

41052

LEONARDO CUNHA MELO

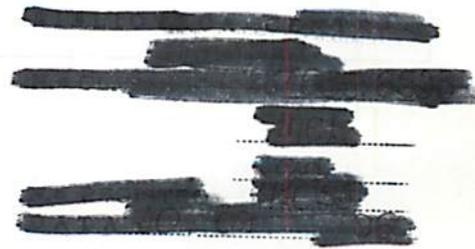


**ESCOLHA DE GENITORES VISANDO A OBTENÇÃO DE CULTIVARES DE  
FEIJOEIRO TOLERANTES À BAIXA TEMPERATURA NA FASE ADULTA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para obtenção do título de "Mestre".

**Orientador**

Prof. JOÃO BOSCO DOS SANTOS



LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
1996

Ficha Catalográfica preparada pela seção de Classificação e Catalogação da  
Biblioteca Central da UFLA

Melo, Leonardo Cunha

Escolha de genitores visando a obtenção de cultivares de feijoeiro tolerantes à baixa temperatura na fase adulta / Leonardo Cunha Melo. -- Lavras : UFLA, 1996.

80p. : il.

Orientador: João Bosco dos Santos.

Dissertação (Mestrado) - UFLA.

Bibliografia.

1. Feijão - Melhoramento genético. 2. Escolha de genitor. 3. Análise dialélica. 4. Controle genético. 5. Temperatura. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-635.6523

**LEONARDO CUNHA MELO**

**ESCOLHA DE GENITORES VISANDO A OBTENÇÃO DE CULTIVARES DE  
FEIJOEIRO TOLERANTES À BAIXA TEMPERATURA NA FASE ADULTA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para obtenção do título de "Mestre".

APROVADA em 30 de Janeiro de 1996.

  
Dr. Daniel Furtado Ferreira

  
Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes

  
Dr. João Bosco dos Santos  
(Orientador)

**A minha esposa Patrícia, que com seu carinho e compreensão sempre me incentivou,  
Aos meus queridos pais, Gentil e Maria Helena, pelo apoio em todas etapas da minha vida,  
Aos meus irmãos, Leandro, Cristiane e Gentil Eduardo.**

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

**À Deus, por tudo.**

**À Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade de realização do curso de mestrado.**

**À Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), pelo apoio concedido para condução deste trabalho.**

**Ao Programa Especial de Treinamento (PET) e Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.**

**Ao orientador João Bosco dos Santos pela dedicação, disponibilidade, amizade e confiança demonstrados durante todo curso.**

**Aos professores, Daniel Furtado Ferreira e Antônio Nazareno Guimarães Mendes, pelas valiosas contribuições na discussão deste trabalho.**

**A minha esposa Patrícia, que com amor, carinho e compreensão foi também uma excelente companheira de curso.**

Aos professores do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras, em especial aos professores do curso de Genética e Melhoramento de Plantas, Magno, César, Samuel e Lisete, pela amizade e conhecimentos transmitidos.

Ao Núcleo de Estudo de Genética (GEN) pelo apoio e oportunidades oferecidas.

Aos amigos do curso de Genética e Melhoramento de Plantas: Giovana, Eduardo, Renata, Ângela, Vilma, Leonardo, Cláudia, João, André, Maurício, Hélia, Joelson, Mônica, Flávia Avelar, Cátia, Juscélio, Cíntia, Luciana, Gustavo, Glauber, Gabriela, Haroldo, Jaime, Osvaldo, Ângela Abreu, Pedro, Luís, Flávia, Leandro, Cláudio, Erich, Farias, Paulo Martins, Paulo, Sérgio, João Acássio, Valéria, Marcelo e demais colegas pelo convívio e amizade.

Aos amigos de outros cursos de pós-graduação pelo convívio e amizade.

Aos amigos da iniciação científica do Departamento de Biologia pela colaboração e amizade.

Aos funcionários do Departamento de Biologia, pelos auxílios prestados.

Aos funcionários da Biblioteca da UFLA, pelo atendimento e correções das referências bibliográficas.

À Associação de Pós-graduandos, por representar nossa classe sempre procurando atender nossas necessidades em busca de novas conquistas.

A todos que estiveram presentes e contribuíram de alguma forma para realização deste trabalho.

## **BIOGRAFIA DO AUTOR**

**LEONARDO CUNHA MELO**, filho de Gentil Carneiro de Melo e Maria Helena de Fátima Cunha Melo, natural de Araguari, Estado de Minas Gerais, nasceu em 29 de agosto de 1969.

Graduou-se no curso de Engenharia Agrônômica em julho de 1993, pela Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Uberlândia, Estado de Minas Gerais.

Foi bolsista do Programa Especial de Treinamento (PET), do curso de Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia, instituído pela Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), durante o período de fevereiro de 1992 a julho de 1993.

Em agosto de 1993, iniciou o curso de mestrado em Agronomia, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, na Universidade Federal de Lavras - UFLA, concluindo-o em Janeiro de 1996.

## SUMÁRIO

	página
LISTA DE TABELAS .....	vii
RESUMO .....	xi
SUMMARY .....	xiii
1 INTRODUÇÃO .....	01
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	04
2.1 Efeito da baixa temperatura no desenvolvimento do feijoeiro .....	04
2.2 Controle Genético da tolerância à baixa temperatura.....	06
2.3 Seleção para tolerância à baixa temperatura.....	11
2.4 Escolha de Genitores.....	14
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	23
3.1 Genitores utilizados. ....	23
3.2 Obtenção das gerações F <sub>1</sub> , F <sub>2</sub> , F <sub>3</sub> e F <sub>4</sub> .....	24
3.3 Delineamento experimental e avaliação das populações segregantes.....	25
3.4 Análise Estatística.....	26
3.4.1 Análise de variância.....	26
3.4.2 Estimativas da variância genética e herdabilidade no sentido amplo (h <sub>a</sub> <sup>2</sup> ) dentro das populações segregantes.....	30
3.4.3 Análise do dialelo.....	32
4 RESULTADOS .....	38
5 DISCUSSÃO .....	56
5.1 Condições experimentais.....	56
5.2 Época de florescimento.....	59
5.3 Produtividade de grãos.....	60
6 CONCLUSÕES .....	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela</b>		<b>Página</b>
1	Origem, cor de tegumento da semente, peso de 100 sementes e hábito de crescimento das onze linhagens utilizadas no cruzamento dialélico, Lambari/Lavras-MG, 1995.....	24
2	Esquema de análise de variância do delineamento em látice, para cada experimento isolado, antes do agrupamento. Lavras/Lambari-MG, 1995.....	27
3	Esquema de análise conjunta para locais, dentro de cada geração, considerando o modelo fixo, exceto para repetições e erros experimentais. Lavras/Lambari, 1995.....	28
4	Esquema de análise conjunta das gerações ( $F_3$ e $F_4$ ) e locais (Lavras e Lambari), considerando o modelo fixo, exceto para repetições e erros experimentais. Lavras/Lambari, 1995.....	30
5	Análise de variância segundo o método III de Griffing (1956), ao nível de total, com as respectivas esperanças do quadrado médio, considerando o efeito dos genitores como fixo. Lavras/Lambari-MG, 1995.....	33

	Página
6	Resumo das análises de variância da produtividade de grãos (kg/ha), das gerações $F_3$ e $F_4$ em Lavras e Lambari, 1995..... 40
7	Resumo das análises de variância do número de dias para florescimento, das gerações $F_3$ e $F_4$ em Lavras, 1995..... 41
8	Resumo da análise de variância conjunta da produtividade de grãos (kg/ha) para locais (Lambari e Lavras) dentro da geração $F_3$ e $F_4$ , 1995..... 42
9	Resumo da análise de variância conjunta da produtividade de grãos (kg/ha) para as gerações $F_3$ e $F_4$ dentro de locais (Lambari e Lavras), 1995..... 43
10	Resumo da análise de variância conjunta geral da produtividade de grãos (kg/ha) envolvendo as gerações $F_3$ e $F_4$ e os locais Lambari e Lavras, 1995..... 45
11	Resumo da análise de variância conjunta do número de dias para o florescimento para as gerações $F_3$ e $F_4$ em Lavras, 1995..... 46
12	Valores médios das populações segregantes (acima da diagonal) e dos recíprocos (abaixo da diagonal), nas duas gerações ( $F_3$ e $F_4$ ), para o número de dias para o florescimento. Lavras, 1995..... 47
13	Valores médios das populações segregantes (acima da diagonal) e dos recíprocos (abaixo da diagonal), nas duas gerações ( $F_3$ e $F_4$ ) e nos dois locais (Lavras e Lambari), para a produtividade de grãos (kg/ha). Lavras/Lambari, 1995..... 48

	Página	
14	Estimativas do efeito recíproco (acima da diagonal), capacidade geral (CGC) e específica de combinação (CEC) (abaixo da diagonal), na média das gerações $F_3$ e $F_4$ , para o número de dias para o florescimento. Lavras, 1995.....	49
15	Estimativas do efeito recíproco (acima da diagonal), capacidade geral (CGC) e específica de combinação (CEC) (abaixo da diagonal), na média das gerações ( $F_3$ e $F_4$ ) e locais (Lavras e Lambari), para produtividade de grãos (kg/ha). Lavras/Lambari, 1995.....	50
16	Estimativas da capacidade geral de combinação por local (Lavras e Lambari) e geração ( $F_3$ e $F_4$ ) para produtividade de grãos (kg/ha). Lavras/Lambari, 1995.....	51
17	Estimativas da variância genética (antes da barra, em $g^2/planta$ ), herdabilidade (depois da barra, em %) da produtividade de grãos, obtida na geração $F_3$ . Lavras, 1995.....	53
18	Estimativas da variância genética (antes da barra, em $g^2/planta$ ), herdabilidade (depois da barra, em %) da produtividade de grãos, obtida na geração $F_4$ . Lavras, 1995.....	53
19	Estimativas da variância genética (antes da barra, em $g^2/planta$ ), herdabilidade (depois da barra, em %) e média (entre parênteses, em kg/ha) da produtividade de grãos, obtidas nas gerações $F_3$ e $F_4$ . Lavras, 1995.....	54

	<b>Página</b>
20	Resumo da análise de variância da incidência de antracnose ( <i>Colletotrichum lindemuthianum</i> ), nas gerações F <sub>3</sub> e F <sub>4</sub> em Lavras e Lambari, 1995..... 55
21	Resumo da análise de variância conjunta da incidência de antracnose ( <i>Colletotrichum lindemuthianum</i> ), nas gerações F <sub>3</sub> e F <sub>4</sub> em Lavras e Lambari, 1995..... 55

## RESUMO

**MELO, Leonardo Cunha. Escolha de genitores visando a obtenção de cultivares de feijoeiro tolerantes à baixa temperatura na fase adulta. Lavras: 1996. 80p. (Dissertação - Mestrado e Genética e Melhoramento de Plantas)\***

Tradicionalmente utiliza-se as mesmas cultivares de feijoeiro em todas as épocas de plantio, e isto contribui para reduzir a produtividade da cultura, devido a pequena adaptação destas cultivares às condições específicas de cultivo. Visando melhorar o feijoeiro para tolerância ao frio na fase adulta, o objetivo deste trabalho foi obter informações sobre o controle genético dessa tolerância, verificar a ocorrência da interação da capacidade combinatória por locais e gerações e identificar as populações mais promissoras para efetuar seleção. A avaliação foi realizada na época de outono/inverno de 1995, em duas gerações ( $F_3$  e  $F_4$ ) e em dois locais: na área experimental do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras, em Lavras-MG e na fazenda experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), em Lambari-MG. As linhagens utilizadas no dialélio foram: Rio Vermelho, Small White, CNF-05, A-488, Carioca, Ouro, IPA-7419, ESAL-591, ESAL-609, A-354, ESAL 501. Essas linhagens foram cruzadas de acordo com o esquema dialélico completo, sendo avaliadas 105 populações, incluindo os cruzamentos e seus recíprocos. Cinco populações não foram avaliadas devido ao pequeno número de sementes disponíveis. O delineamento experimental foi em látice triplo parcialmente balanceado. Em cada local foram instalados quatro experimentos, sendo dois para geração  $F_3$  e dois para geração  $F_4$ . Realizou-se a análise agrupada dos experimentos

---

\* Orientador : João Bosco dos Santos. Membros da banca : Antônio Nazareno Guimarães Mendes e Daniel Furtado Ferreira.

em cada geração. Foram analisados dados relativos à produtividade de grãos (kg/ha), incidência de antracnose e época de florescimento (Lavras). Em cada parcela, nas gerações F<sub>3</sub> e F<sub>4</sub>, em Lavras, foram amostradas 15 plantas das populações previamente definidas e 10 plantas das parcelas dos genitores, para estimativa da variância genética e herdabilidade no sentido amplo da produtividade de grãos. A análise dialélica, com as médias ajustadas e o erro efetivo médio, foi realizada por meio da decomposição da soma de quadrado de tratamentos, utilizando o método III, descrito por Griffing (1956). Os resultados mostraram que os genitores diferiram com relação a época de florescimento e produtividade de grãos sob condições de baixa temperatura na fase adulta do feijoeiro. Destacou-se a cultivar Small White como a mais precoce, A-488, Ouro e ESAL 591 como as mais tolerantes e CNF-05, Rio Vermelho e ESAL 501 como as mais sensíveis ao frio. Foi observado a presença de efeito aditivo, dominante e recíproco no controle genético da produtividade de grãos sob condições de frio na fase adulta. No entanto, o efeito aditivo foi o predominante, indicando a maior importância das estimativas da capacidade geral de combinação. O efeito recíproco explicou uma pequena parte da variação encontrada, sendo este muito heterogêneo e presente de forma significativa em poucas populações. Para época de florescimento foi observado somente a presença de efeito aditivo dos genes. A capacidade geral de combinação interagiu com locais e gerações, enquanto que a capacidade específica de combinação interagiu apenas com locais e o efeito recíproco apenas com gerações. Essas interações indicam que para obtenção de estimativas precisas e confiáveis deve-se avaliar as populações em vários locais e várias gerações. As estimativas da variância genética e herdabilidade no sentido amplo foram heterogêneas entre as populações, mostrando que elas representam um fator complementar para auxiliar na escolha dos genitores. A população A-488 X Ouro apresentou a maior média de produtividade de grãos, com altos valores da variância genética e herdabilidade no sentido amplo, podendo-se esperar ganhos com a seleção. A população Esal 591 X Ouro também apresentou bom desempenho, sendo uma opção para desenvolver materiais tolerantes à baixa temperatura na fase adulta e com grãos tipo carioca, que possuem boa aceitação comercial.

## SUMMARY

### CHOICE OF PARENTS FOR BREEDING COMMON BEAN TOLERANT TO LOW TEMPERATURE IN ADULT PHASE

Usually the same common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars are used in every seasons of the year. That procedure has reduced the average grain yield due to the specific adaptation of the cultivars. Aiming to improve the common bean to tolerate low temperature in the adult phase of the plant, it was evaluated the general combining ability (CGA) and specific combining ability (SCA) of eleven lines. It was also estimated the genetic variance, and the wide sense heritability ( $h_a^2$ ) of the  $F_3$  e  $F_4$  segregant populations derived from crosses among the lines through diallel scheme. The lines used were Rio Vermelho, Small White, CNF-05, A-488, Carioca, Ouro, IPA-7419, ESAL-591, ESAL-609, A-354, ESAL 501, from which it was obtained 105 segregant populations, including crosses and reciprocals. Five of them were not available due to the low seed number. The  $F_3$  and  $F_4$  segregant populations were evaluated in the fall-winter of 1995 in the Department of Biology of the Universidade Federal de Lavras, in Lavras-MG, and in the Experimental Station of the Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, in Lambari-MG. It was used the lattice square design with three replications. In each site it was set up four experiments, two of the  $F_3$  generation, and two of the  $F_4$ . Then, the populations of diallel table in each generation, were analysed in one group. The traits evaluated were grain yield (kg/ha), number of days to flowering (Lavras) and antracnosis resistance. It was taken the grain yield of 15 plants per plot, in each  $F_3$  and  $F_4$  population, and of 10 plants per plot, in each parent,

for estimating the genetic variance, and the  $h_a^2$ . The diallel analysis was set up, using the adjusted means and the effective error, and following the method III of Griffing (1956). The parents differed based on number of days to flowering and grain yield, under low temperature in the adult phase of the plant. The Small White parent was the earliest, A-488, Ouro, and ESAL 591 were the most tolerant to low temperature, and CNF-05, Rio Vermelho, and ESAL 501 were the most sensible. The genetic control of grain yield under low temperature was due to additive, dominant and reciprocal effects. However, the additive effect was the most important emphasising the high usefulness of the general combining ability estimates. The reciprocal effect was significant only in a few populations. The dominance expressed on grain yield seemed to be bidirectional, that means some dominant alleles increasing cold tolerance, and others decreasing it. The Number of days to flowering was controlled only by additive genes. The general combining ability interacted by sites and generations, the specific combining ability interacted only by sites, and reciprocal effects interacted only by generations. Those interactions show that populations must be evaluated in different sites and generations for estimating more reliable genetic parameters, and increasing the efficiency of selection. The genetic variance and wide sense heritability were different among populations showing their values as a complement for helping select parents. The population A-488 x Ouro is the most promising for selecting lines because it had the highest grain yield associated with high values of genetic variance and  $h_a^2$ .

## **1 INTRODUÇÃO**

A cultura do feijão em Minas Gerais é realizada em três épocas distintas - nas "águas", na "seca" e no "inverno". Normalmente o plantio das "águas" é realizado em outubro e novembro, o da "seca" em fevereiro e março e o de inverno de abril a julho. A maior parcela da produção mineira de feijão é proveniente dos plantios das "águas" e da "seca"; outra parte vem do cultivo do feijão de outono/inverno. Entretanto, o aumento na produção do feijão de inverno foi a mais expressiva ao longo do período 1984/93, pois a participação da área cultivada com feijão de inverno aumentou de 2% em 1984, para 11% em 1993, e a produção, no mesmo período, passou de 4% para, praticamente, 28% (Moura, Paiva e Resende, 1994). Desta forma, embora a produção na época de inverno tenha representado aproximadamente um terço da produção total do estado, a área utilizada foi de apenas 11%, devido a maior produtividade, em função do maior uso de tecnologia e do sistema de monocultivo.

O plantio de "inverno" no Estado abrange um período bastante amplo, em função principalmente da variação da temperatura. No caso da região Sul, que é a segunda maior em produção de Minas Gerais, os plantios são feitos essencialmente entre 15 de julho e 15 de agosto, devido ao frio intenso nos meses de junho e julho, inclusive com ocorrência de geadas. Com essas épocas de plantio, o solo geralmente não é utilizado nos meses de abril a junho, pois não se desenvolveu cultivares que tolerem as baixas temperaturas que, normalmente, coincidem com o final da fase vegetativa e parte da fase reprodutiva. Além disto, também é bastante comum o atraso do plantio da seca, principalmente devido à baixa pluviosidade e ao atraso da colheita da cultura "das águas". Neste caso a época de semeadura que, normalmente, seria realizada entre fevereiro e março, é transferida para abril ou maio e muito

provavelmente, a cultura atingirá a fase adulta entre os meses de junho e julho, quando normalmente vigoram baixas temperaturas.

Tradicionalmente se utiliza as mesmas cultivares em todas as épocas de plantio, e isto contribui para reduzir a produtividade da cultura, devido a pequena adaptação destas cultivares às condições climáticas do outono/inverno. As baixas temperaturas podem reduzir os rendimentos do feijoeiro por meio do abortamento de sementes, causados basicamente pelas falhas dos órgãos reprodutivos masculino e feminino, além de provocar uma redução no crescimento dos ramos. Com o desenvolvimento de cultivares tolerantes ao frio na fase adulta certamente se viabilizaria uma exploração mais eficiente da infra-estrutura agrícola, além da colheita ocorrer em época mais adequada.

Existe uma ampla variabilidade genética no germoplasma nacional e introduzido, e que é essencial para qualquer programa de melhoramento. Com a recombinação dessa variabilidade existe a possibilidade de produzir cultivares tolerantes à baixa temperatura na fase adulta da cultura. Porém, a recombinação criteriosa dessa variabilidade depende da condução de programas de melhoramento que se baseiam em primeiro lugar, na identificação dos genitores mais promissores.

Uma técnica que auxilia na escolha de genitores com base nos seus valores genéticos e principalmente, considerando a capacidade deles se combinarem em híbridos, que produzam populações segregantes promissoras, é a de cruzamentos dialélicos (Ramalho, Santos e Zimmermann, 1993). As metodologias de análise dialélica tem por finalidade fornecerem estimativas de parâmetros úteis na seleção de genitores para a hibridação, e no entendimento dos efeitos genéticos envolvidos na determinação dos caracteres (Cruz e Regazzi, 1994). No entanto, esta técnica tem a desvantagem de necessitar da realização de muitos cruzamentos quando se testa um grande número de possíveis genitores. Além disso, a análise dialélica não informa, de maneira clara, sobre os locos segregantes, que são muito importantes para se conhecer as chances de se conseguir linhagens com desempenho superior. Oliveira (1995) relata que a capacidade específica de combinação não depende somente dos locos em heterozigose, pois é um desvio em relação a média. Portanto, não informa de forma precisa a quantidade de locos segregantes. Assim, além da análise dialélica é

importante se conhecer a variância genética das populações para poder inferir sobre o verdadeiro potencial de cada uma.

Outro parâmetro importante na escolha da população segregante é a herdabilidade no sentido amplo, que indica qual a proporção da variação total é devido a fatores genéticos, podendo-se inferir sobre a magnitude dos ganhos com a seleção. Desta forma, a escolha de genitores, por meio da análise dialélica, da estimativa da variância genética e herdabilidade, visando a adaptação do feijoeiro à baixa temperatura na fase adulta, pode contribuir para obtenção de novas cultivares ou mesmo para fornecer novos genótipos úteis para o melhoramento.

Um dos fatores que dificulta o processo de seleção é a ocorrência da interação genótipos por ambientes. Desta forma, a análise dialélica em vários ambientes e gerações permite avaliar as populações segregantes sem a influência dessas interações, conseguindo-se estimativas mais confiáveis da capacidade combinatória, possibilitando assim uma escolha mais criteriosa dos genitores.

Assim, esse trabalho visou obter informações sobre o controle genético da tolerância ao frio na fase adulta do feijoeiro, verificar a ocorrência da interação da capacidade combinatória por locais e por gerações, e identificar as populações mais promissoras para se efetuar seleção, sob condições de baixas temperaturas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Efeito da baixa temperatura no desenvolvimento do feijoeiro

As cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris*) são, geralmente, suscetíveis às injúrias causadas pelas baixas temperaturas em todos os estágios de desenvolvimento. Temperaturas inferiores a 10°C durante a embebição e germinação podem resultar em redução do vigor da semente e em injúria permanente. Temperaturas constantemente abaixo de 15 a 16° podem resultar no impedimento do desenvolvimento das plantas (Dickson e Petzoldt, 1987).

A temperatura ótima para germinação, crescimento e produção do feijoeiro situa-se entre 18 e 30°C (Camargo, 1972 ; Vieira, 1967). A temperatura mínima, para a germinação e emergência do feijoeiro, varia de 7 a 10,3°C, ocorrendo variação dentro da espécie (Roeggen, 1987). Em temperaturas constantes e abaixo de 11°C, o feijoeiro pode conseguir germinar através do rompimento do tegumento da semente pela radícula, mas geralmente ele não consegue emergir no solo e as sementes podem apodrecer, devido ao ataque de fungos (Dickson, 1971 ; Kooistra, 1971). Isto mostra que temperaturas baixas e constantes na fase de germinação são extremamente prejudiciais ao estabelecimento inicial do estande de plantas.

Stobe e Hombord (1966) verificaram que o termoperíodo ideal para a produtividade máxima do feijoeiro situa-se em torno de 29,5/ 21,0°C (dia/ noite). A temperatura baixa, da mesma forma que a alta, reduz o rendimento do feijão. Temperaturas inferiores a 16° - 18°C são nocivas ao crescimento da planta (Vieira, 1967). O crescimento do feijoeiro parece ser mais dependente das temperaturas noturnas (Guazzelli, 1978).

As injúrias causadas pelo frio acarretam danos nas membranas das células, levando-as a um aumento na sua permeabilidade e, conseqüentemente, a um desbalanço nas suas atividades metabólicas (Christiansen, 1967; Levitt, 1972; Lyons, 1973; Covey, 1982; Herner, 1986; Markhart, 1986). Herner (1986) relata que diferenças na composição das membranas de plantas sensíveis e resistentes à baixa temperatura explicam uma maior injúria em plantas sensíveis ao frio, nas quais ocorre uma grande perda de substâncias pelas sementes, durante o processo de embebição, incluindo aminoácidos, açúcares, ácidos orgânicos, ácido giberélico, fenólicos e fosfatos.

Holaday *et. al.* (1992) realizaram um trabalho com o objetivo de determinar a resposta do metabolismo fotossintético do carbono em feijoeiro sob condições de baixas temperaturas e verificaram que a inabilidade do feijoeiro em ativar totalmente certas enzimas da fotossíntese em temperaturas de 10°C, pode ser um dos fatores para explicar seu baixo desempenho em baixas temperaturas.

Izhar e Wallace (1967) observaram que em temperaturas noturnas próximas a 10°C o feijoeiro freqüentemente não começa a fotossintetizar eficientemente antes do meio-dia. Observou também que depois de submetidas à temperaturas noturnas abaixo de 7°C as folhas das cultivares resistentes retornam a posição horizontal mais rápido que as outras cultivares, e sobre condições de baixa temperatura, as folhas das cultivares susceptíveis poderiam permanecer pendentes por todo o dia.

Tem havido concordância entre os trabalhos de que a germinação de pólen de feijoeiro é menor em baixas temperaturas (Dickson e Boettger, 1984). Entretanto, por problemas provavelmente metodológicos, tem havido diferenças em termos quantitativos. Farlow, Byth e Kruger (1979) trabalharam com grãos de pólen do feijoeiro "in vitro" e encontraram que a sua germinação foi zero a 4,5° C, com declínio a partir de 10° C. Por outro lado, Dickson e Boettger (1984) trabalhando também com pólen de feijoeiro, porém "in vivo", encontraram resultados diferentes: a germinação dos pólen foi menor às temperaturas de 8° C e 12° C do que a 18° C. Concluíram ainda, haver grande diferença varietal para essa característica.

O crescimento do tubo polínico é também retardado por temperaturas inferiores a 16,7° C, ocasionando redução no vingamento de sementes. Da mesma forma, a temperatura baixa, em especial a noturna, ocasiona abortamento de óvulos (Dickson e Boettger, 1984). Farlow (1981), trabalhando com *Phaseolus vulgaris* observou que, em temperaturas baixas, as plantas produziram poucas vagens e sementes e houve poucas sementes por vagem. Os resultados mostraram também que nenhuma semente conseguiu desenvolver-se a 10°C. As temperaturas acima de 12,8°C não tiveram influência sobre o número de vagens, mas houve progressivo aumento no número de sementes por vagem até 21°C, não havendo porém diferenças significativas entre os valores obtidos nas faixas de temperatura de 13,9 e 21°C. Portes (1988) ressalta que neste trabalho as plantas na fase reprodutiva foram colocadas em ambientes controlados e submetidas a temperatura constante. Havendo alternância de temperaturas baixas e altas, em especial da noite e do dia, provavelmente os valores obtidos seriam outros. Neste caso, possivelmente, as plantas poderiam ser submetidas a temperaturas baixas, talvez abaixo de 10°C, sem que houvesse abortamento total dos óvulos. Farlow (1981) sugere que o abortamento de sementes por baixa temperatura pode resultar de falhas dos órgãos reprodutivos masculino ou feminino, por afetar a viabilidade do pólen ou o crescimento do tubo polínico. O autor observou ainda que o abortamento de sementes na vagem não ocorre aleatoriamente entre os diversos alojamentos dos óvulos. Em condições de baixa temperatura os óvulos situados na extremidade final da vagem foram mais propensos a vingar do que os da extremidade oposta.

## **2.2 Controle Genético da tolerância à baixa temperatura**

O cultivo de plantas da maioria das espécies, normalmente, apresenta problemas com estresse de temperatura em alguma fase de desenvolvimento. Para enfrentar esta situação de estresse as plantas possuem mecanismos adaptativos que são regulados pela temperatura (Fowler et. al., 1993).

A tolerância a baixas temperaturas em feijoeiro é relatada em três fases distintas: germinação e emergência (Dickson, 1971; Kooistra, 1971; Hardwick, 1972; Dickson & Boettger, 1984; Holubowicz, 1986; Dickson & Petzoldt, 1987; Otubo, 1994), na fase vegetativa (Kemp, 1978; Dickson & Boettger, 1984; Thomas & Sprent, 1984 e Dickson & Petzoldt, 1987) e fase reprodutiva (Kemp, 1973; Dickson & Boettger, 1984; Thomas & Sprent, 1984 e Dickson & Petzoldt, 1987). Existem evidências que a tolerância ao frio, nas diferentes fases de desenvolvimento, possui controle genético independente (Kemp, 1978 e Dickson & Petzoldt, 1987). Isto implica que os genes que controlam a tolerância ao frio no feijoeiro nestas três fases de desenvolvimento são diferentes. Além disso pode-se concluir que estes genes não possuem ligação entre si, portanto ou estão localizados em cromossomos diferentes ou estão em locos gênicos muito distantes dentro de um mesmo cromossomo. Isto mostra que a obtenção de um material tolerante ao frio em uma fase do desenvolvimento não necessariamente implica em tolerância nas outras fases.

Dentro do gênero *Phaseolus*, existe uma grande variabilidade na resposta à baixa temperatura, sendo que vários materiais já foram identificados como tolerantes ao frio, nas várias fases de desenvolvimento da planta ( Dickson, 1971; Kooistra, 1971; Hardwick, 1972; Dickson, 1973; Kemp, 1973; Kemp, 1978; Dickson & Boettger, 1984; Thomas & Sprent, 1984; Dickson & Petzoldt, 1987; Holubowicz & Dickson, 1989; Otubo, 1994)

Até o momento poucos trabalhos foram publicados com relação a estudos genéticos da tolerância à baixas temperaturas em feijoeiro (Dickson, 1971; Dickson, 1973; Dickson & Boettger, 1984; Dickson & Petzoldt, 1987; Von Pinho, 1990; Otubo, 1994). Na sua maioria, estes trabalhos foram realizados sob condições de frio artificiais em laboratório e envolveram caracteres como percentagem de germinação, vigor de plântulas, dias para a emergência e dias para o florescimento.

Um dos primeiros estudos do controle genético da tolerância a baixas temperaturas em feijoeiro foi realizada por Dickson (1971). Neste trabalho, foram utilizadas populações F1, F2 e retrocruzamento obtidos da hibridação de duas linhagens que apresentaram boa germinação em baixas temperaturas. Nenhum modelo consistente de segregação foi identificado, o que não foi surpresa, pois a estimativa da

herdabilidade para a germinação em baixa temperatura foi de apenas 35%. Encontrou-se uma forte associação entre a cor da semente e a resistência a organismos do solo, com boa germinação em baixas temperaturas. Entretanto, algumas linhagens de sementes brancas também apresentaram boa germinação em baixas temperaturas e resistência a organismos de solo.

Dickson e Boettger (1984) estudaram a resposta de 20 linhas de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) às condições de baixas temperaturas em três estágios de desenvolvimento: germinação, crescimento vegetativo e florescimento. A avaliação da germinação a 12°C foi preferível do que de 8 a 10°C, pois naquela temperatura ocorreu melhor discriminação do material analisado. O crescimento a 16°C identificou linhas de maturação precoce sob condições de frio. A relação de temperatura 25°C/8°C (dia/noite) durante o florescimento identificou as linhas capazes de produzir sementes em baixas temperaturas. Os caracteres utilizados tiveram boa correlação com o desempenho em campo para porcentagem de emergência, vigor de planta e produção sob condições de crescimento em baixas temperaturas.

Dickson & Petzoldt (1987) obtiveram sucesso no estudo da herança da tolerância à baixa temperatura em feijoeiro, para características de germinação, dias para florescimento, vigor de plântulas, vigor vegetativo e produção de vagens. Duas linhagens, uma apresentando boa germinação em baixa temperatura, florescimento em 61 dias a 16°C e boa capacidade para produção de vagens a 16°C e a outra, apresentando má germinação, 73 dias para o florescimento a 16°C, baixo vigor de plântulas e baixa produção de vagens a 16°C foram utilizadas para obtenção das gerações F1, F2 e retrocruzamentos. A herdabilidade no sentido restrito, foi de 28%, 56%, 45% e 74%, respectivamente, para germinação, vigor de plântulas, vigor vegetativo e dias para o florescimento, avaliados em casa de vegetação com temperatura constantes de 16°C. Para todas as características estudadas, os resultados indicaram a presença de efeitos aditivos. Valores altos da herdabilidade no sentido restrito, para algumas características avaliadas, indicam que poucos genes estavam envolvidos no controle destas características. Em geral, dias para o florescimento tiveram uma baixa correlação com vigor vegetativo, vigor de plântulas e

germinação. Baixa correlação também foi encontrada entre germinação, vigor de plântulas e vigor vegetativo, confirmando que estas características, muito provavelmente, são controladas por genes diferentes e independentes.

Otubo (1994), cruzou algumas linhagens utilizadas neste trabalho, no esquema dialélico, para estudar o controle genético da tolerância à baixa temperatura na fase de germinação do feijoeiro. Observou que a ação gênica aditiva foi a predominante e ficou evidenciada a possibilidade de se obter linhagens mais tolerantes à baixa temperatura que as existentes, o que mostra ser promissor o melhoramento para este caráter.

A tolerância à baixa temperatura é um caráter quantitativo, sendo os genes expressos quando as plantas são expostas às temperaturas muito baixas. Apesar de alguns estudos já realizados, não existe um consenso geral sobre o tipo de expressão dos genes que controlam a manifestação desse caráter. Existem trabalhos onde foram encontrados locos com alelos recessivos, dominantes, aditivos e sobredominantes para os genes que controlam a resistência à baixa temperatura (Stushnoff, Fowler e Brule-Babel, 1984). Muito desta grande diversidade de resultados pode ser devido às diferentes temperaturas e genótipos utilizados para avaliar a tolerância à baixa temperatura. Dependendo da temperatura e dos genótipos utilizados no estudo, pode se chegar a resultados totalmente discrepantes.

Deste modo, embora existam exemplos de locos com ação gênica não aditiva, o controle genético da tolerância à baixa temperatura em feijoeiro, para alguns caracteres como percentagem de germinação, vigor de plântulas e dias para a emergência, parece ser poligênico (mas com poucos genes), com a predominância da ação gênica aditiva.

Em razão dos poucos trabalhos sobre o controle genético da tolerância ao frio em feijoeiro não se pode fazer afirmações conclusivas sobre este assunto. Cabe observar que, para as mesmas condições ambientais, a possível predominância da ação gênica aditiva é favorável. Isso permitirá a obtenção de maiores sucessos na seleção de linhagens tolerantes, em razão das maiores estimativas de herdabilidade no sentido restrito e portanto maiores ganhos com a seleção. Esses fatos justificam a

realização de programas eficientes de melhoramento, que visem à obtenção de cultivares tolerantes à baixa temperatura (Dickson, 1971; Dickson & Petzoldt, 1987).

Além de se conhecer qual o tipo de ação gênica predominante nos locos que controlam a tolerância à baixa temperatura, também é importante saber quais os outros fatores que podem interferir na variação genética de uma população. Um destes fatores é o efeito de genes citoplasmáticos. Apesar de , normalmente, não ser um efeito significativo na composição da variação de populações de feijoeiro em condições de temperaturas normais, pode ser significativo em condições de baixa temperatura. Fowler et. al. (1993) relatam que fatores citoplasmáticos podem influenciar o controle da tolerância à baixas temperaturas. Em condições de temperatura normal também têm sido observadas diferenças entre os cruzamentos e seus recíprocos para alguns caracteres do feijoeiro, como: produção de grãos por planta, número de vagens por planta, número de sementes por planta, dias para floração, altura da planta e comprimento médio dos internódios (Davis e Frazier, 1966; Davis, 1973; Leiva, 1978; Foolad e Bassari, 1983). Porém, estas diferenças são inconsistentes (Santos, 1984). Desta forma, a maioria dos estudos tem concluído que os efeitos citoplasmáticos são de menor importância, e quando presentes tem função secundária no mecanismo de controle da tolerância à baixa temperatura. No entanto, Otubo (1994) relata que não foi observado efeito dos cruzamentos recíprocos, tanto para o índice de velocidade de germinação, quanto para a porcentagem de germinação sob condições de baixas temperaturas.

O feijoeiro também é cultivado em regiões onde as altas temperaturas durante a fase reprodutiva reduzem seu potencial produtivo. Com relação ao controle genético da tolerância a alta temperatura constatou-se a predominância da ação gênica aditiva, embora a dominância e os efeitos recíprocos também tenham sido significativos (Shonnard e Gepts, 1994).

### 2.3 Seleção para tolerância à baixa temperatura

A domesticação do feijoeiro ocorreu, provavelmente, em três centros diferentes: o primeiro corresponde a América Central, cujas temperaturas são mais elevadas, onde foram domesticados feijoeiros de sementes pequenas; o segundo ao Sul dos Andes (Peru e Argentina), em condições de temperaturas mais baixas, onde foram domesticados feijoeiros de sementes grandes e; o terceiro, de menor importância, ao Norte dos Andes, em condições de temperaturas mais baixas, região em que também foram domesticados feijoeiros de sementes pequenas (Singh, 1989). Desta forma, conforme este modelo de domesticação, o feijoeiro comum pode ser cultivado em uma amplitude muito grande de condições climáticas, evidenciando com isso que deve existir variabilidade genética para a tolerância do feijoeiro à baixa temperatura.

A oportunidade para seleção de materiais tolerantes à baixa temperatura no campo, normalmente, só ocorre durante o inverno. Desta forma a avaliação destes materiais em campo ocorre no máximo na razão de 1 geração por ano. A baixa frequência de invernos com temperaturas críticas para seleção e a não uniformidade do nível de estresse dentro do experimento, que resulta em altos erros experimentais, são limitações adicionais a maior efetividade dos experimentos conduzidos em campo (Fowler et. al. 1993). Todavia, enquanto ambientes controlados poderiam, teoricamente, mostrar um controle mais rígido das condições ambientais, estudos comparativos mostram que experimentos em campo, normalmente, proporcionam resultados com maior repetibilidade e menores erros experimentais.

Kooistra (1971) foi um dos primeiros a mostrar resultados de cruzamentos e seleções, visando o desenvolvimento de linhagens tolerantes ao frio. Nesse trabalho, identificaram-se algumas cultivares de *Phaseolus vulgaris* e de outras espécies de *Phaseolus*, que apresentaram alta capacidade de germinação em baixa temperatura. Posteriormente, realizou-se o cruzamento de duas cultivares de *Phaseolus vulgaris*, "Contesse de Chambord" que apresenta sementes pequenas e brancas e com alta capacidade de germinação em baixas temperaturas e "Widusa", que apresenta baixa capacidade de germinação em baixas temperaturas (9,5°C). As sementes da geração

F<sub>1</sub> e das gerações seguintes foram testadas para germinação em 9,5°C, usando os pais como controle. A taxa de germinação das gerações F<sub>1</sub> e F<sub>2</sub> mostraram uma posição intermediária entre os pais, evidenciando, possivelmente, a presença de efeitos aditivos. Na geração F<sub>2</sub>, as progênies que germinaram mais rápido foram selecionadas e tiveram suas sementes plantadas na geração seguinte. A partir de F<sub>3</sub>, foram selecionadas progênies com boas características agrônomicas e com alta capacidade de germinação a 9,5°C. Na geração F<sub>6</sub>, algumas linhagens apresentaram nível de germinação bem próximo do genitor que apresentava alta germinação em baixas temperaturas (9,5°C), o que evidenciou a possibilidade de se obter linhagens com boas características agrônomicas e com alta germinação em baixas temperaturas.

Dias, Santos e Ramalho (1992), promoveram seleção de progênies de feijoeiro adaptadas ao cultivo no inverno do sul de Minas Gerais, quando submetidas à baixa temperatura na germinação e fase jovem, na população Rio Tibagi X Carioca 300V. Observaram que é possível identificar e selecionar progênies promissoras para o cultivo, principalmente para as condições de inverno do sul de Minas, com base no seu potencial produtivo, porte e resistência a *Colletotrichum lindemuthianum*.

Santos, Ramalho e Abreu (1993), promoveram seleção de progênies de feijoeiro na população Rio Tibagi x Esal 501 adaptadas às condições de inverno do sul de Minas Gerais, com a ocorrência de baixas temperaturas na fase jovem da cultura. As populações com 50% e 75% dos alelos da cultivar Rio Tibagi foram conduzidas no período de inverno até as gerações F<sub>4</sub> e F<sub>5</sub>, respectivamente. Destas populações foram retiradas 298 progênies as quais foram avaliadas no inverno e selecionadas as mais promissoras durante três ciclos sucessivos. Foram mantidas 8 progênies tolerantes ao frio, hábito de crescimento arbustivo, alto potencial produtivo e grãos semelhantes ao da cultivar Carioca. Os autores afirmam que no sul de Minas, para essa época do ano, uma cultivar deve possuir, além de boa produtividade, tolerância ao frio, hábito de crescimento arbustivo, resistência a alguns patógenos e tipo de grãos aceitáveis pelo consumidor.

Von Pinho (1990), estudando a tolerância do feijoeiro à baixa temperatura, na fase de germinação e emergência, observou que entre as cultivares mais tolerantes, destacaram-se Small White, Rio Vermelho, Esal 610, CNF 246, CNF

05, A 488 e A 536. Entre as mais sensíveis mereceram destaque as cultivares Ouro, Esal 592, Carioca 300V e Carioca. No entanto, como já comentado, a tolerância à baixa temperatura na fase de germinação e emergência parece ter controle genético independente da tolerância a baixas temperaturas na fase adulta do feijoeiro, indicando que a tolerância em uma fase não, necessariamente significa tolerância na outra. Observou-se que entre os materiais avaliados como sensíveis às baixas temperaturas na germinação do feijoeiro estavam as cultivares Diacol Andino e Esal 501 que são consideradas tolerantes ao frio na fase adulta (Santos e Ramalho, 1987; Santos, Ramalho e Abreu, 1990). O autor observou que a cultivar Diacol Andino apresentou-se entre as quinze de melhor desempenho na avaliação em laboratório. Entretanto, o seu desempenho em condições de campo não foi muito satisfatório. Já a cultivar Esal 501 não apresentou um bom desempenho em nenhum experimento. Verificou-se ainda que houve uma acentuada variação genética entre as cultivares. Isto permite antever a possibilidade de sucesso com a seleção. Além disto não se encontrou nenhuma associação entre as características de cor e tamanho da semente e a tolerância à germinação em baixas temperaturas.

Otubo (1994) estudou o controle genético da tolerância do feijoeiro às baixas temperaturas na fase de germinação e concluiu que os genitores diferiram com relação à velocidade de germinação em baixa temperatura, destacando-se como os mais tolerantes os cultivares Small White, A-488 e Rio Vermelho, e como mais sensíveis Carioca, ESAL 609 e ESAL 591. Constatou-se que esses genitores com maiores valores para o índice de velocidade de germinação foram, também, os que apresentaram menores porcentagens de germinação.

Uma das causas que dificulta o processo de seleção, em qualquer condição experimental, é a ocorrência da interação genótipos por ambientes. Quando se analisa um cruzamento dialélico em vários ambientes e gerações, as interações desses componentes com os efeitos da capacidade geral, específica e com os efeitos recíprocos dificultam a identificação do tipo de controle genético e também a escolha dos genitores superiores. Em condições de baixa temperatura na fase adulta do feijoeiro, existem poucas informações sobre a influência dessas interações na análise dos cruzamentos dialélicos. No entanto, em condições de temperatura normal,

Ramalho, Santos e Pereira-Filho (1988) realizaram cruzamentos no esquema dialélico e avaliaram nove genitores e 20 populações segregantes nas gerações  $F_2$ ,  $F_3$  e  $F_4$ , em três locais. Os 29 materiais mostraram-se heterogêneos quanto a produtividade de grãos em todas as avaliações, com uma participação maior do efeito aditivo dos genes em relação ao efeito de dominância, principalmente nas gerações mais avançadas. Em cada local não se observou interações dos efeitos aditivos com gerações e nem de efeitos dominantes com gerações, no entanto, as interações de efeitos aditivos e de dominância com locais foram significativas. Isto sugere que a escolha das populações segregantes para o melhoramento deve ser baseada no desempenho médio das populações nos locais em que elas serão utilizadas, porém, independente da geração. Nienhuis e Singh (1988), analisando vários caracteres do feijoeiro, inclusive produtividade de grãos, estimaram a capacidade geral de combinação de várias linhagens em dois locais. Verificaram que havia muitas discordâncias dos valores obtidos para uma linhagem nos locais estudados, indicando assim a existência de interação de capacidade geral de combinação com ambiente.

## **2.4 Escolha de Genitores**

Ramalho, Santos e Zimmermann (1993) ressaltam que uma parcela importante do melhoramento é representada pela hibridação dos cultivares e linhagens, possibilitando a recombinação da variabilidade existente, para produzir novas cultivares adaptadas às diversas finalidades. No melhoramento por hibridação o objetivo é a associação em um mesmo indivíduo de dois ou mais fenótipos favoráveis que estão em linhagens diferentes. Através do cruzamento entre esses indivíduos é gerada uma população com suficiente variabilidade genética, na qual será praticada a seleção visando a obtenção de uma ou mais linhagens que reúnem os caracteres de interesse (Allard, 1971; Fehr, 1987). Na aplicação desse método o melhorista depara com três dificuldades, isto é; seleção dos genitores a serem cruzados, como realizar as hibridações e qual o processo de condução das populações segregantes. Uma das decisões mais importantes do melhorista é a escolha dos genitores para o programa de

hibridação. Isto porque o sucesso do programa é diretamente relacionado com a escolha criteriosa do material a ser cruzado, pois uma vez escolhidos os genitores equivocadamente, todas as demais etapas estarão comprometidas. Entre outros fatores, essa decisão depende dos caracteres a serem melhorados, do controle genético dos caracteres e da fonte de germoplasma disponível (Fehr, 1987).

Essa escolha permite que a maioria dos esforços dos melhoristas seja dedicada àquelas populações segregantes, potencialmente capazes de fornecer progênes superiores, traduzindo-se em maior eficiência do programa. Segundo Baezinger e Peterson (1991), todos os processos de escolha de genitores disponíveis podem ser agrupados nos que utilizam apenas as informações dos próprios genitores ou nos que utilizam o comportamento das suas progênes.

Entre os métodos de escolha dos genitores utilizando o seu próprio desempenho, o mais empregado é a média para o caracter em questão. O fundamento desse procedimento é que no controle da maioria dos caracteres do feijoeiro existe predominância da ação gênica aditiva (Ramalho, Santos e Zimmermman, 1993). Esse método, apesar de ser o mais utilizado, tem como desvantagem a impossibilidade de se antever a variabilidade genética gerada no cruzamento, isto é, o simples fato de dois pais apresentarem média alta não é por si só, condição suficiente para que o híbrido entre eles gere variabilidade necessária para se obter sucesso com a seleção. Isto decorre do fato de que os pais superiores podem possuir constituição genética semelhante, em conseqüência, a população híbrida irá apresentar poucos locos segregantes. Para contornar esses problemas pode-se utilizar a estimativa do grau de parentesco entre os pais envolvidos (Murphy, Cox e Rodgers, 1986) ou utilizar métodos multivariados para se avaliar a divergência genética (Cruz e Regazzi, 1994). Estas metodologias são utilizadas porque é esperado que o grau de parentesco e a divergência genética forneçam uma idéia do grau de complementaridade dos genitores envolvidos no cruzamento e portanto, do nível de variação da população segregante.

A avaliação da divergência pelo coeficiente de parentesco de Malécot, tem sido amplamente utilizada na cultura da soja (Toledo, 1992). O coeficiente de parentesco é dado pela probabilidade de que um alelo tomado ao acaso do indivíduo X seja idêntico por descendência a um outro alelo do mesmo loco tomado ao acaso do

indivíduo Y. Este método enfatiza a variação entre genitores, mas não necessariamente inclui a estimativa da média do genitor. Na prática, entretanto, é provável que linhagens com maiores médias e baixos coeficientes de parentesco poderão ser úteis em cruzamentos (Baenziger & Peterson, 1991). Este método se baseia nas genealogias dos candidatos a genitor, e considera que genótipos com menor grau de parentesco possuem maior divergência genética. No entanto, não fornece maiores informações sobre o controle genético e a variabilidade do caráter existente nos genitores. A estimativa da distância genética baseada em dados genealógicos só é possível quando a genealogia é conhecida e em indivíduos com algum grau de parentesco, podendo assim não ser aplicada a grande parte das comparações entre genótipos do germoplasma usado em programas de melhoramento (Triller, 1994).

Uma alternativa também utilizada por melhoristas para avaliar a divergência genética entre os genitores é a distância Euclidiana e distância generalizada de Mahalanobis,  $D^2$ . São estatísticas multivariada, enfatizando as variações de características agronômicas, morfológicas, genéticas e fisiológicas. A partir das distâncias Euclidianas entre os genitores procede-se ao agrupamento destes em grupos distintos. Os genótipos contidos dentro de um mesmo grupo possuem distâncias menores do que os situados em grupos diferentes, havendo portanto, maior semelhança genética entre os genótipos de um mesmo grupo do que entre genótipos de grupos distintos. A distância genética também pode ser obtida por marcadores moleculares de DNA, proteínas e isoenzimas. A vantagem dessas técnicas é a de detectar divergências genéticas diretamente no DNA ou em seus produtos diretos, mesmo nos genótipos de origem desconhecida e de plantas fenotipicamente semelhantes (Triller, 1994). No entanto, estas técnicas utilizam extensas porções do genoma que não codificam, o que pode levar a resultados pouco correlacionados com a divergência encontrada pela análise dos caracteres de importância econômica.

Entre os métodos utilizados na escolha de genitores para um programa de hibridação, com base no desempenho de suas progênes estão incluídos os cruzamentos dialélicos, método de Jinks e Paoni (1976) e o método da estimativa de "m + a".

Um sistema de cruzamentos dialélicos corresponde ao inter cruzamento de  $n$  materiais, dois a dois, produzindo  $n^2$  combinações possíveis, que correspondem aos  $n$  materiais,  $n(n-1)/2$  híbridos simples e  $n(n-1)/2$  recíprocos dos híbridos simples, perfazendo uma tabela dialélica completa. No entanto, a obtenção da tabela dialélica completa não é o único esquema de cruzamento utilizado. Variações desse esquema foram introduzidas, como a utilização dos híbridos e seus recíprocos, isto é, excluindo-se apenas os genitores totalizando  $n(n-1)$  combinações ou tratamentos experimentais, ou a utilização dos genitores e seus cruzamentos, sem os recíprocos, perfazendo  $n(n+1)/2$  combinações, e também a utilização apenas dos  $n(n-1)/2$  cruzamentos em razão da não inclusão dos genitores e dos cruzamentos recíprocos (Ramalho, Santos e Zimmermann, 1993).

Outro esquema de cruzamentos conhecido como dialelo parcial, corresponde ao inter cruzamento de dois grupos com  $I$  e  $J$  genitores. Experimentalmente são avaliados, além das  $IJ$  combinações híbridas, também os dois grupos de genitores. A principal vantagem desse esquema é o número sensivelmente menor de cruzamentos necessários, em comparação como o dialelo completo, Hallauer e Miranda Filho (1982).

Existem vários métodos propostos para análise das tabelas dialélicas. Entre eles, os mais empregados são os métodos de Jinks e Hayman (1953), Griffing (1956) e Gardner e Eberhart (1966).

O método de Jinks e Hayman (1953) pode utilizar as gerações  $F_1$ ,  $F_2$  e os retrocruzamentos, utilizando a tabela dialélica completa ou excluindo os recíprocos. Este método permite testar a presença dos efeitos genéticos aditivos e dominantes. No entanto, estima vários parâmetros à base de variâncias, dependendo portanto, de efeito aleatório dos genitores, o que raramente acontece em cruzamentos dialélicos. Desta forma este modelo tem sido utilizado de maneira bastante restrita

A metodologia de Gardner e Eberhart (1966) permite utilizar a tabela dialélica completa ou a meia tabela dialélica, e considera um conjunto fixo de genitores. Com base nesta suposição, realiza-se uma análise da variância, que testa a significância dos componentes genéticos para explicar as diferenças entre as médias da tabela dialélica. Nesta análise o efeito de populações é decomposto em efeitos

genéticos devidos aos genitores e à heterose, e, esta é decomposta em heterose média, heterose de genitores e heterose específica (Ramalho, Santos e Zimmermann, 1993). Desta forma, esta metodologia tem como principal vantagem o estudo detalhado da heterose.

O método desenvolvido por Griffing (1956) estima as capacidades geral e específica de combinação dos genitores do dialelo, utilizando as maiores variações de esquemas de cruzamento, analisando quatro métodos experimentais: Método 1- São avaliadas as  $n^2$  combinações e inclui os genitores, os cruzamentos entre estes genitores e seus recíprocos; Método 2- São avaliadas as  $n(n+1)/2$  combinações correspondentes aos genitores e seus cruzamentos, excluindo-se os recíprocos; Método 3- São avaliadas as  $n(n-1)$  combinações que correspondem aos cruzamentos e aos seus recíprocos, excluindo-se os genitores; Método 4- São avaliadas apenas as  $n(n-1)/2$  combinações correspondentes aos cruzamentos dos  $n$  genitores.

A capacidade geral de combinação (CGC) mede o comportamento médio dos genitores em combinações híbridas e a capacidade específica de combinação (CEC) refere-se ao comportamento particular de dois genitores cruzados entre si, ou seja, mede o grau de complementação alélica dos genótipos na população (Griffing, 1956).

A significância da CGC indica que os genitores diferem em relação à capacidade geral de combinação, ao passo que a significância da CEC mostra que os cruzamentos são heterogêneos, por exibirem comportamentos diferentes do esperado com base na capacidade geral de combinação dos genitores. Em função de se utilizar na cultura do feijoeiro apenas linhas puras ou suas misturas, nos programas de melhoramento são praticadas seleções nas gerações segregantes mais avançadas onde se consegue maior progresso. Este maior progresso é devido ao aumento da proporção da variância aditiva com relação a variância genética total, que é ocasionado pelo aumento do número de locos em homozigose. Isso ocorre, porque nessas gerações existe praticamente uma mistura de linhas puras em cada população, e o sucesso na seleção é tanto maior quanto maior for a diversidade genética das linhagens, que depende dos efeitos aditivos dos genes. Esta é a razão porque o conhecimento da capacidade geral de combinação dos genitores é a informação de

maior utilidade para os melhoristas, pois ela depende igualmente da variância aditiva. Assim, um cruzamento proveniente dos genitores com os maiores valores para a capacidade geral de combinação deve ser potencialmente superior para a seleção de linhagens (Ramalho, Santos, Zimmermann, 1993).

Os métodos 1 e 3 de Griffing (1956) permitem também detectar variações genéticas dos dados devido às diferenças de comportamento de um dado cruzamento e de seu recíproco. Essas variações devem-se a genes extracromossômicos, situados provavelmente nos plastídeos, em plantas, sobretudo nos cloroplastos e também mitocôndrias. Estes genes são passados para os descendentes exclusivamente por meio do óvulo, que é o gameta que cede o citoplasma para o zigoto. Assim, quando se avalia um cruzamento e também seu recíproco, as diferenças genéticas observadas são atribuídas às constituições genéticas do citoplasma do genitor feminino de cada cruzamento (Ramalho, Santos e Zimmermann, 1993).

O procedimento de Griffing (1956) considera também os modelos fixo e aleatório, dependendo, respectivamente, se os tratamentos experimentais fornecem conclusões que lhe são particulares ou que podem ser extrapoladas para uma população em que os tratamentos representam uma amostra. No modelo fixo, apenas o efeito devido ao erro experimental é aleatório, enquanto no modelo aleatório, apenas o efeito devido à média geral dos tratamentos experimentais é fixo. Assim, para estes dois modelos e os quatro métodos experimentais, podem ser efetuadas oito análises diferentes, além daquelas que consideram outros efeitos como fixos ou aleatórios, conduzindo aos modelos mistos. Vencovsky e Barriga (1992) relatam que os materiais genéticos em estudo são considerados fixos quando são preliminarmente escolhidos, e portanto cada tratamento do ensaio representa uma população diferente. Além disso, nesta situação, as inferências obtidas dos dados referem-se apenas aos tratamentos ensaiados, não existindo uma população, cuja propriedades serão conhecidas, tal como ocorre no caso de tratamentos aleatórios.

Nas espécies autógamas, a maioria dos genitores usados em dialelos é escolhida com base em suas características de interesse agrônomico; assim, eles não podem ser considerados uma amostra da espécie, porque formam uma população com propriedades genéticas particulares (Gardner e Eberhart, 1966). Por esta razão, em

dialelos que envolvem cultivares ou linhagens de feijão, é mais prudente considerar os efeitos genéticos como fixos, e neste caso, as estimativas dos componentes da variância têm utilidade restrita. No entanto, quando os genitores do dialelo representam a população, podem-se estimar parâmetros populacionais, como os componentes da variância genética, herdabilidade e grau médio de dominância (Griffing, 1956; Hallauer & Miranda Filho, 1982). Baker (1978) relata que a amostragem de uma população grande pode ser analisada como fixa sem maiores problemas, mas a recíproca não é verdadeira, pois a conceitualização da população origem é muito difícil e complexa. O autor considera que mesmo que o modelo possa ser considerado aleatório as conclusões obtidas pela análise de variância de um dialelo são bastante limitadas, devido a restrições difíceis de serem atendidas. Desta forma, o método de Jinks e Hayman (1953), que estima principalmente variâncias, fornece informações menos úteis para o melhorista de plantas autógamas em relação aos métodos de Griffing(1956) e Gardner e Eberhart (1966) que se destacam por estimar componentes de média.

Entre as propostas de analisar os cruzamentos utilizando além de médias, as variâncias, está a de Jinks e Paoni (1976), que utiliza estimativas desses parâmetros nas primeiras gerações segregantes para a predição das linhagens na geração  $F_{\infty}$ . De acordo com esta metodologia é possível fazer previsões sobre o potencial das linhas puras derivadas de um determinado cruzamento, com base apenas nas informações das suas gerações iniciais. Desse modo, permite descartar materiais pouco promissores logo no início do programa. Ela se baseia no fato de que a distribuição fenotípica das linhagens em uma geração  $F_{\infty}$  segue uma distribuição normal, desde que o caráter considerado seja controlado por no mínimo seis genes. Usando as propriedades de uma distribuição normal é possível estimar a probabilidade de ocorrência de linhagens com fenótipo que supere a um determinado padrão preestabelecido (Otubo, 1994). Vale ressaltar que a média da geração  $F_2$  é igual a média da população de linhagens na geração  $F_{\infty}$  se ocorrer ausência de dominância e de efeitos epistáticos no controle genético do caráter, de forma que a variância genética da geração  $F_2$  contenha apenas variância genética aditiva. Um experimento realizado por Triller (1994) com soja mostrou a utilização deste método, avaliando seis

cruzamentos entre 4 genótipos para se fazer uma análise do seu potencial genético por meio da média e variância dos genitores e geração  $F_3$ . As estimativas dos potenciais genéticos foram comparadas às proporções obtidas em linhagens  $F_7$  e  $F_8$ . Os resultados mostraram que a predição do potencial genético de cruzamentos para extração de linhas puras transgressivas, por meio da média e variância dos genitores e da geração  $F_3$ , é de alta eficiência para características poligênicas, com herdabilidade de média a alta, tais como número de dias para florescimento e altura de planta na maturação. Para característica produção de grãos, de baixa herdabilidade, esta metodologia tem boas possibilidades de sucesso quando cuidados para diminuir a influência da interação genótipo por ambientes são tomados. Otubo (1994) também utilizou a metodologia de Jinks e Paoni (1976) para escolha de genitores com tolerância à baixa temperatura na fase de germinação na cultura do feijoeiro. O autor observou que os resultados desta metodologia podem vir a complementar as informações fornecidas pelos cruzamentos dialélicos.

Finalmente, na escolha dos pais, pode-se utilizar a estimativa de "m + a" (Vencovsky, 1987), isto é, a média geral mais o somatório da contribuição dos locos em homozigose em relação a essa média. Numa população de plantas alógamas considerando um loco, a sua média é fornecida por  $(m + a + d)$ , onde m é o ponto médio dos dois alelos em homozigose, a e d são as somas dos desvios dos homozigotos e heterozigotos, respectivamente, em relação à média. Se essa população for submetida a várias autofecundações serão obtidas inúmeras linhagens cuja média será "m+a", já que desaparecem os locos em heterozigose. Assim uma população é boa para a extração de linhagens quanto maior for a contribuição do "m+a" para a média.

Vencovsky (1987) trabalhando com milho cita que um importante fator é que, autofecundando uma população até a total homozigose, suas proporções genótípicas serão "p", "0" e "1 - p", se forem ignorados os efeitos de amostragem genética. Assim, o material passaria a ser constituído de uma mistura de linhagens puras. A média do caráter em todas as linhagens seria:  $L = m + a$ . Desta forma, a população com maior média ( $S_0 = m + a + d$ ) não seria necessariamente a melhor população para extração de linhagens, porém a população com quantidade "m + a"

adequada seria indicada para extração de linhagens. Para que o "m + a" seja conhecido, o material deve ser autofecundado uma vez e a depressão por endogamia verificada. Com uma autofecundação a média geral dos  $S_1$  resultados será:  $S_1 = m + a + 1/2 d$ . Portanto,  $(2 S_1 - S_0 = m + a)$ . Este mesmo raciocínio pode ser extrapolado para qualquer geração de autofecundação em um programa de melhoramento de plantas autógamas.

Esta metodologia se baseia no fato de que na geração  $F_\infty$ , quando a homozigose completa for atingida, a média das linhagens será igual a "m + a", pois nos locos que estão segregando, os efeitos dos homozigotos favoráveis e desfavoráveis se anulam. Assim, a média de todas as linhagens possíveis irá depender apenas dos locos que estão fixados. Oliveira (1995) utilizou esta metodologia para escolha de pais na cultura do feijoeiro. Observou que houve coerência nos resultados obtidos por meio dos cruzamentos dialélicos e da estimativa do parâmetro "m + a" das populações. Contudo ficou evidenciado a importância de se obter também a estimativa da variância genética dentro das populações como condição para se identificar a população híbrida que irá produzir a linhagem de melhor desempenho.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

Foram avaliados 11 genitores por meio de seus descendentes F<sub>3</sub> e F<sub>4</sub>, provenientes do intercruzamento no esquema dialélico, durante o outono/inverno, no ano 1995, em dois locais: fazenda experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), em Lambari - MG e no Campus Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras - MG. Lavras e Lambari são municípios localizados na região Sul do Estado de Minas Gerais. Lavras situa-se a 910 metros de altitude, 21° 45' S de latitude e 45° 00' W de longitude e Lambari a 845 metros de altitude, 21° 58' S de latitude e 45° 23' W de longitude.

#### **3.1 Genitores utilizados**

As linhagens utilizadas no dialelo com a sua respectiva origem, cor de tegumento, peso de 100 sementes e hábito de crescimento estão apresentadas na Tabela 1. Essas linhagens foram escolhidas para formação do dialelo com base no trabalho desenvolvido por Von Pinho (1990), sendo os cruzamentos realizados por Otubo (1994).

**TABELA 1 - Origem, cor de tegumento da semente, peso de 100 sementes e hábito de crescimento das onze linhagens utilizadas no cruzamento dialélico, Lambari e Lavras-MG, 1995.**

<b>Cultivar</b>	<b>Origem</b>	<b>Cor de tegumento</b>	<b>Peso de 100 sementes (g)</b>	<b>Hábito de crescimento</b>
Rio Vermelho	IAPAR	Roxo	19,5	II
Small White	EUA	Branco	14.3	III
CNF 05	CNPAF	Roxo	17.9	II
A-488	CIAT	Preto	21.8	II
Carioca	IAC	Bege/estrias marrons	19.7	III
EMGOPA-201 (Ouro)	CIAT	Amarelo/halo bege	17.2	II
IPA-7419	IPA	Bege	19.1	III
ESAL-591	ESAL	Bege/estrias marrons	19.8	II
ESAL-609	ESAL	Bege/estrias marrons	18.0	II
A-354	CIAT	Bege	18.1	III
ESAL-501	ESAL	Bege/estrias marrons	19.4	III

1/ II - Hábito de crescimento indeterminado com guias curtas;  
 III - Hábito de crescimento indeterminado com guias longas.

### **3.2 Obtenção das gerações F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, F<sub>3</sub> e F<sub>4</sub>**

As cultivares envolvidas foram cruzadas de acordo com um esquema dialélico completo. As sementes da geração F<sub>1</sub> foram obtidas, anteriormente a este trabalho, em casa de vegetação do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras, sendo que nos cruzamentos foi utilizada a metodologia semelhante a

descrita por Vieira (1967). A partir da geração  $F_1$  foram obtidas as gerações  $F_2$  e  $F_3$  e  $F_4$  através de cultivos em campo. Neste trabalho foram avaliadas populações nas gerações  $F_3$  e  $F_4$ . Vale ressaltar que cinco cruzamentos recíprocos não produziram sementes suficientes para utilização nos experimentos. Deve-se ressaltar também que a cultivar Manteigão-Fosco 11 foi cruzada com alguns dos genitores citados anteriormente, mas mostrou-se incompatível com outros, por isso não foi incluída no estudo. No entanto, estes cruzamentos com a cultivar Manteigão-Fosco 11, e também os genitores, fizeram parte da análise de variância preliminar para se determinar o erro experimental, que é característico da área experimental.

### **3.3 Delineamento experimental e avaliação das populações segregantes**

Foram conduzidos oito experimentos, utilizando-se o delineamento experimental em látice triplo parcialmente balanceado. Em cada local foram instalados quatro experimentos, sendo dois para geração  $F_3$  e dois para geração  $F_4$ . Portanto para cada geração, em cada local, utilizou-se um experimento em látice 7 por 7, com 49 tratamentos, e outro em látice 9 por 9 com 81 tratamentos, totalizando 130 populações (genitores, cruzamentos e recíprocos) por experimento agrupado. Cada parcela foi constituída por duas linhas de 3 metros de comprimento com espaçamento de 50 cm entre as linhas e 15 sementes por metro linear.

A semeadura em Lambari foi realizada em 28/03/95 e em Lavras no dia 20/04/95. Como adubação foi empregado 400 kg/ha da fórmula 4-14-8 na semeadura e 200 kg/ha de sulfato de amônio em cobertura, 27 dias após semeadura. Em Lavras aplicou-se o herbicida Fusiflex na dosagem 1800 ml/ha, 19 dias após semeadura e realizou-se uma capina manual aos 35 dias após semeadura. Aplicou-se também o fungicida Benomil na dosagem de 500 g/ha aos 47, 61,75 e 82 dias após a semeadura. Em Lambari os tratos culturais foram semelhantes aos utilizados em Lavras, no entanto, não utilizou-se herbicida, e foi realizada apenas uma pulverização com Benomil. Tanto em Lavras quanto em Lambari foram feitas irrigações complementares sempre que necessário.

Foram avaliados dados relativos à produção de grãos, número de dias da semeadura até quando 50% das plantas abriram a primeira flor (apenas em Lavras), e incidência de antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*) aos 90 dias após semeadura. A avaliação da antracnose foi por meio de uma escala de notas que variou de 1 a 5, de acordo com os seguintes padrões: 1- sem sintomas; 2- sintomas leves; 3- sintomas pouco severos; 4- sintomas severos; 5- sintomas muito severos. No entanto, para análise dialélica foram utilizados apenas os dados relativos a produção de grãos e época de florescimento. A avaliação da incidência de antracnose foi realizada apenas para verificar se esta influenciou nos resultados de produção de grãos em baixas temperaturas.

### 3.4 Análise estatística

#### 3.4.1 Análise de variância

Inicialmente foi realizada uma análise de variância para cada experimento isoladamente, segundo o seguinte modelo estatístico, considerando fixo os efeitos da média e tratamentos:

$$y_{ijw} = \mu + t_i + r_j + b_{w(j)} + e_{ijw}$$

onde:

$y_{ijw}$ : valor observado na parcela experimental que recebeu o tratamento  $i$  no bloco  $w$  da repetição  $j$ ;

$\mu$ : efeito fixo da média geral;

$r_j$ : efeito aleatório da repetição  $j$ , sendo  $j = 1, 2, \dots, r$ ;

$b_{w(j)}$ : efeito aleatório do bloco incompleto  $w$  dentro da repetição  $j$ , sendo  $w = 1, 2, \dots, b$ ;

$t_i$ : efeito fixo do tratamento  $i$ , sendo  $i = 1, 2, \dots, t$ ;

$e_{jw}$  : efeito aleatório do erro experimental da parcela que recebeu o tratamento  $i$  no bloco  $w$  da repetição  $j$ , sendo  $e_{ijk}$  I NID  $(0, \sigma^2)$ .

O esquema geral da análise de variância para o delineamento em látice está apresentado na Tabela 2.

TABELA 2 - Esquema de análise de variância para um delineamento em látice, para cada experimento isolado, antes do agrupamento. Lavras e Lambari-MG, 1995.

Fontes de variação	Graus de liberdade	E (QM)
Repetição	$(r - 1)$	
Bloco / Repetição	$(b - 1) r$	
Tratamento (Ajustado)	$(t - 1)$	$\sigma^2 + r \phi_T$
Erro Efetivo	$(rt - rb - t + 1)$	$\sigma^2$
Total	$(rt - 1)$	

Posteriormente, em cada local, e para cada geração realizou-se uma análise de variância agrupada dos dois látices que compunham um experimento (látice 9x9 e 7x7). Esta análise foi feita apenas ponderando-se os quadrados médios das causas de variação de cada experimento pelos seus respectivos graus de liberdade, encontrando-se assim a nova soma de quadrados média ponderada. Desta forma, foi obtido, por exemplo, o quadrado médio agrupado do erro efetivo da seguinte forma:  $QMe(ag) = [(QM1 \times GL1) + (QM2 \times GL2)] / (GL1 + GL2)$ .

Em seguida foi efetuada a análise de variância conjunta das duas gerações dentro de cada local e também dos dois locais dentro de cada geração, com as médias ajustadas, utilizando os seguintes modelos estatísticos, considerando todos os efeitos como fixos, exceto repetições dentro de locais e o erro experimental, como descrito por Vencovsky e Barriga (1992).

Análise de variância conjunta para locais, dentro de cada geração:

$$y_{ijn} = \mu + r_{j(n)} + t_i + l_n + (t l)_{in} + e_{ijn}$$

onde:

$y_{ijk}$  : valor observado na parcela experimental que recebeu o tratamento  $i$ , na repetição  $j$  dentro do local  $n$  ;

$\mu$  : efeito fixo da média geral ;

$r_{j(n)}$  : efeito aleatório da repetição  $j$ , dentro do local  $n$ , sendo  $j = 1, 2, \dots, r$  ;

$t_i$  : efeito fixo do tratamento  $i$ , sendo  $i = 1, 2, \dots, t$  ;

$l_n$  : efeito fixo do local  $n$ , sendo  $n = 1, 2, \dots, l$  ;

$(tl)_{in}$  : efeito da interação do tratamento  $i$  com o local  $n$  ;

$e_{ijn}$  : efeito aleatório do erro experimental da parcela que recebeu o tratamento  $i$  na repetição  $j$ , dentro do local  $n$ , sendo  $e_{ijk} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$ .

O esquema da análise conjunta para locais, dentro de cada geração, considerando o modelo fixo, exceto para repetições e erros experimentais, segundo Vencosvsky e Barriga (1992) está apresentado na Tabela 3.

TABELA 3 - Esquema de análise conjunta para locais, dentro de cada geração, considerando o modelo fixo, exceto repetições e erros experimentais.

Fonte de Variação	G.L	QM	E (QM)	F
Repetição/local	$(r - 1) L$	Q1	$\sigma^2 + t \sigma_R^2$	Q1/Q5
Locais (L)	$L - 1$	Q2	$\sigma^2 + t \sigma_R^2 + r t \phi_L$	Q2/Q1
Tratamentos (T)	$t - 1$	Q3	$\sigma^2 + r l \phi_T$	Q3/Q5
T x L	$(t - 1) (L - 1)$	Q4	$\sigma^2 + r \phi_{TL}$	Q4/Q5
Erro médio	$f$	Q5	$\sigma^2$	

$f$  : Corresponde a soma do número de graus de liberdade das análises individuais.

A análise de variância conjunta para gerações dentro de cada local é semelhante à análise conjunta para locais dentro de geração. Apenas substitui-se local (l) por geração (z) no modelo estatístico e na tabela da análise de variância. Nessa análise estimam-se entre outros efeitos o componente quadrático de interação populações x geração ( $\phi_{TZ}$ ) dentro de cada local.

Posteriormente, foi realizada uma análise das duas gerações e dos dois locais conjuntamente, com as médias ajustadas, utilizando o seguinte modelo estatístico, considerando todos os efeitos como fixos exceto repetições e o erro experimental, como descrito por Vencovsky e Barriga (1992).

$$y_{ijnk} = \mu + t_i + l_n + z_k + (tl)_{in} + (tz)_{ik} + (lz)_{nk} + (tlz)_{ink} + r_{j(nk)} + e_{ijnk}$$

onde:

$y_{ijnk}$  : valor observado na parcela experimental que recebeu o tratamento i, na repetição j dentro do local n e da geração k ;

$\mu$  : efeito fixo da média geral ;

$t_i$  : efeito fixo do tratamento i, sendo  $i = 1, 2, \dots, t$  ;

$l_n$  : efeito fixo do local n, sendo  $n = 1, 2, \dots, l$  ;

$z_k$  : efeito fixo da geração k, sendo  $k = 1, 2, \dots, z$ , confundido com efeito de experimento;

$(tl)_{ij}$  : efeito da interação do tratamento i com o local n ;

$(tz)_{ik}$  : efeito da interação do tratamento i com a geração k ;

$(lz)_{nk}$  : efeito da interação do local n com a geração k ;

$(tlz)_{ink}$  : efeito da interação do tratamento i com o local n e a geração k ;

$r_{j(nk)}$  : efeito aleatório da repetição j, dentro do local n e da geração k ;

$e_{ijnk}$  : efeito aleatório do erro experimental da parcela que recebeu o tratamento i na repetição j, dentro do local n e da geração k, sendo  $e_{ijnk} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$ .

O esquema da análise conjunta geral para os dois locais (Lavras e Lambari) e duas gerações ( $F_3$  e  $F_4$ ), considerando o modelo fixo, exceto para repetições e erros experimentais, segundo Vencosvsky e Barriga (1992) está apresentado na Tabela 4.

TABELA 4 - Esquema de análise conjunta das gerações ( $F_3$  e  $F_4$ ) e locais (Lavras e Lambari), considerando o modelo fixo, exceto para repetições e erros experimentais. Lavras/Lambari, 1995.

F.V.	G.L.	QM	E(QM)	F
Rep./Ger./Loc.	$(r-1)g l$	Q1	$\sigma^2 + t \sigma^2_R$	Q1/Q9
Locais (L)	$l - 1$	Q2	$\sigma^2 + t\sigma^2_R + r t g \phi_L$	Q2/Q1
Gerações (G)	$g - 1$	Q3	$\sigma^2 + t\sigma^2_R + r t l \phi_G$	Q3/Q1
L x G	$(l - 1)(g - 1)$	Q4	$\sigma^2 + t\sigma^2_R + r t \phi_{LG}$	Q4/Q1
Tratamentos (T)	$t - 1$	Q5	$\sigma^2 + r l g \phi_T$	Q5/Q9
T x L	$(t - 1)(l - 1)$	Q6	$\sigma^2 + r g \phi_{TL}$	Q6/Q9
T x G	$(t - 1)(g - 1)$	Q7	$\sigma^2 + r l \phi_{TG}$	Q7/Q9
G x L x G	$(t - 1)(l - 1)(g - 1)$	Q8	$\sigma^2 + r \phi_{TLG}$	Q8/Q9
Erro médio	$f$	Q9	$\sigma^2$	

f : Corresponde a soma do número de graus de liberdade das análises individuais.

### 3.4.2 Estimativa da variância genética e herdabilidade no sentido amplo ( $h_a^2$ ) dentro das populações segregantes

A herdabilidade no sentido amplo da produção de grãos foi estimada a partir das variâncias genéticas ( $\sigma^2_G$ ) e fenotípicas ( $\sigma^2_F$ ) das populações segregantes. Para obter estas estimativas foram tomadas amostras de 15 plantas por parcela das populações segregantes, e 10 plantas por parcela dos genitores, nas gerações  $F_3$  e  $F_4$ . De cada planta foi obtida a produção de grãos. Como o número de populações

segregantes era muito grande, escolheu-se somente as populações que envolvessem os genitores Ouro, Carioca e Rio Vermelho, sem considerar os recíprocos. A linhagem Small White não fez parte desta avaliação por se tratar de material pouco adaptado, e com características comerciais desfavoráveis. As populações segregantes dos genitores Ouro e Carioca foram escolhidas para esta avaliação por se tratar de cultivares com grande aceitação comercial, e portanto que poderá gerar linhagens recomendadas para os agricultores. A cultivar Rio Vermelho foi escolhida por ser relatada como tolerante à baixas temperaturas na fase de germinação (Otubo, 1994).

A variância fenotípica foi obtida a partir da média das variâncias das três repetições de cada população. No caso dos genitores, que são linhas puras, a estimativa da variância fenotípica corresponde a variância ambiental ( $\sigma^2_E$ ). No entanto, no caso das populações segregantes, a variância fenotípica contém a variância ambiental e também a genética. Contudo a simples subtração da variância ambiental da variância fenotípica não nos dará uma estimativa precisa da  $\sigma^2_G$ . Isto se deve ao fato das estimativas da  $\sigma^2_F$  das populações segregantes não ter sido obtida no mesmo ambiente dos genitores. Assim o efeito ambiental pode ter influenciado diretamente as médias dos genitores ou das populações segregantes, fazendo com que as estimativas das variâncias fossem super ou subestimadas, visto que em muitos casos os dados de produtividade de grãos não seguem uma distribuição normal. Para contornar esse problema estimou-se a variância ambiental de cada população segregante a partir da média dos coeficientes de variação ambiental dos genitores da seguinte forma:

a- Estimação do  $CV_A$  médio dos genitores:

$$CV_{Ai} = \frac{\sqrt{\sigma_{Ei}^2}}{m_i} \quad ; \quad CV_{Aj} = \frac{\sqrt{\sigma_{Ej}^2}}{m_j} \quad ; \quad CV_{Aij} = \frac{CV_{Ai} + CV_{Aj}}{2}$$

onde:

$CV_{Ai}$  : é o coeficiente de variação ambiental do genitor  $i$  ;

$\sigma^2_{Ei}$  : é a variância fenotípica do genitor  $i$  ;

$m_i$  : é a média do genitor i ;

$CV_{Aj}$  : é o coeficiente de variação ambiental do genitor j ;

$\sigma^2_{Ej}$  : é a variância fenotípica do genitor j ;

$m_j$  : é a média do genitor j ;

$CV_{Aij}$  : é o coeficiente de variação ambiental da população i j ;

b- Estimação da  $\sigma^2_E$  da população segregante de ordem ij:

$$\sigma^2_{Eij} = (CV_{Aij} \times m_{ij})^2$$

onde :

$\sigma^2_{Eij}$  : Variância ambiental na população i j ;

$m_{ij}$  : média da população i j ;

c- Estimação da  $\sigma^2_G$  da população segregante de ordem ij:

$$\sigma^2_{Gij} = \sigma^2_{Fij} - \sigma^2_{Eij}$$

onde :

$\sigma^2_{Gij}$  : é a variância genética da população i j ;

$\sigma^2_{Fij}$  : é a variância fenotípica da população i j.

De posse destes dados estimou-se a herdabilidade no sentido amplo por meio da seguinte expressão:

$$h^2_{aj} = \frac{\sigma^2_{Gij}}{\sigma^2_{Fij}}$$

### 3.4.3 Análise do dialelo

A análise do dialelo foi efetuada utilizando os dados médios considerando o método III proposto por Griffing (1956), que utiliza os cruzamentos e seus recíprocos, segundo o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ij} = m + g_i + g_j + s_{ij} + r_{ij} + e_{ij}$$

onde:

$Y_{ij}$ : valor observado do cruzamento das linhagens  $i$  e  $j$  ;

$m$ : efeito médio de todos os tratamentos ;

$g_i$ : efeito da capacidade geral de combinação do genitor de ordem  $i$  ;

$g_j$ : efeito da capacidade geral de combinação do genitor de ordem  $j$  ;

$s_{ij}$ : efeito da capacidade específica de combinação do cruzamento  $C_{ij}$  ;

$r_{ij}$ : efeito recíproco, que mede as diferenças proporcionadas pelo progenitor  $i$ , ou  $j$ , quando utilizado como fêmea ou macho no cruzamento  $i j$  ;

$e_{ij}$ : erro experimental associado às médias da tabela dialélica.

Neste modelo foi considerado que  $s_{ij} = s_{ji}$ ,  $r_{ij} = -r_{ji}$ .

O esquema da análise de variância do dialelo (ao nível de total), considerando os efeitos dos genitores como fixo e as esperanças do quadrado médio de cada fonte de variação é apresentado na Tabela 5.

TABELA 5 - Análise de variância segundo o método III de Griffing (1956), ao nível de total, com as respectivas esperanças do quadrado médio, considerando o efeito dos genitores como fixo. Lavras/Lambari-MG, 1995.

F.V.	G.L	QM	E (QM)	F
Tratamentos	$p(p-1) - 1$	Q1	$\sigma^2 + r \sigma^2_T$	Q1/Q5
CGC	$p - 1$	Q2	$\sigma^2 + 2r (p-2) \phi_g$	Q2/Q5
CEC	$p(p-3)/2$	Q3	$\sigma^2 + 2r \phi_s$	Q3/Q5
ER	$p(p-1)/2$	Q4	$\sigma^2 + 2r \phi_{rc}$	Q4/Q5
Erro	$f$	Q5	$\sigma^2$	

$p$  : corresponde ao número de genitores utilizados no dialelo;

$f$  : corresponde ao número de graus de liberdade do resíduo obtido em análises preliminares agrupadas, com os dados individuais.

Foram estimados os componentes quadráticos que expressam a variabilidade genética do material estudado, em termos de capacidade geral e específica de combinação e de efeitos recíprocos, por meio de:

$$\hat{\phi}_g = \frac{(Q2 - Q5)}{2r(p-2)}$$

$$\hat{\phi}_s = \frac{(Q3 - Q5)}{2r}$$

$$\hat{\phi}_{rc} = \frac{(Q4 - Q5)}{2r}$$

A relação  $\phi_g/(\phi_s+\phi_g)$  fornece uma idéia da importância relativa dos efeitos da capacidade geral e específica de combinação (Maris, 1989), quando os recíprocos não estão envolvidos na análise. Da mesma forma, a relação  $\phi_g/(\phi_s+\phi_{rc}+\phi_g)$  fornece a importância relativa dos efeitos da capacidade geral de combinação com relação a variação genética total, quando os recíprocos estão envolvidos na análise. Quando esta relação for superior a 0,5 a CGC é mais importante no controle genético da característica avaliada, no entanto, se esta relação for inferior a 0,5 a CEC junto com os efeitos recíprocos são mais importantes.

Após a análise de cada local e geração individualmente foi realizada um análise de variância conjunta onde as médias da tabela dialélica foram decompostas nos seguintes efeitos:

$$Y_{ijk} = m + g_i + g_j + s_{ij} + r_{ij} + l_n + z_k + gl_{in} + gl_{jn} + gz_{ik} + gz_{jk} + sl_{ijn} + sz_{ijk} + rl_{ijn} + rz_{ijk} + glz_{ink} + glz_{jnk} + slz_{ijnk} + rlz_{ijnk} + e_{ijk}$$

onde:

$Y_{ijk}$ : valor observado do cruzamento das linhagens i e j no local n e geração k ;

$l_n$ : efeito do local l ;

- $z_k$  : efeito da geração  $k$  ;
- $gl_{in}$  : efeito da interação do local  $n$  com a capacidade geral de combinação do genitor de ordem  $i$  ;
- $gl_{jn}$  : efeito da interação do local  $n$  com a capacidade geral de combinação do genitor de ordem  $j$ ;
- $gz_{ik}$  : efeito da interação da geração  $k$  com a capacidade geral de combinação do genitor de ordem  $i$  ;
- $gz_{jk}$  : efeito da interação da geração  $k$  com a capacidade geral de combinação do genitor de ordem  $j$  ;
- $sl_{ijn}$  : efeito da interação do local  $n$  com a capacidade específica de combinação do cruzamento  $Y_{ij}$  ;
- $sz_{ijk}$  : efeito da interação da geração  $k$  com a capacidade específica de combinação do cruzamento  $Y_{ij}$  ;
- $rl_{ijn}$  : efeito da interação do local  $n$  com o efeito recíproco manifestado nos genitores  $i$  e  $j$  ;
- $rz_{ijk}$  : efeito da interação da geração  $k$  com a capacidade de combinação manifestada no cruzamento recíproco, envolvendo os genitores  $i$  e  $j$
- $glz_{ink}$  : efeito da interação entre o local  $i$ , a geração  $k$  e a capacidade geral de combinação do genitor de ordem  $i$  ;
- $glz_{jnk}$  : efeito da interação entre o local  $n$ , a geração  $k$  e a capacidade geral de combinação do genitor de ordem  $j$  ;
- $slz_{ijnk}$  : efeito da interação entre o local  $n$ , a geração  $k$  e a capacidade específica de combinação do cruzamento  $Y_{ij}$  ;
- $rlz_{ijnk}$  : efeito da interação entre o local  $n$ , a geração  $k$  e o efeito recíproco manifestada nos genitores  $i$  e  $j$  ;
- $e_{ijnk}$  : erro experimental associado a análise conjunta.

Os demais termos já foram definidos no modelo anterior.

A análise dialélica foi realizada utilizando-se o programa "GENES I" desenvolvido por Cruz (1993)<sup>1</sup>, considerando o efeito dos genitores como fixo. A estimação dos parâmetros do modelo foi realizada por meio das seguintes equações, (Cruz e Regazzi, 1994):

$$\hat{m} = \frac{1}{p(p-1)} Y_{..}$$

$$\hat{g}_i = \frac{1}{p-2} \left[ \frac{1}{2} (Y_{i.} + Y_{.i}) - (p-1)\hat{m} \right] = \frac{1}{2p(p-2)} [p(Y_{i.} + Y_{.i}) - 2Y_{..}]$$

$$\hat{s}_{ij} = \frac{1}{2} (Y_{ij} + Y_{ji}) - (\hat{m} + \hat{g}_i + \hat{g}_j) = \frac{1}{2} (Y_{ij} + Y_{ji}) - \frac{1}{2(p-2)} (Y_{i.} + Y_{.i} + Y_{.j} + Y_{j.}) + \frac{1}{(p-1)(p-2)} Y_{..}$$

$$\hat{r}_{ij} = \frac{1}{2} (Y_{ij} - Y_{ji})$$

onde:

$p$  : é o número de genitores envolvidos no dialelo ;

$Y_{i.}$  : é o somatório de todos os cruzamentos provenientes da utilização do genitor  $i$  como macho ;

$Y_{.i}$  : é o somatório de todos os cruzamentos provenientes da utilização do genitor  $i$  como fêmea ;

$Y_{j.}$  : é o somatório de todos os cruzamentos provenientes da utilização do genitor  $j$  como macho ;

$Y_{.j}$  : é o somatório de todos os cruzamentos provenientes da utilização do genitor  $j$  como fêmea ;

$Y_{..}$  : é o somatório de todos os  $Y_{ij}$ .

As restrições necessárias são:

$$\sum_i \hat{g}_i = 0$$

$$\sum_j \hat{s}_{ij} = 0, \text{ para todo } i.$$

<sup>1</sup> Genes I. Cruz, C.D. Professor do Departamento de Biologia da UFV, 36.570-000, Viçosa-MG.

A estimação das somas de quadrados dos efeitos foi realizada segundo as seguintes equações, (Cruz e Regazzi, 1994):

$$SQ(CGC) = \sum_i \hat{g}_i (Y_i + Y_{.i}) = \frac{1}{2(p-2)} \sum_i (Y_i + Y_{.i})^2 - \frac{2}{p(p-2)} Y_{..}^2$$

$$SQ(CEC) = \frac{1}{2} \sum_{i < j} \sum (Y_{ij} + Y_{ji})^2 - \frac{1}{2(p-2)} \sum_i (Y_i + Y_{.i})^2 + \frac{1}{(p-1)(p-2)} Y_{..}^2$$

$$SQ(ER) = \frac{1}{2} \sum_{i < j} \sum (Y_{ij} - Y_{ji})^2$$

A soma de quadrados das interações dos efeitos genéticos com os locais e as gerações foram estimadas de acordo com os seguintes passos, segundo Vencovsky e Barriga (1992):

- a- Obtenção de SQ (CGC), SQ (CEC) E SQ (ER) por experimento ;
- b- Obtenção de SQ (CGC), SQ (CEC) E SQ (ER), com as médias dos tratamentos, provenientes dos n experimentos ;
- c-  $SQ(CGC \times EXPER.) = SQ(CGC) E_1 + SQ(CGC) E_2 + \dots + SQ(CGC) E_n - n SQ(CGC) \bar{E}$

Generalizadamente para n experimentos (locais, gerações, etc):

$$SQ(CGC \times E) = \sum_j SQ(CGC) E_n - n \times SQ(CGC) \bar{E}$$

- d- Mesmo raciocínio é empregado para se obter SQ (CEC x E) e SQ (ER x E).

## 4 RESULTADOS

Os ambientes (Lavras e Lambari) onde foram instalados os experimentos apresentaram condições bem diferenciadas de cultivo, principalmente, no que diz respeito às temperaturas mínimas (Figura 1). A temperatura mínima em Lavras ficou em torno de 13°C, atingindo um mínimo de 7°C, enquanto em Lambari a temperatura mínima ficou em torno de 9°C atingindo um mínimo de 0,8°C. Desta forma, Lambari apresentou temperaturas mais baixas, o que propiciou um menor crescimento vegetativo e uma menor produtividade média. As temperaturas máximas tanto em Lavras quanto em Lambari ficaram em torno de 24°C.

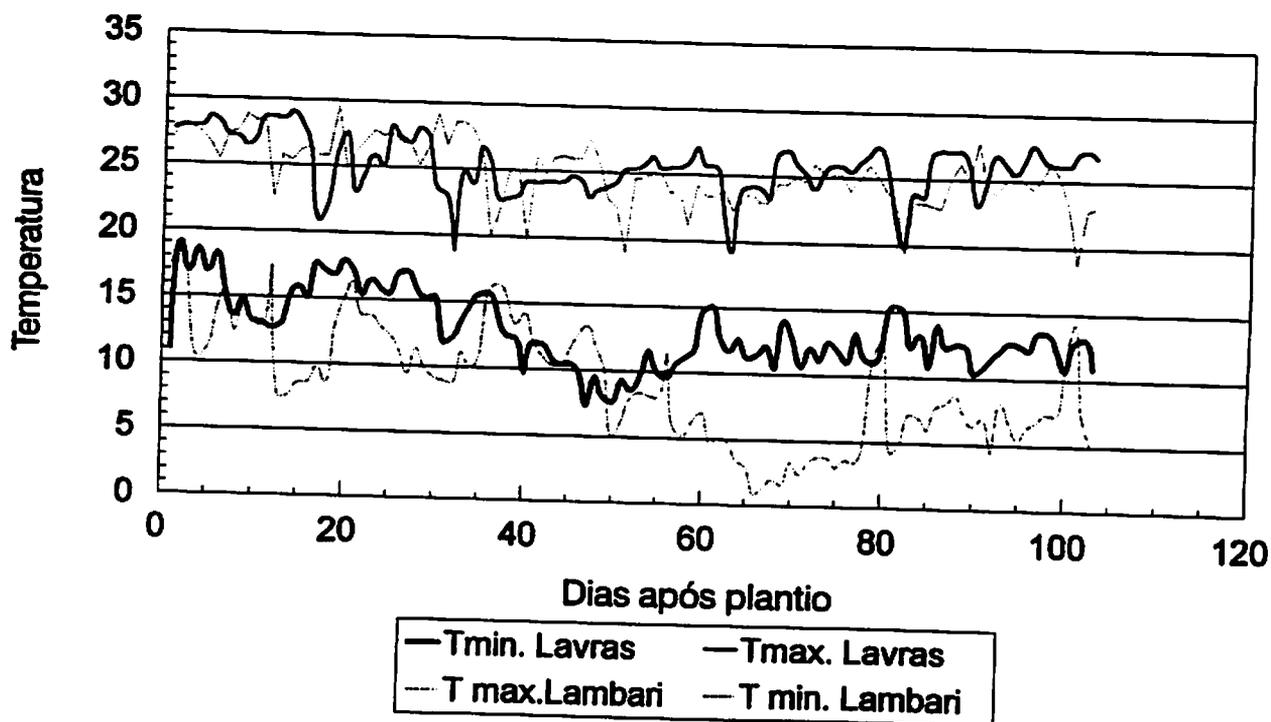


FIGURA 1 - Temperaturas máximas e mínimas ocorridas durante a condução dos experimentos em Lavras e Lambari, 1995.

Inicialmente, foram realizadas as análises de variâncias de cada experimento, onde foram obtidos os erros efetivos e as médias ajustadas, utilizados na análise agrupada. Vale ressaltar que os erros efetivos foram homogêneos, o que é essencial para se realizar a análise agrupada. Em todas essas análises, as populações mostraram-se geneticamente heterogêneas com base na produção de grãos e dias para o florescimento.

O resumo da análise de variância, de cada experimento agrupado, está apresentado na Tabela 6 (produtividade de grãos) e 7 (número de dias para florescimento), com a decomposição da variação de tratamentos nas capacidades geral (CGC) e específica de combinação (CEC) e efeito recíproco (E. Rec.). Para produtividade de grãos nota-se, que a precisão experimental, medida pelo coeficiente de variação, foi maior em Lavras e também na geração  $F_3$ , devido principalmente, as maiores médias ocorridas nestes experimentos. Além disso, pode-se visualizar a maior importância dos efeitos quadráticos da CGC ( $\phi_g$ ) nos experimentos conduzidos em Lavras.

As fontes de variação foram significativas em todos os experimentos, com exceção da CEC na  $F_4$  em Lambari e do efeito recíproco, que não mostrou resposta consistente nos quatro experimentos, destacando-se apenas o elevado efeito recíproco na geração  $F_4$  em Lambari ( $\phi_{rc} = 8720,05$ ). Com relação a época de florescimento, observa-se que a precisão experimental foi praticamente idêntica nas duas gerações, que somente os efeitos de tratamentos e CGC foram significativos e que as médias das gerações foram praticamente idênticas.

TABELA 6 - Resumo das análises de variância da produtividade de grãos (kg/ha), das gerações F<sub>3</sub> e F<sub>4</sub> em Lavras e Lambari, 1995.

F.V	G.L	QM			
		F <sub>3</sub> - Lavras	F <sub>3</sub> - Lambari	F <sub>4</sub> - Lavras	F <sub>4</sub> - Lambari
Tratamentos	109	221615,62**	96709,72**	144865,09**	156585,85**
CGC	10	1166587,60**	298514,22**	745685,58**	517352,38**
CEC	44	147573,81**	86209,82*	111265,65**	103744,13
E. Rec.	55	109035,92*	68417,85	62504,52	133265,32**
Erro	214	71433,79	59416,92	55055,89	80944,93
Média		1289,12	956,86	1199,05	949,42
CV (%)		19,67	24,17	18,56	28,43
$\phi_g$		20280,59	4427,69	12789,41	8081,62
$\phi_s$		12689,97	4465,47	9368,26	3799,81
$\phi_{rc}$		6266,99	1500,19	1241,42	8720,05
$\phi_g / \phi_s + \phi_g$		0,61	0,498	0,58	0,68
$\phi_g / \phi_s + \phi_{rc} + \phi_g$		0,52	0,43	0,55	0,39

\*, \*\* Significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

**TABELA 7 - Resumo das análises de variância do número de dias para florescimento, das gerações F<sub>3</sub> e F<sub>4</sub> em Lavras, 1995.**

F.V	G.L	QM	
		F <sub>3</sub> - Lavras	F <sub>4</sub> - Lavras
Tratamentos	109	3,07**	3,93**
CGC	10	19,34**	25,64**
CEC	44	1,40	1,88
E. Rec.	55	1,44	1,62
Erro	214	1,86	1,93
Média		52,14	51,73
CV (%)		2,61	2,68
$\phi_g$		0,32	0,44
$\phi_s$		0,00	0,00
$\phi_{rc}$		0,00	0,00
$\phi_g / \phi_s + \phi_{rc} + \phi_g$		1,00	1,00

\*\* Significativo ao nível de 1%, pelo teste de F.

A análise de variância conjunta de locais, da geração F<sub>3</sub> e F<sub>4</sub> separadamente (Tabela 8), mostra que a produtividade de grãos apresentou comportamento coincidente nestas duas gerações, tanto no que se refere a precisão experimental, quanto a significância das fontes de variação. Verifica-se que a contribuição dos efeitos quadráticos da CGC ( $\phi_g$ ) para os efeitos genéticos totais foi semelhante para as duas gerações, mas ocorreu uma tendência dos efeitos da capacidade geral de combinação ser mais importante, com relação aos efeitos da CEC, na geração F<sub>4</sub> ( $\phi_g / \phi_s + \phi_g$ ). A única fonte de variação não significativa foi a interação de locais com efeito recíproco. Deve-se salientar a diferença entre as médias das duas gerações, com uma pequena superioridade da produtividade de grãos na geração F<sub>3</sub>.

TABELA 8 - Resumo da análise de variância conjunta da produtividade de grãos (kg/ha) para locais (Lambari e Lavras) dentro da geração F<sub>3</sub> e F<sub>4</sub>, 1995.

F.V	G.L	QM	
		F <sub>3</sub> - Lavras/Lambari	F <sub>4</sub> - Lavras/Lambari
Repetições/locais	4	917920,64**	889703,96**
Locais (L)	1	18215823,68*	10282066,36*
Tratamentos (T)	109	191150,18**	192056,94**
CGC	10	1008940,04**	1000540,66**
CEC	44	120595,14**	115214,70**
E. Rec.	55	98905,13*	106533,76**
T x L	109	127175,12**	109394,03**
CGC x L	10	456161,88**	262497,42**
CEC x L	44	113188,51**	99795,12*
E. Rec. x L	55	78548,65	89236,10
Erro	428	65425,36	68000,42
Média		1122,99	1074,26
CV (%)		22,78	24,27
$\phi_g$		8736,23	8636,75
$\phi_s$		4597,46	3934,51
$\phi_{rc}$		2789,98	3211,12
$\phi_g / \phi_s + \phi_g$		0,65	0,69
$\phi_g / \phi_s + \phi_{rc} + \phi_g$		0,54	0,55

\*, \*\* Significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

A análise de variância conjunta de gerações, em Lavras e Lambari separadamente, está apresentada na Tabela 9. Nota-se que a produtividade de grãos não apresentou comportamento semelhante nestes dois locais, tanto no que se refere a precisão experimental, quanto a significância das fontes de variação (interações de

gerações com tratamentos, CGC, CEC e E. REC). Verifica-se também que a contribuição dos efeitos quadráticos da CGC ( $\phi_g$ ) para os efeitos genéticos totais foi maior em Lavras, onde as plantas apresentaram maior crescimento vegetativo. Vale ressaltar que o efeito recíproco foi não significativo tanto em Lavras como em Lambari.

TABELA 9 - Resumo da análise de variância conjunta da produtividade de grãos (kg/ha) para as gerações  $F_3$  e  $F_4$  dentro de locais (Lambari e Lavras), 1995.

	F.V	G.L	QM
--	-----	-----	----

Repetições/gerações	4	498740,24**	1308884,48**
Gerções (G)	1	1338454,23	9116,82
Tratamentos (T)	109	247133,06**	166671,89**
CGC	10	1619617,61**	736840,15**
CEC	44	137143,70**	137054,81**
E. Rec.	55	85581,84	86698,71
T x G	109	119347,72**	86623,60
CGC x G	10	292655,81**	79026,42
CEC x G	44	121696,00**	52899,16
E. Rec. x G	55	85958,95	114984,48**
Erro	428	63244,85	70180,93

Media	1244,10	953,12
CV (%)	20,21	27,79

$\phi_g$	14410,86	6172,77
$\phi_s$	6158,21	5572,82
$\phi_{rc}$	1861,41	1376,48
$\phi_g/\phi_s+\phi_g$	0,70	0,52
$\phi_g/\phi_s+\phi_{rc}+\phi_g$	0,64	0,47

\*, \*\* Significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

A análise de variância conjunta geral, envolvendo os dois locais e as duas gerações, (Tabela 10) indica o comportamento médio das populações durante este estudo. Pela tabela visualiza-se a complexidade dos fatores e de suas interrelações, indicada pela significância da maioria dos efeitos e interações, com exceção para o efeito de gerações, interações duplas entre locais e gerações, recíproco e local, CEC e geração e interações triplas envolvendo a CGC e CEC. Os efeitos quadráticos da capacidade geral de combinação foram predominantes na composição dos efeitos genéticos quadráticos, sugerindo a predominância dos genes de ação aditiva no controle da produtividade em baixas temperaturas.

Por meio da análise de variância conjunta do número de dias para o florescimento (Tabela 11) detecta-se a importância dos efeitos quadráticos da CGC ( $\phi_g$ ), e a expressão exclusiva dos genes com efeito aditivo no controle genético desse caráter, sob baixas temperaturas na fase adulta.

Os valores médios do número de dias para o florescimento e produtividade de grãos estão relacionados nas Tabelas 12 e 13, respectivamente. Com relação a época de florescimento, as diferenças entre as populações não foram muito acentuadas, contudo pode-se ressaltar a CNF-05 x Small White como a mais precoce e a A-354 x IPA-7419 a mais tardia. Para produtividade de grãos observa-se diferenças acentuadas entre as populações segregantes, sendo a Carioca x ESAL 501 a menos produtiva e A-488 x Ouro a que apresentou maior produtividade de grãos sob condições de baixas temperaturas na fase adulta. Nota-se também que as populações onde um dos genitores era a cultivar A-488 foram mais produtivas.

TABELA 10 - Resumo da análise de variância conjunta geral da produtividade de grãos (kg/ha) envolvendo as gerações F<sub>3</sub> e F<sub>4</sub> e os locais Lambari e Lavras, 1995.

F.V	G.L	QM
Repetições/locais/gerações	8	903811,92**
Locais (L)	1	27934567,97**
Gerações (G)	1	784249,87
L x G	1	563320,96
Tratamentos (T)	109	266736,89**
CGC	10	1697272,72**
CEC	44	148257,03**
E. Rec.	55	101424,64*
T x L	109	147067,06**
CGC x L	10	659184,59**
CEC x L	44	125940,81**
E. Rec. x L	55	70856,36
T x G	109	116469,89**
CGC x G	10	312208,20**
CEC x G	44	87543,80
E. Rec. x G	55	104014,59**
T x L x G	109	89501,54*
CGC x L x G	10	59474,37
CEC x L x G	44	87041,59
E. Rec. x L x G	55	96929,17*
Erro	856	66712,89
Média		1098,62
CV (%)		23,51
$\phi_g$		7548,85
$\phi_s$		3397,71
$\phi_{rc}$		1446,30
$\phi_g / \phi_s + \phi_g$		0,69
$\phi_g / \phi_s + \phi_{rc} + \phi_g$		0,61

\*, \*\* Significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

TABELA 11 - Resumo da análise de variância conjunta do número de dias para o florescimento para as gerações F<sub>3</sub> e F<sub>4</sub> em Lavras, 1995.

F.V	G.L	QM
Repetições/gerações	4	4,14
Gerações (G)	1	29,24
Tratamentos (T)	109	5,34**
CGC	10	42,44**
CEC	44	1,82
E. Rec.	55	1,40
T x G	109	1,66
CGC x G	10	2,57
CEC x G	44	1,46
E. Rec. x G	55	1,66
Erro	428	1,90
Média		51,94
CV (%)		2,66
$\phi_g$		0,36
$\phi_s$		0,00
$\phi_{rc}$		0,00
$\phi_g / \phi_s + \phi_{rc} + \phi_g$		1,00

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste F.

**TABELA 12 - Valores médios das populações segregantes (acima da diagonal) e dos recíprocos (abaixo da diagonal), nas duas gerações (F3 e F4), para o número de dias para o florescimento. Lavras, 1995.**

gent. <sup>1/</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-	51,22	51,12	52,35	51,66	52,04	51,73	50,91	52,69	52,21
2	51,12	-	51,02	50,82	50,80	51,49	50,33	50,60	49,28	49,49	50,66
3	51,91	49,05	-	52,01	51,52	51,78	52,29	52,35	51,34	51,17	-
4	52,66	50,78	52,22	-	52,82	51,65	52,59	52,07	-	-	52,39
5	51,49	50,59	51,86	52,39	-	52,56	51,78	52,25	52,06	51,62	52,69
6	51,36	49,96	52,31	52,42	52,52	-	-	52,66	52,13	52,51	51,74
7	51,61	50,96	52,89	53,21	52,62	52,43	-	52,47	52,52	53,39	52,26
8	51,76	49,70	51,61	52,35	52,72	52,44	53,46	-	52,49	53,11	52,59
9	51,67	49,76	51,72	51,90	52,72	51,98	53,04	51,64	-	52,46	52,64
10	53,07	50,67	52,37	53,03	53,00	53,13	54,05	53,04	52,54	-	52,69
11	52,13	50,19	51,25	52,48	51,86	51,93	52,99	52,88	52,62	52,45	-

1/ : 1 - Rio Vermelho; 2 - Small White; 3 - CNF-05; 4 - A-488; 5 - Carioca; 6 - Ouro; 7 - IPA-7419; 8 - ESAL 591; 9 - ESAL 609; 10 - A-354; 11 - ESAL 501.

**TABELA 13 - Valores médios das populações segregantes (acima da diagonal) e dos recíprocos (abaixo da diagonal), nas duas gerações (F3 e F4) e nos dois locais (Lavras e Lambari), para a produtividade de grãos (kg/ha). Lavras/Lambari, 1995.**

gent. <sup>1/</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-	1043,0	1157,6	955,6	1124,5	1055,0	997,5	1052,0	1009,7	901,9
2	941,8	-	1065,9	1235,9	1025,1	1195,7	1091,8	1210,1	1118,0	1125,4	1104,0
3	946,3	1118,6	-	1200,7	867,8	1056,9	865,8	815,4	842,8	1100,3	-
4	1324,0	1300,3	1056,7	-	1161,3	1481,3	1233,0	1307,2	-	-	1133,2
5	1025,0	1028,7	880,8	1233,0	-	1182,3	1342,3	1256,8	997,6	976,1	750,8
6	1139,4	1134,2	1051,4	1169,2	1370,7	-	-	979,9	1142,8	1115,3	1203,0
7	965,5	1228,3	819,4	1250,9	845,9	1339,7	-	1359,3	1100,7	1029,9	965,0
8	1050,1	1155,3	908,2	1344,6	1194,0	1305,7	1235,3	-	1075,1	1210,0	1220,4
9	1031,4	1035,2	833,4	1327,7	920,8	1176,7	976,3	1122,5	-	1077,1	942,4
10	1088,8	1261,8	850,9	1258,3	1112,4	1191,4	1012,9	1269,4	1023,8	-	976,1
11	1034,9	1116,5	992,1	1139,5	996,8	1168,2	1151,8	1194,6	801,5	1102,2	-

1/ : 1 - Rio Vermelho; 2 - Small White; 3 - CNF-05; 4 - A-488; 5 - Carioca; 6 - Ouro; 7 - IPA-7419; 8 - ESAL 591; 9 - ESAL 609; 10 - A-354; 11 - ESAL 501.

A análise do dialelo mostrou para época de florescimento, que apenas o efeito da capacidade geral de combinação foi significativo ( $p \leq 0,01$ ) (Tabela 11). As estimativas da CGC para o florescimento, na média das duas gerações ( $F_3$  e  $F_4$ ), é mostrada na Tabela 14. Verifica-se que os valores de CGC não foram muito discrepantes, mas a cultivar Small White foi a que mais contribuiu para reduzir o ciclo das populações em que participou como genitor (CGC = - 1,69). Apesar dos efeitos recíprocos e da capacidade específica de combinação não ter sido significativo pelo teste de F (Tabela 11), as suas estimativas foram obtidas (Tabela 14), o que reforçou o resultado da não significância.

**TABELA 14 - Estimativas do efeito recíproco (acima da diagonal), capacidade geral (CGC) e específica de combinação (CEC) (abaixo da diagonal), na média das gerações F<sub>3</sub> e F<sub>4</sub>, para o número de dias para o florescimento. Lavras, 1995.**

gent. <sup>1/</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-	-0,34	-0,77	0,43	0,15	0,21	-0,01	-0,38	-0,19	0,04
2	1,03	-	0,98	0,02	0,10	0,76	-0,31	0,45	-0,24	-0,59	0,23
3	0,10	0,10	-	-0,10	-0,17	-0,26	-0,30	0,37	-0,19	-0,60	-
4	-0,17	0,27	0,21	-	0,21	-0,38	-0,31	-0,14	-	-	-0,04
5	-0,05	0,25	-0,13	0,19	-	0,02	-0,42	-0,23	-0,33	-0,69	0,41
6	-0,39	0,35	0,29	-0,31	0,28	-	-	0,11	0,07	-0,31	-0,09
7	-0,54	-0,19	0,38	0,09	-0,52	-0,22	-	-0,50	-0,26	-0,32	-0,36
8	-0,32	-0,39	0,07	-0,30	0,07	0,20	0,15	-	0,42	0,03	-0,14
9	-0,40	-0,65	0,01	-0,24	0,34	0,07	0,33	-0,08	-	-0,04	0,01
10	0,51	-0,77	-0,45	0,21	-0,42	0,16	0,60	0,25	0,04	-	0,12
11	0,22	0,00	-0,55	0,04	-0,03	-0,41	-0,08	0,34	0,60	-0,14	-
CGC	-0,16	-1,69	-0,31	0,28	0,19	0,13	0,59	0,29	-0,08	0,60	0,17

1/ : 1 - Rio Vermelho; 2 - Small White; 3 - CNF-05; 4 - A-488; 5 - Carioca; 6 - Ouro; 7 - IPA-7419; 8 - ESAL 591; 9 - ESAL 609; 10 - A-354; 11 - ESAL 501.

Teste  $t_{w/2}$  ( $\alpha = 0,05$ ): DMS (gi - gj) = 0,37

Para produtividade de grãos, tanto o efeito da CGC e CEC quanto dos recíprocos foram significativos (Tabela 10). As estimativas da CGC, CEC e efeito recíproco estão apresentados na Tabela 15. O genitor A-488 foi que apresentou a maior CGG, seguido pelo Ouro, que foram, justamente, os genitores envolvidos no cruzamento que apresentou a maior produtividade de grãos. A cultivar CNF-05 foi a cultivar com menor capacidade geral de combinação, contribuindo muito para redução da produtividade das populações em que foi um dos genitores. A CEC apresentou valores bastante discrepantes, variando desde a redução de 157,7 kg/ha (CNF-05 x ESAL 591), com base na produtividade esperada apenas com a CGC, até um aumento de 123,2 Kg/ha (ESAL-609 x A-488). Assim, nota-se que a CEC pode atuar tanto no sentido de aumentar como de reduzir a produtividade.

Deve-se ressaltar que os genitores (A-488 e Ouro) que apresentaram as maiores estimativas da CGC, mostraram um valor negativo de CEC. Com relação ao efeito recíproco nota-se também que houve muita discrepância entre as estimativas, indicando que o efeito recíproco não se manifesta de forma homogênea em todos os cruzamentos de um genitor. Como exemplo destaca-se o alto valor da estimativa deste efeito no cruzamento Carioca x IPA-7419 e o baixo no Small White x Carioca. Analisando os efeitos recíprocos por meio do valor mínimo para ser considerado diferente de zero (103,03 Kg/ha) observa-se que apenas cinco populações realmente apresentaram efeito recíproco significativo (CNF-05 x A-354, A-488 x Ouro, Carioca x IPA-7419, Ouro x ESAL 591, Carioca x ESAL 501 e seus recíprocos), e portanto foram os responsáveis pela significância do efeito recíproco.

TABELA 15 - Estimativas do efeito recíproco (acima da diagonal), capacidade geral (CGC) e específica de combinação (CEC) (abaixo da diagonal), na média das gerações (F<sub>3</sub> e F<sub>4</sub>) e locais (Lavras e Lambari), para produtividade de grãos (kg/ha). Lavras/Lambari, 1995.

gent. <sup>1/</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-	48,4	-83,2	-34,7	-7,4	44,7	-26,7	10,3	-39,6	-66,5
2	-116,6	-	-26,3	-32,2	-1,8	30,8	-68,3	27,4	41,4	-68,2	-6,2
3	110,0	116,0	-	72,0	-6,5	2,8	23,2	-46,4	4,7	124,7	-
4	45,6	-18,6	15,6	-	-35,8	156,0	-8,9	-18,7	-	-	-3,1
5	4,8	-50,2	-29,2	-16,8	-	-94,2	248,2	31,4	38,4	-68,1	-123,0
6	-6,0	-64,6	-1,8	-41,2	119,7	-	-	-162,9	-16,9	-38,0	17,4
7	-35,6	22,6	-121,1	-32,3	29,5	122,6	-	62,0	62,2	8,5	-93,4
8	-77,7	-10,4	-157,7	-4,0	105,1	-130,0	116,7	-	-23,7	-29,8	12,9
9	67,3	10,7	-54,2	123,2	-33,9	14,1	-14,9	-10,3	-	26,6	70,4
10	12,2	65,0	20,7	-7,1	-11,58	-54,9	-94,6	68,0	5,9	-	-63,0
11	-4,0	46,3	101,8	-64,4	-117,3	42,0	7,0	100,3	-108,0	-3,5	-
CGC	-65,9	25,7	-148,0	162,5	-47,1	105,3	13,1	68,8	-58,3	4,3	-60,3

1/ : 1 - Rio Vermelho; 2 - Small White; 3 - CNF-05; 4 - A-488; 5 - Carioca; 6 - Ouro; 7 - IPA-7419; 8 - ESAL 591; 9 - ESAL 609; 10 - A-354; 11 - ESAL 501.

Teste  $t_{w/2}$  ( $\alpha = 0,05$ ): DMS(gi - gj) = 48, 71 kg/ha; DMS ( $s_{ij} - s_{ik}$ ) = 137,79 Kg/ha; DMS ( $s_{ij} - s_{kl}$ ) = 128,89  
Valores absolutos dos efeitos recíprocos superiores a 103,03 kg/ha são estatisticamente diferentes de zero, pelo teste  $t_{w/2}$  ( $\alpha = 0,05$ ).

A predominância dos efeitos da capacidade geral de combinação, para produtividade de grãos (Tabela 10), demonstra sua maior importância na definição da capacidade combinatória dos genitores. Além disso, esse foi o único efeito significativo em todos os experimentos individuais (Tabela 6). Desta forma, os valores da CGC em cada experimento estão apresentados na Tabela 16. Estes resultados permitem constatar o efeito da interação CGC x L e CGC x G, por meio da resposta diferencial dos genitores às mudanças de ambiente. Verifica-se, contudo, que os genitores que apresentaram maior CGC média, A-488, Ouro e ESAL 591 (Tabela 15), foram os únicos que apresentaram valores positivos e de magnitudes concordantes nos quatro ambientes, não sendo portanto eles a causa das interações da capacidade geral de combinação por local e geração. Os genitores CNF-05, ESAL 501 e ESAL 609 (CGC mais baixas, Tabela 15), apresentaram valores negativos para todos os ambientes, e também não devem ter contribuído de forma significativa para a interação.

TABELA 16 - Estimativas da capacidade geral de combinação por local (Lavras e Lambari) e geração ( $F_3$  e  $F_4$ ) para produtividade de grãos (kg/ha). Lavras/Lambari, 1995.

Genitores	CGC			
	$F_3$ - Lavras	$F_3$ - Lambari	$F_4$ - Lavras	$F_4$ - Lambari
Rio Vermelho	-140,73	33,87	-168,50	11,70
Small White	1,00	105,93	-70,30	65,73
CNF-05	-85,27	-156,23	-131,37	-219,10
A-488	328,43	58,87	200,20	62,37
Carioca	-194,66	-48,07	5,00	49,27
Ouro	160,17	62,83	115,03	83,13
IPA-7419	-101,80	6,27	56,13	91,93
ESAL 591	35,93	38,53	130,83	70,07
ESAL 609	-39,43	-21,97	-112,97	-59,00
A-354	60,97	2,20	8,73	-54,63
ESAL-501	-24,57	-82,20	-33,00	-101,43
DMS ( $g_i - g_j$ ) <sup>1/</sup>	100,80	91,92	88,46	107,28

1/ Diferença mínima significativa pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade.

Para se prever o sucesso com a seleção é importante o conhecimento da variância genética e herdabilidade do caráter nas populações segregantes. Nas Tabelas 17 e 18 estão apresentadas as estimativas da variância genética e herdabilidade no sentido amplo de algumas populações segregantes previamente escolhidas, com base em algumas características favoráveis dos genitores, nas gerações  $F_3$  e  $F_4$ , respectivamente. Na geração  $F_3$  a população Ouro x ESAL-609 apresentou a maior estimativa da variância genética e Rio Vermelho x A-354 estimativa nula. Com relação a herdabilidade, a população Ouro x CNF-05 alcançou o maior valor. Para geração  $F_4$  a população Ouro x Rio Vermelho teve a maior variância genética e A-354 x Ouro, A-354 x Carioca e Rio Vermelho x ESAL 501 estimativas nulas. Para facilitar as comparações estimou-se a variância genética e herdabilidade média de cada genitor. Verifica-se que a cultivar A-488, que apresentou alta capacidade geral de combinação, mostrou variância genética e herdabilidade acima da média, nas duas gerações. A cultivar A-354 obteve baixos valores para a variância genética e herdabilidade na média de suas populações.

A população Ouro x Carioca, que teve uma alta estimativa da capacidade específica de combinação apresentou alta variância genética e herdabilidade na  $F_3$ , mas baixa em  $F_4$ , ficando a nível intermediário na média das gerações. De uma forma geral as populações apresentaram maiores estimativas de variância genética e herdabilidade na geração  $F_3$ .

Com o objetivo de facilitar as comparações, foi estimada a variância genética, herdabilidade e produtividade de grãos na média das gerações  $F_3$  e  $F_4$  em Lavras (Tabela 19). Nota-se que a população com maior produtividade de grãos (Ouro x A-488) apresentou também uma alta herdabilidade, mostrando ser promissora para seleção. Populações com mesma média, por exemplo Ouro x ESAL-609 e Ouro x A-354, possuem herdabilidades totalmente diferentes. De uma forma geral, as populações envolvendo a cultivar Ouro alcançaram maiores médias, variâncias genéticas e herdabilidades, sendo que para estas populações, a geração  $F_3$  apresentou estimativas superiores às encontradas em  $F_4$ .

TABELA 17 - Estimativas da variância genética (antes da barra, em g<sup>2</sup>/planta), herdabilidade (depois da barra, em %) da produtividade de grãos, obtida na geração F<sub>3</sub>. Lavras, 1995.

Genitores	Rio Vermelho	Carioca	Ouro	Média
Rio Vermelho	-	3,68/37,07	3,94/49,54	-
CNF-05	2,26/38,49	4,79/41,77	12,25/66,96	6,43/49,07
A-488	8,08/40,27	6,23/31,75	9,71/48,93	8,01/40,32
Carioca	3,68/37,07	-	6,30/40,10	-
Ouro	3,94/49,54	6,30/40,10	-	-
IPA-7419	12,32/58,13	5,51/20,19	6,21/22,06	8,01/33,46
ESAL-591	4,42/32,50	3,79/28,17	10,51/57,39	6,24/39,35
ESAL-609	5,70/36,36	5,16/32,29	27,75/62,77	12,87/43,81
A-354	0,00/0,00	5,45/26,37	0,11/1,39	1,85/9,25
ESAL-501	3,74/26,01	0,18/3,99	3,13/25,94	2,35/18,64
Média	4,90/35,37	4,56/29,08	8,88/41,67	6,11/35,37

TABELA 18 - Estimativas da variância genética (antes da barra, em g<sup>2</sup>/planta), herdabilidade (depois da barra, em %) da produtividade de grãos, obtida na geração F<sub>4</sub>. Lavras, 1995.

Genitores	Rio Vermelho	Carioca	Ouro	Média
Rio Vermelho	-	5,45/48,37	15,71/67,81	-
CNF-05	1,10/19,79	3,15/27,84	2,58/19,25	2,28/22,29
A-488	8,95/40,91	6,79/37,10	9,15/51,38	8,30/43,13
Carioca	5,45/48,37	-	0,09/0,92	-
Ouro	15,71/67,81	0,09/0,92	-	-
IPA-7419	3,53/38,35	3,84/19,30	0,25/2,12	2,54/19,92
ESAL-591	2,33/31,63	6,71/27,43	5,98/28,33	5,01/29,13
ESAL-609	2,02/39,35	2,77/23,98	0,45/7,12	1,75/23,48
A-354	3,70/36,52	0,00/0,00	0,00/0,00	1,23/12,17
ESAL-501	0,00/0,00	6,80/47,19	1,70/13,74	2,83/20,31
Média	4,75/35,86	3,95/25,79	3,99/21,18	4,23/27,61

**TABELA 19 - Estimativas da variância genética (antes da barra, em g<sup>2</sup>/planta), herdabilidade (depois da barra, em %) e média (entre parênteses, em kg/ha) da produtividade de grãos, obtidas nas gerações F<sub>3</sub> e F<sub>4</sub>. Lavras, 1995.**

<b>Genitores</b>	<b>Rio Vermelho</b>	<b>Carioca</b>	<b>Ouro</b>
Rio Vermelho	-	4,56/42,72 (1046,42)	9,83/58,68 (1266,05)
CNF-05	1,68/29,14 (949,72)	3,97/34,81 (1055,87)	7,42/43,11 (1221,72)
A-488	8,51/40,59 (1412,37)	6,51/34,43 (1474,65)	9,43/50,16 (1614,95)
Carioca	4,56/42,72 (1046,42)	-	3,20/20,51 (1388,19)
Ouro	9,83/58,68 (1266,05)	3,20/20,51 (1388,19)	-
IPA-7419	7,93/48,24 (1053,34)	4,68/19,75 (1174,29)	3,23/12,09 (1308,29)
ESAL-591	8,38/32,07 (1042,89)	5,25/27,80 (1300,02)	8,25/42,86 (1496,40)
ESAL-609	3,86/37,86 (1143,82)	3,97/28,14 (953,59)	14,11/34,95 (1320,72)
A-354	1,85/18,26 (1135,26)	2,73/13,19 (1208,89)	0,05/0,69 (1353,15)
ESAL-501	1,87/13,00 (1103,39)	3,49/25,59 (974,54)	2,42/19,84 (1377,82)
<b>Média</b>	<b>5,39/35,62 (1128,14)</b>	<b>4,26/27,44 (1175,17)</b>	<b>6,44/31,43 (1371,92)</b>

A antracnose é uma das doenças que mais ocasiona redução na produtividade na cultura do feijão. Sua avaliação foi feita com o objetivo de verificar se esta influenciou nos resultados encontrados nos experimentos. Os resultados (Tabela 20) indicam que, tanto em Lavras quanto Lambari, ocorreram diferenças significativas da incidência da doença entre as populações. O coeficiente de variação, que mede a precisão experimental, foi um pouco elevado, principalmente em Lambari. Observa-se que a média de doenças em Lavras foi um pouco superior a de Lambari. Contudo, a análise conjunta (Tabela 21) indica que não ocorreram diferenças significativas entre gerações e nem entre locais. Verifica-se ainda que as populações mostraram respostas diferenciadas à mudança de ambiente, pois a interação tratamentos por locais foi significativa. A interação tripla (T x G x L) também foi significativa, o que não ocorreu com as interações de gerações por locais e de tratamentos por gerações.

TABELA 20 - Resumo da análise de variância da incidência de antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*), nas gerações F<sub>3</sub> e F<sub>4</sub> em Lavras e Lambari, 1995.

F.V	G.L	QM			
		F <sub>3</sub> - Lavras	F <sub>3</sub> - Lambari	F <sub>4</sub> - Lavras	F <sub>4</sub> - Lambari
Tratamentos	109	0,48**	1,01**	0,42**	0,82**
Erro efetivo	214	0,26	0,24	0,24	0,34
Média		1,85	1,81	2,35	1,64
CV (%)		27,56	27,07	20,85	35,55

\*\* : significativo ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste F.

TABELA 21 - Resumo da análise de variância conjunta da incidência de antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*), nas gerações F<sub>3</sub> e F<sub>4</sub> em Lavras e Lambari, 1995.

F.V.	G.L.	QM
Locais (L)	1	0,42
Gerações (G)	1	0,08
L x G	1	0,28
Tratamentos (T)	109	1,26**
T x L	109	0,72**
T x G	109	0,33
T x L x G	109	0,42**
Erro médio	856	0,27
Média		1,91
CV (%)		27,2

\*\* : significativo ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste F.

## **5 DISCUSSÃO**

### **5.1 Condições experimentais**

Um dos fatores mais importantes no estudo do controle genético da tolerância à baixa temperatura, e conseqüentemente na escolha dos genitores a serem utilizados em um programa de melhoramento para as condições de outono e inverno, são os valores de temperatura mínima em que as populações são avaliadas. Nas avaliações em campo, as temperaturas não são controladas, e sua variação e amplitude podem influenciar os resultados encontrados. Neste estudo, as temperaturas podem ser consideradas subótimas (temperaturas mínimas em torno 11°C e as máximas 24°C), evidenciando uma situação de estresse, visto que as temperaturas ideais para o cultivo do feijão variam de 18 a 30°C (Camargo, 1972; Vieira, 1967), e que o termoperíodo ótimo situa-se em torno de 29,5/21,0°C (dia/noite) (Stobe e Hombord, 1966). Desta forma, constata-se que tanto Lavras como Lambari propiciaram condições favoráveis de avaliação da tolerância a baixa temperatura na fase adulta do feijoeiro. A principal diferença entre os dois locais ocorreu devido a temperatura mínima inferior em Lambari, principalmente a partir dos 55 dias após a semeadura. Essa diferença caracteriza Lambari como um local mais estressante para o desenvolvimento das plantas, especialmente na fase de florescimento e enchimento de grãos. Portanto, pode-se considerar que as condições ambientais foram adequadas para a avaliação das populações.

Embora algumas populações tenham se mostrado promissoras, deve-se ressaltar que essa nova época de cultivo pode ser considerada de alto risco, devido a

grande probabilidade de ocorrência de geada durante o período de cultivo. Silva, Castro Neto e Silveira (1986) verificaram que a época de maior ocorrência de baixas temperaturas, no Sul de Minas Gerais, compreende os meses de maio a agosto, sendo o mês de julho o que existe maior probabilidade de ocorrência de geada. Algumas populações podem ser consideradas tolerantes à baixas temperaturas na fase adulta, mas, muito provavelmente, nenhuma delas resistiriam a geada. Além disso, o processo de avaliação também é muito difícil, pois a ocorrência de temperaturas não seletivas ou a ocorrência de geadas podem comprometer todo o processo de avaliação. Melo *et. al.* (1995) avaliaram as mesmas populações deste estudo durante o outono-inverno de 1994 em Lavras e Lambari. Com a ocorrência de geadas nos dois locais houve perda total dos experimentos em Lambari e perda de 45 parcelas em Lavras, devido a distribuição desuniforme da geada dentro dos experimentos. Assim, mesmo que se encontre populações promissoras para seleção e se obtenha cultivares mais adaptadas a essa nova época de cultivo, deve-se ter consciência do risco com a cultura.

A precisão experimental é um dos pontos primordiais para que se possa detectar a verdadeira diferença no potencial genético das populações, bem como para se conhecer de maneira fidedigna a importância de cada efeito da variação genética entre estas populações. A medida de precisão mais utilizada é o coeficiente de variação experimental, que possibilita fazer inferência sobre o nível de precisão experimental atingida. Neste trabalho o coeficiente de variação foi de 23,51% para produtividade de grãos e 2,66% para florescimento. A produtividade de grãos alcançou um coeficiente de variação que pode ser considerado médio, e é semelhante ao que tem sido obtido em outros experimentos com feijão (Estefanel, Pignaro e Storck, 1987; Abreu *et. al.*, 1994; Oliveira, 1995). O fato das populações terem sido avaliadas em uma época do ano não ideal para a cultura pode ter contribuído para elevar o coeficiente de variação. O valor acentuadamente menor para o coeficiente de variação do florescimento deve-se à influência ambiental muito menor sobre o caráter, também semelhante às estimativas obtidas em outros experimentos (White e Singh, 1991; Teixeira, Ramalho e Abreu, 1995).

É necessário enfatizar que neste trabalho o efeito de gerações está confundido com o de experimento, visto que as duas gerações foram avaliadas em

experimentos diferentes. Contudo, a diferença ambiental entre os experimentos deve ter sido pouco expressiva, devido a proximidade física dos dois experimentos. Além disso, visando identificar se a análise agrupada poderia ter influenciado nos resultados, foi realizada uma análise dialética levando em consideração apenas os genitores que estavam presentes em um experimento. Os resultados encontrados foram coincidentes aos obtidos com a análise agrupada, indicando que as diferenças entre os experimentos, possivelmente, eram muito pequenas e não influenciaram de maneira decisiva nos resultados encontrados. Assim, eles permitiram inferir também que o efeito de experimentos, provavelmente, não influenciou de forma decisiva no efeito de gerações.

Outro fator que pode ter influenciado os resultados é a incidência de antracnose, que mostrou diferenças significativas em todos os experimentos (Tabela 20). No entanto, as pulverizações preventivas com fungicidas contribuíram para reduzir a incidência da doença nas populações, que em média foi 1,91, indicando ocorrência de sintomas leves. Desta forma, o efeito da antracnose não foi muito pronunciado sobre a expressão dos outros caracteres, a ponto de mascarar o efeito das baixas temperaturas. Além disso, as causas da variação entre as populações, provavelmente, se deveram às diferenças na quantidade de inóculo nas sementes ou no campo experimental, e também porque as genitores possuem níveis diferentes de resistência. Contudo, a análise de variância conjunta (Tabela 21) indica que os locais e as gerações apresentam o mesmo nível de incidência de doenças. A interação tratamentos x locais foi significativa, indicando que, para produtividade de grãos, as interações dos tratamentos por locais podem ter sido influenciadas pela incidência de doenças. Essa interação se deve a provável ocorrência de raças diferentes nos dois locais ou a diferença de distribuição do inóculo no experimento.

## 5.2 Época de florescimento

A época de florescimento está diretamente relacionada com as temperaturas ocorridas durante a fase de germinação, emergência e crescimento vegetativo. Assim quando estas fases coincidem com épocas de baixas temperaturas ocorre um atraso no ciclo da cultura, alterando assim a época de florescimento. O número de dias para o florescimento encontrado neste trabalho (51,94) foi superior ao que normalmente é relatado para o feijoeiro. Contudo, Oliveira (1995) avaliando populações em cruzamento dialélico na época de inverno tradicional, onde a temperatura na fase de germinação e emergência é mais baixa, encontrou época média de florescimento igual a 53,7 dias. O florescimento (51,94) neste experimento não foi superior, principalmente, devido ao fato das temperaturas iniciais não terem sido muito baixas (Figura 1). Principalmente em Lambari, a temperatura reduziu após a ocorrência do florescimento. Mesmo assim, foi possível detectar diferença entre os cruzamentos, tanto nas análises de variância individuais, quanto na conjunta. Verifica-se que o número médio de dias para florescimento das populações na geração  $F_3$  (52,14) foi muito semelhante ao encontrado na geração  $F_4$  (51,73), não existindo diferença significativa entre as duas gerações (Tabela 11). Estes resultados confirmam o encontrado com o desdobramento do efeito de tratamentos, que mostrou significância apenas dos efeitos de capacidade geral de combinação, indicando predominância dos genes com ação aditiva no controle do caráter. Assim, com a predominância deste tipo de ação gênica, não ocorre alterações significativas na média das gerações.

Na literatura existem relatos que a época de florescimento é controlada por poucos genes, com dominância do alelo que condiciona a precocidade (Teixeira, Ramalho e Abreu, 1995), embora existam também relatos de controle poligênico, ora com a predominância de efeitos aditivos (White e Singh, 1991) e ora com a predominância dos efeitos de dominância (Evans e Davis, 1978). Desta forma, devem existir alguns genes de efeitos maiores controlando o caráter associado a alguns modificadores, e dependendo dos genitores utilizados e temperaturas ocorridas, encontram-se resultados totalmente discrepantes. Neste estudo, nenhum genitor é precoce, portanto o alelo dominante para precocidade não ocorre nas populações

avaliadas, sendo as diferenças encontradas devido a provável presença de genes modificadores de ação predominantemente aditiva. Os genitores apresentaram comportamento muito semelhante, mas a utilização da linhagem Small White mostrou contribuir para reduzir o ciclo de suas populações.

### 5.3 Produtividade de grãos

Em um programa de melhoramento de feijão, a produtividade é a característica mais importante, embora seja a mais complexa, pois é dependente de vários outros caracteres e de inúmeros fatores ambientais. Neste estudo, em todos os experimentos, as populações diferiram quanto a produtividade de grãos, mostrando grande variabilidade entre as populações (Tabela 6). O efeito da capacidade geral de combinação se mostrou importante em todas as gerações e locais, indicando a importância dos genes de ação aditiva no controle da produtividade de grãos sob condições de baixa temperatura na fase adulta do feijoeiro. Contudo, a capacidade específica de combinação também se mostrou significativa, com exceção geração  $F_4$  em Lambari, e isto sugere que existem genes com ação dominante no controle deste caráter. O efeito recíproco se mostrou significativo, mas de menor importância, visto que não apresentou respostas consistentes e só representou uma grande parcela da variação genética, na geração  $F_4$ , em Lambari.

Quando se realizou a análise de variância conjunta de locais, da geração  $F_3$  e  $F_4$  separadamente (Tabela 8) observou-se que as duas gerações não apresentaram respostas diferenciadas quanto a significância dos efeitos. Isto se deve, basicamente, a pequena diferença na constituição genética das duas gerações, pois as médias das gerações são definidas a partir das seguintes expressões:  $\bar{F}_3 = m+a+1/4 d$  e  $\bar{F}_4 = m+a+1/8 d$ , onde: "a" é a soma dos desvios dos homocigotos em relação a média, e mede o efeito aditivo dos genes e "d" é a soma dos desvios dos heterocigotos em relação a média, e mede o efeito de dominância dos genes. Assim nota-se que a diferença entre estas duas gerações não é muito significativa, dependendo apenas da magnitude do efeito de dominância dos genes. A geração  $F_3$  (1122,99 kg/ha)

apresentou média um pouco superior a  $F_4$  (1074,26 kg/ha), e a redução não foi maior provavelmente devido a dominância bidirecional que ocorreu no controle deste caráter sob condições de baixa temperatura. A dominância bidirecional ocorre toda vez que alguns locos possuem alelos dominantes para aumentar a produtividade e outros dominância no sentido de reduzir. A suposição de dominância bidirecional é fundamentada no fato do efeito de gerações não ter sido significativo tanto em Lavras quanto em Lambari (Tabela 9). Na análise conjunta (Tabela 10) fica evidenciado a predominância do comportamento bidirecional, devido a não significância do efeito de gerações. Desta forma, ocorreu um cancelamento da heterose, pois os locos com efeitos negativos e positivos podem se anular, fazendo com que a média das duas gerações sejam semelhantes. Mesmo que os locos positivos e negativos não se anulem, pode ocorrer de uma população ter predominância de locos favoráveis e outra de locos desfavoráveis, o que também pode levar ao cancelamento da heterose média, que se manifesta através da diferença entre gerações. Vale ressaltar, que as gerações avaliadas ( $F_3$  e  $F_4$ ) são avançadas para se chegar a resultados conclusivos com relação a direção de dominância. Stushonoff, Fowler e Brule-Babel (1984) relataram a existência de alguns locos com alelos recessivos e outros com alelos dominantes no controle genético da tolerância à baixa temperatura.

A maior importância da ação gênica aditiva nas gerações mais avançadas é reforçada pela maior relação entre os efeitos da CGC e CEC na geração  $F_4$ , mostrando que, com as sucessivas gerações de autofecundação reduz a importância dos locos dominantes na explicação da variação genética de um caráter, devido ao aumento dos locos em homozigose. Ocorreu interação da CGC e CEC com locais nas duas gerações, mostrando que estes efeitos são altamente dependentes dos ambientes onde são estimados, e dessa forma, sempre que possível, devem ser avaliados em mais de um local, para que a diferença entre populações não seja inflacionada pela interação. O efeito recíproco mostrou ser indiferente a mudança de locais, indicando que sua avaliação poderia ser realizada em apenas um ambiente, reduzindo assim o custo e trabalho de avaliação das populações segregantes.

A análise de variância conjunta das gerações  $F_3$  e  $F_4$ , para cada local separadamente (Tabela 9) indica que os dois locais apresentaram comportamentos

diferenciados. Esta diferença, muito provavelmente, foi devido as temperaturas mais baixas ocorridas em Lambari (Figura 1), que propiciou um menor crescimento vegetativo das plantas, reduzindo a produtividade média das populações neste ambiente. Nota-se que os efeitos das interações de tratamentos, CGC e CEC com gerações foram significativos apenas em Lavras, mostrando que em temperaturas mais elevadas o efeito de geração parece ser mais pronunciado. Vale lembrar que o efeito de geração pode estar confundido com efeito de experimento, que mesmo não sendo muito alto, pode ter sido maior em Lavras do que Lambari, influenciando na significância dos efeitos de gerações e suas interações. Como mostrado anteriormente, a diferença nas médias das gerações  $F_3$  e  $F_4$  é igual a um oitavo do efeito de dominância dos genes ( $1/8 d$ ), podendo influenciar a média das gerações conforme a sua magnitude. O valor relativo dos efeitos quadráticos da CGC e CEC indicam que em Lambari os efeitos da CEC foram mais importante do que em Lavras. Tanto em Lavras quanto em Lambari, a não significância de  $1/8 d$  pode ter sido devido a dominância bidirecional, o que fez com que os efeitos de dominância se anulassem, tornando as médias das duas gerações similares, mesmo no local (Lambari) onde os efeitos de dominância foram mais importantes.

O fato dos efeitos de dominância terem sido maiores em Lambari do que em Lavras, possivelmente, foi causado pela menor competição entre as plantas em Lambari, devido ao menor crescimento vegetativo das populações neste local, resultado das temperaturas mais baixas. Santos (1984) relata que uma das causas da discordância da literatura, para o controle genético da produtividade de grãos e seus componentes primários, são as interações das ações gênicas com os diversos fatores ambientais. Assim, ocorre prevalência da ação gênica aditiva quando a competição entre plantas é acentuada, como verificado em Lavras, e em plantios com menor competição entre plantas, como verificado em Lambari, o efeito de dominância foi mais pronunciado, em acordo com Hamblim e Morton (1977). Desta forma, a menor competição ocorrida em Lambari pode ser uma das responsáveis pela maior importância dos efeitos de dominância neste local.

O efeito recíproco foi não significativo tanto em Lavras quanto em Lambari (Tabela 9), indicando que quando se agrupou as médias das gerações  $F_3$  e  $F_4$  ocorreu

um cancelamento do efeito recíproco manifestado em cada geração separadamente (Tabela 8). Este cancelamento dos efeitos recíprocos fica demonstrado em Lambari pela significância da interação do efeito recíproco com geração. Em Lavras esta interação foi não significativa, indicando que não houve cancelamento, mas que na média das gerações este efeito ficou menos pronunciado.

Por meio da análise de variância conjunta (Tabela 10), envolvendo as gerações  $F_3$  e  $F_4$  e os dois locais (Lavras e Lambari) pode-se ter um visão global do comportamento das populações segregantes no presente estudo. Verifica-se que o efeito de locais foi significativo, o que era esperado devido as diferenças nas temperaturas mínimas, e isto mostra que os locais estudados afetam diferentemente a expressão dos caracteres. O efeito de gerações foi não significativo, o que também era esperado, visto que este efeito foi não significativos nos dois locais estudados (Tabela 9), devido provavelmente a dominância bidirecional, como explicado anteriormente.

As populações, e os efeitos que as compõem, mostraram diferenças, indicando existir variabilidade genética para tolerância à baixa temperatura na fase adulta na cultura do feijão. A significância do efeito de dominância não é muito comum nos estudos envolvendo produtividade em feijão, em épocas normais de cultivo. A ausência de dominância no controle genético do caráter produtividade de grãos no feijoeiro tem sido relatada em algumas situações (Santos, Vencovsky e Ramalho, 1985; Nienhuis e Singh, 1988; Ramalho, Santos e Zimmermann, 1993). Contudo, Stushnoff, Fowler e Brule-Babel (1984) relataram que no controle genético da tolerância a baixas temperaturas podem estar envolvidos locos com ação gênica dominante, e que a grande diversidade de resultados pode ser devido às diferenças de temperaturas e de genótipos utilizados nos vários estudos. Portanto, existem algumas possíveis explicações para ocorrência de dominância no controle genético deste caráter em condições de baixa temperatura. A primeira é a possível existência de genes que são regulados e ativados pela baixa temperatura, de tal forma que eles só se manifestam quando a temperatura atinge valores críticos. Assim estes genes, ativados pela baixa temperatura, devem possuir ação dominante, o que proporcionaria a ocorrência de dominância somente em condições de temperaturas mais baixas. Stushnoff, Fowler e Brule-Babel (1984) verificaram que a tolerância à baixa temperatura é controlada por

genes que se expressam quando as plantas são expostas à temperatura muito baixa. A segunda explicação seria a maior possibilidade de ocorrência de dominância quando as plantas são submetidas as condições de menor competição (Hamblim e Morton, 1977). Como o cultivo das populações ocorreu durante um período de baixas temperaturas, o que proporciona um menor crescimento vegetativo, e portanto menor competição, este pode ser um fator importante na explicação da ocorrência de dominância em condições de temperaturas baixas. A outra possível causa da significância do efeito de dominância pode ser o fato dos genitores utilizados neste estudo ser materiais muito contrastantes, devido as suas diferentes origens, embora todos sejam mesoamericanos. Como a dominância só se expressa se os materiais forem contrastantes, isto pode ter contribuído para a detecção do efeito dominância neste estudo.

O efeito recíproco, para produtividade de grãos, também se mostrou significativo, o que em condições normais de cultivo não é muito comum (Ramalho, Santos e Zimmermann, 1993). Contudo, Fowler *et. al.* (1993) comentam que apesar de, normalmente, não ser um efeito significativo na composição da variação de populações de feijoeiro em condições de temperaturas normais, pode ser significativo em condições de baixa temperatura. Desta forma, os fatores citoplasmáticos podem influenciar no controle da tolerância à baixa temperatura, embora em menor proporção do que os efeitos nucleares.

Para se fazer um estudo criterioso do comportamento das populações é necessário a avaliação em vários locais e se possível em várias gerações. Assim, poderão ser obtidas estimativas dos componentes genéticos livres de interação e principalmente permitir uma escolha mais fidedigna das populações segregantes. Observando-se a análise de variância conjunta (tabela 10), nota-se que as populações interagiram tanto com locais quanto com gerações. Analisando-se cada efeito componente da população separadamente verifica-se que esses não se comportaram de forma homogênea com relação a interação. As capacidades geral e específica de combinação mostraram interações significativas com locais, ao contrário do efeito recíproco, como era esperado com base no comportamento destes efeitos nas análises de variância conjunta de local, para cada geração separadamente (Tabela 8). Esses

resultados reforçam o relatado anteriormente, que as capacidades geral e específica parecem interagir de maneira mais acentuada com o ambiente do que o efeito recíproco, levando a concluir que os efeitos recíprocos podem ser avaliados em apenas um local. Ramalho, Santos e Pereira-Filho (1988), avaliando populações de feijoeiro em épocas normais de cultivo, encontraram resultados semelhantes a este para a interação da CGC e CEC por locais.

A capacidade geral de combinação e efeito recíproco interagiram com gerações, o que não aconteceu com a capacidade específica. A interação de CGC com gerações foi significativa, devido a importância desta interação em Lavras, visto que em Lambari esta foi não significativa. Para CEC x gerações ocorreu o inverso, ou seja, a significância desta interação em Lavras não influenciou de forma definitiva o valor observado na análise conjunta. Já a interação do efeito recíproco com gerações foi devido, exclusivamente, a significância desta em Lambari. Uma provável explicação para interação do efeito recíproco com gerações seria uma possível interação entre genes nucleares e citoplásmaticos que poderia interferir na manifestação desse efeito recíproco. Desta forma, com avanço das gerações de autofecundação e o consequente aumento dos locos em homozigose, pode-se esperar modificações na expressão do efeito recíproco, o que provoca a ocorrência da interação deste efeito com gerações. Assim, de uma forma geral, parece que o efeito de gerações foi mais importante para a capacidade geral de combinação e para o efeito recíproco e menos para a capacidade específica. Ramalho, Santos e Pereira-Filho (1988), não encontraram interação significativa entre CGC e CEC com gerações, quando avaliaram populações em condições de temperaturas normais.

Vencovsky (1987) comenta que a capacidade de combinação de um material "i" com um testador qualquer é fornecida pela expressão:  $(p_i - p_m) [\alpha + (1 - 2t)\delta]$ , onde  $p_i$  e  $p_m$  são a frequência do alelo favorável do material "i" e na população de onde ele foi retirado, respectivamente;  $t$  é a frequência do referido alelo testador. No caso do dialelo o valor de  $p_m$  é igual a frequência alélica média do loco considerado de todos os genitores envolvidos, e  $t$  é a média do loco em todos, exceto para aquele cuja capacidade de combinação está sendo estimada;  $\alpha$  é o desvio dos homozigotos em

relação a média e  $\delta$  é o desvio dos heterozigotos em relação a média, também denominado efeito de dominância dos genes. Desta forma, fica claro que, o efeito de dominância influencia diretamente no valor da capacidade geral de combinação. O valor da CGC de um genitor depende diretamente do efeito de dominância dos locos que possui, e que são manifestados em sua população segregante de forma mais ou menos acentuada, dependendo do grau de complementação alélica entre os genitores cruzados. Assim, na ocorrência de dominância, é perfeitamente possível encontrar interações significativas entre CGC e gerações, pois com a mudança de gerações ocorre também alterações no valor de contribuição da dominância para o caráter, o que pode resultar em comportamento diferencial das populações nas gerações estudadas. Estas diferenças se devem aos diferentes efeitos de dominância contidos nas populações, que estão diretamente ligados a diversidade entre os genitores.

A interação tripla entre populações, locais e gerações é de menor importância, e no seu desdobramento, apenas o efeito recíproco interagiu de forma significativa. Como o efeito recíproco não interagiu com locais, parece que esta interação tripla foi devido, exclusivamente, o efeito da interação do efeito recíproco com gerações.

Todos os efeitos desdobrados do efeito de populações (CGC, CEC e E. Rec.) foram significativos, e portanto, necessários para explicar a variação encontrada entre as populações segregante. Contudo, deve-se ressaltar a predominância dos efeitos quadráticos da CGC, que dependem dos efeitos aditivos, sendo, portanto, os mais importantes no controle genético da tolerância ao frio na fase adulta na cultura do feijão.

As interações da capacidade geral de combinação com locais e também com geração parecem ter ocorrido com as populações de desempenho intermediário. Analisando-se as estimativas da CGC em cada experimento (Tabela 16) pode-se concluir que os genitores que tiveram as maiores estimativas (A-488, Ouro e ESAL 591) não apresentaram valores de CGC negativo em nenhum dos locais e gerações, assim como os genitores com desempenho inferior (ESAL 501, CNF-05) mostraram valores negativos para todos os experimentos. Desta forma, parece que as interações com a capacidade geral de combinação não foram muito intensas a ponto de alterar o

desempenho dos genitores mais discrepantes, influenciando de maneira mais forte os genitores com desempenho intermediário. No entanto, quando se avalia a produção das populações segregantes, normalmente, não se tem uma boa idéia da discrepância entre os genitores, o que leva a concluir que para avaliação da tolerância à baixa temperatura na fase adulta do feijoeiro deve-se ter estimativas em vários locais e gerações. Assim retira-se o efeito da interação nos parâmetros estimados, obtendo-se assim resultados mais precisos e confiáveis, principalmente quando as diferenças entre os genitores é pequena.

As estimativas da capacidade geral de combinação da produtividade de grãos, obtida com os valores médios de todos os experimentos (Tabela 15) mostraram que os genitores A-488 e Ouro foram os que apresentaram valores mais altos. Isto sugere que estas linhagens são as que possuem maior número de locos favoráveis para tolerância a baixas temperaturas na fase adulta, e que esta população deverá apresentar a maior média de suas linhagens na geração  $F_{\infty}$ . Esta média corresponde ao valor de "m+a", onde "m" é o ponto médio entre os homozigotos favoráveis e desfavoráveis e "a" é a soma dos desvios dos homozigotos em relação a média. Oliveira (1995) relata que os genitores com maior efeito da capacidade geral de combinação (CGC), contribuíram para obtenção da população segregante com maior média das linhagens derivadas, concluindo, portanto, que houve uma boa concordância entre CGC e "m+a".

A pressuposição de que alta CGC é igual a grande número de locos favoráveis é confirmada por meio da mais alta produtividade alcançada pela população A-488 x Ouro (Tabela 13). Dentro deste mesmo raciocínio os genitores Rio Vermelho, CNF-05 e ESAL 501 devem ser os que possuem o menor número de locos favoráveis para este caráter e as que terão linhagens com pior desempenho, pois foram os que apresentaram as menores estimativas da capacidade geral de combinação. Otubo (1994) encontrou resultados diferentes para tolerância à baixa temperatura na fase de germinação e emergência do feijoeiro. Utilizando, basicamente, os mesmos genitores o autor relatou que as linhagens Rio Vermelho e Small White como tolerantes a baixa temperatura. Além disso não foi observado o efeito recíproco e nem de dominância. Desta forma, parece que o controle genético da tolerância a baixas temperaturas é

realizado por locos gênicos diferentes. Esta conclusão se baseia no fato das linhagens consideradas mais tolerantes na fase de germinação e emergência terem sido as menos tolerantes na fase adulta do feijoeiro e também no fato da não ocorrência de dominância e efeito recíproco na tolerância na fase jovem. No entanto, deve-se ressaltar que o genitor A-488 foi considerado tolerante à baixa temperatura nas duas fases, mostrando que possivelmente existam alguns locos em comum no controle genético nas duas fases e que a linhagem A-488 parece ser um material promissor para utilização em programas de melhoramento visando a tolerância do feijoeiro ao frio. Kemp (1978); Dickson e Petzold (1987) relataram que a tolerância ao frio nas diferentes fases de desenvolvimento do feijoeiro é herdada de maneira independente.

A magnitude das estimativas de CEC dão uma idéia do grau de complementação dos genitores de um cruzamento. Sua significância indica que existe desempenho heterogêneo das populações, não podendo prever seu comportamento com base apenas na CGC, pois ocorrem interações entre os genitores, de acordo com o grau de divergência nos locos com dominância. No entanto, Oliveira (1995) por meio de simulações observou que a capacidade específica de combinação não depende somente dos locos em heterozigose, mas também do número de locos fixados com alelos favoráveis. Depende, portanto, da proporção de locos em homozigose favoráveis em relação aos desfavoráveis, pois representa um desvio em relação a média. Verifica-se assim que nem sempre o maior valor de CEC pressupõe maior número de linhagens após a completa homozigose e nem uma maior variância entre as linhagens, conseqüentemente, nem sempre contribuirá para identificação de linhagens com o melhor desempenho.

Os valores da CEC (Tabela 15) dão uma idéia da grande variação encontrada, com amplitudes equivalentes a encontrada na CGC. Vale ressaltar a população A-488 x Ouro que apresentou a maior produtividade de grãos, mostrou estimativas da CEC negativa, indicando que os dois genitores se complementam mais com outros, como por exemplo A-488 x ESAL 501 e Ouro x IPA-7419, embora isso não implique que tais populações irão produzir maior proporção de linhagens favoráveis. A população Ouro x Carioca apresentou um dos maiores valores positivos para CEC, o

que fez com que mesmo com uma baixa CGC da cultivar Carioca esta população apresentasse produtividade considerável.

De uma forma geral os genitores que apresentaram as maiores estimativas de CGC, mostraram CEC negativas quando cruzados entre si (Tabela 15), indicando, a priori, uma grande dificuldade em associar altas estimativas de CGC com valores positivos de CEC. Apenas a população Ouro x IPA-7419 apresentou estimativas positivas da CEC, e os genitores obtiveram também estimativas positivas de CGC, o que refletiu em produtividade média elevada (1339,7 kg/ha). Tal resultado ocorreu, provavelmente porque, embora sejam mesoamericanas, possuem origens diferentes e são bem adaptadas à maioria das regiões brasileiras de cultivos.

Os efeitos recíprocos, que são devidos a genes citoplasmáticos, mostraram-se muito inconsistentes e heterogêneos, visto que apenas cinco populações apresentaram efeito recíproco significativo, e foram as responsáveis principais pela significância deste efeito. Vale ressaltar que o fato de se ter realizado a análise de variância agrupada pode ter contribuído para significância deste efeito, visto que em algumas populações o efeito recíproco estava confundido com efeito de experimentos. No entanto, como relatado anteriormente, observou-se que neste estudo o efeito de experimento não foi muito pronunciado. A inconsistência do efeito recíproco pode ser devido a interação de genes nucleares com citoplasmáticos, fazendo com que os genitores não passem os efeitos citoplasmáticos para todos os cruzamentos em que participam. Portanto, parece que a expressão do efeito recíproco esta diretamente ligada a constiutuição genética nuclear da população segregante. Assim, para caracteres quantitativos, provavelmente, o efeito recíproco não seja característico do genitor, mas sim de uma população segregante específica. Apesar disso, este efeito é importante pois direciona o melhorista na escolha de qual genitor irá atuar como genitor masculino ou feminino. Como o citoplasma da mãe é passado integralmente ao embrião por meio do óvulo, ela é a única responsável pelos fenótipos citoplasmáticos dos descendentes, já que o grão de pólen praticamente não contribui com nenhum citoplasma. Assim, a mãe de um determinado cruzamento deve ser o genitor que apresentar efeito recíproco positivo. Entre as populações que apresentaram efeito recíproco significativo está a A-488 x Ouro que obtiveram altas estimativas de CGC.

Neste caso a utilização do genitor A-488 como mãe poderá propiciar um aumento na produtividade de grãos de até 312 kg/ha, na média da população segregante. Assim, apesar do efeito recíproco não ser muito importante na constituição da variabilidade genética das populações segregantes, pode ser muito útil na definição de como será realizado o cruzamento para originar a população segregante considerada de melhor desempenho.

Além dos componentes de média, são também úteis a variância genética e herdabilidade no sentido amplo de cada população segregante (Tabelas 17,18 e 19). Tais estimativas constituem-se em informações complementares, que permitem uma escolha criteriosa da população mais promissora para seleção. Em especial, é ideal aquela população que possui valores positivos para a capacidade geral de combinação e altas estimativas da variância genética e herdabilidade, que assim, mostra ser portadora de alta frequência de alelos favoráveis e também de variabilidade genética que garantirá sucesso com a seleção de linhagens tolerantes à baixa temperatura na fase adulta.

A estimação da variância genética e herdabilidade em duas gerações ( $F_3$  e  $F_4$ ) permite se comparar os resultados, e concluir em qual das gerações deve-se iniciar o processo seletivo. Neste estudo, deve-se ponderar se a seleção se realizaria nas gerações mais precoces, portanto com redução de uma geração de cultivo, mas com maior participação do efeito de dominância, ou selecionar em gerações mais avançadas com maior gasto de tempo, no entanto, com maior liberação de variabilidade. Além disso, o início da seleção em gerações tardias faz com que o melhorista tenha de conduzir um grande número de populações com pequeno potencial por várias gerações, impedindo que possa concentrar esforços na avaliação das mais promissoras. Contudo, é necessário salientar que a estimativa da variância ao nível de plantas, além de muito trabalhosa, está associada a erros bastante acentuados. Mesmo assim sua estimação é muito valiosa e pode contribuir para maior eficiência do processo seletivo.

Em termos de constituição da variância genética, a diferença entre as gerações  $F_3$  e  $F_4$  é muito pequena, pois  $V_G(F_3) = 1,5 V_A + 0,5 V_D$  e  $V_G(F_4) = 1,75 V_A + 0,25 V_D$ , onde  $V_G(F_3)$  e  $V_G(F_4)$  são variâncias genéticas das gerações  $F_3$  e  $F_4$ ,

respectivamente;  $V_A$  é a variância aditiva e  $V_D$  a variância de dominância da população segregante. De uma forma geral, as estimativas da variância genética e herdabilidade no sentido amplo foram maiores na geração  $F_3$  do que na  $F_4$ . Este fato reforça a importância dos efeitos de dominância no controle da produtividade de grãos em condições de baixa temperatura na fase adulta, pois com as sucessivas autofecundações ocorre uma redução da variância de dominância. Como também ocorreu redução na variância genética e na herdabilidade no sentido amplo, conclui-se que a variância de dominância representa uma parcela considerável da variância genética total. Era esperado que ocorresse um aumento nas estimativas de variância genética e herdabilidade com o avanço das gerações, visto que neste estudo os efeitos aditivos foram mais importantes que os de dominância. No entanto, como as gerações avaliadas eram um pouco avançadas e as estimativas de variância ao nível de planta envolvem erros de alta magnitude, deve-se analisar esses valores com cautela.

Considerando a importância relativa da variância aditiva e de dominância, a herdabilidade no sentido amplo em  $F_4$  é mais útil para indicar a população mais promissora para seleção, pois contém uma menor porção da variância de dominância, o que contribuirá para uma escolha mais precisa da população segregante que fornecerá linhagens com desempenho superior.

A variância genética só é interessante se for associada a população com média alta. A população com maior produtividade de grãos (A-488 x Ouro) apresentou também uma alta herdabilidade (Tabela 19), mostrando ser promissora para a seleção. Comparando as estimativas de herdabilidade desta população nas duas gerações (Tabelas 17 e 18), verifica-se estimativas bastante semelhantes, com uma pequena superioridade da geração  $F_4$ . Poderia-se concluir que essa fosse então a melhor geração para iniciar a seleção. No entanto, deve-se analisar se essa pequena diferença na herdabilidade compensa a espera de uma geração a mais para iniciar a seleção. Neste caso particular parece ser mais prudente iniciar seleção em  $F_3$ , descartando-se as populações com desempenho muito ruim. Populações com mesma média, por exemplo Ouro x ESAL 609 e Ouro x A-354, possuem herdabilidades totalmente diferentes. Assim, dá-se preferência para seleção na população de maior herdabilidade, neste exemplo a população Ouro x ESAL 609.

Confirmando o relatado por Oliveira (1995) não ocorreu correlação entre estimativas da capacidade específica de combinação e da variância genética, indicando que, provavelmente, a CEC pode não ser um bom indicador da variabilidade existente na população. No entanto, vale, mais uma vez ressaltar, que a imprecisão das estimativas da variância genética ao nível de planta pode comprometer a avaliação precisa de uma possível associação entre CEC e variância genética dentro das populações segregantes. Para exemplificar essa falta de correlação entre estas duas estimativas pode-se analisar as populações Ouro x ESAL 609 (CEC = 14,1 kg/ha;  $V_G = 14,11 \text{ g}^2$ ) e Ouro x IPA-7419 (CEC = 122,6 kg/ha;  $V_G = 3,23 \text{ g}^2$ ). Assim, fica evidenciado que estas duas estimativas não tiveram comportamento correlacionado.

As populações envolvendo o genitor Ouro foram as que apresentaram maiores estimativas de variância genética e herdabilidade no sentido amplo, na média de todas as suas populações. Desta forma, pode-se esperar um bom ganho com a seleção, e uma maior probabilidade de se encontrar linhagens superiores nas populações em que a cultivar Ouro for um dos genitores. Um dos grandes problemas no melhoramento genético do feijoeiro é a exigência de um padrão de cor do grão característico da cultivar Carioca. Assim, visando atender a demanda do mercado consumidor, poderia-se recomendar a utilização da população segregante Esal 591 x Ouro, que além de possuir alta produtividade de grãos, CGC, variância genética e herdabilidade, também oferece maior possibilidade de se conseguir linhagens com tipo de grão aceitável comercialmente. Com o genitor A-488, que mostrou grande tolerância ao frio, fica mais difícil a obtenção imediata de cultivares com grãos comerciais tipo carioca, visto que esse material possui grãos pretos.

## **6 CONCLUSÕES**

Os genitores diferiram com relação a época de florescimento e produtividade de grãos sob condições de baixa temperatura na fase adulta do feijoeiro. Destacou-se a cultivar Small White como a mais precoce, A-488, Ouro e ESAL 591 as mais tolerantes e CNF-05, Rio vermelho e ESAL 501 as mais sensíveis ao frio.

Foi observado a presença de efeito aditivo, dominante e recíproco no controle genético da produtividade de grãos sob condições de frio na fase adulta. No entanto, o efeito aditivo foi o predominante, indicando a maior importância das estimativas da capacidade geral de combinação. O efeito recíproco explicou uma pequena parte da variação encontrada, sendo este muito inconsistente, heterogêneo e presente de forma significativa em poucas populações. Para época de florescimento foi observado somente a presença de efeito aditivo dos genes.

Verificou-se que a capacidade geral de combinação interagiu com locais e gerações, enquanto que a capacidade específica de combinação interagiu apenas com locais e o efeito recíproco apenas com gerações. Essas interações indicam que para obtenção de estimativas precisas e confiáveis deve-se avaliar as populações em vários locais e várias gerações.

As estimativas da variância genética e herdabilidade no sentido amplo foram heterogêneas entre as populações, mostrando que elas representam um fator complementar para auxiliar na escolha dos genitores. A população A-488 X Ouro apresentou a maior média de produtividade de grãos, com altos valores da variância genética e herdabilidade no sentido amplo, podendo-se esperar ganhos com a seleção. A população Esal 591 X Ouro também apresentou bom desempenho, sendo uma opção para desenvolver materiais tolerantes à baixa temperatura na fase adulta e com grãos tipo carioca, que possuem boa aceitação comercial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, A.F.B.; RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B.; MARTINS, L.A. Progresso do melhoramento genético do feijoeiro nas décadas de setenta e oitenta nas regiões Sul e Alto Paranaíba em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.1, p. 105-112, jan. 1994.
- ALLARD, R.W. **Princípios do melhoramento genético das plantas**. Rio de Janeiro: Edgard Blucher, 1971. 379 p.
- BAENZIGER, P.S. & PETERSON, C.J. Genetic variation: Its origin and use for breeding self-pollinated species. In: STALKER, H.T. e J.P. MUTRIPHY. **Plant Breeding in the 1990's**, North Carolina State University, 1991. p. 69-100.
- BAKER, R.J. Issues in diallel analysis. **Crop Science**, Madison, v. 18, p. 533-536, 1978.
- CAMARGO, A.P. de. Esboço de zoneamento da aptidão agroclimática do feijão (*Phaseolus vulgaris*) no Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FEIJÃO, 1., Campinas, 1971. **Anais...** Viçosa, UFV, 1972. p.119-128.
- CHRISTRIANSEN, M.N. Periods of sensitivity to chilling in germination cotton. **Plant physiology**, Maryland, v. 42, n. 3, p.431-433, Mar. 1967.
- COVEY, H. M. Chilling injury of crops of tropical and subtropical origin. **Hort Science**, Alexandria, v. 17, n. 2, p. 162-165, Apr. 1982.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.D. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1994. 390p.
- DAVIS, W.D. Quantitative inheritance of growth habit in the bush bean (*Phaseolus vulgaris*). In: CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. **Resúmenes Analíticos sobre Frijol**. Cali, CIAT, 1973. v.5, p.183-184.
- DAVIS, W.D. e FRAZIER, W.A. Inheritance of some growth habit components in certain types of bush lines of *Phaseolus vulgaris*. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, Mount, v.88, p. 384-392, 1966.

- DIAS, D. A.; SANTOS, J. B.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Seleção de progênies de feijoeiro adaptadas ao cultivo no inverno do sul de Minas Gerais, na população Rio Tibagi X Carioca 300 V. **Ciência e Prática**, Lavras. v.16, n.1, p. 68-73, jan/mar. 1992.
- DICKSON, M. H. Breeding beans, *Phaseolus vulgaris*, for improved germination under unfavorable low temperature conditions. **Crop Science**, Madison, v.11, n.6, p. 845-850, Nov./Dec. 1971.
- DICKSON, M. H. Cold tolerance in lima beans. **Hort Science**, Alexandria, v. 8, n.5, p.410, Oct. 1973.
- DICKSON, M. H. & BOETTGER, M. A. Emergence, growth and blossoming of bean (*Phaseolus vulgaris*) at suboptimal temperatures. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.109, n. 2, p.257-260, Mar./Apr. 1984.
- DICKSON, M. H. & PETZOLDT, R. Inheritance of low temperature tolerance in beans at several growth stages. **Hort Science**, Alexandria, v.22, n. 3, p. 481-483, June 1987.
- ESTEFANEL, V.; PIGNATARO, I.A.B.; STORCK, L. Avaliação do coeficiente de variação de experimentos com algumas culturas agrícolas. In : SIMPÓSIO DE ESTATÍSTICA APLICADA A EXPERIMENTAÇÃO AGRONÔMICA, 2, Londrina, 1987. **Anais...** Londrina, 1987. p. 115-131.
- EVANS, A.M. e DAVIS, J.H.C. Breeding Phaseolus beans as grain legumes for Britain. **Applied Biology**, Cambridge, v.34, p. 01- 42, 1978.
- FOOLAD, G.P. e BASSARI, A. Estimates of combining ability, reciprocal effects and heterosis for yield and yield components in a common bean diallel cross. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v.100, n.1, p. 103-108, 1983.
- FARLOW, P.J. Effect of low temperature on number and location of developed seed in two cultivars of french beans (*Phaseolus vulgaris*). **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 32, p.325-330, 1981.
- FARLOW, P.J.; BYTH, D.E.; KRUGER, N.S. Effect of temperature on seed set and in vitro pollen germination en french beans (*Phaseolus vulgaris*). **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, Melbourne, v. 19, p. 725-731, 1979.
- FEHR, W.R. **Principles of cultivar development**. New York, Mac Millan Publishing Company, 525p. 1987.

- FOWLER, D.B.; LIMIN, A.J.; ROBERTSON, A.J.; GUSTA, L.V. Breeding for low-temperature tolerance in field crops. In :\_\_\_\_\_. **Crop breeding for low temperatures**. University of Saskatchewan, Saskatoon, Saskatchewan, Canada, 1993. p.357-362.
- GARDNER, C.O. e EBERHART, S.A. Analysis and interpretation of variety cross diallel and related populations. **Biometrics**, Raleigh, v. 22, p.439-452, Sept. 1966.
- GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Science**, Victoria, v.9, p.463-493, 1956.
- GUAZELLI, R. J. Exigências climáticas do feijoeiro. **Informe Agropécuário**, Belo Horizonte, v.4, n.46, p. 9-11, out. 1978.
- HALLAUER, A.R. & MIRANDA FILHO, J.B. **Quantitative Genetics in Maize Breeding**. Ames : Iowa State University Press, 1982. 486p.
- HAMBLIM, J. e MORTON, J.R. Genetic interpretations of the effects of bulk breeding on four populations of beans (*Phaseolus vulgaris*). **Euphytica**, Wageningen, v. 26, n.1, p.75-83, 1977.
- HARDWICK, R.. C. The emergence and early growth of French and runner beans (*Phaseolus vulgaris* and *Phaseolus coccineus*) sown on different dates. **Journal of Horticultural Science**, Kent. v. 47, p. 395-410, 1972.
- HERNER, R. C. Germination under cold soil conditions. **Hort Science**, Alexandria, v.21, n.5, p.1118-1122, Oct. 1986.
- HOLADAY, A.S.; MARTINDALE, W.; ALRED, R.; BROOKS, A.L.; LEEGOOD, R.C. Changes in activities of enzymes metabolism in leaves during exposure of plants to low temperature. **Plant Physiology**, Washington, v.98, n.3, p. 1105-1114, 1992.
- HOLUBOWICZ, R. Bean selection for cold tolerance based on freezing germinated seeds and seedlings. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, New York, v. 29, p.78-80, 1986.
- HOLUBOWICZ, R. & DICKSON, M. H. Cold tolerance in beans (*Phaseolus spp.*) as analyzed by their exotherms. **Euphytica**, Wageningen, v.41, n.1/2, p.31-37, 1989.
- IZHAR, S. e WALLACE, D.H. Effect of night temperature on photosynthesis on beans. **Crop Science**, Madison, v.7, p.516-517, 1967.
- JINKS, J.L. e HAYMAN, B.I. The analysis of diallel crosses. **Maize Genetics Corporation News Letter**, Ithaca, New York, v.27, p.48-54, 1953.

- JINKS, J.L. & POONI, H.S. Predicting the properties of recombinant inbred lines derived by single seed descent. *Heridity*, Edinburgh, v.36, n.2, p.253-266, 1976.
- KEMP, G. A. Initiation and development of flowers in beans under suboptimal temperature conditions. *Canadian journal of Plant Science*, Ottawa, v.53, n.3, p.623- 627, july 1973.
- KEMP, G. A. Growth of primary leaves of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) under suboptimal temperature. *Canadian Journal of Plant Science*, Ottawa, v.58, n.1, p.169-174, jan. 1978.
- KOOISTRA, E. Germinability of beans (*Phaseolus vulgaris*) at low temperaure. *Euphytica*, Wageningen. v.20, n.2, p.208-213, May 1971.
- LEIVA, O.R. Herencia y mejoramiento de la precocidade del frijol (*Phaseolus vulgaris*) en el trópico. In : CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. *Resúmenes Analíticos sobre Frijol*, Cali, CIAT, 1988, v.33. p.253-254.
- LEVITT, J. *Responses of plants to environmental stresses*. New York, Academic Press, 1972. 697p.
- LYONS, J. M. Chilling injury in plants. *Annual Review of Plant Physiology*, Palo Alto. v.24, p.445-466, 1973.
- MARIS, B. Analysis of an incomplete diallel cross among three ssp. *tuberosum* varieties and seven long-day adapted ssp. *andigena* clones of potato (*Solanum tuberosum*). *Euphytica*, Wageningen, v.41, n.1/2, p.163-182, 1989.
- MARKHART, A. H. Chilling injury: a review of possible causes. *Hort Science*, Alexandria. v.21, n.6. p.1329-1333, Dec. 1986.
- MELO, L.C.; SANTOS, J.B.; RAMALHO, M.A.P.; ABREU. A.F.B. Avaliação da capacidade de combinação de cultivares de feijoeiro sob baixas temperaturas. In : CONGRESSO NACIONAL DE GENÉTICA, 41, Caxambu, 1995. *Anais...* Caxambu, 1995, p. 104.
- MOURA, P. A. M.; PAIVA, B. M. ; RESENDE, L. M. A. Aspectos econômicos da cultura do feijão. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.17, n.178, p.67-72. 1994.
- MURPHY, J. P. ; COX, T.S. ; RODGERS, D. M. Cluster analysis of red winter wheat cultivars based upon coefficient of parentage. *Crop science*, Madison, v.26, p.672-676, jul-ago, 1986.

- NIENHUIS, j. ; SINGH, s.p. Genetics of seed yield and its components in common bean (*Phaseolus vulgaris*) of Middle-Americam origin. I. General combining ability. **Plant Breeding**, Berlin, v.101, p.105-106, 1988.
- OLIVEIRA, L.B. **Alternativas na escolha dos parentais em um programa de melhoramento do feijoeiro**. Lavras: UFLA, 1995. 67p. (Dissertação - Mestrado Genética e Melhoramento de Plantas).
- OTUBO, S.T. **Controle genético da tolerância do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) à baixas temperaturas na fase de germinação**. Lavras: ESAL, 1994. 50p. (Dissertação - Mestrado Genética e Melhoramento de Plantas).
- PORTES, T.A. Ecofisiologia. In: ZIMMERMANN, M. J. O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do feijoeiro. Fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba, potafos, 1988. p.125-156.
- RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B.; PEREIRA-FILHO, I. A choice of parents for dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) breeding. I. Interaction of mean components by generation and by localization. **Revista Brasileira Genética**, Ribeirão Preto, v.11, n.2, p.391-400, 1988.
- RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B. & ZIMMERMANN, M.J. **Genética quantitativa em plantas autógamas**. Goiânia, UFG, 1993. 271p.
- ROEGGEN, O. Variation in minimum germinataion temperature for cultivars of bean (*Phaseolus vulgaris*), cucumber (*Cucumis sativus*) and tomato (*Lycopersicon esculentum*). **Scientia Horucultural**, Amsterdam. v.33, p.57-65, 1987.
- SANTOS, J.B. **Controle genético de caracteres agronômicos e potencialidades de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) para o melhoramento genético**. Piracicaba : ESALQ, 1984, 223p. (Tese de Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- SANTOS, J. B. & RAMALHO, M. A. P. Melhoramento do feijoeiro para as condições de várzeas. Primeira avaliação de progênies no inverno de 1986. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 2, GOIÂNIA, 1987. **Resumos ...** Goiânia, CNPAF/EMBRAPA, 1987. n.p.
- SANTOS, J. B. ; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F.B. Seleção de progênies de feijoeiro adaptadas ao inverno do sul de Minas Gerais. IN: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 3, Vitória, 1990. **Resumos...** Vitória, EMCAPA, 1990. n.p.

- SANTOS, J. B. ; RAMALHO, M. A. P. ; ABREU, A. F. B. Seleção de progênies de feijoeiro na população Rio Tibagi X Esal 501 adaptadas as condições de inverno do sul de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.21, n.9, p.509-513, abr. 1993.
- SANTOS, J.B.; VENCOSKY, R.; RAMALHO, M.A.P. Controle genético da produção de grãos e seus componentes primários em feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, n.10, p.1203-1211, 1985.
- SHONNARD, G.C. e GEPTS, P. Genetics of heat tolerance during reproductive development in common bean. **Crop Science**, Madison, v. 34, n.5, p.1168-1175, 1994.
- SILVA, I.; CASTRO NETO, P.; SILVEIRA, J.V. Época e probabilidade de ocorrência de temperatura mínima abaixo de dado valor, para região de Lavras, Minas Gerais. **Ciência e Prática**, Lavras, v.10, n.2, p.210-219, maio/ago. 1986.
- SINGH, S.P. Pattern of variation in cultivated common bean (*Phaseolus vulgaris*). **Economic Botany**, New York, v.43, n.1, p.39-57, 1989.
- STUSHNOFF, C.; FOWLER, D.B.; BRULE-BABEL, A. Breeding and selection for resistance to low temperature. In:\_\_\_\_\_. **Plant Breeding - A contemporary basis**. Pergamon Press, Oxford, 1984. p.115-136.
- STOBE, F. H. & HOMBORD, D. P. Blossoming and fruit set patterns in *Phaseolus vulgaris* as influenced by temperature. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v.44, n.6, p.813- 819, 1966.
- TEIXEIRA, F.F.; RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A.F.B. Estimativa do número de genes envolvidos no início da floração do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*), usando a metodologia de Jinks e Towey. **Ciência e Prática**, Lavras, (No prelo).
- THOMAS, R. J. & SPRENT, J. I. The effects of temperature on vegetative and early reproductive growth of a cold tolerant and a cold sensitive line of *Phaseolus vulgaris*. Nodulation, growth and partitioning of dry matter, carbon and nitrogen. **Annals of Botany**, New York, v.53, n.4, p.579- 588, Apr. 1984.
- TOLEDO, J. F. F. Mid parental and coefficient of parentage as predictor for screening among single crosses for their inbreeding potential. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v.15, n.2, p.429-437. 1992.
- TRILLER, C. **Previsão do potencial genético de cruzamentos em soja pela geração F<sub>2</sub>**. Londrina, UEL/EMBRAPA/IAPAR, 1994. 133p. (Dissertação de Mestrado - Genética e melhoramento de Plantas).

- VENCOVSKY, R. **Melhoramento e produção do Milho. 2. ed.** Campinas: Fundação Cargill, 1987. 795p.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica aplicada no fitomelhoramento.** Ribeirão Preto, Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496p.
- VIEIRA, C. **O feijoeiro comum: cultura, doenças e melhoramento.** Viçosa, Imprensa Universitária, 1967. 220p.
- VON PINHO, R. G. **Tolerância do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) a baixas temperaturas na fase de germinação e emergência.** ESAL, Lavras, 1990. 86p. (Dissertação - Mestrado Genética e Melhoramento de Plantas).
- WHITE, J.W.; SINGH, S.P. **Sources and inheritance of earliness in tropically adapted indeterminate common bean.** *Euphytica*, Wageningen, v.55, p.15-19, 1991.