AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE DO ALUMÍNIO EM GENÓTIPOS DE AVEIA

ELMAR LUIZ FLOSS

Engenheiro Agrônomo e Licenciado em Ciências

Orientador: Prof. Dr. Antonio Roque Dechen

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

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Novembro - 1992

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCLQ/USF

Floss, Elmar Luiz

F641a Avaliação da toxicidade do alumínio em genótipos de
aveia. Piracicaba, 1992.
296p.

Tese - ESALQ
Bibliografia.

1. Alumínio em aveia - Toxicidade 2. Aveia - Crescimento
3. Aveia - Genótipo - Seleção 4. Aveia - Nutrição 5. Aveia -
Redutase do nitrato I. Escola Superior de Agricultura Luiz de
Queiroz, Piracicaba

AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE DO ALUMÍNIO
EM GENÓTIPOS DE AVEIA

ELMAR LUIZ FLOSS

Aprovada em: 18 de março de 1993

Comissão julgadora:

Prof. Dr. ANTONIO ROQUE DECHEN

ESALQ/USP

Dr. AUGUSTO CARLOS BAIER

CNPT/EMBRAPA

Prof. Dr. FRANCISCO ANTONIO MONTEIRO

ESALQ/USP

Dr. PEDRO ROBERTO FURLANI

IAC

Prof. Dr. QUIRINO AUGUSTO DE CAMARGO CARMELLO

ESALQ/USP

Prof. Dr. ANTONIO ROQUE DECHEN
Orientador

OFEREÇO

Aos meus pais João Edwino e Olyra;
e aos meus irmãos Sérgio Carlos,
Paulo, Neusa Maria, Nilve Bernadete,
Sônia Terezinha, Wilson Antônio, Ieda
Cecília, Elton José e Airton Inácio.

DEDICO,

*À minha esposa Sandra Maria; aos
meus filhos Luiz Gustavo, Paulo
Marcelo e Márcio Felipe.*

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Antonio Roque Dechen, pela valiosa orientação e a grande amizade dedicada.

Aos Professores do Setor de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Química da ESALQ, Dr. Henrique Paulo Haag("in memorian"), Dr. Quirino Augusto de Camargo Carmello e Dr. Francisco Antônio Monteiro, pelas sugestões e apoio na condução dos experimentos.

Ao Dr. Pedro Roberto Furlani, Pesquisador científico do Instituto Agronômico, pelas sugestões e colaboração na execução deste trabalho.

À Prof^a. Dra. Maria Cristina Stolf Nogueira, do Departamento de Matemática e Estatística da ESALQ e à colega Sônia Maria de Stefano Piedade pelo auxílio nas análises estatísticas.

Ao Dr. Joaquim Albenisio G. da Silveira, ex-professor do Departamento de Química, por permitir a utilização do Laboratório de Bioquímica do CENA para a realização das análises de atividade da redutase do nitrato.

Aos ex-professores da Faculdade de Agronomia da Universidade de Passo Fundo, Dr. Romeo Ernesto Riegel e Dr. Paulo Fragomeni, pelo incentivo e confiança inicial, possibilitando à introdução na carreira docente.

Ao Dr. Augusto Carlos Baier, Pesquisador do Centro Nacional de Pesquisa de Trigo/EMBRAPA, pelo permanente incentivo, colaboração e amizade.

Aos professores Dr. H.L. Shands, Dr. M.A. Brinkman e Dr. B. Forsberg da Universidade de Wisconsin e Dr. M.E. McDaniel da Universidade do Texas A & M (EUA) pelo apoio científico e fornecimento de germoplasma de aveia.

Aos funcionários do Setor de Nutrição Mineral de Plantas da ESALQ, Lúcia Helena S. Pavan Forti, Lourdes Aparecida Dario de Gonzalez, Fernando Eder Ré, Mirtes Ventura Sesso, Edinéia Cristina Scervino Mondoni, Nivanda Maria de Moura, Sueli Maria Amaral Campos Bovi, Ricardo de Souza Oliveira e Rubens César Pereira pelo auxílio em várias etapas do trabalho.

Às bibliotecárias Eliana Maria Garcia Sabino e Katia Maria de Andrade Ferraz, pela grande ajuda durante o curso e na elaboração das referências bibliográficas.

À acadêmica de agronomia da ESALQ Patricia da Silva Favoretto e à bióloga Vania Ceccatto pelo auxílio na execução dos experimentos.

Às técnicas especializadas do Laboratorio de Sementes da ESALQ, Ana Dionisia Luz Novembre e Helena Maria Pescarin Chamma, pela colaboração no armazenamento e realização da germinação das sementes de aveia.

Aos professores e funcionários da ESALQ pela indispensável colaboração, amizade e coleguismo, durante o período de realização do curso.

À Universidade de Passo Fundo, por ter possibilitado a realização do curso através do PICD/UPF.

À CAPES pela bolsa de estudos.

Ao Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ/USP, pelo treinamento.

À FAPESP pelo auxílio financeiro para execução da fase experimental.

*" Se considero as obras dos Mestres,
vejo o que eles fizeram. Se reparo em
minhas quinquilharias, vejo o que
deveria ter feito."*

GOETHE

SUMÁRIO

Página

RESUMO.....	xiv
SUMMARY.....	xviii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Química do alumínio no solo	4
2.2. Reação da aveia ao alumínio	6
2.3. Toxicidade do alumínio em plantas.....	10
2.3.1. Efeitos sobre as raízes	11
2.3.2. Efeitos sobre o metabolismo dos nutrien-	
tes	15
2.3.2.1. Fósforo	16
2.3.2.2. Nitrogênio.....	17
2.3.2.3. Cálcio	19
2.3.2.4. Magnésio	20
2.3.2.5. Potássio	21
2.3.2.6. Micronutrientes.....	21
2.3.3. Efeitos sobre o crescimento e o desen-	
volvimento.....	23
2.3.4. Efeitos sobre outros aspectos metabó-	
licos de plantas.....	24

2.4. Tolerância de plantas ao alumínio.....	25
2.4.1. Mecanismos de exclusão.....	26
2.4.2. Alteração do pH na rizosfera.....	28
2.4.3. Nutrição das plantas.....	28
2.4.4. Formação de complexos orgânicos.....	29
2.5. Efeito do alumínio sobre a atividade da enzi- ma redutase do nitrato.....	30
3. MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1. Determinação da concentração de alumínio na solução nutritiva para classificação de genótipos de aveia branca.....	33
3.2. Efeito do alumínio na solução nutritiva sobre alguns parâmetros de crescimento da aveia.....	38
3.3. Seleção de genótipos de aveia branca toleran- tes ao alumínio, em solução nutritiva.....	40
3.3.1. Seleção no nível de 7,5 mg Al/litro de solução.....	40
3.3.2. Seleção no nível de 15 mg Al/litro de solução.....	42
3.4. Avaliação da tolerância de genótipos de aveias pretas ao alumínio, em solução nutri- tiva.....	43

3.5. Efeito do alumínio sobre alguns parâmetros de crescimento e a nutrição de aveia, em cultivo hidropônico.....	44
3.6. Efeito do alumínio sobre a atividade da enzima redutase do nitrato em aveia.....	48
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
4.1. Determinação da concentração de alumínio na solução nutritiva, para classificação de genótipos de aveia branca.....	51
4.1.1. Comprimento inicial da raiz seminal (CIRS).....	51
4.1.2. Comprimento final da raiz seminal (CRFS).....	53
4.1.3. Comprimento final relativo da raiz seminal (CFRRS).....	54
4.1.4. Crescimento da raiz seminal (CRS).....	58
4.1.5. Crescimento relativo da raiz seminal (CRRS).....	62
4.1.6. Correlações entre os parâmetros de crescimento da raiz.....	83

4.2. Efeito do alumínio na solução nutritiva sobre alguns parâmetros de crescimento da aveia branca.....	85
4.2.1. Efeito sobre o crescimento das raízes..	85
4.2.2. Efeito sobre o rendimento de matéria seca.....	89
4.2.3. Correlação entre o crescimento da raiz e o rendimento de matéria seca....	92
4.3. Seleção de genótipos de aveia branca tolerantes ao alumínio, em solução nutritiva.....	95
4.3.1. Seleção ao nível de 7,5 mg Al/litro de solução.....	95
4.3.1.1. Crescimento inicial da raiz seminal (CIRS).....	95
4.3.1.2. Crescimento da raiz seminal (CRS).....	96
4.3.1.3. Comparação entre as testemunhas.....	109
4.3.1.4. Classificação dos genótipos de aveia quanto à seleção ao nível 7,5 mg Al/litro de solução.....	113

4.3.2. Seleção ao nível 15 mg Al/litro de solução.....	116
4.4. Tolerância e responsividade de genótipos de aveia branca submetidos aos níveis de 0 e 15 mg Al/litro de solução.....	121
4.5. Avaliação da tolerância de genótipos de aveia preta ao alumínio, em solução nutritiva.....	125
4.5.1. Comprimento inicial da raiz seminal (CIRS).....	125
4.5.2. Crescimento da raiz seminal (CRS).....	128
4.5.3. Crescimento relativo da raiz seminal (CRRS).....	130
4.6. Efeito do alumínio sobre alguns parâmetros de crescimento de aveia em cultivo hidropônico.....	134
4.6.1. Número de afilhos/vaso (NAF).....	134
4.6.2. Numero relativo de afilhos (NRAF).....	137
4.6.3. Comprimento da maior raiz (CMR).....	141
4.6.4. Comprimento relativo da maior raiz (CRMR).....	141
4.6.5. Rendimento de matéria seca de raízes (RMSR).....	142

4.6.6. Rendimento relativo de matéria seca de raízes (RRMSR).....	144
4.6.7. Rendimento de matéria seca de colmos e bainhas (RMSCB).....	144
4.6.8. Rendimento relativo de matéria seca de colmos + bainhas (RRMSCB).....	144
4.6.9. Rendimento de matéria seca das folhas (RMSF).....	145
4.6.10. Rendimento relativo de matéria seca das folhas (RRMSF).....	145
4.6.11. Rendimento de matéria seca da parte aérea (RMSPA).....	146
4.6.12. Rendimento relativo da matéria seca da parte aérea (RMSPA).....	147
4.6.13. Rendimento da matéria seca da planta (RMSP).....	147
4.6.14. Rendimento relativo de matéria seca da planta (RRMSPA).....	148
4.6.15. Relação de peso foliar (RPF).....	148
4.6.16. Relação de peso de raiz/parte aérea (RRPA).....	149

4.7. Efeito de níveis de alumínio na solução nutritiva sobre o teor e a extração de alumínio e alguns macronutrientes pela aveia.....	153
4.7.1. Rendimento de matéria seca.....	153
4.7.2. Alumínio	156
4.7.3. Nitrogênio.....	160
4.7.4. Fósforo.....	169
4.7.5. Potássio.....	177
4.7.6. Cálcio.....	182
4.7.7. Magnésio.....	189
4.7.8. Correlações entre o teor de alumínio, o rendimento de matéria seca e os teores de alguns macronutrientes.....	196
4.8. Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva sobre o teor e a extração de alguns micronutrientes pela aveia.....	201
4.8.1. Cobre.....	201
4.8.2. Ferro.....	205
4.8.3. Manganês.....	212
4.8.4. Zinco.....	220
4.8.5. Correlações entre o teor de alumínio, o rendimento de matéria seca e os teores de alguns micronutrientes.....	224

4.9. Efeito dos níveis de alumínio sobre o pH na solução nutritiva, no cultivo de aveia.....	226
4.10. Efeito de níveis de alumínio sobre a atividade "in vitro" da redutase do nitrato em aveia....	231
5. CONCLUSÕES.....	235
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	238
APÊNDICE.....	258

AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE DO ALUMÍNIO
EM GENÓTIPOS DE AVEIA

Autor: ELMAR LUIZ FLOSS

Orientador: Prof.Dr. ANTONIO ROQUE DECHEN

RESUMO

O trabalho foi realizado na ESALQ/USP e teve por objetivos estudar o comportamento de genótipos de aveia branca (*Avena sativa* L.) e aveia preta (*Avena strigosa* Schreb), quando submetidos a níveis de alumínio (Al) em solução nutritiva, visando a seleção de genótipos tolerantes, bem como tentar identificar as possíveis causas da toxicidade quanto aos aspectos nutricionais e fisiológicos.

Determinou-se a concentração de Al na solução nutritiva, para a classificação de genótipos de aveia e realizou-se a caracterização quanto à tolerância de 156 genótipos de aveia branca e de 14 genótipos de aveia preta. O principal parâmetro de avaliação da tolerância foi o crescimento da raiz seminal (CRS), que foi correlacionado com outros parâmetros de crescimento da raiz e o rendimento de

matéria seca (MS).

A concentração de 7,5mg Al/litro na solução nutritiva promoveu uma redução do CRS superior a 50%, nos genótipos mais sensíveis. O comprimento inicial da raiz seminal (CIRS) não apresentou correlação com os parâmetros CRS, crescimento relativo (CRRS), e comprimento final relativo da raiz seminal (CFRRS), e algumas vezes correlação entre CIRS e CFRS. Já o CRS apresentou correlação altamente significativa com CRRS, CFRS e CFRRS. Em relação ao rendimento de MS, o CRS apresentou melhor correlação com o rendimento relativo de MS da planta e da parte aérea do que o rendimento de MS das raízes.

Nessa concentração, os genótipos de aveia branca UPF82079, UPF86A1198-5-4b, UPF 3, UFRGS 6, UPF86A1068, UFRGS 1, UFRGS 4, UPF 15, UPF86120, UPF84297, UPF87070, UPF84321, UPF87128, CTC 1, UPF79302, CTC841412-3 e UPF79159-6b, mostraram-se tolerantes (CRS)/responsivos (CRRS). No nível 15 mg Al/litro, os genótipos: UPF82079, UPF77394-1, UFRGS6, UPF86006, UPF81360, UPF86160, UPF86112, UPF81359 E UPF2, revelaram-se tolerantes pelo índice de tolerância relativa (ITRAI). Em relação às aveias pretas, os genótipos UPF77434, UPF84AP01, UPF77066, UPF77436, Preta Argentina, UPF77352 e UPF85AP01, mostraram-se tolerantes/responsivos no nível de 30 mg Al/litro.

Observou-se que o número de afilhos por vaso, o número relativo de afilhos por vaso e o comprimento da maior raiz foram superiores no genótipo tolerante (UPF86Al169-2b) em relação ao sensível (UPF 7). Quanto à nutrição da aveia, verificou-se correlação positiva entre o teor de Al nas raízes com o teor de P e negativa com Mg, Mn e Zn no genótipo sensível, enquanto no genótipo tolerante a correlação foi positiva com os teores de N e P e negativa com Mg, Mn e Fe. Na parte aérea do genótipo sensível, o teor de Al correlacionou-se de forma negativa, com os teores de P, K, Ca, Mg, Cu, Mn e Zn, e no tolerante a correlação foi negativa para os teores de N, Ca e Mg. O teor de Al correlacionou-se de forma negativa com o rendimento de MS das raízes e da parte aérea dos dois genótipos. No genótipo sensível o rendimento de MS das raízes correlacionou-se de forma positiva com os teores de P, Mg, Mn e Zn e no tolerante com N, P, Mg, Fe e Mn. Na parte aérea do genótipo sensível o rendimento de MS correlacionou-se de forma positiva com os teores de N, P e Mg e no tolerante com N, P, Mg e Fe. O Mg foi dos nutrientes estudados o mais afetado pela toxicidade do Al nas plantas, enquanto o teor de P aumentou e a extração diminuiu com o aumento da concentração de Al na solução.

O genótipo tolerante e o sensível não diferiram quanto ao teor e a extração de Al pelas plantas,

mas nas raízes, o teor de Al no genótipo tolerante foi superior ao do sensível.

O pH médio na solução de cultivo e a média de atividade da redutase do nitrato foram superiores no genótipo tolerante em relação ao sensível.

Concluiu-se que, apesar das aveias brancas apresentarem grande variabilidade, elas são menos tolerantes ao Al do que as aveias pretas. Dentre aquelas, os genótipos UPF82079 e UFRGS 6 mostraram maior tolerância e responsividade ao Al, nos níveis de Al utilizados, podendo ser utilizados em cruzamentos, visando o melhoramento genético para este caráter. As aveias tolerantes e as sensíveis diferem quanto ao efeito do Al sobre o afilhamento e comprimento da maior raiz, teores de alguns nutrientes e atividade "in vitro" da redutase do nitrato.

OAT GENOTYPES EVALUATION TO ALUMINUM TOXICITY

Author: ELMAR LUIZ FLOSS

Adviser: Prof. Dr. ANTONIO ROQUE DECHEN

SUMMARY

The main goal of this work, carried out at ESALQ/USP, was to study the responses of white (*Avena sativa* L.) and black oats (*A. strigosa* Schreb.) genotypes to levels of aluminum in nutrient solution. This study was undertaken to select tolerant genotypes, as well as to study the possible causes of nutritional and physiological effects of the aluminum toxicity.

It was determined the level of Al for selection of oat genotypes, and 156 white oat genotype and 14 black oat were screened for tolerance. The main parameter evaluated was the seminal root growth (SRG) whose values were correlated with other parameters of root growth and dry matter (DM) yield.

The concentration threshold of Al in nutrient

solution was 7,5 mg/liter. This level promoted a reduction of 50% in the SRG in the most sensitive genotypes. Initial seminal root length (ISRL) did not correlate significantly with SRG, relative growth (RSRG), and final relative length of seminal root (FRLSR) and sometime the ISRL correlated with the final length (FLSR). SRG showed a highly significant correlation with RSRG, FLSR and FRLSR. The SRG showed better correlation with DM relative yield for the whole plant and shoots and low correlation with DM root yield.

At the 7,5 mg Al/liter, the white oat genotypes UPF82079, UPF86A1198-5-4b, UPF3, UFRGS 6, UPF86A1068, UFRGS 1, UFRGS 4, UPF 15, UPF86120, UPF84297, UPF84125, UPF87070, UPF84321, UPF87128, CTC 1, UPF79302, CTC84412-3 and UPF79159, showed tolerance (SRG) and responsiveness (RSRG). The genotypes UPF82079, UPF77394-1, UFRGS6, UPF86006, UPF81360, UPF86160, UPF86112, UPF81359 and UPF2, showed tolerance by the relative tolerance index (RAITI) at the level of 30 mg Al/liter.

The black oat genotypes UPF77434, UPF84AP01, UPF77066, UPF77436, Preta Argentina, UPF77352, and UPF85AP01, were tolerant/responsive at the concentration of 30 mg Al/l.

It was observed that the number of tillers per pot, the relative number of tillers per pot and the length of the most extensive root were higher in the tolerant genotype

(UPF86A1169-2b) than in the sensitive genotype (UPF7). In relation on oat plant nutrition, it was observed a significant and positive correlation between Al concentration in the roots and the levels of P and a negative correlation with Mg, Mn and Zn for the sensitive cultivar. On the other hand for the tolerant genotype the correlation was significant and positive between the concentration of Al and the concentration of N and P and negative with Mg, Mn and Fe. In the shoots of the sensitive genotype the concentration of Al correlate negatively with the levels of P, K, Ca, Mg, Cu; Mn and Zn and the tolerant genotype correlate significant and negatively with the levels concentration of N, Ca and Mg.

The correlation between Al concentration and DM yield was significant and negative for the roots and shoots for both genotypes.

In the sensitive genotype the DM root yield correlate positively with the levels of P, Mg, Mn and Zn. The tolerant genotype correlate with N, P, Mg and Mn. In the shoots of sensitive genotype the DM yield correlate positively with the levels of N, P and Mg and in the tolerant with N, P, Mg and Fe. The Mg was most effected of the nutrients on the Al toxicity in plants while the level of P increased and the accumulation decreased with more Al concentration in the solution.

The tolerant and sensitive genotypes did not differ for Al concentration and amount extracted from plant although in the roots, the level of Al in the tolerant genotype was higher than in the sensitive.

The solution pH and the nitrate reductase activity were higher for at the tolerant genotype than for the sensitive.

It was concluded that the white oat showed a high variability and were less tolerant than the black oat. The white oat genotypes UPF82079 and UFRGS6 showed the best tolerance and responsiveness considering the Al levels used and might be used for breeding purposes. The tolerant and sensitive genotypes were different tillering and in the length of the most extensive root, concentrations of some nutrients and in the nitrate reductase activity.

1. INTRODUÇÃO

A aveia é um cereal de clima temperado, originário da Ásia, que hoje está adaptado a diferentes regiões do mundo, sendo destinado à produção de grãos e/ou forragem, e à cobertura do solo.

As principais espécies cultivadas no Brasil são a aveia branca (*Avena sativa* L.) e a amarela (*Avena byzantina* C. Koch), destinadas à produção de grãos e/ou forragem, além da aveia preta (*Avena strigosa* Schreb), utilizada como forrageira e cobertura do solo.

A área cultivada com aveia destinada à produção de grãos no Brasil, na safra de 1990, foi de 198.140 hectares, com uma produção de 174.226 toneladas e um rendimento de 922 kg/ha (ANUÁRIO..., 1991).

Na safra de 1989 o principal Estado produtor de aveia foi o Rio Grande do Sul, que teve uma participação de 65% na produção nacional, seguido pelo Paraná (24%) e Santa Catarina (6%) (ANUÁRIO..., 1990). No Brasil Central, pequenas áreas estão sendo cultivadas com este cereal, como uma alternativa de cultivo para o período de inverno, visando

principalmente, a produção de forragem verde e de cobertura do solo, além da produção de grãos em menor escala.

O cultivo de aveia, independente do propósito, é realizado geralmente em áreas marginais, utilizando solos com baixa disponibilidade de nutrientes, ácidos e com teores tóxicos de alumínio. No Estado do Rio Grande do Sul, a principal região produtora de aveia, são os Campos de Cima da Serra, que se caracterizam por apresentar solos ácidos e com teores elevados de alumínio.

A correção da acidez do solo através da calagem, é a prática mais recomendada para que as plantas possam aproveitar eficientemente os nutrientes e a água, e expressar suas potencialidades. Esta prática, porém, não é eficiente na correção da acidez em profundidade do solo.

Devido aos elevados custos do calcário e dos fertilizantes, torna-se indispensável, o desenvolvimento, através do melhoramento genético, de genótipos que além de apresentarem altos rendimentos sob condições de solo fértil, sejam capazes de tolerar as adversidades, tais como baixos teores de nutrientes e a presença de elementos tóxicos como o alumínio (MARTINI et al., 1977).

Os genótipos tolerantes selecionados, podem ser utilizados diretamente pelos agricultores e sua característica de tolerância transferida, através de hibridações, aos cultivares comerciais.

O desenvolvimento de cultivares tolerantes ao alumínio, que apresentam sistema radicular mais desenvolvido, permite a exploração de camadas mais profundas do solo, onde a correção da acidez através da calagem é difícil. Sistemas radiculares mais abundantes representam também um importante mecanismo de tolerância das plantas aos deficits hídricos temporários.

A disponibilidade de cultivares de aveia

tolerantes ao alumínio, possibilitaria a utilização deste cereal em sistemas de rotação de culturas nos solos ácidos, inclusive com culturas que toleram baixo pH na camada superficial do solo, como a batata (*Solanum tuberosum* L.).

A seleção de cultivares tolerantes pode ser realizada no campo ou em solução nutritiva, sob condições ambientais controladas. Inúmeros são os pesquisadores que tem utilizado e aprimorado as técnicas hidropônicas, para a seleção de plantas quanto à sua tolerância ao alumínio, utilizando como principal parâmetro, o crescimento da raiz seminal de plântulas.

Este trabalho teve como objetivos, avaliar o comportamento de genótipos de aveia quando submetidos à níveis de alumínio, em soluções nutritivas, visando a seleção de genótipos tolerantes, bem como o estudo das possíveis causas quanto aos aspectos nutricional e fisiológico, dos efeitos da toxicidade do alumínio.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Química do alumínio no solo

O pH baixo dos solos, possibilita o aumento na solubilidade de certos metais, tais como o alumínio, manganês, ferro, zinco e cobre.

Em diferentes regiões do mundo a presença de alumínio trocável (Al^{3+}) em níveis tóxicos para as plantas cultivadas, é uma característica dos solos ácidos. No Brasil, cerca de 1,8 milhões de km^2 de cerrado, ou seja 20% do território brasileiro, apresentam solos ácidos e sujeitos à toxicidade do alumínio. (EMPRESA..., 1978).

A toxicidade do alumínio é um importante fator limitante do crescimento dos cereais, nos cerrados do Brasil (FAGERIA & ZIMMERMAN, 1979) e também em regiões de clima frio (KAMPRATH, 1984). As principais regiões produtoras de aveia no sul do Brasil apresentam pH ácido e elevados níveis de Al. A toxicidade é particularmente severa em solos com pH abaixo de 5,0, mas pode ocorrer em solos de valor de pH até 5,5 (FOY, 1992). O pH crítico, no qual o alumínio torna-se solúvel ou trocável, atingindo concentrações tóxicas para uma cultura depende de muitos fatores do solo, tais como

os minerais de argila predominantes, o nível de matéria orgânica e a concentração de outros cátions, ânions e sais totais (RAGLAND & COLEMAN, 1960; PAVAN, s.d¹.).

A liberação do Al^{3+} ocorre devido à ação de prótons H^+ , que penetram na camada octaedral da argila substituindo o Al^{3+} , e algumas vezes o Mg^{2+} , presentes nas arestas do cristal, os quais ao serem liberados, serão adsorvidos preferencialmente na nuvem de contra-íons do mineral de argila, dando rapidamente origem a um sistema H-Al-argila (CAMARGO & FURLANI, 1989).

O íon Al^{3+} sofre hidrólise, que pode ser representada esquematicamente por:

O efeito da presença de argila sobre o grau de hidrólise do alumínio é contraditório. RAGLAND & COLEMAN (1960), observaram aumentos no grau de hidrólise, enquanto FRINK & PEECH (1963), estudando a seletividade da adsorção de Al^{3+} , $Al(OH)^{2+}$ e H^+ , e da relação H^+/Al^{3+} da suspensão de argila, verificaram uma redução no grau de hidrólise devido à presença desse mineral.

Já o aumento no teor de matéria orgânica do solo, promove um aumento da taxa de hidrólise, devido à reação de seus produtos com os grupos carboxílicos, (THOMAS & HARGROVE, 1984).

¹ PAVAN, M.A. Aplicação de alguns conceitos básicos de química na disponibilidade de íons Al^{3+} para as plantas. s.d. 34p. (IAPAR - Londrina).

Os íons considerados como responsáveis pela toxicidade em plantas, são os monômeros Al^{3+} e $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ (PAVAN & BINGHAN, 1982), que estão presentes na faixa de pH 4,0 a 5,0.

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

Em trigo, CAMARGO (1983) verificou que os sintomas de toxicidade foram obtidos tanto devido a um aumento da concentração de alumínio, mantendo-se constante a temperatura das soluções, quanto devido ao aumento da temperatura, mantendo-se constante determinada concentração de Al nas soluções.

2.2 Reação da aveia ao alumínio

A literatura é escassa em informações sobre a tolerância da aveia à acidez do solo e os teores tóxicos de alumínio (REID, 1976). Os primeiros estudos registrados na literatura sobre a tolerância da aveia ao alumínio, foram realizados por McLEAN & GILBERT (1927), que concluíram, que a toxicidade do Al se manifesta através do encurtamento e pelas injúrias causadas às raízes. Através do teste da hematoxilina, verificaram que o Al absorvido pelas plantas, acumula-se na camada cortical da raiz, principalmente no protoplasma, concentrando-se no núcleo.

McLEAN & GILBERT (1927), observaram também, que a concentração tóxica de alumínio na solução nutritiva, foi de 7 ppm para aveia branca, centeio e sorgo, enquanto que para a cevada foi de 2,0 ppm e para o milho de 14 ppm.

THOMPSON (1957) não encontrou diferenças quanto ao rendimento, em aveia cultivada em pH 5,7, 6,8 e 7,5, sendo que para o pH 4,7, a produtividade foi 23% menor. Para TANAKA et al. (1984), a aveia é tolerante ao pH baixo, mais provavelmente ao Al. Segundo FLOSS et al. (1990), a aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) apresenta maior tolerância ao alumínio tóxico, do que as brancas e amarelas.

Já LONG et al. (1973) citam, que enquanto um cultivar de milheto (*Pennisetum glaucum* L.) não foi afetado por um nível de alumínio equivalentes a 16 ppm, o cultivar Suregrain de aveia branca foi seriamente afetado, por um nível de somente 1 ppm de alumínio na solução nutritiva. Porém, quando em um solo com pH baixo e elevado teor de Al, a calagem apresentou pequenos efeitos sobre o cultivar.

Em avaliações realizadas a nível de campo em Passo Fundo, RS, utilizando um solo com 3,7 a 3,9 meq Al/100 cm³ de terra, FLOSS et al. (1990), encontraram plantas tolerantes entre as aveias brancas, indicando a possibilidade de obtenção de resultados positivos no melhoramento deste cereal objetivando este caráter.

A aveia é adaptada à uma ampla variação de condições de solo, sendo considerada menos sensível à acidez do solo, quando comparada com o trigo e a cevada (DELORIT et al., 1984; METCALFE & ELKINS, 1987), sendo porém mais sensível que o centeio (METCALFE & ELKINS, 1987).

LOCKHART & WISEMAN (1975) consideraram que o pH mais adequado para o crescimento da aveia é 5,0, enquanto MALAVOLTA (1985) recomenda a faixa de 5,5 a 7,0. Segundo MOHR (1960) e KAMPRATH (1970), o nível crítico da porcentagem de saturação por bases para a aveia branca é de 15%, enquanto para o trigo e a cevada é de 30%.

Para o Rio Grande do Sul e Santa Catarina, a

recomendação de calagem para a cultura da aveia, visa atingir o pH 6.0 (SIQUEIRA, 1987). Entretanto, THOMPSON (1957), estudando diversos cereais, concluiu que, a aveia e o centeio apresentavam baixa resposta à aplicação de calcário. Resultados semelhantes foram encontrados para a aveia, por LONG et al. (1973).

Baseados na média de valores encontrados para diversas espécies em diferentes experimentos, OTSUKA (1968) e BILSKI & FOY (1987) concluíram que a ordem de tolerância ao alumínio mais comumente encontrada em cereais de inverno é centeio>aveia>trigo>cevada. Parece ser importante definir claramente, o comportamento diferencial das diferentes espécies de aveia. Dentre as aveias nativas, a *Avena fatua* L. mostrou-se tolerante ao alumínio (BILSKI & FOY, 1988). Este resultado indica ser possível a utilização dessa espécie nativa, muito comum no Rio Grande do Sul, como fonte de tolerância, através de cruzamentos interespecíficos, pois a exemplo das aveias brancas e amarelas, ela também é hexaplóide.

A seleção de genótipos quanto à tolerância ao alumínio pode ser realizada no campo, em solos ácidos, submetidos à doses de calcário, para a obtenção de diferentes níveis de saturação por alumínio. A desvantagem da utilização dos solos é a impossibilidade de se isolar e controlar quantitativamente os fatores de acidez, sendo os resultados frequentemente afetados, pela variabilidade do solo e pela resistência diferente dos cultivares às doenças e pragas (FAGERIA, 1982). HOWELLER & CADAVID (1976), ressaltaram que as seleções no campo são trabalhosas, necessitando de 4 a 5 meses até a avaliação completa, podendo seus resultados serem afetados pelo acamamento e pelos danos provocados por pássaros.

Para superar essas dificuldades, utilizam-se métodos de seleção rápida, em casa de vegetação ou câmaras de crescimento com solução nutritiva, onde um grande número de genótipos podem ser avaliados sob condições controladas (HOWELLER & CADAVID, 1976 e MOORE et al., 1976).

A concentração ótima de alumínio na solução, para se obter respostas diferenciais no crescimento de raízes, precisa ser determinada para cada espécie vegetal (HOWELLER & CADAVID, 1976). Outro aspecto relevante, está relacionado com os parâmetros de avaliação na solução nutritiva e sua correlação com as condições de campo. LAFEVER et al. (1977), estudando a resposta diferencial de cultivares de trigo a altos níveis de alumínio no solo, encontraram correlação com os resultados obtidos em solução nutritiva durante três anos, concluindo que o comprimento da raiz após 10 dias, é um bom indicador da resposta varietal à condição ácida do solo. Resultados semelhantes foram obtidos por SARTAIN & KAMPRATH (1978) em soja, por HOWELLER & CADAVID (1976) em arroz e por CAMPBELL & LAFEVER (1976) em trigo. Genótipos de trevo vermelho, cultivadas em solução nutritiva, mostraram correlação baixa mas significativa, entre o comprimento da raiz e o peso seco das raízes ($r=0,52^*$) e correlação não significativa, entre o comprimento das raízes e o peso seco da parte aérea ($r=0,40_{ns}$), conforme NUERNBERG et al., (1990).

A principal vantagem da seleção de genótipos tolerantes ao alumínio, através do comprimento da raiz seminal é o fato de que este método não é destrutivo, possibilitando que a plântula selecionada possa ser transplantada e conduzida até a colheita de sementes. O método é facilmente utilizado em cultivos hidropônicos, sendo difícil o seu uso em condições de campo.

MOORE et al. (1976), indicam como método de seleção, o baseado na injúria às plântulas pela alta concentração de Al e a avaliação da recuperação das plantas, após 72 horas de crescimento em solução nutritiva com ausência de Al.

Com relação às aveias cultivadas, para aveia branca foram identificados alguns genótipos tolerantes. KLIMOV et al. (1985) verificaram, que o cultivar de aveia Yunon foi o mais tolerante em solos com altas concentrações de Al. BILSKI & FOY (1987), indicaram os cultivares poloneses Solidor e Diaden como tolerantes, com base no crescimento relativo das raízes em solução nutritiva com 15 mg de Al.l⁻¹. FOY et al. (1987) encontraram diferenças significativas entre cultivares de aveia, quanto à tolerância ao alumínio, destacando como os mais tolerantes Coker83-23, Glen, Victory, ND78406, Pierce e Otona.

Em trabalho de (FURLANI & CASTRO, 1990) na avaliação de 21 genótipos de aveia sob níveis de alumínio, em condições de casa de vegetação mediante a técnica de hidroponia verificou-se serem tolerantes a aveia preta e os genótipos de aveia branca IAC1, IAC2, IAC6, IORN 130/83, IORN 98/84, IORN 161/84 e IORN 108/85.

FLOSS et al. (1991), avaliando 43 genótipos de aveia, a nível de campo, em um solo com teores de alumínio entre 3,7 e 4,2 meq/100cm³ de solo, consideraram como tolerantes a aveia preta (CI9020) e as aveias brancas: UPF86011, UPF86112, UPF86136, UPF86083, UPF86113, UPF87101, UPF87070, UPF86A1169-2b, UPF86A1198 e UPF86A1264.

2.3 Toxicidade do alumínio em plantas

O estado atual de conhecimentos sobre a

toxicidade do alumínio em plantas foi revisada por FOY et al., (1978); FAGERIA et al., (1988); ROY et al., (1988); CAMBRAIA, (1989); FURLANI, (1989) e FOY, (1992).

A toxicidade do alumínio é mais claramente demonstrada em experimentos curtos, no estágio de plântula, através de um menor crescimento, coloração verde-pálido nas folhas e a redução no comprimento de raízes, com engrossamento secundário (VOSE, 1990).

Quando presente em quantidades elevadas no solo, o alumínio trocável atua essencialmente, sobre o sistema radicular das plantas, modificando sua anatomia, interferindo nas reações enzimáticas e na absorção e transporte de água e de nutrientes (FOY, 1966 e 1992), e regula a deposição de polissacarídeos nas paredes celulares (FOY, 1971). Segundo ROY et al. (1988), a elongação das raízes fica impedida, devido à redução da atividade mitótica, provocada pelo alumínio, com subsequente aumento da suscetibilidade das plantas à seca.

2.3.1.Efeitos sobre as raízes

Os efeitos mais drásticos e típicos da fitotoxicidade do Al ocorrem nas raízes, que são as partes mais afetadas pelo excesso desse elemento no meio de crescimento (RHUE, 1979, FURLANI, 1989). O Al inibe a elongação das células do eixo principal, tornando as raízes engrossadas, inchadas, com coloração marrom, menor número de ramificações, quebradiças e ocasionalmente, com manchas necróticas (FOY, 1992).

Segundo CLARKSON (1966, 1969), as células das raízes de plantas estressadas por Al, sofrem alterações citológicas, ocasionando paralização do crescimento, devido

à interferência do Al no processo metabólico associado à divisão celular e à replicação do DNA, durante a interfase do processo de divisão celular.

Para ROY et al. (1988) o alumínio liga-se ao DNA, sendo entretanto, baixa a sua penetração no DNA mitoticamente ativo. A replicação do DNA é reduzida devido ao aumento da rigidez da dupla hélice (FOY, 1992). Devido ao acúmulo nas raízes, a inibição da atividade mitótica inicial, deve-se, possivelmente, ao seu efeito sobre o controle funcional integrado do meristema radicular (ROY et al., 1988).

O alumínio nas raízes também afeta estruturalmente a membrana plasmática, modificando sua permeabilidade (CAMBRAIA, 1989). O crescimento das raízes é limitado, restringindo a absorção de nutrientes e água, o que pode afetar consideravelmente o rendimento das culturas nos solos secos e com baixa fertilidade.

Segundo WAGATSUMA et al. (1987), os efeitos tóxicos do Al sobre as plantas, tem inicialmente lugar nas raízes, sendo que pequenas quantidades de Al podem inibir a elongação da raiz em poucos dias. A inibição inicia pela raiz principal, depois pela secundária e finalmente as raízes assumem uma forma coralóide. Na maioria dos cereais, os sintomas de injúria provocados pelo alumínio são observados inicialmente nas raízes, que se alongam pouco e apresentam pequena ramificação, com posterior engrossamento, desintegração apical e aparecimento da coloração marrom (MINELLA, 1989).

Em aveia, a primeira evidência da toxicidade do alumínio, manifesta-se através do encurtamento e da injúria nas raízes (McLEAN & GILBERT, 1927), diminuição das ramificações laterais (OTSUKA, 1968), ocorrência de pequenas

depressões nas raízes (ROY et al., 1988), que afetam principalmente o ápice e a região de alongação (WAGATSUMA et al., 1987).

ALAM & ADAMS (1979b), observaram que a toxicidade do alumínio em aveia afeta o crescimento, como consequência de um desenvolvimento radicular anormal, com pequenas ramificações e afetando a utilização dos diversos nutrientes à planta.

Em plantas de aveia e arroz, o Al induz várias mudanças morfológicas na superfície radicular, com a ocorrência de um grande número de pequenas depressões no ápice e na região de alongação (WAGATSUMA et al., 1987). Segundo os autores, do Al absorvido no ápice das raízes, grande parte se liga ao núcleo das células, ao fósforo e ao DNA, resultando numa diminuição da divisão celular, e finalmente na inibição dessa divisão. O teste de coloração vital na região de alongação das raízes de aveia, mostrou células danificadas somente na epiderme das raízes de plantas tolerantes ao Al, após elas serem tratadas com Al.

BILSKI (1987), verificou que o aumento da concentração de Al na solução de 0 para 7 ppm, reduziu em 30% o peso de raízes de aveia, enquanto que para trigo e cevada, a redução foi de 65 e 85%, respectivamente. Em aveia, trigo, cevada, ervilha, milho e girassol, o alumínio apresentou toxicidade maior, quando relacionado às doses de manganês, correspondente a 0,5 e 10 ppm (BILSKI, 1988).

O efeito tóxico do Al sobre as raízes de aveia (*Avena sativa* L. cv. Kassandra) foi maior no pH 4,2 que no meio de cultura neutro (KARATAGLIS, 1987). Este autor verificou que baixas concentrações de Al estimularam o crescimento das plantas e a atividade da esterase enquanto altas concentrações de Al (32 e 40 ppm) provocaram inibição

completa do crescimento radicular e da atividade dessa enzima.

KLIMOV (1985) verificou, que a supressão do crescimento radicular foi acompanhada pela desidratação das plantas de aveia, cevada, centeio e trigo, quando submetidas a solução nutritiva com níveis de alumínio.

Estudos realizados em genótipos de aveia, arroz, milho, ervilha e cevada, que diferem quanto à tolerância ao alumínio, sugerem que uma menor negatividade da superfície da plasmalema das células radiculares, pode determinar uma menor ligação com o alumínio, e em consequência, a tolerância ao metal. (WAGATSUMA & AKIBA, 1989). As plantas sensíveis, tem as cargas da superfície da plasmalema fortemente ligadas ao alumínio, podendo a membrana eventualmente ser destruída. A negatividade das raízes de plantas jovens é maior do que em plantas adultas (WAGATSUMA et al., 1988). Para FOY (1971), cultivares adaptados a solos ácidos tem capacidade de troca de cátions (CTC) na raiz relativamente menor. A maior CTC das raízes é responsável por maiores conteúdos de Al e P nesse órgão e menores conteúdos de cálcio na parte aérea em cultivares sensíveis de trigo e cevada (FOY et al., 1967).

MUGWIRA & ELGAWHARY (1979), concluíram que cultivares de trigo com CTC maior promovem um decréscimo do pH do meio na presença de Al e uma maior quantidade de Al foi acumulada nas raízes, resultando na suscetibilidade a este elemento tóxico.

A maior parte do Al na raiz está ligado às substâncias pécticas da parede celular, enquanto uma parte do Al penetra no protoplasma e se combina com os ácidos nucléicos e ácidos solúveis de fosfato (WAGATSUMA, 1983a).

A força de exclusão do alumínio pela plasmalema das células radiculares de plantas de espécies tolerantes, é

mais forte do que nas plantas de espécies sensíveis ao alumínio (WAGATSUMA & EZOE, 1985). A exclusão de maior quantidade de alumínio no lado externo da plasmalema, feita pelas células radiculares de plantas tolerantes, possibilita que uma maior quantidade de polímeros H-Al seja polimerizada, precipitando nesse local.

Em aveia, o tratamento com polímeros de Al promoveu o aparecimento de raízes com sintomas coralóides, coloração marrom e com o crescimento radicular marcadamente inibido (WAGATSUMA & KANEKO, 1987).

2.3.2. Efeitos sobre o metabolismo dos nutrientes.

Em geral, o alumínio reduz os teores de quase todos os nutrientes das plantas (FOY et al., 1978; MUGWIRA, 1980; CALBO & CAMBRAIA, 1980) e interfere na absorção, transporte e uso de vários nutrientes, tais como cálcio, fósforo e magnésio (FOY, 1974), podendo também determinar uma maior ou menor absorção de outros nutrientes tais como cobre, zinco, manganês e ferro (ROY et al., 1988). Em plantas de aveia, o Al interfere na redução do Fe^{3+} para Fe^{2+} , um processo essencial para o metabolismo normal do ferro (ROY et al., 1988).

CAMARGO et al. (1984), observaram uma diminuição nas concentrações de potássio, cálcio e magnésio no tecido foliar de plantas de arroz devido ao aumento do teor de alumínio no substrato nutritivo.

BILSKI (1987) observou um aumento no teor de Ca, Mg e P nas raízes de aveia e trigo, em concentrações de até 1-3 ppm de Al, mas decréscimo em concentrações maiores.

No entanto, FOY et al. (1987) relataram que, tanto os cultivares de aveia tolerantes aos solos ácidos,

quanto os sensíveis, não diferiram quanto à concentração de cálcio e magnésio na parte aérea, quando cultivados em solos com pH 4,3 e sem calagem. Entretanto, houve uma tendência dos cultivares sensíveis em apresentarem maiores concentrações de P, Al e Fe e menores concentrações de K e Mn.

Segundo FOY et al. (1967), a tolerância relativa ao alumínio não está relacionada com o teor de Al e P na folha.

2.3.2.1.Fósforo

Os sintomas de deficiência de fósforo observados na parte aérea das plantas, é uma das principais evidências da fitotoxidez do Al. Por esta razão, muitos pesquisadores relacionam, os efeitos da fitotoxicidade do Al diretamente com deficiência de fósforo induzida pelo alumínio (FOY, 1988, 1992), sendo difícil distinguir-se os efeitos depressivos devidos ao alto teor de Al e ao baixo teor de P dos solos ácidos (FOY, 1971). VIDOR (1972) e BEN & ROSA (1986) observaram aumentos significativos na eficiência da adubação fosfatada em plantas de trigo e soja, promovidas pela calagem em solos ácidos, pela eliminação da toxicidade do Al.

Para CAMBRAIA (1989), a deficiência de fósforo está relacionada, inicialmente, com a precipitação desse nutriente, na forma de fosfato de alumínio, no espaço livre aparente (ELA), ocasionando uma redução na sua absorção. No interior das células, a interação do fósforo e do alumínio, interfere na fosforilação dos açúcares (CLARKSON, 1966), nucleotídeos e ácidos nucleicos (MATSUMOTO et al., 1976).

O alumínio forma complexos com o ATP e inibe as ATPases (CALBO & CAMBRAIA, 1980) e outras fosfatases da

membrana plasmática, dificultando ou impedindo a utilização da energia pelas células (CAMBRAIA, 1989).

Em aveia, ALAM & ADAMS (1979b) encontraram maiores concentrações de P nas raízes de plantas estressadas pelo alumínio, em relação ao tratamento sem Al, enquanto na parte aérea, ocorreu o contrário. Resultados semelhantes foram obtidos por OTSUKA (1968), com aveia, trigo e cevada, e por MUGWIRA et al., (1981), com triticales e trigo.

Segundo CAMBRAIA (1989), a tolerância ao alumínio está relacionada com a capacidade de absorção e metabolismo do fósforo. Plantas tolerantes ao Al tem maior atividade da fosfatase ácida (CLARK & BROWN, 1974). Para FOY et al. (1978), o metabolismo do fósforo está relacionado com a capacidade de prevenir a absorção em excesso ou promover a desintoxicação do Al absorvido.

Segundo CLARKSON (1966), os distúrbios no metabolismo do fósforo provocados pelo Al refletem-se num decréscimo na taxa de fosforilação dos açúcares, provavelmente, devido à inibição da enzima hexoquinase.

2.3.2.2 Nitrogênio

Estudos recentes, mostraram que as plantas tolerantes ao alumínio são capazes de absorver o nitrato, mais rapidamente que o amônio, com reflexos na modificação do pH. Quando o nitrogênio é fornecido na forma de amônio (NH_4^+), as plantas tendem a acidificar o meio, enquanto que a forma de nitrato (NO_3^-), resulta em um aumento no pH.

FOY et al. (1965) foram os primeiros a demonstrar que as variações de pH do meio de cultivo, produzidos por duas variedades de trigo, estavam relacionadas com suas diferentes capacidades de tolerar o alumínio. Na

cultura da aveia, McLEAN & GILBERT (1927) verificaram, que o pH da solução com alumínio apresentou um aumento de 4,5 para 6,5, em três dias e meio. No entanto, a variação do pH não foi correlacionada com a sensibilidade da cultura ao alumínio.

PIERRE et al. (1970), observaram para aveia branca, uma acidificação menor que a do pousio ou a do trigo sarraceno, (*Fagopirum esculentum*) devido à aplicação de NH_4NO_3 , em um ensaio conduzido em casa de vegetação. Este resultado sugere uma maior absorção de nitrato do que amônio pela aveia. FOY & FLEMING (1978) concluíram que a tolerância do trigo ao alumínio se deve à capacidade das plantas em utilizarem mais eficientemente o NO_3^- em presença de NH_4^+ e assim aumentarem o pH do meio.

Estudos de cinética de absorção do nitrato mostram que o Al reduz drasticamente a $V_{\text{máx}}$ e aumenta o K_m da reação (CAMBRAIA, 1989). Cultivares tolerantes parecem apresentar a enzima redutase do nitrato menos sensível ao Al (FOY & FLEMING, 1982; CAMBRAIA, 1989), aumentando consequentemente a assimilação de nitrogênio (ROY et al., 1988).

Segundo CAMBRAIA (1989) o Al interfere também com várias enzimas relacionadas com a assimilação do nitrogênio e, provavelmente, com o catabolismo de aminoácidos, proteínas e outros compostos nitrogenados. Mas PIMENTA et al. (1987) verificaram que na cultura do sorgo, o alumínio parece não afetar diretamente as atividades das enzimas sintetase da glutamina (GS), sintetase de glutamato (GOGAT) e da glutamato-oxaloacetato-transaminase (GOT).

FOY & FLEMING (1982) demonstraram que o genótipo de trigo NRUC44-111, tolerante à níveis tóxicos de Al, promoveu um aumento maior no pH das soluções nutritivas e apresentou maior atividade da redutase do nitrato que o

genótipo ANZA, sensível ao Al. Relataram os autores que o cultivar *per* ser mais eficiente na absorção de NO_3^- devido à sua alta atividade da redutase do nitrato, seja capaz de manter um pH mais elevado na região próxima ao sistema radicular e, assim, manifestar maior tolerância ao alumínio. MESDAG et al. (1970) verificaram uma ligação entre os gens que controlam a tolerância ao Al e o conteúdo de proteína no grão do cultivar de trigo Atlas 66.

Em aveia, a tolerância parece estar associada ao maior teor de proteína no grão e a uma maior eficiência no metabolismo do nitrogênio (BILSKI & FOY, 1987). A seleção dos genótipos tolerantes, aos solos ácidos e à presença de alumínio, também aumenta a eficiência de utilização do nitrogênio em aveia. (BILSKI & FOY, 1987) podendo indiretamente resultar em um maior teor de proteína no grão (MESDAG et al., 1970).

2.3.2.3. Cálcio

Níveis tóxicos de alumínio interferem no metabolismo do cálcio, provavelmente inibindo a absorção desse nutriente (FOY, 1971). A similaridade existente entre os sintomas de toxicidade do Al com os da deficiência de Ca em raízes de plantas estressadas por Al, indica que os processos de absorção e transporte de Ca são partes importantes da síndrome de fitotoxidez do Al (FURLANI, 1989).

A ação tóxica do alumínio se manifesta também, sobre a enzima calmodulina (Cam), um polipetídio monomérico com quatro sítios de ligação para o cálcio (CAMBRAIA, 1989). A substituição do Ca pelo Al, cuja afinidade é cerca de 2,5 a 10 vezes maior que a do cálcio, promove mudanças na conformação da proteína, alterando sua interação com certas

enzimas e proteínas tais como as fosfolipases, cinase do NAD, adenil ciclase e Ca^{++} -ATPase.

No entanto, LARKIN (1987), trabalhando com cultivares de trigo de diferentes tolerâncias ao Al, não detectou diferenças significativas nos níveis de calmodulina, quando as plantas foram submetidas à níveis tóxicos de Al. Em aveia, OTSUKA (1968) e ALAM & ADAMS (1979b), encontraram menor teor de cálcio na parte aérea, com o aumento da concentração de Al na solução. Em trigo e cevada resultados semelhantes foram encontrados. (OTSUKA, 1968).

Já, FOY et al. (1987) verificaram, que cultivares de aveia tolerantes e sensíveis à solos ácidos, não diferiram quanto as concentrações de Ca e Mg da parte aérea, quando cultivados em solos com pH 4,31 sem calagem. Entretanto, a adição de cálcio reduziu os efeitos tóxicos do Al em aveia, cevada e trigo (BILSKI, 1987). Para WAGATSUMA (1983a) a supressão da toxicidade do Al somente ocorre quando a concentração de cálcio é consideravelmente maior que o de alumínio.

HECHT-BUCHHOLZ & SCHUSTER (1987) observaram que o aumento da concentração de Ca diminui os danos causados pelo alumínio nas raízes de plantas tolerantes de cevada e não na sensível. Esta diferença foi devido à maior resistência às injúrias do meristema da raiz do cultivar tolerante. Resultados semelhantes foram encontrados em milho (RHUE & GROGAN, 1977).

2.3.2.4. Magnésio

Segundo GRIMME (1982 e 1983), o Al acarreta inibição específica da absorção de Mg pelas raízes de aveia, sendo o principal efeito observado devido a toxicidade do Al,

enquanto ALAM & ADAMS (1979b), encontraram maiores teores de Mg na parte aérea com o aumento da concentração de Al no substrato.

KYLIN & KAHR (1973), estudando frações microsossomais das raízes de aveia e trigo, verificaram que no trigo uma alta proporção de Ca^{2+} estimulava a ATPase, com menor efeito devido ao Mg^{2+} , mas em aveia, o Mg^{2+} estimulava mais a atividade dessa enzima do que o cálcio. HECHT-BUCHHOLZ & SCHUSTER (1989) em cevada e RHUE & GROGAN (1977) em milho verificaram que em baixas concentrações de Ca, o aumento na concentração de Mg diminui os danos provocados pelo Al nas raízes, tanto em cultivares tolerantes quanto sensíveis ao alumínio.

A partir dessas informações, pode-se supor que, por extensão, a deficiência de magnésio na cultura de aveia, causada pela alta concentração de Al, afeta as atividades da ATPase.

2.3.2.5. Potássio

O aumento nos teores do alumínio no substrato, promoveu a diminuição das concentrações de potássio na parte aérea das plantas de aveia (ALAM & ADAMS, 1979b) e também nas raízes (WAGATSUMA & EZOE, 1985). Em plantas de arroz, o alumínio compete com o K pelos sítios de absorção na raiz, diminuindo a absorção do nutriente, com a consequente redução no teor de K das raízes e da parte aérea das plantas (ALAM, 1983).

2.3.2.6. Micronutrientes

Em aveia, foram observados decréscimos

significativos nos conteúdos dos micronutrientes Fe, Mn, Zn e Cu nas raízes na parte aérea, com o aumento da concentração de alumínio, em solução nutritiva, de 0 a 0,6 mM (ALAM, 1985).

ALAM & ADAMS (1979b), verificaram que, o teor de ferro da parte aérea de aveia era afetado pelo aumento da concentração de Al no substrato, enquanto que nas raízes foi observada uma concentração maior.

O arroz acumula Fe nas raízes, com o aumento da concentração de Al acima de 10 ppm (ALAM, 1983). Em sorgo, observou-se clorose por deficiência de Fe, devido à toxicidade de Al (FURLANI & CLARK, 1981).

CALBO & CAMBRAIA (1980), verificaram o aparecimento de uma clorose internerval característica da deficiência de ferro, devido ao efeito do alumínio em dois cultivares de sorgo com diferentes sensibilidades ao alumínio. Resultados semelhantes foram obtidos por OTSUKA (1970), com cultivares de trigo e cevada, com redução do teor de ferro nas plantas submetidas ao alumínio.

LEMON FILHO (1981) verificou que a presença de alumínio causou reduções nos teores de manganês e cobre da parte aérea e raízes do sorgo, sem diferenças entre o cultivar sensível e o tolerante ao Al, exceto para os teores de cobre no sistema radicular, que foram significativamente menores no cultivar sensível.

A adição de Al aumentou a toxidez de manganês em aveia, cevada, trigo, ervilha, milho e girassol (BILSKI, 1988). OTSUKA (1968) verificou que o Al induziu a uma clorose por deficiência de Fe, nos cultivares de trigo e cevada sensíveis à acidez do solo.

A redução na absorção do cobre, devido ao alumínio, se deve à competição entre os dois nutrientes pelos

mesmos sítios na superfície da raiz, mas não do carregador (FOY, 1971). Nas raízes e na parte aérea de sorgo, observou-se que a toxicidade do alumínio causou uma redução no teor de cobre (CAMBRAIA et al., 1983b).

Segundo ALAM (1981), o Al promove um decréscimo na concentração de Mn de todas as partes da planta de cevada, com exceção dos colmos, onde foram encontrados maiores teores de Mn. Já para arroz, as concentrações de Mn decresceram na parte aérea e aumentaram nas raízes, devido ao aumento do Al, sugerindo que o Mn pode competir efetivamente com o Al pelos sítios ativos de absorção (ALAM, 1983). Em sorgo, 8 ppm de Al reduziram o teor de Mn nas raízes e parte aérea (CAMBRAIA et al., 1983b).

2.3.3. Efeitos sobre o crescimento e o desenvolvimento

O crescimento celular parece ser afetado pelo alumínio, provavelmente devido à diminuição na taxa de síntese da parede celular, pois o Al inibe a função secretória do aparelho de Golgi (Huck¹, citado por FURLANI, 1989).

Aparentemente, o alumínio não interfere com a germinação das sementes, mas pode prejudicar o desenvolvimento de novas raízes e o estabelecimento da plântula (FOY, 1992). Segundo esse autor, as plântulas são mais suscetíveis ao Al do que as plantas velhas.

¹HUCK, M.G. Imprint of sucrose utilization for cell wall formation in the roots of aluminium damaged cotton seedlings. *Plant Cell Physiology*. 13:7-14, 1972.

OTSUKA (1968), verificou que a tolerância de cultivares de trigo aos solos ácidos, foi indicada pelas diferenças no número de afilhos. Redução no crescimento da parte aérea foi observada, após o tratamento com Al em arroz (FAGERIA, 1982), em café (PAVAN & BINGHAN, 1982), em cevada (ALAM, 1981) e em aveia (KARATAGLIS, 1987; ALAM, 1985).

As folhas jovens de plantas injuriadas pelo alumínio ficam pequenas, encrespadas ao longo das margens e cloróticas, enquanto as folhas velhas mostram clorose marginal, que progride para o centro (PAVAN & BINGHAN, 1982). WAGATSUMA & KANEKO (1987) verificaram que as duas folhas inferiores da aveia amareleceram e finalmente ficaram marrom - avermelhadas, progredindo o sintoma do ápice para a base da folha. No entanto, esta redução da atividade mitótica poderia não estar relacionada com a diminuição na respiração das plantas (CLARKSON, 1969).

2.3.4.Efeitos sobre outros aspectos metabólicos de plantas

O alumínio também afeta processos fisiológicos das plantas como a fotossíntese, devido ao abaixamento no conteúdo de clorofila e à redução no fluxo de elétrons (ROY et al., 1988).

A atividade respiratória das plantas pode ser inibida (CLARKSON, 1969; FOY, 1992), devido à diminuição do requerimento de energia metabólica, enquanto a síntese de proteínas é reduzida, provavelmente devido ao efeito sobre a distribuição dos ribossomos no retículo endoplasmático (ROY et al., 1988).

As deficiências de nutrientes causadas pelo alumínio, podem causar modificações no aparelho

fotossintético e, portanto, na taxa de fotossíntese (PIRSON, 1955; BARKER, 1979).

Segundo BARKER (1979), o alumínio pode afetar diretamente a taxa de fotossíntese ou, mais provavelmente, de forma indireta, a síntese de enzimas, pigmentos e cofatores essenciais ao processo. Pode provocar diminuição no teor de clorofila, com um decréscimo marcante da fotossíntese bruta e líquida em arroz (Sarkunan & Viddappa¹, citado por ROY et al., 1988).

Em arroz, a intensidade respiratória diminui com o aumento no suprimento de alumínio, seguido pela diminuição no teor de glicídios solúveis, inclusive açúcares redutores (Sarkunan & Viddappa¹, citado por ROY et al., 1988). O alumínio parece não ter efeito direto sobre a mitocôndria, sendo que o declínio na respiração parece refletir um declínio no requerimento de energia (ROY et al., 1988).

2.4 Tolerância de plantas ao alumínio

A fisiologia da tolerância de plantas ao alumínio foi revisada por FOY, (1971) ; FOY et al., (1978); TAYLOR, (1988); ROY et al., (1988); FURLANI, (1989). Ainda não são muito claras as modificações bioquímicas e fisiológicas associadas ao mecanismo de tolerância das plantas ao alumínio, que se relacionam com o comportamento diferencial entre cultivares. Os mecanismos fisiológicos permanecem desconhecidos, provavelmente devido aos efeitos variados do Al nas plantas. As plantas tolerantes devem ter

¹SARKUNAN, V. & VIDDAPPA, C.C. Effect of aluminium on the growth yield and chemical composition of rice. *Oryza*, Cuttack, 19(3-4):188-90, 1982.

a capacidade de reduzir a absorção do Al pelas raízes ou de desintoxicá-lo após sua absorção (FOY & FLEMING, 1978).

A partir dos diversos trabalhos relatados, considera-se que os mecanismos de tolerância das plantas ao alumínio podem ser resumidos em: a) resistência à deficiência de nutrientes, tais como P (WRIGHT, 1943), Ca (FOY et al., 1969) ou Fe (TANAKA & NAVASERO, 1966); b) absorção preferencial de NO_3^- , quando comparada com NH_4^+ , ou ânions comparados com cátions, que resulta num grande aumento de pH do meio (FOY & FLEMING, 1978; FOY et al., 1978; MUGWIRA et al., 1976; TAYLOR & FOY, 1985); c) tolerância à altas concentrações de Al na parte aérea e raízes das plantas (QUELLETTE & DESSUREAUX, 1958; MATSUMOTO et al., 1976); d) alta concentração de ácidos orgânicos nas raízes ou maior secreção de ácidos orgânicos no meio (CLARKSON, 1966; FOY et al., 1987; OJIMA & OHIRA, 1988); e) alto poder de exclusão da plasmalema de células radiculares (WAGATSUMA, 1983b); f) menores cargas negativas na superfície da plasmalema das células radiculares (WAGATSUMA & AKIBA, 1989).

A tolerância pode ser diferente para diferentes espécies e cultivares, e parece ser controlada por mais do que um gen (FOY et al., 1978).

2.4.1 Mecanismos de exclusão

A taxa de imobilização do alumínio na parede celular, pode representar uma redução na penetração no sim-plasto (TAYLOR, 1988), sendo que a tolerância está associada com a baixa capacidade de troca de cátions das raízes (MUGWIRA & ELGAWHARY, 1979). Embora as informações disponíveis sejam limitadas, a membrana plasmática, devido à sua seletividade, se constitui numa barreira para a absorção

de Al pelas plantas, sendo sua eficiência reduzida, em condições não metabólicas (TAYLOR, 1988).

Em aveia, o mecanismo de tolerância pode ser devido à exclusão dos íons alumínio pela plasmalema das células radiculares (Wagatsuma et al.⁴, citado por ROY et al., 1988). Em alguns cultivares de trigo, cevada, soja e triticales, a tolerância ao Al aparentemente envolve os mecanismos de exclusão (FOY, 1974; MUGWIRA et al., 1981). No entanto, outros grupos de plantas apresentaram menores teores de Al na parte aérea, que nas raízes tais como arroz, triticales, centeio, trigo e cevada (FOY et al., 1978). Há ainda um terceiro grupo, no qual a tolerância está diretamente associada à acumulação na parte aérea, apresentando alta tolerância interna (ROY et al., 1988).

Segundo WAGATSUMA & YAMASAKU (1985), os cultivares tolerantes de cevada excluem ativamente o Al do lado externo da plasmalema das células de raiz, podendo então ser polimerizado ou até reagir com o P ou pectatos. Consequentemente, nestes cultivares, o conteúdo de Al pode ser baixo nos protoplastos da raiz, alto em tecidos inteiros da raiz e o teor de Ca ou outros nutrientes pode ser alto nas raízes.

WAGATSUMA & AKIBA (1989), estudando arroz, aveia, milho, ervilha e cevada, que diferem quanto à tolerância ao alumínio, concluíram que as plantas sensíveis apresentaram cargas negativas fortes na superfície da plasmalema, onde se ligaram quantidades maiores dos íons alumínio, podendo eventualmente, a plasmalema ser destruída pelo íon.

⁴WAGATSUMA, T.; KYUUDA, T.; SARKURABA. Aluminum accumulation characteristics of aluminum-tolerant plants. Yamagata Daigaku Kiyo, Nogaku, 10(2):355-9, 1987.

2.4.2. Alteração do pH na rizosfera

Alguns cultivares tolerantes de trigo, cevada, arroz, ervilha e milho não híbrido, promovem o aumento do pH da solução nutritiva e assim diminuem a solubilidade e a toxicidade do Al por precipitação (FOY et al., 1978). Este fato, poderia ser atribuído à maior absorção de nitratos, em detrimento do amônio (FOY & FLEMING, 1978).

2.4.3 Nutrição das plantas

Segundo FOY et al. (1978), em muitas plantas, a tolerância ao Al parece estar relacionada com a eficiência da utilização de fósforo, da mesma forma que na tolerância à níveis mais baixos de P pelo milho ou na absorção de mais P por unidade de comprimento da raiz de soja (Sartain,⁵, citado por ROY et al., 1988).

Em raízes de ervilha, o Al provocou aumento na atividade da ATPase e da fosfatase ácida, sendo a tolerância diferencial de dois cultivares, atribuídas aos efeitos diferenciais do Al sobre a atividade de ATPase, sendo a atividade maior no cultivar tolerante (FOY et al., 1978).

Cultivares tolerantes de milho (Fleming⁶, citado por FOY et al., 1978) e linhagens de milho (CLARK, 1975) apresentaram maiores atividades de fosfatases nas raízes do que os genótipos sensíveis da mesma espécie. No entanto, BRAUNER (1979), verificou que o grau de tolerância

⁵SARTAIN, J.B. Differential effects of aluminium on top and root growth, nutrient accumulation and nodulation of several soybean varieties. Raleigh, 1974 (Ph.D.-North Caroline State University).

ao alumínio dos cultivares de trigo não está relacionado com as concentrações de P, Ca e Mg na parte aérea.

A tolerância maior ao Al, de algumas espécies, pode estar relacionada com sua habilidade em usar o nitrato (NO_3^-) na presença de amônio (NH_4^+), promovendo o aumento do pH do meio de crescimento ou rizosfera (FOY & FLEMING, 1978) ou o aumento da atividade da redutase do nitrato (FOY & FLEMING, 1982). Em cultivares tolerantes de trigo (MESDAG et al., 1970) e aveia (BILSKI & FOY, 1987) foram encontrados altos teores de proteína nos grãos.

Segundo FOY et al. (1978), a tolerância ao alumínio de alguns cultivares de trigo, cevada, soja e feijão está associada à habilidade em resistir à deficiência de cálcio, induzida pelo alumínio.

Cultivares tolerantes de cevada, apresentam menor inibição na absorção de Ca e outros cátions, com consequente aumento em seus teores nas plantas (WAGATSUMA & YAMASAKU, 1985). Em cultivares de batata e milho não híbrido, a tolerância ao alumínio tem sido associada à uma maior absorção de Mg (FOY, 1984). Cultivares de batata tolerantes a Al, também apresentaram maior absorção de potássio (FOY, 1984).

2.4.4. Formação de complexos orgânicos

A formação de complexos solúveis de ácidos orgânicos com alumínio, pode eliminar sua toxicidade em plantas (FOY et al., 1978). Estes ácidos produzidos pelas plantas tolerantes, funcionam como quelantes do alumínio, formando um sistema de desintoxicação ou proteção (CLARKSON,

⁶FLEMING, A.L. 1975. Characterization of acid phosphatase activity in wheat varieties differing in P efficiency. ASA Abstr. Ann. Meet., Madison, p.70.

1966). FOY et al., (1987) verificaram, a presença de ácidos orgânicos nas raízes de cultivares tolerantes e sensíveis de cevada. Observaram uma diminuição significativa dos ácidos levulínico, cítrico e succínico no cultivar sensível, com o aumento da concentração de alumínio, tendo-se mantido estável seu conteúdo no cultivar tolerante. FOY & LEE (1987), também observaram que o estresse de alumínio reduziu significativamente a concentração dos ácidos cítrico, succínico e ácidos orgânicos totais nas raízes do cultivar de cevada sensível ao alumínio e não no cultivar tolerante. O alumínio diminuiu mais a concentração de ácido levulínico do que o cítrico no cultivar sensível em relação ao tolerante.

Em cultivares tolerantes de sorgo, foram encontradas concentrações substancialmente mais elevadas de ácido cítrico e uma acumulação de ácidos orgânicos 55% maior do que nos sensíveis. (CAMBRAIA et al., 1983a).

2.5. Efeito do alumínio sobre a atividade da enzima redutase do nitrato.

O efeito de Al no metabolismo do nitrogênio, foi observado em diversas culturas. A enzima redutase do nitrato-RN (EC 1.6.6.1) é a primeira enzima envolvida no processo de redução do nitrato, forma de nitrogênio, absorvida predominantemente pelas plantas superiores. A atividade dessa enzima é um fator limitante na taxa de redução do nitrato à amônia em plantas (BEEVERS & HAGEMAN, 1969).

A atividade da enzima permite estimar o estado nutricional da planta quanto ao nitrogênio e este é frequentemente correlacionado com o crescimento e a produtividade. Em aveia, a quantidade de nitrato absorvido

parece estar relacionada com o teor de proteína (SCHRADER, 1978), aumentando significativamente a atividade da redutase do nitrato (GOODMAN et al., 1974).

Segundo BEEVERS & HAGEMAN (1969), na maioria das espécies de plantas, a redução do nitrato é maior na parte aérea do que nas raízes. A atividade da enzima na raiz tende a aumentar proporcionalmente em relação à parte aérea com a diminuição da disponibilidade de nitrato (MARSCHNER, 1986). A atividade da redutase do nitrato parece variar conforme a espécie. LILLO & HENDRIKSEN (1984) observaram que a atividade da RN em folhas de trigo foi superior à da aveia e da cevada.

O efeito do alumínio sobre a atividade da RN, foi estudado na cultura do trigo (FOY & FLEMING, 1982), verificando-se uma maior atividade da enzima em genótipos tolerantes, quando relacionada à dos sensíveis, tanto na presença quanto na ausência de Al. Já em sorgo, a atividade da RN diminuiu na parte aérea com o aumento do teor de Al, possivelmente devido ao aumento da absorção de NH_4^+ (KELTJENS, 1988). Como em aveia, os genótipos tolerantes ao alumínio, tem maior teor de proteína nos grãos (BILSKI & FOY, 1987), isto demonstra uma maior eficiência na utilização do nitrogênio.

De outro lado, a maior atividade de redução do nitrato na parte aérea, estimula a absorção de nitrato pelas raízes (BEN ZIONI et al., 1971). Nessas condições, com a maior absorção desse ânion, poderia ser esperado um aumento do pH na solução.

Quanto à influência do estágio de desenvolvimento da aveia sobre a atividade da redutase do nitrato, SAUVESTY & GENDRON (1987) observaram, em três cultivares, que a atividade da enzima é alta na fase de

plântula, máxima na fase de perfilhamento, decaindo após a emissão da panícula. Esta atividade poderia estar relacionada com a taxa de absorção de nitrato pelas plantas de aveia, que decresce aproximadamente aos 50 dias após a emergência (SCHRADER, 1978).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Determinação da concentração de alumínio na solução nutritiva para classificação de genótipos de aveia branca.

O experimento foi conduzido em câmara de crescimento, submetendo-se 16 genótipos de aveia branca a cinco níveis de alumínio na solução nutritiva.

A câmara de crescimento foi instalada no Setor de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Química da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", em Piracicaba, SP. A câmara tinha as dimensões de 3m x 5,40m, sendo que a parte iluminada correspondia a uma área de 2,40m x 3,0m. A iluminação da câmara constava da combinação de 72 lâmpadas fluorescentes de 50 W e 28 lâmpadas de vapor de mercúrio de 250 W. A intensidade luminosa média, tomando por base nove diferentes pontos ao nível de altura das plantas, foi de 208 micro einsteins, 1,13 milivolts, 0,170969 cal/cm²/minuto e 4979 lux.

O ciclo de iluminação utilizado foi o de 16 horas luz e 8 horas de escuro, controlado através de um timer. O controle da temperatura foi realizado através de dois condicionadores de ar, frio e quente, com capacidade

para 17000 e 18000 BTUs. Um dos condicionadores permanecia ligado constantemente, enquanto o outro acompanhava o ciclo de iluminação. A umidificação do ambiente era feita através de constante umedecimento do chão da câmara.

Antes da instalação deste experimento, executou-se um ensaio prévio, com o objetivo de avaliar-se a metodologia e as condições de funcionamento da câmara de crescimento, especialmente, em relação à idade da plântula na implantação, controle de temperatura e umidade relativa, variação do pH da solução e avaliações na colheita.

Os genótipos de aveia estudados são provenientes do programa de melhoramento genético de aveia desenvolvido pela Universidade de Passo Fundo (Passo Fundo, RS). Com base em uma avaliação preliminar realizada no campo (FLOSS et al., 1990), utilizando solos ácidos que apresentavam altos teores de Al trocável (3,7 e 4,2 meq/100cm³ de solo), foram incluídos no ensaio os genótipos: UPF 5, UPF 7, UPF79I174-3, UPF84057, UPF86011, UPF86018, UPF86045, UPF86066, UPF86112, UPF86113, UPF86136, UPF86A1169-2b, UPF86A1198-5-1b, UPF86A1264-1b, UPF87071 e UPF87107. A genealogia dos genótipos estudados é apresentada no Apêndice A (Tabela A1).

As sementes de aveia, após prévia seleção quanto ao tamanho, foram desinfectadas através de tratamento com uma solução de hipoclorito de sódio a 10% (produto comercial), durante 15 minutos. Seguiu-se uma lavagem com água de torneira e após com água destilada. As sementes foram colocadas para germinar em papel de germinação, umedecido previamente com água destilada, na proporção de 2ml de água por grama de papel. Durante o período de germinação, a temperatura no germinador foi mantida em 20° Celsius.

Imediatamente após a emergência, que ocorreu

4 dias após a semeadura, as plântulas foram selecionadas quanto à uniformidade de tamanho, medindo-se o comprimento inicial (cm) da raiz seminal primária(CIRS). A seguir foram transferidas para uma solução nutritiva completa. Os níveis de alumínio foram aplicados 24 horas após.

Para sustentação das plântulas sobre a solução nutritiva, elas foram colocadas nos orifícios de chapas de PVC opaco, medindo 50 x 22 cm, com 0,4 mm de espessura, instaladas sobre as bandejas de polietileno. A capacidade das bandejas era de 15 litros de solução nutritiva. As chapas de sustentação tinham 128 orifícios, permitindo a avaliação de 16 genótipos por bandeja, usando-se 8 plântulas por sub-parcela, sendo 6 úteis na avaliação e 2 como bordadura. As bandejas foram previamente pintadas externamente, com tinta aluminizada, para evitar a penetração da luz e a consequente inibição do crescimento radicular.

A composição da solução nutritiva utilizada foi baseada em FURLANI & HANNA (1984), para a cultura do arroz, sendo modificada, pelo aumento em cinco vezes na concentração dos macronutrientes mantendo-se a mesma concentração de micronutrientes (Tabela 1). Esta maior concentração foi usada, por que em um experimento prévio apareceram sintomas de deficiência de fósforo, mesmo no tratamento com ausência de alumínio. Na solução utilizada, o teor de fósforo foi de 1 mg/litro de solução. Esta concentração de P é menor do que a indicada por FOY (1976), 2 a 4 ppm. Por outro lado, a concentração de Ca de 150 mg/l utilizada neste trabalho é tres vezes superior àquela indicada por FOY (1976).

O estresse de alumínio foi obtido mediante adições de volumes conhecidos de uma solução contendo 3.000 mg de Al/litro de solução estoque, preparada a partir de

$\text{AlK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, utilizando-se 52,77g do sal por litro de solução estoque. As concentrações de alumínio utilizadas foram 0, 7,5, 15, 22,5 e 30 mg Al/litro de solução. O pH das diferentes soluções não foi corrigido, sendo acompanhada a variação, mediante leitura diária. As soluções foram continuamente arejadas, utilizando-se um compressor.

Tabela 1: Composição da solução estoque e da solução nutritiva utilizadas para estudo da tolerância de plantas de aveia ao alumínio (Modificada a partir de FURLANI & HANNA, 1984).

Solução Estoque ----- Componentes Conc.		Relação solução estoque/solu- ção nutritiva	Concentração final da solução nutri- tiva	
	---g/l---	--ml/l---	nutrientes	mg/l
$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	142,4	1,4	Ca	150
KH_2PO_4	17,6	0,25	K	90
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	270,0	3,3	Mg	19
NH_4NO_3	3,8		N- NO_3^-	150
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	24,9	0,33	N- NH_4^+	20
Na_2EDTA	29,6		P	1
KCl	18,6	2,3	B	0,05
KNO_3	24,6		Fe	0,5
K_2SO_4	44,0		Mn	0,1
$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	2,34	0,33	Mo	0,02
H_3BO_3	2,04		Zn	0,03
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0,3127		Cu	0,01
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	1,6587			
MoO_3	0,1573			

As plantas foram mantidas em câmara de crescimento, com uma umidade relativa média de 73% (Tabela B1), com iluminação artificial durante todo o período experimental, à uma intensidade de 224 micro-einstein. A temperatura média na câmara foi ajustada para $25^{\circ}\text{C} \pm 4^{\circ}\text{C}$ (Tabela B1).

A avaliação final foi realizada após 10 dias de permanência das plantas nas soluções com níveis de alumínio.

O efeito do alumínio foi avaliado pelo parâmetro crescimento da raiz seminal (CRS) que parece apresentar melhor correlação com o grau de tolerância ao alumínio (FOY et al., 1967; REID et al., 1971; MOORE et al., 1976). O crescimento relativo da raiz seminal (CRRS), foi determinado pela relação $\text{CRS-Al/CRS} \times 100$, onde CRS-Al, representa a média do comprimento da raiz de plantas cultivadas em solução de cada nível de Al e CRS, representa a média do comprimento da raiz seminal de plantas cultivadas na ausência de alumínio. Também foram avaliados o comprimento final da raiz seminal (CFRS) e o comprimento final relativo da raiz seminal (CFRRS), utilizando o mesmo critério de CRRS.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, obedecendo ao esquema de parcelas subdivididas, sendo que as parcelas foram constituídas pelos 5 níveis de alumínio e as sub-parcelas pelos 16 genótipos de aveia. Cada bandeja constituía uma parcela, contendo 16 sub-parcelas, utilizando-se 3 repetições por parcela.

A análise estatística dos resultados foi realizada segundo GOMES (1972), aplicando-se o teste F, segundo o seguinte quadro de análise de variância:

Causas de variação	G.L.
Blocos	2
Níveis de Alumínio	4
Resíduo (A)	8
Genótipos	15
Genótipos x níveis de alumínio	60
Resíduo (B)	150
Total	239

Para cada causa de variação em que o efeito revelou-se significativo pelo teste F, efetuou-se o desdobramento dessa causa para as regressões polinomiais linear e quadrática. Considerou-se como representativa a regressão de maior grau significativa pelo teste F e o maior coeficiente de determinação (R^2). A comparação entre médias dos genótipos para cada nível de Al foi realizada pelo teste de Tukey, até o nível de 5% de significância.

3.2. Efeito do alumínio na solução nutritiva sobre alguns parâmetros de crescimento da aveia.

Este experimento também foi conduzido em câmara de crescimento, avaliando-se 16 genótipos de aveia branca, nas bandejas, sob dois níveis de alumínio: 0 e 7,5 mg Al/litro de solução.

O delineamento experimental foi igual ao do experimento anterior. As variáveis avaliadas foram os parâmetros de crescimento de raízes CIRS, CFRS, CFRRS, CRS e CRRS, além do rendimento de matéria seca da raiz (RMSR), rendimento relativo de matéria seca da raiz (RRMSR), rendimento de matéria seca da parte aérea (RMSPA), rendimento relativo de matéria seca da parte aérea (RRMSPA), rendimento de matéria seca da planta (RMSP), rendimento relativo de

matéria seca da planta (RRMSP) e relação entre RMSR e RMSPA (RRPA).

As plantas foram colhidas após 11 dias de crescimento, depois de serem submetidas aos níveis de Al durante 10 dias, medindo-se o comprimento da maior raiz e separando-se o sistema radicular da parte aérea. As partes foram secas em estufa, com temperatura entre 70 - 75°C, por 72 horas. Foi realizada então a pesagem, para a determinação do rendimento de matéria seca das seis plantas/genótipo. O rendimento relativo foi calculado, pela relação RMS 7,5 Al/RMS 0 Al, multiplicado por 100.

A análise estatística foi realizada segundo o seguinte quadro de análise de variância:

Causas de variação	G.L.
Blocos	2
Níveis de Alumínio	1
Resíduo (A)	2
Genótipos	15
Genótipos x Níveis de Alumínio	15
Resíduo (B)	60
Total	95

A comparação entre médias foi realizada através do teste de Tukey. Para as variáveis onde o teste F revelou-se significativo para a interação genótipo x níveis de alumínio, esta causa de variação foi desdobrada, fazendo-se a comparação entre as médias, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

3.3. Seleção de genótipos de aveia branca tolerantes ao alumínio, em solução nutritiva

3.3.1. Seleção no nível de 7,5 mg Al/litro de solução.

Neste experimento foram avaliados 156 genótipos de aveia branca (Tabela A1), visando a seleção de materiais tolerantes ao alumínio. A metodologia utilizada foi a mesma dos experimentos anteriores, com algumas modificações.

Para a obtenção do estresse do alumínio, os genótipos foram submetidos aos tratamentos sem e com alumínio na solução nutritiva. A concentração de alumínio foi a de 7,5mg Al/l determinada no primeiro experimento, como sendo adequada para separar-se genótipos tolerantes de sensíveis e considerando que McLEAN & GILBERT (1927) também consideraram 7ppm como o nível crítico para aveia.

Devido à capacidade da câmara de crescimento, este trabalho foi subdividido em onze experimentos, identificados como experimento 1 (item 3.1), experimento 2 (item 3.2) e experimento 3A, 3B, 3C, 3D, 3E, 3F, 3G, 3H e 3I. Em cada ensaio foram avaliados 14 genótipos

(subparcelas), incluindo-se duas testemunhas, uma sensível ao alumínio (UPF 7) e outra tolerante (UPF86Al169-2b), de acordo com o resultado da avaliação do primeiro experimento. Os genótipos foram submetidos a 2 níveis de alumínio 0 e 7,5 mg/l (parcelas), com três repetições, totalizando 6 bandejas por ensaio.

Decorridos 10 dias, depois das plântulas serem submetidas aos tratamentos com e sem alumínio, foi feita a avaliação do comprimento da maior raiz seminal de cada planta (CFRS=cm/plântula). O efeito do Al foi avaliado pelo crescimento da raiz seminal (CRS = CFRS - CIRS) e o efeito responsivo através do crescimento relativo (CRRS).

A análise estatística dos onze experimentos foi realizada, obedecendo ao mesmo quadro de análise de variância do segundo experimento. O comportamento dos genótipos testemunhas também foi analisado estatisticamente quanto ao crescimento da raiz seminal, nos onze experimentos de seleção, com três repetições utilizando o seguinte quadro de análise de variância:

Causas de variação	G.L.
Blocos	2
Genótipos	1
Ensaio	10
Genótipos x Ensaio	10
Resíduo	42
Total	65

3.3.2. Seleção no nível de 15 mg Al/litro de solução.

Neste ensaio, avaliou-se o efeito do nível de 15 mg Al/litro de solução, sobre 84 genótipos de aveia, considerados tolerantes (CRS > média) ou responsivo (CRRS > média) na seleção efetuada ao nível de 7,5 mg Al/l. Como testemunhas, foram utilizados os genótipos UPF86Al169-2b(tolerante) e UPF7(sensível). Em cada bandeja foram avaliados 14 genótipos, além das duas testemunhas, usando-se um total de 6 bandejas por repetição.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com três repetições. As condições de condução de experimento foram as mesmas da seleção anterior e os parâmetros avaliados foram CIRS, CFRS, CRS e o índice de tolerância ao Al (ITRAI). O ITRAi foi calculado segundo a fórmula, modificada a partir de FURLANI & CASTRO (1990):

$$\text{ITRAI} = \frac{(\text{CRSx} - \text{CRSs})}{(\text{CRSt} - \text{CRSs})} \times 8,0 + 1,0$$

onde: CRSx, CRSs e CRSt representam os valores do crescimento da raiz seminal dos genótipos em estudo (x) e controles

sensível (s) e tolerante (t).

A análise estatística dos resultados foi efetuada segundo o seguinte quadro de análise de variância:

Causas de variação	G.L.
Genótipos	85
Blocos	2
Resíduo	170
Total	257

Com o propósito de comparar o efeito relativo, foi conduzida uma bandeja, com 16 genótipos com três repetições em solução nutritiva com ausência de alumínio. O nível de tolerância foi avaliado pelo CRS e o efeito responsivo através do CRRS. A análise estatística foi realizada, utilizando o mesmo quadro de análise de variância do segundo experimento (item 3.2).

3.4. Avaliação da tolerância de genótipos de aveias pretas ao alumínio, em solução nutritiva

Neste experimento foram avaliados 14 genótipos de aveia preta, tendo como testemunhas os genótipos de aveia branca UPF 7 (sensível) e UPF86A1169-2b (tolerante). As plantas foram obtidas conforme foi descrito no primeiro experimento (3.1), bem como a metodologia de condução. A

genealogia dos genótipos de aveia preta avaliados está no Apêndice A (Tabela A2).

Foram utilizados quatro níveis de alumínio na solução nutritiva: 0, 7,5, 15 e 30 mg Al/ litro de solução. Após 10 dias de cultivo nas diferentes soluções, os genótipos foram avaliados, quanto ao crescimento da raiz seminal (CRS), crescimento relativo da raiz seminal (CRRS) e comprimento inicial da raiz seminal (CIRS).

A análise de variância dos resultados deste experimento, foi realizada utilizando-se o seguinte quadro de análise de variância:

Causas de variação	G.L.
Blocos	2
Níveis de Alumínio	3
Resíduo (A)	6
Genótipos	15
Genótipos x Níveis de Alumínio	45
Resíduo (B)	120
Total	191

3.5. Efeito do alumínio sobre alguns parâmetros de crescimento e a nutrição de aveia, em cultivo hidropônico

Neste experimento foi avaliado o efeito do

alumínio sobre alguns parâmetros de crescimento, o teor e a extração de alguns macro e micronutrientes por dois genótipos de aveia. O experimento foi conduzido na casa de vegetação do setor de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Química, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP, em Piracicaba, SP.

Foram utilizados baldes de polietileno brancos, com a capacidade para 3,8 litros. As plântulas foram obtidas conforme a metodologia descrita no primeiro experimento. No nono dia após a semeadura, plântulas normais e uniformes foram transferidas para as tampas dos vasos de polietileno perfuradas, protegidas por espuma plástica, com orifícios de 2cm de diâmetro, utilizando-se 7 plantas por vaso.

Os tratamentos constaram de dois genótipos de aveia, sendo um tolerante(UPF86Al169-2b) e um sensível(UPF7) e cinco níveis de alumínio (0, 10, 20, 30 e 40 mg/litro de solução). O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, distribuindo-se os tratamentos em um esquema fatorial com 2 genótipos x 5 níveis de Al x 3 blocos.

Durante cinco dias após a implantação, as plantas receberam uma solução nutritiva diluída equivalente a um quinto da concentração da solução original mostrado na Tabela 1. Após esse período as plantas receberam a solução nutritiva completa, e foram aplicados os tratamentos respectivos de alumínio. A solução nutritiva foi renovada a cada cinco dias. O pH inicial e final da solução de cada período e cada vaso, foi determinado através de potenciômetro manual. No 1º, 3º e 5º período, foram realizados os controles diários do pH, às 7 horas.

Vinte e tres dias após a instalação do experimento, foram retirada uma folha de cada planta, a última

completamente expandida, para a determinação da atividade "in vitro" da redutase do nitrato (RN).

O experimento foi colhido 25 dias após sua instalação. As plantas colhidas foram lavadas rapidamente e foi medido o comprimento da maior raiz (CMR) e feita a contagem do número de afilhos (NAF). Em seguida, as plantas foram fracionadas em folhas (F), colmo + bainha (CB) e raízes (R). O material foi seco em estufa, com temperatura de 70 - 75° C. Após 72 horas, o material foi pesado, para a determinação do rendimento de matéria seca (MS) das diversas frações. A relação de peso foliar (RPF), foi obtida pelo quociente RMSF/RMSP, multiplicado por 100. A relação raiz/parte aérea (RRPA), foi obtido pelo quociente RMSR/RMSPA, multiplicado por 100.

A análise estatística nos parâmetros avaliados, aplicando-se o teste F, obedeceu ao seguinte quadro de análise de variância:

Causas de variação	G.L.
Genótipos	1
Níveis de Alumínio	4
Genótipos x Níveis de Alumínio	4
Blocos	2
Resíduo	18
Total	29

Quando o teste F revelou-se significativo para a interação, efetuou-se o desdobramento das causas através de regressões polinomiais até o 3º grau, utilizando-se o teste F e o coeficiente de determinação (R^2) para escolher aquela que melhor se adaptava à distribuição dos resultados.

A matéria seca das raízes e da parte aérea,

após secagem e pesagem, foi moída em moinho do tipo Willey, para posterior determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn e Cu, segundo metodologia descrita por SARRUGE & HAAG (1974). A análise do teor de alumínio foi realizada no Laboratório de Radioquímica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), em Piracicaba, S.P., através de espectrometria de emissão atômica com plasma induzido de argônio, modelo 975 JERREL ASH.

Como a quantidade de material vegetal das raízes foi muito pequena no nível de 40 mg de Al/litro, a análise dos teores foi realizada apenas em quatro níveis de Al. A partir dos teores obtidos na análise, foi calculada a extração de nutrientes pelas duas partes (aérea e raízes) e pela planta toda, em cada vaso.

A análise estatística dos resultados foi feita, aplicando-se o teste F, segundo o seguinte quadro de análise de variância:

Causas de variação	G.L.
Partes	1
Genótipos	1
Níveis de Alumínio	3
Partes x Genótipos	1
Partes x Níveis de alumínio	3
Genótipos x Níveis de Alumínio	3
Partes x Genótipos x Níveis de alumínio	3
Blocos	2
Resíduo	30
Total	47

Os efeitos de níveis de Al sobre o rendimento de MS e extração de Al e alguns nutrientes na planta toda, foi obtido pela soma do rendimento de MS e extração de nutrientes

de cada parte. O teor foi calculado pela relação da quantidade de nutrientes extraídos/rendimento de MS. A análise dos resultados foi realizada obedecendo ao seguinte quadro de análise de variância:

Causas de variação	G.L.
Genótipos	1
Níveis de Alumínio	3
Genótipos x Níveis de Alumínio	3
Resíduo	16
Total	23

3.6. Efeito do alumínio sobre a atividade "in vitro" da enzima redutase do nitrato em aveia

O efeito do alumínio sobre a atividade da redutase do nitrato (EC 1.6.6.1), foi determinado à partir de folhas coletadas no experimento de cultivo hidropônico (3.5.), colhidos com 23 dias.

Previamente foi realizado um experimento para determinar o órgão (folha ou raiz) de maior atividade da RN em aveia e o melhor estágio de desenvolvimento, 14 ou 21 dias após a emergência (DAE). Foram cultivados dois genótipos de aveia (UPF 7 e UPF86A1169-2b), em cultivo hidropônico, utilizando a solução nutritiva da Tabela 1 e na ausência de Al. Aos 14 e 21 DAE foi coletada a última folha completamente expandida e avaliada a atividade da RN, no Laboratório de Bioquímica do CENA/USP.

Foi utilizado o método "in vitro", modificado de HARPER & HAGEMAN (1972).

O sistema foi formado por 200 miligramas de

folhas cortadas, com aproximadamente 1 cm de comprimento. O material foi transferido para um tubo de vácuo contendo 5,0 ml de solução tampão fosfato 0,1M, pH 7,5, com isopropanol 1% e KNO_3 50mM e, posteriormente, vedadas com tampa de borracha para remoção do ar, através de vácuo por 2 minutos. Os tubos foram incubados em banho-maria, na temperatura de 30°C, por 30 minutos, ao abrigo da luz.

Após a incubação, foram retiradas alíquotas para as diluições (faixa de leitura de 0,2 a 0,5 de absorbância) e em seguida efetuadas reações na proporção de 2 ml de alíquota + 1 ml de sulfanilamida 1% (em HCl. 2N) + 1 ml de NNEDA 0,02%, esperando-se 15 minutos. O branco foi feito com reativos em ausência de tecido vegetal. As leituras foram feitas em espectrofotômetro no comprimento de onda 540 nm. Os resultados foram expressos em $\mu\text{mol NO}_3^- \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ de tecido fresco.

No experimento para determinação da atividade da RN em diferentes órgãos e estádios, foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado, distribuindo-se os tratamentos em esquema fatorial com dois genótipos x dois estádios x dois órgãos, em quatro repetições. A análise estatística dos resultados, aplicando-se o teste F, foi realizada segundo o seguinte quadro de análise de variância:

Causas de variação	G.L.
Genótipos	1
Estádios	1
Órgãos	1
Genótipos x estádios	1
Genótipos x órgãos	1
Estádios x órgãos	1
Genótipos x estádios x órgãos	1
Resíduo	24
Total	31

Na avaliação do efeito de níveis de Al sobre a atividade da RN, utilizou-se o delineamento experimental de blocos casualizados com três repetições, em esquema fatorial (2 x 5) tendo como tratamentos os dois genótipos (UPF7 e UPF86Al169-2b) e cinco níveis de alumínio (0, 10, 20, 30 e 40 mg Al/l).

A análise estatística dos resultados, aplicando-se o teste F, foi realizada segundo o seguinte quadro de análise de variância:

Causas de variação	G.L.
Genótipos	1
Níveis de Alumínio	4
Genótipos x Níveis de Alumínio	4
Blocos	2
Resíduo	18
Total	29

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Determinação da concentração de alumínio na solução nutritiva, para classificação de genótipos de aveia branca.

4.1.1. Comprimento inicial da raiz seminal (CIRS)

Pela análise de variância (teste F) não foram detectadas diferenças significativas ($P > 0,05$) entre os níveis de alumínio, quanto ao comprimento inicial da raiz seminal (CIRS) (Tabela D1). Este resultado indica a uniformidade entre as plântulas no momento da implantação do experimento (Tabela 2). A interação genótipos x níveis de alumínio, não foi significativa pelo teste F ao nível de 5% de significância, sendo significativa apenas a diferença na média dos genótipos avaliados quanto ao parâmetro CIRS.

Na média dos genótipos, verificou-se que os genótipos UPF5, UPF86A1198-5-1b, UPF79I174-3, UPF84057, UPF87107, UPF86A1169-2b e UPF86136, apresentam CIRS significativamente superior ($P < 0,05$) aos demais genótipos avaliados.

Tabela 2: Comprimento inicial da raiz seminal (CIRS) de genótipos de aveia submetidos a cinco níveis de alumínio na solução nutritiva.

Genótipos	Teores de alumínio (mg/l)					
	0	7,5	15,0	22,5	30,0	Média ¹
	----- cm -----					
UPF5	6,84	7,23	6,84	6,74	6,47	6,82a
UPF86A1198-5-1b	6,29	7,02	6,55	6,74	5,96	6,51a
UPF79I174-3	5,95	6,41	6,09	5,97	6,34	6,15ab
UPF84057	5,90	6,09	5,83	5,86	5,92	5,92ab
UPF87107	6,03	5,86	5,63	5,91	5,91	5,87ab
UPF86A1169-2b	6,35	5,80	5,84	5,65	5,48	5,82abc
UPF86136	5,55	6,00	5,64	5,96	5,92	5,82abc
UPF86071	5,56	6,16	5,29	5,88	4,44	5,46 bc
UPF86018	5,51	5,74	5,70	5,38	4,96	5,46 bc
UPF86112	5,04	5,04	5,96	5,67	5,16	5,37 bc
UPF7	5,51	5,13	5,43	5,38	5,29	5,35 bc
UPF86066	5,40	5,27	5,30	5,53	5,15	5,33 bc
UPF86011	5,37	5,57	5,34	4,92	4,87	5,22 bc
UPF86045	5,31	5,17	5,16	5,07	5,19	5,18 bc
UPF86113	4,42	4,28	4,46	7,67	4,78	5,12 bc
UPF86A1264-1b	5,39	4,62	4,55	4,96	4,58	4,82 c
Média	5,65A	5,71A	5,60A	5,83A	5,40A	5,64
Tukey (0,05) Genótipos(ns)						4,03
Tukey (0,05) Níveis de Alumínio(ns)						0,68
C.V. Genótipos (%)						4,32
C.V. Níveis de Al (%)						14,41

¹ Médias seguidas da mesma letra, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância

A ausência de diferenças significativas no parâmetro CIRS, ao nível de 5% de significância, entre níveis de alumínio, confere maior precisão à avaliação do efeito do Al sobre as plantas, através de parâmetros relacionados com o crescimento de raízes.

4.1.2. Comprimento final da raiz seminal(CFRS)

Os resultados do parâmetro CFRS são apresentados na Tabela 3. A análise de variância mostrou diferenças significativas entre genótipos, níveis de alumínio na solução e para a interação genótipos x níveis de alumínio, ao nível de 5% de significância. A média geral do experimento foi de 13,49 cm, com um coeficiente de variação para as parcelas de 6,41% e para as sub parcelas de 9,78%. (Tabela D1).

Pela Tabela 3, verifica-se que no nível 0 de alumínio, os genótipos UPF86045, UPF86Al169-2b e UPF86112, sem diferir significativamente dos genótipos UPF86136, UPF 84057 e UPF 5 apresentaram CFRS significativamente superior aos demais genótipos. Mas apenas os genótipos UPF86Al169-2b, UPF 86136 e UPF 86045 apresentaram CFRS no grupo estatístico superior, em todos os níveis de alumínio.

Na mesma Tabela 3, observa-se que no maior nível de Al (30 mg/l), os genótipos UPF86Al169-2b e UPF 86136 apesar de não diferirem dos genótipos UPF86045, UPF86Al198-5-1b, UPF86011, UPF87107, UPF86112, UPF79I174-3, UPF84057, foram superiores aos demais genótipos avaliados.

A redução do parâmetro CFRS, com o aumento do nível de Al na solução, foi significativa para a maioria dos genótipos avaliados. Apenas os genótipos UPF86Al198-5-1b, UPF79I174-3, UPF86Al264-1b, UPF86113 e UPF86018, não sofreram

redução significativa do CFRS entre os níveis 0 e 7,5 e apenas os genótipos UPF86A1198-5-1b, UPF86A1264-1b e UPF86018, não diferiram entre os níveis 0 e 15. O genótipo UPF86A1264-1b, não diferiu quanto ao parâmetro CFRS para os cinco níveis de Al testados (Tabela 3), pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Como a interação genótipo x nível foi significativa, a análise de variância foi desdobrada, fixando-se o fator genótipos e realizando-se a análise de regressão polinomial. Considerou-se a regressão significativa de maior grau (Tabela 4), ao nível de 1% de significância.

Para os genótipos UPF79I174-3, UPF86018, UPF86066, UPF86113, UPF86A1264-1b, UPF87107 e UPF7, o parâmetro CFRS decresceu de forma linear, enquanto os demais genótipos, apresentaram efeito conforme a regressão quadrática.

O genótipo UPF86A1198-5-1b foi o único que apresentou aumento inicial do parâmetro CFRS com o aumento da concentração de alumínio na solução, expresso de forma quadrática, apresentando um valor máximo no nível 13,8 mg Al/litro de solução.

4.1.3. Comprimento final relativo da raiz seminal (CFRRS)

A análise de variância desse parâmetro mostrou diferenças significativas entre genótipos, níveis de alumínio e para a interação entre genótipos e níveis de alumínio. A média geral foi de 67,89%, com um coeficiente de variação

Tabela 3. Comprimento final da raiz seminal (CFRS) de genótipos de aveia submetidos a cinco níveis de alumínio na solução nutritiva.

GENÓTIPOS	Teores de Al (mg/l)													
	0	7,5	15,0	22,5	30,0									
UPF86A1169-2b	31,1a	A	17,8a	B	15,3ab	BC	12,7ab	C	12,2a	C				
UPF86136	26,5ab	A	16,1ab	B	14,7abc	BC	11,6abcd	C	11,9a	C				
UPF86045	31,7a	A	17,3a	B	14,4abc	BC	12,3abc	C	11,5ab	C				
UPF86														
AL198-5-1b	11,9	c	A	14,6abcd	AB	16,5a	AB	13,9a	B	11,abc	B			
UPF86011	21,2	bcd	A	15,1abc	B	13,9abcd	BC	12,1abc	BC	11,2abc	C			
UPF87107	17,1	cde	A	13,1 bcdefB		11,9	cdefB	10,5	bcd	B	10,9abcd	B		
UPF86112	30,9a	A	15,5ab	B	13,3 bcde	BC	11,4abcd	C	9,8abcde	C	9,8abcde	C		
UPF791174-3	16,3	cde	A	13,5 bcde	AB	11,9	cdefC	9,7	bcd	C	9,5abcde	C		
UPF84057	25,0ab	A	11,6	defB		10,7	efB	9,6	bcd	B	9,3abcde	B		
UPF5	26,0ab	A	17,7a	B	11,3	defC		9,4	cd	C	8,9	bcde	C	
UPF86A1264-1b	11,3	c	A	10,2	fA	9,6	fA	9,3	cd	A	8,4	cde	A	
UPF7	15,3	cde	A	11,4	defB	10,4	efB	8,6	d	B	8,2	de	B	
UPF86113	15,3	cde	A	12,2	cdefAB	11,1	defBC	9,4	cd	BC	8,1	de	C	
UPF86018	14,6	de	A	14,0	bcd	A	11,1	defAB	8,6	d	B	8,0	de	B
UPF86066	19,9	bcd	A	10,5	efB	9,6	fB	8,8	d	B	7,9	e	B	
UPF87071	21,8	bc	A	15,2abc	B	10,4	efC	9,2	cd	C	7,6	e	C	
Média	21,00A		14,11B		12,25BC		10,44CD		9,67D					
C.V. Genot. (%)	10,60		7,49		7,98		10,00		10,08					
C.V. Níveis de Al (%)	9,98													

- Médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem pelo teste teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

para os genótipos de 6,34% e para os níveis de Al de 9,34% (Tabela D1).

Tabela 4: Equações de regressão polinomial, coeficiente de determinação (R^2) e valores máximo ou mínimo, para efeito de níveis de Alumínio (X) sobre o parâmetro CFRS (Y) de genótipos de aveia branca.

Genótipos	Equações	R^2 (%)	Máx. / mín.
UPF79I174-3	$Y=15,66 - 0,23X$	94,10**	-
UPF84057	$Y=23,67 - 1,44X + 0,03X^2$	90,70**	24,0
UPF86011	$Y=20,72 - 0,68X + 0,01X^2$	96,30**	34,0
UPF86018	$Y=14,93 - 0,25X$	94,80**	-
UPF86045	$Y=30,56 - 1,68X + 0,036X^2$	95,60**	23,3
UPF86066	$Y=16,45 - 0,34X$	69,30**	-
UPF86112	$Y=29,42 - 1,68X + 0,035X^2$	93,50**	24,0
UPF86113	$Y=14,63 - 0,23X$	96,13**	-
UPF86136	$Y=25,68 - 1,19X + 0,02X^2$	95,47**	29,8
UPF86A1169-2b	$Y=30,05 - 1,54X + 0,032X^2$	95,77**	24,1
UPF86A1198-5-1b	$Y=11,86 + 0,55X - 0,02X^2$	93,98**	13,8
UPF86A1264-1b	$Y=11,14 - 0,09X$	96,82**	-
IPF87071	$Y=21,68 - 0,98X + 0,017X^2$	99,31**	28,8
UPF87107	$Y=15,70 - 0,20X$	79,98**	-
UPF5	$Y=26,06 - 1,34X + 0,03X^2$	99,78**	22,3
UPF7	$Y=14,22 - 0,23X$	89,25**	-

** significativo ao nível de 1%

Tabela 5 Comprimento final relativo da raiz seminal (CFRRS) de genótipos de aveia submetidos a cinco níveis de alumínio na solução nutritiva.

Teores de Al (mg/l)									
0 7,5 15,0 22,5 30,0									
UPF86A1198-5-1b	100a CD	123,0a	AB	139,3a	A	116,7a	BC	94,3a	D
UPF86A1264-1b	100a A	90,3 bc	AB	85,0 b	AB	81,7 b	B	74,0 b	B
UPF87107	100a A	78,3 cde	B	70,0 bcd	B	61,7 c	B	64,3 bc	B
UPF791174-3	100a A	83,0 bcd	AB	72,0 bcd	BC	59,7 cd	C	58,3 bcd	C
UPF86018	100a A	96,7 b	A	76,7 bc	B	59,0 cd	C	55,3 cde	C
UPF7	100a A	75,0 cdef	B	68,0 dcd	BC	56,0 cdef	C	53,3 cdef	C
UPF86011	100a A	71,0 defg	B	65,7 cde	BC	57,0 cde	BC	53,3 cdef	C
UPF86113	100a A	79,0 bcd	B	72,0 bcd	BC	61,3 c	CD	53,3 cdef	D
UPF86136	100a A	60,7	efghiB	56,0	def B	44,7 cdefg	B	45,3	efg B
UPF86A1169-2b	100a A	57,3	fghiB	49,0	ef BC	40,7	efg BC	39,0	efg C
UPF84057	100a A	46,3	iB	43,0	f B	38,3	fg B	37,3	fg B
UPF86045	100a A	54,3	ghiB	45,3	f BC	38,7	fg BC	36,0	fg C
UPF87071	100a A	69,3	defg B	47,7	ef C	42,0	defg C	34,7	g C
UPF86066	100a A	45,0	iB	42,0	f B	38,0	fg B	34,3	g B
UPF5	100a A	67,3	defgh B	43,0	f C	36,3	g C	34,0	g C
UPF86112	100a A	50,0	hiB	43,0	f BC	37,3	g BC	31,7	g C
Média	100A	71,7B		63,7 BC		54,3CD		49,8D	
C.V. Genótipos (%)		6,39							
C.V. Níveis de Al (%)		9,33							

- Médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

O genótipo UPF86Al198-5-1b apresentou o parâmetro CFRRS superior aos demais genótipos em todos os níveis de alumínio utilizados (Tabela 5).

O efeito da interação genótipos x níveis de alumínio, foi desdobrado através da regressão polinomial, sendo que as equações obtidas para cada genótipo e seu respectivo coeficiente de determinação (R^2), são apresentados na Tabela 6.

Considerando-se os genótipos que se destacaram quanto ao parâmetro CFRRS no maior nível de Al, observa-se que o comportamento foi praticamente o mesmo quando considera-se as regressões do parâmetro CFRS, excetuando-se o genótipo UPF86066, que apresenta efeito quadrático.

O genótipo UPF86Al198-5-1b apresentou acréscimo inicial no parâmetro CFRRS em função do aumento do nível de alumínio, expresso através de uma equação quadrática, com máximo no nível de 24,1 mg Al/litro da solução.

4.1.4. Crescimento da raiz seminal (CRS)

A análise de variância deste parâmetro mostrou diferenças altamente significativas ($P < 0,01$) pelo teste F, entre genótipos, níveis de alumínio e para a interação genótipo x níveis de alumínio (Tabela D1). A média geral foi de 7,93 cm e o coeficiente de variação para genótipos foi de 10,77% sendo para níveis de Al de 12,44%.

Como a interação genótipos x níveis de alumínio foi significativa, realizou-se o desdobramento, fixando os níveis de alumínio, para avaliar melhor o comportamento dos genótipos em cada nível.

Tabela 6: Equações de regressão polinomial, coeficientes de determinação (R^2) e valores máximo ou mínimo, para o efeito do nível de alumínio (X) sobre o parâmetro CFRRS(Y) de genótipos de aveia branca.

Genótipos	Equações	R^2 (%)	Máx./ mín.
UPF79I174-3	$Y = 96,00 - 1,42X$	94,20**	-
UPF84057	$Y = 94,52 - 5,74X + 0,13X^2$	90,60**	22,1
UPF86011	$Y = 97,60 - 3,22X + 0,06X^2$	96,10**	26,8
UPF86018	$Y = 102,93 - 1,69X$	94,44**	-
UPF86045	$Y = 96,22 - 5,28X + 0,112X^2$	95,40**	23,6
UPF86066	$Y = 94,06 - 5,72X + 0,129X^2$	89,60**	22,2
UPF86112	$Y = 95,12 - 5,42X + 0,114X^2$	93,10**	23,8
UPF86113	$Y = 95,40 - 1,49X$	95,80**	-
UPF86136	$Y = 96,88 - 4,46X + 0,09X^2$	95,00**	24,8
UPF86A1169-2b	$Y = 96,65 - 4,97X + 0,104X^2$	96,00**	23,9
UPF86A1198-5-1b	$Y = 99,68 + 7,70X - 0,16X^2$	94,03**	24,1
UPF86A1264-1b	$Y = 98,33 - 0,81X$	97,27*	-
IPF87071	$Y = 99,29 - 4,49X + 0,08X^2$	99,28**	28,1
UPF87107	$Y = 92,47 - 1,17X$	81,30**	-
UPF5	$Y = 99,92 - 5,16X + 0,10X^2$	99,71**	25,8
UPF7	$Y = 92,93 - 1,50X$	90,03**	-

* e ** significativos respectivamente, aos níveis de 5 e 1%

Na Tabela 7 observou-se que, no nível 0 de

alumínio, o parâmetro CRS dos genótipos UPF86045 e UPF86112, sem diferir do genótipo UPF 86Al169-2b foram superiores aos demais genótipos avaliados ($P < 0,05$). Os genótipos UPF86Al169-2b e UPF86045 mantiveram-se no grupo estatístico superior em todos os níveis de alumínio. Os genótipos UPF86011 e UPF86136, apesar de não apresentarem bom crescimento da raiz seminal na ausência do alumínio, destacam-se na presença do mesmo. Por outro lado, os genótipos UPF86045 e UPF86Al169-2b, mostraram-se não responsivos, pois sofreram uma redução significativa nesse parâmetro com o aumento da concentração de Al de 0 para 7,5mg/l.

O genótipo UPF86Al198-5-1b apresentou um aumento no CRS, com o aumento da concentração de alumínio na solução nutritiva. O menor crescimento da raiz seminal na ausência de alumínio, poderia ser atribuído ao efeito de toxicidade de algum nutriente da solução, cuja ação seria reduzida com a presença de alumínio, pois esta toxicidade evidenciou-se pelo enrolamento das raízes, observado principalmente no nível 0 de alumínio. Com o aumento de concentração de alumínio, este sintoma diminuiu e não foi observado nos níveis 22,5 e 30 mg Al/litro de solução. Este comportamento também foi observado por KARATAGLIS (1987), com o cultivar de aveia Kassandra, tolerante ao alumínio. Segundo esse autor, as baixas concentrações de Al estimularam a atividade da esterase, possibilitando uma melhor utilização do P, com reflexos positivos no crescimento das plantas.

Na Tabela 8 são apresentadas as equações de regressão polinomial e seus respectivos coeficientes de

Tabela 7. Crescimento da raiz seminal (CRS) de genótipos de aveia submetidos a cinco níveis de alumínio na solução nutritiva.

GENÓTIPOS	Teores de Al (mg/l)											
	0	7,5	15,0	22,5	30,0							
UPF86A1169-2b	24,76ab	A	11,98a	B	9,45ab	BC	7,07a	C	6,69a	C		
UPF86045	26,44a	A	12,09a	B	9,19ab	BC	7,19a	C	6,34ab	C		
UPF86011	15,85	de	A	9,53abcd	B	9,20ab	BC	7,21a	BC	6,32ab	C	
UPF86136	20,92 bc	A	10,09abc	B	9,04ab	B	5,67abc	C	5,95ab	C		
UPF86A1198-5-1b	5,60	ga	7,59	cdefAB	9,97a	A	7,13a	AB	5,32abc	B		
UPF87107	11,06	ef	A	7,26	defB	6,22	cdeB	4,61	bcdeB	4,96abcd	B	
UPF86112	25,85a	A	10,50ab		7,38	bc	C	5,73ab	C	4,65	bcde	C
UPF86A1264-1b	5,85	ga	5,60	efB	5,06	deA		4,31	bcdeA	3,77	cdefA	
UPF84057	18,47	cd	A	5,50	fB	4,88	deB	3,70	bcdeB	3,39	defB	
UPF86113	10,88	f	A	7,83	bcdefB	6,61	cd	B	5,09abcd	BC	3,34	defC
UPF87071	16,25	cd	A	9,06	bcd	B	5,13	deC	3,30	cdeC	3,19	defC
UPF791174-3	9,35	fgA	7,12	defAB	5,76	cdeBC		3,72	bcdeC	3,18	defC	
UPF86018	9,04	fgA	8,24	bcde	AB	5,39	cdeBC	3,21	deC	3,08	defC	
UPF7	9,83	fgA	6,31	efB	4,98	deBC		3,20	deC	2,92	efC	
UPF86066	17,82	cd	A	5,21	fB	4,32	eB	3,30	cdeB	2,74	efB	
UPF5	19,20	cd	A	10,43ab	B	4,45	eC	2,65	eC	2,41	fC	
Média	15,46A		8,04B		6,69BC		4,82CD		4,27D			
C.V. Genótipos (%)	10,77		10,59		10,04		16,16		14,80			
C.V. Níveis de Al (%)	12,44											

- Médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

determinação para o desdobramento da interação genótipos x níveis de alumínio. Observa-se que apenas nos genótipos UPF87107, UPF79I174-3, UPF86018, UPF86113, UPF7 e UPF867A1264-1b o crescimento da raiz seminal (CRS) decresceu linearmente com o aumento da concentração de alumínio na solução. Porém no genótipo UPF86A1264-1b a regressão foi menos significativa, com um coeficiente angular menor.

Nos genótipos mais tolerantes em todos os níveis de alumínio, verifica-se que para UPF86A1169-2b, UPF86011, UPF86045 e UPF86136, o CRS se expressou de forma quadrática, com valores mínimos, respectivamente, de 25,0, 5,3, 20,8, 20,3. No genótipo UPF86A1198-5-1b, observou-se uma equação quadrática, com um valor máximo no nível de 11,8 mg Al/litro de solução.

4.1.5. Crescimento relativo da raiz seminal(CRRS)

A análise de variância deste parâmetro, mostrou diferenças significativas entre os genótipos, níveis de alumínio e para a interação genótipos x níveis de alumínio (Tabela D1). A média geral foi de 57,98% e o coeficiente de variação para genótipos foi de 11,71% e para os níveis de alumínio de 16,86%.

Em relação ao desempenho dos genótipos em cada nível de alumínio, verificou-se que o genótipo UPF86A1198-5-1b foi superior ($P < 0,05$) aos demais genótipos avaliados (Tabela 9). Este comportamento é semelhante ao verificado para o parâmetro CFRRS (Tabela 5).

Quanto ao efeito dos níveis de alumínio em cada genótipo, verificou-se que, com exceção dos genótipos UPF86A1264-1b, UPF79I174-3 e UPF86018, houve uma redução significativa do parâmetro CRRS entre os níveis 0 e 7,5 mg Al/l (Tabela 9).

Tabela 8. Equações de regressão polinomial, coeficientes de determinação (R^2) e valores máximo ou mínimo, para o efeito de níveis de alumínio (X) sobre o parâmetro CRS(Y) ou genótipos de aveia branca

Genótipos	Equações	R^2 (%)	Máx./ mín.
UPF79I174-3	$Y = 8,98 - 0,21X$	97,00**	-
UPF84057	$Y = 17,12 - 1,37X + 0,03X^2$	90,10**	22,8
UPF86011	$Y = 15,21 - 0,64X + 0,06X^2$	92,90**	5,3
UPF86018	$Y = 9,18 - 0,23X$	93,50**	-
UPF86045	$Y = 25,25 - 1,66X + 0,04X^2$	95,50**	20,8
UPF86066	$Y = 16,52 - 1,34X + 0,03X^2$	90,60**	22,3
UPF86112	$Y = 24,54 - 1,77X + 0,04X^2$	95,00**	22,1
UPF86113	$Y = 10,33 - 0,24X$	97,50**	-
UPF86136	$Y = 20,05 - 1,22X + 0,03X^2$	94,50**	20,3
UPF86A1169-2b	$Y = 23,77 - 1,50X + 0,03X^2$	96,00**	25,0
UPF86A1198-5-1b	$Y = 5,50 + 0,47X - 0,02X^2$	85,20**	11,8
UPF86A1264-1b	$Y = 6,06 - 0,08X$	98,70*	-
IPF87071	$Y = 16,09 - 1,04X + 0,02X^2$	99,80**	26,0
UPF87107	$Y = 9,79 - 0,20X$	82,00**	-
UPF5	$Y = 19,13 - 1,36X + 0,03X^2$	99,80**	22,7
UPF7	$Y = 8,83 - 0,23X$	90,70**	-

* e ** significativos respectivamente, aos níveis de 5 e 1%

Também em relação a esse parâmetro observou-se que o genótipo UPF86A1198-5-1b apresentou aumentos significativos com o aumento da concentração de alumínio da solução nos níveis 7,5, 15 e 22,5 mg/l, quando relacionado com o nível 0, que não diferiu ($P > 0,05$) do nível 30 mg Al/l.

Tabela 9. Crescimento relativo da raiz (CRRS) de genótipos de aveia submetidos a cinco níveis de alumínio na solução nutritiva.

GENÓTIPOS	Teores de Al (mg/l)								
	0	7,5	15,0	22,5	30,0				
UPF86A1198-5-1b	100a C	135,0a	B	180,3a	A	127,0a	B	95,0a	C
UPF86A1264-1b	100a A	97,0 b	AB	85,7 b	ABC	71,7 b	BC	63,0 b	C
UPF87107	100a A	69,0 cde	B	57,7 cde	B	42,7 cd	B	45,7 bc	B
UPF86011	100a A	60,0 def	B	58,3 bcde	B	45,7 bcd	B	40,3 bcd	B
UPF791174-3	100a A	76,7 bcd	AB	63,3 bc	BC	41,7 cde	CD	34,7 cde	D
UPF86018	100a A	91,7 bc	A	59,7 bcde	B	35,0 cde	B	33,7 cde	B
UPF86113	100a A	71,7 bcde	B	60,7 bcd	B	46,3 bc	BC	30,7 cde	C
UPF7	100a A	65,0 cdef	B	51,0 cdef	BC	32,3 cde	C	30,0 cde	C
UPF86136	100a A	48,0	efgB	43,3 cdefgB		27,2 cde	B	28,7 cde	B
UPF86A1169-2b	100a A	48,7	efgB	38,3 cdefgB		28,3 cde	B	26,7 cde	B
UPF86045	100a A	45,7	efgB	34,7 cdefgB		27,0 cde	B	24,0 cde	B
UPF87071	100a A	55,0	defgB	32,0	efgBC	20,3 cde	C	19,3 cde	C
UPF84057	100a A	29,7	gB	26,3	fgB	20,0 cde	B	18,3 cde	B
UPF86112	100a A	40,0	fgB	28,3	fgB	22,3 cde	B	17,4	de B
UPF86066	100a A	28,7	gB	24,3	fgB	18,3	de B	15,7	de B
UPF5	100a A	53,3	defgB	22,7	gC	14,0	e C	12,3	e C
Média	100A	63,4B		54,2BC		38,8CD		33,5D	
C.V. Genótipos (%)		11,7							
C.V. Níveis de Al (%)		16,9							

- Médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Para os demais genótipos avaliados, houve efeito depressivo significativo do alumínio sobre o crescimento da raiz seminal, inclusive no nível 7,5 mg Al/l para as linhagens UPF86Al264-1b (3%), UPF79I174-3 (23%), UPF86O18 (8,3%). O genótipo UPF86Al264-1b também não sofreu inibição significativa no nível de 15 mg Al/l, enquanto nos demais níveis a redução de crescimento foi significativa ao nível de 5% de significância.

No maior nível de alumínio da solução (30 mg/l), em relação ao nível 0 de Al, a menor redução foi de 5% para o genótipo UPF86Al198-5-1b e a maior para o genótipo UPF5 (87,7%). Na média dos genótipos avaliados, a inibição do parâmetro CRRS foi de 36,6% para o nível 7,5, 45,8% para o 15, 61,2% para o 22,5 e 66,5% para o nível 30 mg Al/litro de solução.

A interação genótipos x níveis de alumínio foi desdobrada através da regressão polinomial (Tabela 10). Observa-se nessa tabela que nos genótipos mais tolerantes, a redução no crescimento da raiz seminal, devido ao alumínio, se manifestou de forma quadrática. Já nos genótipos mais sensíveis, esta depressão foi linear.

Nas Figuras 1 a 16 são apresentadas as regressões lineares ou quadráticas, obtidas em função do efeito do alumínio sobre os parâmetros CRS, CFRS, CRRS e CFRRS nos dezesseis genótipos avaliados.

Quanto aos sintomas visuais, verificou-se no transcorrer do experimento, nos genótipos mais sensíveis, o aparecimento de sintomas típicos de deficiência de magnésio, que ocorreu a partir do sétimo dia de cultivo nas soluções com alumínio, acentuando-se em função do aumento da concentração. Este sintoma não foi verificado nos genótipos UPF86O45, UPF86I36 e UPF86Al169-2b nos níveis de 7,5 e 15,0 mg Al/l. Já no nível de 22,5 mg Al/l, somente o

Tabela 10: Equações de regressão polinomial, coeficientes de determinação (R^2) e valores máximo ou mínimo, para o efeito de níveis de alumínio (X) sobre o parâmetro CRRS(Y) em genótipos de aveia branca.

Genótipos	Equações	R^2 (%)	Máx./ mín.
UPF79I174-3	$Y = 96,40 - 2,21X$	97,6**	-
UPF84057	$Y = 92,66 - 7,42X + 0,17X^2$	90,0**	21,8
UPF86011	$Y = 95,93 - 4,00X + 0,07X^2$	92,6**	28,6
UPF86018	$Y = 101,87 - 2,52X$	93,3**	-
UPF86045	$Y = 95,54 - 6,31X + 0,13X^2$	95,5**	24,3
UPF86066	$Y = 92,58 - 7,55X + 0,17X^2$	90,4**	22,2
UPF86112	$Y = 94,75 - 6,86X + 0,15X^2$	94,7**	22,9
UPF86113	$Y = 94,67 - 2,19X$	97,2**	-
UPF86136	$Y = 95,75 - 5,81X + 0,12X^2$	94,3**	24,2
UPF86A1169-2b	$Y = 96,04 - 6,02X + 0,13X^2$	96,1**	23,2
UPF86A1198-5-1b	$Y = 97,83 + 8,62X - 0,30X^2$	83,7**	14,4
UPF86A1264-1b	$Y = 103,27 - 1,32X$	96,8*	-
IPF87071	$Y = 98,72 - 6,40X + 0,13X^2$	99,7**	24,6
UPF87107	$Y = 90,00 - 1,80X$	84,9**	-
UPF5	$Y = 99,40 - 7,13X + 0,14X^2$	99,7**	25,5
UPF7	$Y = 90,20 - 2,30X$	91,0**	-

* e ** significativos respectivamente, aos níveis de 5 e 1% genótipo UPF86A1169-2b não apresentou o sintoma, apesar de apresentar uma clorose intensa. No nível máximo de alumínio, todos os genótipos avaliados apresentaram sintomas de crestamento na parte aérea.

Além da redução no comprimento da raiz seminal, verificou-se uma diminuição no número de raízes secundárias com o aumento da concentração de alumínio na solução.

Figura 1. Comportamento dos parâmetros CRS / CFRS e CRRS / CFRRS em função dos níveis de alumínio, para o genótipo UPF79I174-3.

Figura 2: Comportamento dos parâmetros CRS / CFRS e CRRS / CFRRS em função dos níveis de alumínio, para o genótipo UPF84057.

Figura 3. Comportamento dos parâmetros CRS / CFRS e CRRS / CFRRS em função dos níveis de alumínio, para o genótipo UPF86011.

Figura 4. Comportamento dos parâmetros CRS / CFRS e CRRS / CFRRS em função dos níveis de alumínio, para o genótipo UPF86018.

Figura 5. Comportamento dos parâmetros CRS / CFRS e CRRS / CFRRS em função dos níveis de alumínio, para o genótipo UPF86045.

Figura 6. Comportamento dos parâmetros CRS / CFRS e CRRS / CFRRS em função dos níveis de alumínio, para o genótipo UPF86066.

Figura 7. Comportamento dos parâmetros CRS / CFRS e CRRS / CFRRS em função dos níveis de alumínio, para o genótipo UPF86112.

Figura 8. Comportamento dos parâmetros CRS / CFRS e CRRS / CFRRS em função dos níveis de alumínio, para o genótipo UPF86113.

Figura 9. Comportamento dos parâmetros CRS / CFRS e CRRS / CFRRS em função dos níveis de alumínio, para o genótipo UPF86136.

Figura 10. Comportamento dos parâmetros CRS / CFRS e CRRS / CFRRS em função dos níveis de alumínio, para o genótipo UPF86Al169-2b.

Figura 11. Comportamento dos parâmetros CRS / CFRS e CRRS / CFRRS em função dos níveis de alumínio, para o genótipo UPF86Al198-5-1b.

Figura 12. Comportamento dos parâmetros CRS / CFRS e CRRS / CFRRS em função dos níveis de alumínio, para o genótipo UPF86Al264-1b.

Figura 13. Comportamento dos parâmetros CRS / CFRS e CRRS / CFRRS em função dos níveis de alumínio, para o genótipo UPF87071.

Figura 14. Comportamento dos parâmetros CRS / CFRS e CRRS / CFRRS em função dos níveis de alumínio, para o genótipo UPF87107.

Figura 15. Comportamento dos parâmetros CRS / CFRS e CRRS / CFRRS em função dos níveis de alumínio, para o genótipo UPF5.

Figura 16. Comportamento dos parâmetros CRS / CFRS e CRRS / CFRRS em função dos níveis de alumínio, para o genótipo UPF 7.

4.1.6. Correlações entre os parâmetros de crescimento da raiz.

Foi realizada a análise de correlação linear simples entre os diversos parâmetros, que foram comparadas pelo teste t (Tabela 11).

Tabela 11. Correlação linear simples entre CRS, CRRS, CFRS, CFRRS e CIRS.

Correlações		valor t	r(%)
CRS x	CRRS	10,521**	56,3
	CFRS	79,025**	98,1
	CFRRS	10,247**	65,3
	CIRS	0,097ns	--
CRRS x	CFRS	10,626**	56,7
	CFRRS	73,919**	97,9
	CIRS	1,000ns	--
CFRS x	CFRRS	10,538**	56,4
	CIRS	1,757ns	--
CFRRS x	CIRS	1,610ns	--

** - significativo ao nível de 1%; ns - não significativo

Observa-se que as melhores correlações foram obtidas entre CRS e CFRS ($r=98,1^{**}$), e CRRS e CFRRS ($r=97,9^{**}$).

A correlação com o comprimento inicial da raiz seminal (CIRS) não foi significativa com qualquer dos outros parâmetros avaliados (CRS, CRRS, CFRS e CFRRS). Isso significa, que o maior comprimento inicial da raiz seminal, e seu possível vigor, não se refletiram no maior crescimento

da raiz seminal (CRS), quando submetido níveis de alumínio. Já o parâmetro CFRS, apesar de não ser significativo ao nível de 5%, neste experimento, apresentou efeito. O trabalho comprova que a avaliação do CRS, é o melhor parâmetro para a seleção dos genótipos de aveia tolerantes ao alumínio, confirmando os resultados obtidos por FOY et al, (1967); REID et al., (1971); MOORE et al., (1976).

Dessa forma, o crescimento da raiz seminal (CRS) avaliou o grau de tolerância dos genótipos ao alumínio, enquanto o parâmetro CRRS, avalia o grau de redução no crescimento, provocado pelo alumínio, e que foi utilizado como medida do efeito responsivo.

Com base nos parâmetros CRS (tolerância) e CRRS (eficiência responsiva), realizou-se a classificação dos 16 genótipos avaliados, considerando-se o nível de 15 mg de Al/litro de solução e utilizando como critérios: a) tolerantes - CRS > média e sensíveis - CRS < média; b) eficientes - CRRS > média e ineficientes - CRRS < média (Tabela 12).

O nível 15 mg de Al/litro foi escolhido, tendo em vista o fato de que nos níveis maiores a inibição média do crescimento radicular foi maior que 50%. Verifica-se, pela Tabela 12, que os genótipos UPF86011, UPF86A1198-5-1b e UPF86112 foram classificados como tolerantes e responsivos, enquanto os genótipos UPF86A1169-2b, UPF86045 e UPF86136, foram classificados como tolerantes, mas não responsivos. Cinco genótipos foram classificados como sensíveis e responsivos e cinco genótipos como sensíveis e não responsivos.

O cultivar de aveia UPF7 mostrou-se sensível e não responsivo, enquanto a linhagem UPF86A1169-2b, como tolerante e não responsiva.

Tabela 12. Classificação dos genótipos quanto à tolerância e ao efeito responsivo, para o nível 15 mg Al/litro de solução.

Tolerantes e Responsivos	Tolerantes e não Responsivos
UPF86011	UPF86A1169-2b
UPF86A1198-5-1b	UPF86045
UPF86112	UPF86136
Sensíveis e Responsivos	Sensíveis e não Responsivos
UPF87107	UPF7
UPF86A1264-1b	UPF84057
UPF86113	UPF87071
UPF79I174-3	UPF86066
UPF86018	UPF5

4.2. Efeito do alumínio na solução nutritiva sobre alguns parâmetros de crescimento da aveia branca.

4.2.1. Efeito sobre o crescimento das raízes.

A análise de variância dos resultados da avaliação do comprimento inicial da raiz seminal (CIRS), aplicando-se o teste F, revelou diferenças altamente significativas ($P < 0,01$) entre genótipos, mas sem diferença significativa ($P > 0,05$) em relação aos níveis de alumínio e para a interação genótipos x níveis de alumínio (Tabela D2).

A média geral do experimento foi de 7,2 cm e o coeficiente de variação para genótipos de 1,84% e para níveis de Al de 5,73% (Tabela 13).

Pela comparação entre as médias através do

teste de Tukey observa-se, que o CIRS do genótipo UPF81350 (8,3 cm) não diferiu dos genótipos UPF82005 (8,0 cm) e UPF81251 (7,5 cm) e foram superiores aos demais genótipos avaliados, ao nível de 5% de significância.

Para as variáveis comprimento final da raiz seminal (CFRS), comprimento final relativo da raiz seminal (CFRRS), crescimento da raiz seminal (CRS) e crescimento relativo da raiz seminal (CRRS), a análise de variância revelou diferenças altamente significativas, através do teste F, entre genótipos, níveis de Al e para a interação genótipos x níveis de Al (Tabela D2).

Como a interação genótipos x níveis de alumínio, revelou-se altamente significativa, a análise foi desdobrada, fixando-se o fator níveis de Al, para a comparação entre genótipos, dentro de cada nível de alumínio.

Na ausência de Al, a média de CFRS foi 20,5 cm e no nível 7,5 mg Al/litro de solução foi de 14,8 cm (Tabela 13). O coeficiente de variação para genótipos foi de 2,42% e para o fator níveis de Al de 7,01%. Verifica-se nessa tabela, através da comparação entre médias pelo teste de Tukey, que os genótipos UPF81350 (28,3cm), UPF82005 (27,0 cm) e UPF86Al169-2b (26,3 cm) sem diferir significativamente entre si, apresentaram maior CFRS quando relacionados com os demais genótipos na ausência de Al. Na presença de Al, o genótipo UPF82079 (22,7 cm) apresentou CFRS superior aos demais genótipos avaliados, ao nível de 5% de significância.

Tabela 13. Comprimento inicial (CIRS), final (CFRS/CFRRS) e crescimento da raiz seminal (CRS/CRRS) de genótipos de aveia submetidos aos níveis de 0 e 7,5 mg Al/litro de solução nutritiva.

GENÓTIPOS	CIRS		CFRS		CFRRS		CRS		CRRS		
	0		7,5		%		0		7,5		
	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
UPF 82079	7,5 bc	23,4 bc	A	22,7 a	A	97,3 ab	15,9 abc	A	15,2 a	A	96,4 a
UPF 81360	7,4 bcd	22,9 bc	A	18,9 b	B	82,8 bc	15,6 abc	A	11,5 b	B	73,6 bc
UPF 81359	7,1 cde	21,6 cd	A	17,3 bc	B	80,6 c	14,4 bcd	A	10,5 bc	B	73,5 bc
UPF 86A1169-2b(7)	6,8 cde	26,3 ab	A	17,1 bc	B	65,3 def	19,6 a	A	10,2 bcd	B	52,5 de
UPF 82044	6,8 cde	19,3 cde	A	15,9 cde	B	82,6 c	12,4 cde	A	9,2 cde	B	73,3 bc
UPF 82005	8,0 ab	27,0 ab	A	16,1 cd	B	59,8 ef	19,0 ab	A	8,1 def	B	42,7 def
UPF 81350	8,3 a	28,3 a	A	15,5 cdef	B	54,7 f	19,9 a	A	7,2 efg	B	36,2 ef
UPF 80266	6,6 de	17,7 defA	A	14,0 defg	B	79,0 cd	11,4 cde	A	7,1 efg	B	62,4 cd
UPF 82048	6,8 cde	19,1 cde	A	13,4 efg	B	70,5 cde	12,5 cde	A	6,4 fg	B	51,2 de
UPF 83333	7,3 bcd	20,9 cde	A	13,5 efg	B	64,7 def	13,5 cde	A	6,3 fg	B	47,3 def
UPF 82016	7,2 bcd	13,6 fA	A	13,4 efg	A	99,1 a	6,6 fA	A	6,1 fgh	A	93,4 ab
UPF 7(7)	7,2 bcd	16,9 eFA	A	13,0 fg	B	77,1 cd	9,7 defA	A	5,9 fgh	B	62,0 cd
UPF 81251	7,5 abc	16,6 eFA	A	13,2 fg	B	80,2 c	9,2 eFA	A	5,6 gh	B	62,2 cd
UPF 83339	7,2 bcd	20,3 cde	A	12,3 gh	B	61,0 ef	13,1 cde	A	5,2 gh	B	39,6 ef
UPF 83334	6,3 e	17,0 eFA	A	10,2 hiB	B	60,5 ef	10,8 defA	A	3,9 hiB	B	36,7 ef
UPF 82029	6,9 cde	16,5 eFA	A	9,4 iB	B	57,4 ef	9,4 eFA	A	2,7 iB	B	28,7 f
Média	7,2	20,5 A		14,8 B		73,3	13,3 A		7,6 B		62,0
C.V.Genótipos(%)	1,84	2,42				3,18	4,99		9,99		7,17
C.V.Níveis de Al (%)	5,73	7,01				5,72	11,78				8,84

- Médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

A inibição média sobre o comprimento final da raiz (CFRS) promovida pelo Al(CFRRS), foi de 26,7%, com um coeficiente de variação de 3,18% para genótipos e 5,72% para níveis de Al.

Quanto ao CFRRS observa-se, na tabela 13, que a redução não foi significativa apenas nos genótipos UPF82079 (2,7%) e UPF82016 (0,9%). O primeiro, destacou-se pelo grande comprimento inicial da raiz e o segundo, pelo pequeno comprimento inicial da raiz. Este comportamento comprova que esta é uma variável inadequada para selecionar os genótipos tolerantes, através da redução relativa, pois quando as plantas apresentam pequeno crescimento radicular, a pequena diferença depressiva não é detectada estatisticamente.

Como deve-se selecionar plantas tolerantes, com grande comprimento de raízes, este critério deve ser priorizado. Dentre os materiais genéticos que se destacarem pelo grande comprimento das raízes, seleciona-se aqueles com menor redução no comprimento, provocado pela ação inibitória do Al.

O crescimento da raiz seminal (CRS) média, na ausência de alumínio, foi de 13,3 cm, enquanto na presença de Al foi de 7,6 cm, com um coeficiente de variação de 4,99% para genótipos e 11,78% para os níveis de Al (Tabela 13).

No tratamento com ausência de Al, os genótipos UPF86A1169-2b (19,6 cm) e UPF81350 (19,9 cm) que não diferiram dos genótipos UPF82005 (19,0 cm), UPF82079 (15,9 cm) e UPF81360 (15,6 cm) foram superiores aos demais genótipos avaliados ($P < 0,05$). Com presença de Al na solução, o genótipo UPF82079 (15,2 cm) superou todos os genótipos avaliados, ao nível de 5% de significância.

A redução média (CRRS) provocada pelo nível de 7,5 mg Al/l, no crescimento da raiz seminal dos genótipos de aveia foi de 38% (Tabela 13). O coeficiente de variação para genótipos foi de 7,17% e para os níveis de Al, de 8,84%.

Quanto ao comportamento dos genótipos de aveia, em relação ao Al, os genótipos UPF82079 e UPF82016, apresentaram menor inibição, respectivamente de 3,6% e 6,6%, significativa ao nível de 5%, pelo teste de Tukey.

O genótipo UPF82079 se destacou como tolerante ao alumínio (CRS), e também por ser responsivo (CRRS). Já o genótipo UPF82016, pode ser considerado responsivo, mas não tolerante ao Al.

4.2.2. Efeito sobre o rendimento de matéria seca

A análise de variância mostrou diferenças altamente significativas ($P < 0,01$) para os genótipos, níveis de Al e para a interação genótipos x níveis de alumínio, para as variáveis rendimento de matéria seca da raiz (RMSR), rendimento de matéria seca da parte aérea (RMSPA), rendimento relativo de matéria seca da parte aérea (RRMSPA), rendimento de matéria seca da planta (RMSP) e rendimento relativo de matéria seca da planta (RRMSP), e diferenças significativas ($P < 0,05$) para o rendimento relativo de média seca da raiz (RRMSR), conforme Tabela D2.

O RMSR médio na ausência de alumínio foi de 136,3 mg e na presença de Al, de 61,9 mg (Tabela 14). O coeficiente de variação para genótipos foi de 6,26% e para níveis de Al de 39,86%.

Tabela 14. Rendimento de matéria seca da raiz (RMSR/RRMSR) parte aérea (RMSPA/RMSPA), planta (RMSP/RRMSP), de genótipos de aveia submetidos aos níveis 0 e 7,5 mg Al/litro de solução nutritiva.

GENÓTIPOS	RMSR		RRMSR		RMSPA		RRMSPA		RMSP		RRMSP	
	0		7,5		0		7,5		0		7,5	
	mg/vaso		mg/vaso		mg/vaso		mg/vaso		mg/vaso		mg/vaso	
UPF 82016	143,3 abc	A 156,7 a	A 109,4 ab	A 580,0 abcd	A 483,3 a	A 83,7 ab	723,3 abcd	A 640,0 a	A 88,7 ab			
UPF 82079	70,0 c	A 113,3 ab	A 161,3 a	466,7 abcd	A 370,0 abc	A 82,0 abc	536,7 bcde	A 508,3 abc	A 95,0 a			
UPF 82048	183,3 abc	A 110,0 ab	B 63,0 b	526,7 abcd	A 366,7 abc	B 70,3 abcde	710,0 abcde	A 476,7 abc	B 68,3 abcd			
UPF 86A1169-2b	90,0 bc	A 80,0 ab	A 104,7 ab	530,0 abcd	A 216,7 bcd	B 44,3 cde	620,0 abcde	A 296,7 bcd	B 52,0 bcd			
UPF 83334	66,0 c	A 66,7 ab	A 123,3 ab	360,0 d	A 196,7 cd	B 56,0 abcde	477,7 e	A 263,3 cd	B 66,0 abcd			
UPF 82029	244,7 a	A 60,0 ab	B 25,0 b	615,3 ab	A 233,3 bcd	B 37,7 e	860,0 a	A 293,3 bcd	B 34,0 d			
UPF 81251	193,3 abc	A 60,0 ab	B 35,3 b	600,0 abc	A 453,3 a	B 75,3 abcde	793,3 ab	A 513,3 ab	B 65,7 abcd			
UPF 82044	136,7 abc	A 53,3 b	B 48,3 b	573,3 abcd	A 403,3 ab	B 70,3 abcde	710,0 abcde	A 456,9 abc	B 65,3 abcd			
UPF 81350	220,0 ab	A 50,0 b	B 22,3 b	543,3 abcd	A 293,3 abcd	B 54,0 abcde	763,3 abc	A 343,3 bcd	B 45,0 cd			
UPF 81360	173,3 abc	A 46,7 b	B 31,3 b	430,0 bcd	A 336,7 abcd	A 78,0 abcd	603,3 abcde	A 376,7 bcd	B 64,0 abcd			
UPF 80266	153,3 abc	A 46,7 b	B 30,0 b	370,0 d	A 326,7 abcd	A 92,0 a	523,3 bcde	A 373,3 bcd	B 73,0 abcd			
UPF 81359	63,3 c	A 36,7 b	A 59,0 b	373,3 d	A 310,0 abcd	A 83,3 ab	436,7 de	A 346,7 bcd	A 80,0 abc			
UPF 7(T)	80,0 c	A 33,33 b	A 45,3 b	370,0 d	A 150,0 d	B 39,7 de	450,0 de	A 183,3 d	B 40,3 d			
UPF 82005	90,0 bc	A 26,7 b	B 29,7 b	370,0 d	A 246,7 bcd	B 66,0 abcde	460,0 de	A 273,3 cd	B 58,7 abcd			
UPF 83339	90,0 bc	A 26,7 b	B 38,3 b	388,7 cd	A 256,7 bcd	B 69,7 abcde	478,7 cde	A 283,3 cd	B 63,3 abcd			
UPF 83333	183,3 abc	A 23,3 b	B 14,7 b	663,3 a	A 330,0 abcd	B 50,7 bcde	846,7 a	A 353,3 bcd	B 42,0 cd			
Média	136,3 A	61,9 B	63,5	485,0 A	310,8 B	65,8	621,1 A	372,3 B	62,6			
CV Genó- tipos (%)	6,26		6,99	2,71		2,99	3,26		3,66			
CV Níveis de Al (%)	39,86		58,44	17,31		15,92	17,19		16,61			

- Médias seguidas da mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Pela comparação entre as médias do parâmetro RMSR através do teste de Tukey, observa-se que na ausência de Al, o genótipo UPF82029 (244,7 mg), que não diferiu dos genótipos UPF82016 (143,3mg), UPF82048 (183,3 mg), UPF81251 (193,3 mg), UPF82044 (136,7 mg), UPF81360 (173,3 mg), UPF80266 (153,3 mg), UPF83333 (183,3 mg) e UPF81350 (220,0 mg), superaram os demais genótipos ao nível de 5% de significância (Tabela 14). Já na presença de Al, o genótipo UPF82016 (156,7 mg/vaso), foi superior ao cultivar UPF7 e outros oito genótipos avaliados, mas não diferiu significativamente dos genótipos UPF82079, UPF82048, UPF86A1169-2b, UPF83334, UPF82029 e UPF81251.

A inibição média do alumínio sobre o rendimento de matéria seca da raiz (RRMSR) foi 36,5%. O genótipo UPF82079 (+161,3%), apesar de não diferir dos genótipos UPF83334 (+23,3%), UPF82016 (+14,7%) e UPF86A1169-2b (+4,7%), foi significativamente superior aos demais genótipos avaliados. Todos esses genótipos ficaram no grupo estatístico superior quanto ao RMSR, na presença de 7,5 mg Al na solução.

Em relação ao rendimento de MS da parte aérea (RMSPA), o genótipo UPF83333 (663,3 mg), apesar de não diferir de outros 8 genótipos, foi superior aos demais, na ausência de Al ao nível de 5% de significância (Tabela 14). Na presença do Al, destacam-se os genótipos UPF82016 (483,3 mg) e UPF81251 (453,3 mg) que não diferiram significativamente dos genótipos UPF82079, UPF82048, UPF82044, UPF81350, UPF81360, UPF80266, UPF81359 e UPF83333. Na comparação dos genótipos que se destacam pelo RMSPA, na ausência e presença de Al, verifica-se que apresentam-se no grupo estatístico superior as linhagens: UPF82016, UPF82079, UPF 82048, UPF81251, UPF82044, UPF81350 e UPF83333. Já os genótipos UPF81360, UPF80266 e UPF81359, que apresentaram RMSPA menor na ausência de Al, destacaram-se no tratamento

com presença de Al, mostrando tolerância a esse nível.

A inibição do nível 7,5 mg Al em relação a ausência de Al, sobre rendimento de MS da parte aérea não foi significativa quando comparam-se os genótipos UPF82016, UPF82079, UPF81360, UPF80266 e UPF81359 (Tabela 14). O RRMSPA médio foi de 65,8% para os genótipos avaliados e a menor inibição ocorreu na linhagem UPF80266 (8%), que não diferiu, porém de outros onze genótipos.

Comparando-se os resultados de rendimentos relativos de MS da raiz e parte aérea, verificou-se um efeito de inibição maior do alumínio sobre o sistema radicular, que concorda com os resultados obtidos em aveia por BILSKI (1987).

Quanto ao rendimento de MS da planta inteira (RMSP), o genótipo UPF82029 destacou-se no tratamento com ausência de alumínio, não diferindo porém, de outros sete genótipos avaliados ($P > 0,05$). Na presença de Al, destacou-se o genótipo UPF82016 (640,0 mg), que não diferiu significativamente dos genótipos UPF82079, UPF82048, UPF81251 e UPF82044. O genótipo UPF82029 sofreu a maior inibição pelo Al no rendimento de MS (66%), enquanto no genótipo UPF82079 essa inibição foi de 5%. O efeito depressivo só não foi significativo para os genótipos UPF82079, UPF82016 e UPF81359.

4.2.3. Correlação entre crescimento da raiz e rendimento de matéria seca.

Com o objetivo de verificar-se as relações entre os diversos parâmetros avaliados, e usá-las como indicador para o melhoramento genético, foram realizadas correlação linear simples entre o crescimento de raízes e o rendimento de matéria seca da raiz, parte aérea e planta (Tabela 15).

Tabela 15. Valores de t e coeficiente de correlação (r) entre parâmetros de crescimento de genótipos de aveia submetidos ao níveis de 7,5 mg Al/litro de solução nutritiva.

Correlações	Valor t	r (%)
CRS x RMSR	3,13**	30,73
CRS x RRMSR	3,64**	35,15
CRS x RMSPA	4,10**	38,96
CRS x RRMSPA	6,61**	56,31
CRS x RMSP	4,13**	39,18
CRS x RRMSP	7,13**	59,30
CRS x CRRS	9,40**	64,62
CRS x CFRS	75,89**	94,14
CRS x CFRRS	8,44**	65,67
CRS x CIRS	1,77ns	-
CRRS x RMSR	6,44**	55,35
CRRS x RRMSR	4,78**	44,24
CRRS x RMSPA	8,23**	64,73
CRRS x RRMSPA	11,88**	77,32
CRRS x RMSP	8,65**	66,59
CRRS x RRMSP	13,51**	81,24
CRRS x CFRS	8,75**	67,00
CRRS x CFRRS	67,57**	98,48
CRRS x CIRS	0,32ns	-
CFRS x RMSR	3,05**	30,04
CFRS x RRMSR	3,36**	32,79
CFRS x RMSPA	4,01**	38,21
CFRS x RRMSPA	6,25**	54,19
CFRS x RMSP	4,03**	38,38
CFRS x RRMSP	6,64**	56,50
CFRS x CFRRS	7,41**	63,20
CFRS x CIRS	3,04**	30,33
CFRRS x RMSR	6,36**	54,85
CFRRS x RRMSR	4,50**	42,06
CFRRS x RMSPA	8,32**	65,15
CFRRS x RRMSPA	11,55**	76,59
CFRRS x RMSP	8,69**	66,72
CFRRS x RRMSP	12,76**	79,62
CFRRS x CIRS	0,32ns	-

Continua

Continuação.

Correlações	Valor t	r (%)
CIRS x RMSR	0,21ns	-
CIRS x RRMSR	0,95ns	-
CIRS x RMSPA	0,35ns	-
CIRS x RRMSPA	0,27ns	-
CIRS x RMSP	0,32ns	-
CIRS x RRMSP	0,71ns	-

** significativo ao nível de 1%; ns = não significativo ($P > 0,05$).

Observa-se nessa tabela, que o CIRS apresentou correlação significativa apenas com CFRS, não se correlacionando com os demais parâmetros. Este resultado demonstra que o comprimento inicial da raiz não influenciou nos demais parâmetros, quanto ao efeito da toxicidade do alumínio, mas pode influir no comprimento final da raiz seminal.

O CRS apresentou correlação altamente significativa ($P < 0,01$), com as variáveis de crescimento de raízes, CRRS ($r = 64,6\%$), CFRS ($94,1\%$) e CFRRS ($65,7\%$) e outros. Em relação aos parâmetros de rendimento de MS, a melhor correlação do CRS foi com o RRMSP ($r = 59,3\%$), significativa ao nível de 1%. A correlação do CRS com RMSPA ($r = 39,0\%$) foi melhor que com o RMSR ($r = 30,7\%$).

A pequena correlação entre o crescimento da raiz e o seu rendimento de matéria seca é atribuída ao fato de que, apesar de ocorrer redução no comprimento da raiz, provocada pelo alumínio, as plantas injuriadas apresentam raízes engrossadas, o que se reflete no rendimento de MS. (NUERNBERG et al., 1990).

Já o CRRS, apresentou correlações melhores com os parâmetros de rendimento de MS, do que o CRS. No entanto, o CFRS e o CFRRS, apresentam menor correlação com os

parâmetros de rendimento de MS, quando comparados ao CRS e CRRS, respectivamente. Estes resultados estão de acordo com REID (1976), SARTAIN & KAMPRATH (1978), HOWELLER & CADAVID (1976) e LAFEVER et al. (1977), que consideraram o CRS como o melhor parâmetro para avaliar o grau de tolerância das plantas ao Al.

O CRS tem ainda a vantagem de não ser um método destrutivo, podendo a planta selecionada ser conduzida até o final do ciclo. E sobre o CRRS, apresenta a vantagem de não ser necessária a avaliação da planta na ausência de Al, para a seleção de materiais genéticos tolerantes.

Concluiu-se que os parâmetros CRS e CFRS são mais recomendados para realizar a seleção de materiais (melhoramento genético). Destes, o parâmetro que melhor se correlaciona com o RRMSPA e RRMSB, é o CRS.

4.3. Seleção de genótipos de aveia branca tolerantes ao alumínio, em solução nutritiva.

4.3.1. Seleção ao nível 7,5 mg Al/litro de solução

4.3.1.1. Crescimento inicial da raiz seminal (CIRS)

Na análise comparativa dos onze experimentos conduzidos, e avaliando um total de 156 genótipos de aveia branca, não mostrou diferenças significativas na análise de variância (teste F), quanto ao comprimento inicial da raiz seminal (CIRS) para os níveis de alumínio e a interação níveis de alumínio x genótipos ($P > 0,05$). Já os genótipos diferiram quanto à esse parâmetro, ao nível de 1% de significância, em todos os experimentos (Tabelas D1, D2 e D3).

Considerando-se que o CRS correlacionou-se melhor com o rendimento de matéria seca (Tabela 15), foi analisado o desdobramento da interação apenas para esse parâmetro, e as médias dos genótipos em cada nível (0 e 7,5 mg Al/l) foi comparada pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Os resultados da avaliação do parâmetro CRS, são apresentados nas Tabelas 16 a 26, apresentando-se a média para os dois níveis, uma vez que a interação entre níveis de Al x genótipo não foi significativa ao nível de 5% de significância.

4.3.1.2. Crescimento da raiz seminal (CRS)

O desempenho dos 156 genótipos quanto ao crescimento da raiz seminal (CRS), também aparece nas Tabelas 16 a 26, apresentando-se a comparação das médias através do teste de Tukey.

Verifica-se, que o genótipo testemunha UPF86Al169-2b, somente foi superado significativamente no experimento 2, pelo genótipo UPF82079, no tratamento com alumínio (Tabela 24). Nos demais experimentos, quanto ao parâmetro CRS, este genótipo UPF86Al169-2b ficou no grupo estatístico superior, mas não diferiu ($P > 0,05$) dos genótipos UPF86045, UPF86112, UPF5, UPF86136 e UPF86011 (Tabela 16); UPF3 e UPF2 (Tabela

Tabela 16. Comprimento inicial (CIRS) e crescimento da raiz seminal (CRS/CRRS) de genótipos de aveia submetidos aos níveis 0 e 7,5 mg Al/litro de solução nutritiva (Exp. 1).

GENOTIPOS	C I R S	C R S		C R R S	
		0	7,5	%	
	--- CR ---	----- CR -----			
UPF 86045	5,2 bc	26,4 a A	12,1 a B	45,7	cde
UPF 86A1169-2b(T)	5,8 abc	24,8 a A	12,0 a B	48,7	cde
UPF 86112	5,4 bc	25,8 a A	10,5 ab B	40,0	de
UPF 5	6,8 a	19,2 bc A	10,4 ab B	53,3	bcde
UPF 86136	5,8 abc	20,9 b A	10,1 abc B	48,0	cde
UPF 86011	5,2 bc	15,85 d A	9,5 abcd B	60,0	bcde
UPF 87071	5,5 bc	16,3 d A	9,1 bcd B	55,0	bcde
UPF 86018	5,5 bc	9,0 e A	8,2 bcde A	91,2	abc
UPF 86113	5,1 bc	10,9 e A	7,9 bcdefB	71,7	bcde
UPF 86198-5-1b	6,5 a	5,6 fA	7,6 cdefB	135	a
UPF 87107	5,9 ab	11,1 e A	7,3 defB	69,0	bcde
UPF 791174-3	6,2 ab	9,4 e A	7,1 defA	76,7	bcd
UPF 7(T)	5,3 bc	9,8 e A	6,3 efB	65,0	bcde
UPF 86264-1b	4,8 c	5,9 fA	5,6 efA	97	ab
UPF 84057	5,9 ab	18,5 bcd A	5,5 fB	29,7	e
UPF 86066	5,3 bc	17,8 cd A	5,2 fB	28,7	e
Média	5,6	15,5 A	8,4 B	63,4	
C.V. Genótipos (%)	4,32	10,77	10,59	24,1	
C.V. Níveis de Al (%)	14,41	12,44	12,44		

- Médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Tabela 17. Comprimento inicial (CIRS) e crescimento da raiz seminal (CRS/CRRS) de genótipos de aveia submetidos aos níveis 0 e 7,5 mg Al/litro de solução nutritiva (Exp. 3A).

GENOTIPOS	C I R S	C R S		C R R S
		0	7,5	
	---	---	---	
UPF 88A1169-2b(T)	7,1 bcde	23,9 a A	9,0 a B	34,3 abcde
UPF 3	6,9 bcde	15,6 cdeA	7,2 ab B	47,3 abcd
UPF 2	7,7 abc	21,4 ab A	6,7 abc B	31,3 cde
UPF 6	7,4 abcd	19,2 abcd A	6,4 bc B	33,7 abcde
UPF 11	6,6 cdef	22,7 a A	6,3 bc B	27,7 cde
UPF 8	7,0 bcde	14,6 cdefA	6,2 bcdB	46,0 abcd
SAO CARLOS	5,6 f	18,7 abcd A	6,2 bcdB	35,0 abcde
UPF 12	8,3 a	19,0 abcd A	6,1 bcdB	33,0 abcde
COLORADO	7,3 abcd	22,2 a A	5,9 bcdB	27,0 de
SUREGRAIN	6,2 ef	12,8 efA	5,9 bcdB	48,3 abc
UPF 1	6,8 cde	16,2 bcde A	4,9 bcdB	31,7 bcde
UPF 7 (T)	7,1 bcde	9,7 fA	4,8 cdB	52,3 ab
UPF 9	6,8 bcde	19,6 abc A	4,7 cdB	24,7 e
UPF 13	6,6 def	9,5 fA	4,7 cdB	53,3 a
UPF 10	7,3 abcde	13,5 defA	4,5 cdB	33,7 abcd
UPF 4	7,9 ab	11,6 efA	4,0 dB	35,0 abcde
Média	7,0	16,9 A	5,8 B	37,1
C.V. Genótipos (%)	3,0	10,97	13,39	5,45
C.V. Níveis de Al (%)	7,5	17,4	-	10,3

- Médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% significância.

Tabela 18. Comprimento inicial (CIRS) e crescimento da raiz seminal (CRS/CRRS) de genótipos de aveia submetidos aos níveis 0 e 7,5 mg Al/litro de solução nutritiva (Exp. 3B).

GENÓTIPOS	C I R S	C R S		C R R S
		0	7,5	%
	-- cm --	----- cm -----		
UPF 86A1169-2b(T)	7,7 ab	25,0 a A	7,3 a B	29,4 fg
UPF 89106	6,1 cd	14,2 e A	7,1 ab B	50,0 bcd
UPF 86A1198-5-4b	7,2 abc	8,6 fA	5,8 abc B	67,6 a
UPF 89085	5,9 d	20,5 b A	5,6 bc B	27,3 fg
UPF 86A1264-2-7b	8,2 a	18,8 bc A	4,7 cd B	25,4 fg
UPF 86006	6,2 cd	13,8 e A	4,7 cd B	34,1 ef
UPF 86A1264-7-4b	6,3 cd	8,9 fA	4,6 cd B	52,3 bcd
UPF 86A1264-7-8b	6,7 bcd	7,5 fA	4,6 cd B	61,1 ab
UPF 86A1264-1-4b	6,3 cd	7,8 fA	4,4 cdeB	56,0 abc
UPF 86A1264-10b	6,1 d	10,3 fA	4,4 cdeB	42,5 de
UPF 86A1264-10-2b	6,4 cd	9,1 fA	4,3 cdeB	47,8 cd
UPF 86A1264-1-1b	6,2 cd	8,7 fA	4,3 cdeB	49,6 bcd
UPF 89130	6,3 cd	18,4 bcd A	3,7 deB	20,1 f
UPF 7 (T)	6,4 cd	13,9 e A	3,5 deB	25,4 fg
UPF 88109	6,1 cd	15,5 de A	3,4 deB	21,8 fg
UPF 86015	6,3 cd	16,6 cde A	2,9 eB	17,3 g
Média	6,5	13,6 A	4,7 B	39,2
C.V. Genótipos (%)	1,01	4,08		1,24
C.V. Níveis de Al (%)	8,20	10,78		6,29

- Médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Tabela. 19 Comprimento inicial (CIRS) e crescimento da raiz seminal (CRS/CRRS) de genótipos de aveia submetidos aos níveis 0 e 7,5 mg Al/litro de solução nutritiva (Exp. 3C).

GENOTIPOS	C I R S	C R S		C R R S
		0	7,5	%
	-- CM --	----- CM -----		
UPF 86A1169-2b (T)	8,5 bcd	23,0 ab A	A 8,4 a B	37,1 abc
UFRGS 6	9,1 ab	25,8 a A	A 8,4 ab B	32,4 abcd
UPF 86068	7,4 e	18,8 bcdefg A	A 7,1 abc B	37,9 abc
UFRGS 1	7,8 cde	17,2 defghA	A 6,7 abcd B	40,8 a
UFRGS 4	7,8 cde	16,1 fghA	A 6,2 abcde B	38,4 ab
UFRGS 10	8,5 bcd	22,3 abc A	A 5,6 bcdefB	25,0 cde
UFRGS 2	7,7 de	14,9 fghA	A 5,6 bcdefB	38,5 ab
UPF 86081	8,4 bcde	14,5 ghA	A 4,8 cdefB	34,0 abc
UFRGS 7	8,1 bcde	19,4 bcdef A	A 4,8 cdefB	25,2 cde
UFRGS 12	8,0 cde	17,0 efghA	A 4,7 cdefB	27,8 bcde
UFRGS 5	8,7 bc	21,2 abcd A	A 4,0 defB	18,8 e
UPF 7 (T)	8,6 bcd	13,1 hA	A 3,6 efB	29,4 abcde
UPF 86238	8,4 bcde	21,9 abcd A	A 3,6 efB	16,5 e
UFRGS 9	9,4 a	17,8 cdefghA	A 3,5 efB	19,7 de
UFRGS 11	8,5 bcd	16,1 fghA	A 3,2 fB	20,3 de
UFRGS 8	9,9 a	15,9 fghA	A 3,2 fB	20,8 de
Média	8,5	18,4 A	5,2 B	29,4
C.V. Genótipos (%)	1,85	8,84	17,5	5,87
C.V. Níveis de Al (%)	5,80	13,78	6,85	

- Médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Tabela 20. Comprimento inicial (CIRS) e crescimento da raiz seminal (CRS/CRRS) de genótipos de aveia submetidos aos níveis de 0 e 7,5 mg Al/litro de solução nutritiva (Exp. 3D).

GENOTIPOS	C I R S	C R S		C R R S
		0	7,5	
	-- CM --	----- CM -----		
UPF 86A1169-2b (T)	7,0 abcd	20,9 a A	9,6 a B	49,9 abc
UPF 15	6,3 de	20,2 ab A	9,3 ab B	47,5 abc
UPF 86120	5,9 e	16,1 bcde A	9,1 ab B	58,7 a
UPF 84297	6,7 bcde	16,2 bcde A	8,6 ab B	52,9 ab
UPF 84125	6,3 de	14,9 cdefA	8,4 ab B	56,5 a
UPF 87070	7,8 a	17,6 abcd A	7,3 abc B	44,1 abcd
UPF 84321	6,5 cde	17,5 abcd A	7,3 abc B	42,1 abcd
UPF 84322-1	6,6 bcde	13,9 defA	6,8 bcd B	50,0 abc
UPF 86301	7,0 abcd	20,0 ab A	5,7 cde B	28,6 def
UPF 84157	6,7 bcde	10,5 fA	5,4 cde A	50,7 abc
UPF 7 (T)	7,1 abcd	11,8 efa	5,2 cde B	49,1 abc
UPF 84132	7,4 ab	14,0 defA	5,0 cde B	38,1 bcd
UPF 86212	7,2 abc	16,4 abcde A	4,7 cde B	29,2 def
UPF 84324-2	7,1 abcd	12,9 efa	4,6 de B	35,8 cde
UPF 84181	7,8 a	19,3 abc A	3,8 efB	19,6 ef
UPF 86094	6,8 bcd	10,6 fA	1,9 fB	18,9 f
Média	6,9	15,8	6,4 B	42,0
C.V. Genótipos (%)	2,77	17,83	13,36	9,71
C.V. Níveis de Al (%)	6,48	13,97		8,06

- Médias seguidas da mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem teste de Tukey ao nível de 5% significância.

Tabela 21. Comprimento inicial (CIRS) e crescimento da raiz seminal (CRS/CRRS) de genótipos de aveia submetidos aos níveis 0 e 7,5 mg Al/litro de solução nutritiva (Exp. 3E).

GENÓTIPOS	C I R S	C R S		C R R S
		0	7,5	
	--- cm ---	cm		%
UPF 85357	6,0 c	22,6 bc A	9,1 a B	40,5 bcde
UPF 85233	7,1 ab	19,9 cde A	8,7 a B	43,7 bc
UPF 86A1169-2b(T)	7,1 ab	20,6 cd A	8,6 a B	41,6 bcd
UPF 84330	7,2 ab	18,0 def A	8,5 a B	47,4 b
UPF 86155	7,8 a	24,8 ab A	8,4 a B	34,0 cdef
UPF 84329-1	7,2 ab	15,1 fgh A	7,5 ab B	50,0 b
UPF 85044	6,9 b	7,6 jA	6,3 bc A	84,7 a
UPF 85375	7,5 ab	27,5 a A	6,1 bc B	22,2 gh
UPF 7 (T)	7,1 ab	12,0 hi A	5,7 bcd B	47,3 b
UPF 86010	5,9 c	12,0 hi A	5,6 cd B	46,8 b
UPF 86023	7,2 ab	15,9 fg A	5,2 cd B	32,5 cdefg
UPF 85238-10	7,2 ab	17,1 efg A	4,8 cdeB	29,5 efigh
UPF 86024	7,1 ab	22,2 bc A	4,0 deB	18,0 h
UPF 86067	6,0	14,9 gh A	3,9 deB	25,9 fgh
UPF 86029	6,0 c	9,9 ij A	3,0 eB	31,5 defg
UPF 86083	4,6 d	11,7 i A	3,0 eB	25,7 fgh
Média	6,7	17,0 A	6,2 B	38,8
C.V. Genótipos (%)	1,13	2,68	10,21	2,13
C.V. Níveis de Al (%)	5,32	9,30		5,81

- Médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Tabela 22. Comprimento inicial (CIRS) e crescimento da raiz seminal (CRS/CRRS) de genótipos de aveia submetidos aos níveis 0 e 7,5 mg Al/litro de solução nutritiva (Exp. 3F).

GENÓTIPOS	C I R S	C R S		C R R S
		0	7,5	
	--- CR ---	--- CR ---		
UPF 87097	9,0 ab	15,3 ab A	9,0 a B	59,9 bcde
UPF 86A1169-2b(T)	8,2 abc	16,6 a A	8,5 ab B	51,0 bcde
UPF 86160	8,8 ab	12,5 bc A	8,2 abc B	67,6 bcd
UPF 7 (T)	8,0 bc	8,8 de A	7,0 abcd A	81,3 b
UPF 86134	9,0 ab	9,1 de A	6,6 abcd B	73,8 bc
UPF 86055	8,1 abc	13,1 bc A	6,3 abcd B	48,3 bcdef
UPF 87111	8,0 bc	16,7 a A	6,1 bcde B	36,3 def
UPF 86044	7,7 bcd	12,5 bc A	5,8 bcdef B	46,6 cdef
UPF 86110	6,7 cde	11,7 cd A	5,5 cdef B	47,9 cdef
UPF 87069	5,7 ef	13,0 bc A	5,5 cdef B	42,0 cdef
UPF 86037	6,9 cde	11,2 cd A	5,3 def B	47,2 cdef
UPF 86139	8,8 ab	11,8 cd A	4,7 def B	39,6 def
UPF 86111	6,7 cde	2,7 fA	4,2 defgA	159,6 a
UPF 87072	4,5 f	7,4 e A	3,4 efgB	46,0 cdef
UPF 87126	9,7 a	10,8 cd A	3,2 fgB	30,4 ef
UPF 86034	6,3 de	10,1 cde A	1,8 gB	17,5 f
Média	7,6	11,5 A	5,7 B	55,9
C.V. Genótipos (%)	2,84	4,46	16,34	7,93
C.V. Níveis de Al (%)	10,26	13,50	14,58	

- Médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Tabela 23. Comprimento inicial (CIRS) e crescimento da raiz seminal (CRS/CRRS) de genótipos de aveia submetidos aos níveis 0 e 7,5 mg Al/litro de solução nutritiva (Exp. 3G).

GENÓTIPOS	C I R S	C R S		C R R S
		0	7,5	%
	--- CR ---	----- CR -----		
UPF 86A1169-2b(T)	8,6 a	17,7 a A	9,4 a B	52,9 bcde
UPF 87128	7,2 cd	11,6 bcd A	7,1 ab B	61,6 abc
UPF 87130	8,0 abc	13,2 bc A	6,9 ab B	52,5 bcde
UPF 86013	7,4 bc	8,1 efA	5,5 bc B	67,5 ab
UPF 87137	6,4 d	7,4 fA	5,5 bc B	75,5 a
UPF 84112	8,2 ab	13,4 bc A	5,3 bc B	40,1 defg
UPF 7 (T)	7,9 abc	8,1 efA	5,2 bc B	64,7 abc
UPF 84056	8,2 ab	11,4 cd A	5,2 bcd B	47,2 bcdef
UPF 87133	7,5 bc	8,8 defA	4,9 bcd B	55,9 abcd
UPF 86243-2	8,0 abc	14,6 ab A	3,9 cdeB	26,4 g
UPF 83340	8,1 abc	10,6 cde A	3,7 cdeB	35,0 efg
UPF 87127	7,8 abc	11,9 bcd A	3,3 cdeB	27,5 fg
UPF 86030	7,5 bc	6,8 fA	3,1 cdeB	45,8 cdefg
UPF 83348	7,4 bc	9,0 defA	2,5 deB	28,5 fg
UPF 83344	7,8 abc	5,8 fA	2,2 eB	38,9 defg
UPF 83350	8,1 abc	6,8 fA	1,8 eB	26,7 fg
Média	7,3	10,3 A	4,71 B	46,7
C.V. Genótipos (%)	3,12	5,96	18,61	3,27
C.V. Níveis de Al (%)	5,89	14,48		9,72

- Médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% significância.

Tabela 24. Comprimento inicial (CIRS) e crescimento da raiz seminal (CRS/CRRS) de genótipos de aveia submetidos aos níveis 0 e 7,5 mg Al/litro de solução nutritiva (Exp. 2).

GENÓTIPOS	C I R S	C R S		C R R S	
		0	7,5	%	
	--- cm ---	----- cm -----			
UPF82079	7,5 bc	15,9 bc A	15,2 a A	96,4 a	
UPF81360	7,4 bcd	15,6 bc A	11,5 b B	73,6 bc	
UPF81359	7,1 cde	14,4 cd A	10,5 b B	73,5 bd	
UPF86A1169-2b(T)	6,8 cde	19,6 a A	10,2 bcd B	52,5 de	
UPF82044	6,6 cde	12,4 cdefg A	9,2 cde B	73,3 bc	
UPF82005	8,0 cde	19,0 ab A	8,1 def B	42,7 def	
UPF81350	8,3 a	19,9 a A	7,2 efg B	36,2 ef	
UPF90266	6,6 de	11,4 defg A	7,1 efg B	62,4 cd	
UPF82048	6,8 cde	12,5 cdefg A	6,4 fg B	51,4 de	
UPF83333	7,3 bcd	13,5 cde A	6,3 fg B	47,3 def	
UPF82016	7,2 bcd	6,6 hA	6,1 fgh B	93,4 ab	
UPF7(T)	7,2 bcd	9,7 fghA	5,9 fgh A	62,0 cd	
UPF81251	7,5 abc	9,3 ghA	5,6 gh B	62,2 cd	
UPF83339	7,2 bcd	13,1 cdef A	5,2 gh B	39,6 ef	
UPF83334	6,3 e	10,8 efg A	3,9 hiB	36,7 ef	
UPF82029	6,9 cde	9,4 ghA	2,7 iB	23,7 f	
Média	7,2	13,3 A	7,6 B	62,0	
C.V. Genótipos (%)	1,84	4,94	9,99	7,17	
C.V. Níveis de Al (%)	5,73	11,78	-	8,84	

- Médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% significância.

Tabela 25. Comprimento inicial (CIRS) e crescimento da raiz seminal (CRS/CRRS) de genótipos de aveia submetidos aos níveis 0 e 7,5 mg Al/litro de solução nutritiva (Exp. 3H).

GENOTIPOS	C I R S	C R S		C R R S
		0	7,5	
	--- CR ---	----- CR -----		
UPF 86A1169-2b(T)	9,3 abc	16,6 ab A	11,8 a B	72,8 bcd
UPF 80221	8,7 bc	17,1 a A	11,4 a B	69,4 bcd
UPF 79223-2	8,7 bc	14,1 abcd A	11,0 ab A	80,4 bc
UPF 78B381-1	10,2 a	14,2 abcd A	10,6 abc B	74,8 bc
UPF 79302	9,9 ab	7,1 eA	9,6 abcdA	134,9 a
UPF 79205-1	9,6 abc	15,0 abc A	9,0 abcdB	60,1 cd
UPF 80265	9,7 abc	13,9 abcd A	8,8 abcdB	65,0 bcd
UPF 79229-1	9,0 abc	9,74 cdeA	8,4 abcdA	89,6 bc
UPF 79B388	9,8 ab	11,6 bcdeA	7,8 abcdB	74,7 bc
UPF 7(T)	8,5 c	8,2 eA	7,8 abcdA	94,8 abc
UPF 80176-5	9,6 abc	7,7 eA	6,9 bcdA	103,3 abc
UPF 80197	9,5 abc	9,1 deA	6,9 bcdA	81,8 bc
UPF 80215	9,5 abc	7,0 eA	6,7 cdA	106,0 ab
UPF 80155	9,4 abc	10,5 cdeA	6,2 dB	60,0 cd
UPF 79339-2	9,6 abc	6,9 eA	5,9 dA	28,8 bc
UPF 79239-1	9,7 abc	18,9 a A	5,4 dB	27,9 d
Média	9,4	11,7 A	8,4 A	80,3
C.V. Genótipos (%)	2,10	11,16	16,52	8,87
C.V. Níveis de Al (%)	6,50	18,40		17,07

- Médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Tabela 26. Comprimento inicial (CIRS) e crescimento da raiz seminal (CRS/CRRS) de genótipos de aveia submetidos aos níveis 0 e 7,5 mg Al/litro de solução nutritiva (Exp. 3I).

GENOTIPOS	C I R S	C R S		C R R S
		0	7,5	
	--- cm ---	----- cm -----		%
UPF 86A1169-2b(T)	7,5 bcd	20,7 bc A	11,1 a B	53,7 bcde
CTC 84B1412-3	8,1 abc	11,0 efgA	9,8 ab A	94,0 a
UPF 79159-6b	6,4 f	13,9 defgA	9,7 ab A	72,7 ab
UPF 77394-1b	5,8 f	24,0 ab A	9,3 ab B	39,0 cdef
CTC 82B307	7,4 cde	16,5 cde A	8,9 ab B	61,7 bcd
UPF 77027	8,3 ab	15,6 cdef A	8,8 ab B	63,0 bc
CTC 1	8 abc	12,4 defgA	8,6 abc A	69,7 ab
UPF 79040	7,3 de	28,1 a A	6,8 bcd B	24,3 f
UPF 79176-5b	7,5 cd	11,5 efgA	6,6 bcd A	59,3 bcd
UPF 7(T)	6,6 ef	9,5 gA	5,6 cdeA	62,3 bcd
CTC 82B312	7,4 cde	17,6 cd A	5,4 cdeB	31,3 ef
CTC 2	7,9 abcd	20,6 bc A	5,4 cdeB	26,3 f
CTC 84B1153	7,3 de	15,4 cdef A	5,4 cdeB	36,0 def
UPF 78279-1b	7,7 abcd	10,8 fgA	4,6 deB	43,0 cdef
UPF 14	8,4 a	16,4 cde A	4,1 deB	24,7 f
UPF 78226-1b	8,1 abc	13,7 defgA	2,7 eB	20,0 f
Média	7,5	16,1 A	7,0 B	48,8
C.V. Genótipos (%)	2,99	19,41	15,02	10,67
C.V. Níveis de Al (%)	6,14	16,34		12,16

- Médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

17); UPF89106 e UPF86A1198-5-4b (Tabela 18), UFRGS6, UPF86068, UFRGS1 e UFRGS4 (Tabela 19); UPF15, UPF86120, UPF84297, UPF84125, UPF87070 e UPF84321 (Tabela 20); UPF85357, UPF85233, UPF84330, UPF86155 e UPF84329-1 (Tabela 21); UPF87097, UPF86160, UPF7, UPF86134 e UPF86055 (Tabela 22); UPF87128 e UPF87130 (Tabela 23); UPF80221, UPF79223-2, UPF78B381-1, UPF79302, UPF79205-1, UPF80265, UPF79229-1, UPF79B388 e UPF7 (Tabela 25); e, CTC84B1412-3, UPF79159-6b, UPF77394-1b, CTC82B307, UPF77027 e CTC 1 (Tabela 26).

Quanto ao efeito inibitório do nível 7,5 mg Al, em relação o nível 0, sobre o crescimento, observa-se que essa redução não foi significativa para os genótipos UPF86018, UPF79I174-3, UPF86A1264-1b (Tabela 16); UPF84157 (Tabela 20); UPF85044 (Tabela 21), UPF7 e UPF86111 (Tabela 22); UPF82079 e UPF7 (Tabela 24); UPF79223-2, UPF79302, UPF79229-1, UPF7, UPF80176-5, UPF80197, UPF80215 e UPF79339-2 (Tabela 25); e, CTC84B1412-3, UPF79159-6b, CTC1, UPF79176-5b e UPF7 (Tabela 26).

O crescimento relativo da raiz seminal (CRRS), considerando os onze experimentos de seleção, foi de 49,4% no tratamento com alumínio, em relação ao nível zero. Destacaram-se os genótipos: UPF86A1198-5-1b (Tabela 16); UPF13 (Tabela 17); UPF86A1198-5-4b (Tabela 18); UFRGS-1 (Tabela 19); UPF86120 e UPF84125 (Tabela 20); UPF85044 (Tabela 21); UPF86111 (Tabela 22); UPF87137 (Tabela 23); UPF82079 (Tabela 24); UPF79302 (Tabela 25); e CTC84B1412-3 (Tabela 26).

Dentre os 156 genótipos de aveia avaliados, pode-se destacar por apresentarem média no grupo estatístico superior, pelo teste Tukey, quanto ao parâmetro CRS na presença de Al, e crescimento relativo (CRRS), não diferindo na média dos tratamentos 0 e 7,5 mg Al/litro de solução, os genótipos UPF82079 (Tabela 24), CTC84B1412-3, UPF79159-6b e CTC-1 (Tabela 26).

4.3.1.3. Comparação entre as testemunhas

A análise de variância conjunta das médias do CIRS, CFRS e CRS dos genótipos testemunhas, UPF86A1169-2b (tolerante) e UPF7 (sensível), revelou diferenças altamente significativas entre os onze experimentos considerados na seleção e entre genótipos, não sendo significativa a interação genótipos x experimentos (Tabela D4).

O desdobramento da interação em cada experimento, revelou diferenças significativas entre as testemunhas, quanto ao CIRS, apenas no experimento 3-B, não sendo significativa nos demais experimentos. Quanto ao crescimento da raiz seminal (CRS) e comprimento final (CFRS), as testemunhas só não diferiram no ensaio 3-F (Tabela D4), ao nível de 5% de significância.

Em relação ao crescimento inicial da raiz seminal (CIRS), o teste de Tukey ao nível de 5% de significância, não revelou diferenças entre as médias gerais das duas testemunhas nos diferentes experimentos (Tabela 27). Observa-se na média dos dois genótipos, que o experimento 3H, apesar de não diferir significativamente ($P > 0,05$) dos experimentos 3C e 3F, foi superior aos demais experimentos ao nível de 5% de significância. Na comparação dos dois genótipos dentro dos experimentos, verifica-se que apenas nos experimentos 1 e 3B, o CIRS do genótipo UPF86A1169-2b (tolerante) foi superior ao da testemunha sensível UPF7, não diferindo nos demais experimentos ao nível de 5% de significância.

Tabela 27. Comprimento inicial da raiz seminal (CIRS) de dois genótipos de aveia submetidos ao nível 7,5 mg Al/litro de solução nutritiva.

Experimentos	UPF86A1169-2b	UPF 7	Média
	-----	cm -----	
Exp. 3H	9,47 A	8,74 A	9,10a
Exp. 3C	8,44 A	8,84 A	8,64ab
Exp. 3F	8,22 A	8,18 A	8,20ab
Exp. 3G	8,41 A	7,74 A	8,07 b
Exp. 3E	7,08 A	7,14 A	7,11 c
Exp. 3A	7,37 A	6,78 A	7,07 c
Exp. 3D	6,97 A	7,07 A	7,02 c
Exp. 2	6,89 A	7,15 A	7,02 c
Exp. 3B	7,56 A	6,40 B	6,98 c
Exp. 3I	7,27 A	6,64 A	6,96 c
Exp. 1	5,80 A	5,13 B	5,47 d
Média	7,59 A	7,25 B	7,42
Tukey (0,05)	ns	ns	0,96*
CV. (%)	6,61		

- Médias seguidas da mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Quanto ao crescimento final da raiz seminal (CFRS), não houve diferença significativa entre os experimentos para os dois genótipos que também não diferiram entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância (Tabela 28). A média dos dois genótipos, no experimento 3H (18.84), foi significativamente superior aos demais experimentos.

Tabela 28. Comprimento final da raiz seminal (CFRS) de dois genótipos de aveia submetidos ao nível 7,5 mg Al/litro de solução nutritiva.

Experimentos	UPF86Al169-2b	UPF 7	Média
	----- cm -----		
Exp. 3H	21,27 A	16,51 B	18,84 a
Exp. 3F	16,70 A	15,15 A	15,93 b
Exp. 3G	17,74 A	12,94 B	15,34 b
Exp. 3I	18,34 A	12,24 B	15,29 b
Exp. 3C	16,85 A	12,45 B	14,65 bc
Exp. 1	17,78 A	11,43 B	14,61 bc
Exp. 3D	16,53 A	12,28 B	14,41 bc
Exp. 2	17,11 A	13,02 B	15,06 bc
Exp. 3E	15,67 A	12,81 B	14,24 bc
Exp. 3A	16,37 A	11,53 B	13,45 bc
Exp. 3B	14,87 A	9,89 B	12,38 c
Média	17,20 A	12,75 B	14,98
Tukey (0,05)	ns	ns	
CV. (%)	9,28		

- Médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Para a variável CRS, as médias de cada um dos genótipos não diferiram entre experimentos e também não diferiram entre si, no experimento 3F (Tabela 29). Nos demais experimentos, o CRS da testemunha tolerante UPF86Al169-2b foi

significativamente superior em relação a testemunha sensível UPF7. Na comparação entre médias dos dois genótipos, observa-se que a média do Exp 3H, apesar de não diferir dos experimentos 1, 3I, 3F, 3D, 3G e 2 foi significativamente superior às médias dos demais experimentos, ao nível de 5% de significância.

Tabela 29. Crescimento da raiz seminal (CRS) de dois genótipos de aveia submetidos ao nível 7,5 mg Al/litro de solução nutritiva.

Experimentos	UPF86A1169-2b	UPF 7	Média
	----- cm -----		
Exp. 3H	11,80 A	7,78 B	9,79a
Exp. 1	11,98 A	6,31 B	9,14ab
Exp. 3I	11,07 A	5,60 B	8,33abc
Exp. 2	10,22 A	5,87 B	8,04abc
Exp. 3F	8,48 A	6,98 A	7,73abcd
Exp. 3D	9,56 A	5,21 B	7,39abcd
Exp. 3G	9,37 A	5,20 B	7,29abcd
Exp. 3E	8,59 A	5,67 B	7,13 bcd
Exp. 3A	9,00 A	4,75 B	6,88 bcd
Exp. 3C	8,42 A	3,62 B	6,02 cd
Exp. 3B	7,32 A	3,49 B	5,41 d
Média	9,62 A	5,50 B	7,56
Tukey (0,05)	ns	ns	
C.V. (%)	16,97		

- Médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

**4.3.1.4. Classificação dos genótipos de aveia
quanto a seleção ao nível 7,5 mg
Al/litro de solução**

A partir dos resultados de crescimento da raiz seminal (CRS) dos 156 genótipos de aveia (Tabela 16 a 26), foi realizada uma classificação dos mesmos, em tolerantes (grupo estatístico superior pelo teste de Tukey no respectivo experimento), sensíveis (grupo estatístico inferior) e pouco tolerantes (intermediários). Em cada grupo de tolerância, os genótipos foram subdivididos em tres grupos, mediante o resultado do crescimento relativo da raiz seminal (CRRS), no nível 7,5 mg Al/litro de solução, respectivamente em: responsivos (grupo estatístico superior pelo teste de Tukey), não responsivos (grupo estatístico inferior) e pouco responsivos (intermediários), conforme Tabela 30.

Verifica-se na Tabela 30, que 18 genótipos são tolerantes/responsivos, 18 tolerantes/pouco responsivos, 10 tolerantes/não responsivos, 14 pouco tolerantes/responsivos, 25 pouco tolerantes/pouco responsivos, 18 pouco tolerantes/não responsivos, 12 sensíveis/responsivos, 9 sensíveis/pouco responsivos e 32 sensíveis/não responsivos.

Pelos critérios utilizados, o genótipo UPF86A1169-2b pode ser considerado tolerante/pouco responsivo, considerando-se o CRS médio nos onze experimentos, enquanto o cultivar UPF 7 foi pouco tolerante/responsivo, pelo mesmo critério

Concluiu-se que, ao nível de 7,5 mg Al/litro de solução nutritiva, os genótipos mais tolerantes e mais responsivos são: UPF79159-6b, UPF79302, UPF82079, UPF84125, UPF84297, UPF84321, UPF86068, UPF86120, UPF86A1198-5-4b, UPF87070, UPF87128, UPF3, UPF15, UFRSS1, UFRSS4, UFRSS6, CTC84B1412-3 e CTC1.

Tabela 30. Classificação dos genótipos de aveia quanto à tolerância (CRS) e ao efeito responsivo (CRRS) em relação ao nível 7,5 mg Al/litro de solução.

Responsivos	Pouco responsivos	Não responsivos
Tolerantes		
UPF82079	UPF86A1169-2b	UPF86011
UPF86A1198-5-4b	UPF89106	UPF86112
UPF3	UPF85357	UPF5
UFRGS 6	UPF85233	UPF86136
UPF86068	UPF2	UPF86045
UFRGS 1	UPF84330	UPF86055
UFRGS	UPF86155	UPF80221
UPF15	UPF84329-1	UPF9205-1
UPF86120	UPF87097	UPF80265
UPF84297	UPF86160	UPF77394-1
UPF84125	UPF86134	
UPF87070	UPF87130	
UPF84321	UPF79223-2	
UPF87128	UPF78B381-1	
CTC1	UPF79229-1	
UPF79302	UPF79B388	
CTC84B1412-3	CTC82B307	
UPF79159-6b	UPF77027	
Pouco tolerantes		
UPF7	UPF11	UPF87071
UPF80176-5	UPF86006	UPF89085
UPF80215	UPF86A1264-7-4b	UPF86A1264-2-
UPF84322-1	UFRGS 10	UPF86212
UPF85044	UFRGS 7	UPF87111
UPF86A1264-7-8b	UFRGS 12	UPF86044
UPF86013	UFRGS 5	UPF86110
UPF86018	UPF86238	UPF87069
UPF86057	UFRGS 9	UPF86037
UPF86081	UFRGS 11	UPF86139
UPF87133	UFRGS 8	UPF84112
UPF87137	UPF84132	UPF82005
UPF6	UPF84324-2	UPF81350
UFRGS 2	UPF85375	UPF83333
	UPF86010	UPF80155
	UPF86023	UPF79239-1
	UPF84056	UPF79040
	UPF81360	UPF86301-1

Continua

Continuação.

Responsivos	Pouco responsivos	Não responsivos
	Pouco tolerantes	
	UPF81359	
	UPF82044	
	UPF80266	
	UPF82048	
	UPF80197	
	UPF79339-2	
	UPF79176-5b	
	Sensíveis	
UPF8	Coronado	UPF86113
São Carlos	UPF1	UPF87107
UPF12	UPF9	UPF84057
Suregrain	UPF79i174-3	UPF86066
UPF13	UPF86A1264-10b	UPF84181
UPF10	UPF86A1264-10-2b	UPF86094
UPF4	UPF86A1264-1-1b	UPF85238-10
UPF86A1198-5-1b	UPF86029	UPF86024
UPF87A1264-1b	UPF81251	UPF86067
UPF86A1264-1-4b		UPF86083
UPF86111		UPF87072
UPF82016		UPF87126
		UPF86034
		UPF86243-2
		UPF83340
		UPF87127
		UPF86030
		UPF83348
		UPF83344
		UPF83350
		UPF83359
		UPF83334
		UPF89130
		UPF88109
		UPF89043
		UPF82029
		CTC82B312
		CTC2
		CTC84B1153
		UPF78279-1b
		UPF14
		UPF78226-1b

4.3.2. Seleção ao nível 15 mg Al/litro de solução

A análise de variância (teste F), dos parâmetros CIRS, CFRS e CRS, revelou diferenças altamente significativas ($P < 0,01$) entre os 86 genótipos avaliados (Tabela D5).

A média do CIRS foi de 6,11cm, com um coeficiente de variação de 6,83% e uma diferença mínima significativa, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância de 0,15 (Tabela 31). A média do CFRS foi de 15,81 cm, com um coeficiente de variação de 7,8% e uma diferença mínima significativa pelo teste de Tukey de 4,33cm.

Na Tabela 31, também é apresentada a comparação entre as médias do crescimento da raiz seminal. A média final deste parâmetro foi de 9,73 cm, com um coeficiente de variação de 11,69%. Verifica-se, que o genótipo UPF82079 (19,7 cm), apesar de não diferir significativamente ($P > 0,05$) do genótipo UPF77394-1, apresentou CRS superior aos demais genótipos avaliados. Os genótipos UPF86A1169-2b e UPF7, não diferiram significativamente ($P < 0,05$) quanto ao CRS, quando submetidos ao nível 15 mg Al/litro de solução nutritiva.

Quanto ao índice de tolerância relativa ao Al (ITRAL), calculado para o parâmetro CRS, observou-se uma média de 3,53. A comparação entre genótipos foi efetuada mediante a determinação do desvio padrão (1,34), conforme Tabela 31. Verifica-se, que o genótipo UPF82079 com média do ITRAL de 9,0, revelou-se altamente tolerante, pois o CRS é igual à média acrescida de 4 desvios padrão. Em seguida aparece o genótipo UPF77394-1, média do ITRAL de 7,8 igual a média acrescida de 3 desvios padrão. Os genótipos UFRGS-6 (5,9), UPF86006 (5,8), UPF81360 (5,7), UPF86160 (5,3),

UPF86112 (5,1), UPF81359 (5,0) e UPF2 (4,9), apresentam ITRAl superior a média acrescida de um desvio padrão. Destes genótipos que se destacam, os genótipos UPF81360, UPF86006 e UPF81359 foram classificadas como pouco tolerantes/pouco responsivos (Tabela 30), no nível 7,5 mg Al/litro. Os demais genótipos foram todos classificados como tolerantes.

Os genótipos UPF86A1169-2b (4,8) e UPF7 (3,7) também não diferiram entre si através da comparação quanto ao ITRAl.

Já os genótipos UPF79176-5b, UPF791174-3, UPF86018, UPF84056, UPF79223-2, UPF86057, UPF82044, UPF87133, Suregrain, UPF86A1264-2-7b, UPF86A1264-10b, UPF84321, UPF80265, São Carlos, UPF80197 e UPF87071 apresentaram ITRAl inferior (média subtraída de um desvio padrão), quando submetidos ao nível 15 mg Al/litro de solução. Comparando com a Tabela 30, observa-se que dos genótipos mais sensíveis ao nível 15 mg Al/l, apenas UPF79223-2, UPF84321 e UPF80265 se comportaram como tolerantes ao nível 7,5 mg Al/litro de solução.

Tabela 31. Comprimento inicial (CIRS), e final (CFRS), crescimento da raiz seminal (CRS) e índice de tolerância relativa (ITRAI), de genótipos de aveia branca submetidos ao nível 15 mg Al/litro de solução nutritiva.

Genótipos	CIRS	CFRS	CRS	ITRAI
	-----cm-----			
UPF82079	5,0	24,7	19,7	9,0SSSS
UPF77394-1	5,2	22,8	17,6	7,8SSS
UFRGS6	7,3	21,4	14,0	5,9S

Continua

Continuação.

Genótipos	CIRS	CFRS	CRS	ITRA1
-----cm-----				
UPF86006	5,2	19,0	13,8	5,8S
UPF81360	6,1	19,7	13,6	5,7S
UPF86160	6,6	19,5	12,6	5,3S
UPF86112	7,2	19,6	12,5	5,1S
UPF81359	6,2	18,7	12,4	5,0S
UPF2	7,5	17,4	12,2	4,9S
UPF86045	7,3	19,4	12,1	4,8
UPF86A1198-5-4b	6,9	18,9	12,0	4,8
UPF86A1169-2b	7,1	19,1	12,0	4,8
UPF79159-6b	5,2	17,1	11,9	4,7
UPF87070	5,7	17,6	11,8	4,7
UPF86A1198-5-1b	6,2	17,9	11,8	4,7
UPF79229-1	6,0	17,6	11,7	4,6
UPF5	6,6	18,2	11,6	4,6
UPF3	6,5	18,1	11,6	4,6
UPF86136	7,2	18,8	11,6	4,6
UPF86011	6,3	17,9	11,5	4,5
UPF86155	7,3	18,5	11,2	4,3
UPF87097	5,3	16,5	11,2	4,3
UPF87128	6,2	17,4	11,2	4,3
UPF79176-5b	6,4	17,6	11,2	4,3
UPF79205-1	5,4	16,5	11,1	4,3
UPF86120	5,5	16,5	11,0	4,2
UPF84297	5,3	16,2	10,9	4,2
UFRGS-2	6,6	17,3	10,6	4,0
UPF78B381-1	6,4	16,9	10,5	4,0
UPF80221	4,9	15,4	10,5	4,0
UPF87130	6,1	16,5	10,4	3,9

Continua

Continuação

Genótipos	CIRS	CFRS	CRS	ITRA1
	-----cm-----			
UPF15	5,6	16,0	10,4	3,9
UFRGS10	6,7	17,1	10,4	3,9
UPF86055	6,6	16,9	10,3	3,8
UPF86013	4,1	14,4	10,3	3,8
UPF-6	6,2	16,5	10,3	3,8
CTC82B307	5,8	16,0	10,1	3,7
UPF-8	7,8	17,9	10,1	3,7
UPF-7(T)	6,6	16,6	10,0	3,7
UPF84330	6,4	16,4	9,9	3,6
UPF85233	6,6	16,5	9,9	3,6
UFRGS4	6,6	16,4	9,8	3,6
UPF89106	5,5	15,2	9,8	3,6
CTC84B1415-3	7,2	17,0	9,8	3,6
UPF82005	5,6	15,3	9,7	3,5
UPF79339-2	6,6	16,1	9,5	3,4
UPF89085	5,3	14,8	9,5	3,4
UPF84112	5,8	15,3	9,5	3,4
UPF77027	7,2	16,6	9,4	3,4
UPF86068	6,1	15,5	9,4	3,4
UPF79302	6,7	16,1	9,4	3,4
UPF-12	7,3	16,6	9,2	3,2
UFRGS1	5,2	14,4	9,2	3,2
UPF85375	6,2	15,4	9,2	3,2
UPF87073	6,8	15,9	9,1	3,2
UPF85357	5,7	14,7	9,0	3,1
UPF86113	5,3	14,2	9,0	3,1
UPF84329-1	6,0	14,8	8,8	3,0
UPF87137	5,5	14,1	8,6	2,9

Continua

Continuação

Genótipos	CIRS	CFRS	CRS	ITRA1
	----- cm -----			
UPF-11	6,7	15,0	8,6	2,9
UPF84322-1	5,2	13,6	8,4	2,8
CORONADO	7,1	15,5	8,3	2,8
CTC1412-3	6,8	15,0	8,2	2,7
UPF86111	5,2	13,1	7,9	2,5
UPF80215	5,3	13,1	7,9	2,5
UPF84125	4,2	12,0	7,7	2,4
UPF87111	5,9	13,4	7,6	2,4
UPF87030	5,8	13,2	7,4	2,3
UPF85044	7,2	14,7	7,4	2,3
UPF86A1264-1b	6,1	13,5	7,4	2,3
UPF79176-5b	6,4	13,6	7,1	2,1I
UPF79I174-3	6,3	13,3	7,0	2,0I
UPF6018	5,6	12,5	6,8	1,9I
UPF84056	5,2	12,0	6,8	1,9I
UPF79223-2	6,9	13,6	6,7	1,9I
UPF86057	5,6	12,3	6,6	1,8I
UPF82044	4,4	10,9	6,6	1,8I
UPF87133	6,3	12,8	6,5	1,8I
SUREGRAIN	6,1	12,6	6,4	1,7I
UPF86A1264-2-7b	7,5	13,9	6,4	1,7I
UPF86A1264-10b	6,6	12,9	6,3	1,7I
UPF84321	4,8	11,1	6,3	1,7I
UPF80265	6,5	12,6	6,0	1,5I
SÃO CARLOS	5,4	11,4	6,0	1,5I

Continua

Continuação

Genótipos	CIRS	CFRS	CRS	ITRA1
	----- cm -----			
UPF80197	5,9	11,3	5,4	1,2I
UPF87071	5,3	10,4	5,1	1,0I
Média	6,11	15,81	9,73	3,53
Tukey (0,05)	0,15	4,33	4,00	1,34*
C.V. (%)	6,83	7,80	11,64	38,96

* Desvio padrão. SSSS = média acrescida de 4 desvio padrão; SSS = média acrescida de 3 desvio padrão; S = média acrescida de um desvio padrão; I = média subtraída de um desvio padrão.

4.4. Tolerância e responsividade de genótipos de aveia branca submetidos aos níveis 0 e 15 mg Al/litro de solução

A análise de variância (teste F) dos resultados da avaliação de 16 genótipos de aveia branca, submetidos aos níveis 0 e 15 mg Al/litro de solução, revelou diferenças significativas ($P < 0,05$), para os níveis de Al, quanto aos parâmetros CIRS, CRS, CRRS, CFRS e CFRRS (Tabela D6). Nessa mesma tabela, verifica-se que para genótipos, as diferenças foram altamente significativas ($P < 0,01$). Já a interação genótipos x níveis de Al, não foi significativa para o parâmetro CIRS e foi altamente significativa para os parâmetros CRS, CRRS, CFRS e CFRRS.

A correlação linear simples entre esses parâmetros (Tabela 32) mostrou que o CIRS não se correlacionou com CRS, CRRS e CFRRS, pelo teste t ($P < 0,05$). Já a correlação entre CIRS e CFRS foi altamente significativa, resultado que comprova a tendência já observada nos itens 4.1 (Tabela 11) e 4.2 (Tabela 18).

Portanto, apesar da correlação entre CRS e CFRS ser altamente significativa e o coeficiente de correlação de 98,6%, a comparação entre médias, foi realizada apenas para o crescimento da raiz seminal (CRS), pois este não sofre a interferência do CIRS, na avaliação do grau de tolerância dos genótipos ao alumínio e o crescimento relativo da raiz seminal (CRRS) na avaliação do grau de responsividade.

O comprimento inicial da raiz seminal (CIRS) médio foi de 5,96 cm, com um coeficiente de variação de 1,26% para genótipos e 8,91 para níveis de Al (Tabela 33). Verifica-se que o genótipo UPF86045 (7,4 cm), apesar de não diferir ($P > 0,05$) dos genótipos UPF7, UPF86A1169-2b, UPF79302, UPF86112, UPF86A1198-5-4b, UPF3 e UPF86136, foi

Tabela 32. Valores de t e coeficiente das correlações (r) entre parâmetros de crescimento da raiz seminal de genótipos de aveia submetidos a 0 e 15 mg Al/litro de solução.

Correlação		Valor t	r (%)
CIRS	x CRS	0,87 ns	-
	x CRRS	0,57 ns	-
	x CFRS	2,65 **	26,4
	x CFRRS	0,36 ns	-
CRS	x CRRS	4,71 **	43,7
	x CFRS	32,40 **	98,4
	x CFRRS	4,58 **	42,7
CRRS	x CFRS	4,41 **	41,3
	x CFRRS	56,53 **	98,6
CFRS	x CFRRS	4,35 **	40,9

** Estatisticamente significativos, pelo teste t, ao nível de 1 de significância; ns = não significativo

Tabela 33. Efeito de níveis de alumínio sobre os parâmetros CIRS, CRS e CRRS em plantas de aveia submetidos aos níveis 0 e 15 mg Al/litro de solução.

Genótipos	CIRS	C R S		CRRS %

		0	15	
		----- cm -----		
UPF82079	5,2fg	20,0b A	19,7a A	97,7b
UPF86112	6,4abcde	27,7a A	12,5b B	44,7ef
UPF86045	7,4a	25,9a A	12,1b B	46,3ef
UPF86A1198-5-4b	6,7abcd	8,4g A	12,0b A	149,0a
UPF86A1169-2b(T)	6,4abc	26,2a A	12,0b B	45,7ef
UPF3	6,5abcde	16,1bcdeA	11,6bc B	71,7bcde
UPF86136	7,0ab	20,2b A	11,6bc A	58,3cdef
UPF87128	6,0bcdef	16,4bcd A	11,2bc A	66,3cde
UPF84297	5,4efg	13,7def A	10,9bc B	79,3bcd
UPF15	5,6defg	19,3bc A	10,4bcd B	54,7def
UPF7(T)	6,3abcde	11,8efg A	10,0bcd A	85,7bc
UPF86068	5,9cdef	15,0cde A	9,4bcde A	64,0cdef
UPF79302	6,4abcde	10,0fg A	9,4bcde A	97,0b
UPF84322	5,1fg	12,3defgA	8,4cde A	68,3cde
UPF84125	3,4h	14,7de A	7,7de A	53,0def
UPF84321	4,6gh	16,4bcd	6,3e B	38,7f
Média	5,96	17,1	10,9	70,0
C.V. genótipo(%)	1,26	8,7	10,3	5,05
C.V. níveis de Al	8,91	-	-	11,03

* Médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

superior aos demais genótipos avaliados ao nível de 5% de significância.

Quanto ao crescimento da raiz seminal (CRS), a comparação entre médias pelo teste de Tukey, mostrou que na ausência de alumínio, os genótipos UPF86A1169-2b (26,2 cm), UPF86045 (25,9cm) e UPF86112 (27,7cm), superaram significativamente os demais genótipos avaliados. Este resultado demonstra o alto potencial de crescimento radicular desses genótipos. Já o genótipo UPF86A1198-5-4b, apresentou o menor crescimento da raiz nesse nível de Al, comprovando os resultados discutidos anteriormente (Tabela 18).

Na presença de 15 mg Al/litro de solução, (Tabela 33) observou-se que o genótipo UPF82079 (19,7 cm) apresentou CRS significativamente superior aos demais genótipos avaliados, confirmando os resultados discutidos nos itens 4.2, 4.3.1 e 4.3.2 (Tabela 16, 24 e 31), como sendo dentre os 156 avaliados o genótipo de aveia branca mais tolerante ao alumínio.

Verifica-se na Tabela 33, que a inibição provocada por 15 mg Al/litro de solução, em relação ao tratamento com ausência do elemento, não foi significativa ao nível de 5%, para os genótipos UPF82079, UPF7, UPF87128, UPF79302, UPFA1198-5-4b, UPF84125, UPF84322, UPF86068 e UPF86136.

Quanto ao crescimento relativo de raiz seminal (CRRS), verificou-se que no genótipo UPF86A1198-5-4b houve um aumento de 49% quando na presença de alumínio, sendo superior aos demais genótipos avaliados, na comparação pelo teste de Tukey ($P < 0,05$), conforme Tabela 33.

Segundo os critérios utilizados no item 4.1, observou-se que os genótipos UPF82079, UPF84297, UPF86A1198-5-4b e UPF3, mostraram-se tolerantes e responsivos quando

submetidos ao nível de 15 mg Al/litro de solução. Os genótipos UPF86A1169-2b, UPF87128, UPF86045, UPF86112 e UPF86136 são tolerantes mas não responsivos. Os genótipos UPF7 e UPF79302, apesar de sensíveis são responsivos, enquanto os genótipos UPF84125, UPF84321, UPF84322, UPF86068 e UPF15, podem ser considerados sensíveis ao nível 15 mg Al/litro e não responsivos. Esses resultados confirmam aqueles obtidos na seleção com 15 mg Al/litro, discutido no item 4.3.2 e os resultados apresentados na Tabela 31.

4.5. Avaliação da tolerância de genótipos de aveia preta ao alumínio, em solução nutritiva

A análise de variância dos resultados da avaliação de 14 genótipos de aveia preta e duas testemunhas de aveia branca UPF 7 (sensível) e UPF 86A1169-2b (tolerante), aplicando o teste F, revelou diferenças altamente significativas ($P < 0,01$) entre os genótipos, para todos os parâmetros (CIRS, CRS, CRRS, CFRS e CFRRS). Para os níveis de alumínio e a interação genótipos x níveis de Al as diferenças não foram significativas ($P > 0,05$) para o parâmetro CIRS e foram altamente significativas ($P < 0,01$) para os demais parâmetros (Tabela D7).

4.5.1. Comprimento inicial da raiz seminal (CIRS)

A comparação, entre médias pelo teste de Tukey, é apresentada na Tabela 34, tendo em vista que a interação não foi significativa. Verifica-se que o CIRS do genótipo UPF86A1169-2b (6,9 cm), sem diferir do genótipo GR9 (6,4 cm), foi superior aos demais genótipos avaliados

Tabela 34. Efeito de quatro níveis de alumínio na solução nutritiva sobre o crescimento inicial da raiz seminal (CIRS) de genótipos de aveia preta.

Genótipos	Níveis de Al (mg/l)				Média
	0	7,5	15	30	
	cm				
UPF-7 (T)	5,97	6,27	5,94	5,69	6,0 bc
UPF86Al169-2b(T)	6,94	6,98	6,77	6,75	6,9a
UPF84AP01	5,87	5,85	6,05	6,20	6,0 bc
Preta comum	5,53	5,72	5,38	5,13	5,4 c
UPF87AP01	5,71	5,59	5,58	5,98	5,7 c
Preta Argentina	6,17	5,88	5,90	5,57	5,9 bc
UPF87AP02	5,87	5,57	5,80	5,47	5,7 c
UPF85AP01	5,79	5,82	5,75	5,56	5,7 bc
UPF771066	5,93	5,77	6,07	5,97	5,9 bc
UPF771352	5,68	6,14	6,03	5,59	5,9 bc
UPF771434	5,69	5,77	6,14	6,17	5,9 bc
UPF771436	5,93	5,86	5,80	5,97	5,9 bc
UPF771456	5,81	4,98	5,59	5,24	5,4 c
UPF841005	6,05	6,02	6,04	5,97	6,0 bc
UPF781101	5,95	6,00	6,10	5,99	6,0 bc
GR9	6,57	6,26	6,41	6,30	6,4ab
Média	5,97	5,96	5,90	5,85	5,9
C.V. Genótipos (%)	2,01				
C.V. Níveis de Al (%)	8,47				

* Médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

(P < 0,05). A média geral foi de 5,9cm, com um coeficiente de

variação para genótipos de 2,01% e de 8,47% para níveis de Al.

A correlação linear simples de CIRS, com os demais parâmetros (Tabela 35), foi significativa pelo teste t, com o CFRS, ao nível de 5% de significância, com um coeficiente de correlação de 15,1%. Suas correlações com os demais parâmetros, não foram significativas, ao nível de 5% de significância.

Em função dos resultados das correlações, os efeitos do alumínio sobre os genótipos de aveia preta são discutidos, apenas em relação ao crescimento da raiz seminal (CRS) e ao crescimento relativo (CRRS).

Tabela 35. Valores de t e coeficiente de correlação (r) das correlações entre os parâmetros de crescimento da raiz seminal, em genótipos de aveia preta submetidas a quatro níveis de Al em solução nutritiva.

Correlações	Valor t	r (%)
CIRS x CRS	0,20 ns	-
x CRRS	0,96 ns	-
x CFRS	2,11 *	15,1
x CFRRS	0,12 ns	-
CRS x CRRS	13,61 **	70,3
x CFRS	60,06 **	97,5
x CFRRS	12,78 **	68,0
CRRS x CFRS	12,67 **	67,7
x CFRRS	92,96 **	98,9
CFRS x CFRRS	12,26 **	66,5

* e ** significativos pelo teste t, respectivamente, aos níveis de 5 e 1% de significância; ns = não significativo.

4.5.2. Crescimento da raiz seminal (CRS)

Na Tabela 36 são apresentadas as comparações entre as médias, através do teste de Tukey, quanto ao parâmetro CRS. No nível 0 de alumínio, o genótipo UPF77434 (24,8cm), que sem diferir ($P > 0,05$) dos genótipos UPF78101 (22,4cm) e UPF87AP01 (21,9cm), apresentou crescimento da raiz seminal superior em relação aos demais genótipos ($P < 0,05$). Para 7,5 mg Al/litro de solução, o genótipo UPF77436 (17,7cm), que sem diferir ($P > 0,05$) de UPF84005, UPF84AP01, UPF77434, UPF77066, UPF77352 e Preta Comum, foi superior aos demais genótipos ($P < 0,05$).

No nível 15 mg Al/l de solução, o genótipo UPF84AP01 (17,3cm), que sem diferir de UPF77434, UPF77436, UPF77066, UPF84005, GR9 e Preta Argentina, superou significativamente os demais genótipos avaliados. Quando submetidos ao nível máximo de Al (30 mg/l) o genótipo UPF77434 (17,6cm), sem diferir significativamente de UPF84AP01, UPF77066 e UPF77436, apresentou CRS superior aos demais genótipos (Tabela 36).

Na comparação de desempenho das aveias pretas em relação às duas testemunhas de aveia branca, verificou-se que em nenhum dos níveis de Al, apresentaram CRS no grupo estatístico superior. Nos níveis 0 e 7,5, a testemunha UPF86Al169-2b foi superior em relação à UPF7. Nos níveis 15 e 30 mg Al/l, as duas testemunhas apresentaram médias de CRS inferiores a todos os genótipos de aveia preta, ao nível de 5% de significância, sem diferirem entre si.

Quanto ao efeito do aumento da concentração de Al na solução, verificou-se que, além das testemunhas, apenas os genótipos UPF77434, UPF87AP02, Preta Comum e UPF87AP01, apresentaram redução significativa entre os níveis 0 e 7,5 mg

Al/1 (Tabela 36).

Tabela 36. Efeito de quatro níveis de alumínio na solução nutritiva sobre o crescimento da raiz seminal (CRS) de genótipos de aveia preta.

Genótipos	Níveis de Al (mg/l)			
	0	7,5	15	30
	----- cm -----			
UPF77434	24,8aA	14,8abcB	15,8abB	17,6aB
UPF84AP01	18,8bcdA	14,8abcA	17,3aA	15,3abA
UPF77066	16,5bcdA	14,2abcA	15,0abcA	13,4abcA
UPF77436	16,6cdeA	17,7aAB	15,3abcAB	13,3abcB
Preta Argentina	14,7deA	12,9bcA	12,5acA	12,4bcA
UPF87AP02	18,2bcdA	11,1cdB	12,9bcdB	11,6bcB
UPF77352	14,3deA	13,9abcA	13,7bcdA	11,6bcA
UPF85AP01	15,5cdeA	11,7bcdA	12,2cdA	11,3bcA
GR9	16,5cdeA	12,9bcAB	14,2abcdAB	11,2bcB
Preta Comum	18,9bcdA	13,8abcB	13,0bcdB	11,2bcB
UPF84005	16,1cdeA	16,1abA	14,6abcAB	11,0bcB
UPF87AP01	21,9abA	11,8bcdB	11,2dB	10,8bcB
UPF77456	11,9eA	12,2bcdA	13,8bcdA	10,6cA
UPF78101	22,4abA	12,6bcA	13,9bcdB	10,0cB
UPF86A1169-2b(T)	19,6bcA	12,7bcB	7,8eC	4,5dC
UPF 7(T)	12,3eA	7,7dB	4,8eB	4,1dB
Média	17,5A	13,2B	12,44B	11,3B
C.V. Genótipos (%)	9,31	11,67		
C.V. Níveis de Al (%)	10,73			

* Médias seguidas da mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Os genótipos UPF77066 e UPF84AP01 considerados

superiores quanto ao parâmetro CRS no nível máximo de Al, não apresentaram redução significativa para o aumento da concentração de Al na solução (Tabela 36). Este mesmo resultado foi observado para os genótipos menos tolerantes no nível máximo, como a Preta Argentina, UPF77352 e UPF77456.

Quanto ao CRS, o comportamento dos genótipos nos níveis de Al é melhor observado, através da análise de regressão polinomial, cujas equações e coeficientes de determinação (R^2) são apresentados na Tabela 37.

O CRS das testemunhas decresceu de forma quadrática, com um R^2 de 100%, significativo ao nível de 1%. A reação dos genótipos Preta Argentina, UPF85AP01, UPF77352 e UPF77456 ao Al, não se expressa significativamente pela regressão linear, quadrática ou cúbica, ao nível de 5% de significância. Resultado semelhante foi obtido em relação ao genótipo UPF84AP01, que apresentou entretanto, significância para a regressão cúbica.

Os genótipos UPF77434 e UPF84AP01, que se destacaram no nível máximo de alumínio, apresentaram decréscimo no CRS, expresso de forma quadrática, enquanto para genótipos UPF77066 e UPF77436, o decréscimo do CRS se expressa de forma linear (Tabela 37).

4.5.3. Crescimento relativo da raiz seminal (CRRS)

A comparação entre as médias do crescimento relativo da raiz seminal, através do teste de Tukey, são apresentados na Tabela 38. Observa-se, em termos percentuais, que a redução de crescimento devido ao aumento na concentração de Al não foi significativa, ao nível de 5% de significância, para os genótipos Preta Argentina, UPF84AP01, UPF77352, UPF77066 e UPF85AP01.

Tabela 37. Equações de regressão polinomial, coeficientes de determinação (R^2) e valores máximos ou mínimos, para o efeito de quatro níveis de Al (Y), sobre o CRS (X) de genótipos de aveia preta.

Genótipos	Equações	R^2 (%)	Máx./ mín.
UPF 7 (T)	$Y=12,28 - 0,73X + 0,015 X^2$	100,0	24,3
UPF86A1169-2b(T)	$Y=19,63 - 1,07X + 0,019 X^2$	100,0	28,2
UPF84AP01	$Y=18,76 - 1,26X + 0,117X^2 - 0,003X^3$	100,0	-
Preta Comum	$Y=17,22 - 0,229X$	78,5	-
UPF87AP01	$Y=21,15 - 1,193X + 0,029X^2$	92,1	20,6
UPF87AP02	$Y=17,29 - 0,64X + 0,015X^2$	70,8	21,3
UPF77066	$Y=16,49 - 0,113X$	67,7	-
UPF77434	$Y=23,43 - 1,127X + 0,031X^2$	83,5	18,2
UPF77436	$Y=17,42 - 0,130X$	78,5	-
UPF84005	$Y=16,79 - 0,17X$	92,5	-
UPF78101	$Y=19,22 - 0,342X$	67,8	-
GR 9	$Y=15,66 - 0,149X$	73,4	-

No maior nível de Al utilizado (30 mg/l), o maior CRRS foi o do genótipo UPF77456 (90,7%), que não diferiu de outros oito genótipos ($P > 0,05$). Nesse nível de Al, as testemunhas UPF86A1169-2b (23,3%) e UPF7 (34,0%), apresentaram CRRS significativamente inferior, no nível de 5% de significância em relação a 11 genótipos de aveia preta (Tabela 38), como também foi, em relação ao parâmetro CRS (Tabela 36).

Tabela 38. Efeitos de quatro níveis de Alumínio na solução nutritiva sobre o crescimento relativo da raiz seminal (CRRS) de genótipos de aveia preta.

Genótipos	Níveis de Al (mg/l)			
	0	7,5	15	30
	----- % -----			
UPF77456	100aA	105,7abAB	116,7aAB	90,7aB
Preta Argentina	100aA	89,0abcdeA	86,7bcdA	85,0abA
UPF84AP01	100aA	79,7bcdefgA	92,7abcA	82,0abcA
UPF77436	100aA	107,7aAB	92,3abcAB	81,0abcB
UPF77352	100aA	99,0abcdA	97,0abA	81,0abcA
UPF77066	100aA	81,3bcdefA	86,0bcdA	76,7abcA
UPF85AP01	100aA	77,3cdefgA	81,7bcdA	75,3abcdA
UPF77434	100aA	59,3fgB	63,3defB	70,7abcdeB
UPF84005	100aA	100,0abcA	90,7abcAB	68,7abcdeB
GR 9	100aA	79,3cdefgAB	87,3bcdAB	68,3bcdeB
UPF87AP02	100aA	61,3fgB	71,0bcdeB	64,0bcdeB
Preta comum	100aA	73,3defgB	69,7cdeB	58,3cdefB
UPF87AP01	100aA	55,0gB	51,7efB	50,0defB
UPF78101	100aA	57,3fgB	63,7defB	46,0efgB
UPF 7(T)	100aA	63,0efgB	39,3efBC	34,0fgC
UPF85A1169-2b(T)	100aA	65,3efgB	40,7fBC	23,3gC
Média	100 A	78,4B	76,0B	65,9B
C.V. Genótipos (%)	8,93			
C.V. Níveis de Al(%)	11,56			

* Médias seguidas da mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Utilizando os critérios: tolerante para CRS > média e sensível para CRS < média e responsivo para CRRS > média e não responsivo para CRRS < média, e considerando-se o maior nível de alumínio utilizado, as aveias pretas avaliadas podem ser classificadas em: a) Tolerantes/responsivos: UPF77434, UPF84AP01, UPF77066, UPF77436, Preta Argentina, UPF77352 e UPF85AP01; b) Tolerantes/não responsivas: UPF87AP02; c) Sensíveis/responsivas: GR9, UPF84005, UPF77456; d) Sensíveis/não responsivas: Preta Comum, UPF78101 e UPF87AP01.

No nível de 30 mg/l Al, as testemunhas são classificadas como sensíveis e não responsivas.

O genótipo UPF77456, apesar de apresentar uma inibição de apenas 9,3% no nível de 30 mg Al/l, em relação ao tratamento com ausência de Al, apresentou um pequeno CRS, caracterizando-se como sensível mas altamente responsivo. Por outro lado, os quatro genótipos que se destacaram quanto ao CRS, UPF77434, UPF84AP01, UPF77066 e UPF77436, apresentaram também pequena redução no crescimento, respectivamente de 29,3%, 18,8%, 23,3% e 19,0%, podendo ser considerados como muito tolerantes e muito responsivos.

Considerando que apenas um genótipo de aveia preta (UPF78101) apresentou inibição do crescimento da raiz seminal superior a 50%, pode-se concluir que a concentração para a separação de genótipos de aveia preta tolerantes e sensíveis é superior a 30 mg Al/l de solução.

Já a concentração de Al para separar-se o nível de tolerância entre aveias pretas e brancas tolerantes, considerando a testemunha utilizada, foi de 15 mg Al/l, pois neste nível o CRRS foi inferior a 50% (Tabela 38).

4.6. Efeito do alumínio sobre alguns parâmetros de crescimento de aveia em cultivo hidropônico.

A influência dos níveis de alumínio sobre o crescimento de dois cultivares de aveia branca foi avaliado através do número de afilhos (NAF), comprimento da maior raiz (CMR), relação de peso foliar (RPF), rendimento de matéria seca das raízes (RMSR), folhas (RMSF), colmos e bainha (RMSCB), parte aérea (RMSPA) e da planta total (MST), e, através da relação raiz/parte aérea (RRPA).

4.6.1. Número de afilhos/vaso (NAF)

A análise de variância dos resultados do número de afilhos (NAF), pelo teste F, detectou diferenças significativas ($P < 0,05$) apenas para os níveis de alumínio, e para a interação genótipo x níveis de alumínio (Tabela D8). Não foram observadas diferenças significativas entre genótipos, sendo o coeficiente de variação de 13,2%.

Pela comparação entre médias, através do teste de Tukey (Tabela 39), verificou-se que na ausência de alumínio, o número de afilhos (NAF) foi significativamente superior no genótipo UPF7 (sensível) em relação a UPF86Al169-2b (tolerante) ao nível de 5% de significância. No nível 10 mg Al/litro, esta posição se inverteu, demonstrando a interferência do Al, inibindo a emissão de afilhos em materiais genéticos mais sensíveis. Na comparação entre os níveis 0 e 10 mg Al/l, observou-se que a redução do número de afilhos foi significativa no cultivar UPF7 e não significativa para UPF86Al169-2b. Estes resultados confirmam os relatados por OTSUKA (1968), que observou ser a tolerância de cultivares de trigo aos solos ácidos, indicada pela diferença no número de afilhos.

Tabela 39. Efeito dos níveis de alumínio sobre alguns parâmetros de crescimento da aveia branca, em cultivo hidropônico.

Genótipos	Níveis de Al (mg/l)					Média
	0	10	20	30	40	
Número de afilhos (NAF)						
UPF86A1169-2b	17,3bA	17,0aA	11,7aB	11,3aB	7,7aB	13,0a
UPF-7	22,7aA	12,0bB	11,3aBC	10,7aBC	7,7aC	12,9a
Média	20,2A	14,5B	11,5C	11,0C	7,7D	12,9
C.V. (%)	13,20					
Comprimento da maior raiz (CMR)						
- cm -						
UPF86A1169-2b	49,3aA	44,7aA	33,7aB	30,7aB	27,0aB	37,1a
UPF-7	36,0bA	33,7bAB	30,3aAB	29,7aAB	25,0aB	30,9b
Média	42,7A	39,2A	32,0B	30,2B	26,0B	34,0
C.V. (%)	11,32					
Rendimento de matéria seca de raízes (RMSR)						
- g/vaso -						
UPF86A1169-2b	1,25	0,50	0,38	0,32	0,25	0,54a
UPF-7	1,21	0,46	0,33	0,23	0,21	0,49b
Média	1,23A	0,48B	0,36C	0,27D	0,23D	0,51
C.V. (%)	8,81					
Rendimento de matéria seca de colmos e bainhas (RMSCB)						
- g/vaso -						
UPF86A1169-2b	0,90	0,52	0,51	0,48	0,50	0,58a
UPF-7	0,76	0,54	0,49	0,50	0,49	0,55a
Média	0,83A	0,52B	0,50B	0,49B	0,49B	0,57
C.V. (%)	8,53					

Genótipos	Níveis de Al (mg/l)					Média
	0	10	20	30	40	
Rendimento de matéria seca das folhas (RMSF)						
- g/vaso -						
UPF86Al169-2b	2,41	1,41	1,00	0,81	0,85	1,30a
UPF-7	2,29	1,16	0,77	0,76	0,70	1,14b
Média	2,35A	1,29B	0,88C	0,79C	0,77C	1,22
C.V. (%)	8,50					
Rendimento de matéria seca da parte aérea (RMSPA)						
- g/vaso -						
UPF86Al169-2b	3,31	1,93	1,51	1,29	1,34	1,87a
UPF-7	3,06	1,70	1,25	1,26	1,19	1,69b
Média	3,18A	1,82B	1,38C	1,28C	1,27C	1,78
C.V. (%)	6,55					
Rendimento de matéria seca da planta (RMSP)						
- g/vaso -						
UPF86Al169-2b	4,56	2,44	1,88	1,61	1,60	2,42a
UPF-7	4,27	2,16	1,59	1,49	1,39	2,17b
Média	4,41A	2,30B	1,76C	1,55C	1,50C	2,30
C.V. (%)	6,31					
Relação de peso foliar (RPF)						
- % -						
UPF86Al169-2b	74,7	72,7	65,7	62,7	63,3	67,8a
UPF-7	75,3	68,3	60,7	61,0	59,0	64,9b
Média	75,0A	70,5A	63,2B	61,8B	61,2B	66,3
C.V. (%)	5,03					

Genótipos	Níveis de Al (mg/l)					Média
	0	10	20	30	40	
Relação raiz/parte aérea (RRPA) - % -						
UPF86Al169-2b	38,0aA	26,0aB	25,0aB	24,7aB	19,0aC	26,5a
UPF-7	39,7aA	27,0aB	26,7aB	18,0bC	17,3aC	25,7a
Média	38,8A	26,5B	25,8B	21,3C	18,2C	26,1
C.V.(%)	8,68					

* Médias seguidas da mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Nos níveis maiores de Al na solução, não foram verificadas diferenças significativas entre os genótipos.

Através da análise de regressão (figura 17), observa-se que no genótipo tolerante, a diminuição do número de afilhos se manifestou de forma linear ($R^2 = 92,2 **$) e no sensível de forma quadrática ($R^2 = 87,8 **$).

4.6.2. Número relativo de afilhos (NRAF)

Quanto ao número relativo de afilhos nos diferentes níveis de Al, verificou-se através da análise de variância (teste F), diferenças altamente significativas $P < 0,01$ para os genótipos, níveis de Al e para a interação genótipo x níveis de Al (Tabela D8), com um coeficiente de variação de 11,54%.

Pela comparação entre as médias (Tabela 40), observa-se que o nº relativo de afilhos (NRAF) no genótipo tolerante foi superior ao sensível, nos níveis 10, 20 e 30 mg Al/l, não diferindo no nível maior (40 mg Al/l), ao nível de

Figura 17. Efeito de níveis de alumínio sobre o número de afillhos (NAF) e sobre o seu número relativo (NRAF), em dois genótipos de aveia.

Tabela 40. Efeito relativo dos níveis de alumínio sobre alguns parâmetros do crescimento da aveia branca em cultivo hidropônico.

Genótipos	Níveis de Al (mg/l)					Média
	0	10	20	30	40	
Número relativo de afilhos (NRAF)						
UPF86Al169-2b	100,0aA	99,0aA	67,3aB	65,7aB	44,3aC	75,3a
UPF-7	100,0aA	53,3bB	50,7bBC	47,7bBC	34,3aC	57,2b
Média	100,0A	76,2B	59,0C	56,7C	39,3D	66,2
C.V.(%)	11,54					
Comprimento relativo da maior raiz (CRMR)						
UPF86Al169-2b	100,0	90,7	68,7	62,3	54,7	75,3b
UPF-7	100,0	94,0	85,0	83,3	70,3	86,5a
Média	100,0A	92,3AB	76,8BC	72,8C	62,C	80,9
C.V.(%)	11,17					
Rendimento relativo de matéria seca de raízes (RRMSR)						
UPF86Al169-2b	100,0	40,3	30,3	25,3	20,3	43,3a
UPF-7	100,0	38,3	27,3	18,7	17,0	40,3b
Média	100,0A	39,3B	28,8C	22,0D	18,7D	41,8
C.V.(%)	6,33					
Rendimento relativo de matéria seca de colmos + bainhas (RRMSCB)						
UPF86Al169-2b	100,0	58,3	58,0	53,3	56,0	65,1b
UPF-7	100,0	70,3	63,7	65,7	64,0	72,7a
Média	100,0A	64,3B	60,8B	60,0B	59,5B	68,9
C.V.(%)	7,48					

Genótipos	Níveis de Al (mg/l)					Média
	0	10	20	30	40	
Rendimento relativo de matéria seca de folhas (RRMSF)						
UPF86A1169-2b	100,0	58,7	41,3	33,7	35,3	53,8a
UPF-7	100,0	51,0	33,3	33,3	30,3	49,6b
Média	100,0A	54,8B	37,3C	33,5C	32,8C	51,7
C.V.(%)	7,98					
Rendimento relativo de matéria seca da parte aérea (RRMSPA)						
UPF86A1169-2b	100,0	58,7	45,7	39,0	40,7	56,8a
UPF-7	100,0	55,3	41,0	41,3	39,0	55,3a
Média	100,0A	57,0B	43,4C	40,2C	39,8C	56,1
C.V.(%)	5,28					
Rendimento relativo de matéria seca da planta (RRMSP)						
UPF86A1169-2b	100,0	53,7	41,3	35,3	35,0	53,1a
UPF-7	100,0	50,7	37,3	35,0	32,7	51,1b
Média	100,0A	52,2B	39,3C	35,2D	33,8D	52,1
C.V.(%)	4,40					

* Médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

5% de significância. Quanto ao efeito dos níveis do Al, no genótipo tolerante, não houve diferença significativa entre o nível 0 e 10, sendo que no sensível, esta diferença foi significativa. Quanto aos níveis de Al, esta inibição foi significativa para os dois genótipos.

A inibição pelo alumínio do NRAF, se expressou na forma de uma regressão linear (Figura 17) para o genótipo UPF86A1169-2b ($R^2 = 91,5^{**}$) e de forma quadrática para o cultivar UPF7 ($R^2 = 87,5^{**}$).

A inibição do afilhamento pelo alumínio também foi verificada em cereais de inverno por MESDAG & BALKEMA - BOOMSTRA (1984).

4.6.3. Comprimento da maior raiz (CMR)

A análise de variância dos resultados da avaliação do comprimento da maior raiz (CMR), revelou diferenças altamente significativas ($P < 0,01$) entre genótipos e níveis de Al (Tabela D8). A interação genótipos x níveis de alumínio foi significativa ao nível de 5% de significância. O coeficiente de variação desta variável foi de 11,32%.

Na comparação entre as médias dos dois genótipos nos níveis de Al (teste de Tukey), observam-se a Tabela 39, que o CMR do genótipo tolerante foi superior ao do sensível nos níveis 0 e 10 mg Al/l ($P < 0,05$), não diferindo nos demais níveis. Para UPF86Al169-2b, a redução no CMR não foi significativa ($P > 0,05$) entre os níveis 0 e 10 mg Al/l, sendo significativa nos demais níveis em relação aos mais baixos. Já no genótipo sensível, a redução não foi significativa entre os níveis 0, 10, 20 e 30 mg Al/l, diferindo apenas no maior nível de alumínio, ao nível de 5% de significância.

Através da análise de regressão (Figura 18) verifica-se que nos dois genótipos avaliados, a redução do CMR se manifestou de forma linear, sendo o coeficiente angular, maior para o genótipo UPFAl169-2b.

4.6.4. Comprimento relativo da maior raiz (CRMR)

A análise de variância dos resultados da avaliação do comprimento relativo da maior raiz (CRMR), detectou diferenças altamente significativas ($P < 0,01$) para os genótipos e os níveis de alumínio (Tabela D8). Mas, a interação genótipos x níveis de alumínio não foi significativa ($P > 0,05$), sendo o coeficiente de variação de 11,17%.

Da comparação entre as médias dos dois genótipos, dentro de cada nível de Al verifica-se que a redução relativa no CMR, foi menor para o cultivar UPF7, em relação ao genótipo UPF86Al169-2b ($P < 0,05$). No nível 40 mg Al/l, a redução no CRMR foi de 24,7% para UPF86Al169-2b e de 13,5% para o cultivar UPF7. A redução média no CRMR não foi significativa ($P > 0,05$) entre os níveis 0 e 10 mg Al/l, diferindo significativamente nos demais níveis, (tabela 40).

4.6.5. Rendimento de matéria seca de raízes (RMSR)

Não foram observadas diferenças significativas entre os genótipos e nem efeitos significativos para a interação genótipos x níveis de Al, na análise de variância dos resultados do rendimento de matéria seca de raízes (RMSR), pelo teste F ao nível de 5% de significância (Tabela D8). Entretanto, para os valores médios dos genótipos, foi detectada diferença significativa. O coeficiente de variação deste parâmetro foi de 8,81%.

Na comparação entre as médias para os genótipos, pelo teste de Tukey, observa-se que o RMSR médio do genótipo tolerante (UPF86Al169-2b) foi significativamente superior ao sensível (UPF7), ao nível de 5% (Tabela 39). Quanto ao efeito do Al sobre o RMSR médio dos dois genótipos, verifica-se uma redução significativa entre os níveis 0 e 10 mg Al/l, 10 e 20 mg Al/l e 20 e 30 mg Al/l, não diferindo entre os níveis 30 e 40 mg Al/l.

Estes resultados demonstram que o maior comprimento das raízes, para o genótipo tolerante em relação ao sensível, não se evidenciou em termos de rendimento de matéria seca. Resultados semelhantes, foram relatados por diversos autores (SARTAIN & KAMPRATH, 1978 e HOWELLER & CADAVID, 1976). Atribui-se esse fato ao engrossamento, nas raízes de plantas sensíveis provocado pelo alumínio, não diferindo entretanto em peso, com as raízes de plantas não afetadas.

Figura 18. Efeito dos níveis de alumínio sobre o comprimento da maior raiz (CMR), em dois genótipos de aveia.

4.6.6. Rendimento relativo de matéria seca de raízes (RRMSR)

A análise de variância dos resultados da avaliação do RRMSR revelou diferenças altamente significativas ($P < 0,01$) para genótipos e níveis de alumínio, mas para a interação ela não foi significativa ($P > 0,05$) (Tabela D8). O coeficiente de variação obtido para este parâmetro foi de 6,33%.

A comparação entre as médias dos genótipos, pelo teste de Tukey (Tabela 40), mostrou que o RRMSR foi significativamente maior no genótipo tolerante (UPF86Al169-2b) que no sensível, ao nível de 5% de significância. Verifica-se, na mesma tabela, que a inibição do Al sobre a média dos genótipos, foi significativa entre os níveis 0 e 10, 10 e 20 e 20 e 30 mg Al/l, não diferindo significativamente entre os níveis 30 e 40 mg Al/l.

4.6.7. Rendimento de matéria seca de colmos e bainhas (RMSCB)

A análise de variância do RMSCB revelou diferenças significativas entre os níveis de Al, e diferenças não significativas entre os genótipos e para a interação genótipos x níveis de Al, conforme a Tabela D8. O coeficiente de variação para os resultados deste parâmetro foi de 8,54%.

Na média dos níveis de Al, a comparação pelo teste de Tukey, mostrou que o RMSCB foi significativamente inferior no nível de 10 mg Al/l em relação ao tratamento com ausência de Al, não diferindo nos demais níveis de Al, ao nível de 5% de significância (Tabela 39).

4.6.8. Rendimento relativo de matéria seca de colmos + bainhas (RRMSCB)

A análise de variância dos resultados da avaliação do RRMSCB revelou diferenças altamente significativas ($P < 0,01$) entre os genótipos e os níveis de alumínio, não sendo significativa a interação entre eles. O coeficiente de variação obtido para este parâmetro foi de 7,48% (Tabela D8).

Na média dos níveis de Al, o genótipo sensível UPF7, apresentou RRMSCB médio superior ao genótipo tolerante, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância (Tabela 40). No entanto, a média dos dois genótipos sofreu redução significativa do RRMSCB do nível 0 para o nível com 10 mg Al/l, sem que este tenha diferido significativamente dos demais níveis mais elevados de Al.

4.6.9. Rendimento de matéria seca das folhas (RMSF)

A análise de variância dos resultados do rendimento de matéria seca das folhas (RMSF) revelou diferenças significativas entre os genótipos e níveis de Al ($P < 0,05$). A interação genótipos x níveis de Al não foi significativa, ao nível de 5% (Tabela D8). O coeficiente de variação para este parâmetro foi de 8,5%.

Pela comparação entre as médias dos genótipos, (teste de Tukey), verificou-se que o RMSF do genótipo tolerante foi, superior ao do sensível ($P < 0,05$), conforme Tabela 39. O nível 10 mg Al/l, causou uma redução significativa no RMSF, em relação ao tratamento com 0 de Al. Também foi significativa a redução do RMSF entre os níveis 10 e 20 mg Al/l, não observando-se diferenças significativas entre o nível 20 e os mais elevados de Al.

4.6.10. Rendimento relativo de matéria seca das folhas (RRMSF)

A análise de variância dos resultados da avaliação do RRMSF revelou diferenças significativas entre genótipos ($P <$

0,05) e altamente significativas ($P < 0,01$) entre os níveis de Al. A interação genótipos x níveis de Al não foi significativa, e o coeficiente de variação obtido para este parâmetro foi de 7,98% (Tabela D8).

Pela comparação entre as médias, pelo teste de Tukey, observou-se que o genótipo UPF86Al169-2b (tolerante), apresentou RRMSF na média dos níveis de Al superior ao do genótipo sensível (UPF7), ao nível de 5% de significância (Tabela 40). Quanto à média dos dois genótipos em cada nível de Al, verificou-se que o RRMSF sofreu uma redução significativa, entre os níveis 0 e 10 e 10 e 20 mg Al/l, sem apresentar diferença significativa entre os demais níveis de Alumínio.

Estes resultados demonstram que o crescimento da folha é um dos parâmetros mais afetados pela toxicidade do alumínio. Este fato pode ser atribuído à menor absorção de nutrientes, especialmente nitrogênio, e de água pelas plantas, fatores que influenciam diretamente a expansão foliar. Resultados semelhantes foram relatados por PAVAN & BINGHAN (1982) e WAGATSUMA & KANEKO (1987).

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

A análise de variância dos resultados do RMSPA mostram diferenças altamente significativas ($P < 0,01$) entre os genótipos e os níveis de Al, enquanto a interação genótipos x níveis de Al não foi significativa ao nível de 5% de significância (Tabela D8). O coeficiente de variação deste parâmetro foi de 6,55%.

Através da comparação da média dos genótipos, verificou-se que o RMSPA do genótipo tolerante foi superior ao sensível, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância (Tabela 39).

Quanto à comparação entre os níveis de Al, observa-se que a redução no RMSPA foi significativa ($P < 0,05$) entre os

níveis 0 e 10 e 10 e 20 mg Al/l, não diferindo nos demais níveis de Al ($P > 0,05$).

4.6.12. Rendimento relativo da matéria seca da parte aérea (RRMSPA)

A análise de variância dos resultados da avaliação do RRMSPA não revelou diferenças significativas entre os genótipos e nem significância para a interação genótipos x níveis de alumínio ($P > 0,05$). Os níveis de alumínio diferiram ao nível de 1% de significância (Tabela D8). O coeficiente de variação deste parâmetro foi de 5,28%.

Na comparação entre médias dos níveis de alumínio, através do teste de Tukey, observou-se uma redução significativa no RRMSPA entre os níveis 0 e 10 e 10 e 20 mg Al/l, sem diferenças significativas entre os demais níveis de alumínio (Tabela 39).

4.6.13. Rendimento de matéria seca da planta (RMSP)

A análise de variância dos resultados da avaliação do RMSP revelou diferenças altamente significativas ($P < 0,01$) para os genótipos e os níveis de Al. A interação genótipos x níveis de alumínio não foi significativa ($P > 0,05$). O coeficiente de variação para este parâmetro foi de 6,31% (Tabela D8).

O genótipo tolerante UPF86Al169-2b, pelo teste de Tukey, apresentou na média dos níveis, RMSP superior ao do cultivar sensível UPF7, ao nível de 5% de significância (Tabela 39). Na comparação da média dos dois genótipos, em cada nível de Al, observou-se que a redução foi significativa entre os níveis 0 e 10 mg Al/l, 10 e 20 mg Al/l ($P < 0,05$), não diferindo nos demais níveis de alumínio.

4.6.14. Rendimento relativo de matéria seca da planta (RRMSP)

A análise de variância dos resultados de avaliação do RRMSP, revelou diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os genótipos e altamente significativas ($P < 0,01$) entre os níveis de Al. A interação genótipos x níveis de Al não foi significativa, ao nível de 5% de significância. O coeficiente de variação para este parâmetro foi de 4,4% (Tabela D8).

A média dos níveis de Al para o RRMSP do genótipo tolerante UPF86Al169-2b foi superior ao do genótipo sensível UPF7, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância (Tabela 40). Quanto à comparação entre as médias dos níveis de Al, verifica-se que a redução no RRMSP foi significativa entre os níveis 0 e 10 mg e 10 e 20 mg Al/l, sem diferirem entre os níveis 20, 30 e 40 gm Al/litro.

4.6.15. Relação de peso foliar (RPF)

A análise de variância dos resultados dos RPF revelou diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os genótipos e altamente significativas ($P < 0,01$) para os níveis de alumínio. A interação genótipos x níveis de alumínio não foi significativa ao nível de 5% de significância (Tabela D8). O coeficiente de variação deste parâmetro foi de 5,03%.

Pela comparação entre as médias dos genótipos, através do teste de Tukey, observa-se que o RPF no genótipo tolerante foi significativamente superior ao RPF do cultivar sensível (UPF7), conforme Tabela 39. Em relação à comparação das médias dos dois níveis de Al, verifica-se que a diferença não foi significativa entre os níveis 0 e 10 mg Al/l. Entre os níveis 0 e 10 mg Al/l e os demais, a redução no RPF foi significativa, ao nível de 5% de significância.

4.6.16. Relação do peso de raiz/parte aérea (RRPA)

A análise de variância dos resultados da RRPA, não revelou diferença significativa ($P > 0,05$) entre os genótipos e uma diferença altamente significativa ($P < 0,01$) entre os níveis de Al. A interação genótipos x níveis de alumínio foi significativa ao nível de 5% de significância. O coeficiente de variação obtido para este parâmetro foi de 8,68% (Tabela D8).

Quanto à comparação entre as médias, pelo teste de Tukey, verifica-se na Tabela 39 que para o nível 30 mg Al/l, o genótipo tolerante apresentou RRPA superior ao do cultivar sensível ($P < 0,05$), sem diferirem, dentro dos demais níveis ($P > 0,05$). Em relação à média dos níveis de Al, observou-se uma redução significativa entre os níveis 0 e 10 mg Al/l que por sua vez não diferiu do nível 20 mg Al/l ($P < 0,05$). Os níveis de Al 20 e 30 diferiram entre si ao nível de 5% de significância, não sendo detectada diferença significativa entre os níveis 30 e 40 mg Al/litro.

A regressão do efeito dos níveis de Al sobre o RRPA dos genótipos, expressou-se na forma linear, com coeficientes de determinação (R^2) de 88,1% e 79,6%, respectivamente, para UPF7 e UPF86Al169-2b (Figura 19).

Este resultado confirma os relatados por BILSKI (1987), mostrando que a raiz de aveia é mais afetada pela toxicidade do alumínio que a parte aérea.

A partir da análise dos resultados das diversas variáveis apresentadas, verificou-se que apenas para os parâmetros comprimento da maior raiz (CMR), número de afilhos/vaso (NAF), número relativo de afilhos/vaso (NRAF) e relação raiz/parte aérea (RRPA), foi observada a interação genótipo e níveis de alumínio.

Este fato reforça as posições de FOY et al., (1967); REID et al., (1971) e MOORE et al., (1976), que consideraram o crescimento da raiz, como o melhor indicador da reação das plantas à toxicidade do alumínio.

Figura 19. Efeito dos níveis de alumínio sobre a relação de peso da raiz / parte aérea (RRPA), em dois genótipos de aveia.

Para as correlações linear simples, realizadas entre o comprimento da maior raiz (CMR) e os parâmetros de rendimento da matéria seca e suas relações (RPF e RRPA), apresentados na Tabela 41, observou-se que todos foram altamente significativos ($P < 0,01$) pelo teste t.

Tabela 41. Valores de t e coeficientes de correlação (r) entre os parâmetros de crescimento e os rendi- mento de dois genótipos de aveia, submetidos a cinco níveis de alumínio, em cultivo hidropônico.

Correlações		Valor t	r (%)
CMR x	RMSR	4,43 **	68,2
	RMSCB	4,78 **	67,1
	RMSF	5,64 **	73,0
	RMSPA	5,64 **	72,9
	RMSP	5,42 **	71,6
	RPF	5,36 **	71,2
	CRM	4,74 **	66,7
	RRMSR	4,79 **	67,1
	RRMSF	5,33 **	71,0
	RRMSPA	5,01 **	68,6
	RRMSP	4,98 **	68,5
	RRPA	4,38 **	63,8
RMSR x	RMSCB	13,98 **	93,5
	RMSF	25,07 **	97,8
	RMSPA	29,68 **	98,4
	RMSP	44,82 **	94,3
	RPF	6,94 **	79,5
	CMRR	4,39 **	63,8
	RRMSR	66,28 **	94,7
	RRMSF	25,15 **	97,9
	RRMSPA	30,42 **	98,5
	RRMSP	41,87 **	99,2
	RRPA	13,14 **	92,8
RRMSF x	RMSPA	65,44 **	99,7
	RMSP	48,35 **	99,4
	RPF	9,74 **	87,4

Continua

Continuação

Correlações		Valor t		r (%)
	CMRR	4,31	**	63,2
	RRMSR	22,7	**	97,4
	RRMSF	57,5	**	99,6
	RRMSPA	35,17	**	98,9
	RRMSP	32,47	**	98,7
	RRPA	9,08	**	86,4
RRMSPA x	RMSF	89,72	**	99,8
	RPF	8,37	**	84,5
	CMRR	4,27	**	62,8
	RRMSR	25,23	**	97,8
	RRMSF	38,73	**	99,1
	RRMSPA	35,45	**	98,9
	RRMSP	34,86	**	98,9
	RRPA	9,14	**	86,5
RMSP x	RPF	7,42	**	83,1
	CMRR	4,33	**	63,4
	RRMSR	34,11	**	98,8
	RRMSF	37,39	**	99,0
	RRMSPA	39,60	**	99,1
	RRMSP	45,34	**	99,3
	RRPA	10,30	**	88,9
RPF x	CMRR	3,67	**	57,0
	RRMSR	6,76	**	78,7
	RRMSF	9,57	**	87,5
	RRMSPA	7,99	**	83,4
	RRMSP	7,59	**	82,0
	RRPA	5,32	**	70,1
CMRR x	RRMSR	4,45	**	64,4
	RRMSF	4,52	**	65,0
	RRMSPA	4,73	**	66,7
	RRMSP	4,64	**	65,4
	RRPA	4,59	**	65,5
RRMSR x	RRMSF	25,47	**	97,9
	RRMSPA	32,45	**	98,7
	RRMSP	50,70	**	99,5
	RRPA	13,56	**	93,2

Continua

C o n t i n u a ç ã o

Correlações		Valor t	r (%)
RRMSF x	RRMSPA	57,85 **	99,6
	RRMSP	44,81 **	99,3
	RRPA	9,41 **	87,2
RRMSPA x	RRMSP	91,51 **	99,8
	RRPA	9,80 **	88,0
RRMSP x	RRPA	10,42 **	90,0

** Significativo pelo teste t ao nível de 1% de significância; ns = não significativo.

4.7. Efeito de níveis de alumínio na solução nutritiva sobre o teor e a extração de alumínio e alguns macronutrientes pela aveia.

4.7.1. Rendimento de matéria seca

A análise de variância dos resultados do rendimento de matéria seca da planta de aveia (RMSP), submetida a quatro níveis de Al, revelou não ser significativa a interação genótipos x níveis de alumínio pelo teste F, ao nível de 5% de significância (Tabela D9). As diferenças entre os genótipos e os níveis de alumínio, foram altamente significativas ($P < 0,01$). Também foram detectadas, diferenças altamente significativas entre a matéria seca de raízes e da parte aérea, genótipos e níveis de Al e a interação partes x níveis de Al. A interação partes x genótipos foi significativa ao nível de 5%, não sendo significativa a interação genótipos x níveis de Al e a interação tripla, entre partes x genótipos x níveis de alumínio (Tabela D10).

O rendimento médio de MS das plantas do genótipo UPF86Al169-2b, foi superior ao do cultivar UPF7, pelo teste de

Tukey, ao nível de 5% de significância (Tabela 42). Quanto ao efeito dos níveis de alumínio observa-se, uma redução significativa no rendimento de matéria seca entre os níveis 0 e 10 mg Al/l e entre 10 e 20 mg Al/l, sem que este último nível diferisse do nível de 30 mg Al/l. Em termos percentuais, o maior nível de alumínio promoveu, uma redução de 65% no rendimento médio de matéria seca dos dois genótipos (Tabela 42).

Tabela 42. Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva, sobre o rendimento de matéria seca de plantas de dois genótipos de aveia.

Níveis de Al (mg/l)	Genótipos		Média
	UPF86A1169-2b	UPF 7	
	mg/vaso		
0	4560(100)	4267(100)	4413(100)a
10	2437(53)	2163(51)	2300(52)b
20	1883(41)	1587(37)	1735(39)c
30	1607(35)	1487(35)	1547(35)c
Média	2622(100)A	2376(91)B	2499
C.V.(%)	5,8		

- Médias seguidas da mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

- Números entre parênteses indicam o rendimento relativo (%)

Com relação ao fracionamento da planta, o rendimento médio de matéria seca da parte aérea do genótipo UPF86A1169-2b foi superior ao cultivar UPF7, sem diferir entretanto, quanto ao rendimento de MS da raiz (Tabela 43).

O rendimento de MS da parte aérea foi superior ao rendimento do MS da raiz nos dois genótipos.

Quanto ao efeito dos níveis de alumínio, sobre o rendimento médio de MS dos genótipos (Tabela 44), verifica-se que, tanto para parte aérea como para as raízes, a redução foi significativa entre os níveis 0 e 10 mg Al/l e entre os níveis 10 e 20 mg Al/l, sem que os níveis 20 e 30 diferissem entre si ($P > 0,05$). Entretanto, o efeito inibitório foi mais pronunciado nas raízes do que na parte aérea onde, a redução no rendimento de MS no maior nível de alumínio foi de 60%, enquanto que para as raízes a redução foi de 78%. Estes resultados confirmam os relatados por de ALAM & ADAMS (1979a), BILSKI (1987) e KARATAGLIS (1987), comprovando que o efeito da toxicidade do Al é mais pronunciada nas raízes do que na parte aérea.

Tabela 43. Rendimento de matéria seca da parte aérea e das raízes, de dois genótipos de aveia.

Partes da planta	UPF86A1169-2b (A)	UPF7 (B)	Relativo (B/A)
	----- mg/vaso -----	-----	(%)
Parte aérea	2009a A	1817a B	90
Raízes	613b A	558b A	91

* Médias seguidas da mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Tabela 44. Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva, sobre o rendimento médio de matéria seca da parte aérea e das raízes de plantas de aveia.

Níveis de Al (mg/l)	Parte da planta		Relativo B/A
	Parte aérea (A)	Raízes (B)	
	----- mg/vaso -----	-----	%
0	3181(100)aA	1231(100)aB	39
10	1817(57)bA	481(39)bB	26
20	1380(43)cA	355(29)cB	26
30	1275(40)cA	272(22)cB	21
Média	1913A	585,4B	
C.V. (%)	7,0		

- Médias seguidas da mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

- Números entre parênteses indicam o rendimento relativo.

4.7.2 Alumínio

A análise de variância dos teores de alumínio na planta (TAIP) não foi significativa para a interação genótipo x níveis de alumínio e para a diferença entre os genótipos, ao nível de 5% de significância (Tabela D9). O efeito de níveis de alumínio, entretanto, foi significativo ($P < 0,05$).

Em relação às partes da planta, a análise de variância não revelou variação significativa para as interações genótipos x partes x níveis de alumínio e genótipos x níveis de alumínio, bem como em relação aos genótipos. Mas, foram altamente significativas as diferenças entre partes, níveis de alumínio e as interações entre partes x genótipos e partes x níveis de alumínio, ao nível de 1% de significância (Tabela D10).

Tabela 45. Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva sobre o teor e a extração de alumínio por plantas de dois genótipos de aveia.

Níveis de	Genótipos		Média
Al (mg/l)	UPF86A1169-2b	UPF 7	
Teor (ppm)			
0	126,0	97,8	111,9(100)d
10	387,8	424,1	405,9(363)c
20	683,8	700,7	692,2(619)b
30	959,6	867,2	913,4(816)a
Média	529,3 A	522,4 A	
C.V.(%)	15,3		
Extração (mg/vaso)			
0	513,8	417,0	465,4(100)c
10	942,7	918,2	930,5(200)b
20	1287,0	1103,8	1195,4(257)ab
30	1557,5	1288,3	1422,9(306)a
Média	1075,3 A	931,8 A	
C.V.(%)	16,4		

- Médias seguidas da mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.
- Números entre parênteses indicam o rendimento relativo (%)

A comparação entre (Tabela 45), revelou que o teor de alumínio diferiu significativamente entre os níveis, aumentando 263, 519 e 716%, respectivamente, nos níveis 10, 20 e 30 mg Al/l, em relação ao tratamento com ausência de Al. O aumento do teor de Al, com o aumento da acidez também foi verificado por ALAM (1985).

A raízes apresentaram teor de Al significativamente superior ao da parte aérea, nos dois genótipos avaliados (Tabela 46). O genótipo UPF86Al169-2b apresentou teor de Al nas raízes significativamente superior ao cultivar sensível UPF7, enquanto na parte aérea esse teor foi menor, não diferindo significativamente.

Esse teor maior de Al na raiz do genótipo tolerante, sugere que a sua tolerância seja devida à imobilização do elemento nas raízes (FOY et al., 1978) ou pela sua exclusão da plasmalema, impedindo seu transporte para a parte aérea, o que concorda com resultados relatados por FOY, (1971); MUGWIRA et al., (1981) e WAGATSUMA & YAMASAKU, (1985).

Tabela 46. Teor médio de alumínio na parte aérea e nas raízes de dois genótipos de aveia.

Partes da planta	UPF86Al169-2b (A)	UPF 7 (B)	Relativo (B/A)
	Teor (ppm)		
Parte aérea	359b A	424b A	118
Raízes	1106a A	947a B	86

- Médias seguidas da mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Pela análise de regressão verificou-se que na raiz o teor de alumínio variou de forma quadrática, com um coeficiente de determinação (R^2) de 99,3%, enquanto na parte

Figura 20. Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva sobre o teor de alumínio na parte aérea e nas raízes de aveia.

aérea, o aumento foi linear ($R^2 = 97,4\%$), em relação aos níveis de Al (Figura 20),

Em relação à extração de alumínio (EAlP) pelas plantas, a análise de variância para a interação genótipos x níveis de Al não foi significativa, enquanto as causas individualmente, apresentaram diferenças significativas, pelo teste F, ao nível de 5% de significância, para genótipos e à 1% para níveis de Al (Tabela D9). Em relação às partes, as interações genótipos x partes x níveis de Al, partes x genótipos e genótipos x níveis, não foram significativas. A interação partes x níveis de Al foi altamente significativa ($P < 0,01$), bem como as diferenças entre as médias para as partes, genótipos e níveis de Al (Tabela D10).

Para a média das extrações dos dois genótipos observa-se na Tabela 45, que houve diferenças significativas pelo teste de Tukey, entre os níveis 0 e 10 mg Al/l, mas entre os níveis 10 e 20, e 20 e 30 mg Al/l não houve diferenças ($P > 0,05$). No nível de 30 mg Al/l, a extração média de alumínio foi significativamente superior aos níveis 0 e 10 mg Al/l.

4.7.3. Nitrogênio

A análise de variância dos resultados de teor de nitrogênio na planta (TNP) revelou diferenças significativas para a interação genótipo x níveis de alumínio a 5% de significância e para genótipos a 1%, enquanto as diferenças entre os níveis de Al não foram significativas ao nível de 5% de significância (Tabela D9).

Pela comparação entre as médias dos genótipos (Tabela 47), através do teste de Tukey, observa-se que os teores de nitrogênio no genótipo tolerante foram superiores

aos teores do genótipo sensível, nos níveis 0, 10 e 20 mg Al/l, não diferindo no nível 30 mg Al/l. Quanto ao comportamento de cada genótipo nos níveis de alumínio (Tabela 47), não se observou diferenças significativas entre as médias do cultivar UPF7, enquanto que para o genótipo UPF86Al169-2b, o teor de N na ausência de alumínio foi significativamente superior ao nível 30 mg Al/l, sem diferir dos níveis 10 e 20 mg Al/l, que por sua vez não diferiram entre si.

A análise de regressão do efeito de níveis de alumínio sobre o teor de nitrogênio na planta, mostrou que a variação se manifesta na forma quadrática para o cultivar UPF 7 ($R^2 = 99,3\%^{**}$) e linear ($R^2 = 57,3\%^{**}$) para o genótipo UPF86Al169-2b (Figura 21).

Quanto à extração de nitrogênio pelas plantas (ENP), a análise de variância revelou que foi significativa a interação genótipo x níveis de Al ($P < 0,05$), bem como para os componentes individuais da interação (Tabela D9).

A comparação entre as médias dos genótipos (teste de Tukey), mostrou que a exemplo do teor, a extração de N pelo genótipo tolerante foi superior ao sensível, nos níveis 0, 10 e 20 mg Al/l, mas não diferindo no nível 30 mg Al/l (Tabela 47). Com relação ao comportamento de cada genótipo nos níveis de Al, verifica-se que as mesmas apresentaram uma redução significativa entre os níveis 0 e 10 mg Al/l e entre 10 e 20 mg Al/l, sem diferirem entre os níveis 20 e 30 mg Al/l.

A análise de regressão do efeito dos níveis de Al mostrou que a variação na extração de N ocorreu de forma quadrática para dois genótipos (Figura 21).

Figura 21. Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva sobre o teor e a extração de nitrogênio por plantas de dois genótipos de aveia.

Tabela 47. Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva, sobre o teor e extração de nitrogênio por plantas de dois genótipos de aveia.

Níveis de Al (mg/l)	Genótipos	
	UPF86A1169-2b	UPF 7
Teor (%)		
0	3,4a A	3,1a B
10	3,2abA	2,9a B
20	3,3abA	2,9a B
30	3,1b A	3,1a A
Média	3,3 A	3,0 B
C.V.(%)	4,0	
Extração (mg/vaso)		
0	156,0a A	130,3aB
10	77,0b A	63,2bB
20	61,5c A	46,9cB
30	50,2c A	46,2cA
Média	86,2 A	71,6 B
C.V.(%)	7,6	

- Médias seguidas da mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Em relação às partes da planta, a análise de variância dos resultados de teor e extração de N mostrou que a interação genótipo x partes x níveis de Al foi significativa, através do teste F, ao nível de 5% de significância (Tabela D10). Nessa mesma tabela, verifica-se que também foram altamente significativas as interações genótipos x níveis de Al, partes x níveis de Al, partes x

genótipos e os fatores componentes genótipos, níveis de Al e partes ($P < 0,01$).

A comparação entre as médias, pelo teste de Tukey, do desdobramento da interação entre genótipos quanto ao teor de N nas raízes, pode ser observada na Tabela 48, que não houve diferença significativa na ausência de Al. Com o

Tabela 48. Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva sobre o teor e extração de nitrogênio pela parte aérea e as raízes de dois genótipos de aveia.

Níveis de Al (mg/l)	Raízes		Parte aérea	
	UPF86A1169-2b	UPF 7	UPF86A1169-2b	UPF 7
Teor (%)				
0	1,8cA	1,8bA	4,0aA	3,5aB
10	2,1abA	1,8bB	3,4bA	3,2bB
20	2,0bcB	2,2aA	3,6bA	3,1cB
30	2,8aA	2,1aB	3,3bA	3,3abA
Média	2,1 A	2,0 A	3,6 A	3,3 B
C.V. (%)	4,0			
Extração (mg/vaso)				
0	22,3aA	22,4aA	133,7aA	107,9aB
10	10,6bA	8,2bA	66,4bA	54,9bB
20	7,6bA	7,5bA	53,9cA	38,7cB
30	7,3bA	4,8bA	42,9dA	42,1cA
Média	11,9 A	10,7 B	74,2 A	60,9 B
C.V. (%)	9,4			

- Médias seguidas da mesma letra, minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, dentro de cada parte, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

aumento da concentração de Al, o teor de N nas raízes do genótipo UPF86Al169-2b, foi superior ao cultivar UPF7 ($P < 0,05$) nos níveis 10 e 30 mg Al/l e inferior no nível de 20 mg Al/l. Na parte aérea, o teor de N do genótipo UPF86Al169-2b foi superior ao sensível nos níveis 0, 10 e 20 mg Al/l, não diferindo no nível de 30 mg Al/l.

A análise de regressão do efeito de níveis de Al sobre o teor de N nas partes da planta, revelou que na parte aérea, a variação se manifesta através de uma equação quadrática nos dois genótipos, enquanto nas raízes é linear (Figura 22), com o aumento da concentração de alumínio na solução.

A comparação entre as médias da parte aérea e das raízes (Tabela 49), mostra que nos dois genótipos, o teor de N da parte aérea é superior ao das raízes ($P < 0,05$), em todos os níveis de alumínio. No genótipo tolerante, o teor de N da parte aérea na ausência de Al, é superior ($P < 0,05$) em relação aos níveis com Al, que não diferiram entre si. No cultivar sensível, o teor de N do nível 0 de Al somente diferiu dos níveis 10 e 20 mg Al, mas não diferiu do nível 30 mg Al/l. Esse resultado pode ser explicado pelo efeito de concentração do nutriente nos tecidos, provocado pela redução no rendimento de MS.

Nas raízes, o efeito de acumulação do N, em função do aumento do teor de Al na solução, é mais marcante no cultivar UPF7 que no genótipo tolerante (Tabela 49).

Quanto à extração de N pelas raízes, verificou-se que, o genótipo UPF86Al169-2b foi superior ao sensível apenas para a média dos quatro níveis de Al (Tabela 48). Na parte aérea, a extração de N pelo genótipo UPF86Al169-2b foi superior ao do cultivar UPF7, nos níveis 0, 10 e 20 mg Al/l, não diferindo no nível de 30 mg Al/l. Já em

Figura 22. Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva sobre o teor de nitrogênio na parte aérea (a) e nas raízes (b), de dois genótipos de aveia.

Figura 23. Efeito de níveis de alumínio na solução nutritiva sobre a extração de nitrogênio da parte aérea (a) e das raízes (b), de dois genótipos de aveia.

relação às partes, verifica-se que nos dois genótipos, a extração pela parte aérea foi superior à das raízes ($P < 0,05$).

Tabela 49. Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva, sobre o teor e a extração de nitrogênio pela parte aérea e raízes de dois genótipos de aveia.

Níveis de Al (mg/l)	UPF86A1169-2b		UPF 7	
	Parte aérea	Raízes	Parte aérea	Raízes
Teor (%)				
0	4,0aA	1,8cB	3,5aA	1,8bB
10	3,4bA	2,1abB	3,2bcA	1,8bB
20	3,6bA	2,0bcB	3,1cA	2,2aB
30	3,3bA	2,8aB	3,3abA	2,1aB
Média	3,6 A	2,1 B	3,3 A	2,0 B
C.V.(%)	4,0			
Extração (mg/vaso)				
0	133,7aA	22,3aB	107,9aA	22,4aB
10	66,4bA	10,6bB	54,9bA	8,2bB
20	53,9cA	7,6bB	38,7cA	7,5bB
30	42,9dA	7,3bB	42,1cA	4,8bB
Média	74,2 A	11,9 B	60,9 A	10,7 B
C.V.(%)	5,5			

- Médias seguidas da mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, dentro de cada genótipo não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

A análise de regressão do efeito de alumínio sobre a extração de N pela parte aérea revelou que ocorreu uma variação expressa na forma de uma equação quadrática, para os dois genótipos, enquanto para as raízes, ocorreu uma redução de forma linear (Figura 23).

4.7.4. Fósforo

A análise de variância dos teores de fósforo da planta (TPP) revelou que a interação genótipo x níveis de alumínio foi altamente significativa ($P < 0,01$), enquanto que para extração (EPP) a interação não foi significativa, ao nível de 5% de significância (Tabela D9). Tanto para o teor quanto para a extração, as diferenças foram significativas para os genótipos e os níveis de Al ($P < 0,05$).

Na Tabela 50, observa-se que o teor de P da planta do genótipo UPF86Al169-2b foi superior ao do cultivar UPF 7, na média dos níveis e nos níveis 0 e 20 mg Al/l, não diferindo nos demais níveis. Com o aumento da concentração de alumínio na solução, verificou-se um aumento do teor de fósforo na planta, que foi mais elevado no nível de 20 mg Al/l para o genótipo UPF86Al169-2b, sendo que no genótipo UPF 7, seu teor no nível de 10 mg Al/l foi significativamente superior ao nível 0, não diferindo nos demais níveis de Al. Estes resultados discordam daqueles encontrados em aveia por ALAM (1985), que observou menores concentrações de P na planta nos solos ácidos em ausência de calagem em relação aos tratamentos com calagem. Esse resultado poderia ser explicado pela maior disponibilidade de Fe no solo não corrigido, que estaria diminuindo a disponibilidade de fósforo.

Pela análise de regressão do efeito dos níveis de Al sobre o teor de P verifica-se que nos dois genótipos,

ocorreu uma variação expressa na forma de uma equação quadrática, com um R^2 de 95,7% para UPF7 e 99,3% para UPF86Al169-2b (Figura 24).

Tabela 50. Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva sobre o teor e extração de fósforo pela planta, de dois genótipos de aveia.

Níveis de	Genótipo		Média
Al (mg/l)	UPF86Al169-2b	UPF 7	
Teor (%)			
0	0,21cA	0,18bB	0,19 c
10	0,35bA	0,35aA	0,35 b
20	0,41aA	0,36aB	0,38 a
30	0,33cA	0,35aA	0,34 b
Média	0,32A	0,31B	
C.V.(%)	5,3		
Extração (mg/vaso)			
0	9,3	7,6	8,5a
10	8,4	7,5	8,0a
20	7,7	5,6	6,7b
30	5,3	5,1	5,2c
Média	7,7A	6,5A	7,1
C.V.(%)	8,7		

- Médias seguidas da mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Com relação à extração de P na média dos níveis de Al, o genótipo UPF86Al169-2b apresentou valor maior que o genótipo UPF7 (Tabela 50). Quanto ao efeito de

níveis, na média dos dois genótipos, a extração não diferiu nos níveis 0 e 10 mg Al/l, que superaram o nível 20, que por sua vez, foi superior ao nível 30 mg Al/l ($P < 0,05$).

A análise dos resultados do fracionamento da planta verificou que a interação genótipos x partes x níveis de alumínio não foi significativa em relação ao teor de P, bem como a diferença entre os genótipos ($P > 0,05$) (Tabela D10). As interações genótipo x níveis de Al e partes x níveis de Al e os níveis de Al e as partes, diferiram significativamente pelo teste F, ao nível de 1% de significância, enquanto a interação entre partes x genótipos foi significativa ao nível de 5%.

Na Tabela 51, verifica-se que o teor de fósforo da parte aérea foi superior ao das raízes, na média dos dois genótipos, e nos níveis 0, 10 e 20 mg Al/l e que os teores não diferiram no nível 30 mg Al/l. Na comparação entre genótipos (Tabela 52), observa-se que não houve diferenças significativas quanto ao teor de P nas raízes, mas que na parte aérea, o teor de P do genótipo tolerante foi superior ao sensível ($P < 0,05$). O genótipo tolerante também apresentou teor de fósforo na parte aérea significativamente superior ao das raízes, enquanto no cultivar sensível essa diferença não foi significativa (Tabela 52). A variação do teor de fósforo da parte aérea e das raízes, manifestou-se na forma de uma equação quadrática (Figura 25).

Esses resultados sugerem que no genótipo sensível, haveria uma maior imobilização do fósforo nas células das raízes, o que poderia ser provocado pelo alumínio, conforme CAMBRAIA (1989). O teor de fósforo maior das raízes de aveia estressadas por alumínio, também foi encontrado por ALAM & ADAMS (1979b) e OTSUKA (1968), em aveia e por MUGWIRA et al. (1981), em triticales.

A média de extração de fósforo pela parte aérea foi superior à das raízes, em todos os níveis de Al na solução (Tabela 52). Na Tabela 53, observa-se que o genótipo UPF86Al169-2b acumulou mais P na parte aérea que o cultivar UPF 7, nos níveis 0, 10 e 20 mg Al/l, não diferindo do nível de 30 mg Al/l. Já nas raízes, não houve diferenças significativas entre os dois genótipos.

Figura 24. Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva, sobre o teor de fósforo nas plantas de dois genótipos de aveia.

Tabela 51. Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva sobre o teor e a extração média de fósforo pela parte aérea e pelas raízes, de dois genótipos de aveia.

Níveis de Al (mg/l)	Parte da planta	
	Parte aérea	Raízes
	Teor (%)	
0	0,20cA	0,18bB
10	0,35bA	0,32aB
20	0,38aA	0,33aB
30	0,34bA	0,34aA
Média	0,32 A	0,24 B
C.V.(%)	5,5	
	Extração (mg/vaso)	
0	6,3aA	2,2aB
10	6,4aA	1,6bB
20	5,3bA	1,2bcB
30	4,3cA	1,0cB
Média	5,58A	1,46B
C.V.(%)	10,3	

- Médias seguidas da mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

No entanto, o aumento dos teores de P da parte aérea, verificado neste trabalho, contraria os resultados encontrados por ALAM & ADAMS (1979b) e ALAM (1985). Este fato poderia ser atribuído ao teor de P de 1 mg/l utilizado na solução nutritiva, considerado relativamente alto. A alta concentração de P na raiz com a presença de Al e o inverso na parte aérea é atribuída à precipitação Al-P que ocorre na

raiz e impede a translocação do P para a parte aérea (ALAM, 1985).

Quanto à extração de fósforo, a análise de variância revelou pelo teste F, diferenças significativas, para a interação tripla genótipos x partes x níveis de Al e para as demais causas de variação e interações analisadas.

A média de extração de fósforo pela parte aérea foi superior à das raízes, em todos os níveis de Al na solução (Tabela 51). Na Tabela 53, observa-se que o genótipo UPF86Al169-2b acumulou mais P na parte aérea que o cultivar UPF 7, nos níveis 0, 10 e 20 mg Al/l, não diferindo do nível de 30 mg Al/l. Já nas raízes, não houve diferenças significativas entre os dois genótipos.

Tabela 52. Teor médio de fósforo da parte aérea e das raízes, de dois genótipos de aveia.

Partes da planta	Genótipos	
	UPF86Al169-2b	UPF 7
	----- % -----	
Raízes	0,29bA	0,29aA
Parte aérea	0,33aA	0,31aB

- Médias seguidas da mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Os genótipos UPF86Al169-2b e UPF 7 apresentaram comportamentos idênticos, na comparação das extrações de P, quanto às partes, sendo que o acúmulo da parte aérea foi superior ao das raízes (Tabela 54).

Figura 25.

Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva sobre o teor de fósforo da parte aérea e das raízes, de dois genótipos de aveia.

Tabela 53. Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva sobre a extração de fósforo pela parte aérea e pelas raízes, de dois genótipos de aveia.

Níveis de Al (mg/l)	Parte aérea		Raízes	
	UPF86A1169-2b	UPF7	UPF86A1169-2b	UPF7
	----- mg/vaso -----			
0	6,83aA	5,73aB	2,47aA	1,87aA
10	6,90aA	5,93aB	1,53bA	1,60abA
20	6,13aA	4,53bB	1,23bA	1,10abA
30	4,27bA	4,30bA	1,10bA	0,83bA
Média	6,03 A	5,13 B	1,58 A	1,35 A

- Médias seguidas da mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, dentro da mesma parte, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Na Figura 26, verifica-se que a redução da extração de fósforo pelas raízes, ocorreu de forma linear nos dois genótipos, enquanto que na parte aérea a redução foi linear no genótipo sensível e se manifestou na forma de uma equação quadrática no tolerante.

O aumento no teor de fósforo nos genótipos e sensível de aveia, demonstra que a concentração do nutriente utilizada na solução nutritiva (1ppm) não foi restritiva ao crescimento das plantas, uma vez que a extração diminuiu em função da toxicidade do alumínio e não pela indisponibilidade desse macronutriente .

Tabela 54. Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva sobre a extração de fósforo pela parte aérea e pelas raízes, de dois genótipos de aveia.

Níveis de Al (mg/l)	UPF86Al169-2b		UPF 7	
	Parte aérea	Raízes	Parte aérea	Raízes
	----- mg/vaso -----			
0	6,93A	2,47B	5,73A	1,87B
10	6,90A	1,53B	5,93A	1,60B
20	6,13A	1,23B	4,53A	1,10B
30	4,27A	1,07B	4,30A	0,83B
Média	6,03A	1,58B	5,13A	1,35B
C.V.(%)	10,3			

- Médias seguidas da mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, dentro do mesmo genótipo, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

4.7.5 Potássio

A análise de variância dos resultados dos teores e da extração de potássio da planta (TKP e EKP, respectivamente), revelou que a interação genótipo x níveis de alumínio não foi significativa, ao nível de 5% de significância (tabela D9).

Quanto aos genótipos, a diferença não foi significativa para os teores, enquanto que para a extração as diferenças foram significativas ao nível de 5%. Para os níveis de alumínio, as diferenças foram altamente significativas para extração ($P < 0,01$) (Tabela D9).

Pela comparação dos genótipos na média de todos os níveis de Al, pelo teste de Tukey, verifica-se que

Figura 26. Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva sobre a extração de fósforo pelas raízes (a) e pela parte aérea (b), de dois genótipos de aveia.

o teor de 5,3% do genótipo tolerante não diferiu significativamente do teor de 5,0% do sensível, conforme a Tabela 55. Quanto à extração, o genótipo UPF86A1169-2b acumulou significativamente mais potássio do que o sensível.

Quanto às partes da planta (Tabela D10), verificou-se pela análise de variância dos teores de potássio (TK), que as interações genótipos x partes x níveis de

Tabela 55. Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva sobre o teor e a extração de potássio, pelas plantas de dois genótipos de aveia.

Níveis de	Genótipos		Média
Al (mg/l)	UPF86A1169-2b	UPF 7	
Teor (%)			
0	5,1	5,1	5,1ab
10	5,7	6,0	5,9a
20	5,1	4,7	4,9b
30	5,2	4,4	4,8b
Média	5,3A	5,0A	5,2
C.V. (%)	8,8		
Extração (mg/vaso)			
0	233,1	218,1	225,6a
10	139,8	129,0	134,4b
20	96,3	74,3	85,3c
30	83,1	65,1	74,1c
Média	138,1A	121,6B	129,8
C.V. (%)	13,0		

- Médias seguidas da mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

alumínio, partes x níveis de Al e partes x genótipos foram significativas, bem como as diferenças entre os genótipos, partes e níveis de Al. Quanto à extração de potássio, as interações genótipo x partes x níveis de alumínio, genótipos x níveis, e partes x genótipos, não foram significativas. A interação partes x níveis de Al e as demais causas apresentaram diferenças altamente significativas ($P < 0,01$).

Na comparação pelo teste de Tukey entre as médias dos genótipos, apresentadas na Tabela 56, verifica-se que para o genótipo tolerante, o teor de K na parte aérea foi superior ao das raízes no nível de 10 mg Al/l ($P < 0,05$), não diferindo nos demais níveis ($P > 0,05$). Já para o cultivar UPF 7 (sensível), isso ocorreu nos níveis 0 e 10 mg Al/l, não havendo diferença entre as partes, nos níveis de 20 e 30 mg Al/l.

Na parte aérea e nas raízes do genótipo UPF86Al169-2b e nas raízes do genótipo UPF 7, observa-se que não houve diferença nos teores de K, com o aumento do teor de Al na solução (Tabela 56), mas na parte aérea do genótipo sensível, os teores de K nos níveis 0 e 10 mg Al/l, que sem diferir entre si, foram significativamente superiores aos dos níveis 20 e 30 mg Al/l, que também não diferiram entre si.

Na Tabela 57, observa-se que o teor de K da parte aérea do genótipo tolerante foi superior ao do sensível, no nível de 30 mg Al/l, não diferindo nos demais níveis de Al. Nas raízes o teor de K do genótipo tolerante também foi superior ao sensível nos níveis 0 e 30 mg Al/l, não diferindo nos demais níveis.

Os resultados encontrados são discordantes em relação ao relatado por ALAM & ADAMS (1979b) e ALAM (1985), que verificaram uma diminuição na concentração de potássio da parte aérea de aveia, com o aumento do nível do Al na

solução. Possivelmente o resultado encontrado neste trabalho seja explicado pelo aumento da concentração de K na solução, com o aumento do nível de alumínio, pois foi utilizado o sulfato de potássio e alumínio ($\text{AlK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) como fonte de Al.

Em relação às raízes, a diminuição do teor de K somente foi observada no genótipo sensível, o que está de acordo com os resultados obtidos por WAGATSUMA & EZOE (1985). Essa menor absorção de potássio poderia ser explicada como sendo devida à competição entre o K e Al pelos mesmos sítios de absorção das raízes, verificada por ALAM (1983) na cultura do arroz.

Tabela 56. Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva, sobre o teor de potássio, na parte aérea e raízes de plantas de dois genótipos de aveia.

Níveis de Al (mg/l)	UPF86Al164-2b		UPF 7	
	Parte aérea	Raízes	Parte aérea	Raízes
Teor (%)				
0	5,4aA	5,1aA	5,6aA	3,9aB
10	5,9aA	5,1aB	6,4aA	4,5aB
20	5,2aA	4,6aA	4,7bA	4,5aA
30	5,1aA	5,4aA	4,4bA	4,4aA
Média	5,4 A	5,1 B	5,3 A	4,3 B
C.V.(%)	7,5			

- Médias seguidas da mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, dentro de cada genótipo não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Tabela 57. Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva, sobre o teor de potássio na parte aérea e nas raízes, de dois genótipos de aveia.

Níveis de Al (mg/l)	Parte aérea		Raízes	
	UPF86A1164-2b	UPF 7	UPF86A1164-2b	UPF7
	Teor (%)			
0	5,4aA	5,6aA	5,1aA	3,9aB
10	5,9aA	6,4aA	5,1aA	4,5aA
20	5,2aA	4,7bA	4,6aA	4,5aA
30	5,1aA	4,4bB	5,4aA	4,4aB
Média	5,4A	5,3A	5,1A	4,3B
C.V.(%)	7,5			

- Médias seguidas da mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, dentro de cada parte não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

4.7.6. Cálcio

A análise de variância dos teores de cálcio da planta (TCaP) revelou que a interação genótipos x níveis foi significativa pelo teste F, ao nível de 1% de significância. Também foi significativa ($P < 0,05$) a diferença entre níveis de Al e não foi significativa para os genótipos (Tabela D9).

Pela Tabela 58, verifica-se que o teor de cálcio no genótipo tolerante, foi superior ao sensível, somente no nível de 20 mg Al/l.

Tabela 58. Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva, sobre o teor e extração de cálcio, pelas plantas de dois genótipos de aveia.

Níveis de Al (mg/l)	Genótipos		
	UPF86A1169-2b	UPF 7	Média
Teor (%)			
0	0,55bA	0,55bA	0,55b
10	0,61aA	0,64aA	0,63a
20	0,61aA	0,53bB	0,57b
30	0,49cA	0,48cA	0,49c
Média	0,57A	0,55A	
C.V. (%)	3,5		
Extração (mg/vaso)			
0	25,0	23,4	24,2a
10	14,9	13,9	14,4b
20	11,5	8,5	10,0c
30	7,9	7,1	7,5d
Média	14,8A	13,2B	
C.V.(%)	6,1		

- Médias seguidas da mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

A análise de regressão do efeito dos níveis de alumínio sobre os teores de cálcio, mostrou que tanto no genótipo sensível, ($R^2 = 75,8\%^{**}$) como no genótipo tolerante ($R^2 = 98,8\%^{**}$) a variação se manifestou em forma de equação quadrática (Figura 27).

Figura 27. Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva, sobre a extração de cálcio pela parte aérea (a) e pelas raízes (b) de dois genótipos de aveia.

Em relação à extração de cálcio pelas plantas de aveia, a interação genótipos x níveis de Al, não foi significativa pelo teste F, ao nível de 5% de significância. Mas, foram significativas as diferenças entre os genótipos e os níveis de Al ($P < 0,05$), conforme Tabela 9.

Na média dos quatro níveis de Al, verificou-se que a extração de Ca pelo genótipo UPF86Al169-2b foi superior à do genótipo UPF 7 (Tabela 58). Na médias dos genótipos, verificou-se que a extração no nível 0 foi superior aos níveis com Al, que diferiram todos entre si, ao nível de 5% de significância.

A análise de variância dos resultados dos teores de cálcio, nas diferentes partes da planta (Tabela D10), mostrou que a interação genótipo x partes x níveis de Al não foi significativa ao nível de 5% de significância. Também não foi significativa a interação partes x genótipos e a diferença entre os genótipos ($P > 0,05$).

Quanto à extração de cálcio pela planta, a análise de variância dos resultados revelou, que foram significativas as interações partes x genótipos x níveis de Al, partes x níveis de alumínio e partes x genótipos ($P < 0,05$) e que não foi significativa a interação genótipos x níveis de Al (Tabela D10).

Pela comparação entre médias, através do teste de Tukey, observou-se que a extração de cálcio pela parte aérea foi superior à das raízes nos dois genótipos (Tabela 59).

Tabela 59. Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva sobre a extração de cálcio pela parte aérea e pelas raízes, de dois genótipos de aveia.

Níveis de Al (mg/l)	UPF86Al169-2b		UPF 7	
	Parte aérea	Raízes	Parte aérea	Raízes
	----- mg/vaso -----			
0	19,8aA	5,2aB	18,6aA	4,8aB
10	13,1bA	1,8bB	12,2bA	1,7bB
20	10,4cA	1,1bB	7,5cA	1,0bB
30	6,7dA	1,2bB	6,2dA	0,9bB
Média	12,5 A	2,3 B	11,1 A	2,1 B
C.V.(%)	7,3			

- Médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, dentro de cada genótipo não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Na comparação dos genótipos dentro de cada parte (Tabela 60), verifica-se que, na parte aérea, a extração de cálcio pelo genótipo tolerante foi superior à do sensível, nos níveis 0, 10 e 20 mg Al/l, não diferindo no nível de 30 mg Al/l. Quanto às raízes, não houve diferenças significativas entre os genótipos, em qualquer dos níveis de Al.

Tabela 60. Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva sobre a extração de cálcio pela parte aérea e pelas raízes de dois genótipos de aveia.

Níveis de Al (mg/l)	Parte aérea		Raízes	
	UPF86A1169-2b	UPF 7	UPF86A1169-2b	UPF 7
	----- mg/vaso -----			
0	19,8aA	18,6aB	5,2aA	4,8aA
10	13,1bA	12,2bB	1,8bA	1,7bA
20	10,4cA	7,5cB	1,1bA	1,0bA
30	6,7dA	6,2dA	1,2bA	0,9bA
Média	12,5 A	11,1 B	2,3 A	2,1 A
C.V.(%)	7,3			

- Médias seguidas da mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, dentro de cada genótipo não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

A análise de regressão do efeito do Al, sobre a extração de cálcio mostrou que a variação se manifestou de forma quadrática na parte aérea e nas raízes, para os dois genótipos (Figura 28).

Os resultados obtidos, quanto ao efeito do nível crescente de alumínio sobre os teores de cálcio, nos dois genótipos de aveia, estão de acordo com aqueles obtidos, por FOY et al. (1987), cultivando aveia em solos com pH 4,3 e sem calagem.

No entanto, OTSUKA (1968) e ALAM & ADAMS (1979b), encontraram teores de cálcio menores na parte aérea de plantas de aveia, em função do aumento da concentração de Al.

Figura 28. Efeito dos níveis de alumínio, na solução nutritiva sobre a extração de cálcio pela parte aérea (a) e pelas raízes (b) de dois genótipos de aveia.

4.7.7. Magnésio

A análise de variância dos resultados dos teores de magnésio da planta (TMgP) mostrou diferenças altamente significativas ($P < 0,01$) para a interação genótipos x níveis de Al e para os componentes dessa interação (Tabela D9).

Através da Tabela 61, pela comparação entre médias, através do teste de Tukey, observa-se que o teor de magnésio do genótipo tolerante foi superior em relação ao sensível nos níveis de 20 e 30 mg Al/l, não diferindo nos níveis 0 e 10 mg Al/litro de solução.

Na comparação entre os níveis de Al (Tabela 61), observa-se no genótipo UPF8Al169-2b (tolerante) uma redução significativa no teor de magnésio entre os níveis 0 e 10 mg Al/l, que não diferiu dos níveis 20 e 30 mg Al/l. No cultivar UPF 7 (sensível), a redução foi significativa entre os níveis 0 e 10 mg Al/l e entre 10 e 20 mg Al/l, sem que houvesse diferença significativa entre os níveis 20 e 30 mg Al/l. Através da análise de regressão, verificou-se que esta variação manifestou-se de forma de uma equação quadrática nos dois genótipos (Figura 29).

Em relação à extração de magnésio pela planta, a análise de variância não detectou significâncias ao nível de 5% para a interação genótipo x níveis de Al (Tabela D9). No entanto, foram altamente significativas, os efeitos de genótipos e de níveis de alumínio, ao nível de 1% de significância.

Tabela 61. Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva sobre o teor e a extração de magnésio pelas plantas de dois genótipos de aveia.

Níveis de	Genótipos		Média
Al (mg/l)	UPF86Al164-2b	UPF 7	
Teor (%)			
0	0,20(100)aA	0,20(100)aA	0,198 a
10	0,09(45)ba	0,08(45)ba	0,087 b
20	0,08(40)ba	0,07(35)cB	0,078 bc
30	0,08(40)ba	0,07(35)cB	0,075 c
Média	0,11 A	0,10 B	
C.V. (%)	5,3		
Extração (mg/vaso)			
0	8,9	8,4	8,7a
10	2,0	2,0	2,0b
20	1,6	1,0	1,3c
30	1,3	1,0	1,2c
Média	3,5A	3,1B	
C.V. (%)	8,0		

- Médias seguidas da mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

A extração de magnésio médio do genótipo tolerante foi significativamente superior à média do sensível (Tabela 61).

A análise da variância dos resultados de teores de magnésio nas diferentes partes, revelou serem altamente significativas ($P < 0,01$) as interações genótipos x partes x níveis de Al, genótipos x níveis de Al e partes x

Figura 29: Efeito dos níveis de alumínio sobre o teor de magnésio em plantas de dois genótipos de aveia.

níveis de Al, bem como as diferenças entre as partes e os níveis de Al. Revelou também que a diferença entre genótipos e a interação genótipos x partes não foram significativas ao nível de 5% de significância (Tabela D10).

Pela comparação entre as médias, através do desdobramento da interação, verificou-se pela Tabela 62 que na ausência de alumínio na solução, o teor de magnésio nas raízes do cultivar UPF 7 foi superior ($P < 0,05$) ao tolerante. Nos níveis 10 e 20 mg Al/l, não houve diferença significativa na média dos dois genótipos. No maior nível de Al (30 mg Al/l), o teor de magnésio na raiz do genótipo tolerante foi superior ao sensível.

Em relação à parte aérea, os genótipos não diferiram quanto ao teor de magnésio nos níveis 0, 10 e 30 mg Al/l ($P > 0,05$). No nível 20 mg Al/l, o teor de magnésio da parte aérea no genótipo tolerante foi significativamente superior ao sensível.

Quanto aos genótipos, verificou-se através da Tabela 63 que no nível 0 de Al, para os dois genótipos, o teor de magnésio é maior nas raízes que na parte aérea, enquanto no nível 10 mg Al/l esta situação se inverte. No nível 20 mg Al/l, para o genótipo tolerante, observa-se um teor na parte aérea maior que nas raízes, não havendo diferenças no genótipo sensível. No maior nível de Al na solução (30 mg/l), não se observou diferenças significativas dos teores de magnésio entre a parte aérea e as raízes, nos dois genótipos.

A análise de regressão do efeito de níveis de Al sobre os teores de magnésio na parte aérea e raiz, mostrou que a variação em todas partes e nos dois genótipos ocorreu de forma quadrática (Figura 30).

Tabela 62. Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva sobre o teor e a extração de magnésio, pela parte aérea e pelas raízes de dois genótipos de aveia.

Níveis de Al (mg/l)	Parte aérea		Raízes	
	UPF86A1169-2b	UPF 7	UPF86A1169-2b	UPF 7
	Teores (%)			
0	0,17aA	0,16aA	0,28aB	0,30aA
10	0,09bA	0,10bA	0,06bA	0,07bA
20	0,10bA	0,07cB	0,05cA	0,05bA
30	0,08bA	0,07cA	0,08cA	0,06bB
Média	0,11	0,10	0,12	0,12
C.V.(%)	9,2			
	Extração (mg/vaso)			
0	5,50aA	4,97aB	3,43aA	3,67aA
10	1,73bA	1,63bA	0,30bA	0,33bA
20	1,47bA	0,87cB	0,17bA	0,17bA
30	1,03cA	0,87cA	0,30bA	0,13bA
Média	2,43A	2,03B	1,05A	1,08 A
C.V.(%)	10,5			

- Médias seguidas da mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, dentro de cada parte não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Quanto à extração de magnésio pelas diferentes partes da planta, a análise de variância revelou diferenças significativas para as interações genótipos x plantas x níveis de Al, partes x níveis de Al e partes x genótipos, ao

Tabela 63. Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva sobre o teor e a extração de magnésio, pela parte aérea e pelas raízes de dois genótipos de aveia.

Níveis de Al (mg/l)	UPF86A1169-2b		UPF 7	
	Parte aérea	Raízes	Parte aérea	Raízes
Teor (%)				
0	0,17aB	0,28aA	0,16aB	0,30aA
10	0,09bA	0,06bB	0,10bA	0,07bB
20	0,10bA	0,05cB	0,07cA	0,05bA
30	0,08bA	0,08cA	0,07cA	0,06bA
Média	0,11	0,12	0,10	0,12
C.V.(%)	9,2			
Extração (mg/vaso)				
0	5,50aA	3,43aB	4,77aA	3,67aB
10	1,73bA	0,30bB	1,63bA	0,33bB
20	1,47bA	0,17bB	0,87cA	0,17bB
30	1,03cA	0,30bB	0,87cA	0,13bB
Média	2,43A	1,05B	2,03A	1,08B
C.V.(%)	10,5			

- Médias seguidas da mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, dentro de cada genótipo não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

nível de 1% de significância (Tabela D10). A interação genótipos x níveis de Al não foi significativa ($P > 0,05$), enquanto as diferenças entre os genótipos, as partes e os níveis de alumínio foram altamente significativos, ao nível de 1% de significância.

Figura 30. Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva sobre o teor de magnésio da parte aérea (a) e pelas raízes (b), de plantas de dois genótipos de aveia.

Na comparação entre as médias, pelo teste de Tukey, observou-se que os genótipos não diferiram quanto à extração de magnésio pelas raízes (Tabela 62). Já na parte aérea, a extração de magnésio pelo genótipo tolerante foi maior que no sensível nos níveis 0 e 20 mg Al/l, sem diferirem nos demais níveis, ao nível de 5% de significância.

Na comparação entre as médias das partes de cada genótipo, observa-se que nos dois genótipos a extração de magnésio pela parte aérea foi superior à extração pelas raízes (Tabela 63).

A análise de regressão do efeito de alumínio sobre a extração de magnésio pela parte aérea e pelas raízes, mostrou que nos dois genótipos ocorreu uma variação de forma quadrática (Figura 31).

As reduções observadas nos teores de magnésio nas raízes e na parte aérea de aveia, com o aumento da concentração de alumínio da solução, estão de acordo com resultados encontrados para arroz (ALAM, 1983), aveia (GRIMME, 1982) e sorgo (CALBO & CAMBRAIA, 1980; e LEMOS FILHO, 1981). No entanto, ALAM & ADAMS (1979b), encontraram teores maiores de Mg na parte aérea de aveia com o aumento da concentração de Al.

4.7.8 Correlações entre o teor de alumínio, o rendimento de matéria seca e os teores de alguns macronutrientes

A análise de correlação linear simples entre o teor de Al (TAI) e os teores de macronutrientes nas raízes dos dois genótipos de aveia revelou que para o cultivar de aveia UPF 7 (sensível) ocorreram correlações altamente significativas com o teor de P ($r = 92,5^{**}$) e com o teor de

Figura 31.

Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva sobre a extração de magnésio pela parte aérea (a) e pelas raízes (b), de plantas de aveia.

magnésio ($r = -93,5^{**}$). Para o genótipo UPF86Al169-2b (tolerante), as correlações foram altamente significativas para o teor de N ($r = 76,1^{**}$), P ($r = 89,2^{**}$) e Mg ($r = -77,9^{**}$). Os teores de K e Ca, não se correlacionaram significativamente com o teor de Al nos tecidos das raízes.

Os resultados obtidos, indicam que o aumento do teor de alumínio nas raízes promoveu um aumento no teor de fósforo desse órgão nos dois genótipos, e de nitrogênio no genótipo UPF86Al169-2b. Em relação ao magnésio, seu teor nas raízes diminuiu significativamente com o aumento do teor de alumínio (Tabela 64).

Na parte aérea do cultivar UPF 7 o teor de Al correlacionou-se significativamente e de forma negativa, com os teores de fósforo ($r = -68,1^{*}$), potássio ($r = -72,7^{**}$), cálcio ($r = -64,3^{*}$) e magnésio ($r = -84,3^{**}$). No genótipo UPF86Al169-2b, a correlação negativa foi significativa para o nitrogênio ($r = -62,1^{*}$), cálcio ($r = -59,6^{*}$) e magnésio ($r = -62,5^{*}$).

Quanto à correlação entre o teor de Al e o rendimento de matéria seca, observa-se pela Tabela 65, que a correlação foi negativa e altamente significativa para as raízes e a parte aérea, nos dois genótipos. No entanto, o valor do coeficiente de correlação foi menor no genótipo tolerante em relação ao sensível, nas raízes (-91,1 e -97,7 respectivamente), e, na parte aérea (-69,0 e -83,7 respectivamente).

O rendimento de matéria seca da raiz do cultivar UPF7 correlacionou-se significativamente com o teor de fósforo ($r = 96,0^{**}$) e com o teor de magnésio ($r = 98,2^{**}$), enquanto para o genótipo UPF86Al169-2b a correlação foi significativa para o teor de nitrogênio ($r = 79,6^{**}$),

Tabela 64. Valores de t e coeficientes de correlação (r) entre o teor de Al na raiz e parte aérea sobre o teor de macronutrientes em dois genótipos de aveia submetidos a quatro níveis de Al.

Correlações	Valor t		r (%)	
	UPF7	UPF86A1169-2b	UPF7	UPF86A1169-2b
Raiz				
TAIRxTNR	2,13ns	3,71**	55,9	76,1
xTPR	7,70**	6,24**	92,5	89,2
xTKR	1,78ns	0,22ns	48,9	-7,1
xTCaR	0,78ns	1,49ns	-24,0	-42,5
xTMgR	8,34**	3,93**	-93,5	-77,9
Parte aérea				
TAIPAxTNPA	1,80ns	2,51*	-49,4	-62,1
xTPPA	2,45*	1,04ns	-68,1	31,1
xTKPA	3,34**	1,40ns	-72,7	-40,4
xTCaPA	2,66*	2,35*	-64,3	-59,6
xTMgPA	4,95**	2,53*	-84,3	-62,5

* e ** Significativo, respectivamente nos níveis 5 e 1% de significância. ns = não significativo.

fósforo ($r = 95,2^{**}$) e magnésio ($93,7^{**}$). Este fato pode ser atribuído ao efeito do Al, pois o rendimento de matéria seca em relação aos referidos macronutrientes depende da mesma correlação com o teor do Al.

Quanto ao rendimento de matéria seca pela parte aérea, os dois genótipos apresentaram de forma semelhante, correlações significativas com os teores de nitrogênio,

fósforo e magnésio e não significativa para os teores de potássio e cálcio (Tabela 65).

Tabela 65. Valores de t e coeficientes de correlação (r) entre a matéria seca das raízes e da parte aérea e o teor de macronutrientes nos dois genótipos de aveia, submetidos a quatro níveis de Al.

Correlação	Valor t		r (%)	
	UPF7	UPF86Al169-2b	UPF7	UPF86Al169-2b
Raiz				
MSR xTNR	1,96ns	4,16**	52,8	79,6
xTPR	10,79**	9,81**	96,0	95,2
xTKR	2,01ns	0,32ns	53,6	10,2
xTCaR	1,20ns	1,92ns	35,4	51,4
xTMgR	16,22**	8,50**	98,2	93,7
xTAIR	14,64**	7,01**	-97,7	-91,1
Parte aérea				
MSPA xTNPA	4,26**	4,81**	80,3	83,6
xTPPA	8,56**	4,95**	93,8	84,3
xTKPA	1,58ns	0,46ns	44,8	14,3
xTCaPA	0,75ns	0,03ns	22,9	9,4
xTMgPA	11,99**	8,11**	96,7	93,2
xTAIPA	4,85**	3,02*	-83,7	-69,0

** Significativo ao nível de 5% de significância; ns = não significativo.

4.8. Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva sobre o teor e a extração de alguns micronutrientes pela aveia.

4.8.1. Cobre

A análise de variância dos resultados dos teores de cobre (TCuP) nas plantas de aveia revelou que não foi significativa a interação genótipos x níveis de Al, nem a diferença entre os genótipos, pelo teste F ao nível de 5% de significância (Tabela D11). Já a diferença entre os níveis de Al foi altamente significativa ($P < 0,01$).

Pela comparação entre as médias dos níveis de alumínio observa-se que os teores de cobre não diferiram entre os níveis 0 e 10 mg Al/l, que foram superiores ($P < 0,05$) às médias nos níveis 20 e 30 mg Al/l, que não diferiram entre si (Tabela 66). Resultados semelhantes foram encontrados em aveia por ALAM (1985).

Quanto à extração de cobre pela planta, a interação genótipo x níveis também não foi significativa, enquanto a diferença entre os genótipos foi significativa ao nível de 5% de significância e a diferença entre os níveis de Al foi altamente significativa ($P < 0,01$), conforme Tabela D11.

Na Tabela 66, verifica-se que a extração média de cobre pelo genótipo UPF86Al169-2b foi superior ao genótipo UPF 7 ($P < 0,05$). Quanto ao efeito dos níveis, a extração de cobre na ausência de Al na solução foi superior ao nível de 10 mg Al/l, que diferiu dos níveis 20 e 30 mg Al/l, que não diferiram entre si.

Quanto ao fracionamento da aveia em partes, a análise de variância dos resultados de teores de cobre,

mostrou serem significativas as interações partes x genótipos x níveis de Al, genótipos x níveis de Al e partes x níveis e para as partes, ao nível de 1% de significância. Já a interação partes x genótipos não foi significativa, bem como as diferenças entre os genótipos e os níveis de Al (Tabela D12), ao nível de 5% de significância.

Tabela 66. Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva sobre o teor e extração de cobre pelas plantas de dois genótipos de aveia.

Níveis de	Genótipos		Média
Al (mg/l)	UPF86Al164-2b	UPF 7	
Teor (ppm)			
0	9,8	9,6	9,7a
10	9,8	10,4	10,1a
20	9,0	8,4	8,7b
30	8,5	8,5	8,5b
Média	9,3A	9,2A	
C.V. (%)	5,5		
Extração (mg/vaso)			
0	44,6	40,9	42,7a
10	23,9	22,6	23,3b
20	16,9	13,4	15,1c
30	13,7	12,7	13,2c
Média	24,8 A	22,4 B	23,6
C.V. (%)	8,7		

- Médias seguidas da mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Da comparação entre as médias, pelo teste de Tukey (Tabela 67), verifica-se que no cultivar UPF7, o teor de cobre nas raízes foi significativamente superior em relação a parte aérea, em todos os níveis de Al. No genótipo UPF86Al169-2b, o teor de cobre nas raízes foi superior ao teor da parte aérea nos níveis 0, 20 e 30 mg Al/l, não diferindo no nível de 10 mg Al/l.

Tabela 67. Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva sobre o teor de cobre na parte aérea e nas raízes de dois genótipos de aveia.

Níveis de Al (mg/l)	UPF86Al164-2b		UPF 7	
	Parte aérea	Raízes	Parte aérea	Raízes
	Teor (ppm)			
0	8,7aB	12,7aA	9,0abB	11,0bcA
10	9,7aA	10,3bA	10,0aB	12,0abA
20	8,0aB	12,7aA	8,0bB	10,0cA
30	8,0aB	10,7bA	7,7bB	13,7aA
Média	11,6	8,6	8,7	11,7
C.V.(%)	8,0			

* Médias seguidas da mesma letra, minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, dentro de cada genótipo, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Na Tabela 68, pela comparação entre os genótipos em cada parte da planta, observa-se que os genótipos não diferiram em relação ao teor de cobre na parte aérea ($P > 0,05$). Nas raízes, o teor de cobre do genótipo UPF86Al169-2b foi superior ao cultivar UPF 7 nos níveis 0 e

20 mg Al/l, invertendo-se a situação nos níveis de 10 e 30 mg Al/l.

Tabela 68. Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva sobre o teor de cobre na parte aérea e nas raízes de dois genótipos de aveia.

Níveis de Al (mg/l)	Parte aérea		Raízes	
	UPF86A1169-2b	UPF7	UPF86A1169-2b	UPF7
	Teor (ppm)			
0	8,7aA	9,0abA	12,7aA	11,0bcB
10	9,7aA	10,0aA	10,3bB	12,0abA
20	8,0aA	8,0bA	12,7aA	10,0cB
30	8,0aA	7,7bA	10,7bB	13,7aA
Média	8,6	8,7	11,6	11,7
C.V.(%)	8,0			

- Médias seguidas da mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, dentro de cada parte, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

A análise de variância dos resultados de extração de cobre pelas plantas, revelou não serem significativas as interações entre partes x genótipos x níveis de alumínio, genótipos x níveis e partes x genótipos ($P > 0,05$). As diferenças entre as médias dos genótipos, das partes, dos níveis de alumínio e a interação partes x níveis de Al foram altamente significativas, ao nível de 1% de significância (Tabela D12).

A redução no teor de cobre da parte aérea e raízes devido ao aumento da concentração de alumínio também foi encontrado no sorgo (LEMON FILHO, 1981; CAMBRAIA et al.,

1983b). No entanto, LEMOS FILHO (1981) encontrou diferenças entre cultivares tolerante e sensível de sorgo em relação ao teor de cobre no sistema radicular, fato não observado neste trabalho.

4.8.2. Ferro

A análise de variância dos resultados do teor de ferro nas plantas (TFeP) de aveia, revelou não ser significativa a interação genótipo x níveis de Al ($P > 0,05$), mas que foi altamente significativa a diferença entre genótipos e níveis de Al, ao nível de 1% de significância (Tabela D11).

Em relação à extração de ferro, a análise de variância revelou diferenças altamente significativas para a interação genótipos x níveis de alumínio, para os genótipos e para os níveis de Al, ao nível de 1% de significância (Tabela D11).

A comparação entre as médias, pelo teste de Tukey, apresentada na Tabela 69, mostrou que o teor médio de ferro no genótipo tolerante foi superior ao sensível ao nível de 5% de significância. O alumínio na solução promoveu uma redução significativa, na média dos dois genótipos, do teor de ferro das plantas de aveia. O genótipo tolerante também apresentou extração de ferro superior ao sensível nos níveis 0 e 10 mg Al/l, não diferindo nos dois níveis maiores de Al. Já na média dos dois genótipos, a redução foi significativa entre os níveis 0, 10 mg Al/l, sem que nos demais níveis eles não diferiram entre si.

A análise de regressão do efeito do alumínio sobre a extração de ferro revelou que tanto no genótipo

sensível quanto no tolerante a variação ocorreu de forma quadrática (Figura 32).

Tabela 69. Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva sobre o teor e a extração de ferro pelas plantas de dois genótipos de aveia.

Níveis de	Genótipos		Média
Al (mg/l)	UPF86A1169-2b	UPF 7	
Teor (ppm)			
0	271,6	152,8	212,2a
10	184,4	132,3	158,4b
20	161,6	120,1	140,9b
30	170,2	119,8	145,0b
Média	197,0A	131,2B	164,1
C.V. (%)	15,7		
Extração (mg/vaso)			
0	1234,5aA	648,6aB	941,5a
10	452,5bA	287,1bB	369,8b
20	303,8bA	190,2bA	247,0b
30	272,9bA	176,3bA	224,6b
Média	565,9A	325,5B	
C.V. (%)	20,6		

* Médias seguidas da mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

A análise dos resultados de teor de ferro nas partes da aveia mostrou que foram altamente significativas as interações partes x genótipos x níveis de Al, genótipos x níveis de Al e partes x níveis, bem como a diferença entre os genótipos, as partes e os níveis de Al, ao nível de 1% de

Figura 32. Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva sobre a extração de ferro pelas plantas de dois genótipos de aveia.

significância (Tabela D12). No entanto, a interação parte x genótipos não foi significativa ($P > 0,05$).

Na Tabela 70, observa-se que o teor de ferro nas raízes foi significativamente superior ao da parte aérea, sem diferenças entre os genótipos. Os genótipos não diferiram significativamente quanto ao teor de ferro na parte aérea, sendo que nas raízes, o teor de ferro no genótipo tolerante (UPF86Al169-2b) foi superior ao sensível na ausência de Al, enquanto na presença desse elemento não diferiram entre si (Tabela 71).

Em relação a extração de ferro pelas partes da planta, verificou-se através da análise de variância, diferenças altamente significativas para todas as causas de variação (Tabela D12).

Pela comparação entre as médias das partes, dentro de cada genótipo, através da Tabela 70, observa-se que a extração de ferro pelas raízes foi superior à da parte aérea, na ausência de Al na solução nos dois genótipos. Na presença de alumínio os genótipos diferiram, pois no tolerante (UPF86Al169-2b) a extração de ferro pelas raízes foi inferior ao da parte aérea nos níveis 10 e 20 mg Al/l, sem diferir no nível de 30 mg Al/l e no genótipo sensível, as quantidades extraídas de ferro pela parte aérea e pelas raízes não diferiram entre si quanto aos níveis de Al.

Na Tabela 71 é apresentada a comparação entre as médias de extração de ferro entre genótipos em cada parte da planta. Observa-se, em relação à extração de ferro pela parte aérea, que os genótipos não diferiram nos níveis 0 e 30 mg Al/l, enquanto nos níveis de 10 e 20 mg Al/l, a extração de ferro pelo genótipo de aveia tolerante foi superior ao sensível.

Tabela 70. Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva sobre o teor e a extração de ferro pela parte aérea e pelas raízes, de dois genótipos de aveia.

Níveis de Al (mg/l)	UPF86Al169-2b		UPF 7	
	Parte aérea	Raízes	Parte aérea	Raízes
Teor (ppm)				
0	60,7aB	825,0aA	82,7aB	330,0aA
10	154,0aB	302,7bA	82,7aB	324,3aA
20	136,3aB	264,0bA	93,7aB	220,0aA
30	132,0aB	259,0bA	82,7aB	330,0aA
Média	120,8	412,7	85,4	301,1
C.V.(%)	30,4			
Extração (mg/vaso)				
0	200,1abB	1034,4aA	221,0aB	397,5aA
10	298,7aA	153,8bB	140,3abA	146,9bA
20	204,4abA	99,4bB	116,9abA	73,3bA
30	170,0bA	102,9bA	103,2bA	73,0bA
Média	218,3B	347,6A	145,4A	172,7A
C.V.(%)	23,2			

- Médias seguidas da mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, dentro de cada genótipo não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Quanto às raízes, observa-se que no nível 0 de alumínio, a extração de ferro pelo genótipo tolerante foi superior ao sensível ($P < 0,05$), não diferindo nos demais níveis.

A análise de regressão do efeito dos níveis de Al sobre a extração de Fe pelas partes da planta mostrou que na parte aérea a redução no cultivar sensível ocorreu de forma linear, enquanto no genótipo tolerante, a variação ocorre de forma quadrática (Figura 33). Para as raízes, a regressão revelou que a variação da extração de ferro ocorreu de forma quadrática nos dois genótipos.

Tabela 71. Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva, sobre o teor e extração de ferro pela parte aérea e pelas raízes, de dois genótipos de aveia.

Níveis de Al (mg/l)	Parte aérea		Raízes	
	UPF86Al169-2b	UPF 7	UPF86Al169-2b	UPF 7
Teor (ppm)				
0	60,7aA	82,7aA	825,0aA	330,0aB
10	154,0aA	82,7aA	302,7bA	324,3aA
20	136,3aA	93,7aA	264,0bA	220,0aA
30	132,0aA	82,7aA	259,0bA	330,0aA
Média	120,8	85,4	412,7	301,1
C.V.(%)	30,4			
Extração (mg/vaso)				
0	200,1abA	221,0aA	1034,4aA	397,5aB
10	298,7aA	140,3abB	153,8bA	146,9bA
20	204,4abA	116,9abB	99,4bA	73,3bA
30	170,0bA	103,2bA	102,9bA	73,0bA
Média	218,3A	145,4B	347,6A	172,7B
C.V.(%)	23,2			

- Médias seguidas da mesma letra minúscula na vertical e maiúsculas na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey, a nível de 5% de significância.

Figura 33. Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva sobre a extração de ferro pela parte aérea (a) e raízes (b), de plantas de dois genótipos de aveia.

Os resultados encontrados são discordantes dos relatados por ALAM & ADAMS (1979b), que encontraram um aumento no teor de ferro nas raízes de aveia. Mas estão de acordo com os obtidos por OTSUKA (1968), que verificou que o Al induziu à uma clorose por deficiência de ferro em cultivares de trigo e cevada sensíveis à acidez do solo.

Em arroz foi observado um acúmulo de Fe nas raízes, com aumento da concentração de Al superior a 10 ppm (ALAM, 1983). Também, em sorgo foi observada clorose por deficiência de Fe devido à toxicidade de Al (FURLANI & CLARK, 1981).

4.8.3. Manganês

A análise de variância dos resultados de teores (TMn) e extração (EMn) de manganês pelas plantas de aveia revelou não ser significativa a interação genótipo x níveis de Al, ao nível de 5% de significância, enquanto que as diferenças entre os genótipos e os níveis de Al foram altamente significativos ($P < 0,01$) (Tabela D11).

Pela comparação entre as médias (Tabela 72) observa-se que o teor e a extração de Mn pelo genótipo tolerante foram significativamente superiores aos da sensível, na média dos quatro níveis de Al. Na média dos genótipos, verificou-se que o teor de manganês no nível de 10 mg Al/l foi superior ao teor desse nutriente nos níveis 20 e 30 mg Al/l, sem que eles diferissem no nível 0 de Al.

Tabela 72. Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva sobre os teores e a extração de manganês pelas plantas de aveia.

Níveis de	Genótipos		Média
Al (mg/l)	UPF86A1169-2b	UPF 7	
Teor (ppm)			
0	23,9	21,0	22,5ab
10	23,4	23,7	23,6a
20	22,5	16,0	19,3b
30	21,3	17,3	19,3b
Média	22,8A	19,5B	21,2
C.V. (%)	9,9		
Extração (mg/vaso)			
0	108,7	89,8	99,2a
10	57,5	51,3	54,4b
20	42,4	25,4	33,9c
30	34,3	25,7	30,0c
Média	60,7A	48,0B	54,4
C.V. (%)	12,1		

* Médias seguidas da mesma letra, minúscula na vertical e maiúsculas na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey, a nível de 5% de significância.

Quanto à extração de Mn, a redução entre os níveis 0 e 10 mg Al/l e 10 e 20 mg Al/l, foi significativa ($P < 0,05$), embora sem diferirem nos níveis mais elevados de Al (Tabela 72). A análise de variância dos resultados de teores e extração de manganês entre as partes da planta de aveia apresentou resultados semelhantes aos obtidos para o ferro (Tabela D12).

A comparação entre as médias dos teores de manganês através do teste de Tukey, apresentada na Tabela 73, mostrou que em relação à parte aérea os dois genótipos não diferiram nos níveis 0 e 10 mg Al/l ($P > 0,05$), enquanto nos níveis 20 e 30 mg Al/l, o teor desse nutriente na planta tolerante foi superior ao teor da planta sensível. Quanto às raízes, o teor desse micronutriente no genótipo tolerante foi maior que o sensível nos níveis 0 e 20 mg Al/l, não diferindo nos demais níveis.

Na comparação entre as partes da planta em cada genótipo (Tabela 74), observa-se que tanto no genótipo tolerante quanto no sensível, o teor de Mn na parte aérea foi superior ao das raízes ($P < 0,05$), exceto no nível 0 de Al, para o genótipo tolerante. Com o aumento do Al na solução, a redução no teor de Mn das raízes foi mais pronunciada do que na parte aérea, no genótipo tolerante, onde não houve diferença significativa quanto ao teor de Mn na parte aérea, com o aumento do nível de Al. No cultivar sensível, os teores de Mn na parte aérea nos níveis 20 e 30 mg Al/l, que não diferiram entre si, foram significativamente inferiores em relação aos níveis 0 e 10 mg Al/l.

Nas raízes, a redução no teor de Mn no genótipo tolerante foi significativa entre o tratamento com ausência de Al e os níveis de Al, os quais não diferiram entre si. No cultivar UPF 7, o teor de Mn no nível 0 de alumínio, foi superior ao nível 30 mg Al/l, sem diferir dos níveis 10 e 20 mg Al/l. O maior teor de Mn na parte aérea em relação às raízes e a redução no teor de Mn com o aumento da concentração de Al encontrado neste trabalho, estão de acordo com resultados obtidos em aveia por ALAM & ADAMS (1979b).

Tabela 73. Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva, sobre os teores e a extração de manganês pela parte aérea e pelas raízes das plantas de dois genótipos de aveia.

Níveis de Al (mg/l)	Parte aérea		Raízes	
	UPF86A1169-2b	UPF 7	UPF86A1169-2b	UPF 7
Teor (ppm)				
0	25,7aA	25,0aA	22,0aA	11,0aB
10	26,7aA	28,0aA	11,0bA	8,3abA
20	25,7aA	18,7bB	10,0bA	6,0abB
30	24,7aA	19,0bB	7,7bA	7,7bA
Média	25,7	22,7	12,7	8,3
C.V.(%)	12,9			
Extração (mg/vaso)				
0	86,2aA	76,4aB	27,6aA	13,3aB
10	51,9bA	47,4bA	5,6bA	3,9bA
20	38,6cA	23,4cB	3,8bA	2,0bA
30	31,8cA	23,9cB	2,4bA	1,8bA
Média	52,2A	42,8B	9,8A	5,3B
C.V.(%)	13,2			

* Médias seguidas da mesma letra, minúscula na vertical e maiúsculas na horizontal, dentro de cada parte da planta, não diferem pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Quanto à extração de manganês, pela parte aérea, verifica-se na Tabela 73, que o genótipo tolerante foi superior ao sensível nos níveis 0, 20 e 30 mg Al/l, não diferindo em relação ao nível de 10 mg Al/l. Já para as raízes, a extração de manganês pelo genótipo tolerante foi superior apenas no

Tabela 74. Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva sobre os teores e extração de manganês pela parte aérea e pelas raízes das plantas de dois genótipos de aveia.

Níveis de Al (mg/l)	UPF86A1169-2b		UPF 7	
	Parte aérea	Raízes	Parte aérea	Raízes
Teor (ppm)				
0	25,7(100)aA	22,0(100)aA	25,0(100)aA	11,0(100)aB
10	26,7(104)aA	11,0(50)bB	28,0(112)aA	8,3(75)abB
20	25,7(100)aA	10,0(45)bB	18,7(75)ba	6,0(55)abB
30	24,7(96)aA	7,7(35)bB	19,0(76)ba	7,7(70)bB
Média	25,7	12,7	22,7	8,3
C.V.(%)	12,9			
Extração (mg/vaso)				
0	86,2aA	27,6aB	76,4aA	13,3aB
10	51,9bA	5,6bB	47,4ba	3,9bB
20	38,6cA	3,8cB	23,4ba	2,0bB
30	31,8cA	2,4cB	23,9ba	1,8bB
Média	52,2A	9,8B	42,8A	5,3B
C.V.(%)	13,2			

* Médias seguidas da mesma letra minúscula na vertical e maiúsculas na horizontal, dentro de cada genótipo, não diferem pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

tratamento com ausência de Al, não diferindo nos demais tratamentos. Nos dois genótipos, observou-se que a extração de manganês pela parte aérea foi superior à das raízes, em todos os níveis de Al (Tabela 74).

A análise de regressão do efeito do Al sobre o teor de manganês na parte aérea do cultivar UPF 7, mostrou que a redução ocorreu de forma linear, enquanto que para o genótipo UPF86Al169-2b, a regressão linear, quadrática ou cúbica foi significativa (Figura 34). Já em relação as raízes, observa-se na Figura 34, que no genótipo sensível a redução do teor ocorreu de forma linear, enquanto no tolerante, a variação se manifestou da forma de equação quadrática.

A análise de regressão do efeito dos níveis de alumínio sobre a extração de manganês, revelou que na parte aérea, a variação nos dois genótipos ocorreu de forma quadrática (Figura 35). Nas raízes, a extração de manganês diminuiu linearmente no genótipo UPF 7 (sensível), enquanto a variação no genótipo UPF 86Al169-2b (tolerante) se manifestou através de uma equação quadrática. Observa-se na figura 35, que devido ao ajuste das médias pela regressão linear do teor de manganês nas raízes do genótipo UPF 7 apresentou valor negativo no nível de 30 mg Al/l.

Os resultados encontrados também estão de acordo com relatos de LEMOS FILHO (1981) e CAMBRAIA et al. (1983) em sorgo, onde a presença de Al causou reduções nos teores de Mn na parte aérea e raiz, não encontrando diferença entre cultivar tolerante e sensível, exceto para as raízes do genótipo sensível.

Em cevada, ALAM (1981), também verificou que o Al promoveu um decréscimo na concentração de Mn em todas as partes da planta, com exceção dos colmos. Entretanto, ALAM (1983), verificou que no arroz, o aumento de Al na solução promoveu uma diminuição do teor de Mn na parte aérea, enquanto nas raízes ocorreram aumentos, sugerindo que o Mn pode competir efetivamente com o Al pelos sítios ativos de absorção.

Figura 34. Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva sobre o teor de manganês na parte aérea (a) e nas raízes (b), de plantas de dois genótipos de aveia.

Figura 35. Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva sobre a extração de manganês pela parte aérea (a) e pelas raízes (b) de plantas de dois genótipos de aveia.

4.8.4. Zinco

A análise de variância dos resultados dos teores de zinco das plantas de aveia (TZnP) revelou ser significativa a interação genótipos x níveis de Al e a diferença entre os genótipos, ao nível de 5% de significância (Tabela D11). O efeito dos níveis de Al foi altamente significativa ($P > 0,01$).

Em relação à extração de zinco, a análise de variância não foi significativa para a interação genótipos x níveis de Al ($P > 0,05$), enquanto que as diferenças entre os genótipos e os níveis de Al foram altamente significativas ($P < 0,01$).

Através da comparação entre as médias pelo teste de Tukey (Tabela 75), observa-se que o genótipo tolerante apresentou teor de zinco superior ao sensível no nível 10 mg Al/l, não diferindo nos demais níveis. Em relação à extração, a média dos níveis do genótipo tolerante foi superior ao sensível.

A análise de regressão do efeito de níveis de Al sobre os teores de zinco na planta revelou que tanto no genótipo tolerante quanto no sensível, a redução dos teores desse micronutriente ocorre de forma linear com os níveis de Al (Figura 36).

Em relação às partes da aveia, a análise de variância dos resultados do teor e extração de zinco revelou não serem significativas as interações entre genótipos x partes x níveis de Al, genótipos x níveis e partes x níveis, ao nível de 5% de significância (Tabela D12). Já a interação partes x genótipos e as diferenças de médias entre as partes, os genótipos e os níveis de alumínio foram altamente significativas.

Pela comparação entre médias, apresentada na Tabela 76, verifica-se que o teores de zinco na raiz foram significativamente superiores aos da parte aérea, nos dois genótipos avaliados. Na comparação entre as partes, observa-se quanto aos teores na parte aérea os genótipos não diferiram, mas em relação às raízes, o teor no genótipo tolerante foi superior ao do cultivar sensível.

Tabela 75. Efeito dos níveis de alumínio na solução nutritiva sobre os teores e extração de zinco, em plantas de dois genótipos de aveia.

Níveis de Al (mg/l)	Genótipos		Média
	UPF86Al169-2b	UPF 7	
	Teor (ppm)		
0	26,0aA	24,5aA	25,7a
10	28,3aA	23,0abB	25,7a
20	20,0bA	20,6bcA	20,3b
30	17,9bA	18,6cA	18,3b
Média	23,1A	21,7B	
C.V.(%)	6,6		
	Extração (mg/vaso)		
0	118,7	104,9	111,8a
10	69,5	49,7	54,6b
20	37,6	32,6	35,1c
30	28,7	27,7	28,3c
Média	63,6A	53,7B	58,7
C.V.(%)	11,6		

* Médias seguidas da mesma letra minúscula na vertical e maiúsculas na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey, a nível de 5% de significância.

Figura 36. Efeito de níveis de alumínio na solução nutritiva sobre os teores de zinco nas plantas de dois genótipos de aveia.

Tabela 76. Teores e extração média de zinco pela parte aérea e pelas raízes de plantas dos dois genótipos de aveia.

Parte da planta	Genótipos	
	UPF86A1169-2b	UPF 7
	Teor (ppm)	
Parte aérea	17,5b A	19,1b A
Raízes	42,3a A	30,8a B
	Extração (mg/vaso)	
Parte aérea	35,7a A	35,4a A
Raízes	27,9b A	18,3b B

* Médias seguidas da mesma letra minúscula na vertical e maiúsculas na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey, a nível de 5% de significância.

Quanto à extração, observa-se que para os dois genótipos, o acúmulo pela parte aérea foi superior ao das raízes ($P < 0,05$). Na comparação entre os genótipos o comportamento foi igual ao observado quanto aos teores.

ALAM & ADAMS (1979b), não encontraram diferenças significativas entre os teores de Zn na parte aérea e nas raízes de aveia em função do aumento da concentração de alumínio. Entretanto, aqueles autores encontraram teores nas raízes, superiores aos da parte aérea, concordando com os resultados obtidos neste trabalho.

4.8.5. Correlações entre teor de alumínio, o rendimento de matéria seca e os teores de alguns micronutrientes

A correlação linear simples entre o teor de Al e os teores de alguns micronutrientes nas raízes do cultivar de aveia UPF 7 foi significativa e negativa para os teores de manganês ($r = -71,7^{**}$) e zinco ($r = -62,2^{*}$), enquanto para o genótipo UPF86Al169-2b elas foram significativa e negativas para os teores de ferro ($r = -82,2^{**}$) e manganês ($r = -83,6^{**}$), conforme Tabela 77.

Em relação aos teores da parte aérea, observou-se que no cultivar sensível (UPF 7), o teor de Al na parte aérea se correlacionou negativamente com o teor de Cu ($r = -61,0^{*}$), manganês ($r = -72,0^{**}$) e zinco ($r = -78,4^{**}$). Para o genótipo tolerante (UPF86Al169-2b), o teor de Al na parte aérea não se correlacionou significativamente com os teores de nenhum dos micronutriente analisados.

Com relação ao rendimento de matéria seca das raízes e os teores de micronutrientes (Tabela 78) observou-se que no cultivar UPF 7 a correlação foi significativa e positiva para os teores de manganês ($r = 76,5^{**}$) e zinco ($r = 67,5^{*}$), enquanto que no genótipo UPF86Al169-2b a correlação foi significativa e também positiva para os teores de ferro ($r = 94,9^{**}$) e de manganês ($r = 91,1^{**}$).

Quanto à parte aérea, o rendimento de matéria seca do genótipo UPF 7 não se correlacionou significativamente com nenhum dos micronutriente analisados. Para o genótipo UPF86Al169-2b verificou-se uma correlação significativa e negativa entre o rendimento de matéria seca e o teor de ferro ($r = -80,7^{**}$).

Tabela 77. Valores de t e coeficientes de correlação (r) entre os teores de alumínio nas raízes e na parte aérea, e os teores de alguns micronutrientes em dois genótipos de aveia.

Correlações	Valor t		r (%)	
	UPF 7	UPF86A1169-2b	UPF 7	UPF86A1169-2b
Raízes				
TAI x TCu	1,51ns	0,84ns	40,1	-26,4
x TFe	0,19ns	4,57**	- 5,9	-82,2
x TMn	3,26**	4,82**	-71,7	-83,6
x TZn	2,51*	1,68ns	-62,2	-47,0
Parte aérea				
TAI x TCu	2,44*	1,74ns	-61,0	-48,3
x TFe	0,64ns	1,30ns	19,4	38,0
x TMn	3,28**	0,80ns	-72,0	-24,6
x TZn	4,00**	1,62ns	-78,4	-45,5

* e ** significativo, respectivamente no níveis 5 e 1% de significância. ns = não significativo.

Tabela 78. Valores de t e coeficientes de correlação r entre o rendimento de matéria seca das raízes e da parte aérea e os teores de alguns micronutrientes em plantas dos dois genótipos de aveia.

Correlações	Valor t		r (%)	
	UPF 7	UPF86A1169-2b	UPF 7	UPF86A1169-2b
Raízes				
RMS x TCu	1,03ns	1,42ns	-31,00	40,9
x TFe	0,38ns	9,62**	0,12	94,9
x TMn	3,75**	6,98**	76,50	91,1
x TZn	2,89*	1,09ns	67,50	32,5
Parte aérea				
RMS x TCu	1,35ns	1,03ns	39,30	30,9
x TFe	0,45ns	4,32**	-14,10	-80,7
x TMn	1,79ns	0,29ns	49,20	9,0
x TZn	1,80ns	0,92ns	49,50	27,9

* e ** significativo, respectivamente no níveis 5 e 1% de significância. ns = não significativo.

4.9. Efeito dos níveis de alumínio sobre o pH na solução nutritiva, no cultivo de aveia.

A análise de variância dos resultados da avaliação do pH da solução nutritiva, medida durante um período de cinco dias, revelou que as interações dias x genótipos x níveis de Al e dias x níveis de Al foram altamente significativas ao nível de 1%, enquanto a interação dias x genótipos foi significativa ao nível de 5% (Tabela D13). Em relação aos efeitos principais, as médias dos genótipos diferem

significativamente ao nível de 5% e as médias entre os dias e níveis de Al diferem ao nível de 1%. A interação genótipos x níveis de Al não foi significativamente, ao nível de 5% de significância.

Pela comparação entre as médias dos genótipos, através do teste de Tukey, apresentada na Tabela 79, observou-se que o pH médio da solução do genótipo tolerante foi superior ao sensível, ao nível de 5% de significância.

Tabela 79. Variação do pH da solução nutritiva em função dos níveis de alumínio, no cultivo hidropônico de aveia.

Níveis de Al (mg/l)	UPF 7	UPF86Al169-2b
0	4,26 A	4,32 A
10	3,98 A	3,98 A
20	3,90 A	3,93 A
30	3,84 A	3,87 A
40	3,76 B	3,83 A
Média	3,95 B	3,99 A

- Médias seguidas da mesma letra na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Em relação aos níveis de alumínio, o pH da solução utilizada com o genótipo UPF86Al169-2b foi superior ao da solução de cultivo do cultivar UPF 7 no nível 40 mg Al/l, não diferindo ($P > 0,05$) nos demais níveis.

A análise de regressão do efeito de níveis de alumínio, sobre o pH da solução nutritiva dos dois genótipos é apresentada na Figura 37. Verifica-se que a diminuição no pH, com o aumento dos níveis de alumínio, se manifestou de forma quadrática para os dois genótipos, sendo que o coeficiente de

Figura 37. Efeito dos níveis de alumínio sobre o pH na solução nutritiva de dois genótipos de aveia.

determinação igual a 96,7% e 94,7% , para UPF 7 e UPF86A1169-2b, respectivamente.

Em relação à comparação entre as médias de pH durante os dias de avaliação (Tabela 80), observa-se que o pH na solução nutritiva do genótipo tolerante foi superior ao pH do genótipo sensível, na média do período e em cada dia de avaliação, partindo-se de um pH inicial igual.

Tabela 80. Variação do pH da solução nutritiva na média dos diferentes dias de avaliação em cultivo hidropônico de aveia.

Dias	UPF 7	UPF86A1169-2b
0	4,16 A	4,16 A
1	4,06 B	4,11 A
2	3,95 B	3,99 A
3	3,82 B	3,90 A
4	3,76 A	3,80 A
Média	3,95 B	3,99 A

- Médias seguidas da mesma letra na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

A análise de regressão do efeito do tempo de cultivo (dias) sobre o pH da solução nutritiva, revela que a diminuição do pH ocorreu de forma linear nos dois genótipos (Figura 38).

Apesar do pequeno valor numérico, a diferença do pH na solução nutritiva entre o genótipo tolerante (UPF86A1169-2b) e o sensível (UPF7), foi significativa. Este resultado

Figura 38. Efeito do tempo de cultivo (dias) sobre o pH na solução nutritiva de dois genótipos de aveia.

poderia indicar a capacidade dos genótipos de aveia tolerantes ao alumínio, de manterem um pH mais elevado em relação ao sensível. Este fato seria então explicado pela maior absorção de nitrato (NO_3^-) em relação a amônio (NH_4^+), conforme os resultados obtidos em trigo (FOY et al., 1965; FOY & FLEMING, 1978; FOY & FLEMING, 1982). Entretanto, a diminuição do pH na solução, observada neste trabalho, é discordante dos resultados apresentados por McLEAN & GILBERT (1927) verificaram que o pH na solução de alumínio apresentou um aumento de 4,5 para 6,5 em três dias e meio de cultivo de aveia. Aqueles autores também observaram que a variação no pH não estava correlacionada com a sensibilidade de genótipos de aveia ao alumínio.

4.10. Efeito de níveis de alumínio sobre a atividade "in vitro" da redutase do nitrato em aveia

A análise de variância dos resultados da atividade "in vitro" da redutase do nitrato (RN) em aveia revelou que não foram significativas as interações genótipos x estádios x órgãos, genótipos x órgãos e genótipos x estádios, ao nível de 5% de significância (Tabela D14). A interação estádios x órgãos revelou-se altamente significativa ($P < 0,01$), bem como a diferença entre órgãos. A diferença de atividade nos dois estádios foi significativa ao nível de 5% de significância e os genótipos UPF 7 e UPF86A1169-2b não diferiram ($P > 0,05$) em relação à atividade da redutase do nitrato.

Na Tabela 81 é apresentada a comparação entre as médias do desdobramento de órgãos e estádios de desenvolvimento. Verifica-se que nos dois estádios, a atividade "in vitro" da redutase do nitrato na folha foi superior à atividade nas raízes.

Quanto ao estágio de desenvolvimento, observa-se que a atividade nas folhas aos 14 dias após a emergência (14DAE) foi superior à atividade aos 21 dias após a emergência (21DAE). A atividade enzimática nas raízes não diferiu nos dois estádios.

Tabela 81. Efeito do estágio de desenvolvimento sobre a atividade "in vitro" da redutase do nitrato, em folhas e raízes de plantas de aveia.

Estádio	Órgãos	
	Folha	Raízes
	-----umol NO ₂ ⁻ /h/gMF-----	
14 DAE	3,06a A	0,13a B
21 DAE	2,33b A	0,19a B

- Médias seguidas da mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

A maior atividade da redutase do nitrato nas folhas em relação as raízes, obtida neste trabalho confirma as informações apresentadas por BEEVERS & HAGEMAN (1969). Segundo BEN ZIONI et al. (1971), a redução do nitrato na parte aérea estimula a absorção de nitrato pela raiz.

A partir desses resultados, a avaliação do efeito dos níveis de alumínio sobre a atividade "in vitro" da redutase do nitrato (RN) foi realizada utilizando apenas a última folha completamente expandida da planta.

Quanto à relação entre a atividade da enzima RN e o estágio de desenvolvimento da aveia, a maior atividade

observada foi no estágio de início de afilhamento das plantas de aveia. Segundo SAUVESTY & GENDRON (1987), em plantas de aveia a atividade da enzima é alta na fase de plântula, máxima na fase de afilhamento, decaindo após a emissão da panícula.

A análise de variância dos resultados do efeito do alumínio sobre a RN, revelou que a interação genótipos x níveis de alumínio e a diferença entre os níveis de alumínio não foi significativa, ao nível de 5% de significância. Entretanto, foram observadas diferenças significativas entre os genótipos UPF 7 e UPF86Al169-2b ($P < 0,05$), conforme Tabela D14).

Através da comparação entre as médias dos genótipos (Tabela 82), observa-se que a atividade média da redutase do nitrato no genótipo tolerante foi superior à atividade no genótipo sensível, ao nível de 5% de significância.

Apesar da diferença entre os níveis de Al, não ser significativa, verifica-se uma diminuição da atividade da redutase do nitrato no genótipo sensível UPF 7, com o aumento da concentração de Al. Para o genótipo tolerante, observa-se um aumento da atividade da enzima com o aumento da concentração de Al.

Essa maior atividade da redutase do nitrato em genótipos tolerantes em relação aos sensíveis também foi encontrada para trigo (FOY & FLEMING, 1982). A maior atividade da enzima em genótipos tolerantes ao alumínio, aumenta a eficiência na utilização do nitrogênio, e poderia ser responsável pelo maior teor de proteína encontrado nos grãos de aveia (BILSKI & FOY, 1987).

Tabela 82. Atividade "in vitro" da redutase do nitrato em folhas de aveia ($\mu\text{mol}/\text{NO}^{-1}/\text{h/gMF}$) sob diferentes níveis de alumínio na solução nutritiva em cultivo hidropônico.

Níveis de Al (mg/l)	Genótipos		
	UPF 7	UPF86Al169-2b	Média
	$\mu\text{mol NO}^{-1}/\text{h/gMF}$		
0	2,32 A	1,99 A	2,15
10	1,64 A	1,94 A	1,79
20	1,55 A	1,99 A	1,79
30	1,52 A	2,01 A	1,77
40	1,30 A	2,27 A	1,77
Média	1,66 B	2,04 A	1,85
C.V. (%)	21,77		

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal, não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

5. CONCLUSÕES

Os resultados verificados neste trabalho quanto a toxicidade do Al em aveia, permitiram estabelecer as seguintes conclusões:

a) Quanto à classificação de genótipos de aveia branca e aveia preta:

- existe grande variabilidade nas aveias brancas e pretas quanto à toxicidade do alumínio, avaliada através do crescimento da raiz seminal em solução nutritiva;
- as aveias pretas são mais tolerantes e responsivas ao alumínio que as brancas;
- a concentração adequada para classificação de genótipos de aveia branca quanto ao alumínio foi 7,5 mg/litro de solução nutritiva;
- os genótipos da aveia branca UPF82079, UPF86A1198-5-46, UPF3, UFRGS6, UPF86068, UFRGS1, UFRGS4, UPF15, UPF86120, UPF84297, UPF84125, UPF87070, UPF84321, UPF87128, CTC1, CTC84B1412-3 e UPF79159-6b foram classificados como tolerantes e responsivos no nível 7,5 mg Al/litro;
- os genótipos de aveia branca UPF82079, UPF77394-1, UFRGS6, UPF86006, UPF81360, UPF86160, UPF86112, UPF81359 e UPF21, foram classificadas como tolerantes no nível 15 mg Al/litro;
- os genótipos de aveias pretas UPF77434, UPF84AP01, UPF77066, UPF77436, Preta Argentina, UPF77352 e UPF85AP01 foram

classificados como tolerantes e responsivos no nível 30 mg Al/litro:

b) Quanto aos genótipos tolerante (UPF86Al169-2b) e sensível (UPF 7):

- a toxicidade do Al promoveu maior diminuição no número de afilhos e no comprimento da maior raiz do genótipo sensível que no tolerante;
- o crescimento da raiz seminal correlacionou-se mais com o rendimento relativo de MS da planta e da parte aérea, do que o rendimento de MS da raiz;
- as plantas do genótipo tolerante apresentaram teores de N, P, Mg, Fe, Mn e Zn e extração de N, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn superiores ao sensível;
- o genótipo tolerante apresentou teores de K e Zn nas raízes e de N e P na parte aérea, superiores ao sensível;
- o genótipo tolerante apresentou extração de N, Fe, Mn e Zn nas raízes e de N, P, Ca, Mg, Fe e Mn na parte aérea superiores ao sensível;
- o teor de P nas plantas aumentou enquanto a extração diminuiu com o aumento da concentração de Al na solução;
- o Mg foi o nutriente mais afetado pela toxicidade do alumínio nas plantas;

- o genótipo tolerante e o sensível não diferiram quanto ao teor e a extração de Al pelas plantas, mas nas raízes, o teor de Al no genótipo tolerante foi superior ao do sensível;
- o teor de Al nas raízes correlacionou-se de forma positiva com o teor de P e de forma negativa com os teores de Mg, Mn e Zn no genótipo sensível e positivamente com os teores de N e P e negativamente com Mg, Fe e Mn no tolerante.
- o rendimento de matéria seca das raízes do genótipo sensível correlacionou-se de forma positiva com os teores de P, Mg, Mn e Zn e com os teores de N, P, Mg, Fe e Mn no genótipo tolerante.
- o teor de Al na parte aérea do genótipo sensível correlacionou-se de forma negativa com os teores de P, K, Ca, Mg, Cu, Mn e Zn e no tolerante com os teores de N, Ca e Mg.
- o rendimento de MS da parte aérea do genótipo sensível correlacionou-se de positiva com os teores de N, P, Mg e no tolerante com os teores de N, P, Mg e Fe;
- o teor de Al correlacionou-se de forma negativa com a matéria seca das raízes e parte aérea nos dois genótipos;
- a atividade da redutase de nitrato no genótipo tolerante foi superior a no sensível;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALAM, S.M. Influence of aluminum on plant growth and mineral nutrition of barley. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, New York, 12:121-38, 1981.
- ALAM, S.M. Effect of aluminum on the dry matter and mineral content of rice. *Journal of Science and Technology*, Peshawar, 7 (1/2):1-3, 1983.
- ALAM, S.M. Aluminium toxicity in barley and oats in soil and hydroponic culture. *Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research*, Karachi, 37(1/4): 17-30, 1985.
- ALAM, S.M. & ADAMS, W.A. Effect of soil pH on the growth and mineral content of oats. *Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research*, Karachi, 22(3):147-51, 1979a.
- ALAM, S.M. & ADAMS, W.A. Effects of aluminum on nutrient composition and yield of oats. *Journal of Plant Nutrition*, New York, 1(4):365-75, 1979b.

- ANDREW, C.S.; JOHNSON, A.D.; SANDLAND, R.L. Effect of aluminum on the growth and chemistry composition of some tropical and temperate pasture legumes. *Australian Journal of Agricultural Research*, East Melbourne, 24:325-39, 1973.
- ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL - 1989, Rio de Janeiro, 48: 337, 1990.
- ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL - 1990, Rio de Janeiro, 51:517, 1991.
- BARKER, A.V. Nutritional factors in photosynthesis of higher plants. *Journal of Plant Nutrition*, New York, 1:309-42, 1979.
- BEEVERS, L. & HAGEMAN, R.H. Nitrate reduction in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology*, Palo Alto, 20: 495-522, 1969.
- BEN, J.R. & ROSA, O. S. Resposta de alguns genótipos de trigo e fósforo no solo. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE TRIGO, 14., Londrina, 1986. Resultados de Pesquisa do Centro Nacional de Pesquisa de Trigo. Passo Fundo, EMBRAPA-CNPT, 1986 p. 189-93. (EMBRAPA-CNPT. Documentos, 8).
- BEN ZIONI, A.; VAADIA, Y.; HERMAN LIPS, S. Nitrate uptake by roots as regulated by nitrate reduction products of the shoot. *Physiologia Plantarum*, Copenhagen; 24:288-90, 1971.

- BILSKI, J.J. Response of plants to mineral stresses caused by acidification and salination of the medium. 1. Effect of the reaction of the medium and the aluminium and calcium content on the growth and chemical composition of roots systems of barley, wheat and oats in water cultures. *Biuletyn Instytutu Hodowlii Aklimatyzacji Roslin*. Bydgoszcz, 164:89-198, 1987. Apud *Field Crops Abstracts*, Farnham Royal, 42(6):519, June 1989a. (Resumo).
- BILSKI, J.J. Response of plants to mineral stresses caused by acidification and salination of the medium. II. The effect of aluminium and manganese on seedlings of some plants in a pot experiment. *Biuletyn Instytutu Hodowlii Aklimatyzacji Roslin*, Bydgoszcz, 165:67-73, 1988 Apud *Field Crop Abstracts*, Farnham Royal, 42(6):574, 1989b. (Resumo)
- BILSKI, J.J. & FOY, C.D. Differential tolerances of oat cultivars to aluminum in nutrient solutions and in acid soils of Poland. *Journal of Plant Nutrition*, New York, 10(2):129-41, 1987.
- BILSKI, J.J. & FOY, C.D. Differential tolerances of weed species to aluminum, manganese and salinity. *Journal of Plant Nutrition*, New York, 11(1):93-105, 1988.
- BRAUNER, J.L. Tolerância de cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.) ao alumínio e ao manganês: sua determinação, influência na concentração de nutrientes e absorção de cálcio e fósforo. Piracicaba, 1979. 211p. (Doutorado-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

- CALBO, A.G. & CAMBRAIA, J. Efeito do alumínio sobre a composição mineral de dois cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Revista Ceres*, Viçosa, 27:369-78, 1980.
- CAMARGO, C.E.O. Efeito da temperatura da solução nutritiva na tolerância ao alumínio de cultivares de trigo. *Bragantia*, Campinas, 42(1):51-63, 1983.
- CAMARGO, C.E.O.; CAMARGO, O.B.A.; SOUZA, D.M. Diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva na tolerância de cultivares de arroz. *Bragantia*, Campinas, 43(2): 357-68, 1984.
- CAMARGO, O. A. & FURLANI, P.R. Alumínio no solo: concentração, especiação e efeito no desenvolvimento radicular. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 2., Piracicaba, 1989. *Anais*. Campinas, Fundação Cargill, 1989. p.45-69.
- CAMBRAIA, J. Mecanismos de tolerância à toxidez de alumínio em plantas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FISILOGIA VEGETAL, 2., Piracicaba, 1989. *Anais*. Piracicaba, SBFV/ESALQ, 1989. p.85-92.
- CAMBRAIA, J.; GALVANI, F.R.; ESTEVAO, M.D.M.; SANT`ANA, R. Effects of aluminum on organic acid, sugar and aminoacid composition of the root system of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Journal of Plant Nutrition*, New York, 6(4):313-22, 1983a.

- CAMBRAIA, J., LEMOS FILHO, J.P., ESTEVAO, M.M., OLIVA, M.A.
Efeito do alumínio sobre os teores de Mg, Fe, Mn e Cu em
sorgo. *Revista Ceres, Viçosa*, 30 (167):45-54, 1983b
- CAMPBELL, L.G. & LAFEVER, H.N. Correlation of field and
nutrient culture techniques of screening wheat for
aluminum tolerance. In: WORKSHOP ON PLANT ADAPTATION TO
MINERAL STRESS IN PROBLEM SOILS, Beltsville, 1976. Plant
adaptation to mineral stress in problem soils;
proceedings, edited by M.J. Wright and S.A. Ferrari.
Ithaca, Cornell University, 1976. p.277-86.
- CLARK, R.B. Characterization of phosphatases of intact maize
roots. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*,
Washington, 23:458-60, 1975.
- CLARK, R.B. & BROWN, J.C. Differential phosphorus uptake by
phosphorus-stressed maize inbreds. *Crop Science*, Madison,
14: 505-8, 1974.
- CLARKSON, D.T. Effect of aluminum on the uptake and
metabolism of phosphorus by barley seedlings. *Plant
Physiology*, Maryland, 41:165-72, 1966.
- CLARKSON, D.T. Metabolic aspects of aluminum toxicity and
some possible mechanisms for resistance. In: RORISON,
I.H., ed. *Ecological aspects of mineral nutrition of
plants*. Oxford, Blackwell Scientific, 1969. p. 381-97.
- DELORIT, R.J.; GREUB, L.J.; AHLGREEN, H.L. Oats. In:
_____. *Crop production*. New Jersey, Prentice-Hall,
1984. p. 157-68.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Relatório técnico anual - 1976/1977. Brasília, 1978. 183p.

FAGERIA, N.K. Tolerância diferencial de cultivares de arroz ao alumínio em solução nutritiva. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 17(1): 1-9, 1982.

FAGERIA, N.K. & ZIMMERMANN, F.J.P. Seleção de cultivares de arroz para tolerância à toxidez do alumínio. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 14: 141-7, 1979.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, U.C.; WRIGHT, R.J. Aluminum toxicity in crop plants. Journal of Plant Nutrition, New York, 11(3):303-19, 1988.

FLOSS, E.L.; BAIER, A.C.; McDANIEL, M.E.; BRINKMAN, M.; SHANDS, H.L. Seleção de cultivares de aveia (*Avena* sp) tolerantes ao alumínio. In: REUNIÃO DA COMISSÃO SULBRASILEIRA DE PESQUISA DA AVEIA, 1., Florianópolis, 1989. Passo Fundo, Universidade de Passo Fundo / Faculdade de Agronomia, 1990. p.146-70.

FLOSS, E.L.; BAIER, A.C.; BRINKMAN, M.A.; McDANIEL, M.E.; SHANDS, H.L.; CECCON, G. Melhoramento genético de aveia visando a tolerância ao alumínio. In: SOUTH AMERICAN OAT CONGRESS, 1. Buenos Ayres, 1991. Passo Fundo, Universidade de Passo Fundo, 1991. p.1-41

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

FOY, C.D. Effects of aluminum on plant growth. In: CARSON, E.W., ed. The plant root and its environment. Charlottesville, University Press of Virginia, 1971. p. 601-40.

FOY, C.D. Effect of aluminum on plant growth. In: E.W. Carson (ed.). The plant root and its environment. Charlottesville, University Press of Virginia, p. 601-42. 1974.

FOY, C.D. General principles invalued in screening plants for aluminum and manganese. In: WORKSHOP ON PLANT ADAPTATION TO MINERAL STRESS IN PROBLEM SOILS, Beltsville, 1976. Plant adaptation to mineral stress in problem soils; proceedings, edited by M.J. Wright and S.A. Ferrari. Ithaca, Cornell University, 1976. p.255-68.

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

FOY, C.D. Plant adaptation to acid, aluminum-toxic soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis, New York, 19: 959-87, 1988.

FOY, C.D. Soil chemical factors limiting plant root growth. In: HATFIELD, J.L. & STEWART, B.A. Limitations to plant root growth. New York, Springer - Verlag, 1992. p. 97-149.

FOY, C.D. & FLEMING, A.L. The physiology of plant tolerance to excess available aluminum and manganese in acid soils.

In: JUNG, G.A., ed. Crop tolerance to suboptimal land conditions. Madison, ASA, 1978. p.301-28.

FOY, C.D. & FLEMING, A.L. Aluminum tolerance of two wheat genotypes related to nitrate reductase activities. Journal of Plant Nutrition, New York, 5:1313-33, 1982.

FOY, C.D. & LEE, E.H. Differential aluminum tolerance of two barley cultivars related to organic acids in their roots. Journal of Plant Nutrition, New York, 10(9/16):1089-101, 1987.

FOY, C.D.; CHANEY, R.L.; WHITE, M.C. The physiology of metal toxicity in plants. Annual Review of Plant Physiology, Palo Alto, 29:511-66, 1978.

FOY, C. D.; FLEMING, A. L.; ARMIGER, W. H. Aluminum tolerance of soybean varieties in relation to calcium nutrition. Agronomy Journal, Madison, 61: 505-11, 1969.

FOY, C.D., SMITH, Jr. D.H.; BRIGLE, L.W. Tolerances of oat cultivars to an acid soil high in exchangeable aluminum. Journal of Plant Nutrition, New York, 10(9/16):1163-74, 1987.

FOY, C.D.; ARMIGER, W.H.; BRIGGLE, L.W.; REID, D.A. Differential aluminum tolerance of two wheat varieties associated with plant induced pH changes around their roots. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 29:64-7, 1965.

- FOY, C.D.; FLEMING, A.L.; BURNS, G.R.; ARMINGER, W.H. Characterization of differential aluminum tolerance among varieties of wheat and barley. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 31:513-21, 1967.
- FRINK, C.R. & PEECH, M. Hydrolysis and exchange reactions of the aluminum ion in hectarite and montmorillonite suspensions. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 27: 527-30, 1963.
- FURLANI, P.R. Efeitos fisiológicos do alumínio em plantas. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 2., Piracicaba, 1989. Anais. Campinas, Fundação Cargill, 1989. p.73-90.
- FURLANI, P.R. & CASTRO, J.L. Tolerância a alumínio em aveia e cevada. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 19., Santa Maria, 1990. Resumos. Santa Maria, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1990. p.102.
- FURLANI, P.R. & CLARK, R.B. Screening sorghum for aluminum tolerance in nutrient solutions. *Agronomy Journal*, Madison, 73: 587-94, 1981.
- FURLANI, P.R. & HANNA, L.G. Avaliação da tolerância de plantas de arroz e milho ao alumínio em solução nutritiva. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 8: 205-8, 1984.
- GOMES, F.P. Curso de estatística experimental. 5.ed., São Paulo, Nobel, 1972. 530p.

- GOODMAN, P.J.; FOTHERGILL, M.; HUGHES, D.M. Variation in nitrate reductase, nitrite and nitrite reductase in some grasses and cereals. *Annals of Botany*, Aberystwith, 38:31-7, 1974.
- GRIMME, H. The effect of Al on Mg uptake and yield of oats. In: INTERNATIONAL PLANT NUTRITION COLLOQUIUM, 9., Coventry, 1982. Proceedings. Coventry, Warwick University, p.198-203.
- GRIMME, H. Aluminum induced magnesium deficiency in oats. *Zeitschrift fuer Pflanzenernaehrung Bodenkunde*, Weinheim, 146:666-76, 1983.
- HARPER, J.E. & HAGEMAN, R.H. Canopy and seasonal profiles of nitrate reductase in soybeans (*Glycine max* (L.) Merrill). *Plant Physiology*, Rockyville, 49: 146-54, 1972.
- HECHT-BUCHHOLZ, C. & SCHUSTER, J. Responses of Al tolerant Dayton and Al-sensitive Kearney barley cultivars to calcium and magnesium during Al stress. In: SYMPOSIUM ON GENETIC ASPECTS OF PLANT MINERAL NUTRITION, 2., Madison, 1985. Genetic aspects of plant nutrition; Proceedings. Dordrecht, Martinus Nijhoff, 1987. p.223-37.
- HOWELLER, R.H. & CADAVID, L.F. Screening of rice cultivars for tolerance to Al-toxicity in nutrient solutions as compared with a field screening method. *Agronomy Journal*, Madison, 68: 551-5, 1976.

- KAMPRATH, E.J. Exchangeable aluminum as a criterion for liming leached mineral soils. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 34:252-4, 1970.
- KAMPRATH, E.J. Crop response to lime on soils in the tropics. Agronomy Journal, Madison, 12:349-68, 1984.
- KARATAGLIS, S. Aluminum toxicity in *Avena sativa* cv. Kassandra and a comparison with the toxicity caused by some other metals. *Phyton*, Horn, 27(1):1-14, 1987.
- KELTJENS, W.G. Short-term effects of Al on nutrient uptake, H⁺ efflux, root respiration and nitrate reductase activity of two sorghum genotypes differing in Al-susceptibility. Communication in Soil Science and Plant Analysis, New York, 19(7/12):1155-63, 1988.
- KLIMOV, S.V. Interaction of stress factors: intensification of drought action on plants when Al³⁺ is present in the medium. Soviet Plant Physiology, New York, 32(3):423-8, 1985.
- KLIMOV, S.V.; VLASENKO, N.M.; RYBAKOVA, M. I. Evaluation of the resistance of spring cereals to some soil stresses. Moscou, Nechernozem'ya, p.155-64. 1985. Apud Field Crops Abstracts., Farnham Royal, 41(1):93, 1988 (Resumo).
- KYLIN, A. & KAHR, M. The effect of magnesium and calcium ions on adenosine triphosphatases from wheat and oat roots at different pH. Physiologia Plantarum, Copenhagen, 28:452-7, 1973.

- LAFEVER, H.N.; CAMPBELL, L.C.; FOY, C.D. Differential response of wheat cultivars to Al. *Agronomy Journal*, Madison, 69:563-8, 1977.
- LARKIN, P. J. Calmodulin levels are not responsible for aluminum tolerance in wheat. *Australian Journal of Plant Physiology*, East Melbourne, 14:377-85, 1987.
- LEMOES FILHO, J.P. Efeito do alumínio sobre os teores de alguns elementos minerais, sobre a fotossíntese e sobre a atividade de certas oxidases em sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). Viçosa, 1981. 46p. (Mestrado-Universidade Federal de Viçosa).
- LILLO, C. & HENDRIKSEN, A. Comparative studies of diurnal variations of nitrate reductase activity in wheat, oat and barley. *Physiologia Plantarum*, Copenhagen, 62:89-94, 1984.
- LOCKHART, J.A.R. & WISEMAN, A.J.L. Soils. In: _____ Crop husbandry. New York, Pergamon Press, 1975. p. 33-90.
- LONG, F.L.; LANGDALE, G.W.; MYHRE, D.L. Response of an Al-tolerant and Al-sensitive genotype to lime, P and K on three Atlantic Coast Flatwoods soils. *Agronomy Journal*, Madison, 65(1):30-4, 1973.
- MALAVOLTA, E. Reação do solo e crescimento das plantas. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS, Piracicaba, 1983. Trabalhos apresentados, coord. por E. Malavolta Campinas, Fundação Cargill, 1985. p. 3-64.

MARTINI, J.A.; KOCHHANN, R.A.; GOMES, E.P.; LANGER, F.

Response of wheat cultivars to liming in some high Al oxisols of Rio Grande do Sul, Brazil. *Agronomy Journal*, Madison, 69:612-6, 1977.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. London, Academic Press, 1986. 674p.

MATSUMOTO, H.; HIRSAWA, F.; MORIMURA, S.; TAKAHASHI, E. Localization of aluminum in tea leaves. *Plant Cell Physiology*, Kyoto, 17:890-5, 1976.

McLEAN, F.T. & GILBERT, B.E. The relative aluminum tolerance of crop plants. *Soil Science*, Baltimore, 24:163-75, 1927.

MESDAG, I.; SLOOTMAKER, I.A.J.; POST Jr, J. Linkage between tolerance to high soil acidity and genetically high protein content in the kernel of wheat (*Triticum aestivum* L.) and its possible use on breeding. *Euphytica*, Dordrecht, 19:163-74, 1970.

MESDAG, J. & BALKEMA-BOOMSTRA, A.G. Varietal differences for reaction to high soil acidity and to trace elements: a survey of research in the Netherlands. *Fertilizer Research*, Hague, 5:213-33, 1984.

METCALFE, D. S. & ELKINS, D.M. Avena, cevada e arroz. In: _____. Produccion de cosechas; fundamentos y practicas. Madrid, Limusa, 1987. p.537-71.

- MINELLA, E. Aluminum tolerance in barley: inheritance, chromosome location, genetic relationship of sources of diverse origins and breeding implications. Ithaca, 1989. 70p. (Ph.D. Cornell University).
- MOHR, W.A. A influência da acidez sobre a fertilidade dos solos. In: CONGRESSO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE SOLOS, 1., São Paulo, 1960. Anais São Paulo, s.ed., s.d.
- MOORE, D.P.; KRONSTAD, W.E.; METZGER, R.J. Screening wheat for aluminum tolerance. In: WORKSHOP ON PLANT ADAPTATION TO MINERAL STRESS IN PROBLEM SOILS, Beltsville, 1976. Plant adaptation to mineral stress in problem soils; proceedings, edited by M.J. Wright and S.A. Ferrari. Ithaca, Cornell University, 1976. p.287-95.
- MUGWIRA, L.M. Growth and Ca, Mg, K and P uptake by triticale, wheat and rye at four Al levels. Journal of Plant Nutrition, New York, 2:591-606, 1980.
- MUGWIRA, L.M. & ELGAWHARY, S. M. Aluminium accumulation and tolerance of triticale and wheat in relation to root cation exchange capacity. Soil Science Society of America Journal, Madison, 32: 179-88, 1979.
- MUGWIRA, L.M.; ELGAWHARY, S.M.; PATEL, K.I. Differential tolerances of triticale, wheat, rye and barley to aluminum in nutrient solution. Agronomy Journal, Madison, 68:782-7, 1976.

- MUGWIRA, L.M.; SAPRA, V.T.; PATEL, S.U.; CHOLANDRY, M.A.
Aluminum tolerance of triticales and wheat cultivars developed in different regions. *Agronomy Journal*, Madison, 73:470-5, 1981.
- NUERNBERG, N. J.; BISSANI, C. A.; CAMPBELL, T. A.; FOY, C. D.
Screening pasture plants for aluminum tolerance. In: SYMPOSIUM ON GENETIC ASPECTS OF PLANT MINERAL NUTRITION, 2., Madison, 1985. Genetic aspects of plant mineral nutrition; proceedings. Dordrecht, Martinus Nijhoff, 1987 p.345-53.
- OJIMA, K. & OHIRA, K. Aluminium - tolerance and citric acid release from a stress - selected cell line of carrot. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, New York, 19: 1229-36, 1988.
- OTSUKA, K. Aluminum and manganese toxicities for plants. 2. Effect of aluminum on growth of barley, wheat, oat and rye seedlings. *Journal Science Soil Manure*, 39(10):469-74, 1968. Apud *Field Crops Abstracts*, Farnham Royal, 23(2):192, 1970. (Resumo).
- OTSUKA, K. Aluminum induced iron chlorosis. IV. Aluminum and manganese toxicities for plants. *Soil Science and Plant Nutrition*, Tokyo, 16:140, 1970.
- PAVAN, M.A. & BINGHAM, F.T. Toxicity of aluminium to coffee seedlings grown in nutrient solution. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 46:993-7, 1982.

- PIERRE, W.H.: MEISINGER, J.: BIRCHETT, J.R. Cation-anion balance in crops as a factor in determining the effect of nitrogen fertilizers on soil acidity. *Agronomy Journal*, Madison, 62:106-12, 1970.
- PIMENTA, J.A.; CAMBRAIA, J.; SANT'ANA, R.; ESTEVAO, M.M. Efeito do alumínio sobre algumas enzimas ligadas a assimilação do nitrogênio no sorgo. In: REUNIAO BRASILEIRA DE FISILOGIA VEGETAL, 1. Londrina, 1987. Resumos. Londrina, SBFV, 1987. p.22.
- PIRSON, A. Functional aspects in mineral nutrition in green plants. *Annual Review of Plant Physiology*, Palo Alto, 6:71-114, 1955.
- QUELLETTE, E.J. & DESSUREAUX, L. Chemical composition of alfalfa as related to degree of tolerance to manganese and aluminium. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, 38:206-14, 1958.
- RAGLAND, J.L. & COLEMAN, N.T. The hydrolysis of aluminum salts in clay and soil systems. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 24:457-60, 1960.
- REID, D.A. Genetic potentials for solving problems of soil mineral stress: aluminum and manganese toxicities in the cereal grains. In: WORKSHOP ON PLANT ADAPTATION TO MINERAL STRESS IN PROBLEM SOILS, Beltsville, 1976. Plant adaptation to mineral stress in problem soils; proceedings, edited by M.J. Wright and S.A. Ferrari. Ithaca, Cornell University, 1976. p.22-3

- REID, D.A.; FLEMING, A.L.; FOY, C.D. A method for determining aluminum response of barley in nutrient solution in comparison to response in Al-toxic soil. *Agronomy Journal*, Madison, 63:600-3, 1971.
- RHUE, R.D. Differential aluminum tolerance in crop plants. In: MUSSEL, H. & STAPLES, R.C. *Stress physiology in crop plants*. New York, Willey & Sons, 1979. p.61-80.
- RHUE, R.D. & GROGAN, C.O. Screening corn for Al tolerance using different Ca and Mg concentrations. *Agronomy Journal*, Madison, 69(5):755-60, 1977.
- ROY, K.A.; SHARMA, A.; TALUKDER, G. Some aspects of aluminum toxicity in plants. *The Botanical Review*, Bronx, 54(1): 145-78, 1988.
- SARRUGE, J.R. & HAAG, H.P. *Análises químicas em plantas*. Piracicaba, ESALQ, 1974. 55p.
- SARTAIN, J.B. & KAMPRATH, E.J. Aluminum tolerance of soybean cultivars based on root elongation in solution culture compared with growth in acid soil. *Agronomy Journal*, Madison, 70:17-20, 1978.
- SCHRADER, L.E. Critique of factors influencing nitrate acquisition by plants: assimilation and fate of reduced nitrogen. In: NIELSEN, D.R. & MACDONALD, J.G. *Nitrogen in the environment*. New York, Academic Press, 1978. v.2, p.101-41.

- SAUVESTRY, A. & GENDRON, G. Influence de la fertilisation azotée sur L'activité nitrate réductase et la teneur en protéines de trois variétés d'avoine. *Canadian Journal of Plant Science*, Ottawa, 67(2):373-83, 1987.
- SIQUEIRA, O.J.F., ed. *Recomendações de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina*. Passo Fundo, EMBRAPA-CNPT, 1987. 100p.
- TANAKA, A. & NAVASERO, S.A. Aluminum toxicity of the rice plant under culture conditions. *Soil Science and Plants Nutrition*, Tokyo, 12:9-14, 1966.
- TANAKA, A.; HITSUDA, K.; TSUCHIHASHI, Y. Tolerance to low pH and low available phosphorus of various field and forage crops. *Soil Science and Plant Nutrition*, Tokyo, 30(1):39-49, 1984.
- TAYLOR, G.J. The physiology of aluminum tolerance in higher plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, 19(7/12):1179-94, 1988.
- TAYLOR, G.J. & FOY, C.D. Mechanism of aluminum tolerance in *Triticum aestivum* L. 2. (Wheat). I. Differential pH induced by winter cultivars in nutrient solutions. *American Journal of Botany*. Baltimore, 72:695-701. 1985.
- THOMAS, G.W. & HARGROVE, W.L. The chemistry of soil acidity. In : *Soil acidity and liming*. Madison Soil Science Society of America, 1984. p.3-56.

THOMPSON, L.M. Soils and soil fertility. 2.ed. New York, McGraw Hill, 1957. 136 p.

VIDOR, C. Toxidez de alumínio e manganês e suas relações com nodulação e absorção de manganês por *Glycine max* (L.) Merril. Porto Alegre, 1972. 71p. (Mestrado - Faculdade de Agronomia/UFRGS).

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

WAGATSUMA, T. Characterization of absorption sites for aluminum in the roots. Soil Science and Plant Nutrition, Tokyo, 29(4):499-515, 1983a.

WAGATSUMA, T. Effect of non-metabolic conditions on the uptake of aluminum by plant roots. Soil Science and Plant Nutrition, Tokyo, 29(3):223-33, 1983b.

WAGATSUMA, T. & AKIBA, R. Low surface negativity of root protoplasts from aluminum-tolerant plant species. Soil Science and Plant Nutrition, Tokyo, 35(3):443-52, 1989.

WAGATSUMA, T. & EZOE, Y. Effect of pH on ionic species of aluminum in medium and on aluminum toxicity under solution culture. Soil Science and Plant Nutrition, Tokyo, 31(4):547-61, 1985.

WAGATSUMA, T. & KANEKO, M. High toxicity of hidroxy-aluminum polymer ions to plant roots. Soil Science and Plant Nutrition, Tokyo, 33(1):57-67, 1987.

- WAGATSUMA, T. & YAMASAKU, K. Relationship between differential aluminum tolerance and plant-induced pH change of medium among barley cultivars. *Soil Science and Plant Nutrition*, Tokyo, 31(4):521-35, 1985.
- WAGATSUMA, T.; KANEKO, M.; HAYASAKA, Y. Destruction process of plant root cells by aluminum. *Soil Science and Plant Nutrition*, Tokyo, 33:161-75, 1987.
- WAGATSUMA, T.; KAWASHIMA, T.; TAWARAYA, K. Comparative stainability of plant root cells with basic dye (*Methylene blue*) in association with aluminum tolerance. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, 19(7/12):1207-15, 1988.
- WRIGHT, K.E. Internal precipitation of phosphorus in relation to aluminum toxicity. *Plant Physiology*, Rockville, 18:708-12, 1943.

APÊNDICE A

Tabela A1. Identificação e genealogia/cruzamento dos genótipos de aveia branca (*Avena sativa* L.) avaliados quanto a reação ao alumínio, em solução nutritiva.

Nº	Identificação	Genealogia/cruzamento
1.	UPF77S027	RO720183
2.	UPF77S394-1	Auto Tetraploid Sais
3.	UPF78226-1b	BCLA/X2682-3
4.	UPF 14	X1205/X2286-2
5.	UPF78279-1b	LANG/COOLABAH
6.	UPF79S040	MN720183
7.	UPF79159-6b	734470-2/CI8360
8.	UPF79I174-3	X1913-3/(C234/74C17)
9.	UPF79176-5b	C1217/(CORONADO/BCLA)
10.	UPF79205-1	CAJICA/COKER 1217
11.	UPF79223-2	TAM312/X2795-1
12.	UPF79229-1	TCFP/C2888/ARK99-190)
13.	UPF79239-1	734470-2/X2426-1-1
14.	UPF79302-1	X2681-1/(74C17/X2888-2)
15.	UPF79339-2	BCLA/C234 ou X851SRR
16.	UPF78B381-1	X2675-2/X2480-2
17.	UPF79B388	7155/SURE bc
18.	UPF80155	QUADCROSS 2 (16 parents)
19.	UPF80176-5	ZI5534/X3279
20.	UPF80197	X2082-2/CI8428
21.	UPF80215	CI8425-2/4470-2/X2505-4
22.	UPF80221	X2379-9/X2888-2//X2471-2
23.	UPF80265	OA338/X2682-1
24.	UPF80266	PURR666/X2682-1
25.	UPF81251	QC2/QC2
26.	UPF81350	PC25/X2505-4
27.	UPF81359	MN5320/DIAMANTE
28.	UPF81360	MN1107/DAL
29.	UPF82005	LANG
30.	UPF82016	WIS.X2505-4
31.	UPF82029	AMAGALON/AMAGALON
32.	UPF82044	74C8014/SRcpx
33.	UPF82048	72C3034/C16CRcpx/C7512/SRcpx
34.	UPF82079	1563CRcpx/C7512/SRcpx
35.	UPF83333	LODI/IRWIN/SURE bc/X2681
36.	UPF83334	X2681-1/C234/MN78135
37.	UPF83339	80Ab2726(69A5245/C7512/SR)
38.	UPF83340	80Ab2730(72C1648/SRcpx)/ 79C5276/F2(JHG-1/72CI025

Continua

Continuação.

Nº	Identificação	Genealogia/cruzamento
39.	UPF83344	JHG-32(X64D23-162R/C7512) (79C5287/72C3028)
40.	UPF83348	80Ab2726/F2(69Ab5245/ C7512/SRcpx)
41.	UPF83350	C16CRcpx/C7512/SRcpx/74C8014
42.	UPF84056	1563CRcpx/SRcpx
43.	UPF84057	1563CRcpx
44.	UPF84112	79BORDENAVE Seln./Kenya SR Res. line (80SA65)
45.	UPF84125	X2795/X2682/2/C62-26/3/C62-26
46.	UPF84132	CORTEZ 5 / PENDEK / ME1563 / C7512/SRcpx
47.	UPF84157	79 BORDENAVE Seln./79C5287
48.	UPF84181	C5-2, 1563 CR cpx/T312/SR cpx
49.	UPF84297	X2051/X2670//X2300/ X2682/3/CORON/BCLA
50.	UPF84321	CORON/BCLA//PA7804
51.	UPF84322-1	CORON/BCLA//BCLA/C234
52.	UPF84324-2	CORON/BCLA//PA7812
53.	UPF84329-1	734470-2/X2426-1//BCLA/C234
54.	UPF84330	734470-2/X2426-1//C7512/SRcpx
55.	UPF85044	80C.S. Unknown Seln.
56.	UPF85233	EEA 10 ² /(X2503/X2299)
57.	UPF85238	IJUÍ F9 (1982 F7, PF 79174-3
58.	UPF85357	X2505-4//C25, C6-1 CR cpx/SR cpx
59.	UPF85375	C25, C6-1 CR cpx/SR cpx//79 BARROW Seln.
60.	UPF86006	79 Barrow Seln.
61.	UPF86010	C5-2, 1563 CRcpx/SRcpx
62.	UPF86011	PA78A10
63.	UPF86013	COKER 81C72 (CI9221 CROSS)
64.	UPF86015	C7512/SRcpx/F2(T312/C227)
65.	UPF86018	CORONADO2/CORTEZ3/PENDEK/ME1563
66.	UPF86023	72C1648/T301/SR cpx (80Ab2726)
67.	UPF86024	73C3219/SRcpx
68.	UPF86029	CORONADO2/CORTEZ3/PENDEK/ME1563
69.	UPF86030	CORONADO2/CORTEZ3/PENDEK/ME1563
70.	UPF86034	CORONADO/T312/SR cpx
71.	UPF86037	79C5127/SRcpx/F2(T312xC227)/ 74C8014
72.	UPF86044	78-28//234/CMB10
73.	UPF86045	EEA10/2/X2503/X2299/3/EEA10
74.	UPF86055	C7512/SRcpx/F2(T312/C227)

Continua

Continuação.

Nº	Identificação	Genealogia/cruzamento
75.	UPF86066	CORONADO2/CORTEZ3/PENDEK/ME1563
76.	UPF86067	C7512/SRcpx
77.	UPF86068	C5-2, 1563 CR cpx/T312/SRcpx
78.	UPF86081	CORTEZ5/PENDEK/ME1563/ C7512/SRcpx
79.	UPF86083	CORTEZ3/PENDEK/C16CRcpx/C7512/ SRcpx/74C8014
80.	UPF86094	CORONADO2/CORTEZ3/pendek/me1563
81.	UPF86110	DON
82.	UPF86111	HAZEL
83.	UPF86112	STEELE
84.	UPF86113	PORTER
85.	UPF86120	COKER 85A85
86.	UPF86134	UFRGS841028 sel. 2
87.	UPF86136	UPF79331-1 (UPF-10)
88.	UPF86139	UPF78227-1
89.	UPF86155	79 BORDENAVE Selection/Kenya SR resistance
90.	UPF86160	COKER 62-26/EEA10//X2503/X2299
91.	UPF86169-2b	QR305=Coker 82-33//C5-2, 1563 CRcpx/SRcpx
92.	UPF 15	QR306=COKER82-33//IL3376/OA338
93.	UPF86A1198-5-1b	QR336=X2051-6/X1913-3/3/DC9/ Coker 74C17/OTEE
94.	UPF86A1198-5-4b	QR336=X2051-6/X1913-3/3/DC9// Coker 74C17/OTEE
95.	UPF86212	QR351=C7620//BCLA/C234/3/ CORONADO2/CORTEZ3/PENDEK/ME1563
96.	UPF86238	QR383=IL5680//X2300/CI2332/3/ IL5680/4/IL79-1178
97.	UPF86243-2	QR389=IN73-109/PC25/ CORONADO/XI779-2/Selection#11 Passo Fundo
98.	UPF86A1264-1b	QR414=C234/74C70/C234/CMB10/ 3/C5-2, 1563 CR cpx/SR cpx
99.	UPF86A1264-10b	QR414=C234/74C70//C234/CMB10/ 3/C5-2, 1563 CR cpx/SR cpx
100.	UPF86A1264-7-4b	QR414=C234/74C70//C234/CMB10/ 3/C5-2, 1563 CR cpx/SR cpx
101.	UPF86A1264-1-4b	QR414=C234/74C70//C234/ CMB10/3/C5-2, CR3 CR cpx/SR cpx
102.	UPF86A1264-1-1b	QR414=C234/74C70//C234/CMB10/ 3/C5-2, 1563 CR cpx/SR cpx

Continua

Continuação.

Nº	Identificação	Genealogia/cruzamento
103.	UPF86A1264-2-7b	QR414=C234/74C70//C234/CMB10/ 3/C5-2, 1563 CR cpx/SR cpx
104.	UPF86A1264-7-8b	QR414=C234/74C70//C234/CMB10/ 3/C5-2, 1563 CR cpx/SR cpx
105.	UPF86A1264-10-2b	QR414=C234/74C70//C234/CMB10/ 3/C5-2, 1563 CR cpx/SR cpx
106.	UPF86301-1	Desconhecido
107.	UPF87069	OT212/R13064
108.	UPF87070	OT224/W78181
109.	UPF87071	M921/OT224
110.	UPF87072	CI4492/OT224
111.	UPF87097	ND810104
112.	UPF87107	78SA17/C7512/SRcpx
113.	UPF87111	CORONADO2/CORTEZ3/PENDEK/ME1563
114.	UPF87126	QR106-1=DC9//COKER 84C17/OTEE
115.	UPF87127	X3308/CAN615/(CORONADO/X1779)2
116.	UPF87128	X2795-2/X2682-3/COKER 62-26 2
117.	UPF87130	X2795-2/X2682-3/Coker 62-26 2/IjuíF8
118.	UPF87133	QR102-1=Coker 234/Reyes
119.	UPF87137	Coker 86-8
120.	UPF88109	C 7 5 - 1 2 / S R c p x / C R c p x / F2(T312/C234)
121.	UPF89085	C5-2, 1563 CR cpx/SR cpx/Unknown
122.	UPF89106	82C1524/80AB2726/8025/8014/ CRcpx/SRcpx/JHG-8
123.	UPF89130	GUAIBA ENT.9 sel./80AB2726/ CRcpx/ SRcpx/8025/8014/Borrow/ 1563 CRcpx
124.	CTC82B312	-
125.	CTC82B307	-
126.	CTC82B477	-
127.	CTC84B1153	-
128.	CTC84B1412-3	-
129.	CTC84B1415-3	-
130.	UPF-1	X63 - 46 (113)
131.	UPF-2	X2505-4
132.	UPF-3	Coronado / X1779-2
133.	UPF-4	X2055-1
134.	UPF-5	X2185-1/IL1514
135.	UPF-6	Coker 1214/ Lang
136.	UPF-7	TCFP/ X2502-1
137.	UPF-8	X2505/Otee

Continua

Continuação.

Nº	Identificação	Genealogia/cruzamento
138.	UPF-9	79BYL3109
139.	UPF-10	1040GH Doble Bulk Short
140.	UPF-11	1563CRcpx/SRcpx
141.	UPF-12	IN 73 - 109/PC25
142.	UPF-13	Quadcross/PC25
143.	UFRGS-1	DAL/CDA 292
144.	UFRGS-2	DAL/CDA 292
145.	UFRGS-4	DAL/CDA 292
146.	UFRGS-5	-
147.	UFRGS-6	-
148.	UFRGS-7	X 1205/FLA 1093
149.	UFRGS-8	OA 338/X2682-1
150.	UFRGS-9	Doble Cross (8 Parents)
151.	UFRGS-10	C1217/ (Coronado/DCRA)
152.	UFRGS-11	Quadcross 2(16 Parents)
153.	UFRGS-12	734470-2X(COKER 234/74C17)
154.	CORONADO	-
155.	SUREGRAIN	-
156.	SÃO CARLOS	Cherokee58-2

Quadro A2: Identificação e Genealogia de genótipos de aveias pretas (*Avena strigosa* Schreb) avaliadas quanto a reação ao alumínio, em solução nutritiva.

No.	Identificação	Genealogia/Cruzamento
1	UPF77S066	PI244471
2	UPF77S352	K2588/URSS
3	UPF77S434	CD3820
4	UPF77S436	CD7847(CI9035)
5	UPF77S456	FLA7001153
6	UPF78S101	CI3815
7	UPF84AP01	Desconhecida
8	UPF84S005	CI9020
9	UPF85AP01	Desconhecida
10	UPF87AP01	Desconhecida
11	UPF87AP02	Desconhecida
12	Aveia Preta Comum	Desconhecida
13	Aveia Preta Argentina	Desconhecida
14	GR9	Desconhecida

APÊNDICE B

Tabela B1: Controle da temperatura e umidade relativa da câmara de crescimento na avaliação da concentração de alumínio para a classificação de aveia branca.

Data	Temperatura (°C)			Umidade relativa		
	Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.	Média
23/4	20,8	31,8	26,3	50	95	73
24/4	20,8	31,2	26,0	50	96	73
25/4	20,6	28,2	24,4	51	98	73
26/4	20,0	29,4	24,7	48	96	72
27/4	20,0	29,4	24,7	51	96	74
28/4	21,0	29,6	25,3	48	96	72
29/4	21,0	29,0	25,0	46	95	71
30/4	20,8	28,0	24,4	46	95	71
01/5	20,8	28,0	24,4	49	98	74
02/5	20,8	27,6	24,2	49	97	73
03/5	20,2	27,8	24,0	50	98	74
Média	20,62	29,09	24,85	48,91	96,36	72,73
sd	0,36	1,32	0,70	1,68	1,15	1,05
CV(%)	1,73	4,55	2,83	3,43	1,19	1,45

sd= desvio padrão

Tabela B2: Variação da temperatura e umidade relativa na câmara de crescimento.

Dias	Temperatura(°C)			Umidade relativa (%)		
	Máx.	Mín.	Média	Mín.	Máx.	Média
Experimento 2						
1	31,8	21,8	26,8	38	90	64
2	32,4	21,8	27,1	42	93	68
3	31,8	21,8	26,8	45	93	69
4	30,6	21,4	26,0	46	95	71
5	30,2	21,4	25,8	45	94	70
6	30,0	21,4	25,7	46	95	71
7	31,0	21,2	26,1	48	95	72
8	30,2	21,9	26,1	49	98	74
9	30,0	21,0	26,0	48	97	73
10	30,2	21,2	25,7	50	97	74
11	32,8	21,0	26,9	45	96	71
Média	31,00	21,45	26,27	45,64	94,82	70,64
sd	0,98	0,32	0,50	3,23	2,17	2,77
C.V.(%)	3,16	1,48	1,89	7,07	2,28	3,92

Experimento 3-A						
1	31,9	20,8	26,4	48	94	71
2	32,2	20,8	26,5	48	94	71
3	32,0	20,8	26,4	40	89	65
4	31,2	21,2	26,2	44	95	70
5	31,0	21,2	26,1	44	93	69
6	31,2	21,4	26,3	43	90	67
7	31,2	21,4	26,3	42	91	67
8	31,0	21,6	26,3	48	95	72
9	31,0	22,2	26,6	50	97	74
10	32,2	22,0	27,1	45	95	70
11	31,8	21,9	26,8	45	85	65
Média	31,52	21,39	26,45	45,18	92,55	69,18
sd	0,48	0,47	0,27	2,89	3,31	2,76
C.V.(%)	1,51	2,21	1,04	6,39	3,58	3,99

Continua

Continuação

Dias	Temperatura(°C)			Umidade relativa (%)		
	Máx.	Mín.	Média	Mín.	Máx.	Média
Experimento 3-B						
1	32,0	20,8	26,5	48	94	71
2	32,2	20,8	26,4	40	89	65
3	31,2	21,2	26,2	44	95	70
4	31,0	21,2	26,1	44	93	69
5	31,2	21,4	26,3	43	90	67
6	31,2	21,4	26,3	42	91	67
7	31,0	21,6	26,3	48	95	72
8	31,0	22,2	26,6	50	97	74
9	32,2	22,0	27,1	45	95	70
10	31,8	21,9	26,8	45	85	65
11	32,0	21,5	26,8	44	90	67
Média	31,53	21,45	26,49	44,82	92,18	68,82
sd	0,48	0,43	0,29	2,76	3,35	2,76
CV(%)	1,54	2,02	1,10	6,15	3,64	4,01

Experimento 3-C						
1	32,0	20,8	26,4	40	89	65
2	31,2	21,2	26,2	44	95	70
3	31,0	21,2	26,1	44	93	69
4	31,2	21,4	26,3	43	90	67
5	31,2	21,4	26,3	42	91	67
6	31,0	21,6	26,3	48	95	72
7	31,0	22,2	26,6	50	97	74
8	32,2	22,0	27,1	45	95	70
9	31,8	21,9	26,8	45	85	65
10	32,0	21,5	26,8	44	90	67
11	32,0	21,8	26,9	46	94	70
Média	31,51	21,55	26,53	44,64	92,18	68,73
sd	0,46	0,38	0,31	2,60	3,35	2,70
C.V.(%)	1,47	1,81	1,18	5,83	3,64	3,93

Continua

Continuação

Dias	Temperatura(°C)			Umidade relativa (%)		
	Máx.	Mín.	Média	Mín.	Máx.	Média
Experimento 3-D						
1	32,0	21,5	26,8	44	90	67
2	32,0	21,8	26,9	46	94	70
3	31,8	22,1	27,0	42	90	66
4	31,9	22,2	27,0	49	95	72
5	32,1	21,9	27,0	47	94	71
6	31,8	22,0	26,9	48	94	71
7	31,6	21,4	26,5	48	95	72
8	31,2	21,0	26,1	48	95	72
9	31,4	22,0	26,7	49	95	72
10	31,4	21,8	26,6	48	90	69
11	32,4	22,0	27,2	43	89	66
Média	31,78	21,79	26,79	46,55	92,82	69,82
sd	0,34	0,34	0,29	2,35	2,37	2,33
C.V.(%)	1,06	1,55	1,08	5,05	2,55	3,33

Experimento 3-E						
1	32,0	21,8	26,9	46	94	70
2	31,8	22,1	27,0	42	90	66
3	31,9	22,2	27,0	49	95	72
4	32,1	21,9	27,0	47	94	71
5	31,8	22,0	26,9	48	94	71
6	31,6	21,4	26,5	48	95	72
7	31,2	21,0	26,1	48	95	72
8	31,4	22,0	26,7	49	95	72
9	31,4	21,8	26,6	48	60	69
10	32,4	22,0	27,2	43	89	66
11	32,4	21,0	27,2	40	90	65
Média	31,82	21,84	26,83	46,18	92,82	69,64
sd	0,38	0,33	0,31	2,95	2,37	2,60
C.V.(%)	1,19	1,52	1,17	6,39	2,55	3,74

Continua

Continuação

Dias	Temperatura(°C)			Umidade relativa (%)		
	Máx.	Mín.	Média	Mín.	Máx.	Média
Experimento 3-F						
1	31,8	22,1	27,0	42	90	66
2	31,9	22,2	27,0	49	95	72
3	32,1	21,9	27,0	47	94	71
4	31,8	22,0	26,9	48	94	71
5	31,6	21,4	26,5	48	95	72
6	31,2	21,0	26,1	48	95	72
7	31,4	22,0	26,7	49	95	72
8	31,4	21,8	26,6	48	90	69
9	32,4	22,0	27,2	43	89	66
10	32,4	22,0	27,2	40	90	65
11	31,9	21,9	26,9	45	91	68
Média	31,81	21,85	26,83	46,09	92,55	69,45
sd	0,38	0,33	0,31	2,97	2,39	2,64
C.V. (%)	1,18	1,52	1,17	6,44	2,58	3,80
Experimento 3-G						
1	32,0	21,6	26,8	40	95	68
2	31,8	21,8	26,8	38	90	64
3	32,4	21,8	27,1	42	93	68
4	31,8	21,8	26,8	45	93	69
5	30,6	21,4	26,0	46	95	71
6	30,2	21,4	25,8	45	94	70
7	30,0	21,4	25,7	46	95	71
8	31,0	21,2	26,1	48	95	72
9	30,2	21,9	26,1	49	98	74
10	30,0	21,0	26,0	48	97	73
11	30,2	21,2	25,7	50	97	74
Média	30,93	21,50	26,26	45,18	94,73	70,36
sd	0,87	0,27	0,49	3,61	2,14	2,87
C.V. (%)	2,80	1,33	1,85	8,00	2,25	3,08

Continua

Continuação

Dias	Temperatura(°C)			Umidade relativa (%)		
	Máx.	Mín.	Média	Mín.	Máx.	Média
Experimento 3-H						
1	31,8	21,8	26,8	38	90	64
2	32,4	21,8	27,1	42	93	68
3	31,8	21,8	26,8	45	93	69
4	30,6	21,4	26,0	46	95	71
5	30,2	21,4	25,8	45	94	70
6	30,0	21,4	25,7	46	95	71
7	31,0	21,2	26,1	48	95	72
8	30,2	21,9	26,1	49	98	74
9	30,0	21,0	26,0	48	97	73
10	30,0	21,2	25,7	50	97	74
11	32,8	21,0	26,9	45	96	71
Média	31,00	21,45	26,27	45,64	94,82	70,64
sd	0,98	0,32	0,50	3,23	2,17	2,77
C.V. (%)	3,16	1,48	1,89	7,07	2,28	3,92
Experimento 3-I						
1	30,2I	21,1I	25,7I	50s	98s	74
2	31,0I	21,0I	26,0I	44I	95	70
3	32,0	21,4	26,7	44I	95	70
4	31,8	21,8	26,6	44I	95	70
5	31,8	21,4	26,6	44I	95	70
6	31,8	21,4	26,6	45	96	71
7	32,2	21,6	26,9	51s	98s	75s
8	32,2	21,5	26,9	50s	97	74
9	31,6	21,6	26,6	49	98s	74
10	32,2	21,4	26,8	48	97	73
11	31,6	21,8s	26,7	48	96	72
Média	31,69	21,50	26,58	46,80	95,90	71,90
sd	0,57	0,24	0,36	2,70	1,23	1,88
C.V. (%)	1,80	1,12	1,35	5,77	1,28	2,61

Tabela B3: Contrôles da temperatura e umidade relativa na câmara de crescimento durante o experimento de seleção de genótipos tolerantes ao nível de 15 mg/l de Al.

Dias	Temperatura (°C)			Umidade relativa (%)		
	Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.	Média
1	21,0	28,8	24,9	49	97	73
2	21,2	27,8	24,5	49	97	73
3	20,1	27,2	23,7	50	98	74
4	20,8	29,0	23,9	48	96	72
5	20,4	27,8	24,1	50	98	74
6	20,2	27,8	24,0	50	98	74
7	20,2	27,8	24,0	55	98	77
8	20,2	27,4	23,8	53	96	75
9	20,4	27,2	23,8	54	98	76
10	20,2	27,4	23,8	53	97	75
11	20,4	27,8	24,1	56	93	75
Média	20,50	27,80	24,10	51,48	96,91	74,36
sd	0,35	0,56	0,41	2,61	1,44	1,37
C.V. (%)	1,71	2,01	1,70	5,07	1,49	1,84

Tabela B4: Contrôles da temperatura e umidade relativa na câmara de crescimento na avaliação da reação de aveias pretas ao alumínio.

Dias	Temperatura (°C)			Umidade relativa (%)		
	Máx.	Mín.	Média	Mín.	Máx.	Média
1	31,0	21,0	26,0	44	95	70
2	32,0	21,4	26,7	44	95	70
3	31,8	21,8	26,6	44	95	70
4	31,8	21,4	26,6	44	95	70
5	31,8	21,4	26,6	45	96	71
6	32,2	21,6	26,9	51	98	75
7	32,2	21,5	26,9	50	97	74
8	31,6	21,6	26,6	49	98	74
9	32,2	21,4	26,8	48	97	73
10	31,6	21,8	26,7	48	96	72
11	32,0	21,5	26,8	45	95	70
Média	31,84	21,49	26,65	46,55	96,09	71,73
	0,34	0,21	0,23	2,57	1,16	1,86
CV(%)	1,07	0,98	0,88	5,52	1,21	2,60

Tabela B5: Contrôles da temperatura e umidade relativa na casa de vegetação durante a execução dos experimentos de avaliação do efeito do alumínio sobre o crescimento, nutrição mineral e outros parâmetros fisiológicos da aveia.

Dias	Temperatura (°C)			Umidade relativa (%)		
	Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.	Média
1	13,6I	29,0	21,3	40	79	60
2	13,8I	30,8	22,3	47	83	65
3	14,6	31,8	23,2	51	86	69
4	15,0	28,6	21,8	49	87	68
5	12,8I	29,6	21,3	50	75	63
6	14,2I	26,2	20,2I	43	72I	58
7	17,8	29,9	23,9	38	77	58
8	18,8s	31,6	25,2	35	81	58
9	19,0	30,2	24,6	36	70I	53I
10	16,1	25,2I	20,7I	32I	58I	45I
11	16,2	19,5I	17,9I	38	66I	52I
12	15,4	29,2	22,3	37	78	58
13	15,6	27,2	21,4	48	86	67
14	16,0	30,5	23,3	42	79	61
15	16,1	26,8	21,5	58s	80	69
16	17,8	25,2I	21,5	67s	94s	81s
17	13,6I	26,4	20,0I	42	90	66
18	13,9I	29,8	21,9	40	84	62
19	16,4	30,0	23,2	58s	90	74s
20	20,0s	29,0	24,5	62,s	92	77s
21	18,8s	25,2I	22,0	60s	93s	77s
22	15,4	29,2	22,3	48	82	65
23	15,4	30,8	23,1	45	91	68
24	15,8	30,6	23,2	51	93s	72
25	18,2	31,4	24,8	49	92	71
26	19,1s	31,4	25,3	60,s	90	75s
27	18,8s	31,2	25,0	66s	96s	81s
28	17,8	32,4	25,1	31I	97s	64
29	15,5	39,0s	27,3s	30I	78	54
30	16,2	41,0s	28,6s	29	86	58
31	20,6s	37,8s	29,2s	40	79	60
32	19,8	36,8s	28,3s	33	90	62
Média	16,5	30,1	23,3	45	84	65
sd	2,09	4,17	2,54	10,57	8,94	8,45
C.V.(%)	12,67	13,9	10,9	23,5	10,6	13,0

s= Média acrescida de um desvio padrão; I= média subtraída de um desvio padrão.

Apêndice C

Tabela C1: Contrôles do pH inicial e final do experimento 1.

Dias	Nível de Al(mg/l)				
	0	7,5	15	22,5	30
01	5,75	3,98	3,73	3,69	3,68
02	5,66	3,89	3,83	3,75	3,73
03	5,03	3,81	3,74	3,72	3,68
04	4,51	3,76	3,73	3,69	3,67
05	3,98	3,74	3,71	3,66	3,65
06	3,88	3,68	3,58	3,66	3,66
07	3,85	3,66	3,66	3,66	3,66
08	3,78	3,63	3,66	3,68	3,69
09	3,72	3,62	3,66	3,70	3,72
10	3,71	3,61	3,66	3,72	3,74
Média	4,34	3,74	3,70	3,69	3,69
sd	0,80	0,12	0,07	0,82	0,85
C.V.(%)	18,43	3,42	1,83	0,82	0,85

Tabela C2: Contrôles do pH inicial e final do experimento 2.

Nível de Al (mg/l)	pH	
	Inicial	Final
Experimento 2-A		
0	5,20	4,24
7,5	3,65	3,82
Experimento 2-B		
0	5,53	4,23
7,5	3,82	3,94
Experimento 2-C		
0	5,39	3,92
7,5	3,83	3,81
Experimento 2-D		
0	5,18	4,46
7,5	3,66	3,94
Experimento 2-E		
0	5,56	4,03
7,5	3,78	3,72
Experimento 2-F		
0	5,68	4,15
7,5	3,73	3,79
Experimento 2-G		
0	5,73	4,29
7,5	3,84	3,77
Experimento 2-H		
0	5,25	4,08
7,5	3,75	3,73
Experimento 2-I		
0	5,16	4,15
7,5	3,78	3,89
Experimento 2-J		
0	5,54	3,85
7,5	3,72	3,75

Tabela C3: Contrôles do pH inicial e final do experimento 3.

Dias	Nível de Al (mg/l)			
	0	7,5	15	30
01	5,51	3,67	3,55	3,48
02	5,08	3,76	3,68	3,67
03	4,71	3,74	3,71	3,67
04	4,27	3,76	3,73	3,70
05	4,01	3,80	3,77	3,73
06	3,93	3,81	3,77	3,78
07	3,93	3,83	3,77	3,77
08	3,92	3,84	3,78	3,75
09	3,88	3,85	3,75	3,76
10	3,73	3,70	3,68	3,75

Tabela C4: Contrôles do pH do experimento de seleção de genótipos tolerantes a 15 mgAl/l.

Nível de Al (mg/l)	pH	
	Inicial	Final
0	5,93	4,00
15	4,00	3,74

Apêndice D

Tabela D1: Quadrados médios da análise de variância do efeito de diferentes níveis de alumínio, em solução nutritiva sobre parâmetros de crescimento de genótipos de aveia (Experimento 1).

Causas de G.L variação		Quadrados médios				
		CRS	CRRS	CFRS	CFRRS	CIRS
Níveis de Al(B)	4	977,99**	33348,83**	986,85**	18868,73**	1,20ns
Genótipos (A)	15	81,91**	7422,64**	90,28**	4013,76**	4,26**
Genótipo/Níveis	60	25,57**	682,65**	24,84**	323,98**	0,62ns
Resíduo (A)	8	11,66	736,70	11,96	301,42	0,95
Resíduo (B)	150	0,97	95,53	1,81	40,17	0,66
C.V. A (%)	10,77		11,71	6,41	6,34	4,32
C.V. B (%)	12,44		16,86	9,78	9,34	14,41

* Estatisticamente significativo ($P < 0,05$), pelo teste F

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

Tabela D2: Quadrados médios da análise de variância do efeito do alumínio (7,5 mgAl/l) sobre parâmetros de crescimento de genótipos de aveia, em solução nutritiva.

Causas de variação	G.L.	Quadrados médios		
		RMSR	RRMSR	RMSPA
Níveis de Al (B)	1	132908,7**	31937,51*	728365,04**
Genótipos (A)	15	7501,29**	4693,13*	43899,48**
Genótipos x Níveis de Al	15	7058,57**	4696,13*	14914,91**
Resíduo (A)	2	615,29	522,95	1858,04
Resíduo (B)	60	1559,95	2283,04	4744,69
C.V. A(%)		6,26	6,99	2,71
C.V. B(%)		39,86	58,44	17,31

Causas de variação	G.L.	Quadrados médios		
		RRMSPA	RMSP	RRMSP
Níveis de Al (B)	1	28050,84**	1486032,67**	33600,17**
Genótipos (A)	15	427,09**	78903,54**	437,97**
Genótipos x Níveis de Al	15	427,09**	31303,16**	437,97**
Resíduo (A)	2	98,84	4186,29	141,54
Resíduo (B)	60	174,09	7287,60	182,34
C.V. A(%)		3,00	3,26	3,66
C.V. B(%)		15,92	17,19	16,61

Continua

Continuação

Causas de variação	G.L.	Quadrados médios		
		CIRS	CRS	CRRS
Níveis de Al (B)	1	0,07ns	798,0**	17136,3**
Genótipos (A)	15	1,56**	58,3**	604,1**
Genótipos x Níveis de Al	15	0,12ns	17,3**	604,1**
Resíduo (A)	2	0,28	4,34	514,7
Resíduo (B)	60	0,17	1,51	48,8
C.V. (%) A		1,84	4,99	7,17
C.V. (%) B		5,73	11,78	8,84

Causas de variação	G.L.	Quadrados médios	
		CFRS	CFRRS
Níveis de AL (B)	1	782,6**	17136,3**
Genótipos (a)	15	68,2**	281,1**
Genótipos x Níveis de Al	15	18,1**	281,1**
Resíduo (A)	2	2,92	121,59
Resíduo (B)	60	1,53	24,59
C.V. (%) A		2,43	3,18
C.V. (%) B		7,01	5,72

* Significativo pelo teste F ($P < 0,05$)** Significativo pelo teste F ($P < 0,01$)

Tabela D3: Quadrados médios da análise de variância do efeito do alumínio (7,5 mg Al/l) sobre o crescimento de raízes de genótipos de aveia, em solução nutritiva

Causas de G.L. variação		Quadrados médios				
		CIRS	CRS	CRRS	CFRS	CFRRS
Experimento 2						
Níveis de Al(B)	1	0,07ns	797,99**	41826,82**	782,61**	17136,34**
Genótipos (A)	15	1,56**	58,33**	604,06**	68,15**	281,12**
Genótipos x Nível	15	0,12ns	17,30**	604,06**	18,08**	281,12**
Resíduo (A)	2	0,28	4,34	514,71	2,92	121,59
Resíduo (B)	60	0,17	1,51	48,80	1,53	24,59
C.V. (A) (%)		1,84	4,99	7,17	2,43	3,18
C.V. (B) (%)		5,73	11,78	8,84	7,01	5,72
Experimento 3-A						
Níveis de Al(B)	1	0,09ns	2925,38**	94815,51**	3011,01**	48151,04**
Genótipos (A)	15	2,51**	46,20**	127,09**	48,86**	95,95**
Genótipos x nível	15	0,20ns	23,09**	127,09**	19,61**	95,95**
Resíduo (A)	2	0,70	24,85	223,51	19,73	156,95
Resíduo (B)	60	0,28	3,93	50,05	3,76	33,46
C.V. (A) (%)		2,98	10,97	5,45	6,02	4,04
C.V. (B) (%)		7,48	17,44	10,32	10,50	7,45

Continua

Continuação

Causas de variação	G.L.	Quadrados médios				
		CIRS	CRS	CRRS	CFRS	CFRRS
EXPERIMENTO 3B						
Níveis de						
Al(B)	1	0,02ns	1904,78**	88629,40**	1915,75**	40259,99**
Genótipos						
(A)	15	2,45**	48,70**	384,39**	59,12**	346,41**
Genótipos						
x nível	15	0,13ns	38,27**	384,39**	38,99**	346,41**
Resíduo						
(A)	2	0,07	2,23	11,85	2,02	3,03
Resíduo						
(B)	60	0,29	0,97	19,15	1,10	16,80
C.V. (A) (%)		1,01	4,08	1,24	2,27	0,55
C.V. (B) (%)		8,20	10,78	6,29	6,69	5,16

Experimento 3-C

Níveis de						
Al(B)	1	1,18ns	4199,60**	121266,75**	4138,71**	55554,58**
Genótipos						
(A)	15	3,13**	32,72**	101,99**	34,97**	51,79**
Genótipos						
x nível	15	0,21ns	14,03**	101,99**	13,83**	51,79**
Resíduo						
(A)	2	0,39	17,45	329,18	14,24	158,57
Resíduo						
(B)	60	0,24	2,65	19,50	2,84	18,12
C.V.(A) (%)		1,85	8,84	5,87	5,27	4,15
C.V.(B) (%)		5,80	13,78	6,85	8,32	5,61

Continua

Continuação

Causas de variação	G.L.	Quadrados médios				
		CIRS	CRS	CRRS	CFRS	CFRRS
Experimento 3-D						
Nível de Al(B)	1	0,01ns	2115,47*	80814,90**	2097,11*	38462,03*
Genótipos (A)	15	1,75**	35,74**	232,39**	35,12**	102,09**
Genótipo x Nível	15	0,17ns	12,50**	232,39**	11,46**	102,09**
Resíduo (A)	2	0,58	62,77	760,45	72,60	648,06
Resíduo (B)	60	0,20	2,41	32,74	2,15	14,85
C.V.(A) (%)	2,77	17,83	9,71	11,83	7,96	
C.V.(B) (%)	6,48	13,97	8,06	8,14	4,82	

Experimento 3-E

Nível de Al(B)	1	0,55ns	2811,47**	89807,35**	2781,99**	47121,03**
Genótipo (A)	15	3,98**	71,98**	372,51**	103,19**	264,09**
Genótipo x Nível	15	0,21ns	37,10**	372,51**	39,47**	264,09**
Resíduo (A)	2	0,09	1,54	34,97	4,04	11,77
Resíduo (B)	60	0,13	1,16	16,25	1,87	13,17
C.V.(A) (%)	1,13	2,68	2,13	2,76	1,10	
C.V.(B) (%)	5,32	9,30	5,81	7,51	4,66	

Continua

Continuação

Causas de variação	G.L.	Quadrados médios				
		CIRS	CRS	CRRS	CFRS	CFRRS
Experimento 3-F						
Nível de						
Al(B)	1	0,43ns	797,18**	46604,91**	834,85**	19880,65**
Genótipo						
(A)	15	11,44**	35,29**	1524,69**	65,25**	470,32**
Genótipo						
x Nível	15	0,31ns	13,19**	1564,69**	15,67**	470,32**
Resíduo						
(A)	2	0,75	2,34	611,09	0,69	80,91
Resíduo						
(B)	60	0,61	1,34	129,19	1,69	35,32
C.V.(A)	(%)	2,84	4,46	7,93	1,28	2,63
C.V.(B)	(%)	10,26	13,50	14,58	8,02	6,94

Experimento 3-G

Nível de						
Al(B)	1	0,30ns	755,84**	68261,33**	763,54**	21755,38**
Genótipo						
(A)	15	1,59**	35,22**	372,47**	41,47**	139,97**
Genótipo						
x Nível	15	0,14ns	9,38**	372,47**	8,87**	139,97**
Resíduo						
(A)	2	0,93	3,21	91,83	2,99	78,91
Resíduo						
(B)	60	0,21	1,18	50,83	1,37	35,32
C.V.(A) (%)	3,12	5,96	3,27	2,84	2,60	
C.V.(B) (%)	5,89	14,48	9,72	7,70	6,65	

Continua

Continuação

Causas de variação		G.L.	Quadrados médios				
			CIRS	CRS	CRRS	CFRS	CFRRS
Experimento 3-H							
Nível de							
Al(B)	1	0,73ns	270,88ns	9342,75ns	299,70ns	4407,54ns	
Genótipo							
(A)	15	1,31**	41,26**	857,75**	40,44**	281,01**	
Genótipo							
x Nível	15	0,21ns	19,13**	857,75**	19,79**	281,01**	
Resíduo							
(A)	2	0,63	20,15	1023,40	27,78	474,56	
Resíduo							
(B)	60	0,37	3,42	236,72	3,61	62,22	
C.V. (A) (%)							
		2,10	11,16	8,87	6,77	5,84	
C.V. (B) (%)							
		6,50	18,40	17,07	9,77	8,46	

Experimento 3-I

Nível de							
Al (B)	1	0,25ns	1979,53*	62883,84*	2023,91*	31501,26*	
Genótipo							
(A)	15	3,14**	55,02**	684,69**	49,94**	421,57**	
Genótipo							
x Nível	15	0,11ns	41,76**	684,69**	43,13**	421,57**	
Resíduo							
(A)	2	0,80	80,76	1008,50	69,29	630,76	
Resíduo							
(B)	60	0,15	3,58	81,91	3,80	42,50	
C.V.(A) (%)	2,99	19,41	10,67	10,92	7,67		
C.V.(B) (%)	5,14	16,34	12,16	10,22	7,96		

* Estatisticamente significativo ($P < 0,05$), pelo teste F.**Estatisticamente significativo ($P < 0,01$), pelo teste F.

Tabela D4: Quadrados médios da análise de variância do efeito do alumínio sobre parâmetros de crescimento de dois genótipos de aveia, em onze diferentes experimentos em solução nutritiva.

Causas de variação		Quadrados médios		
G.L.				
		CIRS	CRS	CFRS
Experimento 1				
Genótipo	1	0,69ns	48,22*	60,42**
Resíduo	4	0,07	4,70	4,70
C.V.(%)		4,69	23,72	14,85
Experimento 2				
Genótipo	1	0,10ns	28,34*	25,05*
Resíduo	4	0,14	1,37	1,18
C.V.(%)		5,41	14,58	7,22
Experimento 3-A				
Genótipo	1	0,52ns	27,05**	35,04**
Resíduo	4	0,45	0,43	0,81
C.V.(%)		9,51	9,52	6,49
Experimento 3-B				
Genótipo	1	2,01**	21,93**	37,20
Resíduo	4	0,01	0,57	0,61
C.V.(%)		1,31	14,03	6,36
Experimento 3-C				
Genótipo	1	0,24ns	34,56*	29,04*
Resíduo	4	0,09	2,34	3,07
C.V.(%)		3,54	15,42	11,96
Experimento 3-D				
Genótipo	1	0,02ns	28,38*	27,09*
Resíduo	4	0,34	1,43	2,28
C.V.(%)		8,29	16,17	10,49
Experimento 3-E				
Genótipo	1	0,01ns	12,76*	12,24*
Resíduo	4	0,22	1,44	1,34
C.V.(%)		6,65	16,85	8,12

Continua

Continuação

Causas de variação	G.L.	Quadrados médios		
		CIRS	CRS	CFRS
Experimento 3-F				
Genótipo	1	0,002ns	3,39ns	3,58ns
Resíduo	4	0,11	1,08	1,12
C.V.(%)		4,04	13,47	6,66
Experimento 3-G				
Genótipo	1	0,67ns	26,08*	34,66
Resíduo	4	0,36	1,74	3,14
C.V.(%)		7,42	18,11	11,56
Experimento 3-H				
Genótipo	1	0,80ns	24,28*	33,89**
Resíduo	4	0,19	1,14	1,08
C.V.(%)		4,82	10,92	5,51
Experimento 3-I				
Genótipo	1	0,59ns	44,83	55,69**
Resíduo	4	0,66	1,84	1,87
C.V.(%)		11,67	16,27	8,95
Análise conjunta				
Ensaio	10	6,07**	9,67**	65,24**
Genótipo	1	1,84**	280,04**	320,78**
Ensaio x Genótipo	10	0,37ns	1,98ns	1,41ns
Resíduo	44	0,24	1,65	1,93
C.V.(%)		6,61	16,97	

* Estatisticamente significativo ($P < 0,05$), pelo teste F.

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

CIRS: comprimento inicial da raiz seminal, CRS: crescimento da raiz seminal; CFRS: comprimento final da raiz seminal.

Tabela D5: Quadrados médios da análise de variância do efeito do Alumínio (15mg/l) sobre parâmetros de crescimento de genótipos de aveia, em solução nutritiva.

Causas de variação	G.L.	Quadrados médios		
		CIRS	CRS	CFRS
Genótipo	85	1,98**	18,87**	21,32**
Resíduo	170	0,17	1,29	1,52
C.V.(%)		6,83	11,69	7,80

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

Tabela D6: Quadrados médios da análise de variância do crescimento de raízes submetidas aos níveis 0 e 15 mg/litro de solução.

Causas de variação	G.L.	Quadrados médios		
		CIRS	CRS	CRRS
Níveis de Al (B)	1	2,600*	919,15*	21570,01*
Genótipos (A)	15	5,31**	81,98**	1155,90**
Genótipo x Níveis	15	0,27ns	43,35	1155,90**
Resíduo (A)	2	0,09	15,90	295,32
Resíduo (B)	60	0,28	1,75	87,95
C.V. Genótipos (%)		1,26	7,10	5,05
C.V. Níveis Al (%)		8,91	9,43	11,03

Continua

Continuação

Fonte de variação	G.L.	Quadrados médios	
		CFRS	CFRRS
Nível de Al(B)	1	835,74*	11814,84*
Genótipos (A)	15	102,85**	895,49**
Genótipos x Níveis	15	41,21**	293,47**
Resíduo (A)	2	19,57	263,47
Resíduo (B)	60	2,08	52,98
C.V. Genótipos (%)		5,54	4,56
C.V. Níveis Al (%)		7,22	8,19

* e ** significativo estatisticamente, pelo teste F, respectivamente a 5 e 1% de significância.
ns = não significativo.

Tabela D7: Quadrados médios da análise de variância do efeito do alumínio sobre parâmetros de crescimento de genótipos de aveia preta, em solução nutritiva.

Causas de variação	G.L.	Quadrados médios				
		CIRS	CRS	CRRS	CFRS	CFFRS
Nível de Al(B)	3	0,15ns	336,64**	9755,93**	319,88**	5664,66**
Genótipos (A)	15	1,41**	70,93**	2232,14**	70,78**	1208,73**
Genótipos x Níveis	45	0,11ns	14,37**	385,80**	14,70**	218,43**
Resíduo (A)	6	0,23	24,59	822,70	22,81	498,16
Resíduo (B)	120	0,25	2,17	86,15	2,90	57,42
C.V.(A) (%)		2,01	9,03	8,93	6,10	6,57
C.V.9B0 (%)		8,47	10,73	11,56	8,69	8,92

**Estatisticamente significativo ($P < 0,01$), pelo teste F.
ns=não significativo.

Tabela D8: Quadrados médios da análise de variância do efeito do alumínio sobre parâmetros de dois genótipos de aveia, em cultivo hidropônico.

Causas de variação	G.L.	Quadrados médios				
		CMR	NAF	RMSR	RMSCB	RMSF
Genótipo	1	282,13**	0,13ns	0,02ns	0,01ns	0,19**
Níveis de Al	4	276,75**	128,88**	1,02**	0,13**	2,68**
Genótipo x Nível de Al	4	47,55*	20,22**	0,001ns	0,01ns	0,01ns
Resíduo	18	14,80	2,91	0,002	0,002	0,01
C.V. (%)		11,32	13,20	8,81	8,53	8,50

Continua

Continuação

Causas de variação	G.L.	Quadrados médios				
		RMSPA	RMSP	RPF	RRPA	CRMR
Genótipo	1	0,26**	0,42**	64,53*	4,80ns	952,03**
Níveis de Al	4	3,97**	9,00**	224,17**	372,03**	1373,55**
Genótipo x Nível de Al	4	0,01ns	0,01ns	8,53ns	18,97*	123,62ns
Resíduo	18	0,01	0,02	11,15	5,14	81,60
C.V. (%)		6,55	6,31	5,03	8,68	11,17

Causas de variação	G.L.	Quadrados médios		
		NRAF	RRMSR	RRMSCB
Genótipo	1	2448,03**	67,50**	433,20**
Níveis de Al	4	3159,47**	6732,97**	1831,05**
Genótipo x Níveis de Al	4	433,20**	8,83ns	38,78ns
Resíduo	18	58,38	6,99	26,60
C.V. (%)		11,54	6,33	7,48

Causas de variação	G.L.	Quadrados médios		
		RRMSF	RRMSPA	RRMSP
Genótipo	1	132,30*	16,13ns	28,03*
Níveis de Al	4	4854,45**	3914,22**	4616,72**
Genótipo x Níveis de Al	4	22,38ns	11,38ns	4,45ns
Resíduo	18	17,03	8,75	5,24
C.V. (%)		7,98	5,28	4,40

* Estatisticamente significativo ($P < 0,05$), pelo teste F.

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

ns: não significativo.

CMR= comprimento da maior raiz; NAF= número de afillhos; RMSR= rendimento de matéria seca de raiz; RMSCB= rendimento de matéria seca de colmos + bainhas; RMSF= rendimento de

matéria seca de folhas; RMSPA= rendimento de matéria seca da parte aérea; RMSP= rendimento de matéria seca da planta; RPF= relação de peso foliar; RRPA= relação raiz/parte aérea; CRMR= comprimento relativo da maior raiz; NRAF= no. relativo de afilhos; RRMSR= rendimento relativo da matéria seca da raiz; RRMSCB= rendimento relativo da matéria seca de colmos + bainhas; RRMSF= rendimento relativo de matéria seca da folha; RRMSPA= rendimento relativo da matéria seca da parte aérea; RRMSR= rendimento relativo.

Tabela D9: Quadrados médios da análise de variância do efeito de níveis do alumínio na solução nutritiva sobre o rendimento de matéria seca, teor e extração de macronutrientes e alumínio pela planta de aveia.

Causas de variação	G.L.	Quadrados médios		
		RMSP	TAIP	EAIP
Genótipos	1	362604,17**	1696,30ns	123410,05*
Níveis de Al	3	10389815,28**	727132,57*	1015248,39**
Genótipo x Níveis de Al	3	10715,28ns	4896,25ns	16852,62ns
Resíduo	16	21242,26	6565,22	27054,83
C.V. (%)		5,8	15,3	16,4

Quadrados médios					
TNP	ENP	TPP	EPP	TKP	EKP
0,383**	1268,76**	0,002*	8,88**	0,35ns	1621,97*
0,047ns	11512,77**	0,043**	12,55**	1,36**	28559,5**
0,060*	125,26*	0,001**	1,05ns	0,30ns	33,63ns
0,015	35,62	0,0003	0,38	0,21	285,24
4,0	7,6	5,3	8,7	8,8	13,0

Continua

Continuação

Quadrados médios			
TCaP	ECaP	TMgP	EMgP
0,001ns	15,84**	0,0003**	0,84**
0,020**	323,76**	0,0211**	78,178**
0,003**	1,43ns	0,0003**	0,082ns
0,0004	0,740	0,00003	0,069
3,5	6,1	5,3	8,0

Tabela D10: Quadrados médios da análise de variância do efeito de níveis de alumínio na solução nutritiva sobre o teor e extração de micronutrientes e alumínio pelas raízes e parte aérea de aveia (partes).

Causas de variação	G.L.	Quadrados médios		
		RMS	TA1	EA1
Partes (A)	1	21160352,08**	4838636,50**	608580,46**
Genótipos (B)	1	181302,08**	27079,75ns	76880,02*
Níveis de Al (C)	3	5194907,64**	5555708,69**	472580,29**
Partes x Genótipos	1	56718,75*	150740,88**	38714,89ns
Partes x Níveis de Al	3	584129,86**	510011,25**	145520,79**
Genótipos x Níveis de Al	3	5357,64ns	10429,26ns	7704,64ns
Partes x Genótipos x Níveis de Al	3	13040,97ns	50988,18ns	2935,50ns
Resíduo	30	7745,42	18307,11	12082,33
C.V. (%)		7,0	19,1	21,7

Continua

Continuação

Quadrados médios				
TN	TP	EN	EP	TK
24,325**	0,007**	37974,37**	203,36**	4,84**
0,376**	0,0002ns	634,38**	3,85**	2,31**
0,056**	0,075**	5756,39**	6,43**	1,24**
0,174**	0,002*	438,62**	1,40**	0,94*
0,439**	0,002**	2507,44**	1,15**	1,24**
0,019ns	0,002**	62,63**	0,40*	0,34ns
0,165**	0,0008ns	99,77**	0,42*	0,48*
0,012	0,0003	13,83	0,13	0,14
4,0	5,5	9,4	10,3	7,5

Quadrados médios				
EK	TCa	ECa	TMg	EMg
70403,06**	0,728**	1101,13**	0,004**	16,45**
1076,36**	0,001ns	7,92**	0,0003ns	0,42**
15256,03**	0,015**	161,88**	0,069**	39,09**
35,53ns	0,001ns	3,91**	0,0004ns	0,54**
3351,00**	0,038**	43,44**	0,017**	0,43**
28,03ns	0,003*	0,72ns	0,0008**	0,04ns
87,33ns	0,002ns	0,919*	0,0007**	0,15**
54,60	0,0008	0,262	0,0001	0,03
11,3	5,9	7,3	9,2	10,5

* e ** significativo estatisticamente, pelo teste F, respectivamente a 5 e 1% de significância.
ns = não significativo.

Tabela D11: Quadrados médios da análise de variância do efeito de níveis de alumínio na solução nutritiva sobre o teor e extração de micronutrientes pela planta de aveia.

Causas de variação	G.L.	Quadrados médios		
		TCuP	ECuP	TFeP
Genótipos	1	0,0028ns	34,08*	25927,86**
Níveis de Al	3	3,480**	1092,66**	6497,09**
Genótipo x Níveis de Al	3	0,361ns	3,10ns	1910,48ns
Resíduo		0,255	4,18	661,58
C.V. (%)		5,5	8,7	15,7

Quadrados médios				
EFeP	TMnP	EMnP	TZnP	EZnP
346825,06**	64,42**	962,67**	11,47*	589,05**
680001,03**	29,25**	6049,91**	81,09**	8605,68**
80878,11**	11,90ns	58,13ns	12,24*	109,05ns
8400,28	4,35	43,24	2,19	46,22
20,6	9,9	12,1	6,6	11,6

Tabela D12: Quadrados médios da análise de variância do efeito de níveis de alumínio na solução nutritiva sobre o teor e extração de micronutrientes pela raiz e parte aérea da aveia (partes).

Causas de variação	G.L.	Quadrados médios		
		TCu	ECu	TFe
Partes (A)	1	108,0**	1180,08**	772922,52**
Genótipos (B)	1	0,08ns	17,04**	64753,52**
Níveis de Al	3	1,64ns	546,33**	50569,74**
Partes x Genótipos	1	0,00ns	0,56ns	17442, ns
Partes x Níveis de Al	3	4,67**	37,91**	87476,91**
Genótipos x Níveis de Al	3	4,97**	1,55ns	36959,58**
Partes x Genótipos x Níveis de Al	3	6,00**	1,49ns	66790,91**
Resíduo	30	0,65	2,13	4916,10
C.V. (%)		8,0	12,4	30,4

Quadrados médios				
EFe	TMn	EMn	TZn	EZn
73609,84**	2255,02**	19116,09**	3996,75**	1853,81**
184400,42**	165,02**	584,51**	290,08*	294,53**
325294,90**	103,74**	3262,68**	241,06*	4302,84**
31206,90**	6,02ns	68,88*	507,00**	261,80**
243543,54**	39,85**	804,40**	71,25ns	49,69ns
45790,93**	17,74*	50,17*	140,92ns	54,52ns
104787,13**	38,97**	43,10*	129,83ns	48,79ns
2625,51	4,96	13,19	56,45	23,50
23,2	12,9	13,2	27,4	16,5

Tabela D13: Quadrados médios da análise de variância do efeito de diferentes níveis de alumínio, sobre o pH da solução nutritiva, durante o crescimento de dois genótipos de aveia em cultivo hidropônico.

Causas de variação	G.L.	Quadrados médios
Genótipos	1	0,07*
Nível de Al(B)	4	1.15**
Genótipos x Níveis de Al	4	0,01ns
Dias (A)	4	0,73**
Dias x genótipos	4	0,01*
Dias x níveis de Al	16	0,52**
Dias x genótipos x níveis de Al	16	0,01**
Resíduo (A)	20	0,01
Resíduo (B)	80	0,002
C.V.A. (%)		1,12
C.V.B. (%)		1,17

* Estatisticamente significativo ($p < 0,05$), pelo teste F.

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

ns = não significativo.

Tabela D14: Quadrados médios da avaliação da atividade "in vitro" da redutase do nitrato em folhas e raízes de dois cultivares de aveia, em dois estádios de desenvolvimento.

Causas de variação	G.L.	Quadrados médios
Genótipos	1	0,0157ns
Estádios	1	0,894*
órgãos	1	51,638**
Genótipos x estádios	1	0,144ns
Genótipos x		

Continua

Continuação

Causas de variação	G.L.	Quadrados médios
Órgãos	1	0,0158ns
Estádios x Órgãos	1	1,260**
Genótipos x estádios x Órgãos	1	0,139ns
Resíduo	24	0,116
C.V.		23,84

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

Tabela D15: Quadrados médios da análise de variância do
efeito do alumínio sobre a atividade de redutase
do nitrato em folhas de dois genótipos de aveia.

Causas de variação	G.L.	Quadrados médios
Genótipos	1	1,08**
Níveis de Al	4	0,17ns
Genótipos x Níveis de Al	4	0,33
Resíduo	18	0,13
C.V. (%)		21,77

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