de P, e o caule os valores menores. Houve um decréscimo nos teores de P bastante

acentuado em todas as partes da planta com aumento das doses de Al, e uma posterior estabilização da curva.

Os teores de K, são próximos entre as partes da planta, também com decréscimo nos tratamentos, principalmente nas folhas e caule. Os teores nas folhas tenderam a estabilizar-se com as doses mais elevadas de Al na solução nutritiva.

As folhas apresentaram os maiores teores de Ca, seguido do caule e da raiz. Com o aumento das doses de Al, houve um decréscimo gradativo nos teores das diferentes frações. Nas Folhas e caule, após um decréscimo inicial houve uma posterior estabilização quando das doses mais elevadas de Al na solução nutritiva (figura 32).

O Mg nas folhas e no caule, além de possuir teores médios bastante próximos e maiores do que na raiz. Em termos de comportamento das curvas este foram semelhantes ao do Ca

Os teores de Fe, Mn, Cu e Zn na raiz foram muito maiores que as demais partes da planta, sendo, estas diferenças maiores, na testemunha e em alguns casos no primeiro tratamento com Al, decrescendo drasticamente até as doses de 4 mmol L<sup>-1</sup> de Al e tendendo a aumentar nas doses maiores. O Cu no caule teve comportamento similar.

Uma tendência de decréscimo foi observado no caule e folhas em relação ao Fe e, nas folhas em relação ao Zn e ao Cu. Os elementos Zn e Cu na fração caule tiveram um tendência a estabilização à medida que aumentava-se as quantidades de Al na solução hidropônica.

Os teores de Al na testemunha são maiores na raiz, seguido das folhas e posteriormente no caule. Quando dos tratamentos com Al, o teor na raiz aumenta mais de 20 vezes. No caule este aumento é de cerca de 9 vezes, e na folha, apenas de uma vez e meia. A partir daí o caule apresenta mais Al do que a folha. A tendência das curvas na raiz e no caule é de estabilização com a aplicação das doses mais elevadas de Al, já nas folhas a tendência de aumento continua.

Ao correlacionar as modificações no teor de nutrientes nas folhas, e os parâmetros de crescimento da planta (anexo 36, p. 244), P, K, Mg, Mn e Al, exibiram índices significativos com a maior parte dos parâmetros. No caule, somente Ca e Mg, apresentaram baixos índices e não significativos. O mesmo ocorreu na raiz com K, Mg e Zn. Todas as correlações foram negativas, com exceção do Al.

FIGURA 35 – TEORES DE NUTRIENTES E ALUMÍNIO, MEDIDOS NAS FRAÇÕES DE *T. guianensis*, DO EXPERIMENTO REALIZADO EM MEIO HIDROPÔNICO A DOSES CRESCENTES DE Al (mmol L<sup>-1</sup>).

continua

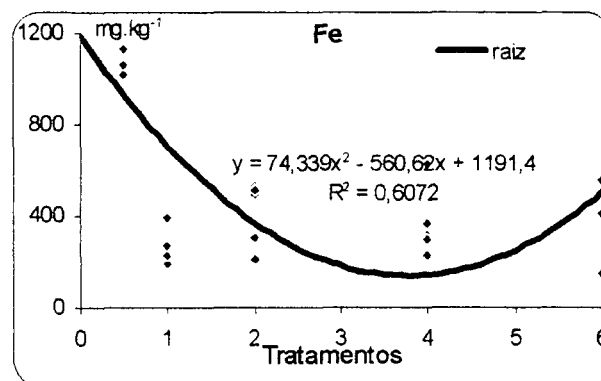
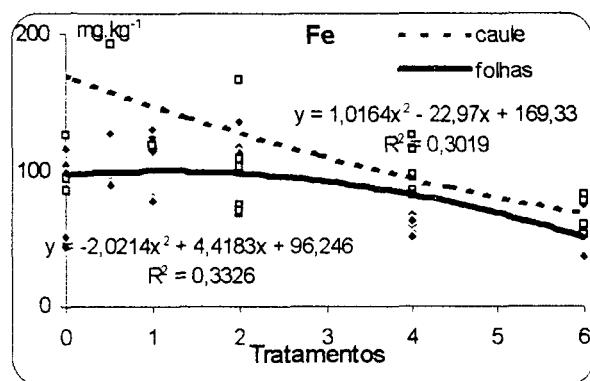
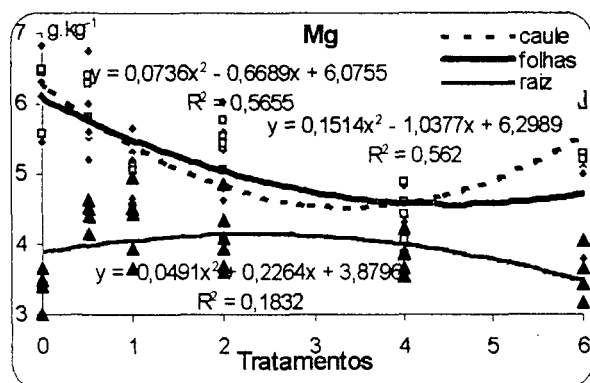
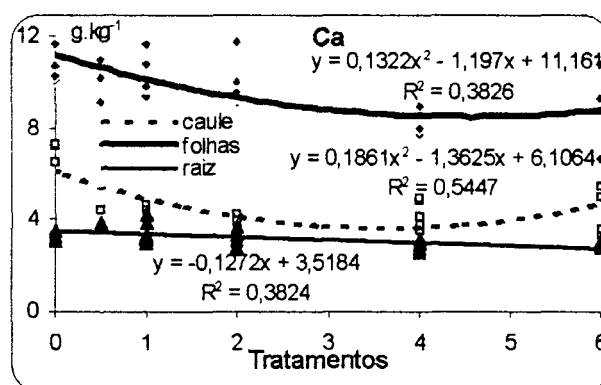
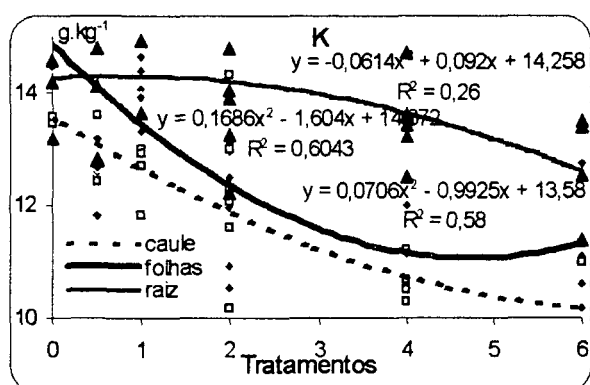
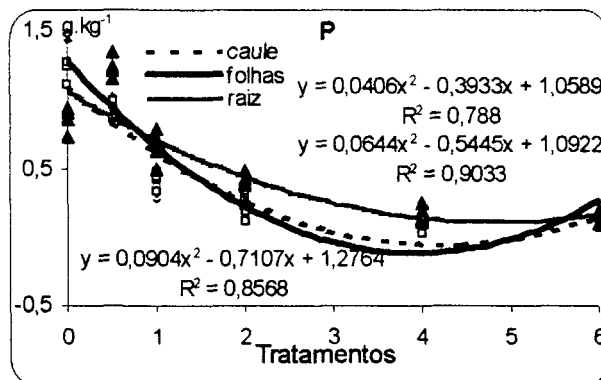
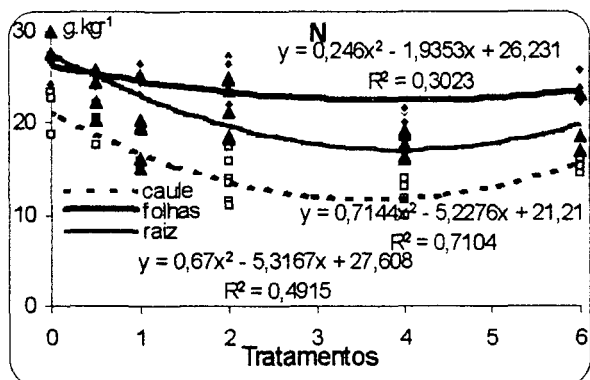
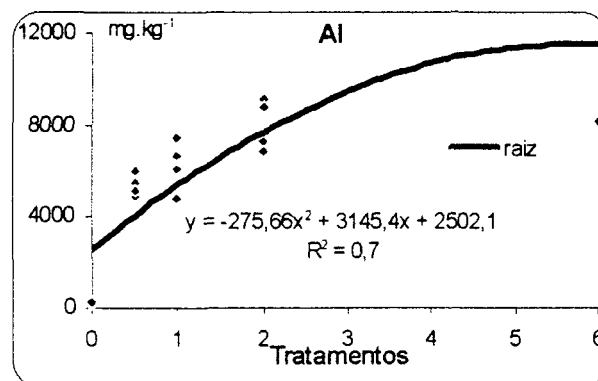
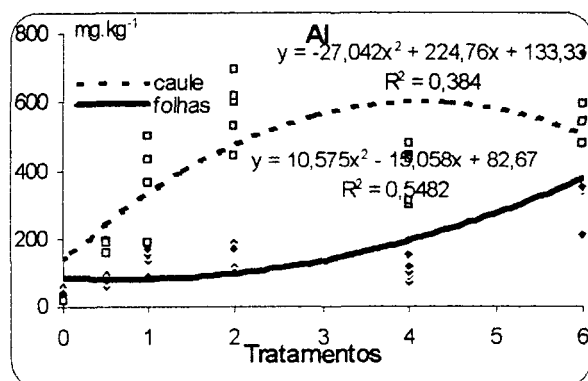
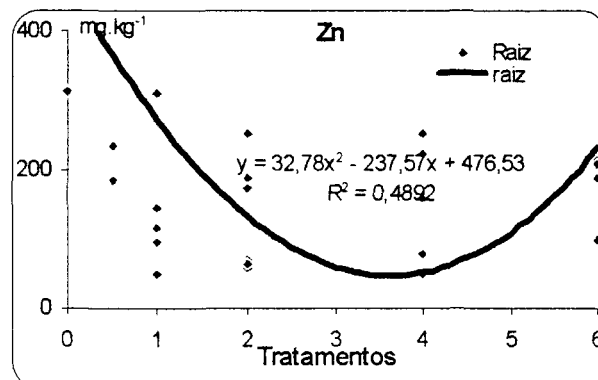
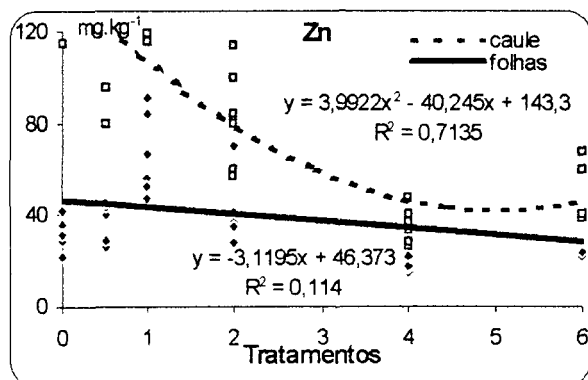
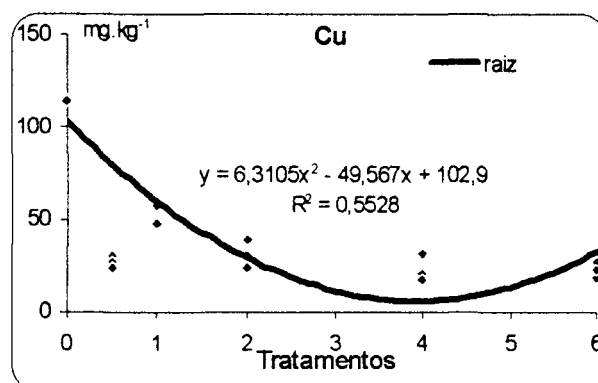
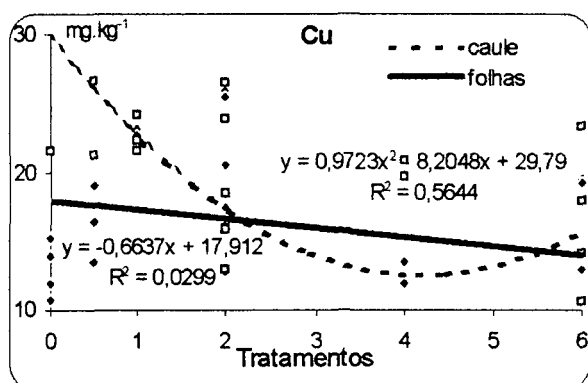
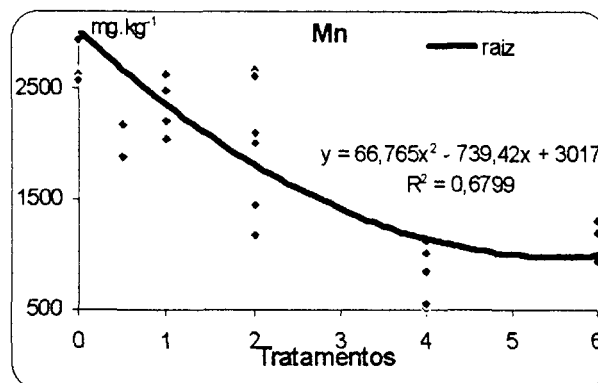
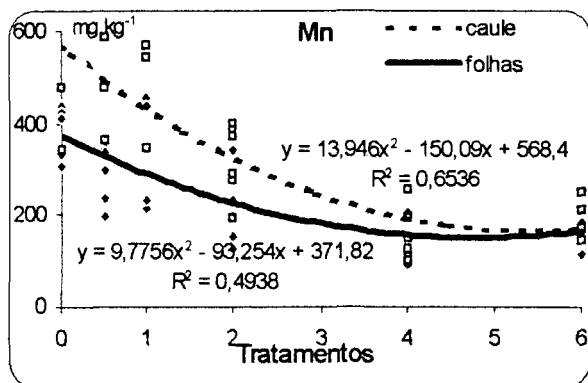


FIGURA 35 – TEORES DE NUTRIENTES E ALUMÍNIO, MEDIDOS NAS FRAÇÕES DE *T. guianensis*, DO EXPERIMENTO REALIZADO EM MEIO HIDROPÔNICO A DOSES CRESCENTES DE Al (mmol L<sup>-1</sup>).

conclusão



Os teores de P, K, Ca, Mg, Mn e Al, nas folhas, apresentaram correlações significativas com todas as formas de Al da solução nutritiva (anexo 37, p. 245). No caule, todos os elementos apresentaram correlações significativas com exceção do Mg. Fe e Ca que apresentaram os índices mais baixos. Na raiz, K, Mg e Zn não apresentaram índices significativos, N e Cu apresentaram os índices mais baixos, P, Ca, Fe, Mn e Al, os mais elevados. Todas as correlações foram negativas, com exceção do Al.

A correlação entre os teores de nutrientes (anexo 38, p. 246), foi positiva e significativa em boa parte dos nutrientes, Só os índices significativamente correlacionados com o Al foram negativos.

Reunindo as variáveis relacionadas através da análise fatorial. Nas três frações, obteve-se 3 fatores. Nas folhas, estes explicam 77,47 % da variância total, no caule, 80,27 % e, na raiz, 83,14 % (tabela 13).

Na tabela 14 encontram-se os carregamentos de cada fator, após rotação varimax normalizada, as comunalidades, e a variância específica dos nutrientes nas folhas, caule e raiz.

TABELA 13 – FATORES, AUTOVALORES, E PERCENTAGEM DA VARIÂNCIA EXPLICADA, PARA OS NUTRIENTES DAS FRAÇÕES DE *T. guianensis* NO EXPERIMENTO REALIZADO EM HIDROPONIA

FOLHAS				
Fatores	Autovalores	Total da variância explicada (%)	Autovalores acumulados	Total da variância acumulada (%)
1	5,282	48,01	5,282	48,01
2	2,127	19,34	7,408	67,35
3	1,114	10,13	8,522	77,47
CAULE				
Fatores	Autovalores	Total da variância explicada (%)	Autovalores acumulados	Total da variância acumulada (%)
1	6,611	60,10	6,611	60,10
2	1,258	11,43	7,869	71,53
3	0,960	8,73	8,829	80,27
RAIZ				
Fatores	Autovalores	Total da variância explicada (%)	Autovalores acumulados	Total da variância acumulada (%)
1	5,805	52,77	5,805	52,77
2	2,365	21,50	8,170	74,27
3	0,975	8,86	9,145	83,14

A análise fatorial definiu 3 fatores em relação aos teores de nutrientes na raiz (figura 36). O primeiro foi composto por N, Fe, Cu, Zn e Al. Com exceção do Al,



estes elementos tiveram uma drástica diminuição em seus teores, perante as doses crescentes de Al e uma posterior tendência de aumento nas doses mais elevadas (fig. 35). No caso do N esta diminuição foi menos acentuada.

Os teores de Al, Fe, Cu e N, apresentaram índices de correlação significativos com as diferentes espécies de Al na solução nutritiva (anexo 37, p. 245), o que também refletiu em um comportamento similar em termos de correlação com os parâmetros de crescimento das plantas (anexo 36, p. 244). O Zn não correlacionou-se nem com os teores de Al na solução nutritiva nem com os parâmetros biométricos da planta.

O segundo fator foi constituído por P, Ca, Mn e Mg. Os três primeiros apresentaram os maiores índices de correlação com as diferentes formas de Al e os parâmetros de crescimento da planta. O comportamento P, Ca e Mg, foi similar, com um grande aumento nos teores, no primeiro tratamento ( $0,5 \text{ mmol L}^{-1}$ ), e um posterior decréscimo gradativo. No caso do Ca e Mg este decréscimo retornou aos mesmos níveis da testemunha. Já com o P, o decréscimo foi bem maior, provavelmente devido a não existência de micorrizas em solução nutritiva.

O K ficou isolado na análise fatorial, não relacionando-se com os teores de Al na solução nutritiva e nem com os parâmetros biométricos das plantas.

Na fração caule, os elementos P, N, Cu, Ca e Mg, agruparam-se no fator 1. Os três primeiros, correlacionaram-se com os padrões de crescimento da planta (anexo 36) e com os teores de Al na solução nutritiva (anexo 37). Já Ca e Mg, que tiveram uma tendência menor de diminuição (fig. 35), não correlacionaram-se com estes parâmetros.

O outro fator, foi composto por Fe, Mn, Zn e K. Os três últimos foram os que melhor responderam aos tratamentos com Al, tantos em termos de teores na solução nutritiva (anexo 37, p.245), quanto em relação aos parâmetros biométricos da planta (anexo 36, p.244). Em termos de ajuste das curvas (fig.35) estes parâmetros possuem um comportamento similar com uma tendência de diminuição nos tratamentos com doses mais elevadas de Al, diferindo do fator anterior que tendem a um aumento.

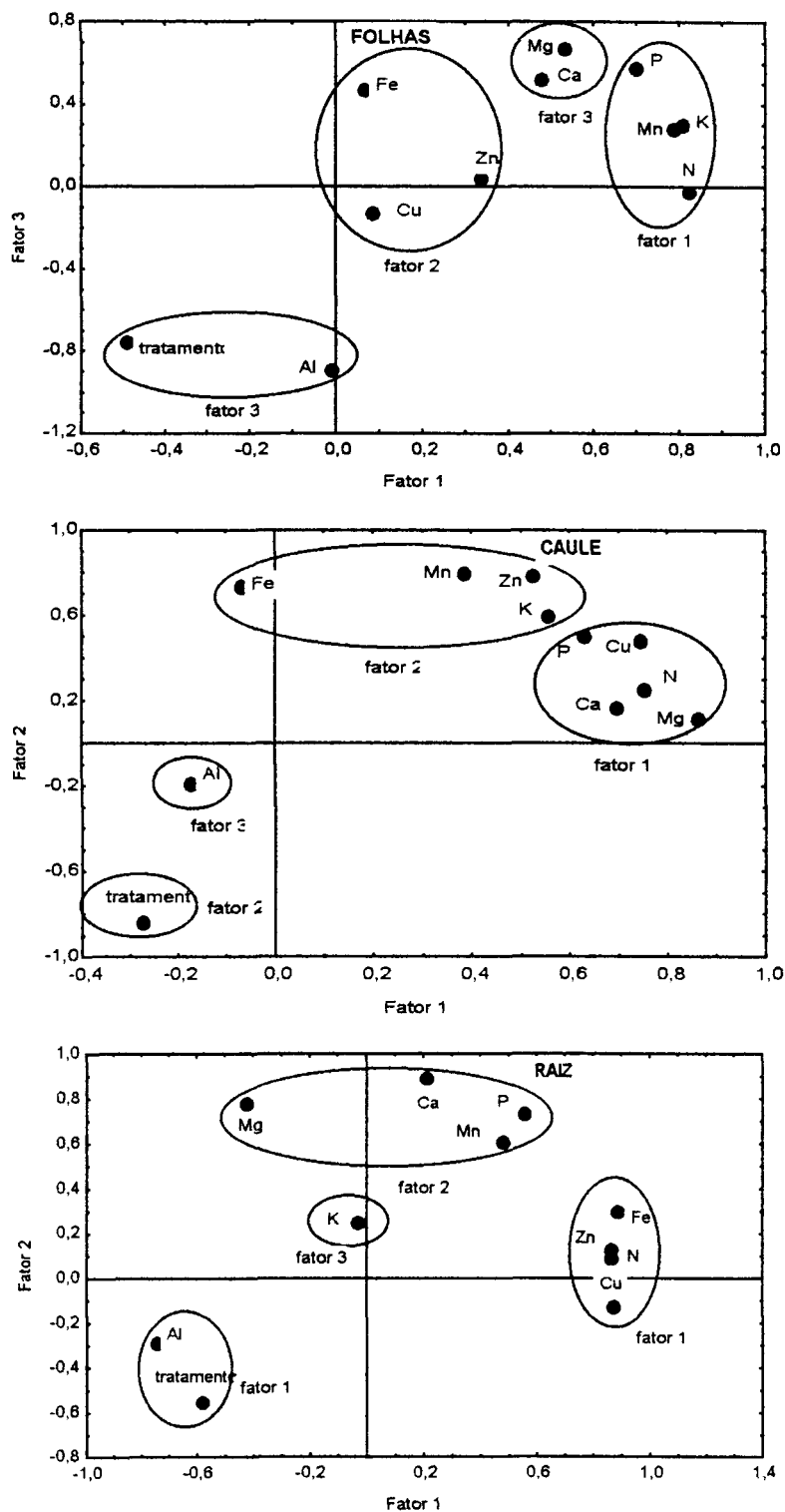
O Al ficou isolado em um fator, devido ao aumento mais intenso ocorrido, correlacionando-se com os teores das diversas espécies de Al na solução nutritiva e com o parâmetro peso da raiz.

TABELA 14 – PESOS FATORIAIS ROTACIONADOS, COMUNALIDADES E VARIÂNCIA ESPECÍFICA DOS NUTRIENTES DAS FRAÇÕES DE *T. guianensis* NO EXPERIMENTO REALIZADO EM HIDROPONIA.

FOLHAS					
	Pesos fatoriais rotacionados			Comunalidades	Variância específica
	Fator 1	Fator 2	Fator 3		
Tratamentos	-0,487	-0,209	<b>-0,765</b>	0,866	0,134
N	<b>0,826</b>	0,298	-0,031	0,771	0,229
P	<b>0,700</b>	-0,344	0,567	0,930	0,070
K	<b>0,811</b>	0,121	0,298	0,761	0,239
Ca	0,478	0,236	0,516	0,551	0,449
Mg	0,532	-0,038	<b>0,666</b>	0,727	0,273
Fe	0,068	<b>0,724</b>	0,469	0,749	0,251
Mn	<b>0,789</b>	0,333	0,275	0,808	0,192
Cu	0,088	<b>0,853</b>	-0,131	0,752	0,248
Zn	0,339	<b>0,828</b>	0,035	0,801	0,199
Al	-0,006	0,023	<b>-0,897</b>	0,805	0,195
CAULE					
	Pesos fatoriais rotacionados			Comunalidades	Variância específica
	Fator 1	Fator 2	Fator 3		
Tratamentos	-0,274	<b>-0,844</b>	-0,299	0,877	0,123
N	<b>0,754</b>	0,245	0,442	0,824	0,176
P	<b>0,632</b>	0,493	0,561	0,958	0,042
K	0,556	<b>0,594</b>	0,009	0,663	0,337
Ca	<b>0,696</b>	0,158	0,504	0,765	0,235
Mg	<b>0,863</b>	0,113	0,121	0,773	0,227
Fe	-0,066	<b>0,727</b>	0,257	0,599	0,401
Mn	0,388	<b>0,788</b>	0,124	0,787	0,213
Cu	<b>0,745</b>	0,479	0,062	0,789	0,211
Zn	0,528	<b>0,782</b>	0,014	0,890	0,110
Al	-0,173	-0,188	<b>-0,916</b>	0,905	0,095
RAIZ					
	Pesos fatoriais rotacionados			Comunalidades	Variância específica
	Fator 1	Fator 2	Fator 3		
Tratamentos	-0,575	-0,559	-0,467	0,861	0,139
N	<b>0,863</b>	0,090	0,101	0,763	0,237
P	0,561	<b>0,728</b>	0,084	0,853	0,147
K	-0,031	0,250	<b>0,904</b>	0,880	0,120
Ca	0,209	<b>0,883</b>	0,118	0,837	0,163
Mg	-0,422	<b>0,772</b>	0,232	0,828	0,172
Fe	<b>0,889</b>	0,290	-0,195	0,912	0,088
Mn	0,479	<b>0,601</b>	0,442	0,786	0,214
Cu	<b>0,870</b>	-0,127	0,349	0,895	0,105
Zn	<b>0,865</b>	0,125	-0,145	0,785	0,215
Al	<b>-0,746</b>	-0,291	-0,322	0,745	0,255

NOTA: pesos fatoriais extraídos pelo método dos componentes principais

FIGURA 36 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS PESOS FATORIAIS DAS VARIÁVEIS DOS NUTRIENTES DAS FRAÇÕES DE *T. guianensis*, DO EXPERIMENTO REALIZADO EM HIDROPONIA.



Na fração folhas, os teores de P, K, Mn e N, participam de um mesmo fator (figura 38). Os três primeiros foram os que mais correlacionaram-se com os parâmetros de crescimento da planta (anexo 36), tendo também índices significativos com as diferentes formas de Al na solução nutritiva (anexo 37). O N não apresentou índices significativos nestas avaliações. Salienta-se que K, Mn e N tiveram um leve decréscimo em seus teores, com as doses crescentes de Al na solução nutritiva. Já com P ocorreu um decréscimo mais drástico, como já havia ocorrido na raiz e no caule.

Os elementos Fe, Cu e Zn, agruparam-se no fator 2 devido ao seu comportamento similar, com uma tendência de diminuição nos tratamentos com doses mais elevadas de Al. Não apresentaram índices de correlação significativos nem com o Al na solução, nem com os parâmetros de crescimento da planta.

Os elementos Mg, Al agruparam-se em outro fator, correlacionando-se com as diferentes espécies de Al na solução nutritiva e com os parâmetros de crescimento da planta. Estes foram agrupados, um por diminuição mais acentuada (Mg), e o outro por aumento (Al), em relação aos tratamentos. O P, também apresentou pesos elevados neste fator, mostrando um estreito índice de correlação com o Mg.

O Ca apresentou uma alta variância específica, não enquadrando-se em nenhum fator, embora tenha apresentado índices de correlação significativos com os demais elementos e com os teores de Al na solução nutritiva, mas não com os parâmetros biométricos da planta.

#### 4.3.4 Conteúdo de Nutrientes na Planta

No anexo 39 (p. 247), constam os resultados obtidos do cálculo da multiplicação entre teores de nutrientes e biomassa da planta, representando as quantidades de nutrientes absorvidos no experimento com hidroponia.

Na fração folhas, o conteúdo de nutrientes apresentou diferenças significativas (nível de significância de 1 e 5%) entre tratamentos para N, P, Fe, Cu, Zn e Al; na fração caule, N, P, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, e Al, e na fração raiz, P, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn e Al (anexo 40, p. 249).

A figura 37, ilustra o comportamento dos elementos perante os tratamentos através do ajuste das curvas de regressão. Os elementos que tiveram tendência de aumento em suas quantidades com o aumento nas doses de Al na solução nutritiva

foram N, K, Ca, Mg e Al. O P, diminuiu significativamente e, os micronutrientes tiveram um padrão irregular, com exceção da fração raiz onde houve uma drástica redução e uma posterior tendência de aumento com as doses mais elevadas.

A relação entre o conteúdo de nutrientes e os parâmetros de crescimento na planta, frente aos tratamentos com Al, pode ser avaliada através da matriz de correlação (anexo 41, p. 254).

Apenas o conteúdo de Mn na folha, não correlacionou-se com os parâmetros de crescimento da planta. No caule e raiz, o conteúdo dos micronutrientes não apresentaram índices de correlação significativos.

Ao correlacionar-se as diferentes formas de Al na solução nutritiva, com as quantidades de nutrientes absorvidos pela planta (anexo 42, p. 255), nas folhas, somente N, P e Al apresentaram índices significativos. Já K, Ca e Mg, apresentaram os índices mais baixos.

No caule, ficaram bem definidas as correlações com os teores de N, K, Ca, Mg, Cu e Al. Na raiz, ocorreram índices significativos com N, K, Ca e Mg. Da mesma forma, mas com valores menores, em P e Mn. Estes, os únicos com valores negativos.

Os índices de correlação entre o conteúdo de nutrientes nas folhas (anexo 43, p. 256), foram significativos entre quase todos os nutrientes, com exceção do P, que correlacionou-se somente com o Mn e Al. No caule e na raiz ocorreu uma quantidade bem menor de índices significativos.

FIGURA 37 – CONTEÚDO DE NUTRIENTES E ALUMÍNIO, MEDIDOS NAS FRAÇÕES DE *T. guianensis*, DO EXPERIMENTO REALIZADO EM HIDROPONIA COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE Al (mmol L<sup>-1</sup>).

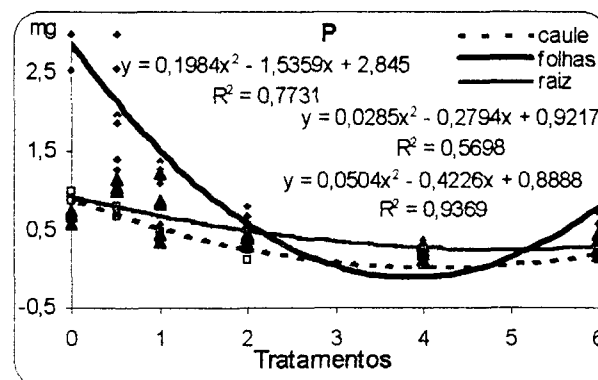
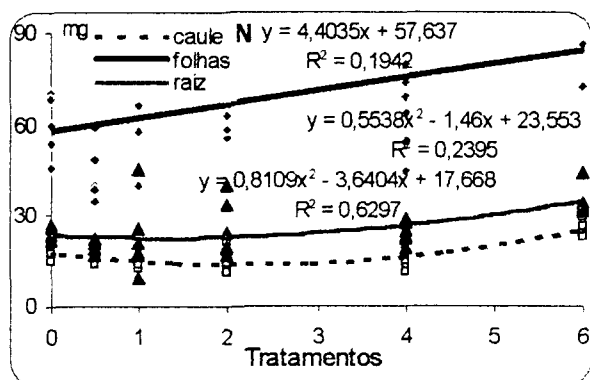


FIGURA 37 – CONTEÚDO DE NUTRIENTES E ALUMÍNIO, MEDIDOS NAS FRAÇÕES DE *T. guianensis*, DO EXPERIMENTO REALIZADO EM HIDROPONIA COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE Al (mmol L<sup>-1</sup>).

continua

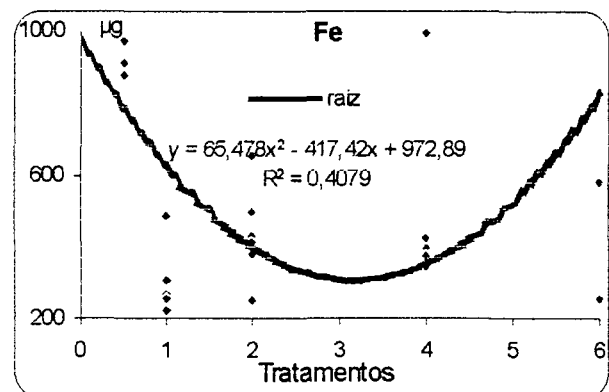
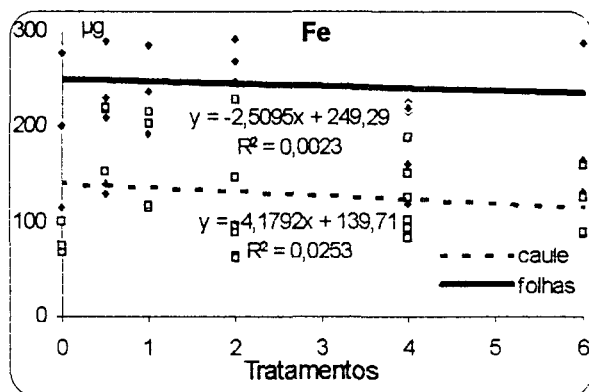
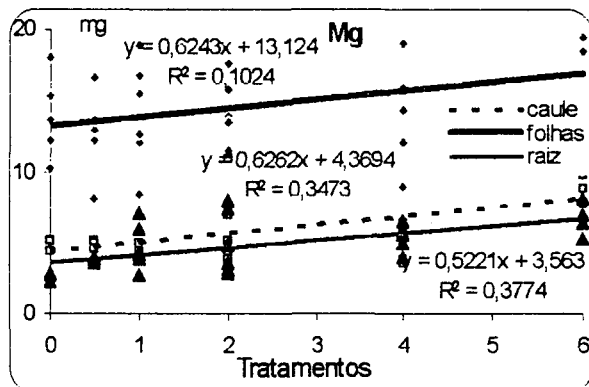
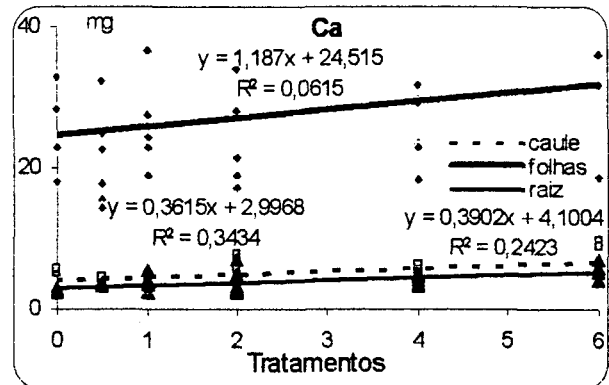
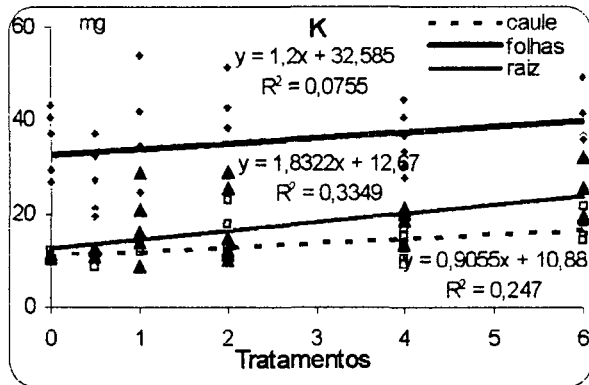
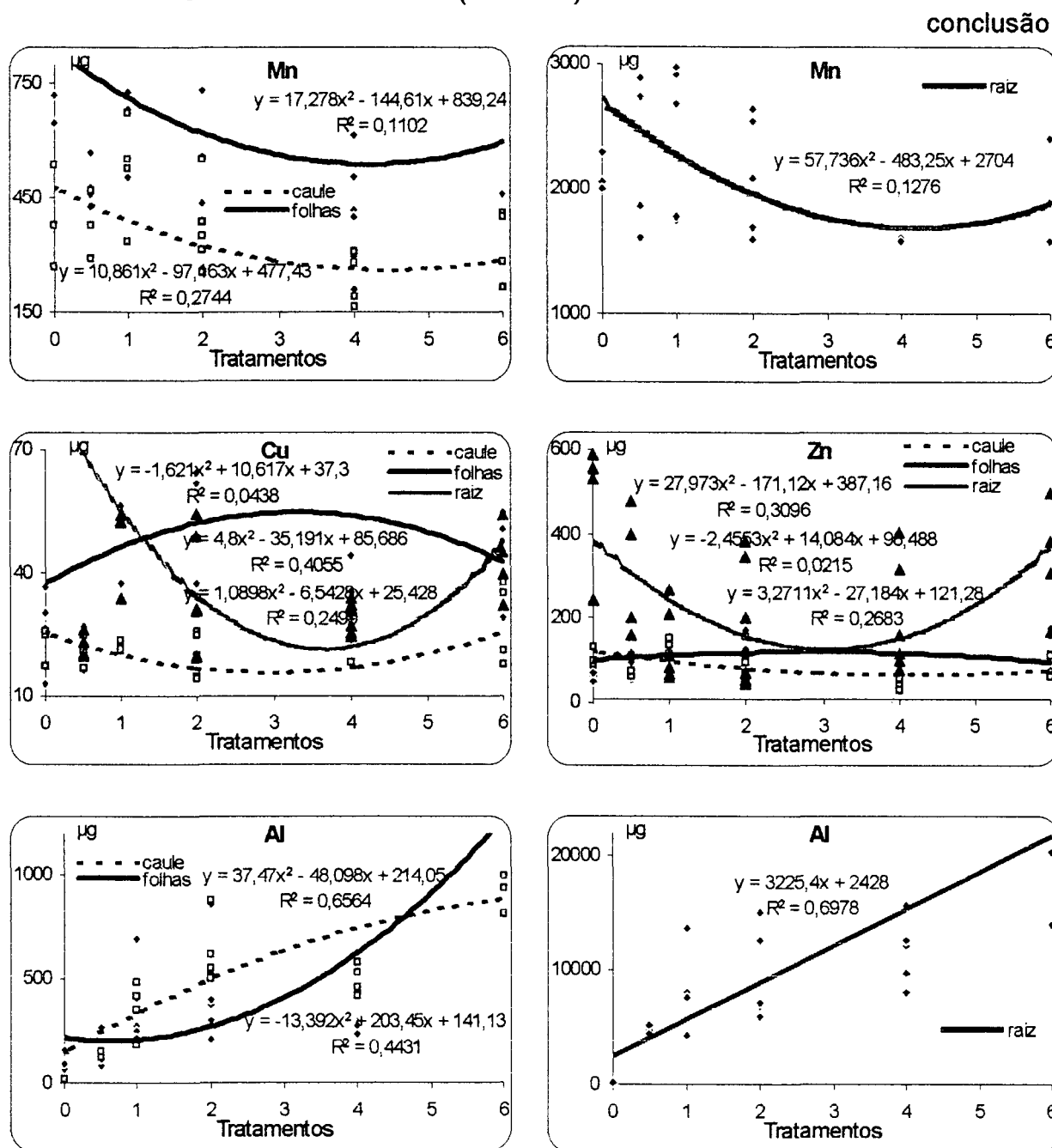


FIGURA 37 – CONTEÚDO DE NUTRIENTES E ALUMÍNIO, MEDIDOS NAS FRAÇÕES DE *T. guianensis*, DO EXPERIMENTO REALIZADO EM HIDROPONIA COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE Al (mmol L<sup>-1</sup>).



Agrupando-se as variáveis relacionadas através da análise fatorial, foram extraídos 3 fatores. Nas folhas estes explicaram 87,40 % da variância total, no caule 81,84 %, e na raiz 85,41 % (tabela 15).

Os carregamentos de cada fator após rotação varimax normalizada, as communalidades, e a variância específica das quantidades de nutrientes nas folhas, caule e raiz, constam da tabela 16.

TABELA 15 – FATORES, AUTOVALORES, E PERCENTAGEM DA VARIÂNCIA EXPLICADA, PARA OS NUTRIENTES DAS FRAÇÕES DE *T. guianensis* DO EXPERIMENTO REALIZADO EM HIDROPONIA

FOLHA				
Fatores	Autovalores	Total da variância explicada (%)	Autovalores acumulados	Total da variância acumulada (%)
1	6,096	55,42	6,096	55,42
2	2,449	22,26	8,545	77,68
3	1,069	9,71	9,614	87,40
CAULE				
Fatores	Autovalores	Total da variância explicada (%)	Autovalores acumulados	Total da variância acumulada (%)
1	4,804	43,67	4,804	43,67
2	3,095	28,14	7,899	71,81
3	1,103	10,02	9,002	81,84
RAIZ				
Fatores	Autovalores	Total da variância explicada (%)	Autovalores acumulados	Total da variância acumulada (%)
1	4,732	43,02	4,732	43,02
2	3,184	28,95	7,916	71,97
3	1,478	13,44	9,395	85,41

A figura 38 possibilita a visualização dos agrupamentos dos nutrientes nos fatores, tendo como eixos o fator 1 e 2.

Na fração raiz, foram agrupados Fe, Zn e Cu, que não obtiveram índices significativos nem com os parâmetros de crescimento das plantas (anexo 41, p. 254), e nem com as espécies de Al na solução nutritiva (anexo 42, p.255). Este fator caracteriza-se pela alta variabilidade dos resultados obtidos tanto nas amostras como em relação a presença do Al.

N, K, Ca, Mg e Al foram agrupados em um outro fator, representando os nutrientes que foram absorvidos em maiores quantidades, o que era de se esperar para os macronutrientes. Estes obtiveram índices de correlação significativos com os níveis das diferentes espécies de Al na solução nutritiva e com os parâmetros de crescimento da planta. O Al é exceção, não correlacionou-se com os teores das espécies de Al na solução nutritiva, e, embora tenha índices significativos com os parâmetros biométricos da planta estes foram menores. Isto ocorreu devido ao grande acúmulo de Al ocorrido na raiz, já a partir do primeiro tratamento com Al, em uma razão muito maior que os demais elementos.



TABELA 16 – PESOS FATORIAIS ROTACIONADOS, COMUNALIDADES E VARIÂNCIA ESPECÍFICA DO CONTEÚDO DE NUTRIENTES DAS FRAÇÕES DE *T. guianensis* NO EXPERIMENTO REALIZADO EM HIDROPONIA

FOLHAS					
	Pesos fatoriais rotacionados			Comunalidades	Variância específica
	Fator 1	Fator 2	Fator 3		
Tratamentos	0,294	<b>0,898</b>	-0,181	0,926	0,074
N	<b>0,876</b>	0,286	0,339	0,964	0,036
P	0,142	<b>-0,917</b>	-0,125	0,876	0,124
K	<b>0,864</b>	0,107	0,372	0,897	0,103
Ca	<b>0,895</b>	0,079	0,335	0,920	0,080
Mg	<b>0,933</b>	0,099	0,220	0,928	0,072
Fe	0,579	-0,043	<b>0,662</b>	0,775	0,225
Mn	0,396	-0,412	<b>0,685</b>	0,795	0,205
Cu	0,296	0,334	<b>0,791</b>	0,825	0,175
Zn	0,269	0,045	<b>0,914</b>	0,910	0,090
Al	0,458	<b>0,744</b>	0,189	0,799	0,201

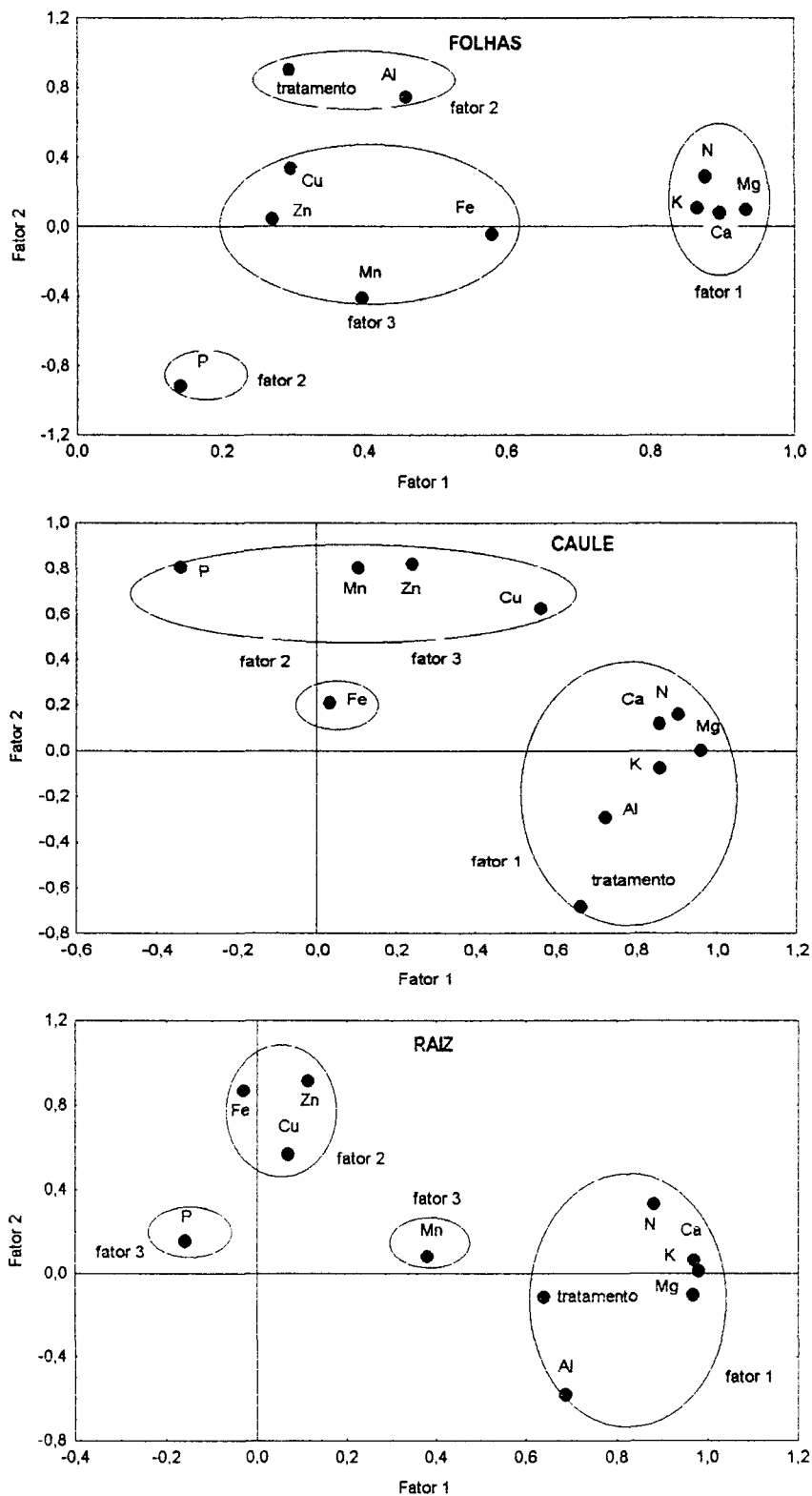
  

CAULE					
	Pesos fatoriais rotacionados			Comunalidades	Variância específica
	Fator 1	Fator 2	Fator 3		
Tratamentos	<b>0,665</b>	<b>-0,680</b>	-0,070	0,908	0,092
N	<b>0,905</b>	0,161	-0,179	0,876	0,124
P	-0,341	<b>0,807</b>	-0,231	0,822	0,178
K	<b>0,859</b>	-0,076	0,305	0,836	0,164
Ca	<b>0,858</b>	0,122	0,029	0,751	0,249
Mg	<b>0,961</b>	0,002	0,094	0,933	0,067
Fe	0,032	0,212	<b>0,833</b>	0,740	0,260
Mn	0,104	<b>0,803</b>	0,341	0,773	0,227
Cu	0,563	<b>0,626</b>	-0,080	0,715	0,285
Zn	0,240	<b>0,821</b>	0,384	0,879	0,121
Al	<b>0,723</b>	-0,291	0,399	0,768	0,232

RAIZ					
	Pesos fatoriais rotacionados			Comunalidades	Variância específica
	Fator 1	Fator 2	Fator 3		
Tratamentos	<b>0,640</b>	-0,113	<b>-0,696</b>	0,906	0,094
N	<b>0,881</b>	0,334	0,141	0,907	0,093
P	-0,158	0,158	<b>0,881</b>	0,826	0,174
K	<b>0,979</b>	0,012	0,033	0,959	0,041
Ca	<b>0,970</b>	0,063	-0,004	0,946	0,054
Mg	<b>0,968</b>	-0,105	-0,039	0,949	0,051
Fe	-0,031	<b>0,870</b>	0,108	0,769	0,231
Mn	0,380	0,082	<b>0,844</b>	0,863	0,137
Cu	0,069	0,569	0,467	0,547	0,453
Zn	0,113	<b>0,916</b>	0,029	0,852	0,148
Al	<b>0,687</b>	-0,582	-0,246	0,872	0,128

FIGURA 38 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS PESOS FATORIAIS DO CONTEÚDO DE NUTRIENTES DAS FRAÇÕES DE *T. guianensis*, DO EXPERIMENTO REALIZADO EM HIDROPONIA



O acúmulo de Al na raiz se deu somente na região da epiderme (figura 34), quando este é absorvido, provavelmente o é em quantidades bem menores. Deve existir algum mecanismo que permite a acumulação do Al nesta região da raiz, diminuindo seu efeito tóxico, que caracteriza as plantas que excluem o Al (ver seção 2.5.2). Dentre os diversos mecanismos existentes, ao que tudo indica, um deles deve estar relacionado a produção de substâncias orgânicas na raiz, fato que não permite que este penetre na região do córtex.

O P e Mn participaram de um outro fator, pela tendência que apresentam em diminuir as quantidades absorvidas. Embora significativos, os índices de correlação foram baixos com o Al na solução (anexo 42, p. 255), além de não correlacionarem-se com os parâmetros de crescimento da planta (anexo 41, p. 254).

Da mesma forma, na fração caule, os macronutrientes (N, K, Ca, Mg) e Al, foram agrupados no fator 1, representando os elementos que foram absorvidos em maiores quantidades. Estes apresentaram índices significativos com os teores das diferentes espécies de Al na solução (anexo 42), e com os parâmetros de crescimento da planta (anexo 41).

O fator 2 agrupou, P, Mn, Cu e Zn. Nenhum destes elementos correlacionam-se com os teores das diferentes espécies de Al na solução, com exceção do Cu, que apresentou índices bastante altos. Em relação a correlação com os parâmetros de crescimento, somente a diminuição das quantidades de P no caule, apresentou índices significativos.

O Fe no caule, não participa de nenhum grupamento, permanecendo isolado, não correlacionando-se com nenhum dos outros elementos.

Na fração folhas, P e Al, formaram um grupo independente (fator 2). Ambos apresentaram os índices de correlação mais altos com as diferentes espécies de Al (anexo 42), correlacionando-se também, com os parâmetros de avaliação do crescimento da planta (anexo 41). Estes ficaram agrupados pelas modificações mais acentuadas em relação aos tratamentos. O P foi o único nutriente que tanto em termos de teores quanto de conteúdo diminuiu seus valores perante os tratamentos.

Da mesma forma que na raiz e no caule, as quantidades de N, Ca, Mg e K, reuniram-se no fator 1, todos com tendência de aumento nas quantidades absorvidas. Estes, apresentaram coeficientes de correlação bastante altos entre si, o mesmo ocorrendo em relação aos parâmetros de crescimento da planta (tab. 51). Os índices de correlação destes com as diferentes formas de Al foram maiores e significativas com o "Al orgânico" (anexo 42).

Os micronutrientes compõem o fator 3, e não correlacionaram-se com as diferentes formas de Al da solução nutritiva e nem com os parâmetros de crescimento.

Os resultados obtidos em relação à toxidez ou tolerância ao Al em solução nutritiva, muitas vezes não são correlatos aos realizados em solos ácidos. Os fatores de estresse no solo variam de um lugar para outro e mesmo de acordo com a profundidade do solo. Além disto, os diferentes mecanismos de exclusão são relacionados a mudanças no interface solo/raiz (MARSCHNER, 1991).

Outro aspecto que é influenciado pela utilização de solução hidropônica ou solo no cultivo das plantas é a razão de absorção entre formas amoniacal e nítrica de N, com comportamentos muito diferentes nesses dois meios (KELTJENS, 1997).

Ao comparar-se os teores dos nutrientes nas plantas testemunha entre as plantas cultivadas em hidroponia e no solo, observa-se valores maiores para todas as frações (raiz, caule e folhas) no experimento realizado em hidroponia. Ocorreu uma exceção em relação aos teores de Cu, maiores na floresta nas frações caule e folhas, mas foram drasticamente menores na raiz.

No experimento com hidroponia, as plantas apresentaram um desenvolvimento e estado nutricional melhor, que as plantas cultivada na floresta. Tal resultado em parte poderia ser explicado pela capacidade que a planta teve em exsudar substâncias orgânicas na solução nutritiva. Esta reação possivelmente ocorreu também no experimento de campo, em virtude das modificações dos parâmetros químicos do solo na rizosfera.

Outro aspecto está relacionado à incidência de luz nos dois ambientes. Como salientado anteriormente, na floresta a incidência de luz não é homogênea, com a presença de luz direta em pequenas manchas em cerca de 20 a 25 % da área, com luminosidade variando de 20.000 a 50.000 lux, ou, intensidade luminosa relativa de 20 a 50 %, e, no restante da área, onde não havia estas manchas, a intensidade luminosa variou de 1.000 a 5.000 lux, representando uma intensidade luminosa relativa de 1 a 5 %.

Nas medidas feitas na casa de vegetação, a intensidade luminosa medida a pleno sol foi de 130.000 lux e no interior da casa de vegetação em média era de 20.000 lux, ou seja, uma luminosidade relativa de 15, 4 %, no mínimo 3 vezes maior que a luminosidade na floresta. Embora esta espécie na fase jovem suporte baixa luminosidade, na fase adulta ela é heliófila. A maior luminosidade da casa de

vegetação mesmo sem alcançar os índices de luminosidade a plena sol, pode ter influenciado no melhor desenvolvimento das plantas nesta condição.

Segundo MARSCHNER (1991), nas raízes onde o pH da rizosfera é baixo, os teores de Ca e Mg na raiz também são baixos, limitando a fixação destes no apoplasto e sua posterior absorção. Este aspecto não é considerado na maior parte dos estudos com solução nutritiva, que possuem relativamente altas concentrações destes elementos, havendo oferta suficiente para a planta.

O acúmulo de Al na raiz foi muito maior no experimento em hidroponia, daquele que teve o solo como substrato, na floresta. O que salienta a importância dos processos ocorridos na rizosfera, em termos de excluir o Al da raiz. Mas mesmo com as altas concentrações de Al na raiz, este ficou acumulado na epiderme não penetrando nas estruturas internas da mesma (figura 34).

Os teores de Al nas demais partes da planta apresentaram comportamento similar no experimento do campo e em hidropônia, o que implica em resultado similar em termos de proteção contra a toxidez do Al.

Provavelmente o melhor desenvolvimento da planta na solução hidropônica, ocorra em função da maior disponibilidade de nutrientes e luz em relação ao experimento de campo.

#### 4.4 EXPERIMENTOS COM *Faramea marginata*.

##### 4.4.1 Testes de germinação

Em virtude da falta de conhecimento de aspectos silviculturais desta espécie, para implantar-se os experimentos de campo e da casa de vegetação, foram realizados alguns testes de germinação. Estes foram iniciados em 01/07/97 e 06/08/97, e apresentaram percentagens de germinação finais de 40,9 e 61,2, respectivamente. A figura 39 ilustra as tendências nas taxas de germinação durante o período do experimento. No primeiro experimento, as sementes iniciaram sua germinação após aproximadamente 1 mês de sua implantação, com a curva estabilizando-se após 2 meses. No segundo experimento, a germinação iniciou-se após 20 dias, com a estabilização da curva após 1 mês.

Em um terceiro experimento, iniciado em 13/05/99, foram aplicados os seguintes tratamentos; testemunha, 0,25 mmol L<sup>-1</sup> e 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de Al e 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de Al + Si. Não ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos à 5 % de probabilidade na análise de variância (anexo 43, p. 256). No anexo 44 (p. 256), constam as médias de sementes germinadas e percentagens de germinação, para os diferentes tratamentos, decorridos 82 dias do início do experimento. A germinação das sementes iniciou-se após 13 dias do início do experimento, estabilizando-se já no primeiro mês.

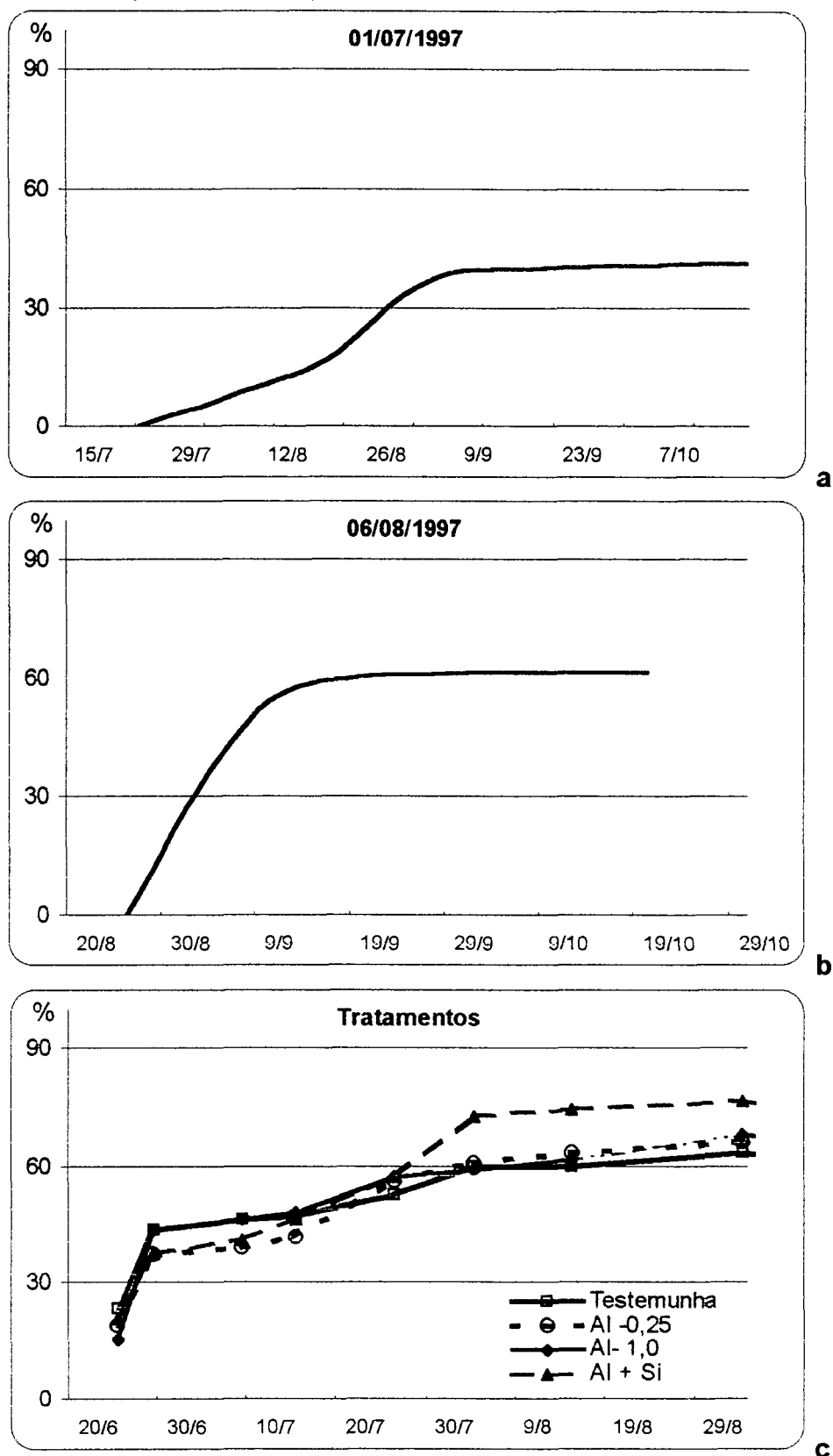
Ocorreu uma grande variabilidade em termos de tempo de início de germinação nos três experimentos, de 15 dias a quase dois meses, embora tenham sido realizados nas mesmas condições. Nos plantios realizados em campo, a germinação iniciou-se apenas após 6 meses, no período mais quente do ano, indicando que possivelmente um dos parâmetros responsáveis pela quebra de dormência tenha sido a temperatura. Este mesmo padrão repetiu-se no ano seguinte em observação da regeneração natural na floresta.

Os teores de Al e Si não influenciaram na germinação desta espécie nos experimentos realizados na câmara de germinação. Estes resultados apresentam-se coerentes com NOSKO et al. (1988), que não encontraram efeitos significativos em tratamentos com Al na germinação de *Picea abies*. As mesmas respostas foram obtidas pelo Dr. Toshihiro Watanabe<sup>3</sup> (comunicação pessoal), com uma espécie acumuladora de Al, *Melastoma malabathricum*.

---

<sup>3</sup> Pesquisador da Faculdade de Agricultura da Universidade de Hokkaido, Japão.

FIGURA 39- CURVAS DE PORCENTAGEM DE GERMINAÇÃO: a- EXPERIMENTO INICIADO EM 01/07/1997; b- EXPERIMENTO INICIADO EM 06/08/1997 c- TRATAMENTOS COM AL (0,25 E 1,00 mmol L<sup>-1</sup>) E SI + AL (1,00 mmol L<sup>-1</sup>).



#### 4.4.2 Experimentos no Campo e na Casa de Vegetação

Várias tentativas foram realizadas com experimentos visando a aplicação de diferentes níveis de Al em *Faramea marginata*. O experimento na floresta foi realizado ao lado do experimento com *Tapirira guianensis*, sendo conduzido da mesma maneira.

As plantas apresentaram um bom desenvolvimento sem sinais de deficiências, e com índices de mortalidade muito baixos (figura 40). O crescimento foi menor se comparado a *T. guianensis*, devido às características próprias da espécie (figura 41). O experimento não pôde ser concluído, devido ao ataque de formigas, 1 mês antes do seu término, com mortalidade de aproximadamente 90 % das plantas. Esse ataque ocorreu somente com as plantas de *F. marginata*. As plantas *T. guianensis* não foram afetadas.

Os indivíduos que restaram e que não haviam recebido Al, tiveram avaliadas a % de colonização por micorrizas. Obteve-se uma média na percentagem de colonização por micorrizas na raiz de 35 %, um pouco acima do obtido para *T. guianensis* (29 %).

Os experimentos na casa de vegetação foram conduzidos da mesma forma que para *T. guianensis*. As plântulas germinadas na câmara de germinação, no experimento com o rizotrom, foram plantadas diretamente no solo (figura 42). No experimento com hidroponia as plantas passaram por um período de desenvolvimento no solo (solo da própria floresta), já que ao se cultivar diretamente na solução nutritiva, o índice de mortalidade foi elevado. As plantas desta espécie eram pequenas e com crescimento lento (figura 43).

Em ambos os experimentos (hidroponia e rizotrom) na casa de vegetação, as plantas inicialmente tiveram um bom desenvolvimento. A partir de aproximadamente 1 ano no rizotrom e 6 meses no meio hidropônico, as plantas apresentaram sinais de clorose, sendo também atacadas por ácaros (principalmente as plantas do rizotrom), resultando em uma mortalidade elevada (figura 44).

Os indivíduos sobreviventes foram submetidos a avaliação dos teores de Al e Si na raiz e nas folhas, e a estudos anatômicos.

Na tabela 17, constam os resultados da avaliação do Al e Si, de plantas no experimento com hidroponia, em plantas cultivadas no rizotrom com adição de



100mg de Al/ kg de solo, e sem adição de Al, e plântulas coletadas no experimento do interior da floresta, sem adição de Al.

Na floresta, as plântulas apresentaram teores de Al equivalentes tanto na raiz como nas folhas, já o Si foi maior na raiz. Nas folhas a relação Al/Si foi de 2:1.

No rizotrom, os teores de Al foram maiores na raiz do que na parte aérea. Destaca-se o grande acúmulo de Al na raiz, onde foi feita a aplicação deste elemento, em relação às plantas que não receberam este tratamento. Os teores de Si foram maiores que os teores de Al nas folhas.

Em meio hidropônico, a aplicação de Al aumentou os teores de Al nas folhas em todos os tratamentos. Já na raiz, o aumento foi maior nos tratamentos só com Al, nos dois tratamentos em que os teores na solução foram maiores (1 e 2 mmol L<sup>-1</sup>). Quando aplicou-se o Al junto com o Si, diminuiu o teor de Al na raiz. Nos tratamentos onde houve a aplicação de Si, os teores nas folhas deste elemento diminuíram e aumentaram na raiz.

FIGURA 40 - PLÂNTULAS DE *F. marginata* NO EXPERIMENTO REALIZADO NA FLORESTA



FIGURA 41 - PLÂNTULAS DE *F. marginata* AO LADO DE *T. guianensis* NO EXPERIMENTO REALIZADO NA FLORESTA



FIGURA 42- PLÂNTULAS DE *F. marginata* no rizotrom, COM MORTE E INICIO DE CLOROSE EM ALGUMAS PLANTAS.



FIGURA 43 - PLÂNTULAS DE *F. marginata* NO EXPERIMENTO EM HIDROPONIA.FIGURA 44- PLÂNTULAS DE *F. marginata*, APRESENTANDO CLOROSE NO EXPERIMENTO REALIZADO EM HIDROPONIATABELA 17 – TEORES DE Al E Si, DE PLÂNTULAS DE *F. marginata*, SUBMETIDAS A DIVERSOS TRATAMENTOS DE Si E Al EM HIDROPONIA, DA TESTEMUNHA DO EXPERIMENTO NA FLORESTA E NO RIZOTROM, E SUBMETIDA A 100 mg.kg<sup>-1</sup> DE Al NO SOLO NO RIZOTROM

Tratamentos	Al (ug/g)		Si (ug/g)	
	Folhas	Raízes	Folhas	Raízes
Testemunha	2561	3021	2343	2018
Al-0,5 (mmol L <sup>-1</sup> )	9680	3145	3321	3648
Al-1,0 (mmol L <sup>-1</sup> )	8157	16780	4399	1645
Al-2,0 (mmol L <sup>-1</sup> )	9862	16666	3112	3470
Si-1,0 (mmol L <sup>-1</sup> )	2490	3782	2848	5660
Al+Si-1,0 (mmol L <sup>-1</sup> )	8027	3835	1644	9958
Floresta	7775	7555	3478	6018
Rizotrom sem Al	1264	6722	3271	2356
Rizotrom com Al	1955	21012	4554	3642

## 4.4.3 Análise Foliar

Folhas de *Faramea marginata*, coletadas de árvores adultas na floresta, foram analisadas no intuito de fornecer indicativos de que forma o Al acumulado nas folhas poderia estar complexado, neutralizando seu efeito tóxico. O resultado das análises estão sumariados na tabela 18. Os altos teores de Al e Si encontrados apresentam uma relação entre Al/Si de aproximadamente 2.

Na amostra extraída com etanol não detectou-se Al e Si nas medições feitas por absorção atômica, no pH não ajustado e a pH 1.

Na extração realizada com água, foi obtido aproximadamente 90 % do Al total das folhas na amostra ajustada a pH 1, 48 % a pH 4 e 16% a pH 12. O Al monomérico representou 73 % do Al total na amostra ajustado a pH 1 e menos que 7% nas demais amostras.

Na extração realizada com água acidificada até pH 1, extraiu-se aproximadamente 37 % do Si total. Nas demais amostras foi extraído menos de 3 %.

As concentrações dos ácidos orgânicos medidos foi bastante baixa. A amostra ajustada ao pH 1 também mostrou as maiores concentrações.

TABELA 18- ANÁLISES DAS FOLHAS DE *Faramea marginata*.

	Al total (abs. atom) (mg/kg)	Al Monom. (colorim.) (mg/kg)	Si total (abs. atom) (mg/kg)	Si total (colorim.) (mg/kg)	Citrato (mM/kg)	Oxalato (mM/kg)
<b>Amostra seca</b>						
Rep. 1	21.910		Traços	10.844		
Rep. 2	20.470		Traços	9.247		
Rep. 3	20.110		Traços	10.409		
Média	20.830			10.167		
<b>Extração com água (pH após a extração)</b>						
pH 1 (1.21)	18.844	15.307	3.680	3.769	52,31	61,05
pH 4 (4.92)	9.916	1.646	Traços	187	19,16	36,29
pH não ajustado (5.01)	8.188	1.503	Traços	106	15,57	20,29
pH 12 (9.5)	3.299	761	Traços	272	15,25	32,62
<b>Extração com etanol (pH após a extração)</b>						
pH 1 (1.2)	Traços		Traços			
pH não ajustado (10.3)	Traços		Traços			

Estes resultados indicam que, possivelmente, no caso de *F. marginata* não ocorra uma complexação do Al com substâncias orgânicas como ocorre com outras espécies acumuladoras; como no chá com a catequina, ácidos orgânicos e fenólicos

(NAGATA et al. 1992), ou com citrato no caso de *Hydrangea macrophylla* (MA et al. 1997); ou formando complexos de Al-oxalato como em *Melastoma malabatricum* (WATANABE et al. 1998); ou ainda, Al-F que é considerada a forma de como é transportado o Al para as folhas no chá (NAGATA et al. 1993).

*F. marginata*, além de acumular Al também é acumuladora de Si. A ocorrência de plantas superiores que acumulem Si é rara (ver seção 2.3.4.1). Na tabela 18 observa-se uma forte relação entre o Al total e Si total de aproximadamente 2/1.

Visando avaliar uma possível interação entre Al e Si nas folhas de *F. marginata*, foram coletadas folhas em 2 locais distintos (encosta do morro e planície litorânea). Os resultados da análise de nutrientes Al e Si, constam da tabela 19.

Os teores de Mg, P, Mn e Cu, foram significativamente maiores nas coletas de folhas realizadas nas florestas de encosta do que as da planície (anexo 45, p. 257).

Nas folhas coletadas no morro, o Ca aumentou seus teores das folhas novas para as folhas maduras, o mesmo ocorrendo com Fe, Al e Si nas amostras das duas áreas, todos a nível de significância de 5 % na análise de variância (anexo 46 e 47, p. 258 e 259). Os teores de K foram mais elevados nas amostras de folhas novas do que nas maduras, coletadas em ambos os locais.

Nas coletas realizadas na encosta, o maior índice de correlação ocorreu entre Al e Si. As correlações positivas foram entre Al e Si, e Ca e Mn (anexo 48, p. 260).

Dentre os nutrientes das folhas de *F. marginata* coletadas na planície litorânea (anexo 48), o Mg apresentou valores significativos positivos com P, Fe, Al e Si.. Correlações altamente significativas ocorreram entre Zn e K e Al e Si.

Reunindo as variáveis relacionadas nas folhas coletadas na planície, através da análise fatorial, obtiveram-se 4 fatores que explicam 89,34 % da variância total (tabela 20). Nas coletas realizadas na encosta as variáveis também foram reunidas em 4 fatores representando 82,43 % da variância total.

Na tabela 21, constam os pesos de cada fator, após a rotação varimax normalizada, as comunalidades e a variância específica dos nutrientes nas folhas, caule e raiz.

TABELA 19 – TEORES MÉDIO DE NUTRIENTES AL E SI EM FOLHAS DE *F. marginata* EM DIFERENTES GRAUS DE DESENVOLVIMENTO, COLETADAS NAS FLORESTAS PLANÍCIE LITORÂNEA E DE ENCOSTA NA ILHA DO MEL

PLANÍCIE LITORÂNEA						
	Madura		Média		Nova	
	Média	des. pad.	Média	des. pad.	Média	des. pad.
Ca	7,17	1,92	7,21	1,47	7,10	1,32
Mg	6,47	0,75	5,85	0,57	5,87	0,32
K	4,33	1,08	4,56	0,25	7,04	1,92
P	1,182	0,264	1,074	0,163	1,329	0,082
Zn	15,67	3,32	14,93	0,72	18,27	3,59
Mn	69,47	16,93	68,07	10,77	65,07	14,47
Fe	112,60	37,83	89,00	16,22	66,00	10,20
Cu	6,73	1,59	5,00	0,71	6,20	0,84
Al	20727	1019	18447	2870	17415	1054
Si	8926	1101	8327	1154	7092	404

ENCOSTA						
	Madura		Média		Nova	
	Média	des. pad.	Média	des. pad.	Média	des. pad.
Ca	9,32	0,33	7,94	0,85	7,05	0,73
Mg	4,58	1,12	4,72	0,83	4,26	0,33
K	4,59	1,14	6,68	1,55	8,01	1,90
P	1,292	0,154	1,299	0,176	1,428	0,099
Zn	13,73	3,03	15,00	4,00	16,80	6,50
Mn	121,93	35,03	87,40	31,21	80,00	21,32
Fe	122,33	20,87	114,00	39,75	88,33	54,70
Cu	11,20	0,84	12,20	2,49	10,13	2,18
Al	20352	2464	16235	2391	15695	1834
Si	11461	1869	7197	512	7866	787

TABELA 20 – FATORES, AUTOVALORES, E PERCENTAGEM DA VARIÂNCIA EXPLICADA, PARA OS TEORES DAS FOLHAS DE *F. marginata*

PLANÍCIE LITORÂNEA				
Fatores	Autovalores	Total da variância explicada (%)	Autovalores acumulados	Total da variância acumulada (%)
1	4,196	41,964	4,196	41,964
2	2,655	26,548	6,851	68,512
3	1,262	12,615	8,113	81,127
4	0,821	8,211	8,934	89,338

ENCOSTA				
Fatores	Autovalores	Total da variância explicada (%)	Autovalores acumulados	Total da variância acumulada (%)
1	4,191	41,914	4,191	41,914
2	1,840	18,402	6,032	60,316
3	1,384	13,836	7,415	74,152
4	0,828	8,280	8,243	82,432

TABELA 21 – PESOS FATORIAIS ROTACIONADOS, COMUNALIDADES E VARIÂNCIA ESPECÍFICA DOS NUTRIENTES NAS FOLHAS DE *Faramea marginata*, COLETADAS NA PLANÍCIE LITORÂNEA E NA ENCOSTA.

PLANÍCIE LITORÂNEA						
	Pesos fatoriais rotacionados				Comunalidades	Variância Específica
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4		
Ca	0,034	-0,003	<b>0,878</b>	-0,002	0,773	0,239
Mg	0,395	<b>0,749</b>	0,425	0,144	0,918	0,089
K	<b>0,708</b>	-0,321	-0,536	0,179	0,924	0,119
P	<b>0,912</b>	0,259	0,107	0,173	0,940	0,140
Zn	<b>0,601</b>	-0,111	-0,568	0,453	0,902	0,100
Mn	0,006	0,178	<b>0,890</b>	-0,338	0,938	0,099
Fe	-0,348	0,356	<b>0,759</b>	0,155	0,849	0,280
Cu	0,234	0,071	-0,085	<b>0,945</b>	0,960	0,519
Al	0,048	<b>0,903</b>	0,206	-0,086	0,868	0,163
Si	-0,110	<b>0,918</b>	-0,041	0,070	0,862	0,138

ENCOSTA						
	Pesos fatoriais rotacionados				Comunalidades	Variância Específica
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4		
Ca	<b>0,740</b>	-0,133	0,209	0,395	0,765	0,235
Mg	0,115	0,320	<b>0,857</b>	0,147	0,871	0,129
K	<b>-0,779</b>	0,053	-0,344	-0,056	0,731	0,269
P	-0,026	<b>0,922</b>	0,041	-0,165	0,880	0,120
Zn	-0,359	0,100	<b>-0,752</b>	-0,079	0,711	0,289
Mn	<b>0,675</b>	0,369	0,054	0,014	0,595	0,405
Fe	0,116	-0,149	0,133	<b>0,955</b>	0,966	0,034
Cu	-0,016	-0,585	<b>0,747</b>	0,050	0,904	0,096
Al	<b>0,882</b>	0,068	0,354	0,131	0,925	0,075
Si	<b>0,930</b>	-0,124	-0,122	-0,037	0,896	0,104

Nas folhas coletadas na planície, foram agrupados no fator 1, os elementos: K, P e Zn; no fator 2, Mg, Al e Si; no fator 3; Ca Mn e Fe e; no fator 4 o Cu.

Nas folhas coletadas na encosta, no fator 1, foram relacionados o Ca, K, Mn, Al e Si; no fator 3, Mg, Zn e Cu, no fator 2, P, e no fator 4, Fe.

Os teores maiores de Mg, P, Mn e Cu, nas amostras de folhas coletadas nas florestas de encosta, provavelmente estão relacionados ao tipo de solo. No morro, ocorrem solos Litólicos, Cambissolos, Cambissolos Gleicos e Podzólico Vermelho Amarelo latossólico (SEMA, 1996), já na planície, ocorrem os podzóis (BRITTEZ et al. 1997). Estes dois tipos de solo apresentam características bem distintas tanto químicas quanto granulométricas. No morro, o material de origem está associado ao complexo gnáissico-migmatito, proporcionando um solo de natureza argilosa, já nas planícies, o material de origem é função de deposição arenosa, com predomínio da fração areia.

MORAIS (1993), estudando a ciclagem de nutrientes, em duas formações na Ilha do Cardoso, bastante similares às áreas aqui analisadas, encontraram níveis bem mais elevados de P, Mn, e Cu, nas folhas da serapilheira da floresta de encosta em relação à da restinga, atribuindo às características do solo.

O mesmo ocorreu em relação ao Ca somente nas folhas maduras, ou seja a medida que as folhas envelhecem há o acúmulo deste elemento, em função de sua baixa mobilidade. Na planície isto não ocorreu, provavelmente relacionado a menor disponibilidade deste elemento no solo (anexo 1, p. 194).

Os teores de K foram maiores nas folhas mais novas. Este elemento que é bastante móvel na planta é encontrado em grandes quantidades no floema, supre preferencialmente as folhas novas, tecidos meristemáticos e polpa de frutos (MENGEL & KIRKBY, 1987)

O aumento do Al nas folhas mais velhas também foi observado em mudas de outras plantas acumuladoras de Al, indicando uma absorção rápida deste elemento (WATANABE et al. 1997). Já o chá (*Camellia sinensis*), acumula mais de 30.000 mg/kg nas folhas maduras, e nas folhas novas apresentam conteúdos menores que 1000 mg/Kg, sugerindo um processo lento de acumulação (MATSUMOTO et al. 1976).

O teor de Al nas folhas da planície, apresentou relações altas com o Si, Mg e Cu, onde foram agrupados no mesmo fator na análise fatorial. Já no material coletado no solo argiloso (mais fértil), as relações foram com Si, Mg, Ca e K.



Portanto, nos dois tipos de solo o Al, correlacionou-se com Si e Mg. WATANABE et al. (1997), sugeriu para uma planta acumuladora de Al, uma possível relação do Al em processos fotossintéticos, o que poderia explicar a relação encontrada com o Mg.

A ocorrência de espécies acumuladoras no subosque florestal como o constatado por JAYASEKERA (1992) em floresta tropical úmida, e BRITTEZ et al. (1997), na Ilha do Mel, colabora com esta hipótese, visto que nesta situação em baixa condição de radiação, o processo fotossintético é alterado, existindo a possibilidade de que o Al participe do mesmo.

A maior relação ocorreu entre Al e Si, onde *Faramea marginata* é acumuladora destes elementos, mantendo uma relação de 2:1 entre estes elementos. A colocação destes na folha pode ser observada na análise no raio x fluorescente (figura 45).

HODSON & EVANS (1995), avaliaram alguns dados da literatura em relação a absorção e transporte de Al e Si de várias espécies de plantas, agrupando-as em 4 situações: Al acumuladoras (dicotiledôneas arborescentes) com baixos níveis de absorção de Si; Si acumuladoras (gramíneas de terras secas e úmidas), sem a acumulação de grandes quantidades de Al; as espécies que tem moderada quantidade destes dois elementos (Gimnosperma e algumas dicotiledôneas arborescentes), e finalmente as que excluem ambos os elementos (dicotiledôneas herbáceas). *F. marginata* não enquadra-se em nenhuma destas situações. O acúmulo de Si em dicotiledôneas não é comum (JONES & HANDRECK, 1967; HODSON & EVANS, 1995; EPSTEIN, 1999).

A literatura tem relatado vários mecanismos de desintoxicação do Al pelo Si (ver seção 2.3.4.1). HODSON & EVANS (1995), sugerem a co-deposição de Al/Si nas gimnospermas, permitindo que o Al seja transportado e co-precipitado na parte aérea, desta forma, representando um mecanismo de desintoxicação interna do Al.

Assim como o Al a deposição de Si, também ocorre freqüentemente no apoplasto, algumas vezes no lúmem da célula e no final do curso do xilema nas células epidérmicas da folha (HODSON & EVANS, 1995), portanto, ambos os elementos podem acumular-se no apoplasto.

COCKER et al. (1998), sugerem como mecanismo de amenização da toxidez do Al, a co-deposição de Al e Si na parede celular. Estes autores sugerem que a parede celular da raiz é um local onde encontram-se aluminiosilicatos e/ou hidroxialuminiosilicatos. Os fatores que promoveriam a formação destas

substâncias neste compartimento incluem: alto pH do apoplasto; presença de substâncias orgânicas e de um local apropriado em termos de concentração de formas reativas de Al e Si.

#### 4.4.4 Localização do Al

A grande quantidade de Al encontrada nas folhas de plantas acumuladoras, facilitam a localização deste elemento nas estruturas da folha. Procurando avaliar em que locais da estrutura interna das folhas de *F. marginata* localiza-se o Al, foram realizados estudos anatômicos através da coloração deste elemento.

O corante utilizado foi o pirocatecol violeta (PCV), que ao ligar-se com o Al resulta em uma cor azul. Entretanto, PCV também liga-se com outros cations metálicos, como o Fe, Zn e Cu , mas a perturbação desses elementos pode ser ignorada, porque suas concentrações são muito menores se comparada com a do Al (OSAKI et al. 1995).

Foram utilizadas folhas maduras coletadas de árvores no ambiente natural desta espécie. As fotografias das seções da folha em diferentes aumentos podem ser vistas nas figuras 46, 47, 48 e 49.

Nos cortes transversais da nervura principal (figura 46), da superfície adaxial para a região central da folha, observa-se uma cutícula bem desenvolvida (apenas na nervura central), a epiderme não apresenta coloração azul quando em contato com a cutícula (figura 47). O apoplasto (espaço intercelular e parede celular) do parênquima medular apresenta coloração azul intensa, sendo o local de maior acúmulo de Al (figura 48). O mesmo ocorreu em menor intensidade nas células do parênquima clorofiliano. A região do colênquima e floema estão levemente coloridas. Nas áreas lignificadas não ocorreu a presença do Al no nível de detecção do método.

No limbo foliar (figura 49) a cutícula é um pouco menos desenvolvida e a epiderme apresenta-se colorida na região do apoplasto, o mesmo ocorrendo nas demais estruturas da folha, parênquima paliçádico e lacunoso.

Nas folhas coletadas de plantas adultas na floresta, o Al está localizado em sua maior parte nos espaços e paredes intercelulares, não penetrando nas células. O método utilizado detecta apenas a região onde ocorre acúmulo, visto que sua sensibilidade é baixa.

Observa-se que pela grande quantidade de Al acumulado nas folhas quase todas as estruturas foram coloridas, com exceção das mais lignificadas como o esclerenquima e o xilema, e também, a epiderme em contato com a cutícula, somente na nervura central. Nesta região a cutícula é bem mais desenvolvida que no restante da folha, penetrando nas paredes anticlinais, apresentando desenvolvimento de fungos em sua superfície (figura 47).

A parte cutinizada da folha caracteriza-se por uma estrutura complicada com um arcabouço de celulose e substâncias pécticas, cutina, ceras e outros componentes. De forma geral é impermeável, podendo ter áreas permeáveis, quando da expansão da parede epidérmica (ESAU, 1974). Provavelmente as substâncias que formam esta estrutura não permitem que o Al se acumule na parede celular.

O acúmulo de Al na epiderme é comum em plantas acumuladoras, como no caso do chá (MATSUMOTO et al. 1976), em 10 espécies acumuladoras da vegetação de cerrado (HARIDASAN et al. 1986) e em *Melastoma malabathricum* (WATANABE et al, 1998). Em uma análise semiquantitativa, HARIDASAN et al. (1987), encontraram teores mais elevados de Al na epiderme superior da folha de várias espécies acumuladoras, em relação a outras estruturas da planta.

Em *F. marginata* todo o limbo foliar apresentou coloração azul intensa, a cutícula é um pouco menos desenvolvida e a epiderme apresenta-se colorida na região do apoplasto, o mesmo ocorrendo nas demais estruturas da folha, parênquima paliçádico e lacunoso. O mesmo resultado foi encontrado em *M. malabathricum* por (WATANABE et al. 1998).

Na região da nervura central apenas nas regiões lignificadas não ocorreu a presença do Al, a nível de detecção do método. HARIDASAN et al. (1986), encontraram acúmulo de Al em quase toda a estrutura foliar das 10 espécies analisadas, com exceção dos elementos de vaso, xilema e parênquima paliçádico.

Na face adaxial da nervura central, esta é dividida pelo parênquima clorofiliano, na porção mais próxima à epiderme, os espaços intercelulares são maiores e o acúmulo de Al é mais intenso. O mesmo ocorre na face abaxial, com a diferença de não existir o parênquima clorofiliano dividindo as duas porções, mas sim um conjunto de células mais alongadas.

FIGURA 45 - DISTRIBUIÇÃO DO Al E Si EM FOLHAS DE *F. marginata* COLETADAS DE ÁRVORES ADULTAS NA FLORESTA, ATRAVÉS DA ANÁLISE EM RAIOS X FLUORESCENTE

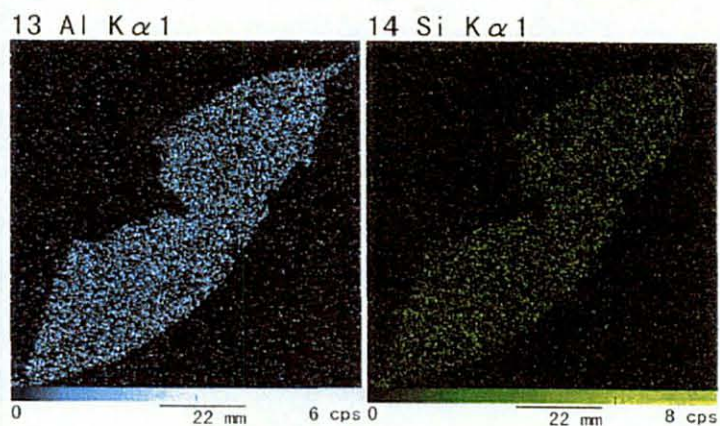


FIGURA 46 – CORTE TRANSVERSAL DA NERVURA CENTRAL DE FOLHAS MADURAS DE *F. marginata*, COLETADA DE INDIVÍDUOS ADULTOS NA FLORESTA. A COLORAÇÃO AZUL REPRESENTA OS LOCAIS DE ACÚMULO DE Al. AUMENTO DE 10X.

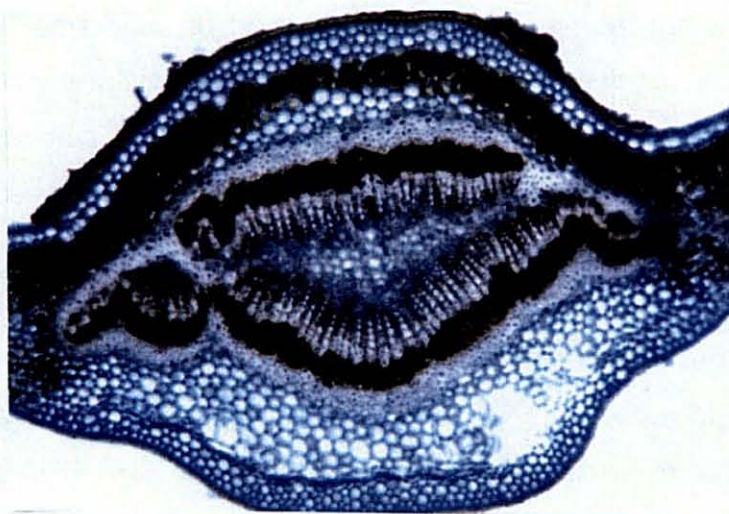


FIGURA 47 – CORTE TRANSVERSAL DA NERVURA CENTRAL FOCALIZANDO A FACE ADAXIAL DE FOLHAS MADURAS DE *F.marginata*. A COLORAÇÃO AZUL REPRESENTA OS LOCAIS DE ACÚMULO DE AI. AUMENTO DE 40X.

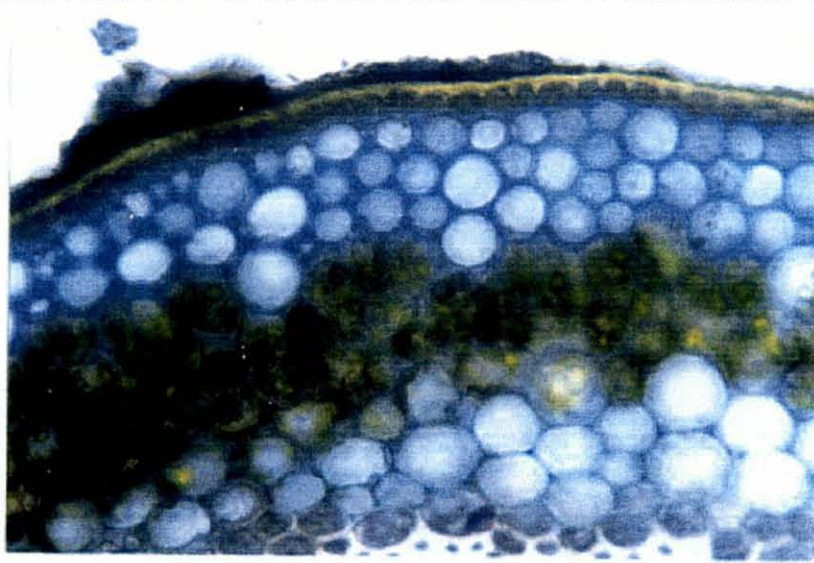


FIGURA 48 – CORTE TRANSVERSAL DA NERVURA CENTRAL FOCALIZANDO A FACE ABAXIAL DE FOLHAS MADURAS DE *F.marginata*, COLETADA DE INDIVÍDUOS ADULTOS NA FLORESTA. A COLORAÇÃO AZUL REPRESENTA OS LOCAIS DE ACÚMULO DE AI. AUMENTO DE 40X.

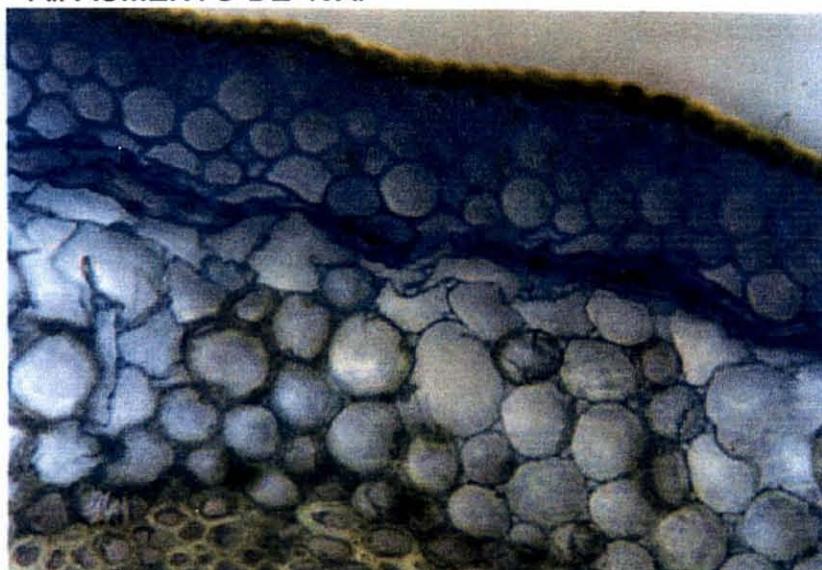
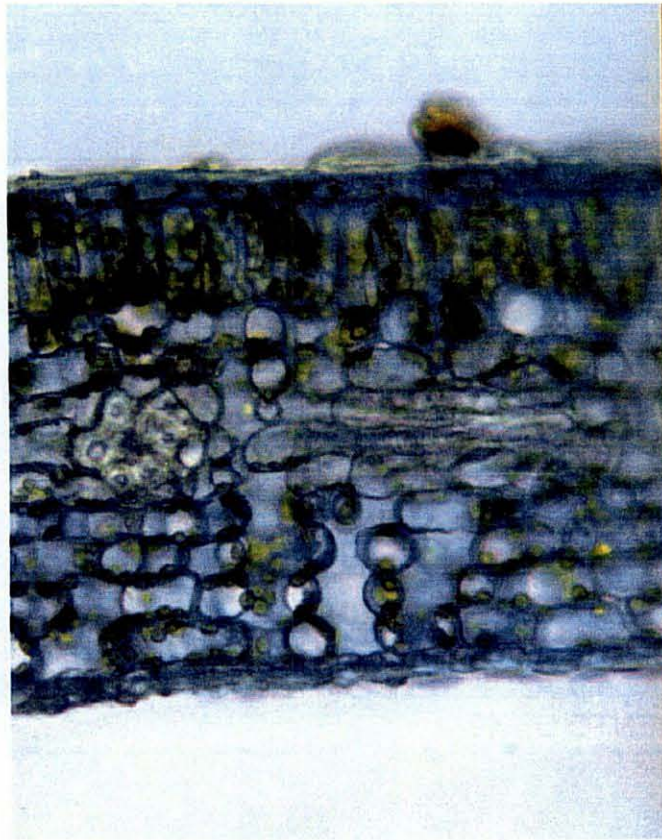


FIGURA 49 – CORTE TRANSVERSAL DO LIMBO DE FOLHAS MADURAS DE *F.marginata*, COLETADA DE INDIVÍDUOS ADULTOS NA FLORESTA. A COLORAÇÃO AZUL REPRESENTA OS LOCAIS DE ACÚMULO DE AL. AUMENTO DE 40X



Plântulas de *F. marginata*, cultivadas na casa de vegetação em solos da planície litorânea, sem adição de Al não apresentaram coloração azul na folha (figura 50). O mesmo ocorreu com as plantas nos tratamentos testemunha (figura 51) e com o Si na hidroponia. Entretanto, plântulas coletadas no campo apresentaram a coloração azul (figura 52), na nervura principal, principalmente na região mais próxima a epiderme no apoplasto do parênquima. Na epiderme a coloração foi menor. No limbo foliar o Al localizou-se na região da epiderme.

A coloração do Al nas plantas submetidas a tratamentos com Al e Si em hidroponia pode ser observado na figura 53. A coloração com Al se deu da mesma forma que as plantas coletados no campo, ou seja mais intensamente no parênquima.

As plantas submetidas ao tratamento com  $1\text{mmol L}^{-1}$  de Al, não encontravam-se em bom estado, com vários sintomas de deficiência nutricional, muitas delas já haviam morrido. Foram analisadas as folhas novas e as folhas mais velhas.

As folhas mais novas apresentaram coloração azul no interior das células do parênquima (Figura 54 a, b e c), mais do que no apoplasto. Observa-se também um acúmulo na região do colênquima. As folhas maduras apresentaram uma menor coloração no interior da célula, além de ter sido colorida a região intercelular (figura 55).

As plantas submetidas ao tratamento com  $2\text{mmol L}^{-1}$  de Al, tanto nas folhas novas quanto as mais velhas, apresentaram a coloração azul somente no apoplasto, ocorrendo algumas exceções onde pontos coloridos estavam no interior da célula (figura 56). No limbo da folha a coloração ocorreu somente nas células da epiderme (figura 57). Aparentemente as plantas utilizadas para esta análise eram mais saudáveis.

As plântulas coletadas no experimento no interior da floresta, apresentaram o mesmo padrão com uma coloração menos acentuada, já que os teores de Al eram bem menores. Só que neste caso a coloração não ocorreu em toda a folha, somente naquelas porções onde os espaços intercelulares eram maiores, ou seja, nas regiões mais próximas a epiderme nas duas faces da folha. A nervura central parece acumular as maiores quantidades de Al, já que no limbo apenas as células epidérmicas foram coloridas.

Provavelmente o acúmulo de Al nas folhas, durante o desenvolvimento da planta ocorre primeiramente nas porções mais próximas a epiderme, principalmente

na nervura central. Com o aumento das concentrações do Al nesta região, este vai gradativamente depositando-se nos espaços intercelulares em direção a porção central da folha.

A localização do Al nas folhas dos experimentos realizados com hidroponia, apresentaram o mesmo padrão. As plântulas também tinham teores de Al menores nas folhas. Teores abaixo de 3.000 mg/Kg, não apresentaram coloração, o que indica a baixa sensibilidade do método.

As plantas que se apresentavam debilitadas não conseguiram manter o Al no exterior da célula, principalmente as folhas mais novas. O Al não mais acumulou-se no apoplasto e sim nos vacúolos, ou mesmo incorporando-se a todo o interior da célula. Nas folhas mais velhas o Al apresentou uma coloração menos intensa no apoplasto, mas um pequeno acúmulo no interior da célula. As poucas plantas que sobreviveram ao tratamento com  $2\text{mmol L}^{-1}$ , aparentemente mais saudáveis, mantiveram o Al no exterior da célula, mas observa-se indícios de uma diminuição no apoplasto e a presença de acúmulo em alguns vacúolos no interior da célula.

No tratamento com o Al e Si, observou-se um azulado mais intenso na região do apoplasto, mas já apresentava indícios de Al no interior da célula. A presença do Si na solução nutritiva, não impediu a intensa mortalidade das plantas.

Nas folhas, o apoplasto é o local de maior acúmulo de Al, sendo também o sítio de acúmulo de Al na raiz de grande parte das plantas. Isto parece indicar que embora esta espécie permita a absorção do Al e seu transporte até a folha, o mecanismo de tolerância ao Al, está relacionado a processos que ocorrem nesta região.

Os baixos níveis de Al nas folhas das plantas no rizotron, tanto nos tratamentos com Al como na testemunha, podem indicar que houve competição com outros íons nos sítios de absorção do Al na raiz, em função da solução nutritiva adicionada ao solo. Nas plantas onde houve adição de Al, houve um alto acúmulo na raiz que não foi repassado para a parte aérea. A redução da atividade do Al pode ser causada pelo aumento das forças iônicas do meio, ou, pela adição de cations que podem causar um efeito fisiológico, como exemplo, interação com o Al em diferentes sítios de fixação. Atribui-se que a adição de Ca e Mg alivia a toxidez do Al através destes dois efeitos (KINRAIDE & PARKER, 1987).

A alta mortalidade das plantas tanto no solo como na hidroponia indica sua alta sensibilidade às condições ambientais. Por nascer e sobreviver no subosque da floresta, a espécie está sujeita a condições particulares em relação à sua



sobrevivência. A autoecologia desta espécie ainda não foi pesquisada tanto em termos de seu comportamento em seu ambiente natural, quanto em relação a experimentos de casa de vegetação.

FIGURA 50 – CORTE TRANSVERSAL DO LIMBO DA FOLHA DE PLÂNTULA DE *F. marginata*, CULTIVADA EM SOLO NO RIZOTROM, SEM ADIÇÃO DE AI E COLORIDA COM PCV. AUMENTO DE 40X.

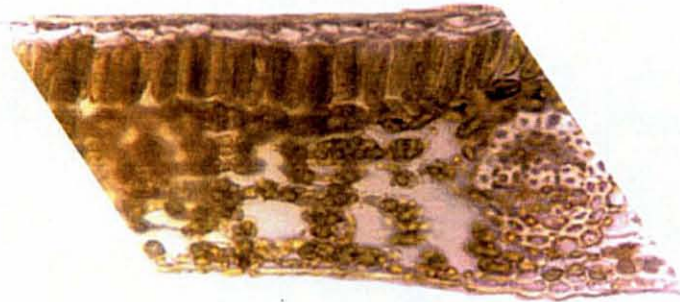


FIGURA 51 – CORTE TRANSVERSAL DA NERVURA DA FOLHA DE PLÂNTULA DE *F. marginata*, CULTIVADA EM SOLO NO RIZOTROM, COM ADIÇÃO DE 100 mg/kg DE AI E COLORIDA COM PCV. AUMENTO DE 10X.



FIGURA 52 – CORTE TRANSVERSAL DA NERVURA DA FOLHA DE PLÂNTULA DE *F. marginata*, COLETADAS NO CAMPO E COLORIDA COM PCV. AUMENTO DE 10 X.

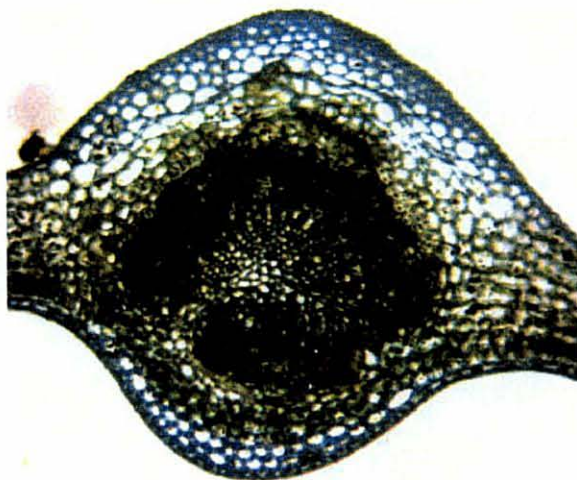


FIGURA 53 – DETALHE DO CORTE TRANSVERSAL DA REGIÃO DA NERVURA DA FOLHA DE *F. marginata*, NAS PLANTAS SUBMETIDAS A TRATAMENTOS COM Al E Si EM HIDROPONIA E COLORIDA COM PCV. AUMENTO DE 40 X.

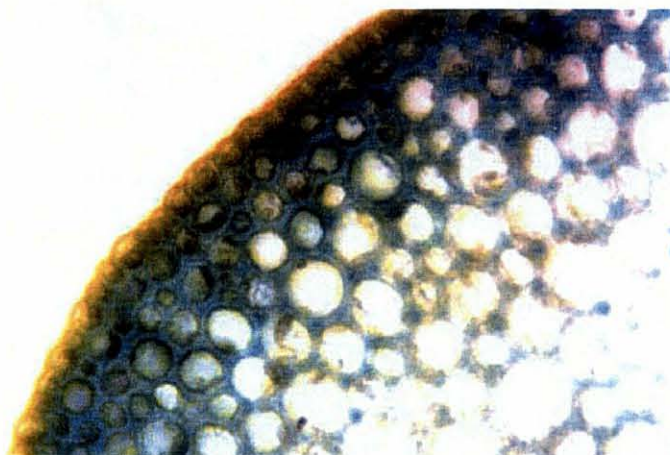


FIGURA 54 – CORTE TRANSVERSAL DA REGIÃO DA NERVURA DE FOLHAS NOVAS DE *F. marginata*, SUBMETIDA A TRATAMENTO COM  $1\text{mmol L}^{-1}$  DE AI E COLORIDA COM PCV. a- AUMENTO DE 10 X; b - AUMENTO DE 40 X; c - AUMENTO DE 100 X

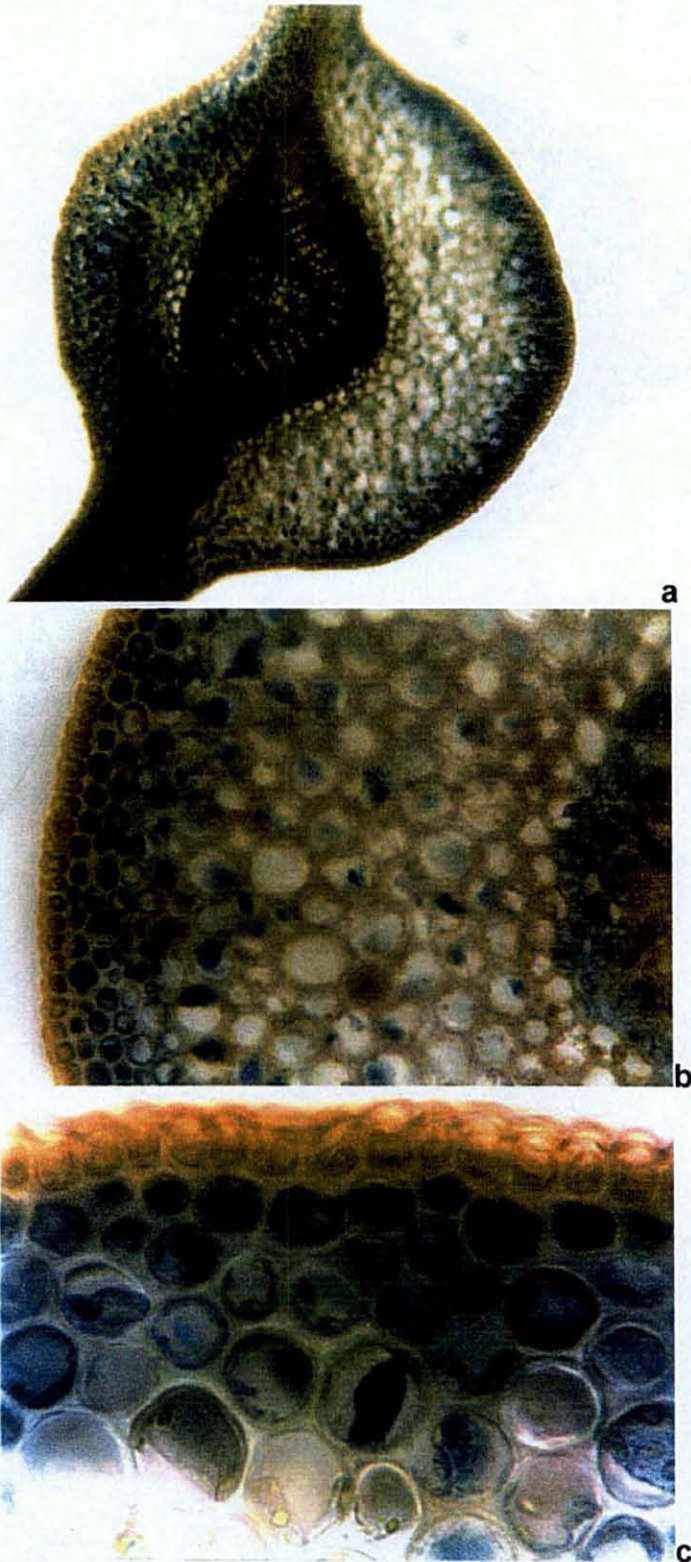


FIGURA 55 – CORTE TRANSVERSAL DA REGIÃO DA NERVURA DE FOLHAS VELHAS DE *F. marginata*, SUBMETIDA A TRATAMENTO COM  $1\text{mmol L}^{-1}$  DE AI E COLORIDA COM PCV. AUMENTO DE 40 X.

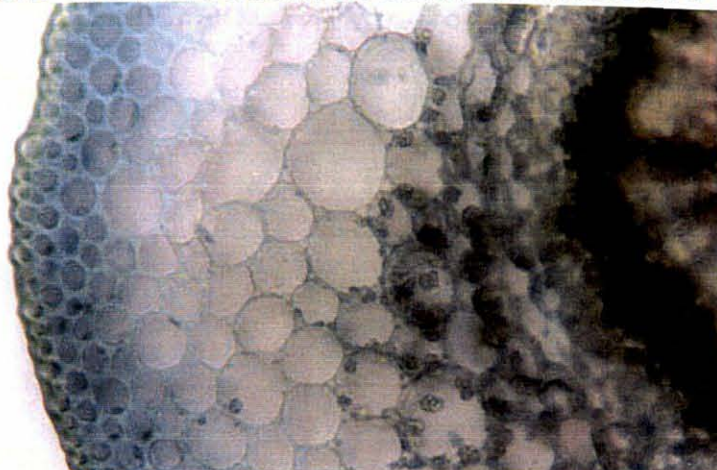


FIGURA 56 – CORTE TRANSVERSAL DA REGIÃO DA NERVURA DE FOLHAS NOVAS DE *F. marginata*, SUBMETIDA A TRATAMENTO COM  $2\text{mmol L}^{-1}$  DE AI E COLORIDA COM PCV. AUMENTO DE 40 X.

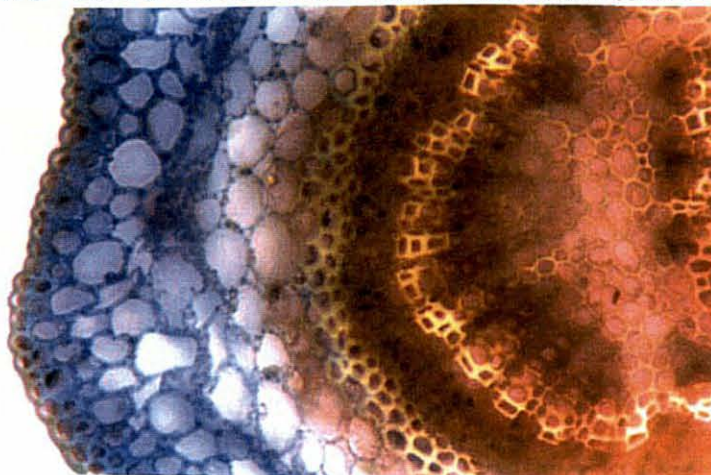


FIGURA 57 – CORTE TRANSVERSAL DA REGIÃO DO LIMBO DE FOLHAS NOVAS DE *F. marginata*, SUBMETIDA A TRATAMENTO COM  $2\text{mmol L}^{-1}$  DE AI E COLORIDA COM PCV. AUMENTO DE 40 X.



## 5 CONCLUSÃO

A adição de Al nos experimentos que utilizaram como substrato o solo para o plantio de *Tapirira guianensis*, ocasionou modificações nos parâmetros químicos do solo de forma diferenciada, no experimentos realizado na floresta em relação ao da casa de vegetação. Em ambos os casos houve um aumento nos teores deste elemento no solo e uma diminuição das bases trocáveis, além de uma estreita relação entre a CTC do solo, a matéria orgânica e possivelmente as trocas com o Al.

As diferenças encontradas em relação a aspectos químicos entre solo rizosférico e não rizosférico, somente no experimento da floresta, indica uma maior reação da planta neste ambiente, podendo estar relacionado a uma série de aspectos que propiciam a complexação do Al e a conseqüente neutralização de sua toxidez, dentre estes : exsudação de substâncias orgânicas pela raiz; deposição e decomposição da serapilheira; lixiviados da copa das árvores transportados pela chuva; atividade microbiológica, e outros.

O aumento da colonização por micorrizas com a aplicação de doses crescentes de Al, também representa uma reação da planta visando compensar a diminuição na disponibilidade de alguns nutrientes no solo.

Em termos de crescimento da planta, o experimento realizado na casa de vegetação apresentou um decréscimo em todos os parâmetros analisados. Na floresta, houve um decréscimo apenas no peso das folhas, um aumento no peso da raiz, e estabilização dos demais parâmetros. Isto representou uma melhor reação das plantas ao Al no ambiente natural, quando comparado as condições da casa de vegetação.

As respostas em relação aos teores de nutrientes e Al nas plantas, também foi melhor no experimento da floresta, onde houve aumento nos teores de N, P, K, Fe, Cu, Zn e Al, e diminuição nos teores Ca, Mg e Mn. Já no experimento na casa de vegetação (rizotrom), a maior parte dos elementos diminuiu seus teores em todas as partes da planta, com exceção do Al.

Quando se cultivou *T. guianensis* em solução nutritiva, as plantas foram beneficiadas com as doses mais elevadas de Al, propiciando um maior crescimento de todas as partes da planta, indicando um possível efeito benéfico do Al na fisiologia da mesma.

Ao avaliar-se o Al na solução nutritiva, ao término do experimento, estimou-se que de 60 a 80 % represente o Al complexado com complexos orgânicos. O que

indica que possivelmente a planta exsudou substâncias orgânicas, sendo este um dos mecanismos preventivos contra a toxidez do Al.

As doses crescentes de Al na solução nutritiva, permitiu um aumento na absorção de N, K, Ca, Mg e Al, e diminuição do P. Este último, provavelmente em função da não existência de micorrizas em solução nutritiva. O aumento do Al na raiz foi o mais drástico dentre os elementos, acumulando-se em sua maior parte na epiderme.

No experimento com hidroponia, as plantas apresentaram um crescimento e estado nutricional melhores, que as plantas cultivadas na floresta. Possivelmente esta resposta esteja relacionada a uma maior disponibilidade de nutrientes e luz neste experimento em relação ao experimento de campo. Mas em ambas as situações conclui-se que *Tapirira guianensis* é altamente tolerante ao Al, principalmente quando existe disponibilidade de nutriente no substrato.

Na espécie acumuladora de Al, *Faramea marginata*, não foi possível observar sua tolerância frente a níveis crescentes deste elemento, devido a problemas na condução dos experimentos.

Em relação a sua germinação, *Faramea marginata* apresentou índices satisfatórios, não tendo sido influenciada por teores crescentes de Al. No campo observou-se um período de dormência de aproximadamente 6 meses, germinando somente após um período mais quente e úmido.

Através de estudos anatômicos foi detectado o acúmulo do Al nas folhas desta espécie na região do apoplasto, principalmente onde os espaços intercelulares eram maiores, não adentrando para o interior da célula.

Em hidroponia, as plantas que apresentavam sinais de necrose e amarelamento não conseguiram manter o Al no exterior da célula, principalmente as folhas mais novas. O Al não mais acumulou-se no apoplasto e sim nos vacúolos, ou mesmo incorporando-se a todo o interior da célula.

Observou-se uma estreita relação entre Al e Si, onde *Faramea marginata* é acumuladora destes dois elementos, mantendo uma relação de 2:1, em termos de teores nas folhas. O fracionamento do Al sugeriu que nas folhas de *F. marginata*, não são os ácidos orgânicos que complexem o Al. Possivelmente deva ocorrer uma co-deposição de Al e Si na região do apoplasto, sendo provavelmente um dos mecanismos que permite que esta espécie acumule as altas quantidades deste elemento em sua estrutura foliar.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN E.B.; ALLEN M.F.; HELM D.J.; TRAPPE J.M.; MOLINA R. E RINCON E. Patterns and regulation of mycorrhizal plant and fungal diversity. **Plant and Soil** 170:47-62, 1995.

ALLSOPP N. & STOCK W. D. Mycorrhizas and seedling growth of slow-growing sclerophylls from nutrient-poor environments. **Acta Oecologica**, 14 (5): 577-587, 1993.

ALVA A.K., EDWARDS D.G., ASHER C.J., BLAMEY F.P.C. Relationships between root length of soybean and calculated activities of aluminium monomers in nutrient solution. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 50:959-962, 1986.

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 Sci. Soc. Am. J.** 50:133-137, 1986b.

ANGULO, R.J. **Geologia da planície costeira do Estado do Paraná**. São Paulo, Dissertação (Doutorado), Universidade de São Paulo, 1992. 334p.

ANIOL A. Genetics of acid tolerant plant. In: **Plant-soil interactions at low pH**. p. 1007-1117, 1991

ARCHAMBAULT D. J.; ZHANG G.; TAYLOR G. J. A comparison of the kinetics of aluminum (Al) uptake and distribution in roots of wheat (*Triticum aestivum*) using different aluminum sources. A revision of the operational definition of symplastic Al. **Physiologia Plantarum**, 98:578-586, 1996.

ASP, H; BENGTSSON, B; JENSEN, P. Growth and cation uptake in spruce (*Picea abies* Karst.) grown in sand culture with various aluminium contents. **Plant-and-Soil** 111: 1, 127-133, 1988.

BALIGAR V. C.; WRIGHT R. J.; RITCHEY K. D.; AHLRICHS J. L.; Woolum B. K. Soil and soil solution property effects on root growth of aluminium tolerant and intolerant wheat cultivars. In: **Plant-soil interaction at low pH**. R. J. Wright et al. (Eds.). p.245-252, 1991.

BALIGAR V. C. & FAGERIA N. K. Nutrient use efficiency in acid soils: nutrient management and plant use efficiency. In: **Plant-soil interaction at low pH**. A. C. Moniz et al. (Eds.). p.75-95, 1997.

BARCELÓ, J.; GUEVARA, P.; POSHENRIEDER, C. Silicon amelioration of aluminium toxicity in teosinte (*Zea mays* L. ssp. *Mexicana*). **Plant and Soil**, 154:249-255, 1993.

BAREA, J. M. Vesicular-arbuscular mycorrhizae as modifiers of soil fertility. **Advances in Soil Science**, 15:1-40, 1991.

BARTLETT R. J. & RIEGO D. C. Toxicity of hydroxy aluminum in relation to pH and phosphorus. **Soil Science**, 111(1):194-200, 1972.



- BAYLIS A. D.; GRAGOPOULOU C.; DAVIDSON K. J. Effects of silicon on the toxicity of aluminium to soybean. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** 25 (5-6): 537-546, 1994.
- BENNET, R. J.; BREEN, C. M.; FEY, M.V. Aluminium uptake sites in the primary roots of *Zea mays* L. **S. Afr. J. Plant Soil**, 2: 1-7, 1985.
- BENNET R.J. & BREEN CM. The aluminium signal: New dimensions to mechanisms of aluminium tolerance. **Plant and Soil** 134:153-166, 1991
- BERTSCH P.M. & PARKER D.R. Aqueous polynuclear Aluminium species. In: **The environmental Chemistry of Aluminum**. Sposito G. (ed.), Lewis Publishers. P.117-168, 1996.
- BERTSCH P. M.& BLOOM P. R. Aluminum. In: **Methods of soil Analysis, part 3 – chemical methods**, Soil Science society of America n.5: 517,550, 1996.
- BEVERIDGE T. J., HUGHES M. N., LEE H., LEUNG K. T., POOLE R. K., SVVAIDIS I., SILVER S., TREVORS J. T. Metal-microbe interactions: contemporary approaches. **Advances in microbial physiology** 38:177-243, 1997.
- BIRCHALL, J. D. The interrelationship between silicon and aluminium in the biological effects of aluminium. Aluminium in biology and medicine. Wiley, Chichester. **Ciba Foundation Symposium** 169, p. 50-68, 1992.
- BLAMEY, F. P. C.; EDWARDS D.G.; ASHER, C.J. Effects of aluminum, OH:Al and P:Al molar ratios and ionic strength on soybean root elongation in solution culture. **Soil Science**, 136:197-206, 1983.
- BLAMEY F.P. C.; EDMEADES, D. C.; ASHER, C.J.; EDWARDS D.G.; WHEELER D.M. Evaluation of solution culture techniques for studying aluminium toxicity in plants. **Plant-soil interaction at low pH**. Wright R. J. (Eds.). p.905-912, 1991.
- BLOOM P. R. & ERICH M.S. The quantitation of aqueous aluminium. In: **The environmental chemistry of aluminum** (ed. Sposito G.), CRC Press, Florida, 464p. 1996.
- BOLAN, N.S. A critical review on the role of micorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. **Plant and Soil**, Hague, v.134, p.189-207, 1991.
- BONFANTE, P. & PEROTTO, S. Strategies of arbuscularmycorrhizal fungi when infecting host plants. **New Phytol.**, 130:3-21, 1995.
- BRACCINI M. C. L.; MARTINEZ H. E. P.; PEREIRA P. R. G.; SAMPAIO N. F.; SILVA E. A. M. Tolerância de genótipos de cafeeiro ao alumínio em solução nutritiva, I. Crescimento e desenvolvimento da parte aérea e sistema radicular. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22:435-442, 1998a.
- BRACCINI M. C. L.; MARTINEZ H. E. P.; SAMPAIO N. F.; PEREIRA P. R. G.; SILVA E. A. M. Tolerância de genótipos de cafeeiro ao alumínio em solução nutritiva, II. Teores de P, Ca e Al e eficiência ao P e Ca. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22:443-450, 1998b.

BRITEZ, R. M. **Ciclagem de nutrientes minerais em duas florestas da planície litorânea da Ilha do Mel, Paranaguá.** Curitiba, (Diss.Mestr.) Setor de Ciências Agrárias Universidade Federal do Paraná, 272p, 1994.

BRITEZ R. M., SANTOS FILHO A., REISSMANN C.B., SILVA S.M., ATHAYDE S.F., LIMA R.X., QUADROS R.M.B., Nutrientes no solo de duas florestas da planície litorânea da Ilha do Mel, Paranaguá, PR. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** 21(4): 625-634, 1997.

BRITEZ R. M., REISSMANN C.B., SILVA S.M., ATHAYDE S.F., LIMA R.X., QUADROS R.M.B.. Chemical characterization of two forests on the coastal plains of the Ilha do Mel. Paraná. Brazil. In: **Plant nutrition - for sustainable food production and environment.** T.Ando et al. (eds). Kluwer Academic Publishers. p. 461-462, 1997.

BRITEZ R. M.; PIRES L. A. Decomposição em duas florestas da planície litorânea da Ilha do Mel, Paraná. 1. Serapilheira acumulada. In: **50º Congresso Nacional de Botânica, Sociedade Botânica do Brasil.** Resumos. 1999a.

BRITEZ R. M.; PIRES L. A.; MARQUES R. Decomposição em duas florestas da planície litorânea da Ilha do Mel, Paraná. 2. Decomposição foliar. In: **50º Congresso Nacional de Botânica, Sociedade Botânica do Brasil.** Resumos. 1999b.

BUENO N.; HAAG H.P.; PEREIRA J.P. & VIÉGAS I. de J.M. Nutrição mineral de seringueira (*Hevea spp*). IX Alumínio no substrato afetando o desenvolvimento, a sintomatologia de toxidade e a concentração em seringueira. **An.ESALQ**, Piracicaba, 45 (parte 1):319-339, 1988

BUENO N.; HAAG H.P.; PEREIRA J.P. & VIÉGAS I. de J.M. Nutrição mineral de seringueira (*Hevea spp*). X Quantidade de Al no substrato afetando a concentração e o acúmulo de Fe, Mn e Zn. **An.ESALQ**, Piracicaba, 46 (parte 2):275-293, 1989.

BUENO N.; HAAG H.P.; PEREIRA J.P. & VIÉGAS I. de J.M. Nutrição mineral de seringueira (*Hevea spp*). XI. Quantidade de alumínio no substrato afetando a concentração e o acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em seringueira. **An.ESALQ**, Piracicaba, 46 (parte 1):135-154, 1989.

CAKMAK I. & HORST W. J. Effect of aluminium on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase, and peroxidase activities in root tips of soybean (*Glycine max*), **Physiologia Plantarum**, 83:463-468, 1991.

CAMBRAIA, J. Mecanismos de tolerância à toxidez de alumínio em plantas. In: II Reunião Brasileira de Fisiologia Vegetal (1989 : Piracicaba). **Anais...** São Paulo, Sociedade Brasileira de Fisiologia Vegetal, USP, p.85-92, 1989.

CANNY M. J. Apoplastic water and solute movement: new roles for the old space. **Ann. Review of Plant Physiology and Plant Mol. Biol.**, 46: 215-236, 1995.

CHANG-YICHIEH; MA-JIANFENG; MATSUMOTO-H; CHANG-YC; MA-JF. Mechanisms of Al-induced iron chlorosis in wheat (*Triticum aestivum*). Al-inhibited biosynthesis and secretion of phytosiderophore. **Physiologia Plantarum** 102: 1, 9-15, 1998.

CHEN C. H. & LEWIN J. Silicon as a nutrient element for *Equisetum arvense*. **Can. J. Bot.** 47:125-31, 1969.

CHENERY E. M.. Aluminium in the plant world. Part I, general survey in dicotyledons. **Kew Bull**, 173 1948.

CHENERY, E.M. & SPORNE, K.R. A note on the evolutionay status of aluminium-accumulators among dycotyledons. **New Phytol.**, 76:551-554, 1976.

CLARKSON, D. T. The effect of aluminium and some other trivalent metal cations on cell division inthe root apeces of *Allium cepa*. **Anal. Bot.**, 29:309-315, 1965.

CLEGG S. & GOBRAN G. R. Effects of aluminium on growth and root reactions of phosphorus stressed *Betula pendula* seedlings. **Plant and Soil** 168-169:173-178, 1995.

] COCKER K.M.; HODSON,M.J.; EVANS,D.E.; SANGSTER,A.G. Interaction between silicon and aluminum in *Triticum aestivum* L. (cv. Celtic). **Israel-Journal-of-Plant-Sciences**, 45: 4, 285-292, 1997.

COCKER, K.M.; EVANS, D.E.; HODSON, M.J. The amelioration of aluminium toxicity by silicon in higher plants: solution chemistry or an in planta mechanism? **Physiologia-Plantarum**, 104: 4, 608-614, 1998.

CORRALES, I.; POSCHENRIEDER, C.; BARCELO, J. Influence of silicon pretreatment on aluminium toxicity in maize roots. **Plant-and-Soil**, 190: 2, 203-209, 1997.

COSTA E. M. Efeitos do alumínio, nitrato e amônio sobre a nutrição nitrogenada em *Eucalyptus grandis* Hill (Maiden). Viçosa, (Diss. Mestr.), Universidade Federal de Viçosa. 50p., 1986.

CUENCA, G.; HERRERA, R.; MEDINA, E. Aluminium tolerance in trees of a tropical cloud forest. **Plant-and-Soil**, 125: 2, 169-175, 1990.

DEGENHARDT, J.; LARSEN, P. B. HOWELL S. H.; KOLCHIAN L. V. Aluminium resistance in the arabidopsis mutant alr-104 is caused by an aluminum-induced increase in rhizosphere pH. **Plant Physiology**, 117:19-27, 1998.

DAHLGREN, R.A.; VOGT,K. A.; UGOLINI, F.C. The influence of soil chemistry on fine root aluminum concentrations and root dynamics in a subalpine Spodosol, Washington State, USA. **Plant-and-Soil**, 133: 1, 117-129, 1991.

DELHAIZE, E.; RYAN, P. R., RANDALL, P. J. Aluminum tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.). II Aluminum-stimulated excretion of malic acid from root apices. **Plant Physiology**, 103:695-702, 1993.

DELHAIZE, E. & RYAN P. R. Aluminum toxicity and tolerance in plants. **Plant Physiol.**, 107:315-321, 1995.

DEWALD L.E., SUCCOFF E.I., OHNO T. & BUSCHENA C.A. Response of northern red oak (*Quercus rubra*) seedlings to soil solution aluminum. **Can. J. For. Res.** 20:331-336, 1990.

DINKELAKER, B.; HAHN, G.; MARSCHNER, H.; BARROW, N.J. Non-destructive methods for demonstrating chemical changes in the rhizosphere II. Application of methods. Plant nutrition - from genetic engineering to field practice. **Plant and Soil**, 155-156, 71-74, 1993.

DRISCOLL C.T.; BAKER J.P.; BISIGNI J.J. & SCHOFIELD C.L. Effect of aluminium speciation on fish in dilute acidified waters. **Nature** 284:161-164, 1980.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Serviço Nacional de Levantamento de Conservação de Solos. Rio de Janeiro, v. 1, 1979.

ERICSSON, T.; GORANSSON, A.; GOBRAN, G. Effects of aluminium on growth and nutrition in birch seedlings under magnesium- or calcium-limiting growth conditions. **Zeitschrift-fur-Pflanzenernahrung-und-Bodenkunde**, 161: 6, 653-660, 1998.

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Editora da Universidade de São Paulo, 1975. 344p.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA**, 91:11-17, 1994.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annu. Rev. Plant Physiol. Planr Mol. Biol.** 50:641-664, 1999.

ESAU K. **Anatomia das plantas com sementes**. São Paulo, Edgard Blücher, 1974, 293p.

ESWARAN H., REICH P., BEINROTH F. Global distribution of soils with acidity. IN: **Plant-Soil interactions at low pH**. p-159-164, 1997.

FLEIG M. Anacardiáceas. **Flora Ilustrada Catarinense** 64p., 1989.

FITTER, A. H. & GARBAYE, J. Interations between mycorrhizal fungi and other soil organisms. **Plant and Soil**, 159:123-132, 1994.

FOGEL R. & HUNT G.. Contributium of mycorrhizae and soil fungi to nutrient cycling in a Douglas-fir ecosystem. **Can. J.For. Res.** 13:219-232, 1983.

FOY C.D. Differential aluminum and manganese tolerances of plant species and varieties in Acid Soils. **Ciência e Cultura** 28(2):150-155, 1975.

FOY, C.D.; CHANEY, R.L.; WHITE, M.C. The physiology of metal toxicity in plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v.29, p.511-566, 1978.

FOY C. D. Plant adaptation to acid, aluminum-toxic soils. **Commun. In Soil Sci. Plant Anal.**, 19 (7-12), 959-987, 1988.

FOX T.R.; COMERFORD N.B. & MCFEE W.W. Phosphorus and aluminum release from a spodic horizon mediated by organic acids. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 54:1763-1767, 1990.

FUENTE, J. M.; RAMIREZ-RODRIGUEZ, V.; CABRERA-PONCE, J. L.; ESTRELLA, L. E. Aluminum tolerance in transgenic plants by alteration of citrate synthesis. **Science**, 276:1566-1568, 1997.

GAHOONIA, T.S. CLAASSEN, N., AND JUNGK, A. Mobilization of phosphate in different soils by ryegrass supplied with ammonium or nitrate. **Plant and Soil**, 140:241-248, 1992.

GALVEZ L.; CLARK, R. B.; GOURLEY L. M.; MARANVILLE J. W. Silicon interaction with manganese and aluminum toxicity in sorghum. **Journal of Plant Nutrition**, 10(9-16):1139-1141. 1987.

GEOGHEGAN, I.E.; SPRENT, J.I. Aluminium and nutrient concentrations in species native to central Brazil. **Communications-in-Soil-Science-and-Plant-Analysis**, 27: 18-20, 2925-2934, 1996.

GERKE J. Phosphate, aluminium and iron in the soil solution of three different soils in relation to varying concentrations of citric acid. **Z. Pflanzenernähr. Bodenk**, 155:339-343, 1992.

GIANINAZZI-PEARSON V. & GIANINAZZI S. The physiology of vesicular-arbuscular mycorrhizal roots. **Plant and Soil** 71: 197-209, 1983.

GIJSMAN, A.J. & VAN NOORDWIJK, M. Critical ammonium: nitrate uptake ratios for Douglas-fir determining rhizosphere pH and tree mortality. In: **Plant-soil interactions at low pH**. p. 181-186, 1991.

GILLMAN G. P. The chemical properties of acid soils with emphasis on soils of the humid tropics. In: **Plant-soil interactions at low pH**. p. 3-14, 1991.

GIOVANNETTI, M & MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. **The New Phytologist**, London, 84:489-500, 1980.

GODBOLD, D.L. Aluminium decreases root growth and calcium and magnesium uptake in *Picea abies* seedlings. In: **Plant-soil interactions at low pH**. p. 747-753, 1991.

GODBOLD, D.L.; DICTUS K.; HUTTERMANN A. Influence of aluminium and nitrate on root growth and mineral nutrition of Norway spruce (*Picea abies*) seedlings. **Canadian-Journal-of-Forest-Research**, 18: 9, 1167-1171, 1988.

GODBOLD, D.L.; JENTSCHKE, G. Aluminium accumulation in root cell walls coincides with inhibition of root growth but not with inhibition of magnesium uptake in Norway spruce. **Physiologia-Plantarum**, 102: 4, 553-560, 1998.

GODBOLD, D.L., JENTSCHKE & MARSCHNER P. Solution pH modifies the response of Norway spruce seedlings to aluminium. **Plant and Soil** 171:175-178, 1995.

GOODLAND, R. J.A. & FERRI M.G. **Ecologia do Cerrado**. Ed. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1979, 193 p..

GOLLEY, F.B.; YANTKO J.; RICHARDSON T. E KLINGE H. Biogeochemistry of tropical forests: 1. The frequency distribution and mean concentration of selected elements in a forest near Manaus, Brazil. **Tropical Ecology**, Varanasi, v.21, n.1, p.59-70, 1980.

GORANSSON, A.; ELDHUSET, T.D. Effects of aluminium on growth and nutrient uptake of *Betula pendula* seedlings. **Physiologia-Plantarum**, 69: 2, 193-199, 1987.

HAHN, G.; MARSCHNER, H. Cation concentrations of short roots of Norway spruce as affected by acid irrigation and liming. **Plant-and-Soil**, 199: 1, 23-27, 1998.

HAMMOND K.E., EVANS D. E. & HODSON M.J. Aluminium/silicon interactions in barley (*Hordeum vulgare* L.) seedlings. **Plant and Soil** 173:89-95, 1995.

HARA, T.; GU, MINGHUA; KOYAMA, H.; GU, M.H. Ameliorative effect of silicon on aluminum injury in the rice plant. **Soil-Science-and-Plant-Nutrition**, 45: 4, 929-936, 1999.

HARIDASAN, M. Aluminium accumulation by some cerrado native species of central Brazil. **Plant-and-Soil**, 65: 2, 265-273, 1982.

HARIDASAN, M.; PAVIANI T.I.; SCHIAVINI I. Localization of aluminium in the leaves of some aluminium-accumulating species. **Plant and Soil**, 94:435-437, 1986.

HARIDASAN, M.; HILL P. G.; RUSSELL D. Semiquantitative estimates of Al and other cations in the leaf tissues of some Al-accumulating species using electron probe microanalysis. **Plant and Soil**, 104:99-102, 1987.

HARIDASAN M. Performance of *Miconia albicans* (SW.) Triana, an Aluminum-accumulating species, in acidic and calcareous soils. **Commun. In Soil Sci. Plant Anal.**, 19 (7-12): 1091-1103, 1988.

HARIDASAN, M.; ARAUJO, G.M. Aluminium-accumulating species in two forest communities in the cerrado region of central Brazil. **Forest-Ecology-and-Management**, 24: 1, 15-26, 1988.

HAIRIAH K.; STULEN I.; NOORDWIJK M.; KUIPER P. J. C. Al avoidance and Al tolerance of *Mucuna pruriens* var. *utilis*: effects of a heterogeneous root environment and the nitrogen form in the root environment. **Plant and Soil**, 167:67-72, 1994.

HAUG, A.; SHI B. Biochemical basis of aluminium tolerance in plant cells. In: **Plant-soil interactions at low pH**, Wright-RJ (ed.), p. 839-850, 1991.

HAUSSLING M.; LEISEN E.; MARSCHNER H.; RÖMHELD V. An improved method for non-destructive measurements of the pH at the root-soil interface (rhizosphere). **J. Plant. Physiol**, 117:371-375, 1985.

HAY, J.D.; LACERDA, L.D. & TAN, A.L. Soil-cation increase in a tropical sand dune ecosystem due to a terrestrial bromeliad. **Ecology** v. 62, n.5, p. 1392-1395, 1981.

HAY, J.D. & LACERDA, L.D. Ciclagem de nutrientes no ecossistema de restinga. In: LACERDA, L.D. et al (orgs.) **Restingas: Origem, Estrutura e Processos**. Niterói. CEUFF. 459-475, 1984.

HILDEBRAND, C. **Manual de análises químicas de solo e plantas**. Curitiba, UFPR (mimeo.). 1976/1977. 225p.

HEIM, A.; LUSTER, J.; BRUNNER, I.; FREY, B.; FROSSARD, E. Effects of aluminium treatment on Norway spruce roots: aluminium binding forms, element distribution, and release of organic substances. **Plant-and-Soil**, 216: 1-2, 103-116, 1999.

HODSON, M.J.; WILKINS, D.A. Localization of aluminium in the roots of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) inoculated with *Paxillus involutus* Fr. **New-Phytologist**, 118: 2, 273-278, 1991.

HODSON, M.J.; SANGSTER, A.G. The interaction between silicon and aluminium in *Sorghum bicolor* (L.) Moench: growth analysis and x-ray microanalysis. **Annals of Botany**, 72: 389-400, 1993.

HODSON M. J. & EVANS D. E. Aluminium/silicon interactions in higher plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 46, n. 283: 161-171. 1995.

HORST, W. J.; WAGNER, A.; MARSCHNER, H. Mucilage protects root meristems from aluminium injury. **Z. Pflanzenphysiol.** 105: 435-444, 1982.

HORST, W. J.; KLOTZ, F.; SZULKIEWICZ, P. Mechanical impedance increases aluminium tolerance of soybean (*Glycine max* L.). **Plant and Soil**, 124:227-231, 1990.

HORST, W. J. the role of the apoplast in aluminium toxicity and resistance of higher plants: a review. **Z. Pflanzenernähr. Boden**, 158:419-428, 1995.

HUANG J. W.; SHAFF J. E.; GRUNES D. L.; KOLCHIAN L. V. Aluminum effects on calcium fluxes at the root apex of aluminum-tolerant and aluminum-sensitive wheat cultivars. **Plant Physiol.**, 98: 230-237, 1992a.

HUANG J. W.; SHAFF J. E.; GRUNES D. L.; KOLCHIAN L. V. Aluminum effects on the kinetics of calcium uptake into cells of the wheat root apex. **Plant** 188: 414-421, 1992 b.

HUE, N. V.; CRADDOCK, G.R.; ADAMS, F. Effect of organic acids on aluminum toxicity in subsoils. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 50:28-34, 1986.

HUNTER D. & ROSS D. S. Evidence for a phytotoxic hydroxy-aluminum polymer in organic soil horizons. **Science** 251:1056- 1058, 1991.

IAPAR - Instituto Agronômico do Paraná. **Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná**, Londrina : IAPAR, 1978, 41p.

IKEDA H. & TADANO T., Ultrastructural changes of the root tip cells in barley induced by a comparatively low concentration of aluminum. **Soil Sci. Plant Nutr.**, 39(1):109-117, 1993.

ILVESNIEMI, H.; FREER-SMITH, P.H. The combined effect of mineral nutrition and soluble aluminium on *Pinus sylvestris* and *Picea abies* seedlings. **Forest-Ecology-and-Management**, 51: 1-3, 227-238, 1992.

JANOS, D.P. Vesicular-arbuscular mycorrhize affect lowland tropical rain forest plant growth. **Ecology**, 61:151-162, 1980.

JAYASEKERA R. Elemental concentrations in a tropical montane rain forest in Sri Lanka. **Vegetatio**, v.98, p.73-81, 1992.

JOHNSON, R. A. & WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1988. 607p.

JONES D. L. Organic acids in the rhizosphere – a critical review. **Plant and Soil**, 205:25-44, 1998.

JONES L. H. P. & HANDRECK K. A. Silica in soils, plants, and animals. **Advances in Agronomy**, 19:107-149, 1967.

JORDAN, C. F. **Nutrient cycling in tropical forest Ecosystems**. John Wiley & Sons. 190 p. 1985.

JOSLIN J.D. & WOLFE M. H. Aluminium effects on Northern red Oak seedling growth in six forest soil horizons. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 53:274-281, 1989.

KATAOKA T.; MORI M.; NAKANISHI T. M.; Matsumoto S.; Uchiumi A. Highly sensitive analytical method for Aluminum movement in soybean root through lumogallion staining. **J. Plant Res.** 110:305-309, 1997.

KELTJENS, W.G. Effects of aluminum on growth and nutrient status of Douglas-fir seedlings grown in culture solution. **Tree-Physiology**, 6: 2, 165-175, 1990.

KELTJENS W. G. Magnesium uptake Al- stressed maize plants with special emphasis on cation interactions at root exchange sites. **Plant and Soil** 171:141-146, 1995.

KELTJENS W.G. Plant adaptation and tolerance to acid soils; its possible Al avoidance – a review. In: **Plant-soil interactions at low pH**. p. 109-117, 1997.

KELTJENS W. G. & ULDEN P. S. R. Effects of Al on nitrogen ( $\text{NH}_4^+$  and  $\text{NO}_3^-$ ) uptake, nitrate reductase activity and proton release in two sorghum cultivars differing in Al tolerance. **Plant and Soil**, 104: 227-234, 1987.



KELTJENS, W.G.; LOENEN, E-VAN. Effects of aluminium and mineral nutrition on growth and chemical composition of hydroponically grown seedlings of five different forest tree species. **Plant-and-Soil**, 119: 1, 39-50, 1989.

KELTJENS, W.G. & TAN, K. Interactions between aluminium, magnesium and calcium with different monocotyledonous and dicotyledonous plant species. **Plant and Soil**, 155/156:485-488, 1993.

KERVEN G.L.; EDWARDS D. G.; ASHER C. J.; HALLMAN P. S.; KOKOT S. Aluminium determination in soil solution. II Short-term colorimetric procedures for the measurement of inorganic monomeric aluminium in the presence of organic acid ligands. **Austr. J. Soil Res.**, 27: 91-102, 1989.

KINRAIDE T.B. Assessing the rhizotoxicity of the aluminate ion,  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ . **Plant Physiol.** 93:1620-1625, 1990.

KINRAIDE T.B. Identity of the rhizotoxic aluminium species. **Plant and Soil** 134:167-178, 1991.

KINRAIDE T.B. & PARKER D. R. Cation Amelioration of Aluminum toxicity in wheat. **Plant Physiol.**, 83:546-551, 1987.

KINRAIDE T.B. & PARKER D. R. Apparent phytotoxicity of mononuclear hydroxy-aluminum to four dicotyledonous species. **Physiol. Plant.** 79: 283-288, 1990

KINRAIDE T. B.; RYAN P. R.; KOCHIAN L. V.  $\text{Al}^{3+}$ - $\text{Ca}^{2+}$  interactions in aluminum rhizotoxicity II. Evaluating the  $\text{Ca}^{2+}$  -displacement hypothesis. **Planta** 192:104-109, 1994.

KINRAIDE, T.B. Reconsidering the rhizotoxicity of hydroxyl, sulphate, and fluoride complexes of aluminium. **Journal-of-Experimental-Botany.** 48: 310, 1115-1124, 1997.

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

KINRAIDE, T. B.; RYAN, P. R.; KOCHIAN, L. V. Interactive effects of  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}^+$ , and other cations on root elongation considered in terms of cell-surface electrical potential. **Plant Physiology**, 99: 1461-1468, 1992.

KINRAIDE T. B. Three mechanisms for the calcium alleviation of mineral toxicities. **Plant Physiol.**, 118: 513-520, 1998.

KLEIN R. M. Ecologia da flora e vegetação do vale do Itajaí. **Sellowia** n° 32, 382p. 1980.

KLOTZ F. & HORST W. J. Effect of ammonium- and nitrate-nitrogen nutrition on aluminium tolerance of soybean (*Glycine max* L.). **Plant and Soil**, 111: 59-65, 1988.

KOCHIAN, L.V. Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. **Annu Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.** 46:237-260. 1995.

KOCHIAN L. V. & Shaff J. E. Investigating the relationship between aluminium toxicity, root growth and root-generated ion currents. In: **Plant-soil interactions at low pH**. Wright et al (eds) p. 769-778, 1991.

KONISHI S.; MIYAMOTO S.; Taki T. Stimulatory effects of aluminum on tea plants grown under low and high phosphorus supply. **Soil Sci. Plant Nutr.**, 31(3):361-368, 1985.

KREUTZER, K.; WEISS, T. Hoglewald research: biological effects of acidification and liming on a nitrogen saturated ecosystem of *Picea abies* (L., Karst). **Plant-and-Soil**, 199: 1, 1, 1998.

KUHN A.J.; BAUCH J. & SCHRODER W.H. Monitoring uptake and contents of Mg, Ca and K in Norway spruce as influenced by pH and Al, using microprobe analysis and stable isotope labelling. **Plant and Soil** 168-169:135-150, 1995.

LAMBAIS, M. R. & CARDOSO, E. J. B. N. Germinação de esporos e crescimento do tubo germinativo de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares em diferentes concentrações de alumínio. **R. bras. Ci. Solo**, 13:151-154, 1989.

LANDGRAF P. R. C. Germinação de sementes de guarea (*Guarea guidonea* (L.) Sleumer) maçaranduba (*Persea pyrifolia* Ness et Mart. Ex Ness) e peito de pombo (*Tapirira guianensis* Aubl.). Lavras, (Diss.Mestr.) Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1994, 77 p.

LAZOF D. B.; GOLDSMITH J. G.; RUFTY T.W.; LINTON R. W. Rapid uptake of aluminum into cells of intact soybean root tips. **Plant Physiology**, 106:1107-1114, 1994.

LAZOF D. B.; GOLDSMITH J. G.; RUFTY T.W.; LINTON R. W. The early entry of Al into cells of intact soybean roots. A comparison of three developmental root regions using secondary ion mass spectrometry imaging. **Plant Physiology**, 112:1289-1300, 1996.

LI Y. C. ; ALVA A. K.; SUMNER M. E.. Response of cotton cultivars to aluminum in solutions with varying silicon concentrations. **Journal of Plant Nutrition**, 12(7): 881-892, 1989.

LI, Y.C.; SUMNER, M.E.; MILLER, W.P.; ALVA, A.K. Mechanism of silicon induced alleviation of aluminum phytotoxicity. **Journal-of-Plant-Nutrition**, 19: 7, 1075-1087, 1996.

LI, X.F.; MA J. F.; HIRADATE S.; MATSUMOTO H. Mucilage strongly binds aluminum but does not prevent roots from aluminum injury in *Zea mays*. **Physiologia Plantarum**, 108:152-160, 2000.

LINDSAY W. L.; WALTHALL P.M. The solubility of Aluminum in soils. In: **The environmental chemistry of aluminum** (ed. Sposito G.), CRC Press, Florida, 464p. 1996.

LOPES, E.S.; SIQUEIRA, J.O. & ZAMBOLIM L. Caracterização das micorrizas vesicular-arbusculares (MVA) e seus efeitos no crescimento das plantas (Revisão de Literatura). **Rev. Bras. de Ciênc. do Solo**, Campinas, 7(1):1-19, jan./abr. 1983.

LORENZI H. **Árvores Brasileiras** – Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa, SP: Editora Plantarum, 368p., 1992.

LUIZÃO, F.J. **Produção e decomposição da liteira de terra firme da Amazônia central. Aspectos químicos e biológicos da lixiviação e remoção dos nutrientes da liteira.** (Diss. Mestr.). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade do Amazonas Manaus, 1982. 109p.

LUIZÃO, F.J.; SCHUBART, H.O.R. Produção e decomposição de liteira em floresta de terra firme da Amazônia central. **Acta Limnologica Brasilica**, v.1, p.575-600, 1987.

MA, JIANFENG; SASAKI, M.; MATSUMOTO, H.; MA, J.F. Al-induced inhibition of root elongation in corn, *Zea mays* L. is overcome by Si addition. **Plant-and-Soil**, 188: 2, 171-176, 1997.

MA, Z. & MIYASAKA S. C. Oxalate exudation by taro in response to Al. **Plant Physiology**, 118: 861-865, 1998.

MA, F. J.; HIRADATE, S.; MATSUMOTO, H. High aluminum resistance in buckwheat. II. Oxalic acid detoxifies aluminum internally. **Plant Physiology**, 117:753-759, 1998.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná.** 2<sup>o</sup> ed. Rio de Janeiro : José Olympio, 1981. 450p.

MACHLIS, L. & TORREY, J.G. In: Research experiences in plant physiology - Laboratory manuals. Springer-Verlag, New York, 1974. 462p.

MALCOLM, R.L.; MCCRACKEN, R.J. Canopy drip: a source of mobile soil organic matter for mobilization of iron and aluminium. **Proc. Soil Sci. Soc. Amer**, 32 (6):834-8, 1968.

MARSCHNER H. Mechanisms of adaption of plants to acid soils. **Plant and Soil** 134:1-20, 1991.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** London : Academic Press, 1986. 674 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** London: Academic Press, 1995a. 889 p.

MARSCHNER, H. Rhizosphere pH effects on phosphorus nutrition. In: **Genetic manipulation of crop plants to enhance integrated nutrient management in cropping systems.-1.** Phosphorus: proceedings of FAO/ICRISAT. p. 107-115, 1995b.

MARSCHNER H. & RÖMHELD V. In vivo measurement of root-induced pH changes at the soil-root interface: effect of plant species and nitrogen source. **Z. Pflanzenphysiol. Bd.** 111 S. 241-251, 1983.

MARSCHNER, H. & DELL, B. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. **Plant and Soil**, 159: 89-102, 1994.

MARTIN R.B. Aluminum: A neurotoxic product of acid rain. **Acc.Chem.Res.** 27: 204-210, 1994.

MASION A. & BERTSCH P.M. Aluminium speciation in the presence of wheat root cell walls: a wet chemical study. **Plant, Cell and Environment**, 20: 504-512. 1997.

MATSUMOTO, H.; HIRASAWA E.; MORIMURA S.; TAKAHASHI E. Localization of aluminium in tea leaves. **Plant & cell Physiol.**, 17:627-631, 1976.

MATSUMOTO, H.; MORIMURA, S.; TAKAHASHI, E. Binding of aluminium to DNA of DNP in pea root nuclei. **Plant Cell Physiol.**, 18:987-993, 1977.

MATSUMOTO H. Biochemical mechanism of the toxicity of aluminium and the sequestration of aluminium in plant cells. In: **Plant-soil interactions at loww pH**. p. 825-838, 1991.

MAZORRA, M. A.; SAN JOSE J. J.; MONTES R.; GARCIA MIRAGAYA J.; HARIDASAN M. Aluminium concentration in the biomass of native species of the Morichals (swamp palm community) at the Orinoco Llanos, Venezuela. **Plant and Soil**, 102, 275-277, 1987.

MCBRIDE M.B. Environmental chemistry of soils. Oxford University Press, Inc. New York., 1994, 406 p.

MEDEIROS R. A. & HARIDASAN M. Seasonal variations in the foliar concentrations of nutrients in some aluminium accumulating and non-accumulating species of the cerrado region of central Brazil. **Plant and Soil**, 88: 433-436, 1985.

MENEZES-SILVA S. **As formações vegetais da planície litorânea da Ilha do Mel, Paraná, Brasil: composição florística e principais características estruturais.** Campinas (Tese), Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas. 262p. 1998.

MENGEL, K. & KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition.** 4<sup>th</sup> ed. 1987. 686p.

MIYASAKA S. C.; KOCHIAN L. V.; shaff J. E.; Foy C. D. Mechanisms of aluminum tolerance in wheat. **Plant Physiol.**, 91: 1188-1196, 1989.

MIYASAKA S.C., BUTA J.G., HOWELL R.K.FOY C.D. Mechanism of aluminum tolerance in Snapbeans. **Plant Physiol.** 96:737-743, 1991.

MIYAZAWA M.; PAVAN M.; FRANCHINI J. C. Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais. **Informações Agronômicas** 92, Potafos (encarte técnico), 2000.

MORAIS, R. M. **Ciclagem de nutrientes minerais em mata atlântica de encosta e mata sobre restinga, na Ilha do Cardoso, Cananéia, SP: produção de serapilheira e transferência de nutrientes.** São Paulo, 1993. 151 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Geral) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo.

NAGATA T.; HAYATSU M.; KOSUGE N. Identification of aluminium forms in tea leaves by  $^{27}\text{Al}$  NMR. **Phytochemistry**. 31(4):1215-1218, 1992.

NAGATA T.; HAYATSU M.; Kosuge N. Aluminium kinetics in the tea plant using  $^{27}\text{Al}$  and  $^{19}\text{F}$  NMR. **Phytochemistry**, 32(4):771-775, 1993.

NEWSHAM, K. K.; FITTER, A. H.; WATKINSON, A. R. Arbuscular mycorrhiza protect an annual grass from root pathogenic fungi in the field. **Journal of Ecology**, 83:991-1000, 1995.

NEVES J.C.L.; NOVAIS R.F. & BARROS N.F. Efeito do alumínio em solução nutritiva no crescimento e absorção de nutrientes por *Eucalyptus* spp. **Rev. árvore** 6(1):1-16, 1982a.

NEVES J.C.L.; BARROS N.F.; NOVAIS R.F. & ANJOS J.L. Efeito do alumínio em amostras de dois latossolos sob cerrado sobre o crescimento e a absorção de nutrientes de mudas de *Eucalyptus* spp. **Rev. árvore** 6(1): 17-28, 1982.

NOBLE A. D.; FEY M. V.; SUMNER M. E. Calcium-Aluminum balance and the growth of soybean roots in nutrient solutions. **Soil Sci Soc. Am. J.**, 52:1651-1656, 1988.

NORDSTROM D.K. & MAY M. H. Aqueous equilibrium data for mononuclear aluminum species. In: **The environmental Chemistry of Aluminum**. Sposito G. (ed.), Lewis Publishers. P.39-79, 1996.

NOSKO, P.; BRASSARD, P.; KRAMER, J.R. & KERSHAW, K.A. The effect of aluminum on seed germination and early seedling establishment, growth, and respiration of white spruce (*Picea glauca*). **Can. J. Bot.** 66:2305-2310, 1988.

OENE, H. A mechanistic model for the inhibiting effects of aluminium on the uptake of cations. **Z. Pflanzenernähr. Bodenk.**, 161, 661-670, 1998.

OLMOS J.I.L. Camargo M.N. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. **Ciência e Cultura** 28 (2): 171-180, 1976.

OSAKI, M.; SITTIBUSH, C.; NUYIM, T. Nutritional characteristics of plants grown in peat and acid sulfate soils distributed in Thailand and Malaysia. In: **A tropical Swamp forest ecosystem and its greenhouse gas emission**, Vijarsorn et al (eds), p.63-76, 1995.

OSAKI, M.; WATANABE, T.; TADANO, T. Beneficial effect of aluminum on growth of plants adapted to low pH soils. **Soil-Science-and-Plant-Nutrition**.43: 3, 551-563,1997.

OSAKI,M; WATANABE,T; ISHIZAWA,T; NILNOND,C; NUYIM,T; SITTIBUSH,C; TADANO,T. Nutritional characteristics in leaves of native plants grown in acid sulfate, peat, sandy podzolic, and saline soils distributed in Peninsular Thailand. **Plant-and-Soil** 201: 2, 175-182, 1998.

OSTATEK-BOCZYNSKI, Z.; KERVEN G. L.; BLAMEY F.P.C. Aluminium reactions with polygalacturonate and related organic ligands. **Plant and Soil**, 171:41-45, 1995.

PARKER D. R.; KINRAIDE T. B.; ZELAZNY L. W. Aluminium speciation and phytotoxicity in dilute hydroxy-aluminium solutions. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 52:438-444, 1988.

PAVAN, M.A. & BINGHAM F. T. Toxicity of aluminum to coffee seedlings grown in nutrient solution. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 46:993-997, 1982.

PELLET, D. M.; GRUNES D. L.; KOCHIAN L. V. Organic acid exudation as an aluminum-tolerance mechanism in maize (*Zea mays* L.). **Planta**, 196:788-795, 1995.

PELLET, D. M.; PAPERNIK, L. A.; KOCHIAN, V. Multiple aluminum-resistance mechanisms in wheat. Roles of root apical phosphate and malate exudation. **Plant Physiology**, 112:591-597, 1996.

PETERSON C. A. & CHOLEWA E. Structural modifications of the apoplast and their potential impact on ion uptake. **Z. Pflanzenernähr. Bodenk.**, 161:521-531, 1998.

PHILLIPS, J.M. & HAYMAN, D.S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizae fungi for rapid assessment of infection. **Transactions of British Mycological Society**, London, 55(1):58-61, 1970.

POHLMAN, A.A.; MCCOLL, J.G. Organic oxidation and manganese and aluminum mobilization in forest soils. **Soil-Science-Society-of-America-Journal**, 53: 3, 686-690, 1988.

PUTHOTA, V.; CRUZ-ORTEGA, R.; JOHNSON, J.; OWNBY, J. An ultrastructural study of inhibition of mucilage secretion in the wheat root cap by aluminium. In: **Plant-soil interactions at low pH**, R. J. Wright (eds), p. 779-787, 1991.

RAHMAN, M.T.; Kawamura, K.; Koyama, H.; Hara, T. Varietal differences in the growth of rice plants in response to aluminum and silicon. **Soil-Science-and-Plant-Nutrition**, 44: 3, 423-431, 1998.

RAVEN, J. The transport and function of silicon in plants. **Biol. Rev.**, 58:179-207, 1983.

REITZ, P. R. Vegetação da zona marítima de Santa Catarina. **Sellowia** 13:17-115, 1961.

RENGEL Z. Competitive  $Al^{3+}$  inhibition of net  $Mg^{2+}$  uptake by intact *Lolium multiflorum* roots. 93: 1261-1267, 1990.

RENGEL Z. Role of calcium in aluminium toxicity. **New Phytol.** 12:499-513, 1992.

REYNOLDS, B. A simple method for the extraction of soil solution by high speed centrifugation. **Plant and Soil**, 78:437-440, 1984.

RITCHIE G.S.P. Soluble aluminium in acidic soils: Principles and practicalities. **Plant and Soil** 171:17-27, 1995.

RÖMHELD V. pH changes in the rhizosphere of various crop plants, in relation to the supply of plant nutrients. **Monthly communications by the international Potash Institute**. Berne, 12: 1-8, 1986.

ROSS D. S.; BARTLETT R. J.; MGDORFF F. R. Exchangeable cations and the pH-independent distribution of cation exchange capacities in Spodosols of a forested watershed. In: **Plant-soil interaction at low pH**. R. J. Wright et al. (Eds.). p. 81-92, 1991.

RYAN P.R., DITOMASO J.M., JOCHIAN L.V. Aluminium toxicity in roots: an investigation of spatial sensitivity and the role of the root cap. **J. Exp. Bot.** 44:437-446, 1993.

RYAN P.R. KINRAIDE R.B., KOLCHIAN L.V.  $Al^{3+}$ - $Ca^{2+}$  interactions in aluminum rhizotoxicity. I. Inhibition of root growth is not caused by reduction of calcium uptake. **Planta** 192:98-103, 1994.

RYAN P. R.; REID R. J.; SMITH F. A. Direct evaluation of the  $Ca^{2+}$  - displacement hypothesis for Al toxicity. **Plant Physiol.**, 113:1351-1357, 1997.

ROY A.K., ARCHANA S. & TALUKDER. Some aspects of aluminium toxicity in plants. **The Botanical Review**, 54: 145-178, 1988.

SANCHEZ P. A & SALINAS J.G. Low input technology for managing Oxisols and Ultisols in tropical America. **Advances in Agronomy** 34:280-406, 1981

SANDERS F. E. & SHEIKH N. A.. The development of vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in plant root systems. **Plant and Soil**, 71:223-246, 1983.

SATTELMACHER B.; MÜHLING K. H.; PENNEWIB. The apoplast – its significance for the nutrition of higher plants. **Z. Pflanzenernähr. Bodenk.**, 161, 485-498, 1998.

SCHNITZER, M. Humic substances: chemistry and reactions. In: **Soil organic matter**. Schnitzer & Khan (eds). **Developments in Soil Science** 8. p. 1-63, 1978.

SCHNITZER, M. & SKINNER, S. I. M. Organo-metallic interactions in soils: 4. Carboxyl and hydroxyl groups in organic matter and metal retention. **Soil Science**, 99(4): 278-284, 1985.

SCHNITZER M. & GUPTA V.G. Determination of acidity in soil organic matter. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.** 29:274-277.

SIEGEL, N. & HAUG, A. Calmodulin-dependent formation of membrane potential in barley root plasma membrane vesicles: a biochemical model of aluminum toxicity in plants. **Physiologia Plantarum**, 59:285-291, 1983a.

SIEGEL, N. & HAUG, A. Aluminum interaction with calmodulin: evidence for altered structure and function from optical and enzymatic studies. **Biochim. Biophys. Acta**, 744: 36-45, 1983b.

SILVA, S.M. **Composição florística e fitossociologia de um trecho de floresta de restinga na Ilha do Mel, município de Paranaguá, PR.** (Diss.Mestr.) - Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1990. 146p.

SILVA, S.M.; BRITZ R.M.; SOUZA, W.S.; ATHAYDE S.F.; LIMA R.X. Vegetação e flora da Ilha do Mel. IN: Silva S.M. e Athayde S.F. (Coord.) **Ilha do Mel: História Natural & Conservação**. Curitiba. UFPR. 1994.

SILVA I. R.; JOT SMYTH T.; MOXLEY D. F.; CARTER R. E.; ALLEN N. S.; RUFTY T.W. Aluminum accumulation at nuclei of cells in the root tip. Fluorescence detection using lumagallion and confocal laser scanning microscopy. **Plant Physiology**, 123: 543-552, 2000.

SIMÕES J. W.; COUTO H. T. Z.; KAJIYA S. Tolerância do pinheiro do Paraná (*Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze) a teores crescentes de Alumínio. **IPEF**, p.93-102, 1973.

SIQUEIRA, J. O. & MOREIRA, F. M. S. Microbial populations and activities in highly-weathered acidic soils: highlights of the Brazilian research. In: **Plant-soil interactions at low pH**. A. C. Moniz et al (eds), p. 139-159, 1997.

SMITH, L.B. & DOWNS, R. J. Resumo preliminar das Rubiáceas de Santa Catarina. **Sellowia** 7: 13-86, 1956.

SMITH, W. Release of organic materials from the roots of tree seedlings. **Forest Science**, v.15(2): 138-143, 1969.

SMITH, S. E. & GIANINAZZI-PEARSON, V. Physiological interactions between symbiosis in vesicular-arbuscular mycorrhizal plants. **Ann. Rev. Plant Physiol. Mol. Biol.**, 39:211-244, 1988.

SPOSITO, G. **The environmental chemistry of aluminum**. Lewis Publishers. 464p.1996.

STARK, N.; JORDAN, C.F. Nutrient retention by the root mat of an amazonian rain forest. **Ecology**, Durham, v.59, n.3, p.434-437, 1978.

STEVENSON F.J. **Cycles of soil – Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients**. Wiley-Interscience publication, USA, 380p. 1986.

SUHAYDA, C. G. & HAUG, A. Organic acids reduce aluminum toxicity in maize root membranes. **Physiologia Plantarum**, 68:189-195, 1986.

TAM, S.C.; MCCOLL, J.G. Aluminium-binding ability of soluble organics in Douglas fir litter and soil. **Soil-Science-Society-of-America-Journal**, 55: 5, 1421-1427, 1991.



- TANAKA A.; TADANO T.; YAMAMOTO K.; KANAMURA N. Comparison of toxicity to plants among  $Al^{3+}$ ,  $AlSO_4^+$ , and Al-F complex ions. **Soil Sci. Plant. Nutr.**, 33(1): 43-45, 1987.
- TAKEDA, K.; KARIUDA M.; ITOI H. Blueing of sepal colour of *Hydrangea macrophylla*. **Phytochemistry**, 24(10):2251-2254, 1985.
- TAYLOR, G. J. Current views of the aluminum stress response: the physiological basis of tolerance. **Curr. Top. Plant Biochem. Physiol.**, 10:57-93, 1991.
- TAYLOR G.J. Overcoming barriers to understanding the cellular basis of aluminium resistance. *Plant and Soil* 171:89-103, 1995.
- TENNANT, D. A test of modified line intersect method of estimating root length. **Journal of Ecology**, 64:995-1001, 1975.
- TICE K.R.; PARKER D. R.; DEMASON D.A. Operationally defined apoplastic and symplastic aluminum fractions in root tips of aluminum-intoxicated wheat. **Plant Physiol.** 100:309-318, 1992.
- TINSDALL, J. M. Possible role of soil microorganisms in aggregation in soils. *Plant and Soil*, 159:115-121, 1994.
- TOMÉ JR., JUAREZ BARBOSA, 1997. Manual para interpretação de análise de solo. Livraria e Editora Agropecuária, Guaíba-RS. 247p.
- TRUFFEN, S.F.B. Aspectos ecológicos de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares de mata tropical úmida da Ilha do Cardoso, SP, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v.4, n.2, p.31-46, 1990a.
- TRUFFEN, S.F.B. Aspectos ecológicos de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares de mata tropical úmida da Ilha do Cardoso, SP, Brasil. In: II SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DA COSTA SUL E SUDESTE BRASILEIRA: SÍNTESE DOS CONHECIMENTOS : águas de Lindóia). **Anais...** São Paulo, ACIESP, n. 71-III, p. 478-487, 1990b.
- TRUFFEN, S.F.B.; OTOMO, H.S.; MALATINSZKY, S.M.M. Fungos micorrízicos vesículo-arbusculares em rizosferas de plantas em dunas do Parque Estadual da Ilha do Cardoso, São Paulo, Brasil. I. Taxonomia. In: XL CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA (1989 : Cuiabá). **Anais...** Brasília: SOCIEDADE BOTÂNICA DO BRASIL, *Acta Botanica Brasilica* Brasília, v.3 (supl.), n.2, p.141-152, 1989.
- UEXKÜLL H.R. VON & MUTERT E. Global extent, development and economic impact of acid soils. **Plant and Soil** 171:105-112, 1995
- VALE, F.R.; Novais R.F. & Barros N.F. Influência do alumínio sobre a absorção de nitrogênio e fósforo por mudas de eucalipto. **Rev. árvore** 6(1):90-94, 1982.
- VALE, F.R.; Novais R.F.; Barros N.F. & Sant'Ana R. Efeito do alumínio sobre a cinética de absorção de amônio e nitrato em raízes intactas de *Eucalyptus alba*. **Rev. árvore** 8(2):123-132, 1984.

VANCE G.F., STEVENSON F.J., SIKORA F.J. Environmental Chemistry of Aluminum-organic complexes. In: **The environmental Chemistry of Aluminum**. Sposito G. (ed.), Lewis Publishers. P.169-220, 1996.

VAZQUEZ D. M.; POSCHENRIEDER C.; CORRALES I.; BARCELÓ J. Change in apoplastic aluminum during the initial growth response to aluminum by roots of a tolerant maize variety. **Plant Physiology**, 119:435-444, 1999.

VELOSO, H.P. & KLEIN, R. M. As comunidades e associações vegetais da mata pluvial do sul do Brasil – I. As comunidades do município de Brusque, Estado de Santa Catarina. **Sellowia** 8:81-235, 1957.

VELOSO, H.P. & KLEIN, R. M. As comunidades e associações vegetais da mata pluvial do sul do Brasil – II. Dinamismo e fidelidade das espécies em associações do município de Brusque, Estado de Santa Catarina. **Sellowia** 10:9-123, 1959.

VELOSO, H.P. & KLEIN, R. M. As comunidades e associações vegetais da mata pluvial do sul do Brasil – III. As associações da planície costeira. **Sellowia** 13:205-259, 1961.

VELOSO, H.P. & KLEIN, R. M. As comunidades e associações vegetais da mata pluvial do sul do Brasil – IV. As associações situadas entre o rio Tubarão e a lagoa dos Barros. **Sellowia** 15:57-113, 1963.

VELOSO, H.P. & KLEIN, R. M. As comunidades e associações vegetais da mata pluvial do sul do Brasil – V. Agrupamentos arbóreos da encosta catarinense, situados em sua parte norte. **Sellowia** 20:53-126, 1968.

VELOSO, H.P. & KLEIN, R. M. As comunidades e associações vegetais da mata pluvial do sul do Brasil – VI. Agrupamentos arbóreos dos contra fortes da Serra Geral situados ao sul da encosta catarinense e ao norte da costa rio-grandense. **Sellowia** 20:127-180, 1968.

VELOSO H.P.; RANGEL FILHO A.L.R.; LIMA J.C.A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1991. 124 p.

VOGT, K.A.; DAHLGREN, R.; UGOLINI, F.; ZABOWSKI, D.; MOORE, E.E.; ZASOSKI, R. Aluminium, Fe, Ca, Mg, K, Mn, Cu, Zn and P in above- and belowground biomass. I. *Abies amabilis* and *Tsuga mertensiana*. **Biogeochemistry**, 4: 3, 277-294, 1987a.

VOGT, K.A.; DAHLGREN, R.; UGOLINI, F.; ZABOWSKI, D.; MOORE, E.E.; ZASOSKI, R. Aluminium, Fe, Ca, Mg, K, Mn, Cu, Zn and P in above- and belowground biomass. II. Pools and circulation in a subalpine *Abies amabilis* stand. **Biogeochemistry**, 4: 3, 295-311, 1987b.

WAGATSUMA T.; KANEKO M.; HAYASAKA Y. Destruction process of plant root cells by aluminum. **Soil-Science-and-Plant-Nutrition**, 33(2):161-175, 1987.

WAGATSUMA T.; KAWASHIMA T.; TAWARAYA T. Comparative stainability of plant root cells with basic dye (methylene blue) in association with aluminum tolerance. **Commun. In Soil Sci. Plant Anal.**, 19(7-12), 1207-1215, 1988.

WATANABE, T.; OSAKI, M.; TADANO, T. Aluminum-induced growth stimulation in relation to calcium, magnesium, and silicate nutrition in *Melastoma malabathricum* L. **Soil Sci. Plant Nutr.**, 43:827-837, 1997.

WATANABE, T.; OSAKI, M.; TADANO, T. Effects of nitrogen source and aluminum on growth of tropical tree seedlings adapted to low pH soils. **Soil-Science-and-Plant-Nutrition**, 44: 4, 655-666, 1998.

WHEELER D.M.; EDMEADES, D.C.; CHRISTIE, R. A. Effect of aluminum on plant chemical concentrations in some temperate grasses grown in solution culture at low ionic strength. **J. Plant Nutr.** 15:387-402, 1992a.

WHEELER D.M.; EDMEADES, D.C.; CHRISTIE, R. A. Effect of aluminum on relative yield and plant chemical concentrations for cereals grown in solution culture at low ionic strength. **J. Plant Nutr.** 15:403-418, 1992b.

WHEELER D.M.; EDMEADES, D.C.; CHRISTIE, R. A. Effect of aluminium on the growth of 34 plant species: A summary of results obtained in low ionic strength solution culture. In: **Genetic aspects of plant mineral nutrition**. P.J. Randall et al (eds) p. 75-80, 1993.

WHEELER D. M. & DODD M.B. Effect of aluminium on yield and plant chemical concentrations of some temperate legumes. **Plant and Soil** 173: 133-145, 1995.

WISSEMEIER A. H.; HAHN G.; MARSCHNER H.. Callose in roots of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) is a sensitive parameter for aluminium supply at a forest site (Höglwald). **Plant and Soil**, 199:53-57, 1998.

WRIGHT R.J.; BALIGAR V. C.; AHLRICHS J. L. The influence of extractable and soil solution aluminum on root growth of wheat seedlings. **Soil Science**, 148 (4):293-302, 1989.

YU Q.; TANG C.; KUO J. A critical review on methods to measure apoplastic pH in plants. **Plant and Soil** 219: 29-40, 2000.

ZHANG G.& TAYLOR G. J. Kinetics of aluminum uptake by excised roots of aluminum-tolerant and aluminum-sensitive cultivars of *Triticum aestivum* L. **Plant Physiology**, 91: 1094-1099, 1989.

ZHANG G.& TAYLOR G. J. Kinetics of Aluminum uptake in *Triticum aestivum* L. **Plant Physiology**, 94:577-584, 1990.

ZHAO X.; SUCOFF E.; Stadelmann e. J.  $Al^{3+}$  and  $Ca^{2+}$  alteration of membrane permeability of *Quercus rubra* root cortex cells. **Plant Physiol.**, 83: 159-162, 1987.

ZHENG, S. J.; MA, J. F.; MATSUMOTO, H. Continuous secretion of organic acids is related to aluminium resistance during relatively long term exposure to aluminium stress. **Physiologia Plantarum**, 103:209-214, 1998.

## 7. ANEXOS

## ANEXO 1 – CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO

Horizonte	C	pH CaCl <sub>2</sub>	Cátions trocáveis					H	S	T	V	m	P
			Ca	Mg	K	Na	Al						
Perfil 1													
	g.kg <sup>-1</sup>											%	mg.kg <sup>-1</sup>
A1	35	3,4	3	7	0,9	0,2	7	77	11,1	95,1	11,7	38,7	3,0
A2	10	3,6	4	3	0,1	0,3	4	26	7,4	37,4	19,8	35,1	1,0
E	1	4,1	2	2	0,0	0,1	2	22	4,1	28,1	14,6	32,8	1,0
Bh1	3	3,8	3	5	0,0	0,2	5	27	8,2	40,2	20,4	37,9	1,0
Bh2	9	3,4	2	6	0,0	0,3	12	36	8,3	56,3	14,7	59,1	1,0
Bh3	14	3,5	3	4	0,0	0,2	18	60	7,2	85,2	8,5	71,4	1,0
Bhs	10	3,6	4	2	0,0	0,3	12	50	6,3	68,3	9,2	66,6	1,0
Perfil 2													
A	40	3,4	3	6	1,2	0,4	14	90	10,6	114,6	9,2	56,9	7,0
E	4	3,7	2	2	0,0	0,1	5	27	4,1	36,1	11,4	54,9	1,0
Bs1	2	4,0	2	2	0,0	0,3	6	31	4,3	41,3	10,4	58,3	1,0
Bs2	1	4,2	2	3	0,0	0,3	4	26	5,3	35,3	15,0	43,0	1,0
Bs3	2	4,1	3	3	0,0	0,2	8	26	6,2	40,2	15,4	56,3	4,0
C	1	4,2	2	2	0,0	0,1	6	21	4,1	31,1	13,2	59,4	1,0

## ANEXO 2 – COMPOSIÇÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA DE MACHLIS &amp; TORREY

Soluções	Concentração	
	mmol L <sup>-1</sup>	μ mol L <sup>-1</sup>
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	10	
KNO <sub>3</sub>	10	
MgSO <sub>4</sub>	4	
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	2	
Fe EDTA		40,00
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>		92,00
MnCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O		28,00
ZnCl <sub>2</sub>		1,62
CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O		0,56
Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O		0,26

ANEXO 3 – MÉDIAS, DESVIO PADRÃO E COMPARAÇÃO DE MÉDIAS DOS PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO, TRATADOS COM DOSES CRESCENTES DE Al, NO EXPERIMENTO COM O PLANTIO DE *T. guianensis* NA FLORESTA.

SOLO NÃO RIZOSFÉRICO										
TRAT. (mg/kg)	pH (CaCl <sub>2</sub> )		Al (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )		H + Al (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )		Ca + Mg (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )			
	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.
0	3,54	0,09	0,90	0,16	9,20	1,22	1,28	0,19		
25	3,34	0,09	0,94	0,32	12,08	1,91	1,08	0,41		
50	3,30	0,07	0,88	0,48	12,44	1,99	0,72	0,16		
100	3,28	0,04	1,20	0,23	14,60	3,43	0,58	0,04		
150	3,26	0,11	1,20	0,31	13,28	2,38	0,62	0,11		
TRAT. (mg/kg)	Ca (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )		K (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )		T (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )		P (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )		SB (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	
	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.
0	0,80	0,10	0,054	0,011	10,59	1,17	9,00	3,54	1,33	0,19
25	0,68	0,23	0,048	0,011	13,21	2,23	8,40	2,19	1,13	0,41
50	0,44	0,09	0,056	0,011	13,22	2,07	9,00	3,16	0,78	0,17
100	0,38	0,04	0,054	0,011	15,23	3,45	9,20	2,39	0,63	0,05
150	0,40	0,10	0,054	0,005	13,95	2,44	9,20	1,64	0,67	0,11
TRAT. (mg/kg)	C (g/dm <sup>3</sup> )		m (%)		V (%)		Al total (g/kg)		Al mon.(mg/Kg)	
	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.
0	36,12	8,05	39,39	6,28	13,34	3,19	1,09	0,32	2,14	0,29
25	37,38	9,90	45,57	3,60	8,37	2,14	1,60	0,21	2,09	0,09
50	40,76	4,57	56,68	3,88	5,90	1,04	1,44	0,29	2,47	0,18
100	46,24	5,68	65,00	5,20	4,28	0,74	1,35	0,17	2,91	0,16
150	41,52	10,04	63,59	3,18	4,89	0,72	1,39	0,20	2,89	0,37
SOLO RIZOSFÉRICO										
TRAT. (mg/kg)	pH (CaCl <sub>2</sub> )		Al (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )		H + Al (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )		Ca + Mg (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )			
	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.
0	3,50	0,07	1,06	0,33	11,28	2,11	1,64	0,49		
25	3,32	0,08	0,94	0,09	13,94	2,01	0,94	0,17		
50	3,32	0,04	1,28	0,26	15,24	3,67	0,72	0,19		
100	3,28	0,04	1,72	0,20	15,84	2,72	0,60	0,10		
150	3,32	0,04	1,86	0,48	16,32	4,06	0,60	0,07		
TRAT. (mg/kg)	Ca (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )		K (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )		T (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )		P (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )		SB (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	
	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.
0	1,00	0,35	0,070	0,020	12,99	2,39	8,00	2,92	1,71	0,50
25	0,62	0,13	0,074	0,005	14,95	2,02	9,00	2,12	1,01	0,17
50	0,44	0,11	0,074	0,015	16,03	3,87	9,80	2,28	0,79	0,21
100	0,36	0,05	0,090	0,016	16,53	2,79	12,40	4,10	0,69	0,12
150	0,40	0,07	0,086	0,009	17,01	4,08	12,20	1,79	0,69	0,07
TRAT. (mg/kg)	C (g/dm <sup>3</sup> )		m (%)		V (%)		Al total (g/kg)		Al mon.(mg/Kg)	
	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.
0	41,04	8,16	38,48	5,58	13,16	3,46	1,26	0,38	1,95	0,28
25	45,84	5,08	48,28	3,42	6,85	1,31	1,54	0,33	2,68	0,31
50	46,04	4,90	61,89	2,91	4,94	0,32	1,52	0,17	3,42	0,58
100	48,02	7,73	71,38	3,33	4,20	0,60	1,51	0,40	3,79	0,15
150	49,00	7,94	72,37	5,37	4,20	0,99	1,29	0,14	3,64	0,15

T- Capacidade de troca catiônica total, SB- soma de bases, m- saturação com Al, V- saturação em bases.

ANEXO 4- ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO RIZOSFÉRICO E NÃO RIZOSFÉRICO DOS EXPERIMENTOS REALIZADOS NA FLORESTA COM *T. guianensis* SUBMITIDA A DOSES CRESCENTES DE Al.

continua

<b>pH</b>							
Fonte de variação	Graus Liberdade	Soma Quadrado	Quadrado Médio	F	F Requerido		
					5%	1%	
Blocos	4	0,0532					
Tipo de solo(1)	1	0,0002	0,0002	0,0454 <sup>ns</sup>	4,1	7,4	
Níveis de Al (2)	4	0,3932	0,0983	22,340 <sup>**</sup>	2,63	3,9	
1x2	4	0,0148	0,0037	0,8409 <sup>ns</sup>	2,63	3,9	
Erro	37	0,1628	0,0044				
<b>Al</b>							
Fonte de variação	Graus Liberdade	Soma Quadrado	Quadrado Médio	F	F Requerido		
					5%	1%	
Blocos	4	0,932					
Tipo de solo(1)	1	1,521	1,521	19,194 <sup>**</sup>	4,10	7,40	
Níveis de Al (2)	4	3,074	0,768	9,698 <sup>**</sup>	2,63	3,90	
1x2	4	0,716	0,179	2,260 <sup>ns</sup>	2,63	3,90	
Erro	37	2,932	0,079				
<b>H + Al</b>							
Fonte de variação	Graus Liberdade	Soma Quadrado	Quadrado Médio	F	F Requerido		
					5%	1%	
Blocos	4	122,215					
Tipo de solo(1)	1	60,720	60,720	13,428 <sup>**</sup>	4,10	7,40	
Níveis de Al (2)	4	156,013	39,003	8,626 <sup>**</sup>	2,63	3,90	
1x2	4	5,293	1,323	0,293 <sup>ns</sup>	2,63	3,90	
Erro	37	167,305	4,522				
<b>Ca + Mg</b>							
Fonte de variação	Graus Liberdade	Soma Quadrado	Quadrado Médio	F	F Requerido		
					5%	1%	
Blocos	4	0,453					
Tipo de solo(1)	1	0,024	0,024	0,498 <sup>ns</sup>	4,10	7,40	
Níveis de Al (2)	4	5,359	1,340	27,551 <sup>**</sup>	2,63	3,90	
1x2	4	0,351	0,088	1,804 <sup>ns</sup>	2,63	3,90	
Erro	37	1,799	0,049				
<b>Ca</b>							
Fonte de variação	Graus Liberdade	Soma Quadrado	Quadrado Médio	F	F Requerido		
					5%	1%	
Blocos	4	0,151					
Tipo de solo(1)	1	0,007	0,007	0,321 <sup>ns</sup>	4,1	7,4	
Níveis de Al (2)	4	1,995	0,499	22,253 <sup>**</sup>	2,63	3,9	
1x2	4	0,103	0,026	1,147 <sup>ns</sup>	2,63	3,9	
Erro	37	0,829	0,022				
<b>K</b>							
Fonte de variação	Graus Liberdade	Soma Quadrado	Quadrado Médio	F	F Requerido		
					5%	1%	
Blocos	4	0,0012					
Tipo de solo(1)	1	0,0082	0,0082	61,3571	4,1	7,4	
Níveis de Al (2)	4	0,0009	0,0002	1,7601 <sup>ns</sup>	2,63	3,9	
1x2	4	0,0007	0,0002	1,4006 <sup>ns</sup>	2,63	3,9	
Erro	37	0,0049	0,0001				
<b>T</b>							
Fonte de variação	Graus Liberdade	Soma Quadrado	Quadrado Médio	F	F Requerido		
					5%	1%	
Blocos	4	134,510					
Tipo de solo(1)	1	63,935	63,935	13,410 <sup>**</sup>	4,1	7,4	
Níveis de Al (2)	4	103,129	25,782	5,407 <sup>**</sup>	2,63	3,9	
1x2	4	5,377	1,344	0,282 <sup>ns</sup>	2,63	3,9	
Erro	37	176,412	4,768				

ANEXO 4- ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO RIZOSFÉRICO E NÃO RIZOSFÉRICO DOS EXPERIMENTOS REALIZADOS NA FLORESTA COM *T. guianensis* SUBMITIDA A DOSES CRESCENTES DE Al.

							conclusão
<b>S</b>	Graus	Soma	Quadrado			F Requerido	
Fonte de variação	Liberdad	Quadrado	Médio	F	5%	1%	
Blocos	4	0,487					
Tipo de solo(1)	1	0,061	0,061	1,190 <sup>ns</sup>	4,1	7,4	
Níveis de Al (2)	4	5,247	1,312	25,790**	2,63	3,9	
1x2	4	0,334	0,084	1,644 <sup>ns</sup>	2,63	3,9	
Erro	37	1,882	0,051				
<b>P</b>	Graus	Soma	Quadrado			F Requerido	
Fonte de variação	Liberdad	Quadrado	Médio	F	5%	1%	
Blocos	4	46,680					
Tipo de solo(1)	1	21,780	21,780	3,237 <sup>ns</sup>	4,1	7,4	
Níveis de Al (2)	4	47,080	11,770	1,750 <sup>ns</sup>	2,63	3,9	
1x2	4	31,320	7,830	1,164 <sup>ns</sup>	2,63	3,9	
Erro	37	248,920	6,728				
<b>C</b>	Graus	Soma	Quadrado			F Requerido	
Fonte de variação	Liberdad	Quadrado	Médio	F	5%	1%	
Blocos	4	1084,87					
Tipo de solo(1)	1	389,76	389,76	12,66**	4,1	7,4	
Níveis de Al (2)	4	436,01	109,00	3,54*	2,63	3,9	
1x2	4	67,17	16,79	0,55 <sup>ns</sup>	2,63	3,9	
Erro	37	1139,06	30,79				
<b>m</b>	Graus	Soma	Quadrado			F Requerido	
Fonte de variação	Liberdad	Quadrado	Médio	F	5%	1%	
Blocos	4	67,15					
Tipo de solo(1)	1	246,24	246,24	12,72**	4,1	7,4	
Níveis de Al (2)	4	6760,67	1690,17	87,30**	2,63	3,9	
1x2	4	137,05	34,26	1,77 <sup>ns</sup>	2,63	3,9	
Erro	37	716,37	19,36				
<b>V</b>	Graus	Soma	Quadrado			F Requerido	
Fonte de variação	Liberdad	Quadrado	Médio	F	5%	1%	
Blocos	4	12,391					
Tipo de solo(1)	1	5,869	5,869	1,873 <sup>ns</sup>	4,1	7,4	
Níveis de Al (2)	4	555,678	138,920	44,343**	2,63	3,9	
1x2	4	3,525	0,881	0,281 <sup>ns</sup>	2,63	3,9	
Erro	37	115,915	3,133				
<b>Al total</b>	Graus	Soma	Quadrado			F Requerido	
Fonte de variação	Liberdad	Quadrado	Médio	F	5%	1%	
Blocos	4	0,257					
Tipo de solo(1)	1	0,034	0,034	0,459 <sup>ns</sup>	4,1	7,4	
Níveis de Al (2)	4	0,905	0,226	3,014*	2,63	3,9	
1x2	4	0,151	0,038	0,504 <sup>ns</sup>	2,63	3,9	
Erro	37	2,778	0,075				
<b>Al monomérico</b>	Graus	Soma	Quadrado			F Requerido	
Fonte de variação	Liberdad	Quadrado	Médio	F	5%	1%	
Blocos	4	0,236					
Tipo de solo(1)	1	4,468	4,468	52,574**	4,1	7,4	
Níveis de Al (2)	4	12,868	3,217	37,857**	2,63	3,9	
1x2	4	2,126	0,532	6,255 <sup>ns</sup>	2,63	3,9	
Erro	37	3,144	0,085				

<sup>ns</sup> não significativo.

\* significativo a 5 % de probabilidade.

\*\* significativo a 1 % de probabilidade

ANEXO 5 – MATRIZES DE CORRELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO NO EXPERIMENTO COM *T. guianensis* NA FLORESTA.

*continua*

SOLO NÃO RIZOSFÉRICO														
	pH	Al	H+Al	Ca+Mg	Ca	K	T	S	P	C	m	V	Altotal	Almo
pH	1,00													
Al	-0,53**	1,00												
H+Al	-0,75**	0,60**	1,00											
Ca+Mg	0,40**	0,01	-0,33	1,00										
Ca	0,41**	0,01	-0,32	0,98**	1,00									
K	-0,21	0,32	0,52**	-0,02	-0,02	1,00								
T	-0,72**	0,62**	0,99**	-0,20	-0,20	0,54**	1,00							
S	0,39*	0,02	-0,31	1,00**	0,98**	0,01	-0,19	1,00						
P	-0,09	0,46**	0,45**	0,08	0,05	0,67**	0,49**	0,10	1,00					
C	-0,55**	0,67**	0,73**	-0,01	-0,04	0,49**	0,76**	0,00	0,39*	1,00				
m	-0,73**	0,52**	0,68**	-0,79**	-0,81**	0,20	0,59**	-0,79**	0,13	0,50**	1,00			
V	0,73**	-0,23	-0,65**	0,86**	0,85**	-0,15	-0,55**	0,86**	0,07	-0,35*	-0,89**	1,00		
Altotal	-0,31	0,05	0,33	-0,30	-0,33	0,05	0,30	-0,29	-0,12	0,15	0,30	-0,47**	1,00	
Almono	-0,47**	0,37*	0,48**	-0,64**	-0,64**	0,13	0,42**	-0,64**	0,17	0,25	0,78**	-0,60**	0,13	1,00
Tratam.	-0,62**	0,40**	0,51**	-0,70**	-0,70**	0,08	0,43**	-0,70**	0,07	0,32	0,84**	-0,73**	0,12	0,79**



ANEXO 5 -- MATRIZES DE CORRELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO NO EXPERIMENTO COM *T. guianensis* NA FLORESTA.

conclusão

SOLO RIZOSFÉRICO														
	pH	Al	H+Al	Ca+Mg	Ca	K	T	S	P	C	m	V	Alttotal	Almo
pH	1,00													
Al	-0,48**	1,00												
H+Al	-0,70**	0,74**	1,00											
Ca+Mg	0,67**	-0,34	-0,33	1,00										
Ca	0,63**	-0,33	-0,30	0,99**	1,00									
K	-0,45**	0,64**	0,69**	-0,05	0,01	1,00								
T	-0,63**	0,72**	0,99**	-0,19	-0,17	0,71**	1,00							
S	0,65**	-0,32	-0,30	1,00**	0,99**	-0,02	-0,17	1,00						
P	-0,40**	0,70**	0,56**	-0,21	-0,18	0,81**	0,56**	-0,19	1,00					
C	-0,57**	0,60**	0,84**	-0,17	-0,11	0,59**	0,85**	-0,15	0,43**	1,00				
m	-0,71**	0,77**	0,57**	-0,83**	-0,82**	0,37	0,47**	-0,82**	0,51**	0,42**	1,00			
V	0,83**	-0,49**	-0,59**	0,93**	0,91**	-0,24	-0,47**	0,93**	-0,36*	-0,44**	-0,87**	1,00		
Alttotal	-0,33	0,04	0,21	-0,28	-0,30	0,00	0,18	-0,28	0,20	0,11	0,15	-0,37*	1,00	
Almono	-0,73**	0,61**	0,59**	-0,81**	-0,78**	0,46**	0,50**	-0,80**	0,46**	0,43**	0,88**	-0,87**	0,14	1,00
Tratam.	-0,60**	0,75**	0,52**	-0,76**	-0,72**	0,46**	0,43**	-0,74**	0,55**	0,38*	0,93**	-0,78**	0,01	0,85**

ANEXO 6 – NÚMERO DE ESPOROS NO SOLO E PERCENTAGEM DE COLONIZAÇÃO DE MICORRIZAS NA RAIZ DE *T. guianensis*, DO EXPERIMENTO REALIZADO NA FLORESTA COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE AI

TRATAMENTOS	Contagem de esporos (n <sup>o</sup> /g)		Colonização das raízes (%)	
	Média	desvio padrão	média	desvio padrão
0	6,68	3,79	29,38	16,75
25	7,42	4,50	44,50	7,22
50	9,28	2,36	64,05	4,77
100	8,96	2,95	58,69	14,85
150	7,91	2,74	65,58	12,06

ANEXO 7 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CONTAGEM DE ESPOROS NO SOLO E COLONIZAÇÃO DE RAÍZES POR MICORRIZAS EM *T. guianensis*, NOS EXPERIMENTOS REALIZADOS EM CAMPO FRENTE A DOSES CRESCENTES DE AI.

Colonização Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Requerido	
					5%	1%
Tratamentos	4	2823,34	705,83	3,9999*	3,84	7,01
Blocos	2	31,43	15,72	0,0891 <sup>ns</sup>	4,46	8,65
Erro experimental	8	1411,71	176,46			
Total	14	4266,48				

Esporos Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Requerido	
					5%	1%
Tratamentos	4	23,156	5,789	0,503 <sup>ns</sup>	3,01	4,77
Blocos	4	41,603	10,401	0,904 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	16	184,164	11,510			
Total	24	248,923				

<sup>ns</sup> não significativo.

\* significativo a 5 % de probabilidade.

\*\* significativo a 1 % de probabilidade

ANEXO 8 – MATRIZES DE CORRELAÇÃO ENTRE O NÚMERO DE ESPOROS NO SOLO E PERCENTAGEM COLONIZAÇÃO DE MICORRIZAS EM *T. guianensis*, E OS PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO DO EXPERIMENTO REALIZADO NA FLORESTA COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE Al.

SOLO NÃO RIZOSFÉRICO							
	pH	Al	H + Al	Ca + Mg	Ca	K	T
Esporos (n=25)	0,14	-0,29	0,07	-0,31	-0,30	0,31	0,04
Colonização (n=15)	-0,51*	0,33	0,44*	-0,56**	-0,62**	0,11	0,39
	S	P	C	m	V	Al total	Al mono
Esporos (n=25)	-0,30	0,37	-0,21	-0,02	-0,09	0,08	0,21
Colonização (n=15)	-0,55**	0,16	0,33	0,60**	-0,53**	0,35	0,48*

SOLO RIZOSFÉRICO							
	pH	Al	H + Al	Ca + Mg	Ca	K	T
Esporos (n=25)	0,05	-0,14	-0,02	-0,06	-0,03	0,45*	-0,03
Colonização (n=15)	-0,59**	0,48*	0,53**	-0,62**	-0,58**	0,77**	0,48*
	S	P	C	m	V	Al total	Al mono
Esporos (n=25)	-0,05	0,42	-0,19	-0,05	0,00	0,18	-0,02
Colonização (n=15)	-0,61**	0,73**	0,24	0,63**	-0,61**	0,27	0,71**

\* significativo a 90 % de probabilidade.  
 \*\* significativo a 95 % de probabilidade

ANEXO 9 – MÉDIAS E DESVIO PADRÃO DOS PARÂMETROS DE CRESCIMENTO MEDIDOS EM *Tapirira guianensis*, DO EXPERIMENTO REALIZADO NA FLORESTA COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE Al.

TRATAMENTOS mg Al/kg de solo	Peso Folhas (g)		Peso Caule (g)		Peso Raiz (g)		Altura (cm)	
	média	dv. pad.	média	dv. pad.	média	dv. pad.	média	dv. pad.
t0	2,050	0,279	1,998	0,302	1,398	0,181	14,690	1,369
t25	1,680	0,263	1,810	0,162	1,188	0,292	14,748	1,006
t50	1,588	0,360	1,942	0,288	1,500	0,332	14,826	0,708
t100	1,182	0,203	1,770	0,051	1,426	0,177	14,859	0,522
t150	1,766	0,468	2,002	0,391	1,858	0,508	14,967	0,716

TRATAMENTOS	Diâmetro do Caule (cm)		Comprimento da raiz (m)		Peso/n° de Folhas	
	média	desv. padr.	média	desv. padr.	média	desv. padr.
t0	0,220	0,030	13,558	4,057	0,034	0,004
t25	0,191	0,014	14,960	5,410	0,034	0,006
t50	0,205	0,015	13,412	3,370	0,037	0,004
t100	0,201	0,012	12,702	3,312	0,037	0,008
t150	0,209	0,013	17,042	6,832	0,038	0,008

ANEXO 10 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS PARÂMETROS DE CRESCIMENTO DE *T. guianensis*, NOS EXPERIMENTOS REALIZADOS NA FLORESTA FRENTE A DOSES CRESCENTES DE AI

<b>Folhas</b>		Graus de	Soma dos	Quadrado	F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	4	1,986	0,496	5,867**	3,01	4,77
Blocos	4	0,792	0,198	2,341 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	16	1,354	0,085			
Total	24	4,132				
<b>Caule</b>		Graus de	Soma dos	Quadrado	F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	4	0,233	0,058	0,897 <sup>ns</sup>	3,01	4,77
Blocos	4	0,382	0,096	1,469 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	16	1,041	0,065			
Total	24	1,657				
<b>Raiz (peso)</b>		Graus de	Soma dos	Quadrado	F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	4	1,190	0,298	4,589**	3,01	4,77
Blocos	4	1,031	0,258	3,976*		
Erro experimental	16	1,037	0,065			
Total	24	3,258				
<b>Altura</b>		Graus de	Soma dos	Quadrado	F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	4	0,226	0,057	0,064 <sup>ns</sup>	3,01	4,77
Blocos	4	2,464	0,616	0,693 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	16	14,220	0,889			
Total	24	16,910				
<b>Diâmetro</b>		Graus de	Soma dos	Quadrado	F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	4	0,0023	0,0006	1,544 <sup>ns</sup>	3,01	4,77
Blocos	4	0,0005	0,0001	0,360 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	16	0,0060	0,0004			
Total	24	0,0089				
<b>Raiz (comprimento)</b>		Graus de	Soma dos	Quadrado	F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	4	118,808	29,702	1,044 <sup>ns</sup>	3,01	4,77
Blocos	4	212,067	53,017	1,864 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	16	455,072	28,442			
Total	24	785,947				
<b>Peso/nº folhas</b>		Graus de	Soma dos	Quadrado	F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	4	0,00006	0,00002	0,425 <sup>ns</sup>	3,01	4,77
Blocos	4	0,00017	0,00004	1,144 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	16	0,00059	0,00004			
Total	24	0,00082				

<sup>ns</sup> não significativo.

\* significativo a 5 % de probabilidade.

ANEXO 11 – MATRIZES DE CORRELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS MEDIDOS EM *Tapirira guianensis* E OS PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO, DO EXPERIMENTO REALIZADO NA FLORESTA COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE Al.

SOLO NÃO RIZOSFÉRICO							
	pH	Al	H + Al	Ca + Mg	Ca	K	T
Folhas	0,38*	0,16	-0,35*	0,41**	0,38*	0,07	-0,30
Caule	0,20	0,29	-0,04	0,00	0,00	0,26	-0,03
Raiz(peso)	-0,28	0,52**	0,29	-0,31	-0,36*	0,28	0,26
Altura	0,03	0,36*	0,09	-0,17	-0,22	0,15	0,07
Diâmetro	0,11	0,36*	-0,03	0,26	0,20	-0,07	0,00
Raiz(comprim.)	-0,30	0,30	0,05	0,04	0,00	0,08	0,05
Peso/nº Folhas	-0,22	0,51**	0,17	-0,11	-0,16	0,04	0,16
	P	C	m	V	Al total	Al monom.	
Folhas	0,23	-0,09	-0,38*	0,52**	-0,15	-0,48**	
Caule	0,43**	0,11	0,01	0,14	0,02	-0,01	
Raiz(peso)	0,26	0,41**	0,51**	-0,30	0,16	0,27	
Altura	0,45**	0,16	0,24	-0,05	0,23	0,09	
Diâmetro	0,02	0,20	0,00	0,25	-0,13	0,05	
Raiz(comprim.)	-0,06	0,24	0,14	-0,06	0,16	-0,07	
Peso/nº Folhas	0,30	0,37*	0,34*	-0,09	0,04	0,10	
SOLO RIZOSFÉRICO							
	pH	Al	H + Al	Ca + Mg	Ca	K	T
Folhas	0,48**	-0,09	-0,04	0,57**	0,58**	-0,10	0,04
Caule	0,26	0,25	0,21	0,37*	0,40**	0,27	0,27
Raiz(peso)	-0,15	0,62**	0,61**	-0,11	-0,08	0,43**	0,61**
Altura	-0,11	0,29	0,30	0,16	0,22	0,48**	0,33
Diâmetro	0,23	0,08	0,09	0,09	0,07	-0,08	0,11
Raiz(comprim.)	-0,16	0,34*	0,44**	0,02	0,06	0,30	0,46**
Peso/nº Folhas	-0,19	0,44	0,42**	-0,09	-0,09	0,15	0,42**
	P	C	m	V	Al total	Al monom.	
Folhas	-0,11	-0,04	-0,47**	0,52**	-0,37*	-0,48**	
Caule	0,26	0,19	-0,12	0,27	-0,33	-0,15	
Raiz(peso)	0,35*	0,46**	0,39*	-0,25	-0,26	0,41**	
Altura	0,40**	0,27	0,07	0,04	-0,39*	0,11	
Diâmetro	-0,03	0,06	-0,06	0,07	-0,19	-0,09	
Raiz(comprim.)	0,18	0,38*	0,13	-0,14	0,03	0,22	
Peso/nº Folhas	0,12	0,24	0,30	-0,17	-0,14	0,25	

\* significativo a 90 % de probabilidade.

\*\* significativo a 95 % de probabilidade

ANEXO 12 – MÉDIAS E DESVIO PADRÃO DOS NUTRIENTES E AI AVALIADOS EM *Tapirira guianensis*, NO EXPERIMENTO DA FLORESTA COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE AI.

continua

NITROGÊNIO	FOLHAS(g.Kg <sup>-1</sup> )		CAULE(g.Kg <sup>-1</sup> )		RAIZ(g.Kg <sup>-1</sup> )		
	Tratamentos	Média	Desvio padr.	Média	Desvio padr.	Média	Desvio padr.
0		16,01	1,26	11,56	3,36	9,83	0,98
25		15,90	1,71	10,30	1,20	11,76	1,49
50		17,10	0,97	10,15	1,26	12,51	1,35
100		18,45	1,41	13,07	1,56	11,81	2,03
150		18,78	0,76	14,09	1,25	12,71b	0,57
FÓSFORO	FOLHAS		CAULE		RAIZ		
Tratamentos	Média	Desvio padr.	Média	Desvio padr.	Média	Desvio padr.	
0		0,134	0,010	0,159	0,012	0,167	0,018
25		0,135	0,007	0,164	0,019	0,173	0,012
50		0,141	0,017	0,176	0,019	0,156	0,014
100		0,142	0,009	0,202	0,026	0,164	0,012
150		0,135	0,005	0,187	0,016	0,161	0,013
POTÁSSIO	FOLHAS		CAULE		RAIZ		
Tratamentos	Média	Desvio padr.	Média	Desvio padr.	Média	Desvio padr.	
0		9,01	0,44	8,97	0,81	7,36	1,59
25		12,73	0,70	11,29	1,33	6,79	0,68
50		11,80	2,03	10,16	1,27	8,33	0,93
100		14,12	0,88	11,87	0,72	6,85	0,64
150		17,56	1,19	11,63	0,52	7,84	0,95
CÁLCIO	FOLHAS		CAULE		RAIZ		
Tratamentos	Média	Desvio padr.	Média	Desvio padr.	Média	Desvio padr.	
0		9,55	0,76	3,84	0,27	2,77	0,34
25		9,44	0,54	3,38	0,25	2,61	0,27
50		8,83	0,74	3,48	0,34	2,74	0,43
100		7,95	0,52	3,38	0,16	2,29	0,29
150		7,88	0,47	3,61	0,64	2,35	0,14
MAGNÉSIO	FOLHAS		CAULE		RAIZ		
Tratamentos	Média	Desvio padr.	Média	Desvio padr.	Média	Desvio padr.	
0		3,74	0,29	1,09	0,22	0,98 d	0,08
25		3,83	0,29	0,94	0,12	0,88 c	0,03
50		3,43	0,31	0,95	0,14	0,77 b	0,02
100		3,53	0,14	0,77	0,04	0,61 a	0,09
150		3,43	0,22	0,85	0,14	0,68 a	0,07

ANEXO 12 – MÉDIAS E DESVIO PADRÃO DOS NUTRIENTES E AI AVALIADOS EM *Tapirira guianensis*, NO EXPERIMENTO DA FLORESTA COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE AI.

conclusão									
FERRO	FOLHAS(mg.Kg <sup>-1</sup> )		CAULE(mg.Kg <sup>-1</sup> )		RAIZ(mg.Kg <sup>-1</sup> )				
	Tratamentos	Média	Desvio padr.	Média	Desvio padr.	Média	Desvio padr.		
0	54,98	a	5,17	62,20	bc	9,97	285,34	ab	52,86
25	59,37	a	4,37	51,23	ab	10,85	348,45	b	136,87
50	69,77	bc	7,98	69,48	c	18,29	241,83	ab	38,67
100	63,59	ab	3,32	45,19	a	3,76	168,40	a	52,21
150	75,63	c	10,54	57,51	abc	10,32	316,41	b	103,03
MANGANÊS	FOLHAS		CAULE		RAIZ				
	Tratamentos	Média	Desvio padr.	Média	Desvio padr.	Média	Desvio padr.		
0	145,24	b	8,56	247,84	b	24,45	409,31	b	61,50
25	109,46	a	7,04	246,11	b	39,07	410,16	b	49,11
50	113,11	a	17,79	251,37	b	29,93	371,75	b	70,15
100	108,14	a	8,79	198,98	a	26,40	284,54	a	43,96
150	108,51	a	14,25	254,13	b	28,28	358,47	ab	70,64
COBRE	FOLHAS		CAULE		RAIZ				
	Tratamentos	Média	Desvio padr.	Média	Desvio padr.	Média	Desvio padr.		
0	27,63	b	19,28	36,91	a	21,14	15,37	ab	1,79
25	12,97	a	6,28	18,32	a	6,29	13,76	a	8,36
50	29,12	b	7,19	37,75	a	22,72	22,25	b	5,16
100	22,39	a	5,53	19,22	a	6,00	21,77	b	4,72
150	15,92	ab	3,12	24,88	a	18,86	18,22	ab	4,08
ZINCO	FOLHAS		CAULE		RAIZ				
	Tratamentos	Média	Desvio padr.	Média	Desvio padr.	Média	Desvio padr.		
0	20,41	a	2,90	19,03	a	4,06	19,28	a	1,91
25	21,85	a	1,49	25,06	b	2,89	27,89	c	4,46
50	21,48	a	6,93	24,67	b	0,89	23,86	abc	2,93
100	23,97	a	2,66	23,84	b	3,06	22,57	ab	3,92
150	24,86	a	3,08	30,62	c	2,68	26,42	b	5,80
ALUMÍNIO	FOLHAS		CAULE		RAIZ				
	Tratamentos	Média	Desvio padr.	Média	Desvio padr.	Média	Desvio padr.		
0	129,4	a	21,8	146,5	a	29,4	363,9	a	66,1
25	254,6	b	34,3	403,3	b	45,7	696,7	b	109,1
50	383,9	c	78,8	464,5	b	104,8	738,2	bc	31,1
100	566,2	e	78,3	635,0	c	40,1	930,9	d	94,0
150	475,8	d	58,5	564,0	c	68,3	838,3	cd	90,0

ANEXO 13 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS TEORES DE NUTRIENTES, E AL PARA FOLHA, CAULE E RAIZ DE *T. guianensis*, NOS EXPERIMENTOS REALIZADOS NA FLORESTA FRENTE A DOSES CRESCENTES DE Al.

continua

POTÁSSIO							
<b>Folha</b>	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido		
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%	
Tratamentos	4	197,377	49,344	54,747**	3,01	4,77	
Blocos	4	13,504	3,376	3,746*			
Erro experimental	16	14,421	0,901				
Total	24	225,302					
<b>Caule</b>	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido		
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%	
Tratamentos	4	29,160	7,290	7,567**	3,01	4,77	
Blocos	4	3,877	0,969	1,006 <sup>ns</sup>			
Erro experimental	16	15,414	0,963				
Total	24	48,451					
<b>Raiz</b>	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido		
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%	
Tratamentos	4	8,693	2,173	2,300 <sup>ns</sup>	3,01	4,77	
Blocos	4	5,529	1,382	1,463 <sup>ns</sup>			
Erro experimental	16	15,119	0,945				
Total	24	29,341					

CÁLCIO							
<b>Folha</b>	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido		
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%	
Tratamentos	4	12,561	3,140	10,286**	3,01	4,77	
Blocos	4	2,690	0,673	2,203 <sup>ns</sup>			
Erro experimental	16	4,885	0,305				
Total	24	20,136					
<b>Caule</b>	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido		
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%	
Tratamentos	4	0,745	0,186	1,297 <sup>ns</sup>	3,01	4,77	
Blocos	4	0,445	0,111	0,774 <sup>ns</sup>			
Erro experimental	16	2,299	0,144				
Total	24	3,489					
<b>Raiz</b>	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido		
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%	
Tratamentos	4	0,987	0,247	2,710 <sup>ns</sup>	3,01	4,77	
Blocos	4	0,456	0,114	1,253 <sup>ns</sup>			
Erro experimental	16	1,457	0,091				
Total	24	2,900					



ANEXO 13 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS TEORES DE NUTRIENTES, E AL PARA FOLHA, CAULE E RAIZ DE *T. guianensis*, NOS EXPERIMENTOS REALIZADOS NA FLORESTA FRENTE A DOSES CRESCENTES DE Al.

continua

MAGNÉSIO						
Folha Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Requerido	
					5%	1%
Tratamentos	4	0,675	0,169	2,439 <sup>ns</sup>	3,01	4,77
Blocos	4	0,231	0,058	0,834 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	16	1,107	0,069			
Total	24	2,013				
Caule Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Requerido	
					5%	1%
Tratamentos	4	0,282	0,071	3,761*	3,01	4,77
Blocos	4	0,114	0,029	1,523 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	16	0,300	0,019			
Total	24	0,697				
Raiz Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Requerido	
					5%	1%
Tratamentos	4	0,441	0,110	22,885**	3,01	4,77
Blocos	4	0,002	0,001	0,120 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	16	0,077	0,005			
Total	24	0,521				

FERRO						
Folha Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Requerido	
					5%	1%
Tratamentos	4	1346,609	336,652	9,222**	3,01	4,77
Blocos	4	341,791	85,448	2,341 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	16	584,111	36,507			
Total	24	2272,511				
Caule Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Requerido	
					5%	1%
Tratamentos	4	1778,854	444,714	5,984**	3,01	4,77
Blocos	4	1500,492	375,123	5,047**		
Erro experimental	16	1189,159	74,322			
Total	24	4468,506				
Raiz Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Requerido	
					5%	1%
Tratamentos	4	98197,0	24549,3	2,836*	3,01	4,77
Blocos	4	6938,6	1734,6	0,200 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	16	138509,3	8656,8			
Total	24	243644,9				

ANEXO 13 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS TEORES DE NUTRIENTES, E AL PARA FOLHA, CAULE E RAIZ DE *T. guianensis*, NOS EXPERIMENTOS REALIZADOS NA FLORESTA FRENTE A DOSES CRESCENTES DE AI.

continua

MANGANÊS						
Folha Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Requerido	
					5%	1%
Tratamentos	4	5099,7	1274,9	9,603**	3,01	4,77
Blocos	4	755,1	188,8	1,422 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	16	2124,2	132,8			
Total	24	7979,0				
Caule						
Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Requerido	
					5%	1%
Tratamentos	4	10549,8	2637,4	2,616 <sup>ns</sup>	3,01	4,77
Blocos	4	1931,4	482,9	0,479 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	16	16134,1	1008,4			
Total	24	28615,3				
Raiz						
Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Requerido	
					5%	1%
Tratamentos	4	52736,4	13184,1	4,023*	3,01	4,77
Blocos	4	19716,9	4929,2	1,504 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	16	52431,9	3277,0			
Total	24	124885,2				
COBRE						
Folha Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Requerido	
					5%	1%
Tratamentos	4	1000,8	250,2	2,647 <sup>ns</sup>	3,01	4,77
Blocos	4	499,6	124,9	1,321 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	16	1512,6	94,5			
Total	24	3013,0				
Caule						
Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Requerido	
					5%	1%
Tratamentos	4	1765,5	441,4	1,452 <sup>ns</sup>	3,01	4,77
Blocos	4	714,7	178,7	0,588 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	16	4863,3	304,0			
Total	24	7343,5				
Raiz						
Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Requerido	
					5%	1%
Tratamentos	4	284,4	71,1	2,995*	3,01	4,77
Blocos	4	174,7	43,7	1,840 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	16	379,8	23,7			
Total	24	838,9				

ANEXO 13 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS TEORES DE NUTRIENTES, E AL PARA FOLHA, CAULE E RAIZ DE *T. guianensis*, NOS EXPERIMENTOS REALIZADOS NA FLORESTA FRENTE A DOSES CRESCENTES DE Al.

conclusão

ZINCO						
Folha	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	4	67,87	16,97	0,963 <sup>ns</sup>	3,01	4,77
Blocos	4	18,78	4,70	0,267 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	16	281,93	17,62			
Total	24	368,59				
Caule	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	4	340,681	85,170	8,365**	3,01	4,77
Blocos	4	6,012	1,503	0,148 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	16	162,912	10,182			
Total	24	509,605				
Raiz	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	4	226,420	56,605	3,764*	3,01	4,77
Blocos	4	83,728	20,932	1,392 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	16	240,607	15,038			
Total	24	550,755				

ALUMÍNIO						
Folha	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	4	603901	150975	54,163**	3,01	4,77
Blocos	4	25107	6277	2,252 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	16	44599	2787			
Total	24	673607				
Caule	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	4	707261	176815	43,122**	3,01	4,77
Blocos	4	15243	3811	0,929 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	16	65606	4100			
Total	24	788110				
Raiz	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	4	929802	232451	47,103**	3,01	4,77
Blocos	4	57733	14433	2,925 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	16	78959	4935			
Total	24	1066495				

<sup>ns</sup> não significativo.

\* significativo a 5 % de probabilidade.

\*\* significativo a 1 % de probabilidade

ANEXO 14 – MATRIZES DE CORRELAÇÃO ENTRE NUTRIENTES MEDIDOS NAS FRAÇÕES DE *Tapirira guianensis* E SEUS PARÂMETROS DE CRESCIMENTO, DO EXPERIMENTO REALIZADO NA FLORESTA COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE AI

FOLHA										
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al
Folhas	-0,38*	-0,31	-0,34*	0,34*	0,15	-0,09	0,64**	-0,04	0,00	-0,65**
Caule	-0,13	-0,29	-0,13	0,07	-0,17	0,03	0,29	-0,14	-0,08	-0,27
Raiz (peso)	0,24	-0,32	0,20	-0,23	-0,22	0,34	0,07	-0,06	0,11	0,16
Altura	-0,02	-0,18	0,03	-0,11	-0,46**	0,22	0,05	-0,19	-0,05	-0,01
Diâmetro	0,27	-0,08	-0,18	-0,15	-0,11	-0,13	0,31	0,36*	-0,18	-0,23
Raiz (comprim.)	-0,08	-0,49**	0,05	0,05	0,14	-0,03	0,09	-0,24	0,14	-0,01
Peso/n <sup>o</sup> folhas	0,15	0,04	0,14	-0,22	-0,20	0,32	0,13	0,02	0,13	0,05

CAULE										
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al
Folhas	0,02	-0,13	-0,51**	0,03	0,44**	0,02	0,61**	0,01	-0,09	-0,59**
Caule	0,02	0,15	-0,19	-0,26	0,23	-0,15	0,45**	0,01	0,02	-0,26
Raiz (peso)	0,47**	0,41**	0,03	-0,08	-0,05	-0,10	0,30	-0,02	0,30	0,11
Altura	-0,07	0,22	0,02	-0,14	0,12	-0,38*	0,11	-0,11	0,07	-0,02
Diâmetro	0,33	-0,01	-0,33	0,08	0,11	0,16	0,02	0,17	-0,36*	-0,29
Raiz (comprim.)	0,25	0,03	0,02	-0,09	-0,10	-0,15	0,09	-0,17	0,10	-0,09
Peso/n <sup>o</sup> folhas	0,39*	0,56**	-0,05	-0,14	0,00	-0,13	0,31	-0,15	0,33	0,15

RAIZ										
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al
Folhas	-0,13	0,22	-0,11	0,25	0,46**	0,49**	0,67**	-0,26	-0,04	-0,58**
Caule	-0,08	0,14	-0,23	0,19	0,08	0,21	0,45**	0,06	-0,12	-0,25
Raiz (peso)	0,31	-0,15	0,01	-0,10	-0,38	0,19	0,13	0,20	0,06	0,13
Altura	0,09	0,24	-0,14	0,01	-0,12	-0,03	0,12	-0,06	0,03	0,00
Diâmetro	0,07	0,07	0,27	0,20	0,20	0,02	-0,02	-0,30	-0,29	-0,32
Raiz (comprim.)	0,15	-0,15	-0,19	-0,20	-0,15	0,22	0,24	-0,01	0,30	-0,04
Peso/n <sup>o</sup> folhas	0,15	0,15	-0,16	-0,18	-0,31	0,09	0,11	0,07	0,03	0,17

\* significativo a 90 % de probabilidade.

\*\* significativo a 95 % de probabilidade

ANEXO 15 – MATRIZES DE CORRELAÇÃO ENTRE NUTRIENTES MEDIDOS NAS FRAÇÕES DE *Tapirira guianensis* DO EXPERIMENTO REALIZADO NO CAMPO COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE Al

FOLHA										
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al
N	1,00									
P	0,31	1,00								
K	0,64**	0,28	1,00							
Ca	-0,79**	-0,43**	-0,70**	1,00						
Mg	-0,23	0,02	-0,29	0,46**	1,00					
Fe	0,32	0,10	0,55**	-0,50**	-0,65**	1,00				
Mn	-0,40**	-0,08	-0,60**	0,32	0,17	-0,36*	1,00			
Cu	0,00	0,18	-0,32	0,18	-0,04	-0,09	0,18	1,00		
Zn	0,25	0,37*	0,45**	-0,45**	0,03	0,30	0,04	-0,17	1,00	
Al	0,62**	0,32	0,71**	-0,72**	-0,38*	0,54**	-0,57**	-0,07	0,50**	1,00

CAULE										
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al
N	1,00									
P	0,45**	1,00								
K	0,20	0,40**	1,00							
Ca	-0,05	-0,26	-0,29	1,00						
Mg	-0,32	-0,34*	-0,49**	0,58**	1,00					
Fe	-0,14	-0,37*	-0,25	0,31	0,06	1,00				
Mn	-0,06	0,07	-0,11	-0,02	0,41**	0,17	1,00			
Cu	-0,22	-0,08	-0,26	0,08	0,18	0,38*	0,13	1,00		
Zn	0,24	0,39*	0,50**	0,12	-0,05	0,00	0,34*	-0,19	1,00	
Al	0,31	0,61**	0,64**	-0,26	-0,66**	-0,18	-0,24	-0,28	0,60**	1

RAIZ										
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al
N	1,00									
P	0,04	1,00								
K	0,34*	-0,18	1,00							
Ca	-0,18	0,09	-0,04	1,00						
Mg	-0,33	0,25	0,03	0,63**	1,00					
Fe	0,01	0,15	0,06	-0,01	0,34*	1,00				
Mn	-0,19	0,17	-0,14	0,50**	0,50**	0,28	1,00			
Cu	0,16	-0,12	0,13	-0,16	-0,40**	-0,02	-0,27	1,00		
Zn	0,26	-0,11	-0,08	0,17	-0,04	0,25	0,32	-0,07	1,00	
Al	0,49**	-0,21	0,03	-0,41**	-0,78**	-0,17	-0,45**	0,40**	0,43**	1,00

\* significativo a 90 % de probabilidade.

\*\* significativo a 95 % de probabilidade

ANEXO 16 – MATRIZES DE CORRELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO E TEORES DE NUTRIENTES DAS FRAÇÕES DE *Tapirira guianensis*. EXPERIMENTO REALIZADO NO CAMPO COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE Al

Continua

FOLHAS X SOLO NÃO RIZOSFÉRICO										
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al
pH	-0,59**	-0,22	-0,65**	0,66**	0,15	-0,44**	0,56**	0,29	-0,35	-0,69**
Al	0,49**	-0,09	0,31	-0,59**	-0,18	0,21	-0,01	-0,27	0,13	0,25
H+Al	0,54**	0,14	0,52**	-0,49**	-0,08	0,18	-0,52**	-0,21	0,08	0,54**
Ca+Mg	-0,24	-0,16	-0,54**	0,47**	0,53**	-0,62**	0,55**	0,08	-0,24	-0,75**
Ca	-0,28	-0,16	-0,53**	0,47**	0,57**	-0,61**	0,52**	0,04	-0,21	-0,74**
K	0,05	-0,27	-0,02	-0,06	-0,21	0,02	0,10	-0,17	-0,17	0,04
T	0,52**	0,12	0,47**	-0,44**	-0,01	0,11	-0,46**	-0,20	0,05	0,46**
P	0,09	-0,07	0,03	-0,13	-0,23	0,00	0,17	-0,11	-0,13	-0,02
C	0,55**	0,02	0,25	-0,44**	-0,02	-0,02	-0,24	-0,14	0,11	0,30
m	0,62**	0,21	0,68**	-0,78**	-0,51**	0,60**	-0,54**	-0,17	0,26	0,83**
V	-0,42**	-0,19	-0,66**	0,59**	0,39*	-0,56**	0,72**	0,29	-0,26	-0,79**
Al total	0,00	-0,18	0,21	0,06	-0,17	0,12	-0,57**	-0,12	-0,24	0,11
Al monomérico	0,65**	0,18	0,64**	-0,71**	-0,45**	0,40**	-0,46**	0,09	0,07	0,76*

FOLHAS X SOLO RIZOSFÉRICO										
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al
pH	-0,55**	-0,21	-0,56**	0,53**	0,19	-0,39*	0,64**	0,31	-0,17	-0,67**
Al	0,58**	0,01	0,58**	-0,72**	-0,39*	0,45**	-0,25	-0,33	0,29	0,62**
H+Al	0,41**	-0,17	0,35*	-0,44**	-0,21	0,30	-0,39*	-0,25	0,01	0,41**
Ca+Mg	-0,56**	-0,40**	-0,70**	0,61**	0,25	-0,54**	0,71**	-0,07	-0,35*	-0,78**
Ca	-0,54**	-0,43**	-0,65**	0,59**	0,23	-0,55**	0,67**	-0,12	-0,34	-0,76**
K	0,27	-0,38*	0,28	-0,31	-0,31	0,17	-0,30	-0,27	-0,05	0,43**
T	0,35*	-0,23	0,27	-0,37*	-0,18	0,23	-0,30	-0,27	-0,04	0,31
P	0,33	-0,22	0,43**	-0,47**	-0,43**	0,31	-0,29	-0,32	0,24	0,50**
C	0,31	-0,09	0,31	-0,42**	-0,15	0,13	-0,30	-0,34*	0,13	0,33
m	0,71**	0,31	0,78**	-0,81**	-0,44**	0,63**	-0,59**	-0,15	0,40**	0,90**
V	-0,59**	-0,27	-0,69**	0,65**	0,30	-0,53**	0,75**	0,11	-0,27	-0,76**
Al total	0,10	0,04	0,07	-0,07	0,04	-0,14	-0,34*	0,03	-0,08	0,07
Al monomérico	0,58**	0,06	0,60**	-0,64**	-0,42**	0,62**	-0,64**	-0,02	0,26	0,85**

ANEXO 16 – MATRIZES DE CORRELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO E TEORES DE NUTRIENTES DAS FRAÇÕES DE *Tapirira guianensis*. EXPERIMENTO REALIZADO NO CAMPO COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE Al

continua

CAULE X SOLO NÃO RIZOSFÉRICO										
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al
pH	-0,30	-0,34*	-0,57**	0,39*	0,64**	0,05	0,11	0,38*	-0,42**	-0,71**
Al	0,56**	0,41**	0,26	-0,36*	-0,28	-0,38*	0,01	-0,38*	0,10	0,21
H+Al	0,31	0,46**	0,46**	-0,37*	-0,54**	-0,17	-0,09	-0,23	0,22	0,61**
Ca+Mg	-0,12	-0,54**	-0,48**	0,21	0,39*	0,25	0,18	0,07	-0,45**	-0,72**
Ca	-0,11	-0,55**	-0,46**	0,16	0,36*	0,20	0,16	0,05	-0,49**	-0,73**
K	-0,06	-0,01	-0,01	0,03	-0,05	0,10	0,12	-0,07	-0,03	-0,01
T	0,30	0,41**	0,40**	-0,35*	-0,50**	-0,15	-0,07	-0,22	0,17	0,53**
P	-0,12	0,12	-0,09	-0,06	0,18	-0,10	0,26	-0,06	0,11	-0,05
C	0,42**	0,33	0,21	-0,30	-0,55**	0,06	-0,22	-0,23	0,00	0,34*
m	0,44**	0,67**	0,57**	-0,33	-0,60**	-0,26	-0,21	-0,19	0,45**	0,79**
V	-0,24	-0,51**	-0,64**	0,38*	0,64**	0,21	0,23	0,23	-0,45**	-0,84**
Al total	-0,05	0,29	0,52**	-0,25	-0,22	-0,17	0,12	0,03	0,26	0,31
Al monomérico	0,36*	0,64**	0,49**	-0,15	-0,44**	-0,26	-0,27	0,06	0,38*	0,66**

CAULE X SOLO RIZOSFÉRICO										
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al
pH	-0,30	-0,27	-0,71**	0,28	0,76**	-0,07	0,34*	0,40**	-0,43**	-0,84**
Al	0,76**	0,58**	0,58**	-0,20	-0,42**	-0,07	0,17	-0,40**	0,47**	0,43**
H+Al	0,56**	0,45**	0,63**	-0,47**	-0,58**	-0,12	0,09	-0,45**	0,36*	0,45**
Ca+Mg	-0,22	-0,45**	-0,76**	0,26	0,75**	-0,05	0,23	0,19	-0,54**	-0,94**
Ca	-0,24	-0,45**	-0,71**	0,22	0,74**	-0,10	0,21	0,22	-0,51**	-0,93**
K	0,29	0,35*	0,65**	-0,11	-0,16	-0,36*	-0,05	-0,21	0,40**	0,28
T	0,56**	0,42**	0,56**	-0,47**	-0,50**	-0,14	0,13	-0,46**	0,31	0,33
P	0,25	0,21	0,66**	-0,32	-0,27	-0,18	0,27	-0,47**	0,47**	0,42**
C	0,49**	0,42**	0,71**	-0,63**	-0,73**	-0,13	-0,02	-0,43**	0,22	0,46**
m	0,56**	0,60**	0,77**	-0,18	-0,68**	0,05	-0,08	-0,31	0,62**	0,87**
V	-0,34	-0,42**	-0,79**	0,35*	0,81**	-0,02	0,22	0,32	-0,51**	-0,91**
Al total	-0,18	-0,11	0,37*	-0,45**	-0,57**	0,33	-0,05	-0,34*	0,01	0,37*
Al monomérico	0,55**	0,53**	0,80**	-0,17	-0,67**	-0,16	-0,29	-0,28	0,56**	0,86**

ANEXO 16 – MATRIZES DE CORRELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO E TEORES DE NUTRIENTES DAS FRAÇÕES DE *Tapirira guianensis*. EXPERIMENTO REALIZADO NO CAMPO COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE Al

Conclusão

RAIZ X SOLO NÃO RIZOSFÉRICO										
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al
pH	-0,61**	0,39*	-0,14	0,46**	0,69**	0,21	0,28	-0,09	-0,33	-0,70**
Al	0,30	-0,01	-0,16	-0,22	-0,41**	-0,17	0,06	-0,33	0,06	0,23
H+Al	0,46**	-0,19	-0,11	-0,20	-0,59**	-0,36*	-0,23	0,16	0,12	0,55**
Ca+Mg	-0,34*	0,19	-0,15	0,38*	0,79**	0,10	0,43**	-0,63**	-0,15	-0,74**
Ca	-0,36*	0,21	-0,21	0,38*	0,80**	0,09	0,47**	-0,62**	-0,12	-0,74**
K	0,01	-0,41	-0,03	0,15	-0,13	-0,23	0,13	0,21	-0,09	-0,06
T	0,42**	-0,16	-0,13	-0,15	-0,51**	-0,37*	-0,17	0,08	0,10	0,46**
P	-0,15	-0,01	-0,14	0,27	-0,09	-0,32	0,27	-0,15	-0,03	-0,11
C	0,20	-0,27	-0,26	-0,16	-0,39	-0,22	-0,21	0,01	0,05	0,29
m	0,48**	-0,27	0,10	-0,51**	-0,94**	-0,28	-0,47**	0,35*	0,09	0,79**
V	-0,52**	0,34*	-0,08	0,48**	0,86**	0,12	0,46**	-0,47**	-0,23	-0,85**
Al total	0,36*	0,08	0,08	-0,16	-0,18	0,32	-0,11	0,27	0,18	0,34
Al monomérico	0,24	-0,03	0,21	-0,43**	-0,78**	-0,41**	-0,48**	0,36*	-0,13	0,59**

RAIZ X SOLO RIZOSFÉRICO										
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al
pH	-0,50**	0,28	-0,10	0,39*	0,64**	0,28	0,39*	-0,11	-0,27	-0,73**
Al	0,15	-0,45**	-0,14	-0,38*	-0,75**	-0,32	-0,21	0,17	0,13	0,53**
H+Al	0,34*	-0,35*	-0,05	-0,12	-0,54**	-0,14	-0,03	0,11	0,27	0,43**
Ca+Mg	-0,49**	0,09	-0,32	0,47**	0,69**	0,07	0,49**	-0,32	-0,29	-0,86**
Ca	-0,48**	0,12	-0,33	0,44**	0,68**	0,09	0,51**	-0,35*	-0,24	-0,84**
K	0,13	-0,17	-0,16	-0,03	-0,44**	-0,34*	-0,04	0,21	0,24	0,33
T	0,29	-0,35*	-0,10	-0,06	-0,46**	-0,13	0,04	0,07	0,24	0,33
P	0,26	-0,28	-0,10	-0,13	-0,47**	-0,26	-0,08	0,24	0,33	0,48**
C	0,17	-0,32	-0,06	-0,31	-0,44**	-0,01	-0,05	0,01	0,15	0,24
m	0,38*	-0,35*	0,14	-0,56**	-0,91**	-0,28	-0,53**	0,35*	0,19	0,86**
V	-0,53**	0,25	-0,23	0,47**	0,75**	0,08	0,48**	-0,29	-0,31	-0,86**
Al total	0,04	-0,38*	0,00	-0,10	-0,05	0,05	-0,15	0,26	0,24	0,34*
Al monomérico	0,51**	-0,19	0,19	-0,41**	-0,83**	-0,26	-0,42**	0,39*	0,29	0,82**

\* significativo a 90 % de probabilidade.

\*\* significativo a 95 % de probabilidade



ANEXO 17 – MATRIZES DE CORRELAÇÃO ENTRE PERCENTAGEM DE COLONIZAÇÃO POR MICORRIZAS E OS NUTRIENTES DAS FRAÇÕES DE *Tapirira guianensis*. EXPERIMENTO REALIZADO NO CAMPO COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE Al.

FOLHA										
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al
Coloniz.(n=15)	0,59**	-0,15	0,46*	-0,48*	-0,63**	0,52**	-0,57**	0,15	0,00	0,64**

CAULE										
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al
Coloniz.(n=15)	0,08	0,56**	0,61**	-0,16	-0,45*	-0,04	-0,06	0,14	0,57**	0,81**

RAIZ										
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al
Coloniz.(n=15)	0,37	-0,32	0,29	0,16	-0,43	-0,20	-0,16	0,22	0,55**	0,71**

\* significativo a 90 % de probabilidade.

\*\* significativo a 95 % de probabilidade

ANEXO 18 – MÉDIAS, DESVIO PADRÃO E COMPARAÇÃO DE MÉDIAS DOS PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO, TRATADOS COM DOSES CRESCENTES DE Al, NO EXPERIMENTO COM O PLANTIO DE *T. guianensis* NO RIZOTROM

SOLO NÃO RIZOSFÉRICO										
TRAT. (mg/kg)	pH (CaCl <sub>2</sub> )		Al (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )		H + Al (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )		Ca + Mg (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )			
	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.
0	3,70	0,17	0,80	0,20	13,50	4,61	2,73	0,65		
100	3,30	0,10	3,10	0,26	17,00	3,12	0,87	0,23		
200	3,17	0,06	3,83	0,55	25,37	2,48	0,87	0,15		

TRAT. (mg/kg)	Ca (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )		K (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )		T (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )		P (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )		SB (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	
	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.
0	1,90	0,46	0,620	0,092	16,85	4,77	51,67	7,77	3,35	0,71
100	0,53	0,12	0,263	0,031	18,13	2,86	72,00	15,72	1,13	0,26
200	0,57	0,15	0,257	0,032	26,49	2,40	104,00	7,55	1,12	0,13

TRAT. (mg/kg)	C (g/dm <sup>3</sup> )		m (%)		V (%)		Al total (g/kg)		Al mon.(mg/Kg)	
	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.
0	50,43	3,01	19,30	3,15	20,59	5,53	2,11	0,56	3,03	0,26
100	44,93	7,81	73,37	5,45	6,47	2,25	2,15	0,28	9,43	0,87
200	55,87	1,67	77,12	4,09	4,28	0,83	1,98	0,13	9,41	0,52

SOLO RIZOSFÉRICO										
TRAT. (mg/kg)	pH (CaCl <sub>2</sub> )		Al (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )		H + Al (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )		Ca + Mg (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )			
	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.
0	3,70	0,10	0,77	0,06	14,37	3,00	2,87	0,23		
100	3,27	0,06	3,00	0,36	18,20	2,75	0,87	0,06		
200	3,17	0,06	4,10	0,36	22,27	4,04	0,90	0,20		

TRAT. (mg/kg)	Ca (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )		K (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )		T (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )		P (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )		SB (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	
	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.
0	2,30	0,36	0,610	0,128	17,84	2,92	50,67	15,37	3,48	0,16
100	0,50	0,00	0,267	0,023	19,33	2,74	78,33	10,41	1,13	0,08
200	0,60	0,20	0,303	0,045	23,47	4,09	128,00	16,52	1,20	0,23

TRAT. (mg/kg)	C (g/dm <sup>3</sup> )		m (%)		V (%)		Al total (g/kg)		Al mon.(mg/Kg)	
	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.	Média	Desv.p.
0	50,83	3,91	18,06	0,67	19,90	3,98	2,00	0,75	3,14	0,26
100	51,30	3,27	72,48	2,52	5,95	1,08	2,47	0,33	8,86	0,35
200	60,37	14,31	77,32	3,71	5,22	1,17	2,04	0,07	8,98	0,53

ANEXO 19 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO NÃO RIZOSFÉRICO E RIZOSFÉRICO, DOS EXPERIMENTOS REALIZADOS NOS RIZONTRONS COM *T. guianensis* SUBMETIDA A DOSES CRESCENTES DE Al.

continua

continua							
<b>pH</b>							
Fonte de variação	Graus Liberdade	Soma Quadrado	Quadrado Médio	F	F Requerido		
					5%	1%	
Blocos	2	0,0233					
Tipo de solo(1)	1	0,0006	0,0006	0,0632 <sup>ns</sup>	4,1	7,4	
Níveis de Al (2)	2	0,9433	0,4717	53,6724*	2,63	3,9	
1x2	2	0,0011	0,0006	0,0632 <sup>ns</sup>	2,63	3,9	
Erro	11	0,0967	0,0088				
<b>Al</b>							
Fonte de variação	Graus Liberdade	Soma Quadrado	Quadrado Médio	F	F Requerido		
					5%	1%	
Blocos	2	0,223					
Tipo de solo(1)	1	0,009	0,009	0,087 <sup>ns</sup>	4,1	7,4	
Níveis de Al (2)	2	32,223	16,112	156,839*	2,63	3,9	
1x2	2	0,114	0,057	0,557 <sup>ns</sup>	2,63	3,9	
Erro	11	1,130	0,103				
<b>H + Al</b>							
Fonte de variação	Graus Liberdade	Soma Quadrado	Quadrado Médio	F	F Requerido		
					5%	1%	
Blocos	2	43,26					
Tipo de solo(1)	1	0,53	0,53	0,06 <sup>ns</sup>	4,1	7,4	
Níveis de Al (2)	2	299,54	149,77	17,01**	2,63	3,9	
1x2	2	17,17	8,58	0,97 <sup>ns</sup>	2,63	3,9	
Erro	11	96,86	8,81				
<b>Ca + Mg</b>							
Fonte de variação	Graus Liberdade	Soma Quadrado	Quadrado Médio	F	F Requerido		
					5%	1%	
Blocos	2	0,010					
Tipo de solo(1)	1	0,014	0,014	0,129 <sup>ns</sup>	4,1	7,4	
Níveis de Al (2)	2	14,823	7,412	68,897**	2,63	3,9	
1x2	2	0,014	0,007	0,067 <sup>ns</sup>	2,63	3,9	
Erro	11	1,183	0,108				
<b>Ca</b>							
Fonte de variação	Graus Liberdade	Soma Quadrado	Quadrado Médio	F	F Requerido		
					5%	1%	
Blocos	2	0,070					
Tipo de solo(1)	1	0,080	0,080	1,153 <sup>ns</sup>	4,1	7,4	
Níveis de Al (2)	2	9,623	4,812	69,338**	2,63	3,9	
1x2	2	0,163	0,082	1,177 <sup>ns</sup>	2,63	3,9	
Erro	11	0,763	0,069				
<b>K</b>							
Fonte de variação	Graus Liberdade	Soma Quadrado	Quadrado Médio	F	F Requerido		
					5%	1%	
Blocos	2	0,030					
Tipo de solo(1)	1	0,001	0,001	0,309 <sup>ns</sup>	4,1	7,4	
Níveis de Al (2)	2	0,470	0,235	90,789**	2,63	3,9	
1x2	2	0,003	0,001	0,509 <sup>ns</sup>	2,63	3,9	
Erro	11	0,028	0,003				

ANEXO 19 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO NÃO RIZOSFÉRICO E RIZOSFÉRICO, DOS EXPERIMENTOS REALIZADOS NOS RIZONTRONS COM *T. guianensis* SUBMETIDA A DOSES CRESCENTES DE AI.

							conclusão
T	Graus	Soma	Quadrado		F	F Requerido	
Fonte de variação	Liberdad	Quadrado	Médio			5%	1%
Blocos	2	46,81					
Tipo de solo(1)	1	0,34	0,34	0,04	<sup>ns</sup>	4,1	7,4
Níveis de AI (2)	2	198,40	99,20	11,87	**	2,63	3,9
1x2	2	16,98	8,49	1,02	<sup>ns</sup>	2,63	3,9
Erro	11	91,96	8,36				
<b>S</b>	<b>Graus</b>	<b>Soma</b>	<b>Quadrado</b>			<b>F Requerido</b>	
Fonte de variação	Liberdad	Quadrado	Médio	F		5%	1%
Blocos	2	0,07					
Tipo de solo(1)	1	0,02	0,02	0,18	<sup>ns</sup>	4,1	7,4
Níveis de AI (2)	2	20,57	10,28	88,31	**	2,63	3,9
1x2	2	0,01	0,01	0,05	<sup>ns</sup>	2,63	3,9
Erro	11	1,28	0,12				
<b>P</b>	<b>Graus</b>	<b>Soma</b>	<b>Quadrado</b>			<b>F Requerido</b>	
Fonte de variação	Liberdad	Quadrado	Médio	F		5%	1%
Blocos	2	1130,1					
Tipo de solo(1)	1	430,2	430,2	5,7	*	4,1	7,4
Níveis de AI (2)	2	12893,4	6446,7	85,0	**	2,63	3,9
1x2	2	495,4	247,7	3,3	*	2,63	3,9
Erro	11	833,9	75,8				
<b>C</b>	<b>Graus</b>	<b>Soma</b>	<b>Quadrado</b>			<b>F Requerido</b>	
Fonte de variação	Liberdad	Quadrado	Médio	F		5%	1%
Blocos	2	147,21					
Tipo de solo(1)	1	63,47	63,47	1,52	<sup>ns</sup>	4,1	7,4
Níveis de AI (2)	2	324,67	162,33	3,88	*	2,63	3,9
1x2	2	27,95	13,97	0,33	<sup>ns</sup>	2,63	3,9
Erro	11	460,03	41,82				
<b>m</b>	<b>Graus</b>	<b>Soma</b>	<b>Quadrado</b>			<b>F Requerido</b>	
Fonte de variação	Liberdad	Quadrado	Médio	F		5%	1%
Blocos	2	41,76					
Tipo de solo(1)	1	1,88	1,88	0,18	<sup>ns</sup>	4,1	7,4
Níveis de AI (2)	2	12776,64	6388,32	626,36	**	2,63	3,9
1x2	2	1,68	0,84	0,08	<sup>ns</sup>	2,63	3,9
Erro	11	112,19	10,20				
<b>V</b>	<b>Graus</b>	<b>Soma</b>	<b>Quadrado</b>			<b>F Requerido</b>	
Fonte de variação	Liberdad	Quadrado	Médio	F		5%	1%
Blocos	2	8,825					
Tipo de solo(1)	1	0,036	0,036	0,004	<sup>ns</sup>	4,1	7,4
Níveis de AI (2)	2	878,500	439,250	48,074	**	2,63	3,9
1x2	2	2,396	1,198	0,131	<sup>ns</sup>	2,63	3,9
Erro	11	100,507	9,137				

ANEXO 20 – MATRIZES DE CORRELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO NO EXPERIMENTO COM *T. guianensis* NO RIZOTROM.

continua

SOLO NÃO RIZOSFÉRICO														
	pH	Al	H+Al	Ca+Mg	Ca	K	T	S	P	C	m	V	Al total	Al mono
pH	1,00													
Al	-0,94**	1,00												
H+Al	-0,78**	0,75**	1,00											
Ca+Mg	0,75**	-0,88**	-0,62	1,00										
Ca	0,76**	-0,88**	-0,63	0,99**	1,00									
K	0,78**	-0,91**	-0,54	0,95**	0,94**	1,00								
T	-0,70**	0,64	0,99**	-0,48	-0,49	-0,40	1,00							
S	0,76**	-0,89**	-0,61	1,00**	0,99**	0,97**	-0,47	1,00						
P	-0,88**	0,83**	0,81**	-0,63	-0,63	-0,65	0,77**	-0,64	1,00					
C	-0,16	0,16	0,69**	-0,06	-0,04	-0,01	0,76**	-0,05	0,31	1,00				
m	-0,91**	0,97**	0,70**	-0,95**	-0,95**	-0,95**	0,58	-0,95**	0,75**	0,09	1,00			
V	0,84**	-0,92**	-0,79**	0,95**	0,96**	0,88**	-0,68**	0,94**	-0,71**	-0,23	-0,95**	1,00		
Altotal	0,02	-0,12	0,12	0,08	0,02	0,25	0,16	0,10	-0,17	-0,03	-0,07	-0,12	1,00	
Almono	-0,92**	0,96**	0,61	-0,91**	-0,91**	-0,93**	0,48	-0,92**	0,77**	-0,08	0,98**	-0,90	-0,07	1,00
Tratam.	-0,88**	0,93**	0,84**	-0,81**	-0,80**	-0,84**	0,77**	-0,87**	0,92**	0,37	0,89**	-0,86	-0,17	0,85

ANEXO 20 – MATRIZES DE CORRELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO NO EXPERIMENTO COM *T. guianensis* NO RIZOTROM.

conclusão

SOLO RIZOSFÉRICO														
	pH	Al	H+Al	Ca+Mg	Ca	K	T	S	P	C	m	V	Al total	Al mono
pH	1,00													
Al	-0,97**	1,00												
H+Al	-0,78**	0,82**	1,00											
Ca+Mg	0,93**	-0,92**	-0,65	1,00										
Ca	0,94**	-0,89**	-0,69**	0,98**	1,00									
K	0,92**	-0,82**	-0,60	0,89**	0,94**	1,00								
T	-0,62	0,69**	0,97**	-0,45	-0,50	-0,42	1,00							
S	0,94**	-0,92**	-0,65	1,00**	0,99**	0,92**	-0,45	1,00						
P	-0,74**	0,88**	0,75**	-0,72**	-0,64	-0,52	0,66	-0,70**	1,00					
C	-0,31	0,47	0,70**	-0,23	-0,22	-0,09	0,75**	-0,22	0,64	1,00				
m	-0,97**	0,96**	0,71**	-0,99**	-0,97**	-0,91**	0,52	-0,99**	0,76**	0,29	1,00			
V	0,94**	-0,92**	-0,78**	0,96**	0,99**	0,92**	-0,62	0,97**	-0,69**	-0,33	-0,96**	1,00		
Altotal	-0,32	0,11	-0,01	-0,19	-0,29	-0,54	-0,09	-0,25	-0,16	-0,31	0,24	-0,22	1,00	
Almono	-0,92**	0,92**	0,65	-0,98**	-0,95**	-0,89**	0,46	-0,98**	0,76**	0,35	0,98**	-0,95**	0,24	1,00
Tratam.	-0,91**	0,97**	0,77**	-0,85**	-0,82**	-0,75**	0,64	-0,90**	0,93**	0,46	0,90**	-0,85**	0,04	0,87**

\* significativo a 90 % de probabilidade.

\*\* significativo a 95 % de probabilidade

ANEXO 21 – PARÂMETROS BIOMÉTRICOS DE *T. GUIANENSIS*, FRENTE A DOSES CRESCENTES DE AI, NO EXPERIMENTO REALIZADO NO RIZOTROM.

TRATAMENTOS mg AI/kg de solo	Peso Folhas (g)		Peso Caule (g)		Peso Raiz (g)	
	Média	dv.pad.	Média	dv.pad.	Média	dv.pad.
0	35,877a	14,160	26,553	9,525	19,250	1,681
100	24,573	22,153	15,137	9,418	12,650	1,739
200	18,070	3,698	11,517	0,931	11,003	2,676

TRATAMENTOS mg AI/kg de solo	Altura (cm)		Diâmetro do Caule (cm)		Comprimento da raiz (m)	
	Média	dv.pad.	Média	dv.pad.	Média	dv.pad.
0	46,183	3,860	0,738	0,114	437,113	127,292
100	36,467	14,514	0,547	0,073	291,706	142,173
200	25,783	6,951	0,639	0,088	213,292	52,167

ANEXO 22 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS PARÂMETROS DE DESENVOLVIMENTO DE *T. guianensis*, NO EXPERIMENTO REALIZADO COM O RIZOTROM FRENTE A DOSES CRESCENTES DE AI.

continua

Folhas Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado		F Requerido	
			Médio	F	5%	1%
Tratamentos	2	487,14	243,57	0,82 <sup>ns</sup>	6,94	18,00
Blocos	2	223,84	111,92	0,38 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	4	1186,00	296,50			
Total	8	1896,97				

Caule Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado		F Requerido	
			Médio	F	5%	1%
Tratamentos	2	369,55	184,77	2,61 <sup>ns</sup>	6,94	18,00
Blocos	2	77,54	38,77	0,55 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	4	283,07	70,77			
Total	8	730,16				

Raiz (peso) Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado		F Requerido	
			Médio	F	5%	1%
Tratamentos	2	114,28	57,14	23,90**	6,94	18,00
Blocos	2	16,45	8,23	3,44 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	4	9,56	2,39			
Total	8	140,29				

Altura Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado		F Requerido	
			Médio	F	5%	1%
Tratamentos	2	624,71	312,35	2,78 <sup>ns</sup>	6,94	18,00
Blocos	2	98,43	49,21	0,44 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	4	449,31	112,33			
Total	8	1172,45				

Diâmetro Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado		F Requerido	
			Médio	F	5%	1%
Tratamentos	2	0,0546	0,0273	2,187 <sup>ns</sup>	6,94	18,00
Blocos	2	0,0021	0,0011	0,086 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	4	0,0500	0,0125			
Total	8	0,1068				

ANEXO 22 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS PARÂMETROS DE DESENVOLVIMENTO DE *T. guianensis*, NO EXPERIMENTO REALIZADO COM O RIZOTROM FRENTE A DOSES CRESCENTES DE Al.

conclusão

Raiz (comprimento)	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Requerido 5%	F Requerido 1%
Tratamentos	2	77388	38694	5,74 <sup>ns</sup>	6,94	18,00
Blocos	2	51311	25656	3,81 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	4	26965	6741			
Total	8	155664				

<sup>ns</sup> não significativo.

\* significativo a 5 % de probabilidade.

\*\* significativo a 1 % de probabilidade

ANEXO 23 – MATRIZES DE CORRELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS MEDIDOS EM *Tapirira guianensis* E OS PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO, DO EXPERIMENTO REALIZADO NA FLORESTA COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE Al.

SOLO NÃO RIZOSFÉRICO							
	pH	Al	H + Al	Ca + Mg	Ca	K	T
Folhas	0.25	-0.43	-0.56	0.66*	0.64*	0.57	-0.49
Caule	0.46	-0.67**	-0.62*	0.85**	0.83**	0.78**	-0.51
Raiz(peso)	0.90**	-0.90**	-0.80**	0.82**	0.83**	0.81**	-0.72**
Altura	0.52	-0.60*	-0.75**	0.69**	0.66*	0.66*	-0.69**
Diâmetro	0.52	-0.59*	-0.44	0.68**	0.71**	0.55	-0.35
Raiz(comprim.)	0.50	-0.63*	-0.50	0.67**	0.64*	0.75**	-0.41

	P	C	m	V	Al total	Al monom.
Folhas	-0.19	-0.55	-0.52	0.63*	0.00	-0.35
Caule	-0.38	-0.40	-0.73**	0.82**	0.05	-0.60
Raiz(peso)	-0.75**	-0.27	-0.91**	0.87**	-0.02	-0.91**
Altura	-0.52	-0.63*	-0.66*	0.69**	0.14	-0.52
Diâmetro	-0.16	0.01	-0.67**	0.74**	-0.45	-0.61
Raiz(comprim.)	-0.46	-0.33	-0.67**	0.57	0.41	-0.59

SOLO RIZOSFÉRICO							
	pH	Al	H + Al	Ca + Mg	Ca	K	T
Folhas	0.45	-0.44	-0.47	0.48	0.54	0.54	-0.40
Caule	0.67**	-0.65*	-0.60*	0.70**	0.77**	0.76**	-0.48
Raiz(peso)	0.85**	-0.90**	-0.68**	0.91**	0.84**	0.73**	-0.53
Altura	0.63*	-0.67**	-0.63*	0.60*	0.60*	0.59	-0.56
Diâmetro	0.47	-0.45	-0.31	0.72**	0.71**	0.54	-0.15
Raiz(comprim.)	0.71**	-0.67**	-0.50	0.62*	0.63*	0.73**	-0.39

	P	C	m	V	Al total	Al monom.
Folhas	-0.49	-0.24	-0.48	0.58	-0.28	-0.51
Caule	-0.57	-0.22	-0.70**	0.80**	-0.28	-0.71**
Raiz(peso)	-0.85**	-0.34	-0.91**	0.84**	-0.13	-0.89**
Altura	-0.79**	-0.46	-0.64*	0.64*	-0.25	-0.67**
Diâmetro	-0.31	0.08	-0.61*	0.67**	-0.06	-0.62*
Raiz(comprim.)	-0.64*	-0.15	-0.68**	0.62*	-0.59	-0.66*

\* significativo a 90 % de probabilidade.

\*\* significativo a 95 % de probabilidade

ANEXO 24 – MÉDIAS E DESVIO PADRÃO DE NUTRIENTES E AI EM *Tapirira guianensis*, NO EXPERIMENTO EM RIZOTRON COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE AI (mg AI/ kg de solo).

continua

NITROGÊNIO	FOLHAS		CAULE		RAIZ	
	Média	Desvio padr.	Média	Desvio padr.	Média	Desvio padr.
Tratamentos						
0	19,63	2,72	11,54	3,05	13,55	1,54
100	20,89	2,63	12,51	1,48	15,83	0,26
200	17,22	2,08	12,35	1,06	14,68	1,01

FÓSFORO	FOLHAS		CAULE		RAIZ	
	Média	Desvio padr.	Média	Desvio padr.	Média	Desvio padr.
Tratamentos						
0	0,559	0,078	0,324	0,103	0,254	0,079
100	0,228	0,181	0,247	0,208	0,238	0,094
200	0,114	0,034	0,119	0,043	0,129	0,008

POTÁSSIO	FOLHAS		CAULE		RAIZ	
	Média	Desvio padr.	Média	Desvio padr.	Média	Desvio padr.
Tratamentos						
0	30,91	3,05	15,99	6,93	7,41	2,44
100	30,06	0,66	10,73	4,83	6,29	2,82
200	34,60	0,66	6,63	0,76	4,22	0,44

CALCÍO	FOLHAS		CAULE		RAIZ	
	Média	Desvio padr.	Média	Desvio padr.	Média	Desvio padr.
Tratamentos						
0	10,07	3,27	3,74	0,70	2,53	0,93
100	5,38	1,25	2,44	1,17	2,17	1,14
200	4,92	0,51	1,75	0,39	1,59	0,17

MAGNÉSIO	FOLHAS		CAULE		RAIZ	
	Média	Desvio padr.	Média	Desvio padr.	Média	Desvio padr.
Tratamentos						
0	2,53	0,56	1,77	0,18	1,33	0,10
100	2,48	0,40	0,79	0,32	0,62	0,17
150	2,71	0,37	0,58	0,06	0,58	0,04



ANEXO 24 – MÉDIAS E DESVIO PADRÃO DE NUTRIENTES E AI EM *Tapirira guianensis*, NO EXPERIMENTO EM RIZOTRON COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE AI (mg AI/ kg de solo).

conclusão

FERRO	FOLHAS		CAULE		RAIZ		
	Tratamentos	Média	Desvio padr.	Média	Desvio padr.	Média	Desvio padr.
0		158,94	14,44	37,25	9,77	295,55	79,57
100		119,28	10,43	19,24	7,90	200,09	24,38
200		122,06	2,00	10,49	7,01	206,89	94,95

MANGANÊS	FOLHAS		CAULE		RAIZ		
	Tratamentos	Média	Desvio padr.	Média	Desvio padr.	Média	Desvio padr.
0		97,12	24,82	83,09	18,05	110,82	22,52
100		83,57	8,36	73,62	18,61	99,42	23,57
200		126,73	13,08	91,01	22,95	60,82	10,32

COBRE	FOLHAS		CAULE		RAIZ		
	Tratamentos	Média	Desvio padr.	Média	Desvio padr.	Média	Desvio padr.
0		7,88	1,82	7,62	1,02	7,72	1,99
25		5,72	1,29	8,46	1,84	9,72	1,99
200		6,87	0,30	8,54	1,86	8,99	0,42

ZINCO	FOLHAS		CAULE		RAIZ		
	Tratamentos	Média	Desvio padr.	Média	Desvio padr.	Média	Desvio padr.
0		23,21	1,84	16,33	3,16	23,75	5,83
100		18,56	1,97	19,05	2,03	17,50	7,62
200		18,55	0,64	18,31	4,86	13,45	2,20

ALUMÍNIO	FOLHAS		CAULE		RAIZ		
	Tratamentos	Média	Desvio padr.	Média	Desvio padr.	Média	Desvio padr.
0		220,25	80,20	37,13	21,21	553,98	22,93
100		220,86	94,29	71,63	53,51	1550,89	187,35
200		305,74	24,10	132,92	19,22	2489,87	145,68

ANEXO 25 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS TEORES DE NUTRIENTES E AI NA FOLHA, CAULE E RAIZ DE *T. guianensis*, NOS EXPERIMENTOS REALIZADOS NO RIZOTROM FRENTE A DOSES CRESCENTES DE AI.

continua

NITROGÊNIO						
<b>Folha</b>						
Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Requerido	
					5%	1%
Tratamentos	2	20,82	10,41	1,137 <sup>ns</sup>	6,94	18,00
Blocos	2	0,63	0,31	0,034 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	4	36,62	9,15			
Total	8	58,07				
<b>Caule</b>						
Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Requerido	
					5%	1%
Tratamentos	2	1,63	0,81	0,191 <sup>ns</sup>	6,94	18,00
Blocos	2	8,15	4,08	0,957 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	4	17,05	4,26			
Total	8	26,83				
<b>Raiz</b>						
Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Requerido	
					5%	1%
Tratamentos	2	7,85	3,92	2,760 <sup>ns</sup>	6,94	18,00
Blocos	2	1,21	0,61	0,427 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	4	5,69	1,42			
Total	8	14,75				
FÓSFORO						
<b>Folha</b>						
Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Requerido	
					5%	1%
Tratamentos	2	0,321	0,161	13,299*	6,94	18,00
Blocos	2	0,032	0,016	1,306 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	4	0,048	0,012			
Total	8	0,401				
<b>Caule</b>						
Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Requerido	
					5%	1%
Tratamentos	2	0,065	0,032	1,545 <sup>ns</sup>	6,94	18,00
Blocos	2	0,027	0,014	0,656 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	4	0,084	0,021			
Total	8	0,176				
<b>Raiz</b>						
Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Requerido	
					5%	1%
Tratamentos	2	0,028	0,014	5,174 <sup>ns</sup>	6,94	18,00
Blocos	2	0,020	0,010	3,670 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	4	0,011	0,003			
Total	8	0,058				

ANEXO 25 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS TEORES DE NUTRIENTES E AI NA FOLHA, CAULE E RAIZ DE *T. guianensis*, NOS EXPERIMENTOS REALIZADOS NO RIZOTROM FRENTE A DOSES CRESCENTES DE AI.

continua

POTÁSSIO						
<b>Folha</b>	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	2	34,95	17,47	6,409 <sup>ns</sup>	6,94	18,00
Blocos	2	9,43	4,72	1,730 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	4	10,91	2,73			
Total	8	55,29				
<b>Caule</b>	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	2	132,03	66,01	3,136 <sup>ns</sup>	6,94	18,00
Blocos	2	59,78	29,89	1,420 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	4	84,19	21,05			
Total	8	275,99				
<b>Raiz</b>	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	2	15,71	7,85	1,351 <sup>ns</sup>	6,94	18,00
Blocos	2	5,01	2,51	0,431 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	4	23,24	5,81			
Total	8	43,97				

CÁLCIO						
<b>Folha</b>	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	2	48,74	24,37	6,617 <sup>ns</sup>	6,94	18,00
Blocos	2	10,31	5,16	1,400 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	4	14,73	3,68			
Total	8	73,79				
<b>Caule</b>	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	2	6,15	3,07	3,253 <sup>ns</sup>	6,94	18,00
Blocos	2	0,23	0,12	0,124 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	4	3,78	0,94			
Total	8	10,16				
<b>Raiz</b>	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	2	1,37	0,68	1,008 <sup>ns</sup>	6,94	18,00
Blocos	2	1,69	0,84	1,243 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	4	2,71	0,68			
Total	8	5,77				

ANEXO 25 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS TEORES DE NUTRIENTES E AI NA FOLHA, CAULE E RAIZ DE *T. guianensis*, NOS EXPERIMENTOS REALIZADOS NO RIZOTROM FRENTE A DOSES CRESCENTES DE AI.

continua

MAGNÉSIO							
<b>Folha</b>							
Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Requerido		
					5%	1%	
Tratamentos	2	0,09	0,04	0,171 <sup>ns</sup>	6,94	18,00	
Blocos	2	0,18	0,09	0,344 <sup>ns</sup>			
Erro experimental	4	1,03	0,26				
Total	8	1,29					
<b>Caule</b>							
Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Requerido		
					5%	1%	
Tratamentos	2	2,40	1,20	20,092**	6,94	18,00	
Blocos	2	0,04	0,02	0,294 <sup>ns</sup>			
Erro experimental	4	0,24	0,06				
Total	8	2,68					
<b>Raiz</b>							
Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Requerido		
					5%	1%	
Tratamentos	2	1,07	0,54	36,653**	6,94	18,00	
Blocos	2	0,02	0,01	0,694 <sup>ns</sup>			
Erro experimental	4	0,06	0,01				
Total	8	1,15					

FERRO							
<b>Folha</b>							
Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Requerido		
					5%	1%	
Tratamentos	2	2940,7	1470,4	9,498*	6,94	18,00	
Blocos	2	23,1	11,5	0,074 <sup>ns</sup>			
Erro experimental	4	619,2	154,8				
Total	8	3583,0					
<b>Caule</b>							
Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Requerido		
					5%	1%	
Tratamentos	2	1116,7	558,3	5,646 <sup>ns</sup>	6,94	18,00	
Blocos	2	18,3	9,2	0,093 <sup>ns</sup>			
Erro experimental	4	395,5	98,9				
Total	8	1530,5					
<b>Raiz</b>							
Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Requerido		
					5%	1%	
Tratamentos	2	17020,6	8510,3	1,098 <sup>ns</sup>	6,94	18,00	
Blocos	2	871,6	435,8	0,056 <sup>ns</sup>			
Erro experimental	4	31011,4	7752,8				
Total	8	48903,5					

ANEXO 25 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS TEORES DE NUTRIENTES E AI NA FOLHA, CAULE E RAIZ DE *T. guianensis*, NOS EXPERIMENTOS REALIZADOS NO RIZOTROM FRENTE A DOSES CRESCENTES DE AI.

continua

MANGANÊS							
<b>Folha</b>	Graus de	Soma dos	Quadrado	F Requerido			
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%	
Tratamentos	2	2924,3	1462,1	3,492 <sup>ns</sup>	6,94	18,00	
Blocos	2	40,1	20,0	0,048 <sup>ns</sup>			
Erro experimental	4	1674,7	418,7				
Total	8	4639,0					
<b>Caule</b>	Graus de	Soma dos	Quadrado	F Requerido			
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%	
Tratamentos	2	454,7	227,4	0,394 <sup>ns</sup>	6,94	18,00	
Blocos	2	88,9	44,5	0,077 <sup>ns</sup>			
Erro experimental	4	2309,3	577,3				
Total	8	2852,9					
<b>Raiz</b>	Graus de	Soma dos	Quadrado	F Requerido			
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%	
Tratamentos	2	4121,1	2060,6	7,499*	6,94	18,00	
Blocos	2	1239,8	619,9	2,256 <sup>ns</sup>			
Erro experimental	4	1099,2	274,8				
Total	8	6460,1					
COBRE							
<b>Folha</b>	Graus de	Soma dos	Quadrado	F Requerido			
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%	
Tratamentos	2	6,98	3,49	1,672 <sup>ns</sup>	6,94	18,00	
Blocos	2	1,79	0,89	0,428 <sup>ns</sup>			
Erro experimental	4	8,35	2,09				
Total	8	17,12					
<b>Caule</b>	Graus de	Soma dos	Quadrado	F Requerido			
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%	
Tratamentos	2	1,56	0,78	0,795 <sup>ns</sup>	6,94	18,00	
Blocos	2	11,83	5,92	6,030*			
Erro experimental	4	3,92	0,98				
Total	8	17,32					
<b>Raiz</b>	Graus de	Soma dos	Quadrado	F Requerido			
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%	
Tratamentos	2	6,16	3,08	1,661 <sup>ns</sup>	6,94	18,00	
Blocos	2	8,76	4,38	2,363 <sup>ns</sup>			
Erro experimental	4	7,41	1,85				
Total	8	22,33					

ANEXO 25 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS TEORES DE NUTRIENTES E AI NA FOLHA, CAULE E RAIZ DE *T. guianensis*, NOS EXPERIMENTOS REALIZADOS NO RIZOTROM FRENTE A DOSES CRESCENTES DE AI.

continua

ZINCO						
Folha	Graus de	Soma dos	Quadrado	F Requerido		
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	2	43,36	21,68	6,904 <sup>ns</sup>	6,94	18,00
Blocos	2	2,74	1,37	0,436 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	4	12,56	3,14			
Total	8	58,67				
Caule	Graus de	Soma dos	Quadrado	F Requerido		
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	2	11,90	5,95	0,392 <sup>ns</sup>	6,94	18,00
Blocos	2	14,77	7,38	0,486 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	4	60,76	15,19			
Total	8	87,43				
Raiz	Graus de	Soma dos	Quadrado	F Requerido		
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	2	161,63	80,81	2,991 <sup>ns</sup>	6,94	18,00
Blocos	2	85,55	42,77	1,583 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	4	108,08	27,02			
Total	8	355,25				
ALUMÍNIO						
Folha	Graus de	Soma dos	Quadrado	F Requerido		
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	2	14516	7258	1,111 <sup>ns</sup>	6,94	18,00
Blocos	2	5689	2844	0,436 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	4	26120	6530			
Total	8	46325				
Caule	Graus de	Soma dos	Quadrado	F Requerido		
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	2	14121	7061	5,077*	6,94	18,00
Blocos	2	1803	901	0,648 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	4	5563	1391			
Total	8	21486				
Raiz	Graus de	Soma dos	Quadrado	F Requerido		
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	2	5623190	2811595	100,547**	6,94	18,00
Blocos	2	1843	922	0,033 <sup>ns</sup>		
Erro experimental	4	111852	27963			
Total	8	5736885				

ANEXO 26 – MATRIZES DE CORRELAÇÃO ENTRE NUTRIENTES MEDIDOS NAS FRAÇÕES DE *Tapirira guianensis* E SEUS PARÂMETROS DE CRESCIMENTO, DO EXPERIMENTO REALIZADO NO RIZOTROM COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE Al.

FOLHA										
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al
Folhas	0,77**	0,79**	-0,07	0,63*	0,20	0,11	-0,38	-0,07	0,18	-0,92**
Caule	0,63*	0,88**	-0,12	0,74**	0,07	0,35	-0,43	0,16	0,45	-0,83**
Raiz (peso)	0,35	0,87**	-0,44	0,69*	-0,03	0,77**	-0,31	0,25	0,61*	-0,36
Altura	0,71**	0,90**	-0,33	0,74**	0,07	0,37	-0,38	0,01	0,37	-0,82**
Diâmetro	0,24	0,55	-0,03	0,32	0,31	0,39	-0,19	0,08	0,24	-0,24
Raiz (comprim.)	0,46	0,90**	-0,08	0,89**	-0,24	0,55	-0,13	0,36	0,54	-0,62*

CAULE										
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al
Folhas	0,44	0,95**	0,87**	0,89**	0,70**	0,78**	0,52	-0,68**	0,25	-0,84**
Caule	0,30	0,88**	0,92**	0,91**	0,85**	0,86**	0,35	-0,67*	0,04	-0,84**
Raiz (peso)	-0,30	0,57	0,55	0,83**	0,91**	0,87**	0,06	-0,38	-0,32	-0,75**
Altura	0,19	0,93**	0,84**	0,91**	0,79**	0,85**	0,32	-0,50	0,15	-0,97**
Diâmetro	-0,13	0,38	0,33	0,69**	0,70**	0,67**	0,38	-0,52	-0,29	-0,34
Raiz (comprim.)	0,14	0,82**	0,83**	0,75**	0,74**	0,66*	0,14	-0,65*	-0,07	-0,86**

RAIZ										
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al
Folhas	-0,04	0,71**	0,95**	0,96**	0,68**	0,66*	0,50	-0,51	0,91**	-0,59*
Caule	-0,15	0,66*	0,91**	0,90**	0,84**	0,68**	0,49	-0,45	0,91**	-0,73**
Raiz (peso)	-0,53	0,51	0,53	0,44	0,89**	0,53	0,80**	-0,52	0,68**	-0,86**
Altura	-0,21	0,83**	0,85**	0,82**	0,77**	0,69**	0,76**	-0,63*	0,92**	-0,80**
Diâmetro	-0,45	0,04	0,47	0,40	0,67**	0,34	0,33	-0,25	0,45	-0,39
Raiz (comprim.)	-0,18	0,90**	0,66**	0,76**	0,78**	0,60*	0,69**	-0,84**	0,92**	-0,74**

\* significativo a 90 % de probabilidade.

\*\* significativo a 95 % de probabilidade

ANEXO 27 – MATRIZES DE CORRELAÇÃO ENTRE NUTRIENTES MEDIDOS NAS FRAÇÕES DE *Tapirira guianensis* DO EXPERIMENTO REALIZADO NO RIZOTROM COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE Al

FOLHA										
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al
N	1,00									
P	0,48	1,00								
K	-0,38	-0,27	1,00							
Ca	0,24	0,89**	0,05	1,00						
Mg	0,09	-0,03	-0,19	-0,32	1,00					
Fe	-0,22	0,67**	-0,22	0,72**	-0,26	1,00				
Mn	-0,67**	-0,29	0,74**	0,02	-0,01	0,06	1,00			
Cu	-0,40	0,34	0,40	0,67	-0,56	0,70**	0,47	1,00		
Zn	-0,12	0,67**	-0,10	0,82**	-0,37	0,91**	0,07	0,83**	1,00	
Al	-0,87**	-0,67	0,25	-0,50	-0,16	0,07	0,55	0,21	-0,09	1,00

CAULE										
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al
N	1,00									
P	0,43	1,00								
K	0,46	0,90**	1,00							
Ca	0,13	0,89**	0,81**	1,00						
Mg	-0,12	0,71**	0,75**	0,91**	1,00					
Fe	0,05	0,77**	0,75**	0,95**	0,92**	1,00				
Mn	0,64	0,42	0,29	0,36	0,12	0,31	1,00			
Cu	-0,23	-0,63	-0,61	-0,57	-0,48	-0,36	-0,10	1,00		
Zn	0,80**	0,28	0,17	0,03	-0,25	0,03	0,72**	0,27	1,00	
Al	-0,13	-0,89**	-0,85**	-0,88**	-0,79**	-0,85**	-0,14	0,51	-0,05	1,00

RAIZ										
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al
N	1,00									
P	0,10	1,00								
K	0,03	0,74**	1,00							
Ca	0,17	0,81**	0,94**	1,00						
Mg	-0,53	0,57	0,66	0,61	1,00					
Fe	-0,17	0,45	0,60	0,57	0,69**	1,00				
Mn	-0,30	0,68**	0,54	0,46	0,59	0,17	1,00			
Cu	0,40	-0,64	-0,34	-0,49	-0,58	-0,46	-0,42	1,00		
Zn	-0,03	0,86**	0,86**	0,93**	0,79**	0,68**	0,60	-0,66	1,00	
Al	0,40	-0,68**	-0,66	-0,55	-0,88**	-0,55	-0,78**	0,40	-0,72**	1,00



ANEXO 28 – MATRIZES DE CORRELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO E TEORES DE NUTRIENTES DAS FRAÇÕES DE *Tapirira guianensis*. EXPERIMENTO REALIZADO NO RIZOTROM COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE Al

continua

FOLHAS X SOLO NÃO RIZOSFÉRICO										
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al
pH	0,09	0,70**	-0,57	0,56	-0,11	0,86**	-0,36	0,30	0,71**	-0,11
Al	-0,20	-0,83**	0,44	-0,72**	0,20	-0,85**	0,42	-0,42	-0,78**	0,30
H+Al	-0,64*	-0,70**	0,79**	-0,40	-0,10	-0,41	0,75**	0,21	-0,33	0,57
Ca+Mg	0,32	0,88**	-0,14	0,83**	-0,11	0,73**	-0,25	0,50	0,78**	-0,48
Ca	0,31	0,86**	-0,15	0,81**	-0,09	0,73**	-0,25	0,49	0,78**	-0,45
K	0,15	0,90**	-0,11	0,91**	-0,21	0,85**	-0,14	0,62*	0,87**	-0,39
T	-0,65*	-0,59	0,85**	-0,26	-0,14	-0,29	0,79**	0,35	-0,19	0,54
P	-0,25	-0,62*	0,72**	-0,53	0,28	-0,72**	0,50	-0,25	-0,69**	0,23
C	-0,75**	-0,33	0,61*	-0,03	-0,20	0,24	0,74**	0,68**	0,29	0,70**
m	-0,19	-0,88**	0,31	-0,78**	0,09	-0,86**	0,27	-0,46	-0,80**	0,33
V	0,37	0,85**	-0,39	0,68**	0,08	0,69**	-0,43	0,26	0,67**	-0,48
Al total	-0,12	0,14	0,28	0,44	-0,80*	0,20	0,12	0,45	0,30	-0,03
Al mon.	-0,04	-0,80**	0,29	-0,75**	0,16	-0,93**	0,16	-0,58	-0,87**	0,16

FOLHAS X SOLO RIZOSFÉRICO										
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al
pH	0,19	0,85**	-0,27	0,86**	-0,35	0,88**	-0,24	0,62*	0,90**	-0,32
Al	-0,28	-0,84**	0,49	-0,77**	0,24	-0,85**	0,38	-0,44	-0,83**	0,35
H+Al	-0,54	-0,64*	0,39	-0,61*	0,32	-0,48	0,44	-0,26	-0,61*	0,46
Ca+Mg	0,14	0,84**	-0,30	0,74**	-0,04	0,87**	-0,24	0,47	0,79**	-0,27
Ca	0,19	0,85**	-0,17	0,80**	-0,11	0,82**	-0,21	0,55	0,82**	-0,34
K	0,09	0,84**	0,05	0,92**	-0,28	0,81**	-0,05	0,71**	0,87**	-0,34
T	-0,59*	-0,49	0,38	-0,47	0,35	-0,30	0,45	-0,15	-0,46	0,45
P	-0,50	-0,78**	0,76**	-0,57	0,02	-0,60*	0,58	-0,01	-0,53	0,51
C	-0,44	-0,30	0,57	-0,21	-0,16	-0,15	0,28	0,14	-0,28	0,37
m	-0,15	-0,87**	0,31	-0,81**	0,15	-0,90**	0,23	-0,52	-0,85**	0,30
V	0,28	0,85**	-0,24	0,79**	-0,11	0,78**	-0,29	0,49	0,81**	-0,41
Al total	0,13	-0,39	-0,67*	-0,68**	0,35	-0,34	-0,60*	-0,73**	-0,45	0,11
Al mon.	-0,15	-0,88**	0,31	-0,80**	-0,02	-0,88**	0,18	-0,48	-0,83**	0,33

ANEXO 28 – MATRIZES DE CORRELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO E TEORES DE NUTRIENTES DAS FRAÇÕES DE *Tapirira guianensis*. EXPERIMENTO REALIZADO NO RIZOTROM COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE Al

continua

CAULE X SOLO NÃO RIZOSFÉRICO										
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn		Zn	Al
pH	-0,55	0,29	0,36	0,62*	0,82**	0,74**	-0,25	-0,11	-0,51	-0,57
Al	0,35	-0,46	-0,59*	-0,73**	-0,92**	-0,80**	0,21	0,36	0,50	0,67**
H+Al	0,22	-0,61*	-0,51	-0,81**	-0,77**	-0,88**	0,03	0,18	0,10	0,81**
Ca+Mg	0,03	0,60*	0,77**	0,81**	0,92**	0,88**	0,20	-0,43	-0,18	-0,70**
Ca	0,01	0,58	0,74**	0,81**	0,92**	0,88**	0,21	-0,42	-0,19	-0,68**
K	-0,08	0,57	0,76**	0,72**	0,91**	0,77**	0,02	-0,44	-0,31	-0,69**
T	0,24	-0,55	-0,41	-0,73**	-0,66*	-0,79**	0,07	0,10	0,06	0,75**
P	0,35	-0,31	-0,41	-0,52	-0,68**	-0,68**	0,33	-0,08	0,26	0,62*
C	-0,02	-0,60*	-0,36	-0,51	-0,27	-0,45	0,02	0,21	-0,18	0,68**
m	0,26	-0,51	-0,64*	-0,78**	-0,95**	-0,85**	0,00	0,36	0,39	0,68**
V	-0,13	0,59*	0,67**	0,86**	0,96**	0,94**	0,15	-0,34	-0,22	-0,71**
Al total	-0,01	0,05	0,29	-0,16	-0,05	-0,15	-0,48	-0,21	-0,25	-0,26
Al mon.	0,32	-0,36	-0,53	-0,65*	-0,89**	-0,76**	0,07	0,24	0,43	0,55

CAULE X SOLO RIZOSFÉRICO										
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al
pH	-0,14	0,48	0,69**	0,68**	0,87**	0,78**	-0,09	-0,33	-0,33	-0,68**
Al	0,23	-0,50	-0,63*	-0,73**	-0,89**	-0,84**	0,12	0,22	0,29	0,73**
H+Al	-0,11	-0,47	-0,61*	-0,63*	-0,64*	-0,80**	-0,12	0,08	-0,10	0,71**
Ca+Mg	-0,28	0,46	0,58*	0,76**	0,94**	0,83**	0,02	-0,34	-0,41	-0,61*
Ca	-0,11	0,50	0,67**	0,76**	0,93**	0,83**	0,10	-0,40	-0,32	-0,61*
K	-0,02	0,51	0,75**	0,65*	0,84**	0,69**	0,04	-0,48	-0,32	-0,61*
T	-0,21	-0,41	-0,53	-0,51	-0,46	-0,68**	-0,13	-0,02	-0,24	0,64*
P	0,25	-0,61	-0,56	-0,76**	-0,80**	-0,84**	0,10	0,12	0,12	0,83**
C	-0,13	-0,31	-0,27	-0,36	-0,28	-0,54	-0,28	-0,48	-0,53	0,46
m	0,25	-0,49	-0,63*	-0,74**	-0,94**	-0,82**	0,03	0,32	0,38	0,66*
V	-0,06	0,54	0,71**	0,78**	0,93**	0,88**	0,12	-0,36	-0,24	-0,67**
Al total	-0,39	-0,30	-0,46	-0,12	-0,18	-0,01	-0,27	0,47	-0,04	0,17
Al mon.	0,22	-0,52	-0,64*	-0,77**	-0,95**	-0,84**	-0,08	0,27	0,28	0,66*

RAIZ X SOLO NÃO RIZOSFÉRICO										
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al
pH	-0,61*	0,28	0,28	0,15	0,80**	0,34	0,70**	-0,26	0,41	-0,85**
Al	0,48	-0,45	-0,47	-0,39	-0,90**	-0,42	-0,66*	0,34	-0,61*	0,91**
H+Al	0,27	-0,48	-0,65*	-0,47	-0,66*	-0,41	-0,83**	0,10	-0,57	0,85**
Ca+Mg	-0,40	0,45	0,63*	0,59*	0,96**	0,73**	0,43	-0,42	0,75**	-0,82**
Ca	-0,42	0,41	0,62*	0,56	0,96**	0,72**	0,42	-0,40	0,72**	-0,81**
K	-0,48	0,54	0,53	0,53	0,96**	0,64*	0,47	-0,57	0,74**	-0,85**
T	0,21	-0,44	-0,59*	-0,40	-0,53	-0,30	-0,84**	0,01	-0,47	0,78**
P	0,33	-0,40	-0,31	-0,16	-0,65*	-0,39	-0,67**	0,09	-0,38	0,88**
C	-0,16	-0,53	-0,59*	-0,52	-0,14	-0,08	-0,68**	0,03	-0,44	0,42
m	0,58	-0,43	-0,51	-0,44	-0,97**	-0,57	-0,60*	0,45	-0,66*	0,88**
V	-0,50	0,38	0,65*	0,52	0,94**	0,62	0,57	-0,29	0,66*	-0,87**
Al total	0,31	0,42	-0,12	0,15	0,05	0,08	0,05	-0,35	0,30	-0,13
Al mon.	0,61*	-0,32	-0,35	-0,28	-0,92**	-0,53	-0,51	0,40	-0,53	0,83**

ANEXO 28 – MATRIZES DE CORRELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO E TEORES DE NUTRIENTES DAS FRAÇÕES DE *Tapirira guianensis*. EXPERIMENTO REALIZADO NO RIZOTROM COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE Al

conclusão

RAIZ X SOLO RIZOSFÉRICO										
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al
pH	-0,40	0,52	0,46	0,43	0,92**	0,62*	0,54	-0,44	0,67**	-0,89**
Al	0,43	-0,51	-0,49	-0,39	-0,89**	-0,58	-0,66*	0,35	-0,63*	0,95**
H+Al	0,04	-0,41	-0,52	-0,42	-0,67**	-0,75**	-0,43	0,09	-0,59*	0,75**
Ca+Mg	-0,62	0,36	0,47	0,38	0,95**	0,54	0,56	-0,43	0,60*	-0,84**
Ca	-0,50	0,38	0,53	0,47	0,96**	0,62*	0,44	-0,41	0,66*	-0,81**
K	-0,40	0,49	0,48	0,52	0,92**	0,64*	0,34	-0,57	0,72**	-0,75**
T	-0,14	-0,36	-0,47	-0,37	-0,49	-0,71**	-0,34	-0,04	-0,50	0,62*
P	0,38	-0,60*	-0,57	-0,42	-0,73**	-0,46	-0,88**	0,30	-0,60*	0,94**
C	0,17	-0,19	-0,33	-0,11	-0,28	-0,61*	-0,30	-0,08	-0,18	0,50
m	0,57	-0,44	-0,47	-0,40	-0,96**	-0,58	-0,58	0,46	-0,64*	0,89**
V	-0,44	0,40	0,58	0,50	0,96**	0,68**	0,46	-0,35	0,68**	-0,85**
Al total	0,03	-0,44	-0,14	-0,37	-0,35	-0,43	0,12	0,77**	-0,48	0,07
Al mon.	0,67**	-0,43	-0,50	-0,41	-0,97**	-0,62	-0,57	0,50	-0,63*	0,88*

ANEXO 29 – MÉDIAS, DESVIO PADRÃO E COMPARAÇÃO DE MÉDIAS, PARA OS PARÂMETROS DE DESENVOLVIMENTO DE *Tapirira guianensis*, NO PRIMEIRO EXPERIMENTO REALIZADO EM HIDROPONIA FRENTE A DOSES CRESCENTES DE Al.

TRATAMENT. mM de Al	Peso Folhas (g)		Peso Caule (g)		Peso Raiz (g)	
	Média	Dv. pad.	Média	Dv. pad.	Média	Dv. pad.
0	1,236	0,474	0,371	0,077	0,205	0,092
0,25	1,314	0,843	0,288	0,191	0,305	0,157
0,5	0,974	0,911	0,266	0,144	0,236	0,135
1,0	1,295	1,007	0,384	0,295	0,289	0,264
2,0	2,018	1,220	0,625	0,342	0,342	0,218

TRATAMENT. mM de Al	Altura (cm)		Diâm. do Caule (cm)		Comprim. da raiz (m)	
	Média	Dv. pad.	Média	Dv. pad.	Média *	Dv. pad.
0	20,238	4,393	0,344	0,048	14,252	4,387
0,25	18,438	5,709	0,354	0,091	19,855	10,214
0,5	15,786	2,721	0,314	0,069	11,436	6,685
1,0	18,350	4,854	0,339	0,120	15,314	13,513
2,0	22,360	6,401	0,408	0,108	26,124	11,925

ANEXO 30 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS PARÂMETROS DE DESENVOLVIMENTO DE *T. guianensis*, NO PRIMEIRO EXPERIMENTO REALIZADO EM HIDROPÔNIA FRENTE A DOSES CRESCENTES DE AI.

<b>Folhas</b>		Graus	Soma	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdad	Quadrado	Médio	F	5%	1%	
Tratamentos	4	5,47	1,37	1,53 <sup>ns</sup>	2,63	3,87	
Erro experimental	38	34,06	0,90				
Total	42	39,53					
<b>Caule</b>		Graus	Soma	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdad	Quadrado	Médio	F	5%	1%	
Tratamentos	4	0,74	0,185	3,12*	2,63	3,87	
Erro experimental	38	2,25	0,059				
Total	42	2,99					
<b>Raiz (peso)</b>		Graus	Soma	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdad	Quadrado	Médio	F	5%	1%	
Tratamentos	4	0,102	0,026	0,70 <sup>ns</sup>	2,63	3,87	
Erro experimental	38	1,394	0,037				
Total	42	1,497					
<b>Altura</b>		Graus	Soma	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdad	Quadrado	Médio	F	5%	1%	
Tratamentos	4	201,90	50,47	1,94 <sup>ns</sup>	2,63	3,87	
Erro experimental	38	988,48	26,01				
Total	42	1190,37					
<b>Diâmetro</b>		Graus	Soma	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdad	Quadrado	Médio	F	5%	1%	
Tratamentos	4	0,043	0,011	1,221 <sup>ns</sup>	2,63	3,87	
Erro experimental	38	0,337	0,009				
Total	42	0,380					
<b>Raiz</b>		Graus	Soma	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdad	Quadrado	Médio	F	5%	1%	
Tratamentos	4	1172,65	293,16	2,75*	2,63	3,87	
Erro experimental	38	4056,41	106,75				
Total	42	5229,06					

<sup>ns</sup> não significativo.

\* significativo a 5 % de probabilidade.

\*\* significativo a 1 % de probabilidade

ANEXO 31 – MÉDIAS, DESVIO PADRÃO E COMPARAÇÃO DE MÉDIAS, PARA OS PARÂMETROS DE DESENVOLVIMENTO DE *Tapirira guianensis*, NO SEGUNDO EXPERIMENTO REALIZADO EM HIDROPONIA FRENTE A DOSES CRESCENTES DE Al.

TRATAM. mM de Al	Peso Folhas (g)		Peso Caule (g)		Peso Raiz (g)		Altura (cm)	
	Média	Dv.pad.	Média	Dv.pad.	Média	Dv.pad.	Média	Dv.pad.
0	2,262	0,465	0,790	0,200	0,780	0,053	17,778	1,446
0,5	2,053	0,582	0,795	0,302	0,858	0,432	18,485	4,009
1,0	2,732	0,808	0,968	0,319	1,128	0,424	18,508	1,776
2,0	3,045	0,989	1,153	0,450	1,232	0,606	22,542	6,052
4,0	3,117	0,588	1,222	0,254	1,397	0,223	21,950	2,086
6,0	3,685	0,671	1,678	0,195	1,883	0,407	22,200	1,828

TRATAM. mM de Al	Diâmetro do Caule (cm)		Comprimento da raiz (m)		Peso/n° de Folhas	
	Média	Dv.pad.	Média	Dv.pad.	Média *	Dv.pad.
0	0,318	0,041	118,706	100,148	0,113	0,025
0,5	0,297	0,040	93,247	26,265	0,108	0,030
1,0	0,325	0,036	117,563	55,386	0,138	0,030
2,0	0,332	0,048	127,906	83,223	0,142	0,030
4,0	0,335	0,036	128,589	32,801	0,154	0,017
6,0	0,398	0,019	166,875	41,238	0,181	0,024

ANEXO 32 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS PARÂMETROS DE DESENVOLVIMENTO DE *T. guianensis*, NO SEGUNDO EXPERIMENTO REALIZADO EM HIDROPÔNIA FRENTE A DOSES CRESCENTES DE AI

<b>Folhas</b>	Graus	Soma	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdad	Quadrado	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	8,90	1,78	3,49*	2,57	4,11
Erro experimental	27	13,79	0,51			
Total	32	22,69				
<b>Caule</b>	Graus	Soma	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdad	Quadrado	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	2,56	0,513	5,38**	2,57	4,11
Erro experimental	27	2,57	0,095			
Total	32	5,13				
<b>Raiz (peso)</b>	Graus	Soma	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdad	Quadrado	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	3,708	0,742	4,526**	2,57	4,11
Erro experimental	27	4,423	0,164			
Total	32	8,131				
<b>Altura</b>	Graus	Soma	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdad	Quadrado	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	131,42	26,28	2,22 <sup>ns</sup>	2,57	4,11
Erro experimental	27	319,43	11,83			
Total	32	450,86				
<b>Diâmetro</b>	Graus	Soma	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdad	Quadrado	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	0,026	0,0052	3,508*	2,57	4,11
Erro experimental	27	0,040	0,0015			
Total	32	0,067				
<b>Raiz</b>	Graus	Soma	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdad	Quadrado	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	13611,9	2722,4	0,71 <sup>ns</sup>	2,57	4,11
Erro experimental	27	104017,2	3852,5			
Total	32	117629,1				
<b>Peso/nº folhas</b>	Graus	Soma	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdad	Quadrado	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	0,0174	0,0035	4,91**	2,57	4,11
Erro experimental	27	0,0192	0,0007			
Total	32	0,0366				

ANEXO 33– ÍNDICES DE CORRELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS DE DESENVOLVIMENTO DE *T. guianensis* E AS DIVERSAS FORMAS DE AI NA SOLUÇÃO NUTRITIVA HIDROPÔNICA.

	Tratamen.	AI monom.	AI tot. diger.	AI total	AI dig.- AI mon.	AI dig.- AI total
Folhas	0,79**	0,76**	0,84**	0,84**	0,86**	0,84**
Caule	0,89**	0,83**	0,90**	0,90**	0,91**	0,90**
Raiz (peso)	0,86**	0,81**	0,89**	0,89**	0,91**	0,89**
Altura	0,64**	0,66**	0,64**	0,64**	0,61**	0,64**
Diâmetro	0,76**	0,67**	0,78**	0,78**	0,80**	0,78**
Raiz (comprim.)	0,45	0,39	0,48	0,48	0,51	0,48
Peso/nº de folhas	0,91**	0,88**	0,94**	0,94**	0,94**	0,94**

\* significativo a 90 % de probabilidade.

\*\* significativo a 95 % de probabilidade

ANEXO 34 – MÉDIAS E DESVIO PADRÃO DE NUTRIENTES E Al, NAS FRAÇÕES DE *T. guianensis*, EM EXPERIMENTO REALIZADO EM MEIO HIDROPÔNICO COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE Al

continua

NITROGÊNIO mmol L <sup>-1</sup> de Al	FOLHAS (g/kg)		CAULE (g/kg)		RAIZ (g/kg)	
	Média	Desv padr.	Média	Desv padr.	Média	Desv padr.
Testemunha	26,528	1,324	21,631	2,454	31,486	3,238
0,5	23,882	1,292	20,123	2,282	23,191	2,474
1,0	24,829	1,114	14,662	1,134	19,275	3,603
2,0	25,537	2,232	13,903	2,479	21,900	2,956
4,0	20,550	0,859	12,056	1,814	17,561	1,224
6,0	24,364	1,687	15,346	0,677	19,286	2,654

FÓSFORO mmol L <sup>-1</sup> de Al	FOLHAS		CAULE		RAIZ	
	Média	Desv padr.	Média	Desv padr.	Média	Desv padr.
Testemunha	1,497	0,050	1,205	0,082	0,852	0,093
0,5	0,965	0,066	0,938	0,076	1,233	0,077
1,0	0,347	0,066	0,413	0,060	0,659	0,095
2,0	0,195	0,071	0,217	0,091	0,359	0,093
4,0	0,087	0,020	0,053	0,035	0,159	0,046
6,0	0,144	0,019	0,083	0,013	0,158	0,039

POTÁSSIO mmol L <sup>-1</sup> de Al	FOLHAS		CAULE		RAIZ	
	Média	Desv padr.	Média	Desv padr.	Média	Desv padr.
Testemunha	15,70	0,88	14,08	0,99	14,02	0,60
0,5	12,73	0,61	12,21	1,50	13,63	0,99
1,0	14,28	0,68	12,62	0,54	15,29	0,90
2,0	12,01	1,06	12,25	1,38	13,86	1,03
4,0	11,44	0,68	10,54	0,36	13,51	0,72
6,0	11,17	1,13	10,25	1,08	12,71	0,99

CALCÍO mmol L <sup>-1</sup> de Al	FOLHAS		CAULE		RAIZ	
	Média	Desv padr.	Média	Desv padr.	Média	Desv padr.
Testemunha	11,04	1,01	6,99	0,45	3,31	0,21
0,5	10,33	1,53	5,24	0,78	3,80	0,09
1,0	10,61	1,17	4,24	0,32	3,45	0,45
2,0	9,27	1,63	3,93	0,30	3,16	0,36
4,0	8,29	0,48	4,16	0,57	2,87	0,21
6,0	8,86	1,71	4,34	1,02	2,91	0,10

MAGNÉSIO mmol L <sup>-1</sup> de Al	FOLHAS		CAULE		RAIZ	
	Média	Desv padr.	Média	Desv padr.	Média	Desv padr.
Testemunha	6,16	0,49	6,17	0,51	3,38	0,28
0,5	5,79	0,54	6,15	0,32	4,42	0,21
1,0	5,18	0,32	4,95	0,26	4,24	0,48
2,0	5,31	0,52	5,21	0,59	4,08	0,46
4,0	4,47	0,35	4,32	0,38	3,84	0,24
6,0	4,75	0,63	5,63	0,47	3,58	0,38

ANEXO 34 – MÉDIAS E DESVIO PADRÃO DE NUTRIENTES E Al, NAS FRAÇÕES DE *T. guianensis*, EM EXPERIMENTO REALIZADO EM MEIO HIDROPÔNICO COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE Al

conclusão

FERRO mmol L <sup>-1</sup> de Al	FOLHAS (mg/kg)		CAULE (mg/kg)		RAIZ (mg/kg)	
	Média	Desv padr.	Média	Desv padr.	Média	Desv padr.
Testemunha	82,45	32,28	101,30	21,79	1431,28	45,32
0,5	98,83	14,55	247,10	47,58	1135,24	138,40
1,0	107,57	23,10	167,08	56,76	259,08	70,37
2,0	112,63	13,64	97,78	37,41	394,22	137,81
4,0	60,06	6,08	99,87	17,26	343,24	147,74
6,0	61,34	18,77	67,92	13,87	379,94	169,00

MANGANÊS mmol L <sup>-1</sup> de Al	FOLHAS		CAULE		RAIZ	
	Média	Desv padr.	Média	Desv padr.	Média	Desv padr.
Testemunha	381,83	58,54	498,85	171,01	2672,43	178,19
0,5	274,72	61,30	476,31	110,34	2646,48	734,80
1,0	335,94	121,13	539,18	145,01	2624,83	490,95
2,0	237,49	98,98	319,38	79,83	1996,68	599,00
4,0	130,58	43,20	154,78	57,52	764,89	262,08
6,0	177,03	56,30	192,08	46,27	1182,39	179,82

COBRE mmol L <sup>-1</sup> de Al	FOLHAS		CAULE		RAIZ	
	Média	Desv padr.	Média	Desv padr.	Média	Desv padr.
Testemunha	13,30	2,33	28,36	5,90	147,19	28,93
0,5	10,01	3,10	26,31	4,86	26,78	3,54
1,0	27,77	6,06	22,57	1,13	56,48	5,37
2,0	20,12	5,01	18,95	5,23	28,50	6,09
4,0	10,45	2,34	10,78	7,38	21,19	5,46
6,0	14,92	5,53	16,45	5,44	22,94	3,63

ZINCO mmol L <sup>-1</sup> de Al	FOLHAS		CAULE		RAIZ	
	Média	Desv padr.	Média	Desv padr.	Média	Desv padr.
Testemunha	33,07	10,52	135,90	27,19	715,06	39,00
0,5	31,60	6,63	102,70	27,50	294,87	147,03
1,0	61,73	19,62	133,73	19,93	139,44	122,76
2,0	45,31	16,37	82,38	22,13	134,74	81,30
4,0	22,53	8,09	35,18	7,85	139,36	85,24
6,0	31,61	10,33	51,67	14,38	177,76	54,37

ALUMÍNIO mmol L <sup>-1</sup> de Al	FOLHAS		CAULE		RAIZ	
	Média	Desv padr.	Média	Desv padr.	Média	Desv padr.
Testemunha	42,30	9,69	19,40	2,45	227,30	25,40
0,5	64,98	14,54	178,65	16,58	5350,84	481,49
1,0	123,02	35,80	370,66	135,42	6665,87	1089,94
2,0	142,54	38,22	668,61	238,74	7656,14	1046,25
4,0	120,33	44,84	399,62	74,70	9590,53	2983,95
6,0	410,87	229,12	608,64	145,17	12115,25	2773,92



ANEXO 35 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS TEORES DE NA FOLHA, CAULE E RAIZ DE *T. guianensis*, NOS EXPERIMENTOS REALIZADOS EM MEIO HIDROPÔNICO COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE AI

continua

NITROGÊNIO						
Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Requerido	
					5%	1%
Tratamentos	5	120,82	24,16	11,112**	2,57	3,78
Erro experimental	27	58,71	2,17			
Total	32	179,54				
Caule						
Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Requerido	
					5%	1%
Tratamentos	5	266,12	53,22	14,220**	2,71	4,1
Erro experimental	20	74,86	3,74			
Total	25	340,98				
Raiz						
Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Requerido	
					5%	1%
Tratamentos	5	553,33	110,67	14,196**	2,62	3,9
Erro experimental	24	187,09	7,80			
Total	29	740,41				
FÓSFORO						
Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Requerido	
					5%	1%
Tratamentos	5	8,453	1,691	554,898**	2,57	3,78
Erro experimental	27	0,082	0,003			
Total	32	8,536				
Caule						
Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Requerido	
					5%	1%
Tratamentos	5	4,134	0,827	198,096**	2,71	4,1
Erro experimental	20	0,083	0,004			
Total	25	4,218				
Raiz						
Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Requerido	
					5%	1%
Tratamentos	5	4,047	0,809	131,914**	2,62	3,9
Erro experimental	24	0,147	0,006			
Total	29	4,194				

ANEXO 35 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS TEORES DE NA FOLHA, CAULE E RAIZ DE *T. guianensis*, NOS EXPERIMENTOS REALIZADOS EM MEIO HIDROPÔNICO COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE AI

continua

POTÁSSIO						
<b>Folha</b>	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	80,50	16,10	22,783**	2,57	3,78
Erro experimental	27	19,08	0,71			
Total	32	99,58				
<b>Caule</b>	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	39,21	7,84	7,439**	2,71	4,1
Erro experimental	20	21,08	1,05			
Total	25	60,30				
<b>Raiz</b>	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	18,44	3,69	4,705**	2,62	3,9
Erro experimental	24	18,81	0,78			
Total	29	37,26				

CÁLCIO						
<b>Folha</b>	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	32,173	6,435	3,792**	2,57	3,78
Erro experimental	27	45,810	1,697			
Total	32	77,982				
<b>Caule</b>	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	23,081	4,616	12,904**	2,71	4,1
Erro experimental	20	7,154	0,358			
Total	25	30,235				
<b>Raiz</b>	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	2,848	0,570	6,527**	2,62	3,9
Erro experimental	24	2,095	0,087			
Total	29	4,943				

ANEXO 35 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS TEORES DE NA FOLHA, CAULE E RAIZ DE *T. guianensis*, NOS EXPERIMENTOS REALIZADOS EM MEIO HIDROPÔNICO COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE AI

continua

MAGNÉSIO						
<b>Folha</b>	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	10,541	2,108	9,344**	2,57	3,78
Erro experimental	27	6,091	0,226			
Total	32	16,632				
<b>Caule</b>	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	11,054	2,211	10,845**	2,71	4,1
Erro experimental	20	4,077	0,204			
Total	25	15,131				
<b>Raiz</b>	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	3,419	0,684	4,982**	2,62	3,9
Erro experimental	24	3,294	0,137			
Total	29	6,713				
FERRO						
<b>Folha</b>	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	14297	2859	7,670**	2,57	3,78
Erro experimental	27	10065	373			
Total	32	24362				
<b>Caule</b>	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	74523	14905	12,314**	2,71	4,1
Erro experimental	20	24207	1210			
Total	25	98730				
<b>Raiz</b>	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	5448838	1089768	69,163**	2,62	3,9
Erro experimental	24	378156	15756			
Total	29	5826994				

ANEXO 35 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS TEORES DE NA FOLHA, CAULE E RAIZ DE *T. guianensis*, NOS EXPERIMENTOS REALIZADOS EM MEIO HIDROPÔNICO COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE AI

continua

MANGANÊS							
Folha	Graus de	Soma dos	Quadrado	F Requerido			
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%	
Tratamentos	5	240939	48188	7,492**	2,57	3,78	
Erro experimental	27	173673	6432				
Total	32	414612					
Caule	Graus de	Soma dos	Quadrado	F Requerido			
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%	
Tratamentos	5	585225	117045	11,661**	2,71	4,1	
Erro experimental	20	200751	10038				
Total	25	785976					
Raiz	Graus de	Soma dos	Quadrado	F Requerido			
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%	
Tratamentos	5	17556236	3511247	16,348**	2,62	3,9	
Erro experimental	24	5154652	214777				
Total	29	22710888					
COBRE							
Folha	Graus de	Soma dos	Quadrado	F Requerido			
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%	
Tratamentos	5	972,43	194,49	10,115**	2,57	3,78	
Erro experimental	20	384,56	19,23				
Total	25	1356,99					
Caule	Graus de	Soma dos	Quadrado	F Requerido			
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%	
Tratamentos	5	905,01	181,00	5,852**	2,71	4,1	
Erro experimental	20	618,56	30,93				
Total	25	1523,57					
Raiz	Graus de	Soma dos	Quadrado	F Requerido			
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%	
Tratamentos	5	39794	7959	73,723**	2,62	3,9	
Erro experimental	20	2159	108				
Total	25	41953					

ANEXO 35 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS TEORES DE NA FOLHA, CAULE E RAIZ DE *T. guianensis*, NOS EXPERIMENTOS REALIZADOS EM MEIO HIDROPÔNICO COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE AI

conclusão

ZINCO						
<b>Folha</b>	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	4360,26	872,05	5,053**	2,57	3,78
Erro experimental	20	3451,31	172,57			
Total	25	7811,57				
<b>Caule</b>	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	37504,64	7500,93	19,844**	2,71	4,1
Erro experimental	20	7559,81	377,99			
Total	25	45064,46				
<b>Raiz</b>	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	865890	173178	20,405**	2,62	3,9
Erro experimental	20	169738	8486,91			
Total	25	1035628				
ALUMÍNIO						
<b>Folha</b>	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	378971	75794	11,202**	2,57	3,78
Erro experimental	27	182682	6766			
Total	32	561653				
<b>Caule</b>	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	1181615	236323	10,949**	2,71	4,1
Erro experimental	20	431678	21584			
Total	25	1613294				
<b>Raiz</b>	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	341936235	68387247	20,590**	2,62	3,9
Erro experimental	24	79714201	3321425			
Total	29	421650436				

<sup>ns</sup> não significativo.

\* significativo a 5 % de probabilidade.

\*\* significativo a 1 % de probabilidade

ANEXO 36– MATRIZES DE CORRELAÇÃO ENTRE OS NUTRIENTES MEDIDOS NAS FRAÇÕES DE *T. guianensis* E OS PARÂMETROS DE CRESCIMENTO DO EXPERIMENTO REALIZADO EM HIDROPÔNIA A DOSES CRESCENTES DE Al

FOLHA										
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al
Folhas	-0,23	-0,52**	-0,54**	-0,07	-0,43**	-0,13	-0,39**	0,04	-0,20	0,35*
Caule	-0,21	-0,53**	-0,60**	-0,13	-0,52**	-0,19	-0,46**	-0,03	-0,26	0,52**
Raiz (peso)	-0,19	-0,54**	-0,58**	-0,04	-0,51**	-0,23	-0,40**	0,02	-0,20	0,43**
Altura	-0,28	-0,45**	-0,58**	0,03	-0,28	0,04	-0,46**	-0,12	-0,27	0,27
Diâmetro	-0,08	-0,34**	-0,42**	0,00	-0,26	-0,10	-0,39**	-0,06	-0,29	0,43**
Raiz (comprim.)	0,02	-0,18	-0,21	0,12	-0,23	-0,31*	-0,16	-0,05	-0,19	0,25
Peso/nº de folhas	-0,26	-0,55**	-0,45**	-0,16	-0,51**	-0,23	-0,30	0,03	-0,10	0,52**
CAULE										
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al
Folhas	-0,49**	-0,51**	-0,37*	-0,20	-0,06	-0,34*	-0,48**	-0,55**	-0,40**	0,36*
Caule	-0,42**	-0,54**	-0,51**	-0,24	-0,03	-0,43**	-0,50**	-0,57**	-0,49**	0,36*
Raiz (peso)	-0,48**	-0,59**	-0,48**	-0,26	-0,07	-0,35*	-0,50**	-0,51**	-0,46**	0,47**
Altura	-0,35*	-0,40**	-0,21	-0,39**	-0,12	-0,35*	-0,43**	-0,38**	-0,41**	0,19
Diâmetro	-0,26	-0,27	-0,19	0,01	0,18	-0,28	-0,30	-0,30	-0,13	0,29
Raiz (comprim.)	-0,42**	-0,46**	-0,37*	-0,22	-0,03	-0,23	-0,31	-0,36*	-0,28	0,29
Peso/nº de folhas	-0,43**	-0,59**	-0,46**	-0,18	-0,23	-0,47**	-0,42**	-0,45**	-0,41**	0,41**
RAIZ										
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al
Folhas	-0,39**	-0,50**	-0,23	-0,61**	-0,29	-0,45**	-0,48**	-0,40**	-0,28	0,43**
Caule	-0,36**	-0,54**	-0,34*	-0,55**	-0,31*	-0,38**	-0,52**	-0,41**	-0,19	0,52**
Raiz (peso)	-0,49**	-0,51**	-0,25	-0,59**	-0,30	-0,43**	-0,49**	-0,45**	-0,26	0,54**
Altura	-0,27	-0,47**	-0,27	-0,34*	-0,09	-0,29	-0,44**	-0,34*	-0,10	0,30
Diâmetro	-0,29	-0,40**	-0,24	-0,42**	-0,24	-0,27	-0,43**	-0,21	0,04	0,28
Raiz (comprim.)	-0,09	-0,31	0,06	-0,35*	-0,27	-0,14	-0,29	0,00	-0,24	0,09
Peso/nº de folhas	-0,39**	-0,57**	-0,07	-0,50**	-0,14	-0,46**	-0,44**	-0,37**	-0,34*	0,49**

\* significativo a 90 % de probabilidade.

\*\* significativo a 95 % de probabilidade

ANEXO 37 – MATRIZES DE CORRELAÇÃO ENTRE OS NUTRIENTES MEDIDOS NAS FRAÇÕES DE *T. guianensis* E AS DIVERSAS FORMAS DE AL NA SOLUÇÃO HIDROPÔNICA

FOLHA						
	Tratamen.	Al monom.	Al total dig.	Al total	Al dig.-Al mon.	Al dig.-Al tot.
N	-0,46	-0,59*	-0,46	-0,46	-0,40	-0,46
P	-0,74**	-0,77**	-0,75**	-0,74**	-0,72**	-0,75**
K	-0,78**	-0,79**	-0,80**	-0,79**	-0,78**	-0,80**
Ca	-0,76**	-0,82**	-0,69**	-0,69**	-0,62**	-0,69**
Mg	-0,78**	-0,85**	-0,75**	-0,75**	-0,69**	-0,75**
Fe	-0,54*	-0,57*	-0,48	-0,48	-0,43	-0,48
Mn	-0,68**	-0,72**	-0,66**	-0,66**	-0,62**	-0,66**
Cu	-0,17	-0,22	-0,14	-0,14	-0,10	-0,14
Zn	-0,34	-0,38	-0,30	-0,30	-0,25	-0,30
Al	0,80**	0,70**	0,74**	0,74**	0,73**	0,74**

CAULE						
	Tratamen.	Al monom.	Al total dig.	Al total	Al dig.-Al mon.	Al dig.-Al tot.
N	-0,58**	-0,65**	-0,60**	-0,60**	-0,56**	-0,60**
P	-0,81**	-0,85**	-0,82**	-0,82**	-0,79**	-0,82**
K	-0,86**	-0,88**	-0,81**	-0,80**	-0,76**	-0,81**
Ca	-0,55*	-0,58**	-0,53*	-0,52*	-0,50*	-0,53*
Mg	-0,35	-0,50*	-0,34	-0,34	-0,27	-0,35
Fe	-0,58**	-0,60**	-0,56**	-0,56**	-0,53*	-0,56**
Mn	-0,80**	-0,84**	-0,79**	-0,79**	-0,75**	-0,79**
Cu	-0,67**	-0,74**	-0,65**	-0,65**	-0,60**	-0,65**
Zn	-0,82**	-0,87**	-0,80**	-0,79**	-0,74**	-0,80**
Al	0,68**	0,64**	0,70**	0,70**	0,71**	0,70**

RAIZ						
	Tratamen.	Al monom.	Al total dig.	Al total	Al dig.-Al mon.	Al dig.-Al tot.
N	-0,62**	-0,63**	-0,60**	-0,59**	-0,57*	-0,60**
P	-0,81**	-0,83**	-0,80**	-0,80**	-0,77**	-0,80**
K	-0,48	-0,41	-0,42	-0,42	-0,42	-0,42
Ca	-0,68**	-0,71**	-0,65**	-0,66**	-0,61**	-0,65**
Mg	-0,10	-0,07	-0,08	-0,09	-0,08	-0,08
Fe	-0,62**	-0,63**	-0,63**	-0,62**	-0,61**	-0,63**
Mn	-0,80**	-0,81**	-0,74**	-0,74**	-0,70**	-0,74**
Cu	-0,57*	-0,58**	-0,58**	-0,57*	-0,56*	-0,58**
Zn	-0,48	-0,51	-0,49	-0,49	-0,47	-0,49
Al	0,78**	0,79**	0,81**	0,81**	0,80**	0,81**

\* significativo a 90 % de probabilidade.

\*\* significativo a 95 % de probabilidade

ANEXO 38 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE OS NUTRIENTES MEDIDOS NAS FRAÇÕES DE *T. guianensis*, DO EXPERIMENTO REALIZADO EM HIDROPONIA COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE Al

FOLHA										
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Al	
N	1,00									
P	0,43**	1,00								
K	0,59**	0,69**	1,00							
Ca	0,44**	0,53**	0,48**	1,00						
Mg	0,45**	0,75**	0,50**	0,58**	1,00					
Fe	0,32*	0,12	0,22	0,42**	0,38**	1,00				
Mn	0,64**	0,57**	0,73**	0,55**	0,55**	0,39**	1,00			
Cu	0,32*	-0,26	0,22	0,18	-0,07	0,47**	0,21	1,00		
Zn	0,45**	-0,07	0,37**	0,33*	0,17	0,55**	0,67**	0,60**	1,00	
Al	-0,01	-0,46**	-0,33*	-0,38**	-0,51**	-0,25	-0,28	0,11	-0,08	1,00

CAULE										
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al
N	1,00									
P	0,84**	1,00								
K	0,47**	0,67**	1,00							
Ca	0,68**	0,80**	0,52**	1,00						
Mg	0,70**	0,68**	0,49**	0,63**	1,00					
Fe	0,26	0,48**	0,27	0,23	0,26	1,00				
Mn	0,63**	0,66**	0,54**	0,44**	0,39**	0,49**	1,00			
Cu	0,74**	0,71**	0,61**	0,56**	0,64**	0,32	0,67**	1,00		
Zn	0,56**	0,71**	0,73**	0,54**	0,51**	0,46**	0,86**	0,74**	1,00	
Al	-0,56**	-0,69**	-0,28	-0,55**	-0,25	-0,24	-0,34	-0,31	-0,29	1,00

RAIZ										
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al
N	1,00									
P	0,52**	1,00								
K	0,10	0,25	1,00							
Ca	0,26	0,69**	0,34*	1,00						
Mg	-0,20	0,27	0,40**	0,58**	1,00					
Fe	0,79**	0,70**	-0,06	0,41**	-0,20	1,00				
Mn	0,52**	0,76**	0,52**	0,66**	0,29	0,51**	1,00			
Cu	0,73**	0,40**	0,22	0,17	-0,35*	0,65**	0,47**	1,00		
Zn	0,68**	0,50**	-0,05	0,29	-0,25	0,83**	0,42**	0,68**	1,00	
Al	-0,64**	-0,63**	-0,24	-0,44**	-0,05	-0,62**	-0,55**	-0,75**	-0,60**	1,00

\* significativo a 90 % de probabilidade.

\*\* significativo a 95 % de probabilidade



ANEXO 39 – CONTEÚDO MÉDIO E DESVIO PADRÃO DE NUTRIENTES E Al, NAS FRAÇÕES DE *T. guianensis*, EM EXPERIMENTO REALIZADO EM HIDROPONIA COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE Al

continua

NITROGÊNIO mmol L <sup>-1</sup> de Al	FOLHAS (mg)		CAULE (mg)		RAIZ (mg)	
	Média	Desv. padr.	Média	Desv. padr.	Média	Desv. padr.
Testemunha	59,62	10,05	17,09	1,94	24,56	2,53
0,5	49,13	15,06	16,00	1,81	19,91	2,12
1,0	67,66	19,46	14,20	1,10	22,67	12,53
2,0	77,18	22,81	15,36	3,76	25,70	9,20
4,0	64,23	13,05	14,62	3,42	24,41	3,59
6,0	89,65	17,43	25,72	2,90	35,72	5,48

FÓSFORO mmol L <sup>-1</sup> de Al	FOLHAS		CAULE		RAIZ	
	Média	Desv. padr.	Média	Desv. padr.	Média	Desv. padr.
Testemunha	3,387	0,717	0,952	0,065	0,664	0,072
0,5	2,000	0,656	0,746	0,061	1,058	0,066
1,0	0,952	0,340	0,400	0,058	0,757	0,323
2,0	0,557	0,153	0,229	0,064	0,399	0,088
4,0	0,276	0,093	0,061	0,027	0,222	0,068
6,0	0,532	0,142	0,138	0,022	0,302	0,115

POTÁSSIO mmol L <sup>-1</sup> de Al	FOLHAS		CAULE		RAIZ	
	Média	Desv. padr.	Média	Desv. padr.	Média	Desv. padr.
Testemunha	35,445	7,028	11,125	0,781	10,938	0,466
0,5	26,104	7,395	9,707	1,191	11,698	0,848
1,0	38,577	9,782	12,219	0,524	17,239	6,682
2,0	36,080	9,668	14,064	5,319	16,965	8,011
4,0	35,535	6,405	12,905	2,897	18,817	2,763
6,0	40,774	6,049	17,254	3,262	24,001	6,094

CALCÍO mmol L <sup>-1</sup> de Al	FOLHAS		CAULE		RAIZ	
	Média	Desv. padr.	Média	Desv. padr.	Média	Desv. padr.
Testemunha	24,992	5,746	5,525	0,355	2,582	0,166
0,5	21,211	6,880	4,166	0,623	3,264	0,079
1,0	28,926	9,282	4,110	0,312	3,742	1,018
2,0	29,323	14,836	4,549	1,826	3,802	1,702
4,0	25,864	5,142	5,000	0,838	3,991	0,610
6,0	33,501	11,956	7,340	2,211	5,473	1,201

MAGNÉSIO mmol L <sup>-1</sup> de Al	FOLHAS		CAULE		RAIZ	
	Média	Desv. padr.	Média	Desv. padr.	Média	Desv. padr.
Testemunha	13,907	2,966	4,871	0,404	2,638	0,217
0,5	11,885	3,367	4,890	0,255	3,796	0,176
1,0	14,053	3,748	4,789	0,255	4,684	1,578
2,0	15,922	4,186	6,055	2,636	4,958	2,229
4,0	14,067	3,423	5,316	1,299	5,356	0,880
6,0	17,767	5,032	9,491	1,677	6,668	1,195

ANEXO 39 – CONTEÚDO MÉDIO E DESVIO PADRÃO DE NUTRIENTES E AI, NAS FRAÇÕES DE *T. guianensis*, EM EXPERIMENTO REALIZADO EM HIDROPONIA COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE AI

conclusão

FERRO mmol L <sup>-1</sup> de AI	FOLHAS (µg)		CAULE (µg)		RAIZ (µg)	
	Média	Desv. padr.	Média	Desv. padr.	Média	Desv. padr.
Testemunha	193,8	98,9	59,5	48,9	1116,4	35,4
0,5	202,5	60,1	196,4	37,8	974,4	118,8
1,0	295,1	124,1	161,8	55,0	282,8	109,6
2,0	341,3	116,2	113,7	63,6	436,0	133,7
4,0	188,0	41,7	123,3	40,0	481,7	252,0
6,0	230,6	99,6	115,2	34,1	745,1	447,9

MANGANÊS mmol L <sup>-1</sup> de AI	FOLHAS		CAULE		RAIZ	
	Média	Desv. padr.	Média	Desv. padr.	Média	Desv. padr.
Testemunha	857,84	196,69	304,62	275,59	2084,50	138,99
0,5	563,27	228,77	378,66	87,72	2271,57	630,70
1,0	914,23	465,38	522,10	140,42	2992,13	1499,73
2,0	693,80	282,52	351,49	108,75	2198,90	472,98
4,0	407,66	143,80	192,13	85,94	1065,45	414,41
6,0	661,31	271,99	324,87	95,05	2235,89	654,35

COBRE mmol L <sup>-1</sup> de AI	FOLHAS		CAULE		RAIZ	
	Média	Desv. padr.	Média	Desv. padr.	Média	Desv. padr.
Testemunha	27,180	8,721	22,403	4,662	117,306	19,087
0,5	23,636	3,961	20,916	3,867	22,289	2,846
1,0	79,720	37,952	21,851	1,096	62,019	24,716
2,0	59,354	17,204	20,715	5,345	34,055	14,653
4,0	32,018	7,183	12,159	7,103	28,742	3,737
6,0	54,770	23,111	27,715	9,943	42,786	9,291

ZINCO mmol L <sup>-1</sup> de AI	FOLHAS		CAULE		RAIZ	
	Média	Desv. padr.	Média	Desv. padr.	Média	Desv. padr.
Testemunha	71,09	17,71	70,14	43,63	479,15	159,14
0,5	76,09	25,70	81,65	21,86	309,22	152,36
1,0	175,38	53,87	129,50	19,30	131,76	86,81
2,0	132,33	46,81	93,02	37,34	182,26	150,79
4,0	69,17	24,78	43,08	13,12	194,78	133,00
6,0	120,51	56,19	87,54	29,42	338,19	137,86

ALUMÍNIO mmol L <sup>-1</sup> de AI	FOLHAS		CAULE		RAIZ	
	Média	Desv. padr.	Média	Desv. padr.	Média	Desv. padr.
Testemunha	96,98	36,12	9,61	7,96	177,30	19,81
0,5	136,82	66,59	142,02	13,18	4592,80	413,28
1,0	343,85	184,81	358,92	131,14	7595,48	3460,97
2,0	447,63	228,54	765,79	404,36	9109,66	3744,77
4,0	375,02	162,80	474,54	61,65	13501,65	5208,04
6,0	1403,31	487,44	1011,67	212,48	22961,10	7963,53

ANEXO 40 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO CONTEÚDO DE NUTRIENTES NAS FRAÇÕES DE *T. guianensis*, NOS EXPERIMENTOS REALIZADOS EM MEIO HIDROPÔNICO COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE AI

continua

NITROGÊNIO						
Folha Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Requerido	
					5%	1%
Tratamentos	5	4909,27	981,85	3,400*	2,57	3,78
Erro experimental	27	7796,45	288,76			
Total	32	12705,71				
Caule Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Requerido	
					5%	1%
Tratamentos	5	388,02	77,60	9,026**	2,71	4,1
Erro experimental	20	171,95	8,60			
Total	25	559,97				
Raiz Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Requerido	
					5%	1%
Tratamentos	5	599,90	119,98	2,064	2,62	3,9
Erro experimental	24	1395,13	58,13			
Total	29	1995,04				

FÓSFORO						
Folha Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Requerido	
					5%	1%
Tratamentos	5	6,502	1,300	50,299**	2,57	3,78
Erro experimental	27	0,698	0,026			
Total	32	7,200				
Caule Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Requerido	
					5%	1%
Tratamentos	5	2,337	0,467	181,102**	2,71	4,1
Erro experimental	20	0,052	0,003			
Total	25	2,389				
Raiz Fonte de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Requerido	
					5%	1%
Tratamentos	5	1,079	0,216	18,278**	2,62	3,9
Erro experimental	24	0,283	0,012			
Total	29	1,363				

ANEXO 40 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO CONTEÚDO DE NUTRIENTES NAS FRAÇÕES DE *T. guianensis*, NOS EXPERIMENTOS REALIZADOS EM MEIO HIDROPÔNICO COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE AI

continua

POTÁSSIO						
<b>Folha</b>	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	694,43	138,89	2,166	2,57	3,78
Erro experimental	27	1731,64	64,13			
Total	32	2426,07				
<b>Caule</b>	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	0,64	0,13	2,480	2,71	4,1
Erro experimental	20	1,04	0,05			
Total	25	1,68				
<b>Raiz</b>	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	474,76	94,95	3,272*	2,62	3,9
Erro experimental	24	696,49	29,02			
Total	29	1171,25				

CÁLCIO						
<b>Folha</b>	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	452,704	90,541	0,993	2,57	3,78
Erro experimental	27	2461,092	91,152			
Total	32	2913,796				
<b>Caule</b>	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	0,908	0,182	3,121*	2,71	4,1
Erro experimental	20	1,164	0,058			
Total	25	2,072				
<b>Raiz</b>	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	18,517	3,703	3,425*	2,62	3,9
Erro experimental	24	25,952	1,081			
Total	29	44,469				

ANEXO 40 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO CONTEÚDO DE NUTRIENTES NAS FRAÇÕES DE *T. guianensis*, NOS EXPERIMENTOS REALIZADOS EM MEIO HIDROPÔNICO COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE Al

continua

MAGNÉSIO						
<b>Folha</b>		Graus de	Soma dos	Quadrado	F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	99,766	19,953	1,402	2,57	3,78
Erro experimental	27	384,270	14,232			
Total	32	484,036				
<b>Caule</b>		Graus de	Soma dos	Quadrado	F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	64,878	12,976	4,966**	2,71	4,1
Erro experimental	20	52,255	2,613			
Total	25	117,133				
<b>Raiz</b>		Graus de	Soma dos	Quadrado	F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	38,699	7,740	4,065**	2,62	3,9
Erro experimental	24	45,698	1,904			
Total	29	84,398				
FERRO						
<b>Folha</b>		Graus de	Soma dos	Quadrado	F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	114975	22995	2,585*	2,57	3,78
Erro experimental	27	240148	8894			
Total	32	355123				
<b>Caule</b>		Graus de	Soma dos	Quadrado	F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	34710	6942	2,868*	2,71	4,1
Erro experimental	20	48416	2421			
Total	25	83126				
<b>Raiz</b>		Graus de	Soma dos	Quadrado	F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	2550718	510144	10,981**	2,62	3,9
Erro experimental	24	1115006	46459			
Total	29	3665724				

ANEXO 40 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO CONTEÚDO DE NUTRIENTES NAS FRAÇÕES DE *T. guianensis*, NOS EXPERIMENTOS REALIZADOS EM MEIO HIDROPÔNICO COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE AI

continua

MANGANÊS						
Folha	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	1016605	203321	2,469	2,57	3,78
Erro experimental	27	2223725	82360			
Total	32	3240330				
Caule	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	273022	54604	3,124*	2,71	4,1
Erro experimental	20	349618	17481			
Total	25	622641				
Raiz	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	11421079	2284216	3,479*	2,62	3,9
Erro experimental	24	15759061	656628			
Total	29	27180140				
COBRE						
Folha	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	1,17	0,23	10,344**	2,57	3,78
Erro experimental	20	0,61	0,02			
Total	25	1,78				
Caule	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	648,78	129,76	2,972*	2,71	4,1
Erro experimental	20	873,14	43,66			
Total	25	1521,93				
Raiz	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	1,469	0,294	18,213**	2,62	3,9
Erro experimental	20	0,387	0,016			
Total	25	1,857				

ANEXO 40 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO CONTEÚDO DE NUTRIENTES NAS FRAÇÕES DE *T. guianensis*, NOS EXPERIMENTOS REALIZADOS EM MEIO HIDROPÔNICO COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES CRESCENTES DE AI

conclusão

ZINCO						
<i>Folha</i>	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	53382,83	10676,57	6,773**	2,57	3,78
Erro experimental	20	42564,25	1576,45			
Total	25	95947,08				
<i>Caule</i>	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	19383,06	3876,61	4,754**	2,71	4,1
Erro experimental	20	16307,87	815,39			
Total	25	35690,93				
<i>Raiz</i>	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	384761	76952	4,174**	2,62	3,9
Erro experimental	20	442453	18435,55			
Total	25	827214				
ALUMÍNIO						
<i>Folha</i>	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	2089,75	417,95	23,596**	2,57	3,78
Erro experimental	27	478,25	17,71			
Total	32	2568,01				
<i>Caule</i>	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	39,52	7,90	88,493**	2,71	4,1
Erro experimental	20	1,79	0,09			
Total	25	41,31				
<i>Raiz</i>	Graus de	Soma dos	Quadrado		F Requerido	
Fonte de variação	Liberdade	Quadrados	Médio	F	5%	1%
Tratamentos	5	60,84	12,17	102,321**	2,62	3,9
Erro experimental	24	2,85	0,12			
Total	29	63,70				

<sup>ns</sup> não significativo.

\* significativo a 5 % de probabilidade.

\*\* significativo a 1 % de probabilidade

ANEXO 41 – MATRIZES DE CORRELAÇÃO ENTRE O CONTEÚDO DE NUTRIENTES NAS FRAÇÕES DE *T. guianensis*, E SEUS PARÂMETROS DE DESENVOLVIMENTO DO EXPERIMENTO REALIZADO EM HIDROPONIA COM PLANTAS SUBMETIDAS A DOSES DE CRESCENTES AI.

FOLHA										
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al
Folhas	0,94**	-0,33*	0,89**	0,89**	0,90**	0,65**	0,30*	0,54**	0,44**	0,68**
Caule	0,89**	-0,37**	0,77**	0,80**	0,79**	0,54**	0,18	0,46**	0,34**	0,79**
Raiz (peso)	0,89**	-0,38**	0,77**	0,83**	0,78**	0,52**	0,23	0,50**	0,40**	0,73**
Altura	0,52**	-0,43**	0,36**	0,56**	0,49**	0,46**	-0,10	0,24	0,08	0,46**
Diâmetro	0,78**	-0,20	0,68**	0,71**	0,75**	0,46**	0,13	0,39**	0,21	0,65**
Raiz (comprim.)	0,54**	-0,14	0,46**	0,56**	0,47**	0,26	0,15	0,16	0,21	0,42**
Peso/nº de folhas	0,69**	-0,40**	0,66**	0,62**	0,62**	0,39**	0,26	0,42**	0,39**	0,74**

CAULE										
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al
Folhas	0,59**	-0,46**	0,84**	0,77**	0,83**	0,20	-0,05	0,15	0,10	0,64**
Caule	0,75**	-0,49**	0,85**	0,81**	0,91**	0,11	-0,04	0,18	0,03	0,69**
Raiz (peso)	0,69**	-0,54**	0,84**	0,79**	0,87**	0,21	-0,01	0,26	0,09	0,76**
Altura	0,41**	-0,36*	0,67**	0,40**	0,60**	0,03	-0,13	0,07	-0,05	0,41**
Diâmetro	0,65**	-0,21	0,76**	0,78**	0,79**	0,15	0,09	0,31	0,31	0,59**
Raiz (comprim.)	0,49**	-0,40**	0,67**	0,62**	0,71**	0,20	0,08	0,24	0,17	0,51**
Peso/nº de folhas	0,44**	-0,56**	0,53**	0,55**	0,54**	-0,12	-0,10	0,10	-0,05	0,56**

RAIZ										
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Al
Folhas	0,80**	-0,14	0,90**	0,88**	0,88**	-0,02	0,28	0,07	0,16	0,54**
Caule	0,82**	-0,24	0,86**	0,89**	0,86**	0,07	0,20	0,01	0,28	0,56**
Raiz (peso)	0,80**	-0,16	0,93**	0,93**	0,91**	0,05	0,29	0,02	0,23	0,63**
Altura	0,51**	-0,31*	0,56**	0,61**	0,61**	-0,02	-0,03	-0,14	0,22	0,39**
Diâmetro	0,63**	-0,18	0,69**	0,73**	0,70**	0,09	0,10	0,13	0,40**	0,33*
Raiz (comprim.)	0,58**	-0,06	0,60**	0,57**	0,54**	0,13	0,18	0,29	0,03	0,16
Peso/nº de folhas	0,56**	-0,31*	0,68**	0,64**	0,66**	-0,13	0,15	0,02	-0,02	0,50**

\* significativo a 90 % de probabilidade.

\*\* significativo a 95 % de probabilidade



ANEXO 42 - MATRIZES DE CORRELAÇÃO ENTRE O CONTEÚDO DE NUTRIENTES NAS FRAÇÕES DE *T. guianensis*, E AS DIVERSAS FORMAS DE AL NA SOLUÇÃO NUTRITIVA HIDROPÔNICA.

## FOLHAS

	Tratamentos	Al monom.	Al total dig.	Al total	Aldig.-Almo.	Al dig.-Altot.
N	-0,46	-0,59*	-0,46	-0,46	-0,40	-0,46
P	-0,74**	-0,77**	-0,75**	-0,74**	-0,72**	-0,75**
K	-0,78**	-0,79**	-0,80**	-0,79**	-0,78**	-0,80**
Ca	-0,76**	-0,82**	-0,69**	-0,69**	-0,62**	-0,69**
Mg	-0,78**	-0,85**	-0,75**	-0,75**	-0,69**	-0,75**
Fe	-0,54*	-0,57*	-0,48	-0,48	-0,43	-0,48
Mn	-0,68**	-0,72**	-0,66**	-0,66**	-0,62**	-0,66**
Cu	-0,17	-0,22	-0,14	-0,14	-0,10	-0,14
Zn	-0,34	-0,38	-0,30	-0,30	-0,25	-0,30
Al	0,80**	0,70**	0,74**	0,74**	0,73**	0,74**

## CAULE

	Tratamentos	Al monom.	Al total dig.	Al total	Aldig.-Almo.	Al dig.-Altot.
N	-0,58**	-0,65**	-0,60**	-0,60**	-0,56**	-0,60**
P	-0,81**	-0,85**	-0,82**	-0,82**	-0,79**	-0,82**
K	-0,86**	-0,88**	-0,81**	-0,80**	-0,76**	-0,81**
Ca	-0,55*	-0,58**	-0,53*	-0,52*	-0,50*	-0,53*
Mg	-0,35	-0,50*	-0,34	-0,34	-0,27	-0,35
Fe	-0,58**	-0,60**	-0,56**	-0,56*	-0,53*	-0,56*
Mn	-0,80**	-0,84**	-0,79**	-0,79**	-0,75**	-0,79**
Cu	-0,67**	-0,74**	-0,65**	-0,65**	-0,60**	-0,65**
Zn	-0,82**	-0,87**	-0,80**	-0,79**	-0,74**	-0,80**
Al	0,68**	0,64**	0,70**	0,70**	0,71**	0,70**

## RAIZ

	Tratamentos	Al monom.	Al total dig.	Al total	Aldig.-Almo.	Al dig.-Altot.
N	-0,62**	-0,63**	-0,60**	-0,59**	-0,57*	-0,60**
P	-0,81**	-0,83**	-0,80**	-0,80**	-0,77**	-0,80**
K	-0,48	-0,41	-0,42	-0,42	-0,42	-0,42
Ca	-0,68**	-0,71**	-0,65**	-0,66**	-0,61**	-0,65**
Mg	-0,10	-0,07	-0,08	-0,09	-0,08	-0,08
Fe	-0,62**	-0,63**	-0,63**	-0,62**	-0,61**	-0,63**
Mn	-0,80**	-0,81**	-0,74**	-0,74**	-0,70**	-0,74**
Cu	-0,57*	-0,58**	-0,58**	-0,57*	-0,56*	-0,58**
Zn	-0,48	-0,51	-0,49	-0,49	-0,47	-0,49
Al	0,78**	0,79**	0,81**	0,81**	0,80**	0,81**

\* significativo a 90 % de probabilidade.

\*\* significativo a 95 % de probabilidade

ANEXO 43 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA REFERENTE AOS TRATAMENTOS (TESTEMUNHA, 0,25 MM E 1,0 MM DE Al E Al + Si (1,0 MM)) DOS TESTES DE GERMINAÇÃO REALIZADOS COM *F. marginata*.

Fonte da variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	F	F Requerido		
				5%	1%	
Tratamentos	3	18,10	6,04	1,64 <sup>ns</sup>	3,16	5,09
Blocos	6	38,71	6,45	1,76 <sup>ns</sup>	2,66	4,01
Erro experimental	18	66,15	3,67			
Total	27	122,96				

<sup>ns</sup> não significativo.

- significativo a 5 % de probabilidade.
- \*\* significativo a 1 % de probabilidade.

ANEXO 44 – MÉDIA E DESVIO PADRÃO DE SEMENTES GERMINADAS NOS DIFERENTES TRATAMENTOS DO TESTE DE GERMINAÇÃO COM *Faramea marginata*.

Tratamentos	Média	Desvio padrão	% de germinação
Testemunha	10,14	2,04	63,4
Al – 0,25 mM	10,57	2,23	66,1
Al – 1,0 mM	10,86	2,19	67,8
Al + Si - 1,0 mM	12,29	1,89	76,7

ANEXO 45 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA ENTRE OS TEORES DE NUTRIENTES DAS FOLHAS DE *F.marginata* COLETADAS NO MORRO E NA PLANÍCIE LITORÂNEA.

Fonte da variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	F Requerido 5%	1%
<b>Ca</b>						
Áreas	1	6,63	6,63	3,79 <sup>ns</sup>	4,20	7,64
Erro experimental	28	48,95	1,75			
Total	29	55,58				
<b>Mg</b>						
Áreas	1	17,79	17,79	35,73**	4,20	7,64
Erro experimental	28	13,94	0,50			
Total	29	31,73				
<b>K</b>						
Áreas	1	9,43	9,43	2,61 <sup>ns</sup>	4,20	7,64
Erro experimental	28	101,18	3,61			
Total	29	110,62				
<b>P</b>						
Áreas	1	0,157	0,157	4,93*	4,20	7,64
Erro experimental	28	0,893	0,032			
Total	29	1,050				
<b>Zn</b>						
Áreas	1	9,26	9,26	0,61 <sup>ns</sup>	4,20	7,64
Erro experimental	28	421,72	15,06			
Total	29	430,98				
<b>Mn</b>						
Áreas	1	6269	6269	9,68**	4,20	7,64
Erro experimental	28	18133	648			
Total	29	24401				
<b>Fe</b>						
Áreas	1	2714	2714	2,12 <sup>ns</sup>	4,20	7,64
Erro experimental	28	35793	1278			
Total	29	38507				
<b>Cu</b>						
Áreas	1	202,80	202,80	70,91**	4,20	7,64
Erro experimental	28	80,07	2,86			
Total	29	282,87				
<b>Al</b>						
Áreas	1	15451433	15451433	2,21 <sup>ns</sup>	4,20	7,64
Erro experimental	28	195768544	6991734			
Total	29	211219977				
<b>Si</b>						
Áreas	1	3955380	3955380	1,24 <sup>ns</sup>	4,20	7,64
Erro experimental	28	89667312	3202404			
Total	29	93622692				

<sup>ns</sup> não significativo.

\* significativo a 5 % de probabilidade.

\*\* significativo a 1 % de probabilidade

ANEXO 46 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS TEORES DE NUTRIENTES DE FOLHAS NOVAS, MADURAS E VELHAS DE *F. marginata* COLETADAS NA PLANÍCIE LITORÂNEA DA ILHA DO MEL.

Fonte da variação	Graus de Liberdade	Soma dos. Quadrados	Quadrado Médio	F	F Requerido	
					5%	1%
<b>Ca</b>						
Áreas	2	0,033	0,017	0,007 <sup>ns</sup>	4,75	9,33
Erro experimental	12	30,364	2,530			
Total	14	30,397				
<b>Mg</b>						
Áreas	2	1,24	0,62	1,89 <sup>ns</sup>	4,75	9,33
Erro experimental	12	3,93	0,33			
Total	14	5,18				
<b>K</b>						
Áreas	2	22,60	11,30	6,90*	4,75	9,33
Erro experimental	12	19,67	1,64			
Total	14	42,27				
<b>P</b>						
Áreas	2	0,165	0,082	2,390 <sup>ns</sup>	4,75	9,33
Erro experimental	12	0,413	0,034			
Total	14	0,578				
<b>Zn</b>						
Áreas	2	30,68	15,34	1,88 <sup>ns</sup>	4,75	9,33
Erro experimental	12	97,73	8,14			
Total	14	128,41				
<b>Mn</b>						
Áreas	2	50,53	25,27	0,124 <sup>ns</sup>	4,75	9,33
Erro experimental	12	2449,20	204,10			
Total	14	2499,73				
<b>Fe</b>						
Áreas	2	5429	2715	4,53 <sup>ns</sup>	4,75	9,33
Erro experimental	12	7191	599			
Total	14	12620				
<b>Cu</b>						
Áreas	2	7,88	3,94	3,18 <sup>ns</sup>	4,75	9,33
Erro experimental	12	14,89	1,24			
Total	14	22,77				
<b>Al</b>						
Áreas	2	28724548	14362274	4,15 <sup>ns</sup>	4,75	9,33
Erro experimental	12	41537944	3461495			
Total	14	70262492				
<b>Si</b>						
Áreas	2	8748708	4374354	4,84*	4,75	9,33
Erro experimental	12	10825896	902158			
Total	14	19574604				

<sup>ns</sup> não significativo.

\* significativo a 5 % de probabilidade.

\*\* significativo a 1 % de probabilidade

ANEXO 47 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS TEORES DE NUTRIENTES DE FOLHAS NOVAS, MADURAS E VELHAS DE *F. marginata* COLETADAS NA ENCOSTA DOS MORROS NA ILHA DO MEL.

Fonte da variação	Graus de Liberdade	Soma dos. Quadrados	Quadrado Médio	F	F Requerido		
					5%	1%	
<b>Ca</b>							
Áreas	2	13,12	6,56	14,48**	4,75	9,33	
Erro experimental	12	5,44	0,45				
Total	14	18,55					
<b>Mg</b>							
Áreas	2	0,56	0,28	0,41 <sup>ns</sup>	4,75	9,33	
Erro experimental	12	8,21	0,68				
Total	14	8,76					
<b>K</b>							
Áreas	2	29,73	14,87	6,11*	4,75	9,33	
Erro experimental	12	29,19	2,43				
Total	14	58,92					
<b>P</b>							
Áreas	2	0,058	0,029	1,35 <sup>ns</sup>	4,75	9,33	
Erro experimental	12	0,257	0,021				
Total	14	0,315					
<b>Zn</b>							
Áreas	2	23,75	11,87	0,53 <sup>ns</sup>	4,75	9,33	
Erro experimental	12	269,56	22,46				
Total	14	293,30					
<b>Mn</b>							
Áreas	2	5010	2505	2,83 <sup>ns</sup>	4,75	9,33	
Erro experimental	12	10623	885				
Total	14	15633					
<b>Fe</b>							
Áreas	2	3140	1570	0,94 <sup>ns</sup>	4,75	9,33	
Erro experimental	12	20032	1669				
Total	14	23173					
<b>Cu</b>							
Áreas	2	10,68	5,34	1,37 <sup>ns</sup>	4,75	9,33	
Erro experimental	12	46,62	3,89				
Total	14	57,30					
<b>Al</b>							
Áreas	2	64890376	32445188	6,42*	4,75	9,33	
Erro experimental	12	60615668	5051305				
Total	14	125506044					
<b>Si</b>							
Áreas	2	52586868	26293434	18,02**	4,75	9,33	
Erro experimental	12	17505842	1458820				
Total	14	70092710					

<sup>ns</sup> não significativo.

\* significativo a 5 % de probabilidade.

\*\* significativo a 1 % de probabilidade

ANEXO 48 – MATRIZES DE CORRELAÇÃO ENTRE OS NUTRIENTES MEDIDOS NAS FOLHAS, EM DIFERENTES NÍVEIS DE DESENVOLVIMENTO DE *F. marginata*.

PLANÍCIE LITORÂNEA										
	Ca	Mg	K	P	Zn	Mn	Fe	Cu	Al	Si
Ca	1,00									
Mg	0,32	1,00								
K	-0,39	-0,15	1,00							
P	0,07	0,62**	0,49*	1,00						
Zn	-0,47*	-0,04	0,86**	0,49*	1,00					
Mn	0,71**	0,44*	-0,64**	0,12	-0,66**	1,00				
Fe	0,56**	0,52**	-0,70**	-0,14	-0,56**	0,68**	1,00			
Cu	-0,08	0,23	0,32	0,42	0,57**	-0,36	-0,03	1,00		
Al	0,21	0,74**	-0,36	0,23	-0,18	0,37	0,46*	-0,02	1,00	
Si	0,07	0,59**	-0,33	0,16	-0,14	0,09	0,27	0,11	0,73**	1,00

ENCOSTA										
	Ca	Mg	K	P	Zn	Mn	Fe	Cu	Al	Si
Ca	1,00									
Mg	0,34	1,00								
K	-0,73**	-0,28	1,00							
P	-0,15	0,22	-0,01	1,00						
Zn	-0,38	-0,55**	0,50*	0,06	1,00					
Mn	0,31	0,31	-0,45*	0,15	-0,16	1,00				
Fe	0,43	0,18	-0,19	-0,29	-0,27	0,08	1,00			
Cu	0,22	0,47*	-0,29	-0,50*	-0,50*	-0,11	0,24	1,00		
Al	0,71**	0,43	-0,77**	0,05	-0,60**	0,60**	0,29	0,23	1,00	
Si	0,64**	-0,02	-0,55**	-0,13	-0,30	0,53**	0,08	-0,05	0,80**	1,00

\* significativo a 90 % de probabilidade.

\*\* significativo a 95 % de probabilidade