

JOAQUIM ADELINO DE AZEVEDO FILHO

POTENCIALIDADE DE CULTIVARES DE FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.) PARA O MELHORAMENTO VISANDO A TOLERÂNCIA ÀS CONDIÇÕES QUÍMICAS DE SOLOS ÁCIDOS DE BAIXA FERTILIDADE

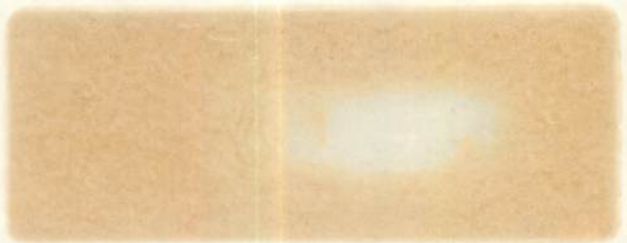
Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura de Lavras, como parte das exigências do curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração Genética e Melhoramento de Plantas, para obtenção do grau de "MESTRE".

cat.
Bot. ref.
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS
LAVRAS - MINAS GERAIS

1992

JOÃO EM ADILNO DE AZEVEDO FERREI

POTENCIALIDADE DE CULTIVARES DE FEIJÃO (Phaseolus vulgaris L.) PARA O MELHORAMENTO VISANDO A TOLERANCIA ÀS CONDIÇÕES QUÍMICAS DE SOLOS ÁCIDOS E BAIXA FERTILIDADE



[REDACTED]

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS
LAVRAS, MINAS GERAIS
1992

POTENCIALIDADE DE CULTIVARES DE FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.) PARA
O MELHORAMENTO VISANDO A TOLERÂNCIA ÀS CONDIÇÕES QUÍMICAS DE
SOLOS ÁCIDOS DE BAIXA FERTILIDADE

APROVADA:



p/ João Bosco dos Santos
Orientador



Geraldo Aparecido de Aquino Guedes



Michael Thung

À minha esposa Maria Aparecida
pelo amor e compreensão
a mim dedicado

OFEREÇO

A Deus,

Aos meus pais Joaquim e Mariana;

Aos meus irmãos;

Aos meus avós Geraldo e Mãe Helena;

Aos meus sogros Manoel e Maria;

Aos meus cunhados, concunhados e
sobrinhos;

Aos meus tios e primos;

Aos meus amigos

DEDICO ESTE TRABALHO

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter tão pouco a pedir e tanto a agradecer.

À Escola Superior de Agricultura de Lavras, pela oportunidade concedida.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior - CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

Aos professores Dr. João Bosco dos Santos e Dr. Magno Antonio Patto Ramalho, pela confiança, amizade, orientação, disponibilidade, compreensão, conselhos e ensinamentos constantes dedicados durante o curso e a realização do presente trabalho.

Ao professor Dr. César Augusto Brasil Pereira Pinto, pela disponibilidade, compreensão, amizade e ensinamentos transmitidos durante o curso.

Ao professor Dr. Geraldo Aparecido de Aquino Guedes pelo incentivo na iniciação científica, amizade, disponibilidade e pelas valiosas sugestões apresentadas que em muito contribuíram na realização deste trabalho.

Ao pesquisador do CIAT Dr. Michael Thung pelas valiosas

sugestões apresentadas por ocasião da defesa.

Aos amigos e pesquisadores Ângela de Fátima B. Abreu, Antônio Nazareno G. Mendes e ao colega Daniel Furtado Ferreira pela amizade, disponibilidade e contribuições, na realização deste trabalho.

À Coordenadoria de Pós-Graduação na pessoa dos professores Fabiano e Antônio Marciano e dos funcionários Fátima e Paulo, pela amizade e disponibilidade.

Aos funcionários do Departamento de Biologia em especial a Maria Zélia, Ana Isa, Ana Hortência, Tales, Dulcinéia, Eustáquio, D. Zélia, Geraldo e Nilson pela amizade e colaboração.

Aos amigos e colegas do curso de Genética e Melhoramento de Plantas Andréa, Nair, Camilo, Eder, Takeda, Walter, Ronan, Oscar, Renil, Tida, Marcelo Tavares, Dehon, Daniel, Cláudio, Elaine, Bruno, Rosa, Marcelo Oliveira, Valéria, Guilherme, Otoniel, Sérgio, Benê, Eduardo, Luciana, Nerivaldo e Gisele, pela amizade, ajuda, coleguismo e convívio.

Aos amigos dos demais cursos de pós-graduação, pelo convívio e amizade.

Aos amigos do brejão e brejinho pelo convívio, amizade e ajuda nos experimentos.

Aos funcionários do Departamento de Ciência dos Solos e Biblioteca pela disponibilidade e amizade.

À Gabriela (TECLA) pela amizade e serviços de datilografia.

A todos aqueles que contribuíram de algum modo para o êxito deste trabalho.

BIOGRAFIA DO AUTOR

JOAQUIM ADELINO DE AZEVEDO FILHO, nasceu no município de São Gonçalo do Sapucaí, Estado de Minas Gerais, no dia 15 de junho de 1966 sendo filho de Joaquim de Azevedo e Mariana Lina Ferreira de Azevedo.

Concluiu o primeiro grau em 1980, na Escola Estadual Bárbara Heliodora, em São Gonçalo do Sapucaí e o segundo grau, em 1983, na Escola Agrotécnica Federal de Machado, Estado de Minas Gerais obtendo o título de Técnico Agrícola.

Em 1984 ingressou na Escola Superior de Agricultura de Lavras - ESAL, graduando-se em Engenharia Agrônômica em julho de 1989.

Iniciou em janeiro de 1990, o mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas, também na ESAL - Lavras, concluindo-o em julho de 1992.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1. Solos sob vegetação de "cerrado" no Brasil	3
2.2. Efeito do alumínio tóxico no desenvolvimento das plantas	8
2.3. Identificação de fontes de tolerância a toxidez de alumínio	11
2.4. Mecanismo de tolerância ao alumínio	16
2.5. Controle genético da tolerância ao alumínio	20
3. MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1. Localidade	27
3.2. Material experimental	27
3.3. Características do solo	29
3.4. Delineamento experimental	30
3.5. Condução dos experimentos	31
3.6. Dados obtidos	32

3.7. Análises estatísticas e genéticas	34
3.7.1. Análises de variância individuais	34
3.7.2. Análises de variância conjunta	36
3.7.3. Correlações fenotípicas	37
4. RESULTADOS	38
5. DISCUSSÕES	56
6. CONCLUSÕES	74
7. RESUMO	76
8. SUMMARY	78
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
APÊNDICE	93

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1 Resumo das características químicas dos solos sob "cerrado", com base em 518 amostras na camada de 0-20 cm. Minas Gerais e Goiás, 1975 e 1977	6
2 Cultivares de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) utilizadas na obtenção dos híbridos e algumas de suas características	28
3 Características químicas e físicas dos solos das áreas que foram utilizadas para avaliar as cultivares e populações de feijoeiro. ESAL, Lavras-MG, 1990	30
4 Esquema das análises de variância individuais, com a decomposição do efeito de populações em capacidade geral de combinação (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC) pelo método 4/mo- delo I de GRIFFING (1956)	36

Tabela		Página
5	Resumo da análise de variância conjunta para produção de grãos (kg/ha), obtidas da avaliação das gerações F_2 e F_3 nos níveis de 4 e 26% de saturação de alumínio, a nível de média. ESAL, Lavras-MG, 1990	40
6	Resumo das análises de variância conjunta para produção de grãos (kg/ha) e biomassa (g/planta), obtidas da avaliação dos híbridos nas duas gerações e nos dois níveis de saturação de alumínio, a nível de média. ESAL, Lavras-MG, 1990	41
7	Produção média de grãos, em kg/ha, das populações segregantes F_2 e F_3 do cruzamento dialélico, obtidas nos níveis de saturação de alumínio de 4% e 26%. ESAL, Lavras-MG, 1990	43
8	Produção média de biomassa, em g/planta, das populações segregantes F_2 e F_3 do cruzamento dialélico, obtidas nos níveis de saturação de alumínio de 4% e 26%. ESAL, Lavras-MG, 1990	44
9	Estimativa da capacidade geral (\hat{g}) e específica (\hat{s}_{ij}) de combinação para produção de grãos das populações segregantes F_2 e F_3 do cruzamento dialélico, obtidas nos níveis de saturação de alumínio de 4% e 26%. ESAL, Lavras-MG, 1990	51
10	Estimativa da capacidade geral (\hat{g}) e específica (\hat{s}_{ij}) de combinação para produção de biomassa das populações segregantes F_2 e F_3 do cruzamento dialélico, obtidas nos níveis de saturação de alumínio de 4% e 26%. ESAL, Lavras-MG, 1990	52

Tabela

Página

11	Estimativas da correlação fenotípicas (r_f) entre a produção de grãos (kg/ha) e a produção de biomassa (g/planta) das populações híbridas nas gerações F_2 e F_3 e nos níveis de 4 e 26% de saturação de alumínio. ESAL, Lavras-MG, 1990	55
12	Índice de tolerância para produção de grãos com base na produtividade média obtida na geração F_2 . ESAL, Lavras-MG, 1990	66
13	Comportamento das cultivares a tolerância ao alumínio segundo vários autores	67

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Precipitação pluviométrica acumulada, de 5 em 5 dias, durante o ciclo do feijoeiro, nas gerações F_2 e F_3 . ESAL, Lavras-MG, 1990	33

1. INTRODUÇÃO

Os solos sob vegetação de "cerrado" no Brasil representam um grande potencial agrícola em função da proximidade dos principais centros consumidores e da extensa área, na maioria dos casos com ótima topografia favorecendo a mecanização. Entretanto, possuem alguns problemas entre eles a acidez, a alta saturação de alumínio, baixos teores de cálcio, magnésio, fósforo e matéria orgânica, fatores esses que limitam a sua produtividade agrícola.

Uma maneira para amenizar o problema destes solos é a prática da calagem. Apesar do calcário ser um insumo barato o seu uso muitas vezes é limitado pelo custo do transporte, especialmente em regiões mais distantes dos moinhos. Há de salientar também que o calcário é pouco móvel no solo, o que dificulta a correção da toxidez de alumínio nas camadas subsuperficiais, sobretudo pela falta de equipamento e/ou pelo custo operacional proibitivo da incorporação em profundidade superiores a 20 cm. Contudo, o uso do calcário, associado com cultivares que toleram altos níveis de saturação de alumínio é uma alternativa que pode tornar muito mais eficiente a utilização destes solos.

Como a cultura do feijão tem se expandido nesses solos,

a identificação de plantas mais tolerantes à alta saturação de alumínio, pelas razões já expostas, é fundamental para o sucesso da cultura. Já foi constatado que a obtenção de cultivares que se adaptam melhor às condições dos solos sob "cerrado" é viável uma vez que existe variabilidade genética para essa característica (ARAÚJO, 1989; SOUSA, 1986; RAMALHO et alii, 1986, 1983 e 1982; COSTA, 1985; MUZILLI, 1983; OLIVEIRA & MALAVOLTA, 1982; MESQUITA FILHO et alii, 1982; MALAVOLTA et alii, 1981; OLIVEIRA, 1980; MIRANDA & LOBATO, 1978; SALINAS & SANCHES, 1976b e FOY et alii, 1967b).

Porém algumas dessas cultivares tolerantes apresentam certos atributos que dificultam a sua adoção pelos agricultores tais como tipo de grão e suscetibilidade a alguns patógenos limitantes. Assim é necessário obter populações segregantes que associem os fenótipos desejáveis para essas características. Na obtenção dessas populações segregantes e sobretudo na condução do programa de seleção é necessário ter conhecimento do controle genético da tolerância à alta saturação de alumínio.

Dessa forma foi conduzido o presente trabalho cujo objetivo foi avaliar algumas cultivares diferindo na tolerância às condições químicas dos solos sob cerrado e outros atributos, a partir de um cruzamento dialélico, visando obter informações sobre o controle genético e também sobre o potencial das cultivares envolvidas, para futuros programas de melhoramento.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Solos sob vegetação de "cerrado" no Brasil

Os solos sob vegetação de "cerrado" ocupam cerca de 20% do território nacional, ou seja, 180 milhões de ha dos quais 150 milhões aptos à agricultura, estendendo-se principalmente pela região Centro-Oeste, atingindo ainda parte da região Norte, Nordeste e Sudeste (EMBRAPA, 1976). Apresentam uma topografia relativamente plana e uma boa estrutura, permitindo o uso intensivo de máquinas.

As principais unidades de solos que ocorrem na região dos cerrados são os latossolos, que ocupam cerca de 56% do total, sucedidos por cerca de 20% de areias quartzosas, 10% de lateritas hidromórficas, 9% de litossolos e 5% de podzólicos (Sanchez et alii, 1974 citados por LOPES, 1983).

Estes solos em decorrência da intensidade das intempéries, especialmente chuva e temperatura, perderam por lixiviação grande parte dos cátions, como Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Potássio (K), Sódio (Na) e Silício (Si). Desta forma, na fração argila, predomina a caulinita e óxidos de ferro e alumínio,

resultando então, a grande capacidade de adsorção de ânions mostrada por estes solos. Como o pH destes solos são baixos a capacidade de troca aniônica e catiônica é baixa e altamente dependente do pH.

Um exaustivo estudo feito por LOPES (1975 e 1977) possibilitou um conhecimento global do estado de fertilidade natural destes solos. Um resumo dos dados das principais características químicas é apresentado na Tabela 1. Observando os valores de pH nota-se a típica condição ácida destes solos, que favorece a disponibilidade do alumínio na forma tóxica, o qual complexa com o Fósforo (P) diminuindo muito a sua disponibilidade para as plantas e compete com o Ca, Mg e K pelas cargas negativas das argilas e da matéria orgânica deixando-os predispostos à lixiviação. O valor absoluto do alumínio em 85% das amostras encontra-se numa faixa considerada média ($< 1,0$ meq/100 cc). Porém, seu valor relativo (saturação de alumínio) em 78,6% das amostras, encontra-se numa faixa prejudicial a todas as culturas ($> 40\%$) (KAMPRATH, 1967). Este valor alto é devido aos valores de Ca e Mg serem baixos e o potássio pouco contribuir no balanço do complexo de troca catiônica.

A produção da maioria das plantas decresce em solos com mais de 20% de saturação de Al, (KAMPRATH, 1967). Assim, como cerca de 91% dos solos sob vegetação de cerrado apresentam saturação de alumínio superior a 20% é de se esperar problemas no desenvolvimento das culturas nesses solos, se eles não forem corrigidos.

Os valores de Ca, Mg, K e P são extremamente baixos, como pode ser observado na Tabela 1. Então estes solos não podem suprir adequadamente a maioria das plantas, levando a um crescimento subnormal quando cultivadas no solo em condições naturais. A deficiência de P é agravada pela alta capacidade de "fixação" de fósforo pelas argilas, Al e Fe livres que estão presentes nestes solos, constituindo assim em outro fator limitante.

Os valores baixos de capacidade de troca catiônica (CTC) efetiva são indicativos do alto grau de intemperização destes solos, com predominância de argilas de baixa atividade. Assim, a matéria orgânica é a principal responsável pela formação de cargas negativas e troca de cátions nestes solos. Porém, nota-se que nas condições naturais, esta apresenta pouca atividade, 97% das amostras apresentaram $CTC < 4 \text{ meq}/100 \text{ cc}$, considerada baixa, embora apenas 17,4% das amostras apresentaram níveis baixos de matéria orgânica (Tabela 1). No entanto, quando eleva-se o pH para 5,5 ou mais, ativa-se a formação de cargas dependentes de pH, tanto da fração orgânica como da fração mineral, e obtendo-se ganhos acima de 100% na CTC efetiva.

Assim, a capacidade produtiva destes em condições naturais é pequena. Contudo, o potencial é grande quando corrigidas as suas principais limitações.

TABELA 1 - Resumo das características químicas dos solos sob "cerrado", com base em 518 amostras na camada de 0-20 cm. Minas Gerais e Goiás, 1975 e 1977. Fonte: LOPES, 1983.

Características químicas	Amplitude	Mediana	Distribuição das amostras (%)	
pH em H ₂ O	4,3-6,2	5,0	48,3% 50,2% 58,0%	< 5,0 5,0-5,9 4,8-5,2
P (ppm)	0,1-16,5	0,4	92,1%	< 2
K (meq/100 cc)	0,02-0,81	0,08	84,9%	< 0,15
Ca (meq/100 cc)	0,04-6,81	0,25	96% 76%	< 1,5 < 0,4
Mg (meq/100 cc)	0,00-2,02	0,09	90,0% 55,2%	< 0,5 < 0,1
Al (meq/100 cc)	0,08-2,40	0,56	91% 15% 76%	> 0,25 > 1,0 0,25-1,0
CTC efetiva (t)(meq/100cc)	0,35-8,10	1,10	97% 84%	< 4,0 < 2,0
Saturação de Al (m) %	1,0-89,4	59	91,0% 78,6%	> 20 > 40
Matéria orgânica %	0,7-6,0	2,2	17,4% 60,4%	< 1,5 1,5-3,0

Via de regra, estes solos são profundos, bem drenados, com a textura variando desde arenosa até muito argilosa e bem estruturados com alta estabilidade de agregados, especialmente micro-agregados (GOEDERT, 1980). Porém, a retenção de água é outro fator de importância nestes solos. Apesar de possuírem um elevado percentual de argila, até 83%, eles comportam-se como arenosos e portanto cerca de 75% ou mais da "água disponível" é perdida entre 0,1 a 1 bar (LOPES, 1983). Isto significa que a quantidade máxima de água que pode ser armazenada na camada arável é suficiente para manter uma cultura em pleno desenvolvimento por apenas seis a dez dias. Além do mais nesta região é comum um déficit hídrico no período chuvoso denominado "veranico" o que acentua os malefícios da menor capacidade de armazenamento de água destes solos (Wolf, 1975 citado em LOPES, 1983). Estes "veranicos" podem causar sérios danos às culturas e os danos são maiores quando o sistema radicular é superficial.

Com base nestes dados é evidente a necessidade do uso de calcário de preferência o dolomítico para: reduzir a saturação de Al, corrigir o pH, fornecer Ca e Mg como nutrientes, aumentar a atividade microbiana e a liberação de nutrientes como nitrogênio, fósforo e enxofre pela decomposição da matéria orgânica, diminuir a adsorção e precipitação ("fixação") de fósforo e aumentar as cargas dependentes de pH, entre outras. Dessa forma, com a calagem, há um maior desenvolvimento do sistema radicular tanto na superfície quanto na camada sub-superficial, aumentando o volume de solo a ser explorado, o que minimiza os problemas de deficiência

mineral e os prejuízos causados pelo "veranico".

2.2. Efeito do alumínio tóxico no desenvolvimento das plantas

O desenvolvimento das plantas nos solos sob "cerrado" é limitado pela "complexa infertilidade dos solos ácidos" que inclui a toxidez de alumínio (Al), esporadicamente o manganês (Mn) e a deficiência (pequena disponibilidade) de certos elementos essenciais como Ca, Mg, P e Mo segundo Kamprath & Foy (1971) citados em FOY (1976). No entanto, o fator mais agravante é a toxidez causada pelo alumínio, especialmente nos solos com subsolos ácidos, porque restringe a profundidade das raízes e a sua ramificação, o que causa um decréscimo na tolerância à seca e no uso dos elementos minerais do subsolo.

Estudos sobre o efeito direto do alumínio nas plantas são encontrados na literatura com certa abundância, porém o mecanismo pelo qual o Al prejudica o desenvolvimento das plantas é ainda debatido. Danos morfológicos e anatômicos nas raízes laterais e na extremidade da raiz principal, têm sido observados por diversos autores e em diferentes culturas: FLEMING & FOY (1968) em trigo, CLARKSON (1965) e LEVAN (1945) em cebola, RIOS & PEARSON (1964) e HUCK (1972) em algodão. Estes autores constataram o aparecimento de células binucleadas na região meristemática das raízes, indicando que a divisão celular foi inibida. CLARKSON (1965) constatou que o alumínio afetou a replicação do DNA. MATSUMOTO et

alii (1976), NAIDOO et alii (1978), SAMPSON et alii (1965) e CLARKSON (1969) verificaram que o alumínio associa-se com o fósforo dos ácidos nucléicos e com lipídios da membrana plasmática, afetando deste modo a divisão celular.

Além disso, a associação do alumínio com proteínas e lipídios da membrana plasmática, causa alterações na sua estrutura e permeabilidade (HECHT-BUCHHOLZ & FOY, 1981; HORTON & EDWARDS, 1976; BOLLARD & BUTLER, 1966 e FOY & BROWN, 1963 e 1964), interfere no bom funcionamento dos metabólitos fosforilados, na produção de DNA em geral e inibe a enzima hexoquinase (CLARKSON, 1966b, 1969). Mas seu efeito mais grave é a inibição da divisão celular na raiz (CLARKSON 1969, 1966a e b, 1965; CLYMO, 1962 e RORISON, 1958). Como consequência estas são curtas e grossas, de aparência espatulada, com as pontas tornando-se amarronzadas. O sistema radicular apresenta muitas raízes laterais curtas e grossas o que diminui a sua eficiência.

Os sintomas de toxidez de alumínio na parte aérea das plantas é frequentemente caracterizada por sintomas semelhantes aos de deficiência de P, ou seja, atrofia total; caule, folhas e nervuras de cor violeta; enrolamento e morte das pontas das folhas e folhas pequenas com coloração verde escuro anormal. Devido a grande reatividade do Al com íons fosfatos, eles formam complexos pouco solúveis no citosol das células e na solução do solo, tornando o fósforo menos disponível aos diversos processos metabólicos da planta. A toxidez de alumínio causa também sintomas semelhantes aos de deficiência de Ca, ou seja, enrolamento ou

ondulamento de folhas jovens e colapso do ápice da planta, devido redução na aquisição de Ca, causada pela redução do sistema radicular e dos sítios de absorção pela competição.

O excesso de Al causa efeitos indiretos afetando a absorção, translocação e utilização de vários nutrientes, principalmente P, Ca, Mg e K (NOGUEIRA, 1979; FOY et alii, 1978; FOY, 1974; FOY et alii, 1972; FOY et alii, 1969 e FOY & BROWN, 1964 e 1963).

O efeito inibidor do alumínio na absorção provavelmente é consequência de sua competição com outros íons por sítios de absorção, devido unir-se fortemente às cargas negativas do sistema radicular KLIMASHEVSKII & DEDOV (1975). Esta inibição pode estar associada também a alterações na estrutura e permeabilidade da membrana plasmática, causada pela ligação do alumínio com suas proteínas e lipídios (HECHT-BUCHHOLZ & FOY, 1981 e HORTON & EDWARDS, 1976). A interferência do Al na absorção de Ca e Mg é um caso de inibição competitiva pois, pode ser anulada pela elevação na concentração dos dois cátions bivalentes no meio, MALAVOLTA et alii (1977) e FOY & BROWN (1963). No caso do fósforo, a planta compete diretamente com o alumínio na aquisição, pois este combina com o fósforo presente na superfície e dentro da raiz e na solução do solo formando complexos de baixa solubilidade, diminuindo a disponibilidade para absorção e utilização pelas plantas. Tal competição é particularmente nociva em solos ácidos, com alto teor de Al e baixo de P (FOY & BROWN, 1963).

Desta forma os valores relativos do Al trocável com as

bases trocáveis (saturação de alumínio) constitui-se numa das mais importantes limitações ao uso destes solos (LOPES, 1983; MALAVOLTA et alii, 1977 e FOY, 1976). Porém a toxidez causada pelo alumínio não é um fator isolado, mas sim um somatório de fatores complexos, que interfere no desenvolvimento de diferentes espécies vegetais, afetando diferentes mecanismos fisiológicos (FOY, 1976 e KERRIDGE & KRONSTAD, 1968).

2.3. Identificação de fontes de tolerância a toxidez de alumínio

A identificação de plantas tolerantes a toxidez de alumínio pode ser realizada utilizando o solo seja em casa-de-vegetação ou no campo, ou em solução nutritiva. No primeiro caso, há algumas dificuldades. A primeira é que o solo deve ter um teor uniformemente alto de Al, baixos teores de Ca, Mg e P, não possuir excesso de Mn e alto teor de matéria orgânica para que os efeitos do alumínio não sejam mascarados. Com o emprego de várias doses de calcário estabelece-se diferentes índices de saturação de Al, e assim, avalia-se os diferentes genótipos nos vários índices. Porém, o problema principal é escolher o índice ideal de saturação de alumínio para se utilizar. Se este é excessivo, acima de 50%, mesmo os materiais tolerantes não terão condições de desenvolver. Se for muito baixo, inferior a 10%, de modo análogo não há condições de se proceder uma identificação criteriosa. Estimativa do índice de saturação de alumínio com valores até 10% são

considerados pouco prejudiciais às plantas e maior que 20% são considerados prejudiciais (MUZILLI & KALCKMANN, 1971).

Outro problema que ocorre de difícil controle é a quantidade de água presente no solo. Quando este é mantido com umidade, sem deficiência hídrica devido a boa distribuição da precipitação pluvial a resposta à calagem não tem sido como o esperado (RAMALHO et alii, 1986), mostrando que o efeito da toxicidade do alumínio é reduzido passando a não limitar as produções pela existência de uma maior disponibilidade de água no solo (FREIRE, 1985 e 1984). Assim, no estudo do controle genético e no melhoramento visando a seleção de plantas tolerantes ao alumínio, deve-se também controlar o nível de água no solo, para que os efeitos do alumínio sejam expressivos, sendo possível detectar diferenças entre os materiais e que os resultados alcançados possam ser repetidos.

Um terceiro problema na identificação de plantas tolerantes está na diferença de adaptação dos materiais, isto é, há relatos na literatura que o material comportou-se como tolerante em solução nutritiva ou em vasos, porém, sob condição de campo, devido a sua menor adaptação a sua performance foi inferior a esperada. Para atenuar esse fato, além de se utilizar índices contrastantes de saturação de alumínio, há necessidade de se utilizar algum artifício visando atenuar essa diferença em adaptação.

Um dos artifícios que pode ser utilizado é a estimativa de algum índice de tolerância. Na literatura já existe informação

a respeito de algumas opções de índices de tolerância que podem atenuar as diferenças em adaptação (LIMA et alii, 1981).

Uma outra maneira já mencionada de se identificar plantas tolerantes a toxidez de alumínio é usando solução nutritiva. É um método eficiente de se fazer avaliações, principalmente em culturas que possuem um desenvolvimento rápido, permitindo testar um grande número de genótipos, além de permitir um rigoroso controle experimental, o qual não é possível no primeiro caso. Uma dificuldade é saber qual a concentração de alumínio em uma solução seria necessária para representar uma determinada saturação de alumínio no solo, além da dificuldade de manter constante a interação entre pH, Al e P.

Os resultados obtidos a partir de avaliações em solução nutritiva e solo nem sempre são perfeitamente coincidentes, devido provavelmente a complexidade da constituição do solo não ser completamente representada em solução nutritiva, além de que em solução nutritiva a disponibilidade de nutrientes é maior. Contudo, têm-se encontrado correlação positiva entre estas duas metodologias de avaliações (CAMPBELL & CARTER, 1990; NOBLE et alii, 1985; LAFEVER et alii, 1977 e REID et alii, 1971).

No caso específico do feijão NOBLE et alii (1985) avaliaram o comprimento das raízes em solução nutritiva e, posteriormente, avaliaram a parte aérea no campo, verificando que algumas cultivares selecionadas no campo foram classificadas de forma idêntica à classificação obtida em solução nutritiva.

Nas avaliações de materiais outro aspecto importante é a

escolha das características que refletem a reação dos mesmos à presença do alumínio tóxico. O peso seco das raízes e o seu comprimento parecem ser as características mais úteis para avaliação de plantas, em razão do sistema radicular ser diretamente afetado pelos efeitos tóxicos do alumínio (GOURLEY et alii, 1990; ARAÚJO, 1989; SOUSA, 1986; MAGNAVACA, 1982; FURLANI & CLARK, 1981; GARCIA JÚNIOR & SILVA, 1979; CUTRIM, 1979; LAFEVER, 1977 e FOY & BROWN, 1964). Em dicotiledôneas o comprimento e peso seco da parte aérea também são empregados, assim como outras características como produção de grãos e teor de minerais, principalmente o fósforo nos diferentes órgãos da planta.

Em feijão a avaliação da tolerância a toxidez de alumínio tem sido feita através do peso seco da parte aérea e raiz, em separado ou juntos (ARAÚJO, 1989; SOUSA, 1986; FREIRE, 1985; RAMALHO, 1983; RAMALHO et alii, 1982; OLIVEIRA & MALAVOLTA, 1982; LIMA et alii, 1981; OLIVEIRA, 1980; HERNANI, 1980 e FOY et alii, 1967), da produção de grãos (RAMALHO et alii, 1986; RAMALHO et alii, 1983; MUZILLI, 1983; MESQUITA FILHO, 1982; MIRANDA & LOBATO, 1978 e SALINAS & SANCHES, 1976b) e do teor de nutrientes na parte aérea e raiz (SOUSA, 1986).

A utilização de características da parte aérea que identificam a reação de cultivares ao alumínio tóxico é importante, principalmente para avaliações em campo, devido a dificuldade de obtenção de raízes nesta condição com pequena margem de erro. ARAÚJO (1989), constatou correlação genética aditiva e fenotípica entre o peso seco da parte aérea e o peso do sistema radicular em

experimentos conduzidos, em casa-de-vegetação com amostra de solo, com a cultura do feijoeiro, mostrando que os efeitos do Al nas raízes afetaram a parte aérea e que o interrelacionamento fenotípico foi devido ao efeito aditivo dos genes. NOBLE et alii (1985) também encontraram correlação genética entre o comprimento da raiz obtida em solução nutritiva e o peso seco da parte aérea obtida em campo. RAMALHO et alii (1983) constataram, na ausência de calagem, correlação positiva entre o peso seco da parte aérea obtido em casa-de-vegetação e a produtividade de grãos obtida sob condições de campo, sugerindo que a avaliação da parte aérea das cultivares em casa-de-vegetação é útil para prever seus desempenhos em campo.

Respostas diferenciais entre espécie e entre cultivares de uma mesma espécie, à toxidez de alumínio foram obtidas por diversos pesquisadores em experimentos conduzidos em solução nutritiva, no campo, ou com amostras de solo em vasos (GOURLEY et alii, 1990; CAMPBELL & CARTER JR., 1990; CAMARGO, 1983; SILVA, 1982; CUTRIM, 1979; FOY et alii, 1969; FLEMING & FOY, 1968; FOY et alii, 1967a e b e FOY & BROWN, 1963 e 1964).

No caso específico do feijoeiro, provavelmente o primeiro trabalho para avaliar se havia diferença entre as cultivares para tolerância ao alumínio foi realizado por FOY et alii (1967b). Estes autores conduziram o experimento em casa-de-vegetação com amostra de solo com e sem calcário e detectaram diferenças significativas entre os materiais para tolerância ao alumínio, com base no peso seco da parte aérea e raiz após 4 semanas de

desenvolvimento. Nesse trabalho foi demonstrado que a cultivar Dade era tolerante, e a Romano muito sensível, sendo esta primeira utilizada como padrão de tolerância a partir deste trabalho. Posteriormente muitos outros trabalhos foram conduzidos identificando cultivares de feijão com bom desempenho em solos com alta saturação de alumínio (ARAÚJO, 1989; RAMALHO et alii, 1986; SOUSA, 1986; COSTA, 1985; RAMALHO et alii, 1983; RAMALHO et alii, 1982; MESQUITA FILHO et alii, 1982 e LIMA et alii, 1981) e tolerantes ao alumínio especificamente, através de estudos realizados em solução nutritiva (MALAVOLTA et alii, 1981; OLIVEIRA & MALAVOLTA, 1982; OLIVEIRA, 1980; HERNANI, 1980 e RUSCHEL et alii, 1968).

Devido principalmente às condições experimentais empregadas, ou seja, o método, as características utilizadas para avaliação da tolerância e o grupo de cultivares envolvidas, uma mesma cultivar pode ser considerada tolerante em um experimento e sensível em outro, já que a tolerância é uma medida relativa. Assim, não existe uma perfeita concordância entre os autores na classificação das cultivares quanto à tolerância ao alumínio.

2.4. Mecanismo de tolerância ao alumínio

O mecanismo pelo qual as plantas toleram altos níveis de alumínio ainda não é bem conhecido, mesmo porque ele afeta de várias formas o crescimento das plantas. Obviamente, plantas

tolerantes têm de ser capazes de evitar a adsorção ou absorção de alumínio em excesso por suas raízes (exclusão) ou desintoxicar após o Al ter sido absorvido (inativação).

Cultivares de trigo, centeio, arroz e linhagens de milho tolerantes ao alumínio aumentam o pH do solo ou da solução nutritiva ao redor do sistema radicular, e deste modo reduzem a solubilidade do Al e conseqüentemente sua toxidez. As cultivares sensíveis destas espécies diminuem ou mantêm o pH ao redor do sistema radicular, deste modo permanecem expostas a altas concentrações de alumínio (FURLANI & CLARK, 1981; FOY, 1976; HOWELLER & CADAVID, 1976 e CLARK & BROWN, 1974 e FOY et alii, 1965). FURLANI & CLARK (1981) verificaram que cultivares de sorgo tolerantes desenvolvidas em altas concentrações de Al não reduziram o pH da solução nutritiva, enquanto a maioria das sensíveis reduziram. Mudando o pH em 0,1 unidade a solubilidade do alumínio pode alterar duas vezes ou mais. Além disso, esta mudança é importante na solubilidade e disponibilidade de elementos essenciais. Em cultivares de trigo tolerantes ao Al, o aumento do pH aparece associado com maior absorção de NO_3^- (Dodge & Hiatt, 1972 citado em FOY, 1976). Neste sentido, destacam-se muitas espécies adaptadas aos solos ácidos, tais como *Pinus*, *Eucalyptus* e certas gramíneas, que preferem amônio em relação a nitrato, como fonte de nitrogênio (VALE, 1982 e WILTSHIRE, 1973).

Alta tolerância ao Al em azaléia tem sido associada com o acúmulo do excesso de Al nas raízes, o qual restringe o transporte para a parte aérea da planta. Entretanto, em trigo e

centeio tal acumulação seletiva de Al pelas raízes é maléfica (FOY, 1976). VOSE & RANDALL (1966) trabalhando com diversas espécies mostraram que as com capacidade de troca catiônica (CTC) radicular maior são sensíveis e as de CTC menor são tolerantes pois absorvem mais cátions mono e bivalentes do que o Al e Mn, e geralmente leguminosas possuem CTC duas vezes maior que gramíneas. Isto faz com que as gramíneas de um modo geral sejam mais tolerantes que as leguminosas.

Espécies de eucalipto adaptados aos solos ácidos, com baixa disponibilidade de fósforo liberam ácidos orgânicos e polifenóis na rizosfera que complexam o alumínio proporcionando não apenas proteção contra os efeitos maléficos do Al livre, mas também maior absorção de fósforo (MULETTE & HANNON, 1974).

Baseado em revisões com muitas espécies de plantas (MAGNAVACA, 1982) relata que a tolerância de plantas associada a concentrações de Al na parte aérea, deve ser dividida em três grupos principais: grupo 1 - as concentrações de Al na parte aérea de plantas tolerantes e sensíveis são iguais, mas as raízes de plantas tolerantes contêm menos alumínio; grupo 2 - plantas tolerantes possuem um nível baixo de Al na parte aérea mas excessivo aumento nas raízes; grupo 3 - plantas tolerantes devem ter maior concentração de Al na parte aérea do que as sensíveis.

Após a penetração do Al nas células, é possível que a planta se desintoxique, através da formação de quelatos de Al com ácidos orgânicos (ácido málico, cítrico, trans-aconítico) diminuindo ou eliminando o efeito do Al (LEE & FOY, 1986; CAMBRAIA

et alii, 1983; KLIMASHEVSKII & CHERNYSHEVA, 1980; FOY & BROWN, 1964 e JONES, 1961). Segundo esta idéia plantas tolerantes contêm ou produzem maior quantidade de ácidos orgânicos que formam complexos solúveis com o alumínio. Especificamente no feijão, LEE & FOY (1986) observaram que quando a cultivar 'Romano' (sensível) e a 'Dade' (tolerante) foram cultivadas em alta concentração de Al os teores de ácido cítrico e málico na cultivar sensível reduziu acentuadamente quando comparado com a cultivar tolerante. Resultados similares foram obtidos em milho por KLIMASHEVSKII & CHERNYSHEVA (1980).

Em muitas espécies de plantas, a tolerância ao alumínio tem sido associada com a absorção e utilização de P na presença de Al (MESQUITA FILHO et alii, 1982; CAMBRAIA & CALBO, 1980; MIRANDA & LOBATO, 1978; SALINAS & SANCHES, 1976a; SALINAS & SANCHES, 1976b e FOY & BROWN, 1964). FOY & BROWN (1964) em experimento em solução nutritiva e em solos ácidos concluíram que várias espécies utilizaram este mecanismo. Alguns cultivares de feijão como 'Caraota 260', 'Diacol Nutibará' e 'Manteigão Fosco 11', foram sensíveis ao Al, em condições de baixa disponibilidade de fósforo, no entanto, as cultivares 'Carioca', 'Ricopardo' e 'Costa Rica' foram tolerantes (SALINAS & SANCHES, 1976b). MIRANDA & LOBATO (1978), verificaram que as cultivares 'Carioca' e 'Ricopardo' foram mais produtivas nestas condições, quando comparadas com as cultivares 'Rico 23', 'Diacol Nutibará' e 'Jalo 1'. Porém, MESQUITA FILHO et alii (1982), concluíram que as cultivares 'Manteigão Fosco 11' e 'Costa Rica' são mais eficientes na

utilização do fósforo na presença ou ausência de toxidez de alumínio. Além do fósforo a alta capacidade de absorção e transporte de outros elementos com o Ca, K e Mg, também, estão relacionados com a tolerância das plantas ao alumínio (FOY et alii, 1978; FOY, 1976; FOY et alii, 1972; FOY et alii, 1969 e FOY et alii, 1967a). Outro mecanismo de tolerância ao Al detectado no sorgo por FURLANI & CLARK (1981) está relacionado com atividade enzimática, principalmente ATPase e fosfatase. Cultivares tolerantes apresentam um decréscimo menor na atividade destas enzimas quando em presença do alumínio.

2.5. Controle genético da tolerância ao alumínio

Entre os métodos usados para determinação do controle genético da tolerância ao alumínio os que têm sido mais utilizados são:

- a) Utilização dos progenitores, geração F_1 , retrocruzamentos e geração F_2 e/ou F_3 (SAWAZAKI & FURLANI, 1987; MAGNAVACA, 1982; CAMARGO, 1983; GARCIA JÚNIOR & SILVA, 1979; LAFEVER & CAMPBELL, 1978; RHUE et alii, 1978; NODARI, 1980; STOCKMEYER et alii, 1978 e KERRIDGE & KRONSTAD, 1968).

O primeiro estudo a este respeito foi realizado por KERRIDGE & KRONSTAD (1968), cruzando as cultivares de trigo 'Druchamp', moderadamente tolerante, e 'Brevor', sensível. Concluíram que a tolerância foi controlada por um gene, sendo a

'Druchamp' portadora do alelo dominante para tolerância. Os autores admitiram contudo, a possibilidade de ocorrerem outros genes principais e alguns genes modificadores. LAFEVER & CAMPBELL (1978), trabalhando com trigo concluíram também que a tolerância ao Al foi condicionada por um único alelo dominante. Contudo, seleção de plantas moderadamente tolerantes ou tolerantes, baseada na média da família F_3 , não foi muito eficiente, indicando a possibilidade de estar envolvido mais de um gene ou o efeito do ambiente ser muito pronunciado sobre este carácter. Os mesmos autores observaram que os efeitos de dominância foram muito superiores aos efeitos aditivos. Já NODARI (1980), avaliando o comportamento na presença de Al das populações segregantes F_2 e dos dois retrocruzamentos obtidos de pais contrastantes para tolerância, observou que a tolerância foi condicionada por alelos dominantes de dois genes, concordando com a hipótese dos autores anteriores. É possível então que no trigo haja vários genes modificadores interagindo, dada a enorme diferença na intensidade da tolerância ao alumínio entre as cultivares (CAMPBELL & LAFEVER, 1981 e LAFEVER & CAMPBELL, 1978).

Já para o milho, resultados a respeito do controle genético da tolerância foram relatados por vários autores. RHUE et alii (1978) e STOCKMEYER et alii (1978), estudando linhagens americanas, evidenciaram que a tolerância foi controlada por um único gene com uma série de alelos múltiplos. GARCIA JÚNIOR & SILVA (1979), estudando linhagens brasileiras, concluíram que a tolerância foi controlada por um alelo dominante, com possibilidade de ocorrência de genes modificadores. Já MIRANDA et alii (1984)

relatam que a tolerância é condicionada por dois alelos dominantes complementares. MAGNAVACA (1982) observou que em cruzamentos de linhagens tolerantes com suscetíveis, a maior parte da variação genética foi aditiva, enquanto os efeitos de dominância foram menores, porém significativos, e os efeitos epistáticos foram significativos apenas em alguns cruzamentos. A distribuição de frequência das plantas F_2 foi típica para herança quantitativa e houve uma tendência geral para sensibilidade ser dominante sobre a tolerância. Já em cruzamentos de linhagens não tolerantes, os efeitos genéticos de dominância representaram a maior parte da variação genética, seguidos pelos efeitos epistáticos e aditivos. SAWAZAKI & FURLANI (1987) concluíram que a alta tolerância ao alumínio da linhagem de milho cateto Ip 48-5-3 é condicionada principalmente por genes de efeitos aditivos; eles se concentram provavelmente na variedade de origem, em vista do cultivo desse milho ter sido feito pelos indígenas e antigos agricultores em áreas de solo com alto teor de alumínio. Porém, GALVÃO & SILVA (1978) estimaram os componentes da variância genética para tolerância ao alumínio na população de milho Piranão, concluindo que a variância de dominância foi o componente mais importante da variabilidade genética.

b) Cruzamentos dialélicos (GOURLEY et alii, 1990; ARAÚJO, 1989; CARMARGO, 1981 e CUTRIM, 1979).

Os cruzamentos dialélicos correspondem a todos os cruzamentos possíveis de um grupo de (p) cultivares, tomadas duas a duas. A partir desses cruzamentos são obtidos $n(n-1)/2$ híbridos

[REDACTED]

simples e $n(n-1)/2$ recíprocos dos híbridos simples. Além dos híbridos geralmente são avaliados os (n) genótipos parentais, perfazendo a tabela dialélica completa com (n^2) tratamentos experimentais. Porém, este número de tratamentos não é o único utilizado, podendo-se excluir os recíprocos quando o carácter em estudo não possuir efeito materno. Neste caso resulta em $n(n+1)/2$ tratamentos experimentais. No caso do feijão, os efeitos recíprocos são considerados desprezíveis para a maioria dos caracteres (FOOLAND & BASSIRI, 1983; SAFARI, 1978 e HAMBLIN, 1977).

Entre os modelos para análise das tabelas dialélicas, o proposto por GRIFFING (1956) permite calcular a capacidade geral e específica de combinação, e a partir destas, pode-se estimar as variâncias aditiva e não-aditiva. A análise dialélica permite ainda a avaliação e identificação de cruzamentos mais promissores para a obtenção de linhagens superiores ou mesmo a sua utilização como híbridos comerciais.

A capacidade geral de combinação (CGC) mede o comportamento médio de uma linhagem em combinações híbridas. A capacidade específica de combinação (CEC) refere-se ao comportamento particular de duas linhagens cruzadas entre si. Como se pode deduzir, a CEC mede o grau de complementação alélica dos genótipos na população (GRIFFING, 1956). A CGC depende principalmente da ação aditiva dos genes, mas também contém efeitos de dominância, enquanto a CEC é dependente dos genes que exibem efeitos de dominância, embora ambas contenham também efeitos epistáticos.

O emprego da F_2 ou de gerações mais avançadas para o estudo do controle genético através de cruzamentos dialélicos é criticado, principalmente porque diferentes populações F_2 não apresentam as mesmas segregações, além de requerer a avaliação de populações grandes de cada uma delas (ARUNACHALAM, 1976). No entanto, existem controvérsias sobre esta crítica, uma vez que o uso de gerações mais avançadas, é considerado favorável por permitir trabalhar com um maior número de plantas de cada população (MATHER & JINKS, 1971) e, até mesmo para se estimar heterose, pelo fato das maiores populações poderem ser conduzidas na densidade de cultura, fornecendo assim, estimativas mais reais (GARDNER & EBERHART, 1966). Como no feijoeiro é muito trabalhoso obter número suficiente de sementes híbridas F_1 para estudos que seriam conduzidos no campo o uso de gerações F_2 e/ou gerações mais avançadas tem sido bastante utilizado (TAKEDA et alii, 1991; RAMALHO et alii, 1988; SANTOS & VENCOVSKY, 1986 e SANTOS, 1984).

O controle genético da tolerância do feijoeiro ao alumínio foi estudado por ARAÚJO (1989), através de um cruzamento dialélico completo, envolvendo 7 cultivares (Negrito 897, To, Mulatinho 46, Rio Tibagi, IPA-1, Carioca e Ricopardo 896). Os pais e os híbridos F_1 foram avaliados em dois níveis de saturação de alumínio (4,67% e 51,1%) em casa-de-vegetação com amostra de solo de "cerrado". No final do ciclo foram avaliados peso seco da parte aérea, peso seco da raiz e peso seco total (raiz + parte aérea). A tolerância dos genótipos ao alumínio foi avaliada pelo índice de tolerância $R_{i,0}/\bar{R}_1$, onde:

$R_{i,0}$: rendimento do genótipo i no solo com maior saturação de alumínio;

\bar{R}_i : rendimento médio dos n genótipos no solo com menor saturação de alumínio;

A análise genética deste índice pelo método 4 de GRIFFING, mostrou efeito significativo apenas para capacidade geral de combinação (CGC). Observou alto valor para herdabilidade no sentido restrito para as três características avaliadas, e sugeriu que possivelmente um pequeno número de genes esteja envolvido no controle genético do feijoeiro a índices elevados de saturação de alumínio.

Em sorgo (GOURLEY et alii, 1991) avaliando um cruzamento dialélico completo, envolvendo nove linhagens, em solução nutritiva com alta concentração de alumínio ($222\mu\text{M}$) encontrou efeito significativo ($P < 0,01$) da capacidade geral e específica de combinação para peso seco da parte aérea, peso seco das raízes e peso seco total.

Em arroz CUTRIM (1979) avaliando as gerações F_1 e F_2 de um cruzamento dialélico completo, envolvendo cultivares tolerantes (Pratão e IAC-25) e sensíveis (Bico Ganga e Pérola), em solução nutritiva com 0, 30 e 60 ppm de alumínio, concluiu que o efeito da capacidade específica de combinação foi predominante para todos caracteres utilizados para mensurar a tolerância.

Observa-se que não ocorre uma concordância perfeita entre os autores quanto ao tipo de ação gênica que controla a tolerância ao alumínio para uma mesma espécie. Isto porque, a expressão da

tolerância depende: do grau de estresse, do grupo de cultivares envolvidas, da técnica e das características utilizadas para avaliar a tolerância. Além de que, uma mesma espécie pode apresentar mais de um mecanismo de tolerância ao alumínio.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localidade

Os experimentos foram conduzidos durante o ano de 1990, no Campus da Escola Superior de Agricultura de Lavras (ESAL) em Lavras-MG, especificamente na área experimental do Departamento de Biologia. Lavras está localizada na Região Sul do Estado de Minas Gerais, a 910 metros de altitude, 21°14'S de latitude e 45°00'W de longitude.

3.2. Material experimental

As principais características das cultivares envolvidas no dialelo são apresentadas na Tabela 2. A escolha dos parentais foi feita com base na reação dos mesmos às condições químicas dos solos ácidos de baixa fertilidade, além de outros caracteres desejáveis, e foram as mesmas utilizadas por ARAÚJO (1989). Entre estes caracteres pode-se citar a boa aceitação no mercado da cultivar Carioca e o porte arbustivo das cultivares Rio Tibagi e

Negrilo 897. A cultivar To apesar de ser uma cultivar introduzida e não adaptada ao cultivo, é portadora do alelo dominante Mex-2, que confere resistência a um grande número de raças de *Colletotrichum lindemuthianum*, causador da antracnose do feijoeiro.

TABELA 2 - Cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) utilizadas na obtenção dos híbridos e algumas de suas características.

Cultivares	Hábito de ¹ crescimento	Cor do tegumento
Carioca	III	Bege com listras marron
IPA-1	III	Bege
Mulatinho 46	III	Bege
Negrilo 897	II	Preto
Ricopardo 896	III	Pardo escuro
Rio Tibagi	II	Preto
To	III	Pardo com listras marron escuro e brilhante

¹ Os algarismos romanos identificam os hábitos de crescimento: II - crescimento indeterminado com guia curta; III - crescimento indeterminado com guia comprida.

No total foram avaliados 28 materiais, representados pelas 21 populações e as sete cultivares parentais em duas épocas correspondentes as gerações F_2 e F_3 do dialelo.

3.3. Características do solo

O solo utilizado é característico dos solos ácidos de baixa fertilidade, pertencente a unidade latossolo vermelho escuro distrófico, textura argilosa e relevo suavemente ondulado.

Os experimentos foram implantados em duas áreas distintas, uma corrigida e outra não. As características químicas são apresentadas na Tabela 3. As amostras de solo foram retiradas nas camadas de 0-20 e 20-40 antes do plantio da geração F_2 e de 0-20 no período de floração da geração F_3 . As análises foram realizadas pelo laboratório do Departamento de Ciência do Solo da ESAL.

TABELA 3 - Características químicas e físicas do solo das áreas que foram utilizadas para avaliar as cultivares e populações de feijoeiro. ESAL, Lavras-MG, 1990.

Características químicas	Geração F ₂ /pré plantio				Geração F ₃ /floração	
	Área corrigida		Área não corrigida		Área corrigida	Área não corrigida
	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	0-20
pH em H ₂ O	5,0	4,7	4,9	4,8	5,6	4,8
P (ppm)	18,0	3,0	2,0	1,0	10,5	2,3
Mn (ppm)	12,5	-	20,0	-	-	-
K (ppm)	56,0	42,0	36,0	22,0	57,8	36,8
Ca (meq/100cc)	1,9	0,9	1,2	0,4	2,2	0,9
Mg (meq/100cc)	0,3	0,3	0,2	0,2	0,6	0,2
Al (meq/100cc)	0,1	0,3	0,5	0,5	0,1	0,5
H + Al (meq/100cc)	5,6	5,2	7,0	6,5	4,7	6,5
S (meq/100cc)	2,3	1,3	1,5	0,7	3,0	1,2
t (meq/100cc)	2,4	1,5	2,1	1,2	3,2	1,7
T (meq/100cc)	7,9	6,5	8,5	7,2	7,8	7,7
m (%)	4	18	26	46	5	31
V (%)	29	20	18	8	39	15
Carbono (%)	2,0	-	2,0	-	2,0	2,0
Matéria orgânica (%)	3,4	-	3,4	-	3,4	3,4
Areia (%)	24	-	29	-	24	29
Limo (%)	32	-	17	-	32	17
Argila (%)	44	-	54	-	44	54
CC V/V (%)	36	-	36	-	36	36
PM V/V (%)	23	-	23	-	23	23

Valores médios obtidos de 3 repetições.

3.4. Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com 3 repetições, sendo que os tratamentos 'Negrito 897 x To' e 'Carioca x Ricopardo 896' tiveram apenas duas

repetições na primeira época devido a falta de sementes F_2 . A parcela experimental foi de 2 linhas de 1 e 2 m nos experimentos com as gerações F_2 e F_3 , respectivamente.

3.5. Condução dos experimentos

Foram instalados dois experimentos em cada geração um deles na área com maior saturação de alumínio (26%) e o outro na área com menor saturação de alumínio (4%). Os experimentos foram conduzidos nos períodos mais secos para melhor controle da umidade do solo, em Abr./Jul. para a F_2 e Ago./Nov. para a F_3 . A densidade de semeadura foi de 10 e 15 sementes por metro linear na F_2 e F_3 , respectivamente.

A adubação na semeadura foi formulada com sulfato de amônio, super-tríplo e cloreto de potássio, na base de 20-80-30 kg/ha de N, P_2O_5 e K_2O , respectivamente. Aos 20-25 dias após a germinação foi realizada uma adubação de cobertura com sulfato de amônio na razão de 20 kg/ha de Nitrogênio.

A irrigação era realizada toda vez que a umidade do solo estava próxima de 28,2% com base em volume que corresponde a 40% da água disponível, aplicando uma lâmina d'água para atingir 30,8% com base em volume que corresponde a 60% da água disponível. A umidade do solo foi monitorada através de amostras retiradas na camada de 0-20 e determinada em laboratório. As condições de precipitação pluviométrica acumulada, de 5 em 5 dias, durante o ciclo do

ciclo do feijoeiro nas gerações F_2 e F_3 são apresentadas na Figura 1.

A cultura foi conduzida até o final do ciclo, e os demais tratamentos culturais foram os normalmente exigidos pela cultura.

3.6. Dados obtidos

Na geração F_2 utilizaram-se todas as plantas da parcela e na geração F_3 foi retirada uma amostra aleatória de dez plantas competitivas, para obter os dados de biomassa:

- Biomassa (Peso seco da parte aérea + peso seco das raízes); os pesos secos foram obtidos, após atingir peso constante, em estufa à temperatura de 72°C;

A produção de grãos (kg/ha) foi obtida com base na produção total da parcela.

Foi obtido também o número de dias decorridos da semeadura até o início do florescimento de pelo menos 50% das plantas da parcela.

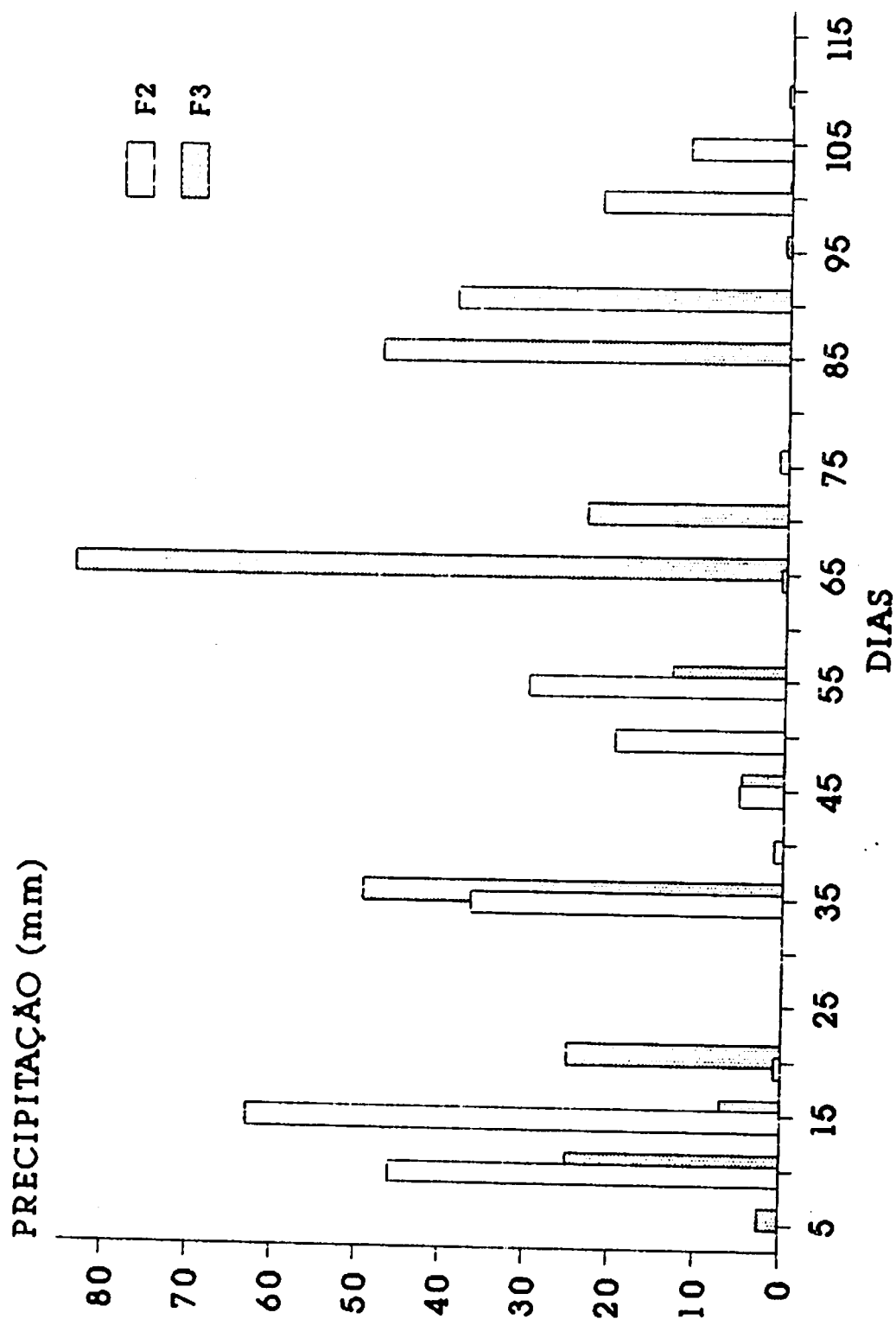


FIGURA 1 - Precipitação pluviométrica acumulada, de 5 em 5 dias, durante o ciclo do feijoeiro nas gerações F₂ e F₃.

3.7. Análises estatísticas e genéticas

3.7.1. Análises de variância individuais

Foram realizadas análises de variância somente para produção de grãos e biomassa inicialmente isoladas por geração e nível de saturação. Devido a falta de normalidade e aditividade foi realizada uma análise de resíduo pelo "SOFTWARE" S.A.S. (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM). Em seguida realizou-se o teste t ao nível de 5% de significância. Detectados os resíduos significativos, compararam-se com as observações de campo, sendo então confirmado que os dados que mostraram resíduos significativos apresentaram alguma anormalidade (doença, estande baixo, estresse excessivo de água). Após sua eliminação restaurou-se a condição de normalidade e aditividade que são necessárias para proceder a análise de variância. O efeito de tratamento foi considerado como fixo. O esquema das análises de variância individuais apresentado na Tabela 4 foi estabelecido a partir do seguinte modelo matemático (STEEL & TORRIE, 1980):

$$Y_{ij} = m + t_i + b_j + e_{ij}$$

onde:

Y_{ij} : é a observação do tratamento i na repetição j ;

m : média geral;

t_i : efeito do tratamento i ; $i = 1, 2 \dots 28$;

b_j : efeito do bloco j ; $j = 1, 2$ e 3 ;

e_{ij} : efeito do erro ambiental.

Os efeitos de populações foram desdobrados em capacidade geral e específica de combinação, empregando-se o método 4, modelo I de GRIFFING (1956), a partir do seguinte modelo matemático:

$$Y_{(ij)k} = m + g_i + g_j + s_{ij} + e_{(ij)k}$$

onde:

$Y_{(ij)k}$: observação média da população ij das k repetições;

m : média geral das populações;

g_i : efeito da capacidade geral de combinação do parental i ;

g_j : efeito da capacidade geral de combinação do parental j ;

s_{ij} : efeito da capacidade específica de combinação entre os parentais i e j ;

$e_{(ij)k}$: erro experimental médio;

k : número de repetições, $1, 2, 3$

com as seguintes restrições:

$$\sum_i g_i = 0$$

$$\sum_j s_{ij} = 0 \text{ (para cada } j \text{)}$$

TABELA 4 - Esquema das análises de variância individuais, com a decomposição do efeito de populações em capacidade geral de combinação (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC) pelo método 4/modelo I de GRIFFING (1956).

FV	GL	SQ	QM	E(QM) Modelo I
Blocos	(r-1)	SQ ₁	QM ₁	-
Tratamentos	[P ¹ (P+1)/2]-1	SQ ₂	QM ₂	-
Parentais	P-1	SQ ₃	QM ₃	-
Populações	P(P-1)/2-1	SQ ₄	QM ₄	-
CGC	P-1	SQ ₅	QM ₅	$\sigma^2 + (P-2) 1/(P-1) \sum_i g_i^2$
CEC	P(P-3)/2	SQ ₆	QM ₆	$\sigma^2 + [2/P(P-3)] \sum_{i < j} \sum s_{ij}^2$
PAR vs. POP	1	SQ ₇	QM ₇	-
Resíduo	r-1[(P(P+1)/2)-1]	SQ ₈	QM ₈	σ^2

¹ é o número de pais.

3.7.2. Análises de variância conjunta

As análises de variância conjunta por geração e dos quatro experimentos, envolvendo somente as populações híbridas, foram feitas segundo modelo apresentado por MIRANDA FILHO & RISSI (1975).

As estimativas da capacidade geral de combinação (g_i), capacidade específica de combinação (s_{ij}), variância dos efeitos e das diferenças entre eles, segundo modelo 4, método 1 de GRIFFING

(1956) para mais de um ambiente foram obtidas pelas expressões apresentadas por FERREIRA et alii (n.p.). O cálculo destas estimativas foram realizadas no "SOFTWARE" QT desenvolvido por FERREIRA (1991)¹.

3.7.3. Correlações fenotípicas

As correlações fenotípicas (r_f) entre produção de grãos (g) e produção de biomassa (b) foram determinadas com base no comportamento médio das n populações híbridas em cada experimento e na média dos quatro, sendo estimada através da expressão (FALCONER, 1981):

$$r_{F(g,b)} = \frac{COV_{(g,b)}}{\sqrt{V_g V_b}}$$

onde:

V_g e V_b : são as "variâncias" fenotípicas, para g e b respectivamente;

$COV_{(g,b)}$: é a "covariância" fenotípica, entre os caracteres g e b obtida pelo método proposto por KEMPTHORNE (1966).

¹ "Software" não publicado.

4. RESULTADOS

Os resumos das análises da variância, por geração e em cada nível de saturação de alumínio, para produção de grãos e biomassa são apresentados nas Tabelas 1A e 2A. Constata-se que o teste de F para tratamentos foi significativo ($P < 0,01$) em todas as situações, exceto para produção de grãos na maior saturação de alumínio na geração F_2 . O desdobramento desta fonte de variação mostrou diferenças significativas para pais e populações híbridas em todos os casos, exceto para a produção de grãos na maior saturação de alumínio na geração F_2 . Para o contraste pais vs. populações híbridas, só houve significância pelo teste F na geração F_2 para ambas características.

O efeito de populações foi decomposto em capacidade geral de combinação (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC). No que se refere a CGC a ocorrência de significância pelo teste F foi idêntica ao efeito de populações. Já para CEC, o teste de F só não foi significativo para produção de grãos em ambas as gerações no maior nível de saturação de alumínio.

O coeficiente de variação dos experimentos variou de 12,4% para produção de biomassa na geração F_3 a 26,0% para produção

de grãos na geração F_2 , ambos no maior nível de saturação de alumínio. De um modo geral, ele foi superior para a geração F_2 , exceto no caso da produção de biomassa com 4% de saturação de alumínio. Constatou-se também, que na maior saturação de alumínio, para ambas as características a precisão experimental foi menor, exceto para a produção de biomassa na geração F_3 (Tabelas 1A e 2A).

O resumo das análises de variância conjunta para produção de grãos em cada geração é apresentado na Tabela 5. Observa-se que o efeito da saturação de alumínio só foi significativo na geração F_2 . Já o efeito de populações foi significativo em ambas, bem como seus componentes, sendo que o efeito da CGC foi bem superior ao da CEC, principalmente na geração F_3 . O efeito da interação população x saturação foi significativo ($P \leq 0,05$) em ambas gerações, porém após decomposição somente a interação CEC x saturação da geração F_2 foi significativa.

Na análise da variância conjunta, envolvendo os níveis de saturação de alumínio e as gerações, observa-se que para a produção de biomassa todas as fontes de variação apresentaram teste F significativo. No caso da produção de grãos apenas as interações duplas CGC e CEC x saturação de alumínio e a tripla CGC x saturação de alumínio x geração não foram significativas. A precisão dos experimentos, como já salientado, foi melhor para produção de biomassa ($CV = 14,2\%$) do que para produção de grãos (Tabela 6).

Na geração F_2 a produtividade média de grãos na menor saturação de alumínio foi 51,8% superior a obtida na maior saturação. Já para a geração F_3 o mesmo não ocorreu ou seja, a

produtividade média de grãos foi semelhante nas duas condições. No caso da biomassa os resultados apresentaram o mesmo comportamento da produção de grãos (Tabelas 1A e 2A).

TABELA 5 - Resumo da análise de variância conjunta para produção de grãos (kg/ha), obtidas da avaliação das gerações F_2 e F_3 nos níveis de 4 e 26% de saturação de alumínio, a nível de média. ESAL, Lavras-MG, 1990.

FV	GL	QM	
		F_2 "das secas"	F_3 "outono/inverno"
Saturação	1	2.533.692,5**	9.684,8
Cruzamentos	20	64.690,3**	179.866,2**
CGC	6	96.256,5**	440.697,8**
CEC	14	51.161,9**	68.081,2*
Cruz. x SAT	20	36.179,4*	61.756,7*
CGC x SAT	6	8.458,4	61.274,5
CEC x SAT	14	48.059,9**	61.963,4
Resíduo médio	95(101)	17.373,6	36.176,4
Média		1.188,0	1.931,7
CV %		19,2	17,0

* e ** significativo a 5% e 1%, respectivamente, pelo teste F. O valor entre parênteses corresponde a F_3 .

TABELA 6 - Resumo das análises de variância conjunta para produção de grãos (kg/ha) e biomassa (g/planta), obtidas da avaliação dos híbridos nas duas gerações e nos dois níveis de saturação de alumínio, a nível de média. ESAL, Lavras-MG, 1990.

F.V.	GL	QM ¹	
		Produção de grãos	Biomassa
Tratamento	83	759.390,141**	13,214**
Ambiente	3	14.159.686,823**	168,218**
Saturação (S)	1	4.285.007,472**	118,680**
Geração (G)	1	34.848.652,140**	263,148**
S x G	1	3.345.124,440**	122,826**
População	20	437.254,237**	15,513**
CGC	6	992.378,117**	38,994**
CEC	14	199.344,003**	5,449**
População x A	60	196.753,942**	4,697**
POP x S	20	128.074,270*	3,399**
CGC x S	6	149.929,229	4,140**
CEC x S	14	118.707,859	3,082**
POP x G	20	296.415,179**	7,416**
CGC x G	6	618.484,599**	12,861**
CEC x G	14	158.385,427*	5,082**
POP x S x G	20	165.736,513**	3,277**
CGC x S x G	6	59.276,054	3,182*
CEC x S x G	14	211.362,424**	3,318**
Resíduo médio	196 (197)	80.325,076	1,187
Média		1.560,000	7,666
CV %		18,168	14,210

* e ** significativo a 5% e 1%, respectivamente, pelo teste F.

¹ multiplicado pelo n^o de repetições.

O valor entre parênteses corresponde a biomassa.

Nos experimentos envolvendo a geração F_2 , a diferença na produtividade de grãos entre os pais utilizados no dialelo foi ligeiramente maior no experimento com o solo corrigido. A menor produtividade de grãos per si foi obtida pela cultivar To, em ambos os casos. Já a maior produtividade foi obtida pelas cultivares Mulatinho 46 e IPA-1 nos níveis de 26 e 4% de saturação de alumínio respectivamente (Tabela 7).

Para biomassa, a diferença de produtividade entre os pais foi maior no experimento com maior nível de saturação de alumínio. A maior produtividade de biomassa per si foi obtida pela cultivar Mulatinho 46 e a menor pela 'To' em ambos os casos (Tabela 8).

Quando se considera o desempenho médio dos pais em combinações híbridas (X_i), verifica-se que a diferença entre os materiais não foi tão acentuada quanto ao comportamento per si. Observa-se que a produtividade média de grãos dos híbridos envolvendo a cultivar Ricopardo 896 (X_1) foi 83,2% da média obtida pelos híbridos de melhor desempenho médio advindos da cultivar Mulatinho 46 (X_3) na menor saturação de alumínio. Fato semelhante foi observado para o experimento conduzido sob maior saturação de alumínio (Tabela 7). Chama atenção nesta geração, o bom desempenho médio para produção de grãos dos híbridos envolvendo a cultivar To (X_2), a qual apresentou menor média per si. Porém, este bom desempenho não foi verificado, quando se considera a produção biomassa (Tabela 8).

TABELA 7 - Produção média de grãos, em kg/ha, das populações segregantes F_2 e F_3 do cruzamento dialélico, obtidas nos níveis de saturação de alumínio de 4% e 26%. ESAL, Lavras-MG, 1990.

País	Produção de grãos								
	F_2 "das secas"			F_3 "Outono/inverno"			Saturação		
	4%	26%	Média	4%	26%	Média	4%	26%	Média
1. Negroito 897	790	696	743	2144	1988	2066	1467	1342	1404
2. To	878	581	730	1241	1194	1217	1060	887	974
3. Mulatinho 46	1262	939	1101	2071	1684	1877	1666	1312	1489
4. Rio Tibagi	1401	742	1071	2195	1939	2067	1798	1340	1569
5. IPA-1	1514	740	1127	2334	1512	1923	1924	1126	1525
6. Carioca	1126	776	951	1609	2059	1833	1367	1417	1392
7. Ricopardo 896	1094	867	980	1492	2303	1898	1293	1585	1439
Média dos pais	1152	763	957	1869	1811	1840	1510	1286	1398
1,2	1345	829	1087	1645	1890	1768	1495	1360	1428
1,3	1227	1178	1203	2393	2059	2226	1810	1618	1714
1,4	1150	863	1006	1971	2303	2137	1560	1583	1572
1,5	1533	1068	1300	2442	2122	2282	1987	1565	1791
1,6	1713	716	1214	1853	2345	2099	1783	1530	1657
1,7	1522	970	1246	1919	1889	1904	1720	1430	1575
2,3	1347	1015	1181	2062	2393	2228	1705	1704	1704
2,4	1493	944	1218	1554	1587	1569	1522	1286	1394
2,5	1517	1287	1402	1895	1319	1607	1706	1303	1504
2,6	1331	936	1133	1556	1779	1668	1443	1357	1400
2,7	1681	937	1309	1234	1525	1379	1457	1231	1344
3,4	1580	718	1149	2281	1919	2100	1931	1318	1624
3,5	2205	1085	1645	2127	2266	2197	2166	1675	1921
3,6	1616	1112	1364	2513	1827	2169	2064	1469	1757
3,7	1580	1028	1304	1964	1455	1709	1772	1241	1507
4,5	1260	700	981	2321	1890	2106	1791	1295	1543
4,6	1404	892	1148	2252	2100	2176	1828	1496	1662
4,7	1073	933	1001	1980	2071	2025	1526	1502	1514
5,6	1436	995	1215	2101	2339	2220	1768	1667	1718
5,7	1194	944	1069	1627	1610	1618	1410	1277	1344
6,7	902	641	771	1196	1559	1377	1049	1100	1074
Média dos híbridos	1434	942	1188	1947	1916	1932	1690	1429	1560
X_1	1415	937	1176	2037	2101	2069	1726	1519	1623
X_2	1452	991	1221	1657	1749	1703	1555	1370	1462
X_3	1593	1023	1308	2224	1986	2105	1908	1504	1706
X_4	1327	842	1085	2059	1978	2019	1693	1410	1552
X_5	1527	1013	1270	2086	1924	2005	1805	1469	1637
X_6	1400	882	1141	1912	1992	1951	1656	1436	1546
X_7	1325	909	1117	1653	1685	1669	1489	1297	1393
Média geral	1363	898	1131	1928	1890	1909	1645	1394	1520

TABELA 8 - Produção média de biomassa, em g/planta, das populações segregantes F₂ e F₃ do cruzamento dialélico, obtidas nos níveis de saturação de alumínio de 4% e 26%. ESAL, Lavras-MG, 1990.

País	Produção de biomassa								
	F ₂ "das secas"		F ₃ "Outono/inverno"		Saturação				
	4%	26%	Média	4%	26%	Média			
1. Negroito 897	5,762	3,565	4,664	8,433	9,470	8,952	7,098	6,518	6,807
2. Io	4,118	2,894	3,806	4,087	3,943	4,015	4,402	3,418	3,910
3. Mulatinho 46	7,638	5,124	6,381	11,937	9,527	10,732	9,788	7,326	8,556
4. Rio Tibagi	6,376	4,254	5,315	9,010	11,837	10,424	7,893	8,046	7,869
5. IPA-1	6,197	4,711	5,454	9,460	7,957	8,708	7,828	6,334	7,081
6. Carlota	7,491	5,085	6,288	7,863	8,707	8,285	7,677	6,896	7,286
7. Ricopardo 896	7,128	4,853	5,991	9,119	8,023	8,571	8,124	6,438	7,281
Média dos país	6,473	4,355	5,414	8,558	8,495	8,526	7,516	6,425	6,970
1,2	5,843	4,721	5,282	6,780	6,500	6,640	6,312	5,610	5,961
1,3	10,074	7,005	8,540	9,260	10,147	9,704	9,667	8,576	9,122
1,4	6,568	5,274	5,921	9,773	9,870	9,822	8,170	7,572	7,871
1,5	10,391	5,807	8,099	10,550	9,027	9,778	10,470	7,417	8,944
1,6	8,602	5,486	7,044	6,894	9,729	8,362	7,798	7,608	7,703
1,7	9,343	5,525	7,434	8,557	7,677	8,117	8,950	6,601	7,776
2,3	6,416	4,442	5,429	6,793	9,800	8,297	6,604	7,121	6,863
2,4	6,228	4,324	5,276	7,510	6,363	6,947	6,869	5,354	6,111
2,5	7,481	5,703	6,592	6,300	5,413	5,857	6,891	5,558	6,224
2,6	5,731	3,853	4,792	6,953	5,883	6,418	6,342	4,658	5,605
2,7	6,094	4,294	5,194	7,670	9,933	8,802	6,882	7,114	6,998
3,4	10,451	4,545	7,498	10,997	11,930	11,464	10,724	8,238	9,481
3,5	10,979	5,886	8,418	9,110	8,718	8,914	10,044	7,287	8,666
3,6	8,759	6,031	7,395	9,934	8,600	9,267	9,346	7,316	8,331
3,7	7,975	6,019	6,997	8,510	9,580	9,045	8,242	7,800	8,021
4,5	8,398	3,825	6,112	7,770	7,073	7,422	8,084	5,449	6,766
4,6	6,749	4,618	5,684	10,403	9,533	9,968	8,576	7,076	7,826
4,7	6,587	5,361	5,974	8,212	9,548	8,880	7,400	7,455	7,427
5,6	9,176	5,684	7,430	8,603	10,370	9,486	8,890	8,027	8,458
5,7	11,385	7,962	9,674	9,857	8,258	9,058	10,621	8,110	9,366
6,7	5,376	4,126	4,751	11,667	8,730	10,198	8,522	6,428	7,475
Média dos híbridos	8,029	5,260	6,644	8,676	8,700	8,688	8,352	6,980	7,666
Negroito	8,470	5,636	7,053	8,652	8,825	8,737	8,561	7,231	7,896
Io	6,298	4,556	5,427	7,001	7,319	7,160	6,650	5,937	6,294
Mulatinho 46	9,109	5,650	7,379	9,101	9,796	9,449	9,104	7,723	8,414
Pio Tibagi	7,497	4,658	6,077	9,111	9,056	9,084	8,304	6,857	7,580
IPA-1	9,635	5,806	7,721	8,698	8,143	8,419	9,167	6,974	8,070
Carlota	7,399	4,966	6,183	9,092	8,807	8,950	8,246	6,887	7,566
Ricopardo 896	7,793	5,548	6,671	9,079	8,954	9,017	8,436	7,251	7,844
Média geral	7,640	5,034	6,337	8,647	8,649	8,648	8,143	6,841	7,492

A produtividade média de grãos dos híbridos em relação a média dos pais, na geração F_2 , foi 24,5 e 23,5% superior à dos pais no menor e maior nível de saturação de alumínio, respectivamente (Tabela 7). Fato semelhante ocorreu para produtividade de biomassa. Nesse caso a média dos híbridos foi 24,0% e 20,8% superior no menor e maior nível de saturação de alumínio, respectivamente (Tabela 8), e estas diferenças foram significativas pelo teste F ($P < 0,01$), Tabelas 1A e 2A.

Ainda na geração F_2 a combinação híbrida com maior produtividade média de grãos na menor saturação de alumínio foi a Mulatinho 46 x IPA-1. Para a produtividade de biomassa, esta população híbrida também se destacou (Tabelas 7 e 8). Já na maior saturação de alumínio a combinação que se destacou para a produtividade de grãos foi IPA-1 x To e para produção de biomassa foi Ricopardo 896 x IPA-1 (Tabelas 7 e 8). É interessante salientar que esta população híbrida também foi a de maior média na menor saturação de alumínio para essa última característica (Tabela 8).

Nos experimentos envolvendo a geração F_3 a diferença na produtividade de grãos e biomassa entre os pais na menor e maior saturação de alumínio foi praticamente a mesma. Entretanto, a diferença de produtividade de biomassa foi mais ampla do que para produção de grãos. A menor produtividade de grãos per si foi obtida pela cultivar To, em ambos os casos, e a maior produtividade foi obtida pelas cultivares IPA-1 e Ricopardo 896 no nível de 4 e 26% de saturação de alumínio, respectivamente (Tabela 7). Já para

biomassa a menor produtividade foi obtida também, pela cultivar To, em ambos os casos, e a maior pelas cultivares Mulatinho 46 e Rio Tibagi no menor e maior nível de saturação de alumínio, respectivamente (Tabela 8). A média dos híbridos foi semelhante a dos pais para produtividade de grãos e biomassa (Tabelas 7 e 8), concordando com o obtido pela análise de variância individual (Tabelas 1A e 2A).

Quando se considera o desempenho médio dos híbridos, verifica-se que a diferença entre os materiais é menos acentuada do que à apresentada pelo comportamento per si, concordando com o verificado na geração F_2 . Observa-se que a produtividade média de grãos dos híbridos envolvendo a cultivar Ricopardo 896 foi 74,3% da média obtida pelos híbridos advindos da cultivar Mulatinho 46 na menor saturação de alumínio. Fato semelhante foi observado para o experimento conduzido sob maior saturação de alumínio, Tabela 7. O comportamento per si da cultivar Ricopardo 896 para produção de grãos no maior nível de saturação de alumínio foi 54,3% superior a obtida no menor nível, o mesmo não acontecendo para a produtividade média de seus híbridos.

Nesta mesma geração a combinação híbrida com maior produtividade de grãos na menor saturação de alumínio foi a Mulatinho 46 x Carioca, destacando-se também para produção de biomassa (Tabelas 7 e 8). Já na maior saturação de alumínio a combinação que se destacou para produtividade média de grãos foi a Mulatinho 46 x To e para biomassa foi Mulatinho 46 x Rio Tibagi (Tabelas 7 e 8). Esta última também se destacou no menor nível de

saturação de alumínio para produção de biomassa (Tabela 8).

Pelo resultado da análise conjunta, observa-se que o efeito de saturação de alumínio foi significativo ($P < 0,01$) para as características analisadas (Tabela 6). Observa-se que a produtividade de grãos no menor nível de saturação de alumínio foi 18,0% superior a obtida no maior nível e para produção de biomassa essa superioridade foi semelhante (19%), Tabelas 7 e 8.

A diferença de produtividade de grãos e biomassa entre os pais foram semelhantes nos experimentos com maior e menor nível de saturação de alumínio. Porém, a diferença foi mais ampla para produção de biomassa (Tabelas 7 e 8). A menor produtividade de grãos per si foi obtida pela cultivar To em ambos os casos, e a maior foi obtida pelas cultivares IPA-1 e Ricopardo 896 no menor e maior nível de saturação de alumínio, respectivamente (Tabela 7). Já para biomassa a menor produtividade per si foi obtida também pela cultivar To em ambos os casos, e a maior foi obtida pelas cultivares Mulatinho 46 e Rio Tibagi no menor e maior nível de saturação de alumínio, respectivamente (Tabela 8). Independente de geração confirma-se a menor diferença entre os pais quando se considera o desempenho médio dos híbridos de cada pai em relação ao comportamento per si (Tabelas 7 e 8).

A produtividade média de grãos dos híbridos envolvendo as cultivares Mulatinho 46 e Negrito 897 foi maior nos níveis de 4 e 26% de saturação de alumínio respectivamente, e a menor foi obtida pelos híbridos envolvendo a cultivar Ricopardo 896 nos dois níveis de saturação de alumínio (Tabela 7). No caso da produtividade de

biomassa a maior média foi dos híbridos que envolvem a cultivar Mulatinho 46 e a menor foi dos híbridos advindos da cultivar To (Tabela 8). É clara a diferença de comportamento da cultivar Mulatinho 46 per si, em ambos níveis de saturação de alumínio, em relação a média de seus híbridos para produção de grãos (Tabela 7).

A combinação híbrida de maior produtividade de grãos na menor saturação de alumínio foi a Mulatinho 46 x IPA-1, destacando-se também para produção de biomassa (Tabelas 7 e 8). Já na maior saturação de alumínio o destaque na produção de grãos foi para a população segregante Mulatinho 46 x To, seguida da Mulatinho 46 x IPA-1 (Tabela 7), e na produtividade de biomassa foi para a Mulatinho 46 x Negrito (Tabela 8).

O efeito de geração, o qual inclui também o efeito de época foi significativo ($P < 0,01$) para ambas características (Tabela 6). Observa-se que a produtividade média de grãos na geração F_2 (1131 kg/ha), período "das secas", foi 59,2% da obtida na geração F_3 , período "outono/inverno" e para a produção de biomassa essa porcentagem foi maior, 73,3% (Tabelas 7 e 8).

A diferença de produtividade de grãos e biomassa entre os pais foi maior nas gerações F_3 e F_2 , respectivamente, sendo que essa diferença foi mais pronunciada para produção de biomassa. A menor produtividade média de grãos per si foi obtida pela cultivar To, em ambas gerações e a maior foi obtida pelas cultivares IPA-1 e Rio Tibagi, nas gerações F_2 e F_3 , respectivamente (Tabela 7). Já para a biomassa a menor produtividade per si foi obtida também pela cultivar To e a maior pela 'Mulatinho 46', em ambas gerações

(Tabela 8). No entanto, esta diferença de produtividade entre os pais diminui quando se considera o desempenho médio de seus híbridos (Tabelas 7 e 8).

A produtividade média de grãos dos híbridos envolvidos com a cultivar Mulatinho 46 foi a maior e a menor foi obtida pelos híbridos das cultivares Rio Tibagi e Ricopardo 896 nas gerações F_2 e F_3 , respectivamente (Tabela 7). Para biomassa a maior produtividade média foi dos híbridos envolvidos com as cultivares IPA-1 e Mulatinho 46 nas gerações F_2 e F_3 , respectivamente, e a menor foi dos híbridos da cultivar To em ambas gerações (Tabelas 7 e 8).

A combinação híbrida de maior produtividade de grãos na geração F_3 foi a população Negrito 897 x IPA-1, destacando-se também para produtividade de biomassa. Já na geração F_2 a combinação que se destacou para produtividade de grãos foi Mulatinho 46 x IPA-1 e para produção de biomassa foi a IPA-1 x Carioca (Tabelas 7 e 8).

Os valores das estimativas da capacidade geral de combinação ($\hat{\theta}_i$) para produção de grãos e biomassa, nos dois níveis de saturação de alumínio, nas duas gerações e baseado na média dos quatro experimentos, são apresentados nas Tabelas 9 e 10.

Observa-se pela média geral que a cultivar que apresentou maior valor de $\hat{\theta}_i$ e significativo ($P < 0,01$) foi a Mulatinho 46 para ambas características, e as cultivares que apresentaram menores valores de $\hat{\theta}_i$ e significativos ($P < 0,01$) foram Ricopardo 896 e To para produção de grãos e biomassa, respectivamente (Tabelas 9 e 10).

De um modo geral, para produção de grãos o maior discernimento entre as estimativas dos \hat{g} 's ocorreu nos experimentos conduzidos no menor nível de saturação de alumínio em ambas gerações (Tabela 9). A interação CGC x geração significativa ($P < 0,01$) detectada na análise de variância conjunta (Tabela 6) pode ser vista pelos valores de \hat{g} 's obtido nas duas gerações pelas cultivares Negrito 897, To e Ricopardo 896 que na geração F_2 apresentaram estimativas de \hat{g} não significativas e na F_3 significativas. No caso da Rio Tibagi ocorreu o inverso e a cultivar Carioca apresentou comportamento uniforme, ou seja, \hat{g}_1 estatisticamente igual a zero pelo teste t nos quatro experimentos (Tabela 9).

Apesar da interação CGC x saturação não ter sido significativa (Tabela 6), nota-se o comportamento diferenciado das cultivares To, Mulatinho e IPA-1 que apresentaram \hat{g} 's significativos no menor nível de saturação de alumínio e não significativo no maior nível (Tabela 9).

TABELA 9 - Estimativa da capacidade geral ($\hat{\beta}_j$) e específica ($\hat{\beta}_{ij}$) de combinação para produção de grãos das populações segregantes F_2 e F_3 do cruzamento dialélico, obtidas nos níveis de saturação de alumínio de 4% e 26%. ESAL, Lavras-MG, 1990.

$\hat{\beta}_j$	Produção de grãos								
	F_2 "das secas"			F_3 "Outono/inverno"			Saturação		
	4%	26%	Média	4%	26%	Média	4%	26%	Média
1. Negroito 897	-22,4	-6,1	-14,3	108,5	221,7*	165,1*	43,1	107,8	75,4
2. To	22,2	58,6	40,4	-347,4**	-201,2*	-274,3**	-162,6**	-71,3	-116,9
3. Mulatinho 46	190,8**	96,3	143,5*	331,9**	83,8	207,8**	216,3**	90,1	175,7**
4. Rio Tibagi	-128,6*	-120,8*	-124,7*	134,9*	74,2	104,5	3,1	-23,3	-10,0
5. IPA-1	108,4*	84,7	96,6	166,7*	9,6	88,1	137,5*	47,2	92,4
6. Carioca	-40,2	-72,6	-56,4	-42,1	89,9	23,9	-41,1	8,7	16,2
7. Ricopardo 896	-130,2*	-40,2	-85,2	-352,5**	-278,1**	-315,3**	-241,3**	-159,1*	-200,3**
DP (g_j)	53,3	55,8	54,6	65,9	89,0	79,0	60,6	74,3	67,7
DP ($g_j - g_j'$)	81,4	85,2	83,4	102,2	135,9	120,8	92,6	113,5	103,5
$\hat{\beta}_{ij}$									
1.2	-88,7	-165,7	-127,2	-62,6	-47,0	-54,8	-75,7	-106,4	-91,0
1.3	-374,7**	145,5	-114,6	6,1	-163,4	-78,7	-184,3	-8,9	-96,6
1.4	-133,0	47,2	-42,9	-219,3	90,2	-64,6	-176,2	68,7	-53,7
1.5	13,4	46,7	30,1	220,0	-25,3	97,4	116,7	10,7	63,7
1.6	341,7**	-147,9	96,9	-160,1	116,5	-21,8	90,8	-15,7	37,5
1.7	241,3	74,3	157,8	216,0	29,1	122,5	228,7	51,7	140,1
2.3	-299,3**	-82,6	-191,0	131,1	593,8**	362,4*	-84,1	255,6	85,7
2.4	165,4	63,7	114,6	-183,3	-202,1	-192,7	-8,9	-69,1	-39,0
2.5	-47,5	200,9	76,7	129,2	-406,0*	-138,4	40,8	-102,5	-30,8
2.6	-84,9	7,2	-38,9	-1,2	-26,1	13,7	-43,1	-9,2	-26,3
2.7	355,1**	-23,5	165,8	-13,1	87,4	37,1	171,0	32,0	101,5
3.4	84,5	-199,9	-57,7	-132,6	-155,8	-144,2	-24,1	-177,8	-100,9
3.5	472,2**	-38,7	216,7*	-318,0*	256,3	-30,8	77,1	108,8	93,0
3.6	31,8	146,2	89,0	275,9*	-263,7	6,1	153,9	-58,7	47,6
3.7	85,5	29,5	57,5	37,5	-267,3	-114,9	61,5	-118,9	-28,7
4.5	-153,6	-206,0	-179,8	72,9	-110,1	-18,6	-40,3	-158,0	-99,2
4.6	138,9	143,3	141,1	212,0	19,6	115,8	175,5	81,4	128,4
4.7	-102,2	151,6	24,7	250,3	358,2*	304,2	74,1	254,9	164,5
5.6	-66,1	40,1	-13,0	29,9	323,1	176,5	-18,1	181,6	81,8
5.7	-218,4*	-42,9	-130,7	-154,1	-38,0	-86,1	-176,3	-40,5	-108,4
6.7	-361,3**	-188,9	-275,1*	-356,6**	-169,4	-262,9	-358,9**	-179,1	-269,1*
DP (s_{ij})	105,1	110,1	107,6	132,0	175,5	155,3	119,3	146,5	133,6
DP ($s_{ij} - s_{ik}$)	162,8	170,5	166,7	204,5	271,9	240,6	184,8	226,9	206,9
DP ($s_{ij} - s_{kl}$)	141,0	147,7	144,4	177,1	235,5	208,3	160,1	196,6	179,2

** : significativos a 1% e 5% pelo teste t, respectivamente.

TABELA 10 - Estimativa da capacidade geral (\hat{g}_i) e específica (\hat{s}_{ij}) de combinação para produção de biomassa das populações segregantes F_2 e F_3 do cruzamento dialélico, obtidas nos níveis de saturação de alumínio de 4% e 26%. ESAL, Lavras-MG, 1990.

\hat{g}_i	Produção de biomassa								
	F_2 "das secas"			F_3 "Outono/inverno"			Saturação		
	4%	26%	Média	4%	26%	Média	4%	26%	Média
1. Negroito 897	0,529*	0,451*	0,490*	-0,028	0,150	0,061	0,251	0,301	0,176
2. To	-2,076**	-0,845**	-1,451**	-2,010**	-1,658**	-1,834**	-2,043**	-1,251**	-1,647**
3. Mulatinho 46	1,296**	0,467*	0,881**	0,509	1,315**	0,912**	0,903**	0,891**	0,897**
4. Rio Tibagi	-0,638*	-0,723**	-0,681**	0,521	0,427	0,474	-0,059	-0,148	-0,103
5. IPA-1	1,927**	0,655**	1,291**	0,026	-0,668*	-0,321	0,977**	0,007	0,485
6. Carioca	-0,756**	-0,352	-0,554*	0,499	0,129	0,314	-0,129	-0,112	-0,120
7. Ricodardo 896	-0,283	0,345	0,031	0,483	0,305	0,394	0,100	0,325	0,213
DP (g_i)	0,249	0,209	0,229	0,313	0,257	0,287	0,284	0,234	0,260
DP ($g_i - g_j$)	0,380	0,319	0,350	0,478	0,393	0,438	0,398	0,358	0,398
\hat{s}_{ij}									
1.2	-0,639	-0,146	-0,393	0,143	-0,692	-0,275	-0,248	-0,419	-0,334
1.3	0,219	0,826	0,523	0,103	-0,078	0,043	0,161	0,404	0,283
1.4	-1,352**	0,285	-0,533	0,604	0,593	0,598	-0,374	0,439	0,032
1.5	-0,095	-0,560	-0,327	1,876**	0,845	1,361*	0,891	0,143	0,517
1.6	0,799	0,127	0,463	-2,153**	0,750	-0,701	-0,676	0,439	-0,119
1.7	1,067*	-0,532	0,268	-0,573	-1,478**	-1,026*	0,247	-1,005*	-0,379
2.3	-0,833	-0,441	-0,637	-0,382	1,443**	0,530	-0,607	0,501	-0,053
2.4	0,914	0,631	0,772	0,323	-1,087*	-0,382	0,618	-0,228	-0,195
2.5	-0,399	0,632	0,116	-0,392	-0,961	-0,677	-0,396	-0,164	-0,280
2.6	0,534	-0,210	0,162	-0,212	-1,288*	-0,750	0,161	-0,749	-0,294
2.7	0,424	-0,467	-0,021	0,521	2,585**	1,553**	0,472	1,059*	0,766
3.4	1,764**	-0,460	0,652	1,290*	1,488**	1,389*	1,527**	0,514	1,021*
3.5	-0,273	-0,527	-0,400	-0,102	-0,628	-0,365	-0,188	-0,578	-0,383
3.6	0,190	0,656	0,423	0,249	-1,544**	-0,647	0,220	-0,444	-0,112
3.7	-1,067*	-0,054	-0,561	-1,158	-0,740	-0,949	-1,113	-0,397	-0,755
4.5	-0,920	-1,368**	-1,144*	-1,454*	-1,386**	-1,420*	-1,187*	-1,377**	-1,282*
4.6	0,115	0,433	0,274	0,706	0,277	0,491	0,410	0,355	0,383
4.7	-0,521	0,478	-0,021	-1,469*	0,115	-0,677	-0,995	0,297	-0,349
5.6	-0,024	0,121	0,048	-0,599	2,209**	0,805	-0,312	1,165*	0,427
5.7	1,711**	1,701**	1,706**	0,671	-0,079	0,296	1,191*	0,811	1,001
6.7	-1,614**	-1,127**	-1,370**	2,008**	-0,404	0,802	0,197	-0,765	-0,284
DP (s_{ij})	0,491	0,412	0,453	0,617	0,507	0,565	0,560	0,462	0,513
DP ($s_{ij} - s_{ik}$)	0,761	0,638	0,701	0,956	0,786	0,876	0,868	0,716	0,796
DP ($s_{ij} - s_{kl}$)	0,659	0,552	0,607	0,828	0,680	0,759	0,752	0,620	0,689

** : significativos a 1% e 5% pelo teste t, respectivamente.

Para a produção de biomassa a maior distinção entre as estimativas de \hat{g} 's ocorreu também nos experimentos conduzidos no menor nível de saturação de alumínio em ambas gerações. As interações CGC x saturação, CGC x geração e CGC x saturação x geração foram significativas ($P < 0,01$) (Tabela 6). Estas interações foram devidas ao comportamento diferenciado das cultivares: 'IPA-1' na menor saturação foi significativa e na maior não; as cultivares Negrito, Rio Tibagi e IPA-1 que tiveram CGC significativas na F_2 e não significativas na F_3 ; as cultivares Negrito 897, Rio Tibagi, IPA-1 e Carioca tiveram comportamento variado nos quatro experimentos (Tabela 10). As cultivares To, Mulatinho 46 e Ricopardo 896 apresentaram comportamento uniforme, sendo que somente as duas primeiras tiveram CGC significativas.

As estimativas da capacidade específica de combinação (\hat{s}_{ij}) para produção de grãos e biomassa são apresentadas nas Tabelas 9 e 10. Observa-se que poucas populações apresentaram \hat{s}_{ij} significativa. Para produção de grãos 47,6% das populações apresentaram \hat{s}_{ij} não significativa pelo teste t ($P < 0,05$) nos quatro experimentos. Na geração F_2 somente no menor nível de saturação de alumínio houve estimativa de \hat{s}_{ij} significativa, ou seja, diferente de zero, concordando com o resultado da análise de variância individual (Tabela 1A). As populações que apresentaram estimativa de \hat{s}_{ij} significativa no menor nível de saturação de alumínio nas duas gerações foram Mulatinho 46 x IPA-1, e Carioca x Ricopardo 896 que apresentou \hat{s}_{ij} negativa em ambas gerações. Na geração F_3 a população To x Mulatinho 46 apresentou \hat{s}_{ij} significativa

e positiva em ambos níveis de saturação de alumínio (Tabela 10).

Para produção de biomassa as populações Negrito 897 x To, Negrito 897 x Mulatinho 46, To x IPA-1, Mulatinho 46 x IPA-1 e Rio Tibagi x Carioca apresentaram \hat{s}_{ij} não significativa nos quatro experimentos. Na menor saturação de alumínio as populações Mulatinho 46 x Rio Tibagi e Carioca x Ricopardo 896 apresentaram \hat{s}_{ij} significativa em ambas gerações, porém na geração F_2 a população Carioca x Ricopardo 896 apresentou valor negativo. Já na maior saturação somente a população Rio Tibagi x IPA-1 apresentou \hat{s}_{ij} significativa em ambas gerações. Na geração F_2 somente as populações IPA-1 x Ricopardo 896 e Carioca x Ricopardo 896 apresentaram \hat{s}_{ij} significativa em ambos níveis de saturação de Alumínio. Já na geração F_3 as populações que apresentaram \hat{s}_{ij} significativa em ambos níveis de saturação foram Mulatinho 46 x Rio Tibagi e Rio Tibagi x IPA-1 (Tabela 10).

As estimativas da correlação fenotípica entre produção de grãos e biomassa com base na produtividade média das populações híbridas em cada experimento e na média dos quatro experimentos são apresentadas na Tabela 11. Constata-se que os valores foram variados e que só houve significância pelo teste t para as correlações obtidas na maior saturação de alumínio e na média geral.

TABELA 11 - Estimativas da correlação fenotípica (r_f) entre a produção de grãos (kg/ha) e a produção de Biomassa (g/planta) das populações híbridas nas gerações F_2 e F_3 e nos níveis de 4 e 26% de saturação de alumínio. ESAL, Lavras-MG, 1990.

F_2 (das secas)		F_3 (outono/inverno)		Média Geral
4%	26%	4%	26%	
0,414	0,513*	0,244	0,484*	0,964**

* e ** Significativo nos níveis de 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

5. DISCUSSÃO

Na identificação de plantas tolerantes às condições químicas dos solos ácidos de baixa fertilidade o primeiro problema é identificar um nível de saturação de alumínio suficientemente alto para produzir redução marcante no desenvolvimento das cultivares mais sensíveis, porém não tão alto para inibir completamente o desenvolvimento, mesmo dos materiais mais tolerantes (FOY, 1976). Os níveis de saturação de alumínio utilizados neste trabalho foram de 4 e 26%, portanto, dentro das condições que podem ser consideradas ideais para se proceder a identificação de plantas tolerantes, haja visto que níveis de saturação de alumínio até 10% são considerados pouco prejudiciais às plantas e acima de 20% são prejudiciais (MUZILLI & KALCKMANN, 1971).

Em trabalhos utilizando a cultura do feijoeiro, no Estado de Minas Gerais, foram empregados em alguns casos solos cuja saturação de alumínio era semelhante ao deste trabalho (RAMALHO et alii, 1986; RAMALHO et alii, 1983 e RAMALHO et alii, 1982), e em outras situações bem superior, como o realizado por ARAÚJO (1989), em vasos, que foi de 51,1%. Contudo, é necessário salientar que em

todos os casos foi possível detectar diferenças de tolerância entre os materiais.

Nos trabalhos desta natureza, além do índice de saturação de alumínio presente no solo há necessidade de se considerar outros fatores. Um deles é o teor de fósforo presente no solo e também a quantidade de P_2O_5 utilizada na fertilização. Isto porque o alumínio combina com o fósforo da solução do solo formando complexos de baixa solubilidade (DELAZARI et alii, 1980 e FOY & BROWN, 1963). Desse modo se o solo possuir alto teor de P ou se for utilizada uma adubação "pesada" com esse nutriente, os efeitos adversos da alta saturação de alumínio podem ser atenuados. Observa-se na Tabela 3 que o teor de P na área com maior saturação de alumínio é baixo e na área com menor saturação de alumínio é alto.

Deve ser mencionado também que dependendo da fonte de P_2O_5 utilizada, essa pode possuir uma alta concentração de cálcio o que iria reduzir o índice de saturação de alumínio, mascarando o resultado esperado. Diante deste fato foi utilizado o superfosfato triplo como fonte de P por possuir menor teor de óxido de cálcio (CaO) em sua composição. A dose de P_2O_5 utilizada foi de 80 kg/ha por ocasião da semeadura, quantidade essa semelhante a recomendada para solos com textura argilosa e teor de P entre 0-5 ppm (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS, 1989).

Como o feijoeiro é muito responsivo ao fósforo OLIVEIRA et alii, 1985; RAIJ et alii, 1982; MUZILLI, 1982; SALINAS & SANCHES, 1976b; EIRA, 1973; MALAVOLTA, 1972 e RAPOSO, 1958), a

lização de uma menor quantidade de P_2O_5 poderia mascarar os resultados obtidos, isto devido ao fato de que as duas áreas apresentaram diferenças marcantes no teor de P no solo (Tabela 3). Entretanto, é provável que parte do efeito da maior saturação de alumínio tenha sido abrandada pela alta dose de P_2O_5 aplicada reduzindo assim a diferença esperada do efeito da calagem, porém mesmo ocorrendo a dita complexação, houve disponibilidade desse elemento para as plantas, uma vez que estas não apresentaram deficiência.

Um outro fator que pode dissimular o efeito maléfico da alta saturação de alumínio é a quantidade de água disponível para a planta (FREIRE, 1985 e FREIRE, 1984). Plantas que se desenvolvem em solos com alto teor de alumínio, tem seu sistema radicular pouco desenvolvido (LAFEVER & CAMPBELL, 1977; REID, 1976a; FOY, 1974; REID et alii, 1971 e FLEMING & FOY, 1968). Isto provavelmente ocorre porque um dos efeitos do alumínio é de afetar as regiões meristemáticas da raiz inibindo as divisões celulares (NAIDOO et alii, 1978; MATSUMOTO et alii, 1976; CLARKSON, 1969 e 1965 e SAMPSON et alii, 1965). Ocorrendo déficit hídrico o seu efeito será tanto mais pronunciado quanto menos desenvolvido for o sistema radicular (MORAES, 1988 e GUIMARÃES & ZIMMERMANN, 1985). Assim, se a planta cresce no solo com alta saturação de alumínio e não há déficit hídrico, ela conseguirá produzir e evidentemente os efeitos causados pelo alumínio serão menos perceptíveis. Por este motivo planejou-se a condução do experimento visando manter uma umidade entre 28,2 e 30,8% com base em volume. Este procedimento tem sido adotado em outros experimentos (ARAÚJO, 1989 e FREIRE,

1985), sendo esta umidade semelhante a utilizada por FREIRE (1985), na qual foi possível detectar o efeito da alta saturação de alumínio através da produção de massa seca da parte aérea e do sistema radicular. Como este experimento foi conduzido a nível de campo o controle na quantidade de água nem sempre foi possível, especialmente na avaliação da geração F_3 . Esta foi conduzida no período de outono/inverno, no qual ocorreram algumas precipitações principalmente logo após o período de florescimento, 44-57 dias após semeadura (Figura 1), quando o feijoeiro necessita de uma quantidade maior de água (OLIVEIRA et alii, 1988; GARRIDO et alii, 1979; MAGALHÃES & MILLAR, 1978 e DOOREMBOS & PRUITT, 1976). Possivelmente estas foram as responsáveis pela redução das diferenças que poderiam ter ocorrido entre os experimentos com menor e maior saturação de alumínio nessa geração em função do desenvolvimento do sistema radicular.

Um outro entrave na avaliação da tolerância de uma planta ao alumínio tóxico é identificar o caráter que melhor a expresse. Na literatura há inúmeros exemplos envolvendo algumas espécies em que foram usados os mais diversos caracteres. Nos experimentos conduzidos em solução nutritiva onde normalmente a avaliação é precoce, têm sido utilizado o peso seco da parte aérea e da raiz, comprimento e volume do sistema radicular e comprimento da parte aérea (GOURLEY et alii, 1990; CAMPBELL & CARTER, 1990; MAGNAVACA et alii, 1987; CAMARGO, 1983; MAGNAVACA, 1982; OLIVEIRA & MALAVOLTA, 1982; FURLANI & CLARK, 1981; CAMPBELL & LAFEVER, 1981; HERNANI, 1980; CUTRIM, 1979; GARCIA JÚNIOR & SILVA, 1979; HOWELLER &

CADAVID, 1976; KERRIDGE & KRONSTAD, 1968 e FOY & BROWN, 1963). Procedimento semelhante tem ocorrido nos experimentos que utilizam amostra de solo e são conduzidos em casa-de-vegetação (GOURLEY, 1990; CAMPBELL & CARTER, 1990; ARAÚJO, 1989; SOUSA, 1986; RAMALHO et alii, 1983; RAMALHO et alii, 1982; MELO, 1980; FOY et alii, 1967b e FOY & BROWN, 1963). Já nos experimentos de campo onde normalmente a cultura é conduzida durante todo o ciclo, a produção de grãos é o caráter que tem merecido maior atenção (RAMALHO et alii, 1986; MUZILLI, 1983; RAMALHO et alii, 1983; MESQUITA FILHO et alii, 1982 e MIRANDA & LOBATO, 1978).

Como se observa há uma diversidade muito grande nos caracteres que têm sido utilizados. Contudo neste experimento, que foi conduzido sob condição de campo, deu-se ênfase além da produção de grãos (kg/ha), à produção de biomassa total (raiz + parte aérea). Constatou-se que a correlação entre estas duas características, considerando a média geral dos híbridos, foi de $r_f = 0,96^{**}$. É oportuno enfatizar que as estimativas desta correlação fenotípica, quando se considerou cada experimento isoladamente foi muito variável. Entretanto, foi expressivo o fato de que a correlação entre estas duas características só foi significativa no ambiente com maior saturação de alumínio (Tabela 11). Resultado semelhante a este foi relatado por RAMALHO et alii (1983) em trabalho onde a produção de grãos foi obtida no campo e a produção de matéria seca total (biomassa) em casa-de-vegetação, ambas em alta saturação de alumínio. A correlação genética estimada, nesse caso, foi de $0,57^*$. REID (1976b), com cevada, em condições

semelhantes, estimou uma correlação genética de 0,66** entre essas características. Como no feijoeiro essas duas características apresentam correlações relativamente altas (WHITE & IZQUIERDO, 1991), a ênfase na discussão será direcionada principalmente para a produtividade de grãos, isto principalmente porque a coleta de dados para estimar a produção de biomassa é mais sujeita a erros uma vez que a retirada de todo o sistema radicular é praticamente impossível. Além do mais na coleta de folhas também podem ocorrer erros, porque durante o ciclo as que caem dificilmente podem ser coletadas.

Na maioria dos estudos do controle genético até então realizados a condução das populações tem sido efetuada apenas em ambiente com alta saturação de alumínio ou com nível elevado deste elemento (GOURLEY et alii, 1990; MAGNAVACA, 1982; CAMARGO, 1983; GALVÃO & SILVA, 1978; SAWAZAKI & FURLANI, 1987; RHUE et alii, 1978 e GARCIA JÚNIOR & SILVA, 1979). Esse procedimento pode não ser o mais correto, pois pode induzir a interpretações inadequadas, especialmente quando os materiais avaliados possuem diferentes potenciais de produção principalmente devido à diferenças na concentração de alelos favoráveis para o caráter em apreço, podendo então por este motivo um dado material apresentar desempenho superior na alta saturação de alumínio. No entanto, isso pode ocorrer não porque ele seja o mais tolerante ao estresse, mas sim devido ao seu potencial produtivo superior, isto é, se for obtido o desempenho relativo desse material na condição com e sem estresse ele pode ter uma performance inferior a um outro material

que foi menos produtivo em presença do estresse ambiental.

Visando então contornar este último fato em alguns casos têm-se avaliado a tolerância à partir de certos índices. Alguns desses índices foram comparados por LIMA et alii (1981), utilizando as culturas da soja e do feijoeiro. Segundo esses autores o índice mais apropriado para avaliar a tolerância foi o que promove a correção da produtividade relativa em função da média geral de todos genótipos no ambiente, com estresse. Esse índice é fornecido pela expressão

$$\frac{R_{i,0}}{R_{i,1}} \times \frac{R_{i,0}}{\bar{R}_0}, \text{ onde:}$$

$R_{i,0}$: Rendimento do genótipo i na maior saturação de alumínio;

$R_{i,1}$: Rendimento do genótipo i na menor saturação de alumínio;

\bar{R}_0 : Rendimento médio de todos os genótipos na maior saturação de alumínio

Neste trabalho as populações foram avaliadas em dois níveis de saturação de alumínio visando estimar este índice. Esperava-se assim estudar o controle genético e fazer inferência a respeito dos cruzamentos mais promissores a partir deste. Entretanto, constatou-se que o índice estimado apresentou falta de normalidade e de aditividade, os quais não foram solucionados com transformações, impossibilitando a realização das análises de variância. Contudo, mesmo não tendo sido realizadas as análises de variância, esses índices foram estimados utilizando os dados médios (Tabela 12), para possibilitar uma melhor comparação do desempenho dos materiais nos dois índices de saturação de alumínio.

A precisão experimental avaliada pelo coeficiente de variação (C.V.) esteve dentro do que é normalmente relatado em experimentos com a cultura do feijoeiro (ABREU et alii, 1990; RAMALHO et alii, 1986; RAMALHO et alii, 1983; JUNQUEIRA NETTO, 1983 e SANTA CECÍLIA & RAMALHO, 1982). Chamou atenção o fato de que os CV's na geração F_2 , para produção de grãos, foram superiores aos da geração F_3 . Isto ocorreu principalmente porque na geração F_2 a parcela experimental era de apenas 1 m^2 (2 linhas de 1 m) ao passo que na F_3 foi de 2 m^2 (2 linhas de 2 m). É preciso enfatizar contudo que BERTOLLUCI (1990) comparou diferentes tamanhos de parcela na avaliação de cultivares de feijoeiro e constatou que em termos de precisão, parcelas com 2 linhas de 1,2 m, próximas do tamanho das usadas na F_2 , apresentaram desempenho semelhante ao das parcelas maiores com até 2 linhas de 4,8 m. Porém neste trabalho como trata-se de populações F_2 , pode ter ocorrido que devido a amostragem as parcelas não tenham representado bem o material genético. Assim, as parcelas contendo a mesma população F_2 em diferentes repetições podem ser geneticamente diferentes, isto é, não apresentaram a mesma segregação, o que evidentemente pode ter contribuído para aumento do erro experimental. A precisão no experimento conduzido na maior saturação de alumínio foi menor do que a obtida no experimento conduzido na menor saturação, especialmente na geração F_2 . Como nessa geração o QM do resíduo foi semelhante nas duas condições (Tabela 1A), a diferença entre as estimativas dos CV's devem ser atribuídas a diferença na produtividade média obtida nos dois níveis.

A diferença de produtividade média entre os experimentos é marcante na geração F_2 onde a condição de estresse foi mais acentuada. Já na geração F_3 , como comentado anteriormente, as condições ambientais não permitiram que o efeito da maior saturação se manifestasse em plenitude. Como a área experimental utilizada foi a mesma nas duas gerações esta diferença pode ser atribuída a diluição do alumínio tóxico do solo, devido a maior quantidade de água, ficando este numa concentração menos prejudicial as plantas (RICHBURG & ADAMS, 1970; ADAMS et alii, 1967 e ADAMS & LUND, 1966). Também devido haver água em abundância os efeitos causados pelo alumínio foram amenizados por a planta não necessitar de um sistema radicular bem desenvolvido para suprir suas necessidades em água e nutrientes (FREIRE, 1985 e 1984). Pelas razões acima apresentadas, ênfase será dada aos dados obtidos na geração F_2 .

Na geração F_2 verifica-se que a produtividade média de grãos no nível de 4% de saturação de alumínio foi 51,8% superior a obtida no nível de 26%. Em outros trabalhos conduzidos em condições similares a resposta do feijoeiro à menor saturação de alumínio foi semelhante a deste (RAMALHO et alii, 1986; RAMALHO et alii, 1983 e MUZILLI, 1983).

A maior produtividade média de grãos na geração F_2 com base no comportamento das cultivares per si foi obtida pela 'IPA-1' e a menor pela 'To'. Essa última foi introduzida recentemente e tem menor adaptação à região (RESENDE, 1989). Entretanto, a sua produtividade média foi praticamente a mesma da cultivar Negrito 897 que inclusive já foi recomendada para o Estado de Minas Gerais

(VIEIRA et alii, 1982 e VIEIRA et alii, 1981). A produtividade média de grãos da 'Carioca', cultivar mais plantada no Brasil e no Estado de Minas Gerais, foi 84% da IPA-1.

Para comparar a resposta dessas cultivares à calagem foi estimado o índice de tolerância proposto por LIMA et alii (1981) comentado anteriormente (Tabela 12). As cultivares Mulatinho 46, Ricopardo 896, Negrito 897 e Carioca estiveram entre as mais tolerantes. A boa tolerância da cultivar Mulatinho 46 foi comprovada em outras oportunidades (Tabela 13). Segundo AMARAL et alii (1980), esta cultivar é um material de baixo potencial produtivo sobretudo por apresentar uma faixa de extração de fósforo muito estreita 10 a 19 kg/ha. De acordo com os mesmos autores ela não aproveita bem os nutrientes colocados a disposição, porém trata-se de um material com bom desempenho em solos com alta saturação de alumínio. Como a faixa de extração de fósforo desta cultivar é considerada pequena, isto sugere que este seja o mecanismo de tolerância ao alumínio tóxico desta cultivar.

TABELA 12 - Índice de tolerância para produção de grãos com base na produtividade média obtida na geração F₂. ESAL, Lavras-MG, 1990.

	Negrito	To	Mulatinho 46	Rio Tibagi	Ipa-1	Carioca	Ricopardo 896
Negrito 897	0,80	0,54	1,20	0,69	0,79	0,32	0,66
To		0,50	0,81	0,63	1,16	0,70	0,55
Mulatinho 46			0,92	0,35	0,57	0,81	0,71
Rio Tibagi				0,52	0,41	0,60	0,86
IPA-1					0,47	0,73	0,79
Carioca						0,70	0,48
Ricopardo 896							0,90
Desempenho médio dos pais em combinações	0,66	0,72	0,70	0,57	0,71	0,59	0,66

Média: 0,68 ± 0,21

A cultivar Carioca é a mais plantada no território brasileiro, devido associar qualidades agronômicas com culinárias e em algumas oportunidades tem sido mostrado que ela é também tolerante às condições dos solos ácidos de baixa fertilidade (SALINAS & SANCHES, 1976b; RAMALHO et alii, 1986; COSTA, 1985 e RAMALHO et alii, 1982). Há entretanto relatos de trabalhos conduzidos em solução nutritiva com nível elevado de alumínio, nos quais ela esteve entre os materiais mais sensíveis (OLIVEIRA & MALAVOLTA, 1982; MALAVOLTA et alii, 1981 e OLIVEIRA, 1980). No que se refere a 'Ricopardo 896' os relatos da literatura são semelhantes ao da 'Carioca' (Tabela 13).

TABELA 13 - Comportamento das cultivares a tolerância ao alumínio segundo vários autores.

Cultivares	Reação ao alumínio	
	Tolerante	Sensível
Negrinho 897 To	COSTA, 1985	ARAÚJO, 1989; SOUSA, 1986 ARAÚJO, 1989
Mulatinho 46	RAMALHO et alii, 1982, 1983, 1986 ARAÚJO, 1989 MALAVOLTA et alii, 1981	
Rio Tibagi	ARAÚJO, 1989 COSTA, 1985	RAMALHO et alii, 1983, 1986 MALAVOLTA et alii, 1981 OLIVEIRA, 1980 OLIVEIRA & MALAVOLTA, 1982
IPA-1	RAMALHO et alii, 1982	
Carioca	SALINAS & SANCHES, 1976 b RAMALHO et alii, 1982, 1986 COSTA, 1985 MIRANDA & LOBATO, 1978 ARAÚJO, 1989	MALAVOLTA et alii, 1981 OLIVEIRA, 1980 RAMALHO et alii, 1983 OLIVEIRA & MALAVOLTA, 1982 SOUSA, 1986
Ricopardo 896	RAMALHO et alii, 1982 ARAÚJO, 1989 MIRANDA & LOBATO, 1978 SALINAS & SANCHES, 1976 b SOUSA, 1986	MALAVOLTA et alii, 1981 OLIVEIRA, 1980 RAMALHO et alii, 1983, 1986 OLIVEIRA & MALAVOLTA, 1982

Observa-se também na Tabela 12 que as cultivares IPA-1, To e Rio Tibagi estiveram entre as mais sensíveis. Considerando que 'To' e 'IPA-1' apresentaram a menor e maior produtividade média respectivamente, pode-se inferir que a maior tolerância ao alumínio não esteve associada ao nível de produtividade média obtido pelo material. A 'To' foi também a menos tolerante a alta saturação de alumínio em um estudo feito por ARAÚJO (1989). Já a

'Rio Tibagi' (Tabela 13) tem sido classificada como sensível às condições de solos com saturação de alumínio elevada (RAMALHO et alii, 1986 e RAMALHO et alii, 1983) bem como em experimentos utilizando solução nutritiva com nível elevado de alumínio (OLIVEIRA & MALAVOLTA, 1982; MALAVOLTA et alii, 1981 e OLIVEIRA, 1980).

Quando se compara o desempenho médio dos híbridos nas duas saturações de alumínio, verifica-se que na ausência de calagem a produtividade média de grãos dos híbridos foi 66% da obtida com calagem. Frequentemente é argumentado que as populações segregantes ou mistas são mais estáveis (TAKEDA et alii, 1991; SOARES FILHO et alii, 1984 e GUAZZELLI, 1975) e portanto era esperado que apresentassem menor redução na produtividade que os pais, o que não foi observado neste trabalho.

A média dos híbridos envolvendo a cultivar Mulatinho 46 foi a maior entre as cultivares avaliadas independente do nível de saturação de alumínio utilizado, mostrando ter essa cultivar boa capacidade de combinação que é confirmada pela estimativa da capacidade geral de combinação (Tabelas 7 e 9). Como essa estimativa envolve tanto o comportamento na maior como na menor saturação de alumínio ela deve ter transmitido aos seus descendentes os seus alelos favoráveis para maior tolerância ao alumínio. Chama atenção o desempenho da cultivar To, que per si foi a menos produtiva, porém em combinações híbridas foi uma das melhores (Tabela 7). Resultados semelhantes a esse foi constatado em um cruzamento dialélico avaliado em algumas localidades do

Estado de Minas Gerais, onde a produtividade per si da cultivar To foi a mais baixa entre as cultivares, mas os seus híbridos de um modo geral tiveram bom desempenho (TAKEDA et alii, 1991).

O desempenho médio dos híbridos em que um dos pais eram as cultivares Carioca, Rio Tibagi, Negrito e Ricopardo 896 foram inferiores. As estimativas negativas de $\hat{\sigma}_i$ destas cultivares nos dois níveis de saturação de alumínio corroboram esses resultados. NIENHUIS & SINGH (1988a) estudando um cruzamento dialélico, envolvendo 80 cultivares de grãos pequenos e médios, também demonstraram que as cultivares Carioca e Rio Tibagi são materiais que possuem baixa capacidade de combinação para produção de grãos.

No que se refere a heterose média, isto é, a média geral dos híbridos em relação a média dos pais, verificou-se que ela foi de 24,5 e 23,5% da média dos pais nos experimentos conduzidos na menor e maior saturação de alumínio, respectivamente. Isso indica que deve ocorrer alguma dominância no controle do caráter produção de grãos e que essa dominância se manifestou igualmente nos dois níveis de saturação de alumínio. A possível presença de dominância no controle do caráter é realçada pelas estimativas do quadrado médio da capacidade específica de combinação que na análise conjunta foram significativas ($P < 0,01$) embora de magnitude bem inferior ao obtido para capacidade geral de combinação (Tabela 6). Alguns trabalhos também têm mostrado a ocorrência de dominância para a produtividade de grãos (NIENHUIS & SINGH, 1988b; RAMALHO et alii, 1988; NIENHUIS & SINGH, 1986; SANTOS, 1984 e HAMBLIN & MORTON, 1977), embora em todos os casos, como neste trabalho,

também tenha ficado evidenciado que a interação alélica aditiva é a predominante, principalmente quando se usa a densidade normal da cultura.

A ocorrência de heterose na cultura do feijoeiro tem sido relatada em algumas oportunidades (BANNEROT, 1988; NIENHUIS & SINGH, 1986; SANTOS, 1984; FOOLAND & BASSIRI, 1983 e ALBUQUERQUE & VIEIRA, 1974). A partir de uma revisão de 23 trabalhos da literatura BANNEROT (1988) comenta que a amplitude da heterose para produção de grãos foi de 20 a 170% da média do pai superior. Segundo esse autor esta grande amplitude foi em função dos parentais envolvidos, e do ambiente onde esta foi determinada. Há de ser lembrado que neste trabalho esta foi medida na geração F_2 , quando é apenas 50% da F_1 , e nos trabalhos da literatura a maioria foi determinada na geração F_1 .

O índice de tolerância das cultivares com base no desempenho médio de seus híbridos é apresentado na Tabela 12. Observa-se que os pais 'Negrito', 'Mulatinho 46', 'Carioca' e 'Ricopardo' que mostraram maior índice de tolerância per si, tiveram seus índices reduzidos quando em combinações híbridas e os pais 'To', 'IPA-1' e 'Rio Tibagi' considerados sensíveis por apresentarem índice de tolerância baixo tiveram seus índices aumentados quando em combinações híbridas. Nota-se que os pais com índice de tolerância acima de média são os que apresentaram estimativa de \hat{g}_i positiva e os que mostraram índice de tolerância abaixo da média são os que tiveram estimativa de \hat{g}_i negativa (Tabelas 9 e 12). Assim, pode-se concluir que os pais que

apresentaram estimativa da capacidade geral de combinação ($\hat{\sigma}_g$) positiva para produção de grãos, são os que apresentam alelos favoráveis para a tolerância às condições químicas dos solos ácidos de baixa fertilidade, principalmente a alta saturação de alumínio.

As populações híbridas de maior produtividade média na geração F_2 foram Mulatinho 46 x IPA-1 e To x IPA-1, as quais apresentaram maior produtividade na menor e maior saturação de alumínio, respectivamente (Tabela 7). A cultivar IPA-1 como já salientado, é bastante produtiva per si, e parece transmitir seus alelos para produção, uma vez que, as duas populações mais produtivas tiveram como pai comum esta cultivar. Isso reforça a predominância do efeito aditivo dos alelos que controlam esta característica, pois nessa condição, o desempenho do pai per si é indicador do potencial desse progenitor em combinações híbridas. Outras populações também merecem destaque, principalmente aquelas que sobressairam na maior saturação de alumínio, como: Negrito 897 x Mulatinho 46, Negrito 897 x IPA-1, To x Mulatinho 46, Mulatinho 46 x IPA-1, Mulatinho 46 x Carioca e Mulatinho 46 x Ricopardo 896. Observa-se que quase todas tem como pai comum 'Mulatinho 46', confirmando que esta cultivar possui alelos para adaptação aos solos sob cerrado os quais não são encontrados com a mesma intensidade nos outros parentais.

Pelo índice de tolerância observa-se que as populações Negrito x Mulatinho 46 e To x IPA-1 apresentaram nível de tolerância acima de um (Tabela 12). Chama atenção o baixo índice de tolerância (0,57) encontrado para a população híbrida Mulatinho

46 x IPA-1. Veja que isso ocorreu porque essa combinação foi a de melhor desempenho na menor saturação de alumínio e apesar de estar entre as de melhor produtividade na maior saturação de alumínio, proporcionalmente, a sua redução devido a ausência de calagem foi alta. Assim, esse híbrido foi produtivo na condição de estresse, mas sobretudo foi responsivo a melhoria do ambiente, característica altamente desejável em um material.

Os valores das estimativas da capacidade geral de combinação ($\hat{\theta}_j$) apresentados pelos parentais na geração F_2 no menor e maior nível de saturação de alumínio são coincidentes em sinal. Isto mostra a não ocorrência da interação capacidade de combinação x nível de saturação de alumínio, como pode ser comprovado pelo resultado da análise da variância conjunta apresentada na Tabela 5.

Em programas de melhoramento por hibridação são mais indicados os parentais com as mais altas médias e capacidade geral de combinação ($\hat{\theta}_j$) para constituírem as populações segregantes nas quais se tem maior chance de selecionar linhagens homozigóticas superiores. Nessa condição os parentais a serem escolhidos seriam 'IPA-1' e 'Mulatinho 46'. É interessante salientar que o híbrido entre essas duas cultivares apresentou a maior estimativa da capacidade específica de combinação (\hat{s}_{ij}) na menor saturação de alumínio, porém na maior a sua estimativa, apesar de não significativa, foi negativa (Tabela 9). Assim, a população segregante deste cruzamento não se mostra promissora para a seleção de linhagens tolerantes ao alumínio. Merece consideração também que a utilização dessa combinação será problemática pois ambos os pais possuem grãos

tipo mulatinho que tem pequena aceitação comercial no Estado de Minas Gerais. Ao contrário, o cruzamento 'Mulatinho 46' x 'Carioca' que associou boa produtividade com a possível ocorrência de grãos tipo carioca - o mais aceito comercialmente na região - na população segregante, mostrou ser o de maior potencial para a seleção de linhagens tolerantes às condições químicas dos solos ácidos de baixa fertilidade e com boa aceitação comercial.

6. CONCLUSÕES

A) Constatou-se diferença entre os progenitores com relação a tolerância às condições prevalecentes dos solos ácidos de baixa fertilidade, evidenciando em mais essa oportunidade variabilidade genética para a tolerância ao alumínio tóxico.

B) Existem alguns fatores que podem afetar a manifestação da tolerância entre eles a disponibilidade de água, indicando que na seleção visando obter materiais tolerantes deve-se proceder um controle na quantidade de água a um nível suficiente para que a planta desenvolva sem contudo mascarar o efeito do alumínio.

C) Também neste caso foi evidenciado que o controle genético da produção de grãos tanto na maior como na menor saturação de alumínio, foi predominantemente aditivo, embora fosse detectada significância para a capacidade específica de combinação o que mostra também a ocorrência de dominância. A heterose média na geração F_2 foi 24% da média dos pais.

D) Entre as cultivares avaliadas a Mulatinho 46 mostrou ser um bom parental, haja visto que apresentou boa produtividade média de grãos e alta capacidade geral de combinação, especialmente no experimento com maior saturação de alumínio.

E) A cultivar To per si foi a que apresentou o pior desempenho porém, os seus híbridos tiveram uma boa performance, o que foi realçado por uma expressiva estimativa da capacidade geral de combinação.

F) A população segregante Mulatinho 46 x Carioca mostrou-se muito promissora, devido a possibilidade de selecionar progênies tolerantes às condições químicas dos solos ácidos de baixa fertilidade e com grãos tipo carioca. Merecem destaque também, os cruzamentos 'To' x 'Mulatinho 46' e 'to' x 'IPA-1' pela possibilidade de selecionar progênies resistentes a antracnose e tolerantes às condições químicas dos solos ácidos de baixa fertilidade.

7. RESUMO

Procurou-se conhecer a potencialidade de algumas cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) para o melhoramento visando a tolerância às condições químicas dos solos ácidos de baixa fertilidade e identificar a(s) população(ões) segregante(s) mais promissora(s) para a seleção de progênies adaptadas a estas condições de cultivo. Para isto sete cultivares de feijão, diferindo quanto a tolerância às condições químicas dos solos ácidos e outros atributos, foram intercruzadas em esquema dialélico completo. As 21 populações e os sete parentais foram avaliados no campo nas gerações F_2 e F_3 . Em cada geração, conduziu-se dois experimentos no delineamento blocos casualizados, com três repetições, nos níveis de 4 e 26% de saturação de alumínio. Foram obtidos dados da produção de grãos (kg/ha) e produção de biomassa (peso seco da parte aérea + peso seco da raiz). Os efeitos de capacidade geral de combinação (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC) foram obtidos conforme método 4/modelo I de GRIFFING (1956). Constatou-se diferença entre os progenitores com relação a tolerância às condições prevalecentes dos solos ácidos de baixa fertilidade, evidenciando em mais essa oportunidade

variabilidade genética para a tolerância ao alumínio tóxico. Foi evidenciado que o controle genético da produção de grãos tanto na maior como na menor saturação de alumínio foi predominantemente aditivo, embora fosse detectada significância para capacidade específica de combinação que mostra também a ocorrência de dominância. A heterose média na geração F_2 foi 24% da média dos pais; entre as cultivares avaliadas a Mulatinho 46 mostrou ser um bom parental, haja visto que apresentou boa produtividade média de grãos e alta capacidade geral de combinação, especialmente no experimento com maior saturação de alumínio. A cultivar To per se foi a que apresentou o pior desempenho porém, os seus híbridos tiveram um bom desempenho, o que foi realçado por uma expressiva estimativa da capacidade geral de combinação. A população segregante Mulatinho 46 x Carioca mostrou-se muito promissora devido a possibilidade de selecionar progênies tolerantes às condições químicas dos solos ácidos de baixa fertilidade e com grãos tipo carioca. Merecem destaque também os cruzamentos 'To' x 'Mulatinho 46' e 'To' x 'IPA-1' pela possibilidade de selecionar progênies resistentes a antracnose e tolerantes às condições químicas dos solos ácidos de baixa fertilidade.

8. SUMMARY

POTENTIALITY OF COMMON BEAN (*Phaseolus vulgaris* L.) CULTIVARS TO BREEDING FOR TOLERANCE TO THE CHEMICAL CONDITIONS OF LOW FERTILITY ACID SOILS

This study aimed to gain knowledge on the potentiality of some common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars to breeding for tolerance to the chemical conditions of low fertility acid soils and to identify promising segregating populations for progenies selection adapted to this growing conditions. Seven common bean cultivars having different tolerance levels to the chemical conditions of acid soils and other attributes were mated in a complete diallel cross. The twenty one hybrid populations and seven parentals were evaluated in a field trial in F_2 and F_3 generations. In each generation two experiments were carried out in randomized complete blocks with three replications and levels of 4% and 26% of aluminum saturation. Data were obtained on grain yield (kg/ha) and biomass production (dry matter weight of aerial plant part + root dry matter weight). General (GCA) and specific combining ability (SCA) effects were obtained according to method

4/model I of Griffing (1956). Differences were detected among parentals for tolerance to the prevailing conditions of low fertility acid soil and this shows the genetic variability for tolerance to toxic aluminum. It was shown that the genetic control of grain yield was mainly additive both in the high and low aluminum saturation levels but specific combining ability effect was also significant showing the occurrence of dominance. Mean heterosis in the F_2 generation was 24% higher than the average of the parents; among the cultivars 'Mulatinho 46' showed to be a good parental due to its high grain yield and general combining ability, specially under high aluminum saturation. Cultivar 'To' per se presented the worst performance but its hybrids were very good showing up expressive general combining ability. The segregating population 'Mulatinho 46' x 'Carioca' was very promise due to the possibility to select for tolerance to the chemical conditions of low fertility acid soils and grains like Carioca. Other crosses that deserve attention are 'To' x 'Mulatinho 46' and 'To' x 'IPA-1' due to the possibility to select for anthracnose resistance and tolerance to the chemical conditions of low fertility acid soils.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, A. de F.B.; RAMALHO, M.A.P.; SOUZA, E.A. de & SANTOS, J.B. dos. Seleção de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) precoce com grãos tipo Carioca e resistentes a antracnose. *Ciência e Prática*, Lavras, 14(1):72-82, jan./abr. 1990.
- ADAMS, F. & LUND, Z.F. Effect of chemical activity of soil solution aluminum on cotton root penetration of acid subsoils. *Soil Science*, Baltimore, 101(3):193-8, Mar. 1966.
- _____; PEARSON, R.W. & DOSS, B.D. Relative effect of acid subsoils on cotton yields in field experiments and an cotton roots in growth-chamber experiments. *Agronomy Journal*, Madison, 59(5):453-6, Sept./Oct. 1967.
- ALBUQUERQUE, M.M. & VIEIRA, C. Manifestações da heterose em *Phaseolus vulgaris* L. *Revista Ceres*, Viçosa, 21(114):14-86, 1975.
- AMARAL, F.A.L.; REZENDE, H.E.C.; BRASIL SO, M.O.C. & MALAVOLTA, E. Exigência de nitrogênio, fósforo e potássio de alguns cultivares de feijoeiro. *Anais da ESALQ*, Piracicaba, 32:223-40, 1980.
- ARAÚJO, J.M. de. Controle genético da tolerância do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), às condições químicas dos solos sob vegetação de cerrado. Lavras, ESAL, 1989. 53p. (Tese MS).
- ARAUNACHALAM, V. Evaluation of diallel crosses by graphical and combining ability methods. *The Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, New Delhi, 36:358-66, 1976.
- BANNEROT, H. The potencial of hybrid beans. In: CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. *Bean Breeder's Workshop*. Cali, 1988. p.111-34.

- BERTOLUCCI, F. de L.G. Novas alternativas de tamanho e forma da parcela experimental para avaliação de progênies do feijoeiro. Lavras, ESAL, 1990. 105p. (Tese MS).
- BOLLARD, E.G. & BUTLER, G.W. Mineral nutrient of plants. Annual Review of Plant Physiology, Palo Alto, 17:77-112, 1966.
- CAMARGO, C.E.O. Evidência de controle genético na tolerância ao manganês e alumínio tóxico em trigo. Bragantia, Campinas, 42(9):91-103, 1983.
- _____. Heritability estimates and associations of different height levels with aluminum toxicity and grain yield in wheat. Dissertation abstracts international, Cornallis, 39(11):5177, 1979. In: POLANT BREEDING ABSTRACTS, Cambridge, 51(7):691, abst. 7887, July 1981.
- CAMBRAIA, J. & CALBO, A.G. Efeito do alumínio sobre a absorção e sobre o transporte de fósforo em dois cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). Revista Ceres, Viçosa, 27(154): 615-25, nov./dez. 1980.
- _____; LEMOS FILHO, J.P. de; ESTEVÃO, M. de 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, jan./fev. 1983.
- CAMPBELL, L.G. & LAFEVER, H.N. Heritability of aluminum tolerance in wheat. Cereal Research Communications, Szeged, 9(4): 281-7, 1981.
- CAMPBELL, K.A.G. & CARTER JR., T.E. Aluminum tolerance in soybean: I. Genotypic correlation and repeatability of solution culture and greenhouse screening methods. Crop Science, Madison, 30:1049-54, 1990.
- CLARK, R.B. & BROWN, J.C. Differential phosphorus uptake by phosphorus - stressed corn inbreds. Crop Science, Madison, 14(4):505, July/Aug. 1974.
- CLARKSON, D.T. Aluminum tolerance in species within the genus *Agrostis*. Journal of Ecology, Oxford, 54:167-78, 1966a.
- _____. Effect of aluminum on the uptake and metabolism of phosphorus by barley seedlings. Plant Physiology, New York, 41:165-72, 1966b.
- _____. Metabolic aspects of aluminum toxicity and some possible mechanisms for resistance. In: RORISON, I.H. Ecological aspects for the mineral nutrition of plants. Oxford, Ed. Blackwell Scientific Publications, 1969. p.381-97.

- CLARKSON, D.T. The effect of aluminum and some other trivalent metal cations on cell division in the root apices of *Allium cepa*. *Annals of Botany*, New York, 29(3):309-15, Sept. 1965.
- CLYMO, R.S. An experimental approach to part of the calcicole problem. *Journal of Ecology*, Oxford, 50:707-37, 1962.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG. *Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais; 4ª aproximação*. Lavras, 1989. 159p.
- COSTA, A. Calagem e adubação fosfatada da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): Efeito sobre cultivares e sobre a absorção de fósforo. Viçosa, UFV, 1985. 94p.
- CUTRIM, V.A. Herança da tolerância à toxidez causada pelo alumínio em arroz. Viçosa, UFV, 1979. 76p. (Tese MS).
- DELAZARI, P.C.; BRAGA, J.M.; NOVAIS, R.F. & THIEBAUT, J.T.L. Disponibilidade de fósforo em solos do Estado do Espírito Santo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 4(3): 149-53, 1980.
- DOORENBOS, J. & PRUITT, W.O. *Las necesidades de agua de los cultivos*. Roma, FAO, 1976. 194p. (Estudio FAO. Riego y Drenaje, 24).
- EIRA, P.A.; PESSANHA, G.G.; BRITTO, D.P.P. de S. & CARBAJAL, A.R. Comparação de esquemas experimentais em experimentos de adubação mineral de nitrogênio e fósforo na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 8:121-5, 1973.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. *Relatório Técnico Anual 1975-1976*. Planaltina, 1976. 150p.
- FALCONER, D.S. *Introdução à genética quantitativa*. Viçosa, Imprensa Universitária, 1981. 279p.
- FERREIRA, D.F.; REZENDE, G.D.S.P. & RAMALHO, M.A.P. *Adaptação do método de análise de cruzamentos dialélicos completo de GRIF-FING para experimentos repetidos em vários ambientes*. (No prelo).
- FLEMING, A.L. & FOY, C.D. Root structure reflects differential aluminum tolerance in wheat varieties. *Agronomy Journal*, Madison, 60(2):171-6, Mar./Apr. 1968.

FOOLAND, M.R. & BASSIRI, A. Estimates of combining ability, reciprocal effects and heterosis for yield components in a common bean diallel cross. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 100(1):103-8, Feb. 1983.

FOY, C.D. Differential aluminum and manganese tolerances of plant species and varieties in acid soils. *Ciência e Cultura, São Paulo*, 28(2):150-5, Feb. 1976.

_____. Effects of aluminum on plant growth. In: CARSON, E.W., ed. *The plant root and its environment*. Charlottesville, University Press of Virginia, 1974. p.601-42.

_____; ARMIGER, W.H.; FLEMING, A.L. & ZAUMEYER, W.J. Differential tolerance of dry bean, snap bean and lima bean varieties to an acid soil high in exchangeable aluminum. *Agronomy Journal, Madison*, 59(6):561-3, Nov./Dec. 1967b.

_____ & BROWN, J.L. Toxic factors in acid soils: I. Characterization of aluminum toxicity in cotton. *Soil Science Society of American Proceedings, Madison*, 27:403-07, 1963.

_____ & _____. Toxic factors in acid soils. II. Differential aluminum tolerance of plant species. *Soil Science Society of American Proceedings, Madison*, 28(1):27-34, 1964.

_____; BURNS, G.R.; BROWN, J.L. & FLEMING, A.L. Differential aluminum tolerance of two wheat varieties associated with plant induced pH changes around their roots. *Soil Science Society of American Proceedings, Madison*, 29:64-7, 1965.

_____; CHANEY, R.L. & WHITE, M.C. The physiology of metal toxicity in plants. *Annual Review of Plant physiology, New York*, 29:511-66, 1978.

_____; FLEMING, A.L. & ARMIGER, W.H. Aluminum tolerance of soybean varieties in relation to calcium nutrition. *Agronomy Journal, Madison*, 61:505-11, 1969.

_____; _____; BURNS, G.R. & ARMIGER, W.H. Characterization of differential Al tolerance among varieties in the wheat and barley. *Soil Science Society of American Proceedings, Madison*, 31:513-21, 1967a.

_____; _____ & GERLOFF, G.C. Differential aluminum tolerance in two snapbean varieties. *Agronomy Journal, Madison*, 64(6):815-18, 1972.

- FREIRE, J.C. Efeitos de níveis de água e formas de aplicação de calcário na produção de matéria seca do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivado em dois solos de cerrado em casa-de-vegetação. *Ciência e Prática*, Lavras, 9(1):59-70, jun./jul. 1985.
- _____. Resposta do milho a níveis de água e formas de aplicação de calcário em dois solos originalmente sob cerrado em casa-de-vegetação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 8(3):305-8, set./dez. 1984.
- FURLANI, P.R. & CLARK, R.B. Screening sorghum for aluminum tolerance in nutrient solution. *Agronomy Journal*, Madison, 73(4):587-94, 1981.
- GALVÃO, J.D. & SILVA, J.C. Herança da tolerância ao alumínio na variedade de milho Piranão. *Revista Ceres*, Viçosa, 25(137):71-8, jan./fev. 1978.
- GARCIA JÚNIOR, O. & SILVA, W.J. da. Análise genética da tolerância ao alumínio em milho. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 31, São Paulo, 1979. Resumos... São Paulo, SBPC, 1979. (Suplemento de Ciência e Cultura, São Paulo, 31(7):585, jul. 1979. (82-9. 1.6).
- GARDNER, P.O. & EBERHART, S.A. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. *Biometrics*, Raleigh, 22:439-52, 1966.
- GARRIDO, M.A.T.; PURCINO, J.R.C. & LIMA, C.A.S. Efeito do déficit de água em alguns períodos do ciclo de crescimento sobre o rendimento do feijoeiro comum. In: EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS. Projeto Feijão: Relatório 77/78. Belo Horizonte, 1979. p.25-7.
- GOEDERT, W.J. Uso e manejo dos recursos naturais do cerrado: solo e clima. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, CERRADO USO E MANEJO, 5, Brasília, 1979. Quinto... Brasília, Editerra, 1980. p.475-98.
- GOURLEY, L.M.; ROGERS, S.A.; RUIZ-GOMEZ, C. & CLARK, R.B. Genetic aspects of aluminum tolerance in sorghum. *Plant & Soil*, The Hague, 123(2):211-16, 1990.
- GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian Journal Biological Science*, Melbourne, 9(4):463-93, 1956.
- GUAZZELLI, R.I. Competição intergenotípica em feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) estimação da capacidade competitiva. Piracicaba, ESALQ/USP, 1975. 62p. (Tese MS).

- GUIMARÃES, C.M. & ZIMMERMANN, M.J. de O. Deficiência hídrica em feijão. In: REUNION DE TRABAJO SOBRE MEJORAMIENTO DE FRIJOL EN BRASIL COM ENFASIS EN TOLERANCIA A SEQUIA, Cali, 1985. Anais... Cali, CIAT, 1985. p.15-28.
- HAMBLIN, J. Plant breeding interpretations of the effects of bulk breeding on four populations of beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Euphytica*, Wageningen, 26(1):157-68, Feb. 1977.
- & MORTON, J.R. Genetic interpretations of the effects of bulk breeding on four populations of beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Euphytica*, Wageningen, 26:75-83, 1977.
- HECHT-BUCHHOLZ, C. & FOY, C.D. Effect of aluminum toxicity on root morphology of barley. In: BROUMER, R., ed. *Structure and function of plant roots*, The Hague, 1981. p.343-5.
- HERNANI, L.C. Metodologia de seleção de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) tolerantes ao alumínio em solução nutritiva. Piracicaba, ESALQ/USP, 1980. 81p. (Tese MS).
- HORTON, B.D. & EDWARDS, J.H. Diffusive resistance rates and stomatal apertures of peach seedlings as affected by Al concentrations. *Horticultural Science*, Michigan, 11:591-3, 1976.
- HORTON, B.D. & CADAVID, L.F. Screening of rice cultivars for Al-toxicity in nutrient solutions as compared with a field screening method. *Agronomy Journal*, Madison, 68(4):551-5, July/Aug. 1976.
- HUCK, M.G. Impairment of sucrose utilization of cell wall formation in the roots of aluminum damaged cotton seedlings. *Plant and Cell Physiology*, Kyoto, 13(1):7-14, Feb. 1972.
- JONES, L.H. Aluminum uptake and toxicity in plants. *Plant and Soil*, The Hague, 13:297-310, 1961.
- JUNQUEIRA NETTO, A.; SEDIYAMA, T.; SEDIYAMA, C.S.; RESENDE, P.M. de. Adaptabilidade e estabilidade de comportamento de dezesseis cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em seis municípios do Sul de Minas Gerais. *Ciência e Prática*, Lavras, 7(1):09-14, jan./jun. 1983.
- KAMPRATH, E.J. A acidez dos solos e a calagem. Raleigh, North Carolina State University, 1967. (Boletim Técnico, 4).
- KEMPTHORNE, O. An Introduction to Genetic Statistics. 3.ed. New York, John Wiley & Sons, 1966. 545p.
- KERRIDGE, P.C. & KRONSTAD, W.E. Evidence of genetic resistance to aluminum toxicity in wheat. *Agronomy Journal*, Madison, 60(6):710-1, Nov./Dec. 1968.

- KLIMASHEVSKII, E.L. & CHERNYSHEVA, N.F. Content of organic acids and physiologically active compounds in plants differing in their susceptibility to the toxicity of Al^{+3} . *Soviet Agricultural Sciences*, New York, 2:5-8, 1980.
- & DEDOV, V.M. Localization of the mechanisms of growth inhibiting action of Al^{+3} in elongation cell walls. *Soviet Plant Physiology*, New York, 22(6):1040-7, May 1975.
- LAFEVER, H.N. & CAMPBELL, L.G. Inheritance of aluminum tolerance in wheat. *Canadian Journal of Genetics and Cytology*, Quebec, 20(3):355-64, July 1978.
- ; CAMPBELL, L.G. & FOY, C.D. Differential response of wheat cultivars to Al. *Agronomy Journal*, Madison, 69(6):563-8, July/Aug. 1977.
- LEE, E.H. & FOY, C.D. Aluminum tolerance of two snapbean by high-performance liquid chromatography. *Journal of Plant Nutrition*, New York, 9(12):1481-98, 1986.
- LEVAN, A. Cytological reactions induced by inorganic solutions. *Nature*, London, 156:751-2, 1945.
- LIMA, P.C.; RAMALHO, M.A.P. & MELO, B. de. Comparações entre métodos estatísticos utilizados para avaliar a tolerância e toxicidade do alumínio. *Ciência e Prática*, Lavras, 5(1):32-9, jan./jun. 1981.
- LOPES, A.S. Available water, phosphorus fixation, and zinc levels in Brazilian cerrado soils in relation to their physical, chemical and mineralogical properties. Raleigh, North Carolina State University, Department of Soil Science, 1977. 189p. (Tese de Doutorado).
- . Solos sob cerrado; características, propriedades e manejo. Piracicaba, POTAFOS, 1983. 162p.
- . A survey of the fertility status of soils under "cerrado" vegetation in Brazil. Raleigh, North Carolina State University, Department of Soil Science, 1975. 138p. (Tese MS).
- MAGALHÃES, A.A. & MILLAR, A.A. Efeito do déficit de água no período reprodutivo sobre a produção de feijão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 13(2):55-60, 1978.
- MAGNAVACA, R. Genetic variability and inheritance of aluminum tolerance in maize (*Zea mays* L.). Nebraska, University of Nebraska, 1982. 135p. (Tese de Doutorado).

- MAGNAVACA, R.; GARDNER, C.O. & CLARK, R.B. Comparison of maize populations for aluminum tolerance in nutrient solution. In: GABELMAN, H.N. & LOUGHMAN, B.C. "Genetic aspects of plant mineral nutrition". Lancaster, Ed. Martinus Nijhoff Publishers, 1987 p.189-99.
- MALAVOLTA, E. Nutrição e adubação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FEIJÃO, 1., Campinas, 1971. Anais... Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1972. p.209-42.
- ; NOGUEIRA, F.D.; OLIVEIRA, I.P.; NAKAYAMA, L. & EIMORI, I. Aluminum tolerance in sorghum and bean. *Journal of Plant Nutrition*, New York, 3:687-94, 1981.
- ; SARRUGE, J.R. & BITTENCOURT, V.C. Toxidez de alumínio e de manganês. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO; bases para utilização agropecuária, 4, Brasília, 1976. Simpósio... Belo Horizonte, Itatiaia, 1977.
- MATHER, K. & JINKS, J.L. *Biometrical Genetics*. 2.ed. London, Chapman & Hall, 1971. 382p.
- MATSUMOTO, H.; HIRASAWA, H.; TORIKAI, H. & TAKAHASHI, E. Localization of absorbed aluminum in pea root and its binding to nucleic acids. *Plant and Cell Physiology*, Kyoto, 17(1):127-37, Feb. 1976.
- MELO, B. de. Tolerância da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) à saturação de alumínio, em condições de casa-de-vegetação, para solo sob cerrado. Lavras, ESAL, 1980. 56p. (Tese MS).
- MESQUITA FILHO, M.V.; MIRANDA, L.N. de & KLUTHCOVSKI, J. Avaliação de cultivares de feijão para sua tolerância à toxicidade de alumínio com relação à disponibilidade de fósforo em solo de cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 6(1)43-6, jan./abr. 1982.
- MIRANDA, L.T. de; FURLANI, P.R.; MIRANDA, L.E.C. de & SAWAZAKI, E. Genetics of environmental resistance and super genes latent aluminum tolerance. *Maize Genetics Cooperation Newsletter*, Columbia, 58:46-8, 1984.
- MIRANDA, L.N. & LOBATO, E. Tolerância de variedades de feijão e de trigo ao alumínio e à baixa disponibilidade de fósforo no solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 2(1): 44-50, jan./abr. 1978.
- MIRANDA FILHO, J.B. & RISSI, R. de. Interação de efeitos genéticos com anos em um cruzamento dialélico intervarietal em milho. In: *Relatório Científico do Departamento e Instituto de Genética*, Piracicaba, 9:102-14, 1975.

- MORAES, J.F.V. Calagem e adubação. In: ZIMMERMANN, M.J. de O.; ROCHA, M. & YAMADA, T. Cultura do Feijoeiro: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba, POTAFOS, 1988. p.261-301.
- MULLETE, K.J. & HANNON, J.N. Insoluble phosphorus usage by *Eucalyptus*. *Plant and Soil*, Dordrecht, 41:199-205, 1974.
- MUZILLI, O. Adubação fosfatada no Estado do Paraná. In: OLIVEIRA, A.J. de; LOURENÇO, S. & GOEDERT, W.J., ed. Adubação fosfatada no Brasil. Brasília, EMBRAPA-DID, 1982. p.61-101. (EMBRAPA-DID. Documentos, 21).
- _____. Calagem para feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). In: RAIJ, B. van; BATAGLIA, O.C. & da SILVA, J.N.M. Acidez e Calagem no Brasil. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. p.165-178.
- _____ & KALCKMANN, R.E. Análise de assistência - interpretação de resultados e determinação de níveis críticos. I. Determinação de níveis críticos de acidez. *Boletim Universidade Federal do Paraná, Agronomia* n° 1, Curitiba, 1971.
- NAIDOO, G.; STEWART, Mc.D. & LEWIS, R.J. Accumulation sites of the Al in snapbean and cotton roots. *Agronomy Journal*, Madison, 70(3):489-92, May/June 1978.
- NIENHUIS, J. & SINGH, S.P. Combining ability analysis and relationships among yield, yield components and architectural traits in dry bean. *Crop Science*, Madison, 26:21-27, 1986.
- _____ & _____. Genetics of seed yield and its components in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) of Middle American origin. I. General combining origin. *Plant Breeding*, 101:-143-54, 1988a.
- _____ & _____. Genetics of seed yield and its components in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) of Middle American origin. II. Genetic variance, heritability and expected response from selection. *Plant Breeding*, 101:155-63, 1988b.
- NOBLE, A.D.; LEA, J.D. & FEY, M.V. Genotypic tolerance of selected bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars to soluble Al and to acid, low P soil conditions. *South African Journal of Plant Soil*, South Africa, 2(3):115-9, 1985.
- NODARI, R.O. Bases genéticas da herança do caráter tolerância ao crestamento em genótipos de trigo (*Triticum aestivum* L.). Porto Alegre, UFRGS, 1980. 90p. (Tese MS).

- NOGUEIRA, F.D. Efeito do alumínio no sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L. Moench.). Piracicaba, ESALQ, 1979. 120p. (Tese de Doutorado).
- OLIVEIRA, I.P. de. Efeitos do alumínio e de micronutrientes no feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Piracicaba, ESALQ, 1980. 196p. (Tese de Doutorado).
- OLIVEIRA, I.P. & MALAVOLTA, E. Efeitos do alumínio e do manganês no feijoeiro. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 17(4):549-57, 1982.
- _____; THUNG, M.; KLUTHCOVSKI, J.; AIDAR, H. & CARVALHO, J.R. P. Avaliação de cultivares de feijão para maior eficiência ao uso de fósforo. Goiânia, 1985. 18p.
- OLIVEIRA, M.S. de; HOSTALÁCIO, S. & CASTRO NETO, P. Efeito do déficit hídrico aplicado em diferentes fases do ciclo fenológico do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Eriparza). Ciência e Prática, Lavras, 12(1):78-86, jan./jun. 1988.
- RAIJ, B. van; FEITOSA, C.T. & CARMELO, Q.A.C. Adubação fosfatada no Estado de São Paulo. In: OLIVEIRA, A.J. de; LOURENÇO, S. & GOEDERT, W.J., ed. Adubação fosfatada no Brasil. Brasília, EMBRAPA-DID, 1982. p.103-36. (EMBRAPA-DID. Documentos, 21).
- RAMALHO, M.A.P.; PEREIRA PINTO, C.A.B. & TEIXERIA, A.L.S. Tolerância diferencial de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) ao alumínio em casa-de-vegetação e no campo. Ciência e Prática, Lavras, 7(1):75-85, jan./jun. 1983.
- _____; PEREIRA PINTO, C.A.B. & CARVALHO, M.A. de. Tolerância do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) a níveis de saturação de alumínio, em solo sob vegetação de cerrado. Ciência e Prática, Lavras, 6(1):55-62, jan./jun. 1982.
- _____; SANTOS, J.B. dos & REIS, W.P. Comportamento de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em dois níveis de saturação de alumínio em solo de cerrado. Ciência e Prática, Lavras, 10(1):41-50, jan./abr. 1986.
- _____; _____ & PEREIRA FILHO, I. Choice of parents for dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) breeding. I. Interaction of mean components by generation and by location. Revista Brasileira de Genética, Ribeirão Preto, 11(2):391-400, 1988.
- RAPOSO, H. Trabalhos experimentais com feijão. S.1, Ministério da Agricultura, Serviço Nacional de Pesquisa Agrônomicas, 1958. 39p. (Circular, 5).

- REID, D.A. Genetic potencial for solving problems of soil mineral stress: Aluminum and Manganese toxicities in the cereal grains. In: WRIGHT, M.J. Plant adaptation to mineral stress in problem soils. Beltsville, National Agricultural Library, 1976a. p.55-64.
- _____. Screening barley for aluminum tolerance. In: WRIGHT, M.J. Plant adaptation to mineral stress in problem soils. Beltsville, National Agricultural Library, 1976b. p.269-76.
- _____; 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(4):600-3, 1971.
- RESENDE, M.A.V. de. Seleção de progênies de feijoeiro resistentes a *Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc et Magn) Scrib na população ESAL 501 x To. Lavras, ESAL, 1989. 70p. (Tese MS).
- RHUE, R.D.; GRORGAN, C.O.; STOCKMEYER, E.W. & EVERETT, H.L. Genetic control of aluminum tolerance in corn. *Crop Science*, Madison, 18(6):1063-7, Nov./Dec. 1978.
- RICHBURG, J.S. & ADAMS, F. Solubility and hidrolisis of aluminum in soil solutions and saturated-paste extracts. *Soil Science Society of America Proceeding*, Madison, 34(5):728-34, Sept./Oct. 1970.
- RIOS, M.A. & PEARSON, R.W. The effect of some chemical environmental factors on cotton behavior. *Soil Science Society of American Proceedings*, Madison, 28(2):232-5, Mar./Apr. 1964.
- RORISON, I.H. The effect of aluminum on legume nutrition. In: HALL SWORTH, E.G. *Nutrition of the legumes*. Butterworth, London, 1958. p.43-61.
- RUSCHEL, A.P.; ALVAHYDO, R. & SAMPAIO, I.B.M. Influência do excesso de alumínio no feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivado em solução nutritiva. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 3:229-33, 1968.
- SAFARI, A. A yield-component selection experiment involving american and iranian cultivars of the common bean. *Crop Science*, Madison, 18(1):5-7, Jan./Feb. 1978.
- SALINAS, J.C. & SANCHES, P.A. Soil-plant relationships affecting varietal and species differences in tolerance to low available soil phosphorus. *Ciência e Cultura*, São Paulo, 28(2):156-68, 1976a.

- SALINAS, J.C. & SANCHES, P.A. Tolerance to aluminum toxicity and low available soil phosphorus. In: North Carolina State University. Agronomic-Economic Research on Tropical Soil, Raleigh, Soil Science Department, Annual Report for 1975. 1976b. p.40-65.
- SAMPSON, M.; CLARKSON, D. & DAVIES, D.D. DNA Synthesis in aluminum treated roots of barley. *Science*, Washington, 148:1476-77, 1965.
- SANTA CECÍLIA, F.C. & RAMALHO, M.A.P. Comportamento de cultivares de feijão em monocultivo e em associação com o milho. *Ciência e Prática*, Lavras, 6(1):45-54, jan./jun. 1982.
- SANTOS, J.B. dos. Controle genético de caracteres agrônômicos e potencialidades de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) para o melhoramento genético. Piracicaba, ESALQ, 1984. 223p. (Tese Doutorado).
- & VENCOSKY, R. Controle genético de alguns componentes do porte da planta em feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 21(9):957-63, set. 1986.
- SAWAZAKI, E. & FURLANI, P.R. Genética da tolerância ao alumínio em milho cateto. *Bragantia*, Campinas, 46(2):269-78, 1987.
- SILVA, A.F. da. Avaliação de cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) à saturação de alumínio em solos sob vegetação de cerrado. Lavras, ESAL, 1982. 81p. (Tese MS).
- SOARES FILHO, H.P.; BUENO, L.C. de S. & SANTOS, J.B. dos. Comportamento de cultivares de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e de suas misturas em relação à doses de superfosfato simples. *Ciência e Prática*, Lavras, 8:167-77, 1984.
- SOUSA, A.C. de. Identificação de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) tolerantes à toxicidade causada pelo alumínio no solo. Viçosa, UFV, 1986. 53p. (Tese MS).
- STEEL, R.G.D. & TORRIE, J.H. Principles and procedures of statistics. 2.ed. New York, McGraw-Hill, 1980. 633p.
- STOCKMEYER, E.W.; EVERETT, H.L. & RHUE, D. Aluminum tolerance in maize seedlings as measured by primary root length in nutrient solutions. *Maize Genetics Cooperation Newsletter*, Bloomington, 52:15-6, 1978.
- TAKEDA, C.; SANTOS, J.B. dos & RAMALHO, M.A.P. Choice of parental lines for common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) breeding. II. Reaction of cultivars of their segregant populations to variations in different environments. *Revista Brasileira de Genética*, Ribeirão Preto, 14(2):455-65, 1991.

- VALE, F.R. Efeito do alumínio sobre a cinética de absorção de nitrato, amônio e fosfato em milho (*Zea mays* L.) e em clone de eucalipto (*Eucalyptus alba*). Viçosa, UFV, 1982. 71p. (Tese MS).
- VIEIRA, C.; CHAGAS, J.M.; SILVA, C.C. da & JUNQUEIRA NETTO, A. Estudo sobre variedades de feijão no Estado de Minas Gerais. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, 8(90):9-12, 1982.
- _____; SILVA, C.C. da & CHAGAS, J.M. 'Negrito 897', outro cultivar de feijão preto para a Zona da Mata de Minas Gerais. Revista Ceres, Viçosa, 28(158):373-82, 1981.
- VOSE, P.B. & RANDALL, P.J. Resistance to aluminium and manganese toxicities in plants related to variety and cation - exchange capacity. Nature, London, 209:85-6, 1966.
- WHITE, J.W. & IZQUIERDO, J. Physiology of yield potential and stress tolerance. In: ASCHOONHOVEN, A. van & VOYSEST, O. Common Beans: Research for Crop Improvement. Cali, 1991. 980p.
- WILTSHIRE, G.H. Response of grasses to nitrogen source. Journal of Applied Ecology, Oxford, 10:429-35, 1975.

APÊNDICE

TABELA 1A - Resumo das análises de variância da produção de grãos (kg/ha), obtidas da avaliação das gerações F₂ e F₃ do cruzamento dialélico nos 2 níveis de saturação de alumínio. ESAL, Lavras-MG, 1990.

F.V.	GL	CM			
		F ₂ "das secas"		F ₃ "outono/inverno"	
		4% saturação	26% saturação	4% saturação	26% saturação
Blocos	2	1.160.123,3**	106.580,8	21.671,3	387.760,7
Tratamentos	27	257.906,1**	86.377,9	427.082,7**	328.786,5**
País (P)	6	207.814,4**	13.406,7	521.614,6**	418.741,2**
Populações	20	223.392,0**	79.218,6	415.358,4**	309.511,2**
CGC	6	210.644,0**	103.504,0	1.036.664,0**	469.256,0**
CEC	14	228.855,0**	68.810,6	149.084,6*	241.049,1
P vs. Popul	1	1.248.738,3**	667.391,2**	93.838,4	174.564,7
Resíduo	†	49.729,8	54.511,8	78.403,5	138.655,2
Média		1.363,3	897,5	1.927,6	1.890,2
CV %		16,4	26,0	14,5	19,7

* e ** significativos a 1% e 5% pelo teste F, respectivamente.

† 47, 48, 49 e 52 - valor referente ao grau de liberdade de cada experimento, respectivamente.

TABELA 2A - Resumo das análises de variância da produção de biomassa (g/planta), obtidas da avaliação da geração F₂ e F₃ do cruzamento dialélico nos dois níveis de saturação de alumínio. ESAL, Lavras-MG, 1990.

F.V.	GL	QM			
		F ₂ "das secas"		F ₃ "outono/inverno"	
		4% saturação	26% saturação	4% saturação	26% saturação
Blocos	2	33,776**	1,000	2,800	5,022**
Tratamentos	27	10,187**	3,362**	8,887**	10,032**
País (P)	6	3,247*	2,134*	10,619**	17,231**
Populações	20	10,871**	3,254**	7,136**	8,342**
CQC	6	27,610**	5,829**	12,642**	13,096**
CEC	14	3,697**	2,151**	4,777**	6,305**
P vs. Popul.	1	38,148**	12,890**	0,206	0,638
Resíduo	†	1,087	0,763	1,715	1,158
Média		7,640	5,034	8,647	8,649
CV %		13,650	17,350	15,140	12,440

* e ** significativos a 1% e 5% pelo teste F, respectivamente.

† 47, 49, 51 e 50 - valor referente ao grau de liberdade de cada experimento, respectivamente.