



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
ESCOLA DE AGRONOMIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

**INTERAÇÃO DE GENÓTIPOS COM AMBIENTES  
EM ENSAIOS DE FEIJOEIRO-COMUM DO  
GRUPO PRETO: IMPLICAÇÕES NA  
RECOMENDAÇÃO DE CULTIVARES**

**PAULA PEREIRA TORGA**

Orientadora:

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Patrícia Guimarães Santos Melo**

**PAULA PEREIRA TORGA**

**INTERAÇÃO DE GENÓTIPOS COM AMBIENTES EM ENSAIOS DE  
FELJOEIRO-COMUM DO GRUPO PRETO: IMPLICAÇÕES NA  
RECOMENDAÇÃO DE CULTIVARES**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Agronomia, área de concentração: Genética e Melhoramento de Plantas.

Orientadora:

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Patrícia Guimarães Santos Melo**

Co-orientadores:

**Dr. Helton Santos Pereira**

**Dr. Leonardo Cunha Melo**

Goiânia, GO – Brasil

2011

## FOLHA APROVAÇÃO

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais, Paulo e Fátima, pelo amor, carinho, dedicação e cuidado. E por se doarem por inteiro para que eu realize os meus sonhos.

E aos meus irmãos, Júlia, Pedro e Marlon, pela amizade sincera, excelente convivência e pelos ótimos momentos que passamos juntos. Sinto saudades...

**Dedico**

Ao meu esposo Helton, pelo amor, dedicação, companheirismo, amizade e enorme contribuição na realização deste trabalho.

**Ofereço**

**"Cada ser em si carrega o dom de ser capaz, de ser feliz!"**

## AGRADECIMENTOS

A Deus pela constante presença em minha vida. "Tu és minha vida, outro Deus não há..."

Ao Helton, meu esposo e co-orientador, pelo carinho, paciência, indispensável ajuda na realização deste trabalho e pelo apoio em todos os momentos.

Aos meus pais e irmãos pela família maravilhosa que tenho, da qual tenho tanto orgulho, e por estarem sempre presentes.

A todos os meus familiares, pelo apoio, incentivo, amizade, carinho e por estarem sempre ao meu lado.

À Universidade Federal de Goiás EAEA, pela oportunidade de realizar o doutorado e ao CNPq e a Capes, pela concessão da bolsa durante a realização do curso.

À Embrapa por disponibilizar os dados utilizados e fornecer toda a estrutura necessária.

À professora, orientadora e amiga Patrícia, pela oportunidade, paciência, confiança e dedicação durante todo o curso.

Ao Léo pela co-orientação, paciência, amizade sincera e pelas valiosas sugestões

Aos membros da banca examinadora, Ângela, Sérgio Carbonell, Lázaro e João Batista pelas valiosas sugestões.

Aos amigos da UFG, Luis Cláudio, Luíce, Renatinho, Léo, Fernando, Kássia e Prof<sup>a</sup> Larissa pela prazerosa convivência.

Ao Welinton e a Dona Cléo pela amizade, paciência e boa vontade.

Aos amigos de longa data, Jaca (Marcelo), Francine, Jerônimo, Quélen, Léo Bhering e Adriano Bruzi pelos momentos inesquecíveis que passamos juntos.

**Muito obrigada!**

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>RESUMO GERAL.....</b>  | <b>7</b>  |
| <b>GENERAL ABSTRACT.....</b>  | <b>9</b>  |
| <b>1 INTRODUÇÃO GERAL.....</b>  | <b>11</b> |
| <b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>   | <b>13</b> |
| 2.1 A CULTURA DO FEIJOEIRO-COMUM.....   | 13        |
| 2.2 INTERAÇÃO DE GENÓTIPOS COM AMBIENTES.....   | 15        |
| 2.2.1 Estabilidade e adaptabilidade fenotípica.....   | 17        |
| 2.2.2 Decomposição da interação G x A.....  | 23        |
| 2.2.3 Estratificação Ambiental.....   | 25        |
| 2.3 REFERÊNCIAS.....  | 31        |
| <b>3 ESTABILIDADE E ADAPTABILIDADE ESPECÍFICA E AMPLA DE GENÓTIPOS DE FEIJOEIRO-COMUM COM GRÃOS PRETOS AVALIADOS EM DUAS REGIÕES DO BRASIL.....</b> | <b>37</b> |
| RESUMO.....   | 37        |
| ABSTRACT.....   | 37        |
| 3.1 INTRODUÇÃO.....   | 38        |
| 3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....   | 40        |
| 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....   | 43        |
| 3.4 CONCLUSÕES.....   | 54        |
| 3.5 REFERÊNCIAS.....  | 55        |
| <b>4 DECOMPOSIÇÃO DA INTERAÇÃO DE GENÓTIPOS DE FEIJOEIRO-COMUM DO GRUPO PRETO COM AMBIENTES EM ANOS, LOCAIS E ÉPOCAS DE SEMEADURA.....</b>          | <b>57</b> |
| RESUMO.....   | 57        |
| ABSTRACT.....   | 57        |
| 4.1 INTRODUÇÃO.....   | 58        |
| 4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....   | 60        |
| 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....   | 62        |
| 4.3.1 Região Central.....   | 62        |
| 4.3.2 Região Centro-Sul.....  | 68        |
| 4.4 CONCLUSÕES.....   | 74        |
| 4.5 REFERÊNCIAS.....  | 75        |
| <b>5 ESTRUTURAÇÃO DA REDE EXPERIMENTAL DE FEIJOEIRO-COMUM DO GRUPO PRETO DA EMBRAPA NAS REGIÕES CENTRAL E CENTRO-SUL DO BRASIL.....</b>             | <b>77</b> |
| RESUMO.....   | 77        |
| ABSTRACT.....   | 77        |
| 5.1 INTRODUÇÃO.....   | 78        |
| 5.2 MATERIAL E MÉTODOS.....   | 80        |
| 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....   | 83        |

|              |                               |            |
|--------------|-------------------------------|------------|
| <b>5.3.1</b> | <b>Região Central.....</b>    | <b>83</b>  |
| <b>5.3.2</b> | <b>Região Centro-Sul.....</b> | <b>92</b>  |
| <b>5.4</b>   | <b>CONCLUSÕES.....</b>        | <b>100</b> |
| <b>5.5</b>   | <b>REFERÊNCIAS.....</b>       | <b>101</b> |
| <b>6</b>     | <b>CONCLUSÕES GERAIS.....</b> | <b>104</b> |

## RESUMO GERAL

TORGA, P. P. **Interação de genótipos com ambientes em ensaios de feijoeiro-comum do grupo preto: implicações na recomendação de cultivares.** 2011. 104 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Genética e melhoramento de Plantas). Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011<sup>1</sup>.

A interação genótipos x ambientes (GxA) tem inúmeras implicações em um programa de melhoramento de plantas e, na fase de avaliação final das linhagens, para a indicação de novas cultivares, sua importância se torna mais evidente e bastante pronunciada. Nesta fase são conduzidos os ensaios finais em rede, denominados de valor de cultivo e uso (VCU), em diferentes locais, safras e anos, o que permite um estudo detalhado da interação GxA. Com esse detalhamento a interação pode ser controlada, não interferindo negativamente na indicação, proporcionando uma seleção e recomendação mais seguras. Existem algumas maneiras de se atenuar o efeito da interação GxA, entre elas podem-se citar: *i*) identificação de cultivares com maior adaptabilidade e estabilidade fenotípica; *ii*) estratificação de ambientes; e *iii*) decomposição desta interação, para verificar com qual dos fatores (locais, épocas ou anos) ela é mais expressiva. O objetivo do presente trabalho foi estudar, de forma detalhada, a interação GxA, em ensaios de VCU de feijoeiro-comum com grãos pretos, realizando análises de adaptabilidade e estabilidade fenotípica, de estratificação ambiental e de decomposição da interação GxA, para orientar o programa de melhoramento do feijoeiro-comum da Embrapa Arroz e Feijão e, possibilitar tomadas de decisão mais seguras, tanto na condução dos ensaios, quanto na seleção e indicação de cultivares. Foram utilizados dados de produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), provenientes dos ensaios de VCU de feijão preto, conduzidos nos anos de 2003 e 2004, em 69 ambientes das Regiões Central (43 ambientes) e Centro-Sul (26 ambientes) do Brasil, nos seguintes Estados: Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Tocantins, Paraná, Santa Catarina, São Paulo e Rio Grande do Sul. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completos ao acaso, com três repetições e parcelas de quatro linhas com quatro metros de comprimento. Cada ensaio foi constituído por 13 genótipos de feijoeiro-comum com grãos pretos: oito linhagens elite (TB 9409, TB 9713, CNFP 10138, CNFP 7966, CNFP 7972, CNFP 7994, CNFP 8000, CNFP 9328) e cinco cultivares (BRS Valente, FT Nobre, Diamante Negro, IPR Uirapuru, FT Soberano). Primeiramente foram realizadas as análises de adaptabilidade e estabilidade fenotípica por Região, visando identificar linhagens com adaptação específica e ampla, utilizando-se as metodologias de Annicchiarico e AMMI (modelo de efeitos principais aditivos e interação multiplicativa), com os dados dos 69 ensaios. As linhagens com maior adaptação específica em cada região não foram coincidentes utilizando-se as metodologias de Annicchiarico e AMMI. Não foi possível identificar genótipos com padrão de estabilidade específica ou ampla similares utilizando as metodologias de Annicchiarico e AMMI (MPEA). As metodologias de Annicchiarico e AMMI (MPEAP) apresentaram estimativas de adaptação específica e ampla muito semelhantes. Com base nos métodos Annicchiarico e AMMI (MPEAP) as linhagens com maior adaptação específica são CNFP 8000 e CNFP 7994, respectivamente, na Região Central e Centro-Sul, e com maior adaptação ampla foi identificada a CNFP 8000. Para verificar com qual dos fatores ambientais (locais, épocas

---

<sup>1</sup>Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Patrícia Guimarães Santos Melo. EA-UFG.

Co-orientadores: Dr. Helton Santos Pereira. Embrapa Arroz e Feijão.

Dr. Leonardo Cunha Melo. Embrapa Arroz e Feijão.



ou anos) a interação de genótipos de feijoeiro-comum do grupo preto, é mais expressiva, e identificar materiais com adaptação ampla e específica às épocas de semeadura, foi realizada uma análise de variância com a decomposição da interação GxA em genótipos x anos, genótipos x épocas e genótipos x locais. Esta análise foi realizada por Região, utilizando-se primeiramente 18 ensaios da Região Central e 12 da Região Centro-Sul, que permitiram o isolamento parcial dos fatores e, posteriormente, com oito ensaios de cada região, que permitiram o isolamento total dos fatores. Os resultados mostraram que, para a Região Central, é mais importante avaliar os genótipos em diferentes épocas em vários anos do que em diferentes locais. Já para a Região Centro-Sul são mais importantes as avaliações dos genótipos em diferentes locais e anos do que em diferentes épocas. Para a Região Central, a maioria dos genótipos apresentou adaptação específica, mas foi possível identificar linhagens de adaptação ampla. Na Região Centro-Sul a maioria dos genótipos apresentou adaptação ampla, mas alguns mostraram forte adaptação específica. A linhagem CNFP 8000 foi a de maior adaptação ampla quando foram consideradas as duas épocas de semeadura e as duas regiões conjuntamente. Para avaliar a existência de similaridade entre os locais, foram realizadas análises de estratificação ambiental por época de semeadura, para cada região, utilizando-se dados de 27 ensaios da Região Central e de 24 da Região Centro-Sul. Foram utilizadas quatro diferentes metodologias: *i*) tradicional, proposta por Lin, complementada pela análise da fração simples da interação GxA; *ii*) análise de fatores; *iii*) estimativa da correlação de Pearson; e *iv*) ecovalência. Os resultados obtidos para a Região Central indicaram Morrinhos, como redundante, pelas quatro metodologias utilizadas e, devido a isto, recomendou-se a retirada desse local da rede de avaliação de linhagens da Embrapa Arroz e Feijão. Para a Região Centro-Sul não foi detectada a presença de similaridade entre os locais e, devido a isto, todos permanecerão na rede de avaliação de linhagens.

*Palavras-chave:* *Phaseolus vulgaris*, estabilidade fenotípica, adaptabilidade, estratificação ambiental, decomposição da interação GxA.

## GENERAL ABSTRACT

TORGA, P. P. **Genotypes x environments interaction in common black bean trials: implications on cultivar recommendation.** 2011. 104 f. Thesis (Doctorate in Agronomy: Genetics and Plant Breeding). Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011<sup>2</sup>.

Genotypes x environments interaction (GxE) have many implications in a plant breeding program. Its importance becomes most obvious and pronounced in the final evaluation phase of lines for recommendation of new cultivars. At this stage, final tests on networking called value of cultivation and use (VCU) trials are carried out, in different locations, seasons and years, which allows a detailed study of GxE. The interaction can be controlled with a detailed study, and it does not negatively affect in the recommendation, providing a most secure selection and recommendation. There are some ways to mitigate the effect of GxE interaction, among them can be cited: *i*) the identification of cultivars with greater adaptability and phenotypic stability; *ii*) environmental stratification; and *iii*) the decomposition of the interaction to verify which factors (locations, season or years) is more expressive. The aim of this work was to study the GxE interaction in details, using VCU trials of common black bean, analyzing adaptability and phenotypic stability, environmental stratification and decomposition of GxE interaction. It makes possible to have most secure decision in the conduction of tests as the selection and recommendation of cultivars with the purpose to guide the common bean breeding program at Embrapa Rice and Beans. Data for grain yield (kg.ha-1) from the VCU trials of black beans, conducted during the years 2003 and 2004, in 69 environments of Central (43 environments) and Central-South regions (26 environments) from Brazil were analyzed in the following States: Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Tocantins, Paraná, Santa Catarina, Sao Paulo and Rio Grande do Sul. Complete block design with three replications and plots of four rows with four meters long were used. Each test consisted of 13 genotypes of common black beans: eight elite lines (TB 9409, TB 9713, CNFP 10138, CNFP 7966, CNFP 7972, 7994 CNFP, CNFP 8000, CNFP 9328) and five cultivars (BRS Valente, FT Nobre, Diamante Negro, IPR Uirapuru, FT Soberano). First were done the phenotypic adaptability and stability analysis for region, to identify lines with specific and wide adaptation, using the methodologies of Annicchiarico and AMMI (additive main effects model and multiplicative interaction), with data from 69 trials. The lines with higher specific adaptation in each region were not coincident using the methodologies of Annicchiarico and AMMI. It was not possible identify genotypes with similar patterns of stability specific or broad using methodologies of Annicchiarico and AMMI (MPEA). The methodologies of Annicchiarico and AMMI (MPEAP) presented estimates of broad and specific adaptation very similar. Based on the methods Annicchiarico and AMMI (MPEAP) lines with more specific adaptation were CNFP 8000 and CNFP 7994, respectively, in the Central and Mid-South regions, and CNFP 8000 was more widely adapted. To check which of the environmental factors (local, season or years) the interaction with common black bean genotypes is more expressive, and identify materials with broad and specific adaptation to sowing seasons, it was performed an analysis of

---

<sup>2</sup>Adviser: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Patrícia Guimarães Santos Melo. EA-UFG.

Co-adviser: Dr. Helton Santos Pereira. Embrapa Arroz e Feijão.

Dr. Leonardo Cunha Melo. Embrapa Arroz e Feijão.

variance with the decomposition of GxE in genotype x year, genotype x season and genotype x location. This analysis was performed by region, using first, 18 trials of Central region and 12 trials of the Central-South region, which allowed a partial isolation of factors and, later, the analysis using eight trials of each region, which allowed a complete isolation of the factors. The results showed that for Central Region was more important to evaluate the genotypes in different seasons and years than at different locations. For Central-South Region were more important evaluations of genotypes in different locations and years than at different seasons. For the Central Region, most genotypes had specific adaptation, but it was possible to identify lines widely adapted. In South-Central region the most genotypes showed widely adapted, but some lines showed strong specific adaptation. The line CNFP 8000 was the most widely adapted when we considered the two sowing season and the two regions. To evaluate the similarity among the locations assessed, it was performed environmental stratification analysis by sowing season for each region separately, using data from 27 trials from Central Region and 24 trials from Central-South Region. We used four different methods: *i*) traditional, proposed by Lin, complemented by simple fraction analysis of GxE interaction; *ii*) factor analysis; *iii*) Pearson correlation estimate; and *iv*) ecovalence. The results for the Central Region indicated Morrinhos as redundant using all four methodologies and for this reason, it was recommend to remove this local from the network of lines evaluation of Embrapa Rice and Beans. For the Central-South region, it was not detected the presence of similarity between locations and, because of this, all places will remain in the network of lines evaluation.

Key words: *Phaseolus vulgaris*, phenotypic stability, adaptability, environmental stratification, GxE decomposition.

## **1 INTRODUÇÃO GERAL**

O feijoeiro-comum é uma cultura de grande importância social e econômica para o Brasil, pois constitui alimento básico da população, sendo plantado em praticamente todos os estados brasileiros. Assim, é necessário que novas cultivares sejam desenvolvidas continuamente pelos programas de melhoramento para atender às necessidades dos produtores e consumidores. Na rotina do melhoramento de plantas são conduzidos diversos ensaios, para a avaliação do desempenho de diferentes genótipos, antes de se indicar uma nova cultivar. As avaliações das linhagens, desenvolvidas pelo programa de melhoramento genético do feijoeiro-comum da Embrapa Arroz e Feijão, estão sistematizadas em uma rede organizada, que inclui os estados responsáveis por mais de 90% da produção nacional. Esta rede visa a seleção de linhagens superiores para produtividade, estabilidade de produção e outros atributos agrônômicos desejáveis, para colocar à disposição dos produtores novas cultivares que atendam às exigências da cadeia produtiva.

A avaliação final das linhagens é realizada com o estabelecimento de parcerias, por meio da rede de ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU). Esses ensaios fazem parte da avaliação final que antecede a indicação de uma cultivar e, devido a isso, são instalados em grande número de ambientes, que representam as diversas condições ambientais às quais uma cultivar pode ser submetida. Nessas condições de grande variação ambiental, é esperada acentuada interação genótipos x ambientes (GxA), que é a resposta diferencial dos genótipos aos diferentes ambientes de avaliação, especialmente quanto ao caráter produtividade de grãos.

A interação GxA interfere diretamente no trabalho dos melhoristas, dificultando a identificação de genótipos superiores na ocasião da seleção e indicação de cultivares. Considerações a respeito da interação genótipos x ambientes são essenciais para a eficiência do processo de melhoramento. Isso porque a maioria dos caracteres de importância, nas diferentes espécies, são caracteres quantitativos. Esses caracteres apresentam distribuição contínua, possuem herança poligênica e sofrem grande influência das variações ambientais. Devido a isso, para que um dado genótipo seja recomendado

como cultivar, este deverá ter passado por avaliações em diferentes condições ambientais, de forma a se ter mais segurança quanto ao seu desempenho.

Devido ao baixo índice de utilização de sementes de feijoeiro-comum pelos agricultores (aproximadamente 15%) e, conseqüentemente, pequeno mercado potencial de uma nova cultivar, a sua indicação é realizada com base na média de produtividade das diferentes regiões e épocas de plantio e raramente ocorre recomendação de uma cultivar para um ambiente específico. No entanto, devido à presença da interação, nem sempre a cultivar que obteve a maior média geral de produção é a que apresenta maior produção em cada uma delas, isoladamente. Com isso, deixa-se de capitalizar a interação a favor de determinado genótipo em uma época de semeadura. Como a avaliação dos genótipos ocorre em diferentes regiões e épocas de semeadura, análises de desempenho podem ser realizadas para cada ambiente potencial, visando comparar o comportamento dos genótipos nessas situações, o que permite identificar cultivares com adaptação específica e verificar se existem padrões de similaridade quanto à classificação dos genótipos nesses diferentes ambientes.

Além disso, como nas condições de cultivo de feijoeiro-comum há variações entre anos, locais e épocas de semeadura, torna-se necessário verificar com qual desses fatores ambientais a interação GxA é mais expressiva, para orientar futuros trabalhos de avaliação de cultivares de feijoeiro-comum em determinada região. Essa verificação pode ser realizada por meio da decomposição da interação GxA nesses fatores ambientais.

A avaliação dos genótipos em diferentes condições ambientais representa, em geral, a fase mais trabalhosa e mais cara de um programa de melhoramento. Dessa forma, o tamanho do programa fica limitado pela capacidade de avaliação experimental dos genótipos. Assim, uma grande preocupação dos melhoristas é saber se os locais de avaliação realmente representam a diversidade ambiental do cultivo do feijoeiro-comum em determinada região. Qualquer redundância nos locais utilizados deve ser eliminada, visando aumentar o máximo possível, a diversidade ambiental representada pela rede de avaliação.

O presente trabalho teve como objetivo detalhar os diferentes aspectos da interação genótipos x ambientes, na rede de ensaios finais de feijoeiro-comum com grãos pretos nas Regiões Central e Centro-Sul do Brasil, por meio de análises de adaptabilidade e estabilidade fenotípica; de decomposição da interação genótipos x ambientes (anos, épocas e locais); e de estratificação ambiental, utilizando diferentes metodologias.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 A CULTURA DO FEIJOEIRO-COMUM

Em sete dos últimos dez anos, o Brasil ocupou o primeiro lugar na produção e no consumo mundial do feijão-comum, *Phaseolus vulgaris* (FAO, 2011). Esse grão, além de se constituir em um dos alimentos básicos da população brasileira, é uma das principais fontes de proteína, na dieta alimentar dos estratos sociais economicamente menos favorecidos (Borém & Carneiro, 1998). Em 2009 foram produzidas 2,9 milhões de toneladas de feijão-comum no Brasil, em uma área de 2,5 milhões de hectares, levando a uma produtividade de 1.160 kg ha<sup>-1</sup> (Feijão, 2011).

Entre os diversos tipos de grãos de feijão-comum, merecem destaque os grãos do tipo carioca, que são os preferidos pela maioria dos consumidores, e os grãos do tipo preto que são o segundo tipo mais consumido no Brasil. Nos Estados do Rio de Janeiro, Espírito Santo, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, sul do Paraná e sudeste de Minas Gerais o feijão-comum com grãos pretos é o tipo comercial preferido pela população. Esse tipo de grão representa 17% da produção brasileira, o que corresponde a 495 mil toneladas/ano (Del Peloso & Melo, 2005).

De forma geral, a produção brasileira tem abastecido o mercado interno, com exceção para os grãos de tipo preto e branco, dependendo de importações para atender as demandas do mercado consumidor. Em 2008 foram importadas 172 mil toneladas de feijão preto, principalmente da Argentina, China e Bolívia (Agrianual, 2010).

Dada a grande importância da cultura, programas de melhoramento do feijoeiro-comum têm sido conduzidos no Brasil por algumas instituições de pesquisa, que vêm conseguindo abastecer o mercado com novas cultivares. Essas cultivares associam características desejáveis como resistência a doenças, melhor arquitetura de planta e maior potencial produtivo, contribuindo, assim, para o aumento na produtividade da cultura, de 729 kg/ha, em 1997, para 1.160 kg/ha em 2009 (Feijão, 2011). Segundo Matos (2005), os ganhos em produtividade obtidos, no programa de melhoramento genético de feijoeiro-comum da Universidade Federal de Lavras, nos anos de 1974 a 2004, são da ordem de

1,6% ao ano. Embora ganhos contínuos venham sendo obtidos pelo melhoramento, à medida que se aumenta o nível de produtividade das cultivares, fica mais difícil identificar genótipos superiores, visto que as diferenças a serem detectadas são cada vez menores. Dessa maneira, as metodologias empregadas na avaliação das linhagens geradas pelos programas de melhoramento devem ser cada vez mais eficientes.

No caso do feijoeiro-comum, as épocas de semeadura tornam o processo de seleção de linhagens complexo, pois com o aumento do número de ambientes, surge a necessidade de definir estratégias mais eficientes e viáveis para garantir o sucesso dos programas de melhoramento.

O feijoeiro-comum é cultivado no Brasil em três principais épocas de semeadura, a das águas, a da seca e a de inverno. O plantio das águas, que ocorre normalmente de outubro a dezembro, com colheita de janeiro a março, é praticado principalmente por pequenos agricultores, não sendo necessário efetuar a irrigação devido à coincidência com o período chuvoso. Entretanto, a colheita pode ser prejudicada se houver excesso de chuvas, comprometendo também a qualidade dos grãos (Vieira et al., 2006). Esta safra é responsável por 43% da produção nacional e corresponde a 40% da área colhida, com produtividade de 1.251 kg ha<sup>-1</sup> (Feijão, 2011).

Na época da seca, o plantio ocorre de janeiro a março, com colheita de abril a maio, e se caracteriza pela escassez de chuvas, que podem causar perdas na produção, quando a deficiência hídrica ocorre nas fases críticas da cultura, mas isso representa uma grande vantagem na ocasião da colheita (Vieira et al., 2006). Na Região Central do Brasil a ocorrência do vírus mosaico-dourado do feijoeiro (*Bean Golden Mosaic Virus*) praticamente inviabiliza a produção de feijão nessa época de semeadura (Melo et al., 2005). Mesmo com a redução do plantio nessa região, essa época de semeadura responde por 41% da produção nacional de feijão-comum e 52% da área colhida, com produtividade igual a 912 kg ha<sup>-1</sup> (Feijão, 2011). Essa baixa produtividade ocorre principalmente devido à falta de chuvas e à ocorrência do mosaico-dourado.

A época de inverno é plantada de abril a junho, com colheita de julho a setembro. Nessa época é utilizada alta tecnologia, uma vez que a irrigação é obrigatória, pois não ocorrem chuvas em quantidade suficiente. No cultivo de inverno normalmente ocorre um alongamento no ciclo da cultura, devido às baixas temperaturas. Os resultados deste sistema de cultivo tiveram e continuam tendo importância não só no abastecimento, reduzindo a sazonalidade, como também na melhoria da qualidade do produto (Vieira et

al., 2006). Esta safra responde por 16% da produção nacional e 8% da área colhida. Na safra de 2009 a produtividade média alcançada foi de 2.297 kg ha<sup>-1</sup>, superior em 50% ao rendimento médio nacional de 1.160 kg ha<sup>-1</sup> (Feijão, 2011).

## 2.2 INTERAÇÃO DE GENÓTIPOS COM AMBIENTES

A maioria dos caracteres de interesse econômico, nas diferentes espécies, é constituída por caracteres quantitativos ou poligênicos. Esses caracteres apresentam distribuição contínua, são controlados por vários genes, cada um com pequeno efeito sobre o fenótipo (F), e sofrem grande influência das variações ambientais (A). O fenótipo, por sua vez, é influenciado pelo genótipo (G), que é a constituição genética de um indivíduo, e pelo ambiente, que pode ser definido como o conjunto das condições externas ao organismo que afetam o seu crescimento e desenvolvimento (Ramalho et al., 1993).

Porém, quando um dado genótipo é submetido a mais de um ambiente espera-se uma variação no valor fenotípico maior que aquela ocorrida em nível de microambiente experimental. Neste caso, o valor genotípico deve ser estimado com base na média dos diferentes ambientes. Quando vários genótipos são avaliados em vários ambientes geralmente ocorre de o ambiente alterar diferentemente o mesmo caráter em diferentes genótipos, ou seja, pode ocorrer uma interação entre fatores, conhecida como interação genótipos x ambientes (GxA), que é definida como uma resposta diferenciada dos genótipos à variação do ambiente (Allard & Bradshaw, 1964; Chaves, 2001). Assim, para se obter estimativas da interação GxA, é necessário que, na avaliação, sejam considerados, no mínimo, dois genótipos em dois ambientes. Desta forma, podem ocorrer algumas situações (Ramalho et al., 1993):

- a) ausência de interação: ocorre quando os genótipos apresentam o mesmo nível de resposta à variação ambiental ou, então, mantêm-se indiferentes a esta variação;
- b) interação simples: ocorre quando há diferença na magnitude de resposta, porém não há alteração na classificação relativa dos genótipos nos diferentes ambientes;
- c) interação complexa: ocorre quando há alteração significativa na classificação relativa dos genótipos nos diferentes ambientes, devido à correlação, entre o desempenho dos genótipos nos ambientes em estudo, ser baixa.



Nos casos **a** e **b** o mesmo genótipo será recomendado para os diferentes ambientes. Já no caso **c** ocorre alteração na classificação dos genótipos, devendo-se realizar recomendações específicas de acordo com cada ambiente.

Quando se consideram vários genótipos avaliados em vários ambientes, surge um emaranhado de situações difíceis de serem interpretadas, exigindo-se o emprego de métodos adequados de análise da interação genótipos x ambientes. O número de diferentes classificações que pode ser obtido quando se avaliam  $n$  genótipos em  $m$  ambientes corresponde a  $n^m/n!$  (Allard & Bradshaw, 1964). Mesmo com valores de  $n$  e  $m$  relativamente baixos torna-se impraticável trabalhar com um número tão grande de combinações.

Ramalho et al. (1993) comentam que, considerando-se um número maior de ambientes e de cultivares, a presença de interação complexa quase sempre indica a existência de cultivares especificamente adaptadas a ambientes particulares, bem como de outros com adaptação mais ampla, porém, nem sempre com alto potencial produtivo. Isso impede que a indicação de cultivares possa ser feita de maneira generalizada, acarretando maiores dificuldades e exigindo a adoção de medidas que controlem ou minimizem os efeitos dessa interação, para, então, proceder à indicação mais segura.

O feijoeiro-comum é cultivado em praticamente todos os estados brasileiros, em diferentes épocas de semeadura e sistemas de cultivo, que variam desde a agricultura de subsistência, com baixo uso de tecnologia, até a agricultura empresarial com alta tecnologia, estando submetido a diferentes condições ambientais (Melo et al., 2007). Nessa situação é esperada acentuada interação genótipos x ambientes. Essa está presente na avaliação de diversas características, especialmente produção de grãos, comprovada em vários trabalhos conduzidos com a cultura no Brasil (Ramalho et al., 1998; Ramalho et al., 2002; Carbonell et al., 2004; Oliveira et al., 2006; Melo et al., 2007; Pereira et al., 2009a; Bertoldo et al., 2009; Pereira et al., 2010a). A interação tem inúmeras implicações em um programa de melhoramento, porém, na etapa de avaliação de linhagens para indicação de novas cultivares aos agricultores é que sua importância torna-se mais evidente.

A avaliação final das linhagens em um programa de melhoramento é realizada por meio dos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU). Nesses ensaios as linhagens são avaliadas em rede, utilizando grande número de ambientes que representam a verdadeira condição ambiental a que a cultivar será submetida. Os resultados obtidos com esses ensaios possibilitam um estudo detalhado da interação GxA e sobre o comportamento

individual dos genótipos ao longo das variações ambientais, possibilitando que se faça seleção de maneira mais eficiente.

A interação genótipos x ambientes é um dos principais complicadores do trabalho dos melhoristas. Considerações a respeito dessa interação são essenciais para a eficiência do processo de melhoramento. Essa interação, não só interfere na indicação de cultivares, como dificulta o trabalho do melhorista na seleção de progênies, as quais interagem com os ambientes. A interação interfere também na obtenção de verdadeiros valores das estimativas dos componentes da variância genética, o que poderá resultar na obtenção de estimativas incorretas do ganho esperado com a seleção. Além do mais, a ocorrência de interação complexa entre as progênies irá diminuir a eficiência do programa de melhoramento, porque a seleção é normalmente realizada na média dos vários ambientes, o que não garante, portanto, a seleção das melhores progênies para cada ambiente particular (Ramalho et al., 1993).

Uma vez detectada a presença de interação, é possível a seleção de genótipos de adaptação ampla ou específica, escolher locais de seleção, identificar o nível de estresse nos ambientes escolhidos para as fases iniciais de seleção e determinar o número ideal de ambientes a serem avaliados em cada fase (Fox et al., 1997). Como o efeito da interação genótipos x ambientes é muito pronunciado nas condições de cultivo do feijoeiro-comum, deve-se buscar alternativas para amenizar ou aproveitar favoravelmente o seu efeito, reduzindo possíveis perdas que possam vir a ocorrer para o produtor. Entre essas alternativas, merecem destaque as análises de adaptabilidade e estabilidade fenotípica, que fornecem informações detalhadas sobre o comportamento das cultivares (Cruz & Regazzi, 2001), assim como as análises de estratificação ambiental e de decomposição da interação GxA.

### 2.2.1 Estabilidade e adaptabilidade fenotípica

Estudos sobre a interação genótipos x ambientes, apesar de serem de grande importância para o melhoramento, não proporcionam informações pormenorizadas sobre o comportamento de cada genótipo nas variações ambientais. Para tal objetivo, realizam-se análises de adaptabilidade e estabilidade, pelas quais torna-se possível a identificação de cultivares de comportamento previsível e que sejam responsivas às variações ambientais, seja em condições específicas ou amplas (Cruz & Regazzi, 2001). Para que as estimativas

dos parâmetros de estabilidade possam ser úteis, as avaliações devem ser realizadas nas condições ambientais que melhor representem as condições de cultivo prevaescentes (Ramalho et al., 1998).

Existe mais de uma dezena de metodologias de análise de adaptabilidade e estabilidade, destinadas à avaliação de um grupo de materiais genéticos. Segundo Cruz & Regazzi (2001), a escolha de um método depende dos dados experimentais, principalmente os relacionados com o número de ambientes disponíveis, da precisão requerida e do tipo de informação desejada.

Dentre as metodologias de adaptabilidade e estabilidade existentes, a proposta por Eberhart & Russell (1966) é uma das mais utilizadas (Duarte & Zimmermann, 1994; Oliveira et al., 2006). Nesse método, o comportamento de cada genótipo, nas variações ambientais, é estimado por meio de uma análise de regressão linear simples. O pequeno número de parâmetros estimados e sua fácil interpretação são fatores de grande relevância para os melhoristas. A aplicação de procedimentos de regressão linear tem sido muito utilizada, embora alguns estudos tenham mostrado que uma parte razoável dos genótipos não tem seus componentes satisfatoriamente explicados por esses métodos (Zobel et al., 1988; Duarte & Zimmermann, 1994; Duarte & Vencovsky, 1999).

Outro enfoque na análise de estabilidade é o adotado pela metodologia de Annicchiarico (1992), na qual a estabilidade é medida pela superioridade do genótipo em relação à média de cada ambiente. O método baseia-se na estimação de um índice de risco, associado à recomendação de cada linhagem, considerando um determinado coeficiente de confiança (Cruz & Carneiro, 2006).

Murakami & Cruz (2004) propuseram outro método que reúne as análises de adaptabilidade e de estratificação ambiental, simultaneamente, pelo princípio da similaridade do desempenho genotípico, que se baseia na técnica multivariada de análise de fatores. A análise de adaptabilidade fenotípica, baseada na análise de fatores, é realizada graficamente por meio de escores obtidos em relação aos fatores. De acordo com Murakami & Cruz (2004), nos quadrantes II e IV, estarão os genótipos com adaptabilidade específica aos ambientes, agrupados em cada um dos dois fatores utilizados na plotagem gráfica. No quadrante I, estarão os genótipos de adaptabilidade ampla, ou seja, que apresentarão escores altos para os ambientes agrupados nos dois fatores simultaneamente. No quadrante III estarão os genótipos de baixa performance, passíveis de não indicação de cultivo para os ambientes em estudo.

Entre os métodos não-paramétricos utilizados para estudo de adaptabilidade e estabilidade de cultivares, a metodologia proposta por Lin & Binns (1988) modificada por Carneiro (1998) (trapézio quadrático ponderado pelo coeficiente de variação), fornece resultados interessantes para os melhoristas, pois reúne facilidade de execução e fácil associação dos parâmetros de estabilidade e adaptabilidade. Esta metodologia apresenta as seguintes vantagens quanto ao genótipo ideal: produtividade constante em ambientes considerados desfavoráveis, mas com capacidade de resposta à melhoria das condições ambientais; o parâmetro medida de adaptabilidade e estabilidade de comportamento (MAEC) contempla a dissimilaridade entre os locais, de modo que ambientes similares têm menor influência do que os dissimilares na determinação da superioridade do genótipo, porém, são representativos da rede; não é necessário assumir qualquer hipótese sobre a distribuição dos valores fenotípicos para utilização do parâmetro MAEC, pois, sua estimativa ponderada, pela precisão dos ensaios, elimina ou reduz os efeitos indesejáveis da ocorrência de heterogeneidade de variância residual (Oliveira et al., 2006).

Outro método de aplicação, que permite inferências dessa natureza, é a análise AMMI (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Analysis), que significa modelo de efeitos principais aditivos e interação multiplicativa. Esse método combina técnicas estatísticas como a análise de variância e a análise de componentes principais, para ajustar, respectivamente, os efeitos principais (genótipos e ambientes) e os efeitos da interação genótipos x ambientes (Zobel et al., 1988). A análise AMMI pode ajudar tanto na identificação de genótipos de alta produtividade e largamente adaptados, como na realização do chamado zoneamento agrônomico, com fins de indicação regionalizada e de seleção de locais para teste. Zobel et al. (1988) citam algumas vantagens desse método: permite uma análise mais detalhada da interação genótipos x ambientes; garante a seleção de genótipos, capitalizando suas interações positivas com os ambientes; propicia estimativas mais precisas das respostas genotípicas; e possibilita fácil interpretação gráfica dos resultados.

Vários trabalhos foram realizados com a cultura do feijoeiro-comum utilizando-se as diferentes metodologias de análise de estabilidade e adaptabilidade. Carbonell et al. (2001) avaliaram a adaptabilidade e a estabilidade de produção de 12 cultivares e linhagens de feijoeiro em 24 ambientes no Estado de São Paulo, bem como a eficiência de dois métodos de análise de estabilidade e adaptabilidade (Cruz et al. e Lin e Binns modificado por Carneiro). Os métodos utilizados produziram resultados

discrepantes. Os autores comentaram que o método de Lin e Binns modificado por Carneiro identificou as cultivares mais estáveis e responsivas entre as mais produtivas e que, além disso, o método reuniu eficiência, simplicidade, unicidade de parâmetros e facilidade de interpretação dos resultados.

Carbonell et al. (2004) também avaliaram a adaptabilidade e estabilidade de 18 cultivares e linhagens de feijoeiro em 23 ambientes, no Estado de São Paulo, utilizando o método de Linn & Binns (1988), modificado por Carneiro (1998) (MYD – Desvios de produtividade máxima) e AMMI (Gaush & Zobel, 1996). Segundo os autores, ambas produziram resultados congruentes em termos de identificação das cultivares mais estáveis, porém, a maior estabilidade esteve sempre associada à maior produtividade na metodologia MYD, que reuniu simplicidade e facilidade de interpretação dos resultados. A metodologia AMMI, além de informar sobre os ambientes, facilitou a identificação de cultivares estáveis por inspeção visual, porém, sua natureza complexa dificulta seu uso generalizado em programas de melhoramento.

Oliveira et al. (2006) investigaram a eficiência de três metodologias para a obtenção de estimativas dos parâmetros adaptabilidade e estabilidade (Eberhart & Russell, 1966; Cruz et al., 1989; Lin & Binns, modificado por Carneiro, 1998) de 20 linhagens de feijão, avaliadas em ensaios de valor de cultivo e uso (VCU), em 14 ambientes no Estado de Minas Gerais. Concluíram que o método de Cruz et al. (1989) apresentou maior refinamento para a indicação de cultivares, comparado ao método de Eberhart & Russell (1966). Porém, o método proposto por Carneiro (1998) destacou-se para a indicação de cultivares pela sua simplicidade, em razão da unicidade do parâmetro que engloba os conceitos de adaptação, adaptabilidade e estabilidade.

O procedimento BLUP foi empregado por Carbonell et al. (2007), que estudaram a adaptabilidade e estabilidade dos valores genotípicos preditos de linhagens de feijoeiro. Os autores observaram que os métodos MHPRVG (Média Harmônica da Performance Relativa dos Valores Genéticos), Lin & Binns e Annicchiarico selecionaram, praticamente, as mesmas linhagens. Contudo, o método MHPRVG forneceu os resultados na própria escala de medição do caráter avaliado, os quais foram interpretados diretamente como valores genéticos para produtividade, estabilidade e adaptabilidade simultaneamente.

Ribeiro et al. (2008; 2009) avaliaram a adaptação e a estabilidade de produção de linhagens de feijão, para o cultivo no Estado do Rio Grande do Sul, utilizando as metodologias de Eberhart e Russel e de Lin e Binns, modificado por Carneiro. Os

resultados obtidos por esses autores evidenciaram que as metodologias foram concordantes na identificação de cultivares estáveis para produtividade de grãos e com adaptação a ambientes favoráveis.

Diferentes metodologias de análise (Lin e Binns, Annichiarico, Eberhart e Russel, Cruz et al. e AMMI) foram utilizadas por Pereira et al. (2009a), com o objetivo de identificar genótipos de feijoeiro-comum carioca, avaliados em 45 ambientes, com alta adaptabilidade e estabilidade de produção na Região Central do Brasil. Os autores comentaram que o método de Lin & Binns, modificado por Carneiro e o de Annichiarico mostraram-se muito úteis ao programa de melhoramento genético por reunirem características como: simplicidade de utilização; separação dos ambientes em favoráveis e desfavoráveis; e identificação dos genótipos mais estáveis, entre os mais produtivos. A cultivar de feijão carioca BRS Estilo também apresentou alta adaptabilidade, estabilidade e produtividade de grãos na Região Central do Brasil. Pereira et al. (2009b) realizaram um trabalho semelhante com os mesmos genótipos, em 26 ambientes na Região Centro-Sul do Brasil. Os autores encontraram os genótipos BRS Estilo e CNFC 9518 com alta produtividade, alta adaptabilidade e alta estabilidade em várias das metodologias, e comentaram que a cultivar Pérola, amplamente plantada no país, apresenta menor produtividade, estabilidade e adaptabilidade do que novos genótipos elite obtidos pelos programas de melhoramento.

Perina et al. (2010) realizaram trabalho visando identificar as linhagens e/ou cultivares mais estáveis e adaptadas para o conjunto de caracteres de importância para a cadeia produtiva do feijoeiro (teores de água, valor protéico e parâmetros de qualidade tecnológica dos grãos), em conjunto com a produtividade média dos genótipos, cultivados em diversos ambientes, por meio da análise multivariada da performance genotípica. Foram utilizados os dados dos ensaios de VCU 2005, 2006 e 2007 de grãos dos grupos comerciais carioca e preto, conduzidos em 28 ambientes do Estado de São Paulo. Os autores concluíram que a análise de estabilidade e adaptabilidade multivariada proposta por Carneiro (1998), baseadas em Lin & Binns (1988), mostra-se eficiente e simples para a avaliação do desempenho genotípico das cultivares, além de apresentarem unicidade do parâmetro para estimar a adaptabilidade a ambientes favoráveis e desfavoráveis, e simplicidade na interpretação dos resultados.

Gonçalves et al. (2010) avaliaram os parâmetros de adaptabilidade e de estabilidade de linhagens e cultivares de feijoeiro, com grãos especiais, por meio do uso do

genótipo suplementar (GS), em análise AMMI. Foram utilizados dados de produtividade de grãos de 14 genótipos de feijoeiro pertencentes a ensaios de VCU, para o Estado de São Paulo, referente às safras de 2005/2006/2007, semeados em 24 ambientes. Os autores concluíram que o método AMMI combinado com o uso do GS auxilia na identificação de genótipos superiores.

Alguns trabalhos foram realizados visando comparar as diversas metodologias de análise de estabilidade. Borges et al. (2000) avaliaram e compararam diversos métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica (Toler, Lin e Binns, Annicchiarico e AMMI), quanto à eficiência e complementaridade em feijoeiro. Os autores concluíram que o método de Toler é insuficiente para o estudo da estabilidade fenotípica, sendo necessária a complementaridade das informações por outras metodologias, como as de Lin e Binns e Annicchiarico, e que a análise AMMI não se mostrou eficiente para o estudo da estabilidade fenotípica no feijoeiro devido ao número de componentes do modelo ser maior do que três, o que do ponto de vista biológico, é insatisfatório e de difícil manipulação, em relação aos possíveis benefícios que trariam.

Murakami et al. (2004) compararam as metodologias de Lin & Binns (1988) modificada por Carneiro (1998) e de Eberhart & Russel (1966), utilizando experimentos de milho, e verificaram que a primeira foi mais discriminante e, por isso, mais eficiente e mais indicada para análises de estabilidade e adaptabilidade.

Silva & Duarte (2006) avaliaram a associação entre os métodos de análise de estabilidade de Wricke, Tradicional, Plaisted & Peterson, Finlay & Wilkinson, Eberhart & Russel, Verma, Chahal & Murty, Toler, AMMI, Hühn, Annicchiarico e Lin & Binns em sete experimentos de soja. Os autores recomendaram a utilização de alguns métodos em conjunto, como AMMI e Eberhart & Russel, devido à presença de correlações significativas com a maioria dos outros métodos e associação relativamente fraca entre estes. Recomendam, ainda, que métodos baseados, exclusivamente, em coeficientes de regressão, devem ser utilizados em associação com outro, fundamentado na variância da interação GxA, ou em medidas estatísticas como a variância dos desvios da regressão.

Melo et al. (2007) compararam as metodologias AMMI, Lin & Binns e Eberhart & Russel, em ensaios de feijoeiro-comum compostos por genótipos de diferentes grupos comerciais. Os autores encontraram baixa associação entre os métodos AMMI e Lin & Binns ( $r = 0,39$ ) e AMMI e Eberhart & Russel ( $r = 0,40$ ), e não encontraram correlação entre Lin & Binns e Eberhart & Russel. Ainda comparando metodologias, Pereira et al.

(2009c) utilizaram seis diferentes métodos de análise de estabilidade e adaptabilidade (Eberhart & Russel, Lin & Binns, Lin & Binns modificado por Carneiro, Cruz et al., Annicchiarico e AMMI), em 71 ensaios de feijoeiro-comum carioca. Os autores encontraram fortes correlações entre os métodos de Cruz e Eberhart & Russel e entre Lin & Binns, Lin & Binns modificado por Carneiro e Annicchiarico, e correlações intermediárias entre AMMI e Eberhart & Russel. Os autores recomendam a utilização de um dos métodos altamente correlacionados no primeiro grupo com um dos métodos do outro grupo.

Levando-se em consideração os resultados encontrados nestes trabalhos e as recomendações dos autores, as duas metodologias, AMMI e Annicchiarico, devem ser mais exploradas em estudos de adaptabilidade e estabilidade na cultura do feijoeiro, auxiliando os melhoristas nas avaliações de linhagens dos ensaios finais do programa de melhoramento. Pôde-se observar também que poucos trabalhos comparam a adaptabilidade e estabilidade dos mesmos genótipos entre diferentes regiões. Na maioria dos estudos as análises são realizadas para um conjunto de ensaios conduzidos em uma só região.

### 2.2.2 Decomposição da interação GxA

Considerando que nas condições de cultivo de feijoeiro-comum há variações entre anos, locais e épocas de semeadura, é necessário verificar com qual desses fatores ambientais a interação com os genótipos é mais expressiva, para orientar futuros trabalhos de avaliação de cultivares de feijão em determinada região (Ramalho et al., 1998).

Para fins de indicação de cultivares de feijoeiro-comum um dos caracteres de maior importância é a média de produtividade das épocas de plantio, e devido à presença da interação, nem sempre a cultivar que obteve a maior média geral de produção é a que apresenta maior produção em cada uma delas isoladamente. Com isso, deixa-se de capitalizar a interação a favor de um determinado genótipo em uma época de semeadura. Como a avaliação dos genótipos ocorre nas diferentes épocas de semeadura pode-se fazer comparações entre o desempenho dos genótipos nestas épocas, o que permite identificar cultivares com adaptação específica a cada época de semeadura e verificar se existem padrões de similaridade quanto à classificação dos genótipos entre estas épocas.

Atualmente busca-se na cultura do feijoeiro-comum cultivares com adaptação ampla, ou seja, aquelas que apresentam alta média de produtividade nas diferentes épocas



de plantio. Essa busca, por cultivares com adaptação ampla, ocorre, principalmente, devido ao mercado de produção de sementes, visto que a taxa de utilização de sementes pelos agricultores é baixa, próxima a 13%, o que inviabiliza a indicação específica para cada época de semeadura (Barros, 2008).

Para verificar com qual dos fatores ambientais (anos, épocas de semeadura e locais) a interação com os genótipos é mais expressiva, trabalhos foram realizados por Ramalho et al. (1993; 1998), nas regiões Sul e Alto Paranaíba de Minas Gerais, nas épocas de semeadura da seca e inverno. Os autores observaram que as interações representaram pouco da variação total e que as interações mais expressivas foram cultivares x safras e cultivares x anos, em detrimento da interação cultivares x locais. Esses trabalhos evidenciam, assim, que a avaliação das cultivares em alguns anos e em diferentes safras é mais importante do que em vários locais do Estado de Minas Gerais.

Ramalho et al. (2002) estudaram a contribuição das diferentes safras para a interação e verificaram a possibilidade de não se realizar a avaliação de cultivares em uma delas. Os autores concluíram que, no Estado de Minas Gerais, a interação cultivares x safras é expressiva e que seria indispensável que as avaliações fossem conduzidas nas três safras para se ter uma indicação segura.

Matos et al. (2007) realizaram estudo com intuito de proceder à análise crítica do programa de melhoramento genético do feijoeiro-comum em Minas Gerais, durante um período de 32 anos. Os autores encontraram a interação linhagens x safras com maior magnitude que linhagens x anos, contudo, as interações linhagens x locais foram quase sempre superiores àquelas envolvendo safras e anos. Desta forma, os autores concluíram que o programa deve dar ênfase em avaliar as linhagens no maior número de locais possível para melhorar a sua eficácia.

Pereira et al. (2010b) realizaram trabalho para avaliar a existência de interação entre genótipos de feijoeiro e épocas de semeadura (águas e seca), a importância da interação complexa e a necessidade de indicação de cultivares para cada época, nos Estados do Paraná e Santa Catarina. Os autores observaram diferenças entre épocas e presença de interação genótipos x épocas, mas com menor importância que as outras interações duplas com genótipos. As correlações de Spearman entre épocas mostraram interação predominantemente simples entre genótipos e épocas. Os autores concluíram que não é necessário indicar cultivares de feijoeiro-comum para cada época isoladamente na região de estudo.

Esse tipo de estudo também foi realizado para os Estados de Goiás e Distrito Federal, por Pereira et al. (2011), envolvendo as épocas das águas e inverno. Os autores encontraram diferenças entre épocas e presença de interação genótipos x épocas (GxE) com predominância da fração complexa e com maior importância, quando comparada às outras interações com genótipos (genótipos x anos e genótipos x locais). Os autores concluíram que é necessário avaliar os genótipos nas duas épocas de semeadura (águas e inverno), entretanto, com a possibilidade de indicar cultivares com adaptação geral.

### 2.2.3 Estratificação ambiental

Para que as estimativas dos parâmetros de estabilidade possam ser úteis, as avaliações devem ser realizadas nas condições ambientais que melhor representem as condições de cultivo prevalentes (Ramalho et al., 1998) e, para isso, é necessária a implantação de uma rede de avaliação de ensaios. A implantação de uma rede oficial de ensaios para avaliação de linhagens é um procedimento bastante trabalhoso e oneroso.

O Programa de Melhoramento Genético do Feijoeiro-Comum da Embrapa Arroz e Feijão conduz cerca de 260 ensaios de VCU por ciclo. Esses ensaios são conduzidos em 18 estados brasileiros e em diversas localidades de cada estado, estando envolvidos diversos pesquisadores e parceiros para a condução e avaliação.

Uma grande preocupação dos responsáveis pela condução desses programas é saber se os locais de avaliação realmente representam a diversidade ambiental do cultivo do feijoeiro-comum em determinada região. Qualquer redundância nos locais utilizados deve ser eliminada, visando aumentar o máximo possível, a diversidade ambiental representada pela rede de avaliação (Del Peloso et al., 2005). Além disso, como a rede de ensaios é bastante dinâmica, os locais de condução de experimentos mudam constantemente, levando-se à necessidade de utilizar regularmente procedimentos de estratificação ambiental para manter a qualidade da rede de ensaios.

De todas as fases de um programa de melhoramento de plantas, a avaliação dos genótipos em diferentes condições ambientais representa, em geral, a mais trabalhosa e mais cara. Dessa forma, o tamanho do programa fica limitado pela capacidade de avaliação experimental dos materiais. Qualquer ganho em eficiência nesta fase representa, portanto, um ganho em eficiência em todo o processo. Para isto, um bom entendimento da interação genótipos x ambientes poderá contribuir para o aproveitamento de seus efeitos benéficos,

bem como para contornar seus efeitos indesejáveis sobre a avaliação de genótipos e indicação de cultivares (Chaves, 2001).

O processo de estratificação ambiental consiste na subdivisão de regiões heterogêneas em sub-regiões mais uniformes, em que se exclui qualquer interação GxA significativa ou, em outras situações, obtém-se interação significativa, mas com predominância da fração simples, ou seja, que não venha comprometer a indicação das cultivares. Busca-se, assim, reunir ambientes de classificação genotípica similar, independentemente da qualidade ambiental (Oliveira et al., 2005).

Entre os métodos de estratificação ambiental, o de Lin (1982) procura formar subgrupos homogêneos em que a interação GxA seja não significativa. O agrupamento de ambientes inicia-se com a obtenção das estimativas da soma de quadrados para a interação entre genótipos e pares de ambientes, e posterior agrupamento dos ambientes com menor soma de quadrados para a interação GxA. Na sequência, estimam-se as somas de quadrados entre genótipos e grupos de três ambientes. A menor soma de quadrados para a interação determina a inclusão de um novo ambiente no grupo anteriormente formado. Em cada etapa, a significância da interação é verificada empregando-se o teste de F, para avaliar a possibilidade de formação de um novo grupo (Pacheco, 2004).

Quando a interação GxA é significativa entre pares de ambientes, pela metodologia de Lin (1982), pode-se utilizar, para complementar as análises, as correlações de Pearson e de Spearman e o método de Cruz & Castoldi (1991). Esse método quantifica o percentual relativo à parte simples da interação GxA, em que a posição relativa dos genótipos, de um ambiente para o outro, não sofra alterações relevantes ou que comprometam as recomendações dos genótipos. Com isso, pares de ambientes com interação significativa, mas com valores de correlações significativos e predominância da fração simples da interação, podem ser agrupados em um mesmo estrato (Garbuglio et al., 2007; Pereira et al., 2010a).

A análise de fatores, proposta por Murakami & Cruz (2004), é uma técnica multivariada utilizada, entre outras formas, nos estudos de estratificação ambiental. Permite reduzir um número elevado de variáveis originais a um pequeno número de variáveis abstratas, também chamadas de fatores. Cada fator irá agrupar um conjunto de ambientes altamente correlacionados entre si e fracamente correlacionados com os ambientes agrupados nos demais fatores. Nesse método o número de estratos será igual ao número de fatores definidos (Cruz & Carneiro, 2006)

A estimativa da ecovalência (Wricke, 1965), utilizada inicialmente para medir a contribuição de cada genótipo para a interação GxA, também pode ser utilizada para avaliar a contribuição de cada ambiente para a interação. Isso se dá por meio da decomposição da soma de quadrados da interação, em frações relacionadas a esses ambientes, e identificação de locais pouco informativos. Menores estimativas para a ecovalência corresponderão aos ambientes que menos contribuíram para a interação, sendo estes pouco informativos na avaliação dos genótipos (Pereira et al., 2010a).

Uma abordagem baseada no método AMMI e que reúne em uma mesma análise a estratificação de ambientes e a identificação de genótipos de interesse é proposta por Gauch & Zobel (1997). Esse método tem como base o conceito de interação GxA, e a definição dos estratos ambientais está intimamente ligada à identificação de genótipos de interesse, de forma que esses objetivos possam ser alcançados conjuntamente. Nesse método, denominado de “abordagem dos genótipos vencedores”, os estratos são definidos pelos genótipos de mais alta produtividade em cada ambiente. Esses genótipos, portanto, têm adaptação específica ao estrato que determinam estabilidade no sentido agrônomico para as localidades que compõe esse estrato; uma vez que são os que alcançam as mais altas produtividades em cada um desses locais (Pacheco, 2004).

Com relação aos procedimentos de estratificação ambiental, alguns trabalhos já foram realizados em redes de ensaios de feijão e de outras culturas, em alguns estados brasileiros, eliminando-se ambientes pouco informativos e identificando os locais mais apropriados para a condução dos ensaios. Com base na importância da amostragem ambiental na avaliação de germoplasma, para fins de recomendação de cultivares, Duarte & Zimmermann (1991), citados por Carbonell & Pompeu (1997), avaliaram o comportamento de cultivares de feijão em diversas localidades e definiram locais-chave para testes de material genético, com base na avaliação da significância estatística da interação GxA. Esses autores elegeram, em um conjunto de locais, aqueles mais contrastantes entre si como os que melhor representariam a população de ambientes, para a qual se faria a recomendação.

Carbonell & Pompeu (1997) realizaram análises da variância conjunta em três experimentos de feijoeiro instalados em várias localidades paulistas objetivando-se quantificar os valores da interação genótipos por ambientes e identificar os locais onde essa interação se mostrou menos pronunciada e, ao contrário, mais contrastante. Os resultados identificaram Pariquera-Açu, Capão Bonito e Itaberá como ambientes contrastantes, ou

seja, com interação GxA altamente significativa. Entre Ribeirão Preto, Votuporanga, Aguaí, Mococa e Riversul, verificou-se a formação de vários grupos de ambientes com interações GxA não significativas; sendo assim, esses locais foram considerados os mais homogêneos para análise de produtividade e avaliação de genótipos.

A estratificação ambiental utilizando dados da rede de ensaios VCU de feijão-comum de grãos roxo e rosinha, ciclo 2001/2002, em oito locais na safra das águas, foi estudado por Del Peloso et al. (2005), utilizando as mesmas metodologias citadas por Cruz (2001). Os autores verificaram a presença de locais redundantes indicando a possibilidade de substituição desses locais por outros mais informativos. Melo et al. (2005) realizaram a estratificação ambiental com dados dos ensaios de VCU do ciclo 2001/2002, com grãos do tipo carioca e identificaram como redundantes os ambientes Cristalina e Urutaí, na época de semeadura das águas, e Santo Antônio de Goiás e Goiatuba na época do inverno.

A eficiência de diferentes métodos de estratificação ambiental (tradicional, análise de fatores, correlação e porcentagem simples da interação) foi investigada por Oliveira et al. (2005). Foram avaliados dois ensaios de VCU de feijoeiro (carioca e preto), conduzidos nas três safras tradicionais, em seis municípios de Minas Gerais. Os autores concluíram que os subgrupos formados pela metodologia tradicional apresentaram, em sua maioria, ambientes referentes à safra de inverno, indicando, neste caso, pequeno efeito de locais sobre o comportamento das linhagens nessa safra. A decomposição da interação nas suas frações simples e complexa não contribuiu para aprimorar o agrupamento com base no método tradicional de estratificação. Já a análise de fatores foi mais eficiente em apontar a similaridade entre os ambientes do que aquela baseada no princípio de interação genótipos x ambientes não significativa, indicando seu potencial para este tipo de estudo.

Bertoldo et al. (2009), com o objetivo sugerir uma divisão do Estado de Santa Catarina em macro-ambientes, para experimentação e produção de feijão, avaliaram dados dos caracteres produtividade de grãos e ciclo da planta, em dez genótipos de feijão carioca, cultivados em nove ambientes. Os resultados obtidos evidenciaram divergências entre as regiões de Santa Catarina para os dois caracteres, que apresentaram correlação positiva e significativa. Ainda, e que é possível dividir o estado a partir dos genótipos e ambientes estudados, em dois macro-ambientes e quatro micro-ambientes, podendo o Estado de Santa Catarina ser generalizado em, no mínimo, dois macro-ambientes para a recomendação de novos cultivares.

Para o Estado de Goiás e Distrito Federal, Pereira et al. (2010a) realizaram estratificação ambiental, por safra, para a produtividade de grãos de genótipos de feijoeiro-comum tipo Carioca. Eles compararam a eficiência de diferentes métodos de estratificação ambiental (tradicional de Lin; percentagem simples da interação de genótipos com os locais dois a dois, de Cruz e Castoldi; correlação de Pearson para os pares de locais; e método da ecovalência de Wricke). Foram utilizados dados de 25 ensaios compostos por 16 genótipos. Os seguintes locais foram considerados redundantes: Anápolis, Santo Antônio de Goiás, Goiatuba e Urutaí, nas safras das águas/2003 e águas/2004, inverno/2003 e inverno/2004, respectivamente, de maneira que nenhum destes locais foi eliminado da rede de avaliação de genótipos de feijoeiro-comum tipo Carioca. Os locais utilizados em todas as safras (Rio Verde, GO e Planaltina, DF) não foram identificados como redundantes em nenhuma delas e, portanto, são indicados para a avaliação de genótipos de feijoeiro-comum. Os métodos de Lin e da ecovalência foram os mais indicados para identificação de locais pouco informativos.

Pereira et al. (2010c) realizaram trabalho semelhante ao anterior, nos Estados do Paraná e Santa Catarina, com o mesmo grupo de genótipos. Identificaram como pouco informativos os locais Roncador (águas/2003 e seca/2003) e Laranjeiras do Sul (águas/2004). Os autores concluíram que o local Roncador deve ser eliminado da rede de avaliações, por ter sido identificado como pouco informativo em duas das safras analisadas.

No Estado de Goiás, Pacheco et al. (2003) trabalharam com germoplasma de soja, visando identificar locais-chave para condução de programas de melhoramento e zonas agronômicas para recomendação de cultivares. Foram testadas 28 linhagens, em sete locais da região produtora. As análises estatísticas foram baseadas no modelo AMMI e foram identificadas quatro zonas agronômicas. O grupo com menor contribuição para a interação, composto pelos locais Rio Verde e Anápolis 1, revelou-se apropriado às fases preliminares dos programas. Os locais Chapadão do Céu, Anápolis 2 e Senador Canedo 1 caracterizaram-se como os mais contrastantes quanto às interações com os genótipos avaliados.

Mendonça et al. (2007) realizaram estratificação ambiental para a produtividade de grãos de 21 genótipos de soja, em 15 ambientes, nos Estados do Paraná e Santa Catarina, visando avaliar a eficiência de diferentes métodos de estratificação ambiental e a representatividade dos locais de avaliação. Os métodos utilizados foram o

método tradicional de Lin e a análise de fatores aliada ao percentual da parte simples (PS%) da interação GxA. Os autores concluíram que, de acordo com ambos os métodos, as localidades de Palotina e Brasilândia do Sul podem ser reduzidas a somente um local de ensaio e que a análise de fatores associada ao PS% da interação é mais seletiva para estratificação ambiental, em relação ao método tradicional de Lin.

Pacheco et al. (2009) realizaram trabalho com o objetivo de identificar locais-chave para o estabelecimento de programas de melhoramento genético, para a cultura da soja, na Região Central do Brasil. Avaliaram os dados de produtividade de genótipos de soja de três ciclos de maturação, obtidos de ensaios regionais conduzidos por três anos, em 18 localidades. Por meio da metodologia AMMI os autores definiram o local-chave para a condução das fases preliminares do programa como a localidade que melhor classificou os genótipos vencedores na região, esses locais foram Mineiros, Placas e Rio Verde. Já os locais-chave para as fases finais foram definidos como aqueles que melhor representaram cada estrato ambiental identificado, em termos da adaptabilidade do respectivo genótipo vencedor. Para esta fase os locais recomendados foram: Buritis, Chapadão do Céu, Iraí, Pamplona, Placas, Planaltina, Rio Verde, Sacramento, Senador Canedo, Uberaba e Uberlândia.

A estratificação ambiental para a produtividade em 27 genótipos de milho em 22 ambientes no Estado do Paraná foi realizada por Garbuglio et al. (2007). As estratificações ambientais foram feitas por meio do método tradicional e por análise de fatores, aliada ao percentual da porção simples da interação GxA (PS%). Os autores concluíram que a análise de fatores mostrou-se eficiente no processo de estratificação ambiental.

Fritsche-Neto et al. (2010) avaliaram a metodologia SREG GGE biplot e a análise de fatores, na estratificação da interação genótipos  $\times$  ambientes em milho. Foram avaliados 49 híbridos comerciais de ciclo precoce, em nove ambientes. Os resultados indicaram a existência de dois mega-ambientes no Estado de Minas Gerais, para híbridos de milho de ciclo precoce. A estratificação de ambientes pela análise de fatores mostrou-se mais seletiva em reunir ambientes pela similaridade de desempenho dos cultivares, mas não evidenciou as interações genótipos  $\times$  ambientes específicas, o que foi possível pela análise SREG GGE biplot.

Diante do exposto, pode-se observar que trabalhos dessa natureza com feijoeiro-comum do grupo preto são escassos. Assim, deve-se estudar os diferentes

aspectos da interação genótipos x ambientes, em ensaios de VCU de feijão preto, realizando-se análises de adaptabilidade e estabilidade fenotípica, decomposição da interação genótipos x ambientes (em anos, épocas e locais) e estratificação ambiental, utilizando diferentes metodologias. Essas análises irão auxiliar nas tomadas de decisão do Programa de Melhoramento do Feijoeiro-Comum da Embrapa, tornando-o mais eficiente, reduzindo custos e auxiliando na obtenção de ganhos genéticos mais expressivos.

### 2.3 REFERÊNCIAS

AGRIANUAL. **Anuário da Agricultura Brasileira**. Feijão. Instituto FNP: São Paulo, 2010, p. 318-323.

ALLARD, R. W.; BRADSHAW, A. D. Implications of genotype environment interactions in applied plant breeding. **Crop Science**, Madison, v. 4, n. 4, p. 503-508, 1964.

ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics and Plant Breeding**, Rome, v. 46, p. 269-278, 1992.

BARROS, A. C. S. D. A. A estatística a produção de sementes no Brasil: indicativos do crescimento da agricultura brasileira. **SEED News**, v. 7, p. 16-18, 2008.

BERTOLDO, J. G.; COIMBRA, J. L. M.; NODARI, R. O.; GUIDOLIN, A. F.; HEMP, S.; BARILI, L. D.; VALE, N. M. do; ROZZETO, D. S. Stratification of the state of Santa Catarina in macro-environments for bean cultivation. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 9, n. 4, p. 335-343, 2009.

BORÉM, A.; CARNEIRO, J. E. de S. A Cultura. In: VIEIRA, C.; PAULA JUNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão: aspectos gerais e cultura no estado de Minas Gerais**. Viçosa: UFV, 1998. p. 13-17.

BORGES, L. C.; FERREIRA, D. F.; ABREU, A. F. B.; RAMALHO, M. A. P. Emprego de metodologias de avaliação da estabilidade fenotípica na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ceres**, Viçosa, v. 47, n. 269, p. 89-102, 2000.

CARBONELL, S. A. M.; POMPEU, A. S. Estratificação de ambientes em experimentos de feijoeiro no estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 56, n. 1, p. 207-218, 1997.

CARBONELL, S. A. M.; AZEVEDO FILHO, J. A.; DIAS, L. A. S.; GONÇALVES, C.; ANTONIO, C. B. Adaptabilidade e estabilidade de produção de cultivares e linhagens de feijoeiro no estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 2, p. 69-77, 2001.

CARBONELL, S. A. M.; AZEVEDO FILHO, J. A.; DIAS, L. A. dos S.; GARCIA, A. A. F.; MORAIS, L. K. de. Common bean cultivars and lines interactions with environments. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 2, p. 169-177, 2004.



CARBONELL, S. A. M.; CHIORATO, A. F.; RESENDE, M. D. V.; DIAS, L. A. S.; BERALDO, A. L. A.; PERINA, E. F. Estabilidade de cultivares e linhagens de feijoeiro em diferentes ambientes no estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 2, p 193-201, 2007.

CARNEIRO, P. C. S. Novas metodologias de análise da adaptabilidade e estabilidade de comportamento. 1998. 168 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1998.

CHAVES, L. J. Interação de genótipos com ambientes. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S.; VALADARES-INGLIS, M. C. **Recursos genéticos e melhoramento – plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001, p. 673-713.

CRUZ, C. D.; CASTOLDI, F. Decomposição da interação genótipos x ambientes em partes simples e complexa. **Revista Ceres**, v. 38, p. 422- 430, 1991.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. v. 1, 2. ed. Viçosa: UFV, 2001. 390 p.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. v. 2, 2. ed. rev. Viçosa: UFV, 2006. 585 p.

DEL PELOSO, M. J.; MELO, L. C. **Potencial de rendimento da cultura do feijoeiro-comum**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. 131 p.

DEL PELOSO, M. J.; MELO, L. C.; FARIA, L. C. de; COSTA, J. G. C. Da; RAVA, C. A.; LEMES, G. de C.; DIAZ, J. L. C.; ABREU, A. F. B.; ZIMMERMANN, F. J. P. Estratificação ambiental para o estado de Goiás, do programa de melhoramento genético do feijoeiro-comum de grãos roxo e rosinha, da Embrapa Arroz e Feijão, biênio 2001/2002. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 8. Goiânia. **Anais...** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. p. 462-465.

DUARTE, J. B.; ZIMMERMANN, M. J. O. Adaptabilidade e estabilidade de rendimento de genótipos de feijoeiro-comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 1, p. 25-32, 1994.

DUARTE, J. B.; VENCOSKY, R. **Interação genótipos x ambientes: uma introdução à análise “AMMI”**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1999. 60 p. (Série Monografias, 9).

EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, Madison, v. 6, n. 1, p. 36-40, 1966.

FAO. **Faostat**. Disponível em:

<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567>. Acesso em fevereiro de 2011.

FEIJÃO: dados conjunturais da produção de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) no Brasil: 1985 a 2009. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/apps/socioeconomia/index.htm>>. Acesso em: Março. 2011.

FOX, P. N.; CROSSA, J.; ROMAGOSA, I. Multi-environment testing and genotype x environment interaction. In: KENPTON R. A.; FOX, P. N. [Eds.] **Statistical methods for plant variety evaluation**. London: Chapman and Hall, 1997. p. 117-138.

FRITSCHÉ-NETO, R. F.; MIRANDA, G. V. M.; LIMA, R. O.; SOUZA, H. N. Factor analysis and SREG GGE biplot for the genotype × environment interaction stratification in maize. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 5, p. 1043-1048, 2010.

GARBUGLIO, D. D.; GERAGE, A. C.; ARAÚJO, P. M. DE; FONSECA JÚNIOR, N. DA S.; SHIOGA, P. S. Análise de fatores e regressão bissegmentada em estudos de estratificação ambiental e adaptabilidade em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 183- 191, 2007.

GAUCH, H. G.; ZOBEL, R. W. Identifying megaenvironments and targeting genotypes. **Crop Science**, Madison, v. 37, n. 2, p. 311-326, 1997.

GONÇALVES, J. G. R.; CHIORATO, A. F.; MORAIS, L. K.; PERINA, E. F.; FARIAS, F. L.; CARBONELL, S. A. M. Estudo da estabilidade fenotípica de feijoeiro com grãos especiais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 922-931, 2010.

LIN, C. S. Grouping genotypes by a cluster method directly related to genotype- environment interaction mean- square. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 62, p. 277- 280, 1982.

LIN, C. S.; BINNS, M. R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. **Canadian Journal Plant Science**, Ottawa, v. 68, p. 193-198, 1988.

MATOS, J. W. de. **Análise crítica do programa de melhoramento genético do feijoeiro-comum da UFLA no período de 1974 a 2004**. 2005. 116 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2005.

MATOS, J. W.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Trinta e dois anos do programa de melhoramento genético do feijoeiro-comum em Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1749-1754, 2007.

MELO, L. C.; DEL PELOSO, M. J.; FARIA, L. C. de; COSTA, J. G. C. da; RAVA, C. A.; LEMES, G. de C.; ZIMMERMANN, F. J. P. Estratificação ambiental para o estado de Goiás do programa de melhoramento genético do feijoeiro-comum da Embrapa Arroz e Feijão, para grão comercial carioca – biênio 2001/2002. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 3., 2005, Gramado. **Cd room...** Passo fundo: Embrapa Trigo, 2005.

MELO, L. C.; MELO, P. G. S.; FARIA, L. C. de; DIAZ, J. L. C.; DEL PELOSO, M. J.; RAVA, C. A.; COSTA, J. G. C. da. Interação com ambientes e estabilidade de genótipos de feijoeiro-comum na Região Centro-Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 5, p. 715-723, 2007.

MENDONÇA, O.; CARPENTIERI - PÍPOLO, V.; GARBUGLIO, D. D.; FONSECA JUNIOR, N. da S. Análise de fatores e estratificação ambiental na avaliação da adaptabilidade e estabilidade em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 11, p. 1567- 1575, 2007.

MURAKAMI, D. M.; CRUZ, C. D. Proposal of methodologies for environment stratification and analysis of genotype adaptability. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 4, p. 7-11, 2004.

MURAKAMI, D. M.; CARDOSO, A. M.; CRUZ, C. D.; BIZÃO, N. Considerações sobre duas metodologias de análise de estabilidade e adaptabilidade. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 1, p. 71-78, 2004.

OLIVEIRA, G. V. de; CARNEIRO, P. C. de S.; DIAS, L. A. dos S.; CARNEIRO, J. E. de S.; CRUZ, C.D. Factor analysis in the environment stratification for the evaluation of common bean cultivars. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 5, p. 166- 173, 2005.

OLIVEIRA, G. V.; CARNEIRO, P. C. S.; CARNEIRO, J. E. de S.; CRUZ, C. D. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de feijão-comum em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 2, p. 257-265, 2006.

PACHECO, R. M.; DUARTE, J. B.; ASSUNÇÃO, M. S.; NUNES JUNIOR, J.; CHAVES, A. A. P. Zoneamento e adaptação produtiva de genótipos de soja de ciclo médio de maturação para Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 33, n. 1, p. 23-27, 2003.

PACHECO, R. M. **Estratificação de ambientes em cerrados do Brasil central para fins de seleção e recomendação de cultivares de soja.** 173 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2004.

PACHECO, R. M.; DUARTE, J. B.; SOUZA, P. I. M.; SILVA, S. A.; NUNES JUNIOR, J. Key locations for soybean genotype assessment in Central Brazil. **Pesquisa e Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 5, p. 478-486, 2009.

PEREIRA, H. S; MELO, L. C; FARIA, L. C. de; DEL PELOSO, M. J.; COSTA, J. G. C.; RAVA, C. A.; WENDLAND, A. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijoeiro-comum com grãos tipo carioca na Região Central do Brasil. **Pesquisa e Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 1, p. 29-37, 2009a.

PEREIRA, H. S; MELO, L. C; FARIA, L. C. de; DÍAZ, J. L. C.; DEL PELOSO, M. J.; COSTA, J. G. C.; WENDLAND, A. Stability and adaptability of carioca common bean genotypes in states of the Central South Region of Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 9, n. 2, p. 181-188, 2009b.

PEREIRA, H. S.; MELO, L. C.; DEL PELOSO, M. J.; FARIA, L. C. de; COSTA, J. G. C.; DÍAZ, J. L. C.; RAVA, C. A.; WENDLAND, A. Comparação de métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em feijoeiro-comum. **Pesquisa e Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 4, p. 374-383, 2009c.

PEREIRA, H. S.; MELO, L. C.; FARIA, L. C. de; DEL PELOSO, M. J.; WENDLAND, A. Estratificação ambiental na avaliação de genótipos de feijoeiro-comum tipo Carioca em Goiás e no Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 6, p. 554-562, 2010a.

PEREIRA, H. S.; MELO, L. C.; FARIA, L. C. de; DEL PELOSO, M. J.; DÍAZ, J. L. C.; WENDLAND, A. Indicação de cultivares de feijoeiro-comum baseada na avaliação conjunta de diferentes épocas de semeadura. **Pesquisa e Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 6, p. 571-578, 2010b.

PEREIRA, H. S.; MELO, L. C.; FARIA, L. C. de; DEL PELOSO, M. J.; WENDLAND, A. Environmental Stratification in Paraná and Santa Catarina States to evaluate common bean genotypes. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 10, n. 2, p. 132-139, 2010c.

PEREIRA, H. S.; MELO, L. C.; DEL PELOSO, M. J.; FARIA, L. C. de; WENDLAND, A. Interação complexa entre genótipos e épocas de semeadura de feijoeiro comum carioca em Goiás/Distrito Federal. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. x, n. x, p. x, 2011. (Aceito para publicação)

PERINA, E. F.; CARVALHO, C. R. L.; CHIORATO, A. F.; GONÇALVES, J. G. R.; CARBONELL, S. A. M. Evaluation of the stability and adaptability of genotypes of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) through multivariate analysis of genotype performance. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 398-406, 2010.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B.; RIGHETTO, G. U. Interação de cultivares de feijão por épocas de semeadura em diferentes localidades do estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 10, p. 1183-1189, 1993.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, P. S. J. Interações genótipos x épocas de semeadura, anos e locais na avaliação de cultivares de feijão nas Regiões sul e alto Paranaíba em Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 22, n. 2, p. 176-181, 1998.

RAMALHO, M. A. P.; SILVA FILHO, J. L. da; ABREU, A. de F. B. A interação safras x cultivares no trabalho dos melhoristas de feijão. CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 7, 2002, Viçosa. **Resumos...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2002. p. 366-368.

RIBEIRO, N. D.; ANTUNES, I. F.; SOUZA, J. F.; POERSCH, N. L. Adaptação e estabilidade de produção de cultivares e linhagens-elite de feijão no estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 9, 2008.

RIBEIRO, N. D.; SOUZA, J. F.; ANTUNES, I. F.; POERSCH, N. L. Estabilidade de produção de cultivares de feijão de diferentes grupos comerciais no estado do Rio Grande do Sul. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 2, p. 339-346, 2009.

SILVA, W. C. J.; DUARTE, J. B. Métodos Estatísticos para estudo da adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja. **Pesquisa e Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 1, p. 23-30, 2006.

VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão**, 2. ed. Viçosa: UFV, 2006. 600 p.

WRICKE, G. Zur Berechnung der Ökovalenz bei Sommerweizen und Hafer. **Zeitschrift für Pflanzenzüchtung**, v. 52, p. 127-138, 1965.

ZOBEL, R. W.; WRIGHT, M. J.; GAUCH, H. G. Statistical analysis of a yield trial. **Agronomy Journal**, Madison, v. 80, p. 388-393, 1988.

### **3 ESTABILIDADE E ADAPTABILIDADE ESPECÍFICA E AMPLA DE GENÓTIPOS DE FEIJOEIRO-COMUM COM GRÃOS PRETOS AVALIADOS EM DUAS REGIÕES DO BRASIL**

#### **RESUMO**

O objetivo deste trabalho foi avaliar a estabilidade e adaptabilidade fenotípica específica e ampla de genótipos de feijoeiro-comum com grãos pretos nas Regiões Central e Centro-Sul do Brasil, utilizando-se as metodologias de Annicchiarico e AMMI (modelo de efeitos principais aditivos e interação multiplicativa). Foram conduzidos 69 ensaios de valor de cultivo e uso, sendo 43 na Região Central, nos Estados: Goiás, Distrito Federal, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Tocantins; e 26 na Região Centro-Sul, nos Estados: Paraná, Santa Catarina, São Paulo e Rio Grande do Sul. Os ensaios foram constituídos de 13 genótipos, avaliados em blocos completos casualizados, com três repetições, nos anos 2003 e 2004, nas épocas das águas, seca e inverno. Para se obter as estimativas de adaptação específica foram analisados os parâmetros obtidos em cada método para as duas regiões geográficas separadamente, já para a adaptação ampla foi utilizada a média dos parâmetros obtidos em cada região. As linhagens com maior adaptação específica em cada região não foram coincidentes utilizando-se as metodologias de Annicchiarico e AMMI. Não foi possível identificar os mesmos genótipos com estabilidade específica ou ampla utilizando as metodologias de Annicchiarico e AMMI (Média ponderada dos escores absolutos). As metodologias de Annicchiarico e AMMI (MPEAP – Média ponderada dos escores absolutos e produtividade) apresentaram estimativas de adaptação específica e ampla semelhantes. Com base nos métodos Annicchiarico e AMMI (MPEAP) as linhagens com maior adaptação específica são CNFP 8000 e CNFP 7994, respectivamente, na Região Central e Centro-Sul, e com maior adaptação ampla foi identificada a CNFP 8000.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris*, indicação de cultivares, interação genótipos x ambientes, Annicchiarico, AMMI.

#### **ABSTRACT**

#### **STABILITY AND SPECIFIC AND BROAD ADAPTABILITY IN COMMON BLACK BEAN GENOTYPES EVALUATED IN TWO DIFFERENT REGIONS OF BRAZIL**

The aim of this study was to evaluate the phenotypic stability and specific and broad adaptability of common black bean genotypes in the Central and South-Central regions from Brazil using the methodologies of Annicchiarico and AMMI (model of additive main effects and multiplicative interaction). We carried out 69 trials of value of cultivation and use, with 43 trials in the Central Region in states of Goiás, Distrito Federal, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul and Tocantins, and 26 trials in South-Central Region in states of Paraná, Santa Catarina, São Paulo and Rio Grande do Sul. 13 genotypes were evaluated in a randomized block design with three replications between 2003 and 2004,

during raining, drought and winter seasons. To obtain estimates of specific adaptation were analyzed the parameters for each method obtained in the two geographic regions separately, since for broad adaptation was used the average of parameters obtained from each region. Lines with higher specific adaptation in each region were not coincident using the methodologies of Annicchiarico and AMMI. It was not possible identify the same genotypes with specific or broad stability using methodologies of Annicchiarico and AMMI (Weighted average of absolute scores). The methodologies of Annicchiarico and AMMI (MPEAP - Weighted average of absolute scores and yield) presented estimates of broad and specific adaptation very similar. Based on the methods Annicchiarico and AMMI (MPEAP) lines with more specific adaptation were CNFP 8000 and CNFP 7994, respectively, in the Central and Mid-South regions, and CNFP 8000 was more widely adapted.

Key words: *Phaseolus vulgaris*, cultivar recommendation, genotypes x environments interaction, Annicchiarico, AMMI.

### 3.1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o Brasil tem ocupado o primeiro lugar na produção e no consumo de feijão-comum, *Phaseolus vulgaris* L. (FAO, 2011). O feijão-comum com grãos pretos é o segundo tipo mais consumido, representando 17% do mercado consumidor brasileiro, o que corresponde a cerca de 490 mil toneladas/ano (Del Peloso & Melo, 2005). Nos Estados do Rio de Janeiro, Espírito Santo, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, sul do Paraná e sudeste de Minas Gerais, este é o tipo comercial preferido pela população. Entretanto, a produção desse tipo de grão também ocorre em estados onde o feijão preto não é o mais consumido visando atender a demanda nacional deste tipo de grão.

O feijoeiro-comum é cultivado em praticamente todos os estados do Brasil e, na maioria desses estados, em mais de uma época de semeadura por ano, nos mais variados sistemas de cultivo, estando exposto a diferentes condições ambientais. Nesta situação é normal que ocorra a interação genótipos x ambientes (GxA), ou seja, o comportamento diferencial dos genótipos frente às variações ambientais. As Regiões Central e Centro-Sul do Brasil são de grande importância no panorama nacional, pois respondem por, respectivamente, 15% e 69% da produção de feijão-comum, totalizando 84% da produção brasileira (Feijão, 2011).

A interação GxA representa uma dificuldade no trabalho dos melhoristas durante o processo de avaliação e seleção de genótipos com adaptação ampla, pois pode acarretar a alteração em suas classificações nos diferentes ambientes de avaliação. Devido a esta interação, os genótipos devem ser avaliados em grande número de ambientes, para

que o seu efeito possa ser mensurado e se tenha maior segurança na indicação de novas cultivares. Desta forma, a fase final de avaliação das linhagens em rede, na qual são conduzidos os ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU), em grande número de locais e em diferentes safras, que representam as diversas condições ambientais as quais uma cultivar pode ser submetida, possibilita um estudo detalhado da interação genótipos por ambientes.

Uma das formas de atenuar os efeitos indesejáveis da interação é a realização de análises de adaptabilidade e estabilidade, pelas quais torna-se possível identificar cultivares com comportamento previsível e que sejam responsivas às variações das condições ambientais, sejam em condições específicas ou amplas (Cruz & Regazzi, 2001). Estas análises possibilitam a recomendação de cultivares com maior adaptabilidade e estabilidade fenotípica.

A importância de se realizar essas análises em diferentes regiões está em se identificar linhagens com adaptabilidade e estabilidade específicas ou amplas e, de acordo com o resultado obtido, ter segurança na tomada de decisão. Linhagens com adaptabilidade e estabilidade específicas serão recomendadas para regiões particulares, enquanto aquelas com ampla adaptabilidade e estabilidade poderão ser recomendadas de forma generalizada para mais regiões. Desta forma, consegue-se capitalizar a interação GxA, utilizando-a positivamente na indicação de cultivares. No entanto, devido ao baixo índice de utilização de sementes de feijoeiro-comum pelos agricultores (aproximadamente 15%), e conseqüentemente pequeno mercado potencial de uma nova cultivar, atualmente, a indicação de uma cultivar de feijoeiro-comum é realizada com base na média de produtividade das diferentes regiões e épocas de plantio e raramente ocorre recomendação de uma cultivar para um ambiente específico.

Existe mais de uma dezena de metodologias utilizadas com frequência no melhoramento de plantas para se avaliar a estabilidade e adaptabilidade genotípica. Dentre elas a proposta por Annicchiarico (1992) vem sendo bastante utilizada, devido à facilidade de interpretação e por classificar entre os mais adaptados e estáveis os genótipos com maior média de produtividade (Borges et al., 2000; Pereira et al., 2009a, 2009b). Esta metodologia baseia-se na estimação de um índice de recomendação de determinado genótipo, no qual a estabilidade é medida pela superioridade do genótipo em relação à média de cada ambiente (Cruz & Carneiro, 2006).

Modelos alternativos de análises, que expliquem melhor o comportamento de genótipos frente às variações ambientais, têm sido buscados. Com isso, vem aumentando o



uso do modelo de efeitos principais aditivos e interação multiplicativa (AMMI), que combina a análise de variância, para os efeitos aditivos principais de genótipos e ambientes, com a análise de componentes principais para o efeito multiplicativo da interação genótipos x ambientes (Gauch & Zobel, 1996).

Silva & Duarte (2006) e Pereira et al., (2009b) realizaram estudos para comparar diferentes metodologias de análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica, e em ambos a metodologia de Annicchiarico apresentou baixa correlação com a metodologia AMMI, mostrando que esses métodos podem ser utilizados de forma complementar.

Estudos desta natureza com feijão preto são escassos, devido a isso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a estabilidade e adaptabilidade fenotípica específica e ampla de genótipos de feijão preto nas Regiões Central e Centro-Sul do Brasil, utilizando-se as metodologias de Annicchiarico (1992) e AMMI.

### 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados dados de ensaios de VCU de feijão preto, conduzidos nos anos de 2003 e 2004, nas safras das águas, seca e inverno, em 43 ambientes da Região Central (nos Estados DF, GO, MT, MS e TO) e 26 ambientes da Região Centro-Sul (nos Estados SP, PR, SC e RS), totalizando 69 ambientes. O delineamento utilizado foi o de blocos completos casualizados, com três repetições e parcelas de quatro linhas com 4,0 m de comprimento. Os dados de produtividade de grãos foram coletados nas duas linhas centrais. Cada ensaio foi constituído por 13 genótipos de feijoeiro-comum com grãos pretos: oito linhagens elite (TB 9409, TB 9713, CNFP 10138, CNFP 7966, CNFP 7972, CNFP 7994, CNFP 8000, CNFP 9328) e cinco cultivares (BRS Valente, FT Nobre, Diamante Negro, IPR Uirapuru, FT Soberano).

Os dados de produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) foram submetidos à análise individual de variância, considerando-se o efeito de genótipos como fixo e os demais como aleatórios. Em seguida, foram realizadas análises conjuntas, de estabilidade e adaptabilidade dos ensaios por região. Para os ensaios em que as variâncias residuais não foram homogêneas, procedeu-se o ajuste dos graus de liberdade do erro médio e da interação GxA, conforme o método de Cochran (1954). As médias fenotípicas, obtidas na análise conjunta, foram submetidas ao teste de médias de Scott & Knott a 10% de probabilidade. Para as estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade

associados à produtividade de grãos das linhagens, foram utilizadas as metodologias de Annicchiarico (1992) e AMMI (Gauch & Zobel, 1996).

Na metodologia proposta por Annicchiarico (1992), a estabilidade é medida pela superioridade do genótipo em relação à média de cada ambiente. O método baseia-se na estimação de um índice de recomendação de um determinado genótipo mostrar comportamento relativamente superior, no qual os dados são transformados previamente, em valores percentuais, tendo como referência a média dos genótipos em cada local. Isto é, se uma cultivar obteve índice igual a 103,0%, quer dizer que, com 75% de probabilidade, esta cultivar terá desempenho 3% superior à média ambiental.

O índice de recomendação genotípico é estimado por:  $W_{i(g)} = \mu_{i(g)} - Z_{(1-\alpha)} \delta_{zi(g)}$ , em que são considerados todos os ambientes e em que:  $\mu_{i(g)}$  é a média percentual do genótipo  $i$  em relação à média geral;  $z_{(1-\alpha)}$  é o percentil da função de distribuição normal padrão;  $\delta_{zi(g)}$  é o desvio-padrão dos valores  $z_{ij}$  associados ao genótipo  $i$ . O índice foi calculado, também, utilizando somente os ambientes favoráveis (com média acima da média geral) e somente os desfavoráveis (com média abaixo da média geral). O nível de significância adotado foi de 75%, isto é,  $\alpha = 0,25$ , valor frequentemente adotado (Cruz & Carneiro, 2006).

Nesta metodologia considera-se, simultaneamente, o desempenho do genótipo e sua estabilidade, de forma que os maiores valores dos índices de recomendação ( $W_i$ ) são obtidos para aqueles de maior média percentual ( $Z_i$ ) e menor desvio ( $\delta_{zi}$ ). Assim, de forma mais ampla, considera-se que ( $W_i$ ) expressa a estabilidade e, também, a adaptabilidade genotípica (Cruz & Carneiro, 2006).

A análise AMMI engloba componentes aditivos, para estudar os efeitos principais (genótipos e ambientes), e componentes multiplicativos para estudar a interação. Na análise de componentes principais, a variação contida nos componentes significativos é chamada de padrão, e a contida nos não significativos, de ruído. Para a utilização da metodologia AMMI, o modelo utilizado foi:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + a_j + \sum_{k=1}^n \lambda_k \gamma_{ik} \alpha_{jk} + \rho_{ij} + \bar{e}_{ij},$$

em que:  $Y_{ij}$  é a resposta média do genótipo  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, G$  genótipos) no ambiente  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, A$  ambientes);  $\mu$  é a média geral dos ensaios;  $g_i$  é o efeito fixo do genótipo  $i$ ;  $a_j$  é o efeito fixo do ambiente  $j$ ;  $\lambda_k$  é o valor singular (escalar)  $k$  da matriz de interações original (denotada por GA);  $\gamma_{ik}$  é o elemento correspondente ao  $i$ -ésimo genótipo no vetor singular

coluna  $k$  da matriz  $GA$ ;  $\alpha_{jk}$  é o elemento correspondente ao  $j$ -ésimo ambiente no  $k$ -ésimo vetor singular linha da matriz  $GA$ ;  $\rho_{ij}$  é o ruído associado ao termo  $(ga)_{ij}$  da interação clássica do genótipo  $i$  com o ambiente  $j$ ;  $\bar{e}_{ij}$  é o erro experimental médio. O teste  $F$  de Gollob foi utilizado para seleção do modelo (Duarte & Vencovsky, 1999).

O método produz escores de componentes principais de interação (IPCA) para cada genótipo, que refletem a sua contribuição para a interação  $G \times A$ . Para identificação dos genótipos mais estáveis foram obtidas as médias dos escores absolutos, de cada genótipo, para os componentes principais que foram significativos a 1% de probabilidade pelo teste de  $F$ , ponderadas pela explicação de cada componente, com as quais se obteve a média ponderada dos escores absolutos (MPEA). Assim, o genótipo com a menor MPEA é o mais estável (Pereira et al., 2009a). A interpretação da estabilidade foi realizada também por meio da análise gráfica, com a média dos genótipos e a MPEA. Genótipos mais próximos a zero no eixo das ordenadas são os mais estáveis, enquanto aqueles mais afastados são os que mais contribuem para a interação.

Visando criar um novo parâmetro na metodologia AMMI, que associa a estabilidade com a adaptabilidade fenotípica, foi proposta a utilização da média ponderada dos escores absolutos e produtividade (MPEAP). Esta média consiste na ponderação da média de produtividade dos genótipos, com peso igual a três, e da MPEA, com peso igual a dois, e permite a avaliação da adaptabilidade e estabilidade simultaneamente. Para a obtenção da MPEAP os dados de produtividade e da MPEA foram transformados para a mesma escala. O maior valor de produtividade foi considerado 100% e os demais valores foram obtidos em relação a este. No caso da MPEA todos os valores foram subtraídos de 100, para inverter a escala de notas, e posteriormente obteve-se a porcentagem relativa ao maior valor para cada genótipo.

Para se obter as estimativas de estabilidade e adaptabilidade específica foram analisados os parâmetros obtidos em cada método para as duas regiões geográficas separadamente. Para estimação da estabilidade e adaptabilidade ampla foi utilizada a média dos parâmetros obtidos em cada região, sendo considerados de adaptação ampla os genótipos com as maiores estimativas dessa média.

A estimação de parâmetros e os testes de significância foram realizados utilizando-se os aplicativos Genes (Cruz, 2007) e SAS, versão 9.1.

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A maioria dos ensaios apresentou efeitos significativos de genótipos, e os valores de coeficiente de variação (CV) foram todos inferiores a 25%, indicando boa precisão experimental (Tabelas 3.1 e 3.2). As produtividades médias dos ensaios conduzidos na Região Centro-Sul (Tabela 3.1) variaram de 871 kg ha<sup>-1</sup> (Prudentópolis - águas/2004) a 4.110 kg ha<sup>-1</sup> (Capão Bonito – águas/2003), mostrando que as condições ambientais a que os genótipos foram submetidos foram bastante diferentes. O mesmo pode ser observado na Região Central (Tabela 3.2), na qual as produtividades médias variaram de 1.153 kg ha<sup>-1</sup> (Sinop - seca/2004) a 3.422 kg ha<sup>-1</sup> (Planaltina - águas/2004).

Nas análises conjuntas para as duas regiões, todos os efeitos foram significativos, indicando a presença de variabilidade para a seleção de genótipos, variação entre os ambientes avaliados e ocorrência de resposta diferencial dos genótipos aos ambientes, o que determina a necessidade de análises de estabilidade e adaptabilidade (Tabela 3.3).

O método de Annicchiarico (1992) permitiu identificar para a Região Central do Brasil, os genótipos CNFP 8000, IPR Uirapuru e FT Nobre como superiores, ou seja, esses genótipos superaram a média dos ambientes em 5,3%, 4,6% e 3,1%, respectivamente. Considerando-se os ambientes desfavoráveis, os genótipos que superaram a média foram FT Nobre, CNFP 8000, IPR Uirapuru e CNFP 7966, com valores de, respectivamente, 6,0%, 5,9%, 3,7% e 1,2%. Já para os ambientes favoráveis, os melhores genótipos foram CNFP 8000, CNFP 7994 e CNFP 10138, com superioridade em relação à média de 4,4%, 3,0% e 0,9%, respectivamente (Tabela 3.4). Com base nesses resultados observa-se que o melhor genótipo, considerando as três situações na Região Central, foi CNFP 8000, que foi o primeiro colocado, tanto para a análise geral, quanto para a análise nos ambientes favoráveis, e o segundo colocado nos ambientes desfavoráveis. Os genótipos CNFP 7966 e CNFP 7994 apresentaram adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis e favoráveis, respectivamente. Todos os genótipos identificados nesta região como os mais estáveis e adaptados, foram classificados, pelo teste de médias, no grupo dos mais produtivos (Tabela 3.4).

Na Região Centro-Sul do Brasil foram identificados, com índice de recomendação ( $W_i$ ) acima de 100%, os genótipos CNFP 7994, CNFP 8000 e TB 9713, o que indica que esses genótipos superaram a média dos ambientes em, respectivamente,

5,8%, 2,0% e 1,2%, com 75% de confiança. Nos ambientes desfavoráveis, além dos genótipos identificados na análise geral, foi também identificado como superior o genótipo FT Nobre, produzindo 1,3% a mais do que a média. Considerando-se os ambientes favoráveis, os genótipos que se destacaram foram CNFP 7994, CNFP 10138, CNFP 8000 e IPR Uirapuru, com índices de recomendação de respectivamente, 1,8%; 1,7%, 1,4% e 1,3% (Tabela 3.4). Nesta região, merece destaque o genótipo CNFP 7994, que foi o primeiro colocado nas três análises (geral, desfavoráveis e favoráveis), resultado que indica que este genótipo é o mais adaptado à Região Centro-Sul do Brasil. Este mesmo genótipo foi o mais produtivo, juntamente com o CNFP 8000, pelo teste de médias (Tabela 3.4).

**Tabela 3.1.** Locais de avaliação dos ensaios da Região Centro-Sul e resumo das análises de variância individuais.

| Local                | Altitude<br>(m) | Época      | Quadrado médio |         | Produtividade<br>média (kg ha <sup>-1</sup> ) | CV <sub>e</sub><br>(%) |
|----------------------|-----------------|------------|----------------|---------|---|------------------------|
|                      |                 |            | Tratamentos    | Erro    |   |                        |
| 1. Ponta Grossa-PR   | 969             | Seca/2003  | 389.129        | 187.132 | 1.949   | 22,2                   |
| 2. Ponta Grossa-PR   | 969             | Águas/2003 | 439.048*       | 175.261 | 3.569   | 11,7                   |
| 3. Taquarituba-SP    | 618             | Águas/2004 | 751.390**      | 117.376 | 2.390   | 14,3                   |
| 4. Itaberá-SP        | 651             | Águas/2004 | 299.100*       | 112.587 | 2.920   | 11,5                   |
| 5. Paranapanema-SP   | 610             | Águas/2004 | 467.368**      | 96.048  | 2.611   | 11,9                   |
| 6. Abelardo Luz-SC   | 760             | Águas/2003 | 387.347        | 262.498 | 3.916   | 13,1                   |
| 7. Campos Novos-SC   | 934             | Águas/2003 | 64.346         | 37.031  | 1.056   | 18,2                   |
| 8. Abelardo Luz-SC   | 760             | Seca/2003  | 147.838*       | 62.043  | 2.191   | 11,4                   |
| 9. Major Vieira-SC   | 786             | Águas/2003 | 293.351**      | 68.292  | 1.831   | 14,3                   |
| 10. Concórdia-SC     | 569             | Águas/2003 | 354.428**      | 113.912 | 2.255   | 14,9                   |
| 11. Roncador-PR      | 762             | Seca/2003  | 183.289**      | 50.485  | 1.383   | 16,3                   |
| 12. Taquarituba-SP   | 618             | Águas/2003 | 369.722**      | 56.549  | 2.217   | 10,7                   |
| 13. Capão Bonito-SP  | 705             | Águas/2003 | 366.642        | 284.165 | 4.110   | 12,9                   |
| 14. Londrina-PR      | 585             | Águas/2003 | 640.498*       | 219.548 | 1.938   | 24,2                   |
| 15. Prudentópolis-PR | 840             | Seca/2004  | 220.195*       | 93.244  | 2.554   | 11,9                   |
| 16. Ponta Grossa-PR  | 969             | Seca/2004  | 511.985**      | 83.494  | 3.163   | 9,1                    |
| 17. Major Vieira-SC  | 786             | Seca/2004  | 178.248**      | 30.298  | 1.663   | 10,5                   |
| 18. Roncador-PR      | 762             | Águas/2004 | 101.612**      | 23.747  | 871   | 17,7                   |
| 19. Prudentópolis-PR | 840             | Águas/2004 | 470.860**      | 40.774  | 2.246   | 8,9                    |
| 20. Laranjeiras-PR   | 840             | Águas/2004 | 129.640*       | 43.358  | 2.538   | 8,2                    |
| 21. Campos Novos-SC  | 934             | Águas/2004 | 80.000*        | 33.801  | 1.367   | 13,5                   |
| 22. Abelardo Luz-SC  | 760             | Águas/2004 | 465.473*       | 158.017 | 3.958   | 10,0                   |
| 23. Ponta Grossa-PR  | 969             | Águas/2004 | 630.750*       | 213.519 | 3.320   | 13,9                   |
| 24. Passo Fundo-RS   | 687             | Águas/2003 | 250.151**      | 48.213  | 1.858   | 11,8                   |
| 25. Passo Fundo-RS   | 687             | Águas/2002 | 148.605*       | 52.866  | 3.065   | 7,5                    |
| 26. Abelardo Luz-SC  | 760             | Seca/2004  | 115.335        | 106.091 | 2.184   | 14,9                   |
| Média                | -               | -          | -              | -       | 2.428   | 13,3                   |

\* e \*\*: Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

**Tabela 3.2.** Locais de avaliação dos ensaios da Região Central e resumo das análises de variância individuais.

| Local              | Altitude<br>(m) | Épocas       | Quadrado médio |         | Produtividade<br>média (kg ha <sup>-1</sup> ) | CV <sub>e</sub><br>(%) |
|--------------------|-----------------|--------------|----------------|---------|---|------------------------|
|                    |                 |              | Tratamentos    | Erro    |   |                        |
| 1. Dueré-TO        | 235             | Inverno/2004 | 103.964        | 114.872 | 1.817   | 18,7                   |
| 2. S. A. Goiás-GO  | 770             | Seca/2003    | 169.991*       | 62.414  | 1.277   | 19,6                   |
| 3. Goiatuba-GO     | 807             | Inverno/2003 | 153.593        | 113.986 | 1.877   | 17,9                   |
| 4. S. A. Goiás-GO  | 770             | Inverno/2003 | 387.691*       | 142.640 | 2.019   | 18,7                   |
| 5. Rio Verde-GO    | 715             | Inverno/2003 | 246.537        | 167.317 | 2.400   | 17,0                   |
| 6. Urutaí-GO       | 807             | Inverno/2003 | 385.795        | 269.732 | 2.677   | 19,4                   |
| 7. Cristalina-GO   | 1.189           | Inverno/2003 | 1416.966**     | 252.109 | 2.525   | 19,9                   |
| 8. Rio Verde-GO    | 807             | Águas/2003   | 890.179**      | 82.075  | 2.288   | 12,5                   |
| 9. Ipameri-GO      | 764             | Águas/2003   | 330.685**      | 79.490  | 3.044   | 9,3                    |
| 10. Anápolis-GO    | 1.017           | Águas/2003   | 208.086        | 123.104 | 1.870   | 18,8                   |
| 11. Formosa-GO     | 916             | Águas/2003   | 518.038**      | 92.866  | 2.299   | 13,3                   |
| 12. Panamá-GO      | 733             | Seca/2004    | 148.973*       | 58.817  | 1.245   | 19,5                   |
| 13. Anápolis-GO    | 1.017           | Seca/2004    | 236.833*       | 94.942  | 1.560   | 19,8                   |
| 14. S. A. Goiás-GO | 770             | Seca/2004    | 433.116**      | 60.694  | 1.969   | 12,5                   |
| 15. Dueré-TO       | 235             | Inverno/2003 | 313.776**      | 74.503  | 1.755   | 15,6                   |
| 16. Planaltina-DF  | 944             | Inverno/2003 | 389.305*       | 146.094 | 2.482   | 15,4                   |
| 17. Sinop-MT       | 345             | Águas/2003   | 243.799**      | 61.795  | 1.321   | 18,8                   |
| 18. Anápolis-GO    | 1.017           | Inverno/2004 | 598.836        | 301.948 | 3.082   | 17,8                   |
| 19. S. A. Goiás-GO | 770             | Inverno/2004 | 103.861        | 71.688  | 2.487   | 10,8                   |
| 20. Rio Verde-GO   | 807             | Inverno/2004 | 218.253        | 115.424 | 2.995   | 11,3                   |
| 21. Itumbiara-GO   | 448             | Inverno/2004 | 256.492*       | 107.752 | 1.961   | 16,7                   |
| 22. Planaltina-DF  | 944             | Águas/2003   | 152.205        | 190.776 | 2.481   | 17,6                   |
| 23. Urutaí-GO      | 807             | Inverno/2004 | 77.882**       | 19.450  | 1.672   | 8,3                    |
| 24. Morrinhos-GO   | 771             | Inverno/2004 | 210.337**      | 60.844  | 1.944   | 12,7                   |
| 25. Sinop-MT       | 345             | Seca/2004    | 91.467*        | 35.689  | 1.153   | 16,4                   |
| 26. Cáceres-MT     | 118             | Inverno/2004 | 280.151        | 151.610 | 2.295   | 16,9                   |
| 27. Dianópolis-TO  | 693             | Inverno/2003 | 309.476        | 210.484 | 3.331   | 13,8                   |
| 28. Palmas-TO      | 230             | Inverno/2003 | 166.305*       | 57.386  | 2.177   | 11,0                   |
| 29. Cáceres-MT     | 118             | Inverno/2003 | 53.470         | 255.509 | 2.840   | 17,8                   |
| 30. Morrinhos-GO   | 771             | Águas/2004   | 244.289**      | 53.762  | 2.018   | 11,5                   |
| 31. Urutaí-GO      | 807             | Águas/2004   | 484.146**      | 81.348  | 2.040   | 13,9                   |
| 32. Cristalina-GO  | 1.189           | Inverno/2004 | 480.477**      | 86.650  | 2.951   | 9,9                    |
| 33. C. Alegre-GO   | 877             | Águas/2003   | 103.934        | 68.173  | 1.195   | 21,9                   |
| 34. S. A. Goiás-GO | 770             | Águas/2004   | 173.477**      | 19.065  | 1.519   | 9,1                    |
| 35. Anápolis-GO    | 1.017           | Águas/2004   | 256.431**      | 38.172  | 2.578   | 7,6                    |
| 36. Rio Verde-GO   | 807             | Águas/2004   | 684.442**      | 191.497 | 2.564   | 17,1                   |
| 37. Cristalina-GO  | 1.189           | Águas/2004   | 428.605**      | 96.722  | 1.644   | 18,9                   |
| 38. G. Dourados-MS | 400             | Seca/2003    | 140.838*       | 64.131  | 1.695   | 14,9                   |
| 39. Dourados-MS    | 430             | Seca/2003    | 197.857**      | 28.164  | 1.808   | 9,3                    |
| 40. Aquidauana-MS  | 147             | Seca/2003    | 374.454**      | 13.062  | 1.719   | 6,6                    |
| 41. Aquidauana-MS  | 147             | Seca/2004    | 181.766**      | 12.810  | 1.719   | 6,6                    |
| 42. Planaltina-DF  | 944             | Inverno/2004 | 370.446*       | 151.787 | 3.422   | 11,4                   |
| 43. Planaltina-DF  | 944             | Águas/2004   | 544.875**      | 130.046 | 3.379   | 10,7                   |
| Média              | -               | -            | -              | -       | 2.165   | 14,6                   |

\* e \*\*: Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

**Tabela 3.3.** Resumo da análise de variância conjunta com desdobramento da interação original GxA pelo modelo AMMI, para 13 genótipos de feijoeiro-comum com grãos pretos, e proporção de explicação dos componentes principais, avaliados nas Regiões Central e Centro-Sul do Brasil.

| Fonte de Variação | Central      |                    |             |                             | Centro-Sul   |                    |             |                             |
|-------------------|--------------|--------------------|-------------|-----------------------------|--------------|--------------------|-------------|-----------------------------|
|                   | % Explicação | GL                 | SQ          | QM                          | % Explicação | GL                 | SQ          | QM                          |
| Genótipo (G)      | -            | 12                 | 23.734.170  | 1.977.848**                 | -            | 12                 | 10.568.653  | 880.721*                    |
| Ambiente (A)      | -            | 42                 | 620.921.839 | 14.783.853**                | -            | 25                 | 749.435.646 | 29.977.426**                |
| G x A             | -            | 353 <sup>(1)</sup> | 141.402.904 | 400.575**                   | -            | 205 <sup>(1)</sup> | 90.913.404  | 443.480**                   |
| IPCA 1            | 0,24         | 53                 | 33.930.159  | 640.192**                   | 0,23         | 36                 | 21.066.863  | 585.191**                   |
| Resíduo 1         | -            | 300                | 107.472.745 | 358.242**                   | -            | 169                | 69.846.542  | 413.293**                   |
| IPCA 2            | 0,18         | 51                 | 25.874.470  | 507.343**                   | 0,18         | 34                 | 16.557.859  | 486.996**                   |
| Resíduo 2         | -            | 249                | 81.598.275  | 327.704**                   | -            | 135                | 53.288.683  | 394.731**                   |
| IPCA 3            | 0,15         | 49                 | 21.257.749  | 433.832**                   | 0,15         | 32                 | 13.701.942  | 428.186**                   |
| Resíduo 3         | -            | 200                | 60.340.526  | 301.703**                   | -            | 103                | 39.586.741  | 384.337**                   |
| IPCA 4            | 0,09         | 47                 | 12.514.278  | 266.261**                   | 0,10         | 30                 | 8.929.265   | 297.642**                   |
| Resíduo 4         | -            | 153                | 47.826.249  | 312.590**                   | -            | 73                 | 30.657.476  | 419.965**                   |
| IPCA 5            | 0,08         | 45                 | 10.713.039  | <b>238.068<sup>ns</sup></b> | 0,09         | 28                 | 7.854.755   | 280.527**                   |
| Resíduo 5         | -            | 108                | 37.113.210  | 343.641**                   | -            | 45                 | 22.802.721  | 506.727**                   |
| IPCA 6            | 0,07         | 43                 | 9.821.329   | 228.403 <sup>ns</sup>       | 0,08         | 26                 | 6.994.674   | <b>269.026<sup>ns</sup></b> |
| Resíduo 6         | -            | 65                 | 27.291.882  | 419.875**                   | -            | 19                 | 15.808.047  | 832.002**                   |
| Erro              | -            | 717 <sup>(1)</sup> | -           | 154.356                     | -            | 422 <sup>(1)</sup> | -           | 157.555                     |

<sup>(1)</sup>Valores ajustados pelo método de Cochran (1954), em razão da heterogeneidade de QM's residuais; \* e \*\*: Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste de F.

**Tabela 3.4.** Estimativas de parâmetros de adaptabilidade e estabilidade fenotípica de 13 genótipos de feijoeiro-comum com grãos pretos, avaliados nas Regiões Central e Centro-Sul do Brasil, nos anos de 2003 e 2004, pela metodologia de Annicchiarico (1992),  $W_i$  – índice de recomendação, com decomposição em ambientes favoráveis ( $W_{if}$ ) e desfavoráveis ( $W_{id}$ ).

| Genótipo     | Média <sup>1</sup> | Central |       |          |     |          |     | Centro-Sul |       |          |       |          |       |    |
|--------------|--------------------|---------|-------|----------|-----|----------|-----|------------|-------|----------|-------|----------|-------|----|
|              |                    | $W_i$   | $C^2$ | $W_{id}$ | $C$ | $W_{if}$ | $C$ | $W_i$      | $C$   | $W_{id}$ | $C$   | $W_{if}$ | $C$   |    |
| CNFP 8000    | 2352 <sup>a</sup>  | 105,2   | 1     | 105,9    | 2   | 104,3    | 1   | 2592a      | 102,0 | 2        | 102,9 | 3        | 101,3 | 4  |
| FT Nobre     | 2286 <sup>a</sup>  | 103,1   | 3     | 106,0    | 1   | 100,2    | 4   | 2441c      | 97,8  | 5        | 101,3 | 4        | 93,2  | 12 |
| IPR Uirapuru | 2278 <sup>a</sup>  | 104,6   | 2     | 103,7    | 3   | 99,3     | 6   | 2444c      | 96,0  | 6        | 94,0  | 6        | 100,7 | 2  |
| CNFP 7994    | 2261 <sup>a</sup>  | 100,1   | 4     | 97,6     | 7   | 103,0    | 2   | 2627a      | 105,8 | 1        | 109,0 | 1        | 101,8 | 1  |
| BRS Valente  | 2232 <sup>a</sup>  | 99,6    | 5     | 99,3     | 5   | 99,8     | 5   | 2354d      | 92,7  | 10       | 89,9  | 12       | 96,8  | 9  |
| CNFP 10138   | 2227 <sup>a</sup>  | 98,4    | 7     | 96,2     | 8   | 100,9    | 3   | 2425c      | 94,4  | 8        | 90,1  | 11       | 101,4 | 3  |
| CNFP 7966    | 2226 <sup>a</sup>  | 99,3    | 6     | 101,2    | 4   | 97,1     | 7   | 2389c      | 95,7  | 7        | 93,9  | 7        | 98,4  | 8  |
| CNFP 9328    | 2112b              | 94,2    | 8     | 98,3     | 6   | 89,6     | 12  | 2495b      | 99,3  | 4        | 99,0  | 5        | 99,6  | 6  |
| D. Negro     | 2109b              | 92,9    | 9     | 90,1     | 10  | 96,4     | 8   | 2324d      | 92,3  | 11       | 91,5  | 10       | 93,4  | 11 |
| TB 9713      | 2082b              | 91,9    | 10    | 90,7     | 9   | 93,3     | 9   | 2526b      | 101,2 | 3        | 105,3 | 2        | 96,2  | 7  |
| FT Soberano  | 2047b              | 91,3    | 11    | 90,0     | 11  | 92,8     | 10  | 2288d      | 91,1  | 12       | 93,7  | 8        | 87,9  | 13 |
| CNFP 7972    | 1983c              | 88,0    | 12    | 88,8     | 12  | 87,0     | 13  | 2319d      | 90,2  | 13       | 84,3  | 13       | 99,6  | 5  |
| TB 9409      | 1959c              | 84,8    | 13    | 80,4     | 13  | 90,3     | 11  | 2338d      | 93,4  | 9        | 92,9  | 9        | 94,4  | 10 |

<sup>(1)</sup>Médias (kg ha<sup>-1</sup>) seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste Scott-Knott, a 10% de probabilidade. <sup>(2)</sup>Classificação dos genótipos quanto à estabilidade e adaptabilidade.



Considerando-se as duas regiões simultaneamente, o melhor genótipo foi o CNFP 8000, que esteve presente em todas as análises, como superior a média dos ambientes ( $W_i$ ,  $W_{id}$  e  $W_{if} > 100$ ), e sua superioridade, considerando-se as duas regiões e os dois tipos de ambientes foi de 3,6%, em média, o que indica que este genótipo foi o de melhor estabilidade e adaptabilidade fenotípica, pela metodologia de Annicchiarico (1992). Este genótipo foi lançado comercialmente como cultivar, em 2009, com o nome de BRS Esplendor, para 13 estados brasileiros (Costa et al., 2011).

Como foi comentado, os genótipos mais estáveis e adaptados foram também os mais produtivos, fato que já era esperado, uma vez que o modelo utilizado na metodologia de Annicchiarico, para medir a superioridade dos genótipos, toma como referência a média de cada um dos ambientes, ou seja, é estimado o risco de adoção de uma determinada cultivar e, esta estimativa é obtida em relação à média (Silva Filho et al., 2008; Pereira et al., 2009a).

De acordo com o modelo AMMI, a interação GxA original pôde ser decomposta em doze componentes (posto da matriz GA) para as Regiões Central e Centro-Sul. Nesse tipo de análise o modelo adequado associa significância para os eixos e não-significância para o resíduo (Chaves, 2001). Porém, neste trabalho uma dificuldade foi encontrada, uma vez que se constatou não significância para o componente (eixo) e o resíduo continuou sendo significativo (Tabela 3.3). Por isso o modelo escolhido foi o último a apresentar significância para o componente.

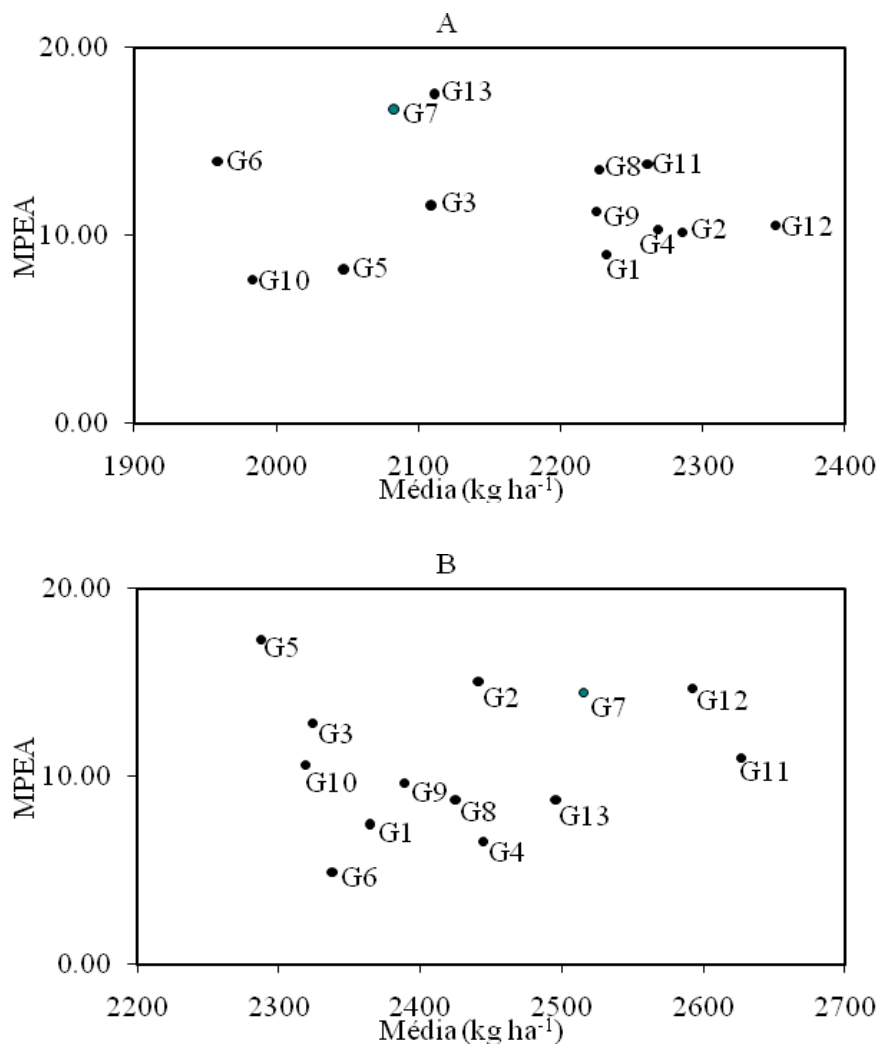
Oliveira et al. (2003) comentam que, com respeito ao nível de significância, a utilização de 1% em vez de 5%, reduz a possibilidade de ocorrer o erro tipo I (aceitar um modelo AMMI com maior número de eixos, quando na verdade o modelo correto é menos parametrizado), porém aumenta a possibilidade de ocorrer o erro tipo II (aceitar um modelo AMMI com menor número de eixos quando o modelo correto é, na verdade, o mais parametrizado). Segundo Gauch & Zobel (1996), os primeiros componentes AMMI captam maior porcentagem do desempenho real “padrão” e, com a subsequente acumulação de componentes, ocorre diminuição na porcentagem de “padrão” e aumento de informações imprecisas, “ruídos”, reduzindo o poder de predição da análise AMMI. Com isso, no presente trabalho o nível de significância adotado, para classificar como significativos os componentes principais, foi de 1%, sendo escolhidos para as Regiões Central e Centro-Sul, respectivamente, os modelos AMMI 4 e AMMI 5 que foram os últimos a apresentar os componentes significativos (Tabela 3.3).

Como a representação gráfica com mais de três componentes é de difícil visualização e interpretação (Borges et al., 2000), a identificação das linhagens mais estáveis com a metodologia AMMI foi realizada utilizando-se a informação dos componentes principais significativos, para a obtenção da média dos escores absolutos, para cada genótipo, ponderada pela porcentagem de explicação de cada componente (MPEA) (Tabelas 3.3 e 3.5). Quanto menor o valor da média ponderada, mais estável é o genótipo, devido à sua menor contribuição para a interação GxA (Pereira et al., 2009a).

Na Região Central constatou-se significância até o quarto componente principal (IPCA 4) (Tabela 3.3) e, devido a isto, a MPEA foi calculada com os escores para esses quatro componentes. Os genótipos mais estáveis nessa região foram CNFP 7972, FT Soberano e BRS Valente, com MPEA de, respectivamente, 7,6, 8,2 e 9,0 (Tabela 3.5). Já os genótipos com menor estabilidade foram CNFP 9328, TB 9713 e TB 9409, com valores de, respectivamente, 17,5, 16,7, e 14,0. Esses resultados também podem ser observados na Figura 3.1-A, na qual estão plotados os valores da MPEA e da média geral dos genótipos.

Na Região Centro-Sul, cinco componentes principais foram significativos (Tabela 3.3), sendo estes utilizados para calcular a MPEA. Os genótipos que menos contribuíram para a interação GxA foram TB 9409, IPR Uirapuru e BRS Valente, pois apresentaram os menores valores para MPEA de, respectivamente, 4,9, 6,5 e 7,5. Já os genótipos que mais contribuíram para a interação GxA foram FT Soberano, FT Nobre e CNFP 8000, que foram os menos estáveis, apresentando MPEA de, respectivamente, 17,3, 15,1 e 14,7 (Tabela 3.5 e Figura 3.1-B).

Pode-se observar, para as duas regiões, que os genótipos classificados entre os mais estáveis, com exceção do BRS Valente na Região Central, não foram os mais produtivos (Tabelas 3.5 e 3.6). Para a Região Centro-Sul, os genótipos TB 9409 e BRS Valente, que foram respectivamente, o primeiro e o terceiro em estabilidade foram os menos produtivos classificados pelo teste de médias (Tabela 3.6). O mesmo ocorreu para a Região Central, com os genótipos CNFP 7972 e FT Soberano, que foram os genótipos mais estáveis e não foram classificados entre os mais produtivos. Isso pode ser considerado um aspecto negativo desta metodologia, pois para se realizar a indicação de cultivares, o fator de maior relevância é a produtividade média, não podendo ser desconsiderada na decisão final de seleção das linhagens promissoras em um programa de desenvolvimento de cultivares.



**Figura 3.1.** Análises Gráficas AMMI para os 13 genótipos (G1- BRS Valente; G2-FT Nobre; G3- Diamante Negro; G4- IPR Uirapuru; G5- FT Soberano; G6- TB 9409; G7- TB 9713; G8- CNFP 10138; G9- CNFP 7966; G10- CNFP 7972; G11- CNFP 7994; G12- CNFP 8000; G13- CNFP 9328), realizadas com a média ponderada dos escores absolutos (MPEA), avaliados nas Regiões: A, Central; B, Centro-Sul.

**Tabela 3.5.** Valores dos componentes principais (IPCAS) significativos para cada genótipo nas Região Central do Brasil, utilizados para calcular a MPEA e para a representação gráfica, e classificação dos genótipos quanto à estabilidade pela metodologia AMMI.

| Genótipos    | Central            |        |        |        |        |                   |                |                    |    |
|--------------|--------------------|--------|--------|--------|--------|-------------------|----------------|--------------------|----|
|              | Média <sup>1</sup> | IPCA1  | IPCA2  | IPCA3  | IPCA4  | MPEA <sup>2</sup> | C <sup>3</sup> | MPEAP <sup>4</sup> | C  |
| CNFP 8000    | 2352 <sup>a</sup>  | -6,25  | 24,06  | -6,65  | -0,57  | 10,5              | 6              | 98,7               | 1  |
| FT Nobre     | 2286 <sup>a</sup>  | 11,88  | -12,47 | 8,52   | 3,67   | 10,2              | 4              | 97,2               | 2  |
| IPR Uirapuru | 2269 <sup>a</sup>  | -4,20  | -3,17  | 32,92  | 3,11   | 10,3              | 5              | 96,7               | 3  |
| CNFP 7994    | 2261 <sup>a</sup>  | -12,78 | 24,90  | -0,95  | 15,50  | 13,8              | 10             | 95,0               | 6  |
| BRS Valente  | 2232 <sup>a</sup>  | 1,62   | -9,14  | 8,67   | 28,97  | 9,0               | 3              | 96,4               | 4  |
| CNFP 10138   | 2227 <sup>a</sup>  | -12,83 | 16,20  | 5,86   | -22,86 | 13,5              | 9              | 94,3               | 7  |
| CNFP 7966    | 2226 <sup>a</sup>  | 20,03  | 12,96  | 1,59   | -0,65  | 11,3              | 7              | 95,2               | 5  |
| CNFP 9328    | 2112b              | 36,66  | -0,85  | -15,80 | -3,10  | 17,5              | 13             | 89,6               | 11 |
| D. Negro     | 2109b              | -0,36  | -18,48 | 17,45  | -18,00 | 11,6              | 8              | 92,1               | 8  |
| TB 9713      | 2083b              | -14,43 | -23,72 | -19,94 | -3,04  | 16,7              | 12             | 89,2               | 12 |
| FT Soberano  | 2047b              | -3,67  | -9,79  | -15,77 | 4,37   | 8,2               | 2              | 92,0               | 9  |
| CNFP 7972    | 1983c              | 11,45  | 5,14   | -4,65  | -7,39  | 7,6               | 1              | 90,6               | 10 |
| TB 9409      | 1959c              | -27,15 | -5,65  | -11,26 | -0,02  | 14,0              | 11             | 87,2               | 13 |

<sup>1</sup>Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 10% de probabilidade; <sup>2</sup>Média ponderada dos escores absolutos;

<sup>3</sup>Classificação dos genótipos quanto à estabilidade; <sup>4</sup>Média ponderada dos escores absolutos e produtividade.

**Tabela 3.6.** Valores dos componentes principais (IPCAS) significativos para cada genótipo na Região Centro-Sul do Brasil, utilizados para calcular a MPEA e para a representação gráfica, e classificação dos genótipos quanto à estabilidade pela metodologia AMMI.

| Genótipos    | Centro-Sul         |        |        |        |        |        |                   |                |                    |    |
|--------------|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------------|----------------|--------------------|----|
|              | Média <sup>1</sup> | IPCA1  | IPCA2  | IPCA3  | IPCA4  | IPCA5  | MPEA <sup>2</sup> | C <sup>3</sup> | MPEAP <sup>4</sup> | C  |
| CNFP 7994    | 2627a              | -9,38  | -11,82 | 18,66  | -0,04  | -12,41 | 11,0              | 8              | 97,5               | 1  |
| CNFP 8000    | 2592a              | -17,09 | -17,34 | 12,12  | -11,85 | -10,22 | 14,7              | 11             | 95,1               | 4  |
| TB 9713      | 2516b              | 16,27  | 7,09   | -21,60 | -14,55 | -12,68 | 14,5              | 10             | 93,4               | 6  |
| CNFP 9328    | 2496b              | 2,01   | 15,10  | -11,78 | -3,23  | -14,43 | 8,7               | 5              | 95,4               | 2  |
| IPR Uirapuru | 2444c              | 9,80   | 2,04   | 5,07   | 8,80   | 7,10   | 6,5               | 2              | 95,2               | 3  |
| FT Nobre     | 2441c              | -12,11 | 33,34  | 12,95  | -1,31  | 3,87   | 15,1              | 12             | 91,5               | 10 |
| CNFP 10138   | 2425c              | -19,07 | 1,14   | -8,66  | 4,77   | 1,67   | 8,7               | 4              | 93,8               | 5  |
| CNFP 7966    | 2389c              | -7,17  | -13,83 | -11,89 | 10,85  | 1,89   | 9,6               | 6              | 92,6               | 9  |
| BRS Valente  | 2364d              | 5,99   | 5,43   | 6,82   | 4,04   | 20,59  | 7,5               | 3              | 92,9               | 8  |
| TB 9409      | 2338d              | 0,77   | 3,27   | 8,81   | -13,41 | 3,05   | 4,9               | 1              | 94,3               | 7  |
| D. Negro     | 2324d              | 9,24   | -15,50 | -7,49  | -18,55 | 19,67  | 12,8              | 9              | 89,8               | 12 |
| CNFP 7972    | 2319d              | -12,05 | -3,44  | -16,37 | 19,32  | 1,67   | 10,6              | 7              | 90,6               | 11 |
| FT Soberano  | 2288d              | 32,80  | -5,48  | 13,36  | 15,16  | -9,77  | 17,3              | 13             | 87,0               | 13 |

<sup>1</sup>Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 10% de probabilidade; <sup>2</sup>Média ponderada dos escores absolutos;

<sup>3</sup>Classificação dos genótipos quanto à estabilidade; <sup>4</sup>Média ponderada dos escores absolutos e produtividade.

Outro fato que merece ser comentado é que a linhagem TB 9409, classificada entre as menos estáveis na Região Central, foi a mais estável na Região Centro-Sul, e a testemunha FT Soberano, classificada em segundo lugar para estabilidade na Região Central, foi a menos estável na Região Centro-Sul (Tabelas 3.5 e 3.6).

Para contornar o problema de os genótipos mais estáveis não estarem entre os mais produtivos, na metodologia AMMI, foi utilizada a MPEAP, que agrega as informações da produtividade média e da estabilidade. A MPEAP permitiu identificar para a Região Central os genótipos CNFP 8000, FT Nobre e IPR Uirapuru entre os mais adaptados e estáveis segundo o critério proposto. Enquanto os genótipos TB 9404, TB 9713 e CNFP 9328 foram os menos adaptados e estáveis (Tabela 3.5). Na Região Centro-Sul a MPEAP identificou como mais estáveis e adaptados os genótipos CNFP 7994, CNFP 9328 e IPR Uirapuru, e entre os menos estáveis e adaptados foram identificados FT Soberano, Diamante Negro e CNFP 7972 (Tabela 3.6). Os genótipos com maior adaptação ampla foram CNFP 8000, CNFP 7994 e IPR Uirapuru, que apresentaram os maiores valores para a estimativa da média da MPEAP nas duas regiões. Estes genótipos podem ser recomendados para as duas regiões sem ocasionar perdas para os produtores.

A integração de informações de produtividade de grão ao método AMMI permite a identificação de linhagens estáveis com melhor desempenho agrônômico. Utilizando essa metodologia (MPEAP) os melhores genótipos foram os mesmos identificados pela metodologia de Annicchiarico.

As estimativas da correlação de Spearman, para a classificação dos genótipos quanto à estabilidade, entre as duas regiões, para as metodologias Annicchiarico, AMMI (MPEA) e AMMI (MPEAP) foram iguais a 0,6, -0,25 e 0,56, respectivamente. Esses resultados mostram que as metodologias de Annicchiarico e AMMI (MPEAP) apresentam maior coincidência na classificação dos genótipos quanto à estabilidade nas duas regiões.

Foram obtidas também as estimativas da correlação de Spearman entre as metodologias AMMI e Annicchiarico para as duas regiões. Na Região Central para AMMI (MPEA) e Annicchiarico e AMMI (MPEAP) e Annicchiarico foram encontrados valores de, respectivamente, 0,13 e 0,92. Já na Região Centro-Sul esses valores foram de 0,35 e 0,80, respectivamente para AMMI (MPEA) e Annicchiarico e AMMI (MPEAP) e Annicchiarico. Pode-se observar que com a utilização da MPEAP obteve-se uma maior aproximação com os resultados de Annicchiarico, indicando que foi possível acrescentar informações da produtividade de grãos de forma positiva na metodologia AMMI.

Em feijoeiro-comum metodologias que encontram materiais com adaptação ampla são vantajosas, principalmente, devido ao mercado de produção de sementes, visto que a taxa de utilização de sementes pelos agricultores é baixa, próxima a 15%, o que dificulta a indicação específica para cada região de cultivo.

Como os parâmetros de estabilidade e adaptabilidade de cada metodologia são diferentes, em alguns casos, os genótipos identificados como os mais estáveis também foram diferentes. Devido a isto, na escolha dos métodos a serem empregados, devem-se considerar aspectos como facilidade de análise e interpretação dos resultados (Borges et al., 2000). Em estudo para comparar diferentes métodos de análise de estabilidade e adaptabilidade, Pereira et al. (2009b) e Borges et al. (2000) recomendam a utilização da metodologia de Annicchiarico, devido a simplicidade de utilização e por identificar os genótipos mais estáveis e adaptados entre os mais produtivos. Oliveira et al. (2003) comentam que para fins de recomendação de cultivares, os genótipos mais estáveis devem também apresentar desempenho desejável, o que é avaliado por suas médias. Levando-se esses critérios em consideração para se avaliar a estabilidade de rede de ensaios finais, que tem como finalidade a indicação de cultivares, as metodologias de Annicchiarico e AMMI (MPEAP) seriam as mais recomendadas, para programas de desenvolvimento de cultivares, por classificarem os genótipos mais estáveis e adaptados entre os mais produtivos, enquanto na análise AMMI (MPEA) isto não ocorreu.

### 3.4 CONCLUSÕES

- i) As linhagens com maior adaptação específica em cada região não foram coincidentes, tanto utilizando a metodologia de Annicchiarico quanto a AMMI.
- ii) Não foi possível identificar genótipos com padrão de estabilidade específica ou ampla similares utilizando as metodologias de Annicchiarico e AMMI com a média ponderada pelos escores absolutos (MPEA).
- iii) As metodologias de Annicchiarico e AMMI com a média ponderada pelos escores absolutos e produtividade (MPEAP) apresentaram estimativas de adaptação específica e ampla semelhantes.
- iv) Com base nos métodos Annicchiarico e AMMI (MPEAP) a linhagem com maior adaptação específica na Região Central é CNFP 8000, na Região Centro-Sul é a CNFP 7994 e com maior adaptação ampla foi identificada a CNPP 8000.

### 3.5 REFERÊNCIAS

ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfafa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics and Plant Breeding**, Rome, v. 46, p. 269-278, 1992.

BORGES, L. C.; FERREIRA, D. F.; ABREU, A. F. B.; RAMALHO, M. A. P. Emprego de metodologias de avaliação da estabilidade fenotípica na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ceres**, Viçosa, v. 47, n. 269, p. 89-102, 2000.

COCHRAN, W. G.; The combination of estimates from different experiments. **Biometrics**, Baltimore, v. 10, n. 1, p. 101-129, 1954.

COSTA, J. G. C.; MELO, L. C.; PEREIRA, H. S.; DEL PELOSO, M. J.; FARIA, L. C. de; DÍAZ, J. L. C.; WENDLAND, A. BRS Esplendor - Cultivar de feijoeiro com grãos pretos, arquitetura ereta e resistência a doenças. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. x, n. x, p. x, 2011. (Aceito para publicação).

CHAVES, L. J. Interação de genótipos com ambientes. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S.; VALADARES-INGLIS, M. C. **Recursos genéticos e melhoramento – plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001, p. 673-713.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. v. 1, 2. ed. Viçosa: UFV, 2001. 390 p.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. v. 2, 2. ed. rev. Viçosa: UFV, 2006. 585 p.

CRUZ, C. D. **Programa Genes**: aplicativo computacional em genética e estatística: versão 2007.0.0. Disponível em: <<http://www.ufv.br/dbg/genes/genes.htm>>. Acesso em: 20 maio 2009.

DEL PELOSO, M. J.; MELO, L. C. **Potencial de rendimento da cultura do feijoeiro-comum**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. 131 p.

DUARTE, J. B.; VENCOSKY, R. **Interação genótipos x ambientes**: uma introdução à análise “AMMI”. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1999. 60 p. (Série Monografias, 9).

FAO. **Faostat**. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567>. Acesso em fevereiro de 2011.

FEIJÃO: dados conjunturais da produção de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) no Brasil: 1985 a 2009. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/apps/socioeconomia/index.htm>>. Acesso em: Março. 2011.

GAUCH, H. G.; ZOBEL, R.W. AMMI analysis of yield trials. In: KANG, M. S.; GAUCH, H. G., ed. **Genotype by environment interaction**. Boca Raton: CRC Press, 1996. Cap. 4, p. 85-122.



OLIVEIRA, A. B.; DUARTE, J. B.; PINHEIRO, J. B. Emprego da análise AMMI na avaliação da estabilidade produtiva em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 3, p. 357-364, 2003.

PEREIRA, H. S; MELO, L. C; FARIA, L. C. de; DEL PELOSO, M. J.; COSTA, J. G. C.; RAVA, C. A.; WENDLAND, A. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijoeiro-comum com grãos tipo carioca na Região Central do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 1, p. 29-37, 2009a.

PEREIRA, H. S; MELO, L. C; DEL PELOSO, M. J.; FARIA, L. C. de; COSTA, J. G. C.; DÍAZ, J. L. C.; RAVA, C. A.; WENDLAND, A. Comparação de métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em feijoeiro-comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 4, p. 374-383, 2009b.

SILVA, W. C. J.; DUARTE, J. B. Métodos Estatísticos para estudo da adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 1, p. 23-30, 2006.

SILVA FILHO, J. L.; MORELLO, C. L.; FARIAS, F. J. C; LAMAS, M. B. P; RIBEIRO, J. L. Comparação de métodos para avaliar a adaptabilidade e estabilidade produtiva em algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 1, p. 394-355, 2008.

#### 4 DECOMPOSIÇÃO DA INTERAÇÃO DE GENÓTIPOS DE FEIJOEIRO-COMUM DO GRUPO PRETO COM AMBIENTES EM ANOS, LOCAIS E ÉPOCAS DE SEMEADURA

##### RESUMO

Os objetivos deste trabalho foram avaliar com qual dos fatores ambientais (locais, épocas ou anos) a interação com genótipos de feijoeiro-comum do grupo preto é mais expressiva e verificar a existência de genótipos com adaptação ampla e/ou específica às épocas de semeadura. Foram utilizados dados de produtividade de grãos de 13 genótipos avaliados em 30 ensaios de valor de cultivo e uso, nos anos de 2003 e 2004. As análises de variância foram realizadas por região, com a decomposição da interação genótipos x ambientes. Primeiramente, foram utilizados 18 ensaios da Região Central do Brasil e 12 da Região Centro-Sul, que permitiram isolamento parcial dos fatores e, posteriormente, foram utilizados oito ensaios de cada região, que permitiram o isolamento total dos fatores. Para a Região Central as interações mais importantes foram genótipos x épocas ( $R^2 = 4,2\%$ ) e genótipos x anos ( $R^2 = 4,1\%$ ), enquanto, genótipos x locais foi a menos importante ( $R^2 = 3,0\%$ ). Para a Região Centro-Sul as interações mais importantes foram genótipos x anos ( $R^2 = 2,5\%$ ) e genótipos x locais ( $R^2 = 1,9\%$ ), enquanto genótipos x épocas foi a menos importante ( $R^2 = 1,4\%$ ). Concluiu-se que para a Região Central é mais importante realizar as avaliações dos genótipos em diferentes épocas em vários anos, em detrimento de alguns locais. Enquanto para a Região Centro-Sul é mais importante avaliar os genótipos em diferentes locais e anos do que em diferentes épocas. Para a Região Central, a maioria dos genótipos apresentou adaptação específica, mas foi possível identificar linhagens superiores de adaptação ampla. Na Região Centro-Sul a maioria dos genótipos apresentou adaptação ampla, mas algumas linhagens mostraram forte adaptação específica.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris*, indicação de cultivares, interação genótipos x ambientes.

##### ABSTRACT

#### DECOMPOSITION OF INTERACTION FROM COMMON BLACK BEAN GROUP GENOTYPES WITH ENVIRONMENT IN YEARS, LOCAL AND SOWING SEASONS

The aim of this study was to assess which environmental factors (local, season or years) the common black bean genotypes interaction is more expressive and verify the existence of genotypes with broad and/or specific adaptation to sowing season. Data of grain yield of 13 genotypes from 30 trials (2003 and 2004) of value of cultivation and use were used. Analyses of variance were carried out by region, with the decomposition of genotypes x environments interaction. First, 18 trials of the Central Region and 12 trials of South-Central Region were used, which allowed a partial isolation of factors and,

subsequently, eight trials were used in each region, which allowed a complete isolation of the factors. For Central Region interactions genotype x season ( $R^2 = 4.2\%$ ) and genotype x year ( $R^2 = 4.1\%$ ) were the most important, while genotype x location was less important ( $R^2 = 3.0\%$ ). For the Central-South region, interactions genotype x year ( $R^2 = 2.5\%$ ) and genotypes x local ( $R^2 = 1.9\%$ ) were most important, while genotype x season was less important ( $R^2 = 1.4\%$ ). For the Central Region it was concluded that is more important to conduct evaluations of genotypes in different seasons and years rather than locals. Otherwise, for South-Central region is most important to assess the genotypes in different locations and years than at different season. For the Central Region, most genotypes had specific adaptation, but it was possible to identify superior lines widely adapted. In South-Central region showed the most genotypes widely adapted, but some lines showed strong specific adaptation.

Key words: *Phaseolus vulgaris*, cultivar recommendation, genotypes x environments interaction.

#### 4.1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o feijoeiro-comum é cultivado em três safras, durante todo o ano, e em praticamente em todos os estados, estando, portanto, sujeito a diferentes condições ambientais. Além disso, é utilizado por diversas categorias de agricultores, desde a agricultura de subsistência, com baixo ou nenhum uso de tecnologia, até o grande empresário agrícola, com utilização de alta tecnologia de produção (Melo et al., 2007). Nessas condições de grande variação ambiental, é esperada acentuada interação genótipos x ambientes (GxA), principalmente para o caráter produtividade de grãos. Isto foi comprovado em diversos trabalhos conduzidos com o feijoeiro-comum no Brasil (Ramalho et al., 1998; Oliveira et al., 2006; Melo et al., 2007; Bertoldo et al., 2009; Pereira et al., 2009; Gonçalves et al., 2010).

O Estado de Goiás e o Distrito Federal respondem por 10% da produção nacional de feijão-comum, o que correspondeu a 307.226 t, em 2009. Essa produção é concentrada nas épocas de semeadura das águas (outubro a dezembro), 49%, e de inverno (abril a julho), 41%. Por isso, a produtividade média nesses estados é a maior do país (2.440 kg ha<sup>-1</sup>), bastante superior à média nacional (1.160 kg ha<sup>-1</sup>) (Feijão, 2011). Já os Estados Paraná e Santa Catarina respondem por cerca de 35% da produção brasileira, com média de produtividade igual a 1.285 kg ha<sup>-1</sup> (Feijão, 2011), distribuída em duas épocas de semeadura, a das águas (50%) e a da seca (50%).

A diversidade de condições ambientais em que o feijoeiro-comum é cultivado faz com que os ensaios de avaliação de linhagens devam ser conduzidos em rede, em

vários ambientes, para que se tenha uma boa estimativa da interação de genótipos com ambientes (GxA), proporcionando maior segurança na indicação. Na fase final dos programas de melhoramento, as linhagens são testadas em anos, épocas e locais diferentes, por meio de ensaios com repetições. A determinação do número de ambientes em que tais ensaios são conduzidos deve adequar-se à amostra representativa das condições de cultivo de cada região (Melo et al., 2007). Devido a isto, na etapa de avaliação de linhagens para a indicação de novas cultivares, a importância desta interação é mais evidente e bastante pronunciada nas condições de cultivo do feijoeiro-comum.

A indicação de cultivares de feijoeiro-comum obedece às normas do Ministério da Agricultura/Registro Nacional de Cultivares (MAPA/RNC), que exigem a indicação de cultivares por estado e para cada época de semeadura. Em cada estado deve-se obter um número mínimo de ensaios (três/ano) durante dois anos para cada época de semeadura (Brasil, 2006). Essas normas dificultam bastante a indicação de novas cultivares, visto que o número de ensaios a ser conduzido para cada estado é grande, sendo obrigatório conduzir, no mínimo, seis ensaios por época de semeadura. Desta forma, a indicação de cultivares para todos os estados produtores é uma tarefa difícil e onerosa, e, como consequência, muitos estados não têm novas cultivares registradas. Entretanto essas normas estão sendo revistas e possivelmente a indicação de cultivares será realizada por região. Uma alternativa para tentar reduzir o número de ensaios a ser conduzido, para a indicação de uma nova cultivar, é verificar com qual dos fatores ambientais, locais, épocas ou anos, a interação com genótipos é mais expressiva, para orientar os futuros trabalhos de avaliação de cultivares de feijão-comum (Ramalho et al., 1998).

Alguns trabalhos foram conduzidos com feijoeiro-comum carioca com esta finalidade, em Minas Gerais (Ramalho et al., 1998), Goiás e Distrito Federal (Pereira et al., 2011) e no Paraná e Santa Catarina (Pereira et al., 2010). Em Minas Gerais e Goiás, as interações mais expressivas foram genótipos x épocas e genótipos x anos, enquanto no Paraná e Santa Catarina, genótipos x locais. A diferença nos resultados obtidos por estes autores evidencia a importância de novos estudos, uma vez que os genótipos, os locais, os anos e as épocas onde os ensaios são conduzidos interferem sobremaneira nos resultados obtidos e na tomada de decisão do melhorista.

Os objetivos deste trabalho foram avaliar com qual dos fatores ambientais (locais, épocas ou anos) a interação com genótipos de feijoeiro-comum do grupo preto é

mais expressiva, nas Regiões Central e Centro-Sul do Brasil e identificar linhagens com adaptação ampla e/ou específica às épocas de semeadura.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram conduzidos em duas regiões, a primeira envolvendo Goiás e no Distrito Federal (Central), e a outra, Paraná e Santa Catarina (Centro-Sul). A primeira envolveu ensaios nos municípios de Anápolis (16°19'S, 48°57'W, 1017 m), Cristalina (16°46'S, 47°36'W, 1189 m), Morrinhos (17°43'S, 49°05'W, 771 m), Planaltina (15°27'S, 47°36'W, 944 m), Rio Verde (17°47'S, 50°55'W, 715 m), Santo Antônio de Goiás (16°29'S, 49°18'W, 770 m) e Urutaí (17°27'S, 48°12'W, 807 m) durante os anos agrícolas de 2003 e 2004, em duas épocas de semeadura (águas e inverno). Totalizaram-se 18 ambientes, representados por Planaltina e Rio Verde, nas duas épocas de 2003, e Planaltina, Rio Verde, Anápolis, Cristalina, Morrinhos, Santo Antônio de Goiás e Urutaí nas duas épocas de 2004.

Na segunda região os ensaios foram conduzidos nos municípios de Abelardo Luz (26°33'S, 52°19'W, 760 m), Ponta Grossa (25°05'S, 50°09'W, 969 m), Prudentópolis (25°12'S, 50°58'W, 840 m) e Roncador (24°36'S, 52°16'W, 762 m), durante os anos agrícolas de 2003 e 2004, em duas épocas de semeadura (águas e seca). Totalizaram-se 12 ambientes, correspondentes a Abelardo Luz, Ponta Grossa e Roncador, nas duas épocas de 2003, e Abelardo Luz, Ponta Grossa e Prudentópolis, nas duas épocas de 2004. Esses ensaios foram selecionados de modo que os locais fossem constantes nas duas épocas de semeadura, em cada ano.

Os experimentos foram instalados, segundo a exigência estabelecida para os ensaios de VCU de feijão-comum, conforme a Portaria nº 294, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA): delineamento de blocos casualizados, com três repetições e parcelas de quatro fileiras de 4 m de comprimento. Os dados referentes à produtividade de grãos foram obtidos desconsiderando-se as duas linhas laterais. Em cada ensaio foram avaliados 13 genótipos do grupo comercial preto (BRS Valente, FT Nobre, Diamante Negro, IPR Uirapuru, FT Soberano, TB 9409, CNFP 10138, CNFP 7966, CNFP 7972, CNFP 7994, CNFP 8000 e CNFP 9328).

Os dados de produtividade foram submetidos a análises individuais de variância, considerando-se os efeitos de tratamentos e locais como fixos. Para realização

das análises foram utilizados os aplicativos Genes (Cruz, 2007) e Sisvar (Ferreira, 2008). Posteriormente, foram realizadas análises conjuntas para cada época de semeadura, visando-se obter as médias dos genótipos em cada época, e para as duas épocas de semeadura em conjunto. Isso teve como objetivo decompor a interação genótipos x ambientes em genótipos x épocas de semeadura e genótipos x locais/anos. Nas análises conjuntas foram considerados fixos os efeitos de tratamentos, locais, épocas e anos. A comparação das médias foi realizada pelo teste de Scott Knott a 10% de probabilidade.

O conjunto de ensaios utilizado para cada região permitiu isolar o efeito de épocas dos efeitos de locais e anos, na decomposição da interação genótipos x ambientes. Entretanto, alguns fatores ainda ficaram confundidos, como locais junto com anos. Esse confundimento ocorreu devido ao conjunto de locais ser diferente de um ano para o outro.

Para se conhecer a contribuição de cada fonte de variação para a variação total foi estimado o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), utilizando-se a seguinte expressão:

$R_i^2 = \frac{SQ_i}{SQ_t}$ , em que:  $SQ_i$  é a soma de quadrados da fonte de variação  $i$ ; e  $SQ_t$  é a soma de quadrados total.

Para verificar a importância da interação complexa, foram obtidas as estimativas da porcentagem complexa da interação, segundo Cruz & Castoldi (1991), entre todos os pares de ambientes, para cada região.

Posteriormente, foram utilizados dados de locais presentes nas duas épocas de semeadura e nos dois anos, para se conseguir isolar todos os fatores ambientais (locais, épocas e anos) e avaliar o efeito de cada um deles separadamente para a interação. Para realizar a análise sem o confundimento de fatores foram utilizados os locais Planaltina e Rio Verde, nos anos de 2003 e 2004, da Região Central, e os locais Abelardo Luz e Ponta Grossa, nos anos de 2003 e 2004, da Região Centro-Sul. Foram obtidas as estimativas de  $R^2$  para cada uma das fontes de variação, após a decomposição da soma de quadrados.

Para identificar genótipos com adaptação ampla ou específica às épocas de semeadura foram obtidas as classificações dos genótipos para cada época nos ensaios com e sem o confundimento de fatores.

A correlação de Spearman foi estimada entre as duas épocas de semeadura, com base na média geral dos genótipos em cada época, nas análises com e sem o confundimento de fatores, para confirmar a importância da interação complexa.

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.3.1 Região Central

As análises individuais dos 18 ensaios apresentaram boa precisão experimental, o que pode ser observado com os valores dos coeficientes de variação (CV), entre 8% e 19% (Tabela 4.1). Estes estão de acordo com as normas exigidas pelo Registro Nacional de Cultivares (RNC) do Ministério da Agricultura que aceitam CV's de até 25%. Observaram-se diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) para a maior parte dos ensaios (72%) indicando a existência de variabilidade entre os genótipos (Tabela 4.1).

**Tabela 4.1.** Resumo das análises de variância para a produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de 18 ensaios de feijoeiro-comum tipo preto, conduzidos em Goiás, em 2003 e 2004.

| Época <sup>1</sup> | Local         | Estado | QM <sub>G</sub> <sup>2</sup> | QM <sub>E</sub> <sup>3</sup> | P <sup>4</sup> | Média <sup>5</sup> | CV <sup>6</sup> |
|--------------------|---------------|--------|------------------------------|------------------------------|----------------|--------------------|-----------------|
| Águas/2003         | Planaltina    | DF     | 152.205                      | 190.776                      | 1              | 2.481              | 18              |
|                    | Rio Verde     | GO     | 890.179                      | 82.075                       | 0,000          | 2.288              | 13              |
| Inverno/2003       | Planaltina    | DF     | 389.305                      | 146.094                      | 0,020          | 2.482              | 15              |
|                    | Rio Verde     | GO     | 246.537                      | 167.317                      | 0,202          | 2.400              | 17              |
| Águas/2004         | Planaltina    | DF     | 544.875                      | 130.046                      | 0,001          | 3.379              | 11              |
|                    | Rio Verde     | GO     | 684.442                      | 191.497                      | 0,004          | 2.564              | 17              |
|                    | Anápolis      | GO     | 256.431                      | 38.172                       | 0,000          | 2.578              | 8               |
|                    | Cristalina    | GO     | 428.605                      | 96.722                       | 0,001          | 1.644              | 19              |
|                    | Morrinhos     | GO     | 244.289                      | 53.762                       | 0,001          | 2.018              | 11              |
|                    | Santo Antônio | GO     | 173.477                      | 19.065                       | 0,000          | 1.519              | 9               |
|                    | Urutaí        | GO     | 484.146                      | 81.348                       | 0,000          | 2.040              | 14              |
| Inverno/2004       | Planaltina    | DF     | 370.446                      | 151.787                      | 0,030          | 3.422              | 11              |
|                    | Rio Verde     | GO     | 218.253                      | 115.424                      | 0,089          | 2.995              | 11              |
|                    | Anápolis      | GO     | 598.836                      | 301.948                      | 0,074          | 3.082              | 18              |
|                    | Cristalina    | GO     | 480.477                      | 86.650                       | 0,000          | 2.951              | 10              |
|                    | Morrinhos     | GO     | 210.337                      | 60.844                       | 0,005          | 1.944              | 13              |
|                    | Santo Antônio | GO     | 103.861                      | 71.688                       | 0,212          | 2.487              | 11              |
|                    | Urutaí        | GO     | 77.882                       | 19.450                       | 0,002          | 1.672              | 8               |

<sup>1</sup>Época de semeadura/ano; <sup>2</sup>Quadrado médio de genótipos; <sup>3</sup>Quadrado médio do erro; <sup>4</sup>Probabilidade de não existência de diferenças significativas entre genótipos; <sup>5</sup>Média geral do ensaio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ); <sup>6</sup>Coeficiente de variação (%).

Na análise conjunta dos 18 ensaios, com decomposição da interação genótipos x ambientes, observaram-se diferenças significativas entre os genótipos (G), locais+anos (L+A) e épocas (E) (Tabela 4.2). A ocorrência de diferenças significativas entre todas as fontes de variação isoladas é um indício de que ocorre interação entre esses fatores. A fonte de variação que mais contribuiu para a variação total foi local+ano, apresentando valor de  $R^2$  igual a 43,9%, cerca de oito vezes maior do que a contribuição de épocas (Tabela 4.2). Essa maior contribuição de L+A pode ser explicada pelo número de locais+anos avaliado

(nove), bem superior ao número de épocas avaliadas (águas e inverno) e, ainda, devido ao efeito de anos estar confundido com o efeito de locais, não sendo possível, com este conjunto de ambientes, isolá-los.

**Tabela 4.2.** Resumo da análise conjunta de variância, com decomposição da interação genótipos x ambientes, para a produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) dos 18 ensaios de feijoeiro-comum tipo preto, conduzidos no Estado de Goiás, em 2003 e 2004.

| Fonte de Variação | GL   | QM         | P     | R <sup>2</sup> (%) |
|-------------------|------|------------|-------|--------------------|
| Genótipos (G)     | 12   | 1.202.573  | 0,000 | 4,1                |
| Local+Ano (L+A)   | 8    | 19.145.418 | 0,000 | 43,9               |
| Época (E)         | 1    | 18.528.414 | 0,000 | 5,3                |
| G x L+A           | 96   | 278.826    | 0,000 | 7,7                |
| G x E             | 12   | 777.983    | 0,000 | 2,7                |
| L+A x E           | 8    | 5.579.659  | 0,000 | 12,8               |
| G x L+A x E       | 96   | 292.928    | 0,000 | 8,1                |
| Resíduo           | 468  | 114.747    | -     | 15,4               |
| Total             | 701  | -          | -     | -                  |
| Média             | 2441 | -          | -     | -                  |
| CV (%)            | 14   | -          | -     | -                  |

GL: Graus de liberdade; QM: Quadrado médio; R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinação.

As interações genótipos x locais+anos (GxL+A) e genótipos x épocas (GxE) foram significativas, indicando que os genótipos se comportam de maneira distinta de acordo com os locais+anos e com as épocas em que foram avaliados. Maior importância foi observada para a interação GxL+A, em detrimento da interação GxE, que apresentaram R<sup>2</sup> de, respectivamente, 7,7% e 2,7% (Tabela 4.2). Resultado semelhante foi encontrado por Pereira et al. (2011), em feijão carioca, que encontraram a interação GxE responsável por 1,7% da variação total, e a interação GxL+A responsável por 7,2%, aproximadamente quatro vezes maior que GxE. Segundo os autores, isto indica que a avaliação de genótipos em vários locais+anos é mais importante do que a avaliação nas duas épocas de semeadura.

A época das águas, na análise com confundimento de fatores, apresentou produtividade média de  $2.279 \text{ kg ha}^{-1}$ , significativamente inferior à produtividade obtida no inverno ( $2.604 \text{ kg ha}^{-1}$ ) (Tabela 4.3), confirmando a diferença existente entre as épocas. Este resultado já era esperado para esta região uma vez que a safra de inverno é plantada sob irrigação o que contribui para o aumento na produtividade. Enquanto na safra das águas ocorrem chuvas em excesso e irregulares e uma maior incidência de doenças.



**Tabela 4.3.** Médias de produtividade (kg ha<sup>-1</sup>) para as épocas de semeadura das águas, do inverno e geral, para os 13 genótipos de feijoeiro-comum tipo preto, avaliados em 18 ensaios (com confundimento de fatores) e médias de produtividade (kg ha<sup>-1</sup>) dos mesmos genótipos avaliados em oito ensaios (sem confundimento de fatores), na Região Central do Brasil.

| Ensaio com confundimento de fatores |                    |                    |                |                   |    | Ensaio sem confundimento de fatores |                    |                    |    |                   |    |
|-------------------------------------|--------------------|--------------------|----------------|-------------------|----|-------------------------------------|--------------------|--------------------|----|-------------------|----|
| Genótipo                            | Geral <sup>1</sup> | Águas <sup>1</sup> | C <sup>2</sup> | Inv. <sup>1</sup> | C  | Genótipo                            | Geral <sup>1</sup> | Águas <sup>1</sup> | C  | Inv. <sup>1</sup> | C  |
| CNFP 8000                           | 2.615 <sup>a</sup> | 2.501a             | 2              | 2.730a            | 4  | IPR Uirapuru                        | 2.980a             | 3.060 <sup>a</sup> | 1  | 2.901a            | 5  |
| BRS Valente                         | 2.594 <sup>a</sup> | 2.387a             | 5              | 2.800a            | 1  | CNFP 7994                           | 2.964a             | 3.058 <sup>a</sup> | 2  | 2.871a            | 7  |
| FT Nobre                            | 2.584 <sup>a</sup> | 2.370a             | 7              | 2.798a            | 2  | CNFP 8000                           | 2.934a             | 2.986 <sup>a</sup> | 3  | 2.890a            | 6  |
| IPR Uirapuru                        | 2.573 <sup>a</sup> | 2.523a             | 1              | 2.623a            | 8  | BRS Valente                         | 2.922a             | 2.768b             | 7  | 3.075a            | 1  |
| CNFP 7994                           | 2.567 <sup>a</sup> | 2.466a             | 3              | 2.668a            | 5  | D. Negro                            | 2.838a             | 2.819b             | 4  | 2.856a            | 8  |
| CNFP 10138                          | 2.557a             | 2.381a             | 6              | 2.732a            | 3  | CNFP 10138                          | 2.832a             | 2.810b             | 5  | 2.855a            | 9  |
| CNFP 7966                           | 2.461b             | 2.456a             | 4              | 2.467b            | 11 | FT Nobre                            | 2.803a             | 2.670b             | 8  | 2.936a            | 2  |
| D. Negro                            | 2.436b             | 2.294b             | 8              | 2.578a            | 9  | CNFP 7966                           | 2.755a             | 2.809b             | 6  | 2.702b            | 11 |
| CNFP 9328                           | 2.277c             | 2.262b             | 9              | 2.291b            | 13 | TB 9409                             | 2.629b             | 2.353c             | 11 | 2.904a            | 4  |
| TB 9713                             | 2.276c             | 1.908c             | 13             | 2.643a            | 6  | FT Soberano                         | 2.627b             | 2.410c             | 10 | 2.843a            | 10 |
| TB 9409                             | 2.269c             | 1.901c             | 12             | 2.637a            | 7  | TB 9713                             | 2.586b             | 2.259c             | 13 | 2.914a            | 3  |
| CNFP 7972                           | 2.265c             | 2.182b             | 10             | 2.348b            | 12 | CNFP 7972                           | 2.526b             | 2.512c             | 9  | 2.540b            | 12 |
| FT Soberano                         | 2.265c             | 1.994c             | 11             | 2.536b            | 10 | CNFP 9328                           | 2.367c             | 2.296c             | 12 | 2.435b            | 13 |
| Média/Época                         | 2.441              | 2.279b             | -              | 2.604a            | -  | Média/Época                         | 2.751              | 2.678b             | -  | 2.825a            | -  |

<sup>1</sup>Médias seguidas da mesma letra não diferem segundo o teste de Scott-Knott,  $\alpha=0,10$ ; <sup>2</sup>Classificação do genótipo em cada época de semeadura quanto a produtividade.

A estimativa de correlação de Spearman para a produtividade de grãos, entre as duas épocas de semeadura, foi de 0,31. Isso indica a predominância da fração complexa da interação, levando a alteração na classificação dos genótipos. Os genótipos TB 9713 e TB 9409 ilustram bem esta alteração, uma vez que foram classificados entre os mais produtivos na safra do inverno e entre os menos produtivos na safra das águas (Tabela 4.3). Já os genótipos IPR Uirapuru e CNFP 7966 apresentaram adaptação específica à safra das águas, enquanto CNFP 8000 e BRS Valente foram de adaptação ampla às duas épocas de semeadura (Tabela 4.3).

Foram obtidas as estimativas da porcentagem complexa da interação entre os pares de ensaios e os resultados obtidos confirmam a maior ocorrência de interação complexa. Dos 153 pares de ensaios avaliados, 143 (93%) apresentaram predominância da fração complexa da interação (Tabela 4.4), que gera alteração na classificação dos genótipos, mostrando que os melhores e piores genótipos não foram os mesmos na maioria dos diferentes ensaios. A estimativa média da porcentagem complexa entre os pares de ambientes na mesma época foi de 77,2% (75,6% nas águas e 78,9% no inverno), menor do que a média entre pares de ambientes de épocas diferentes, igual a 83,2% (Tabela 4.4), mostrando que a interação que ocorre entre as diferentes épocas é maior do que a variação dentro da mesma época.

Para se conseguir isolar o efeito de cada um dos fatores na interação foram utilizados os ensaios conduzidos em Planaltina e Rio Verde, nas duas safras e nos dois anos, totalizando oito ensaios. Os resultados mostraram significância ( $p \leq 0,001$ ) para todas as fontes de variação isoladas (genótipos, locais, épocas e anos) (Tabela 4.5). A fonte de variação que mais contribuiu para a variação total foi anos, com  $R^2$  igual a 27,7%, cerca de três vezes superior às fontes de variação locais ( $R^2 = 8,7%$ ) e genótipos ( $R^2 = 8,1%$ ), enquanto épocas foi a que menos contribuiu, com valor de  $R^2$  de 1,3% (Tabela 4.5).

As interações genótipos x épocas e genótipos x anos foram significativas ( $p \leq 0,01$ ), com contribuições semelhantes para a variação total de, respectivamente, 4,2% e 4,1% (Tabela 4.5). Já a interação genótipos x locais foi a que menos contribuiu para a variação total ( $R^2 = 3,0%$ ), sendo significativa a 5% de probabilidade (Tabela 4.5). Observa-se com esses resultados que mesmo com a grande variação que ocorreu entre os anos (27,7%) e a pequena variação entre as épocas (1,3%), a magnitude das

**Tabela 4.4.** Estimativas da porcentagem complexa da interação genótipos x ambientes entre pares de ensaios de feijoeiro-comum com grãos pretos, conduzidos no estado de Goiás, em 2003 e 2004.

| Ensaio                       | 2  | 3  | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  |
|------------------------------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1.Planaltina - Águas 2003    | 93 | 93 | 100 | 100 | 86  | 80  | 61  | 100 | 99  | 100 | 67  | 88  | 90  | 100 | 88  | 80  | 87  |
| 2.Rio Verde - Águas 2003     | -  | 39 | 63  | 51  | 86  | 100 | 100 | 69  | 82  | 68  | 74  | 84  | 60  | 65  | 74  | 74  | 37  |
| 3.Planaltina - Inverno 2003  | -  | -  | 84  | 78  | 100 | 100 | 100 | 100 | 99  | 100 | 60  | 100 | 71  | 70  | 91  | 84  | 43  |
| 4.Rio Verde - Inverno 2003   | -  | -  | -   | 100 | 99  | 100 | 100 | 100 | 100 | 97  | 99  | 100 | 52  | 64  | 100 | 100 | 78  |
| 5.Planaltina - Águas 2004    | -  | -  | -   | -   | 43  | 76  | 69  | 68  | 81  | 63  | 91  | 80  | 86  | 82  | 85  | 66  | 72  |
| 6.Rio Verde - Águas 2004     | -  | -  | -   | -   | -   | 72  | 85  | 26  | 64  | 60  | 100 | 88  | 90  | 100 | 87  | 71  | 58  |
| 7.Ánapolis - Águas 2004      | -  | -  | -   | -   | -   | -   | 48  | 90  | 90  | 89  | 100 | 73  | 100 | 100 | 97  | 69  | 89  |
| 8.Cristalina - Águas 2004    | -  | -  | -   | -   | -   | -   | -   | 83  | 63  | 82  | 97  | 52  | 100 | 93  | 70  | 39  | 64  |
| 9.Morrinhos - Águas 2004     | -  | -  | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 88  | 30  | 100 | 96  | 82  | 87  | 92  | 88  | 84  |
| 10.S. Antônio - Águas 2004   | -  | -  | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 77  | 87  | 85  | 86  | 86  | 93  | 65  | 96  |
| 11.Urutá - Águas 2004        | -  | -  | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 100 | 86  | 96  | 82  | 82  | 75  | 54  |
| 12.Planaltina - Inverno 2004 | -  | -  | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 100 | 83  | 95  | 89  | 65  | 37  |
| 13.Rio Verde - Inverno 2004  | -  | -  | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 95  | 91  | 71  | 54  | 100 |
| 14.Ánapolis - Inverno 2004   | -  | -  | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 90  | 86  | 79  | 68  |
| 15.Cristalina - Inverno 2004 | -  | -  | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 76  | 70  | 43  |
| 16.Morrinhos - Inverno 2004  | -  | -  | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 55  | 98  |
| 17.S. Antônio - Inverno 2004 | -  | -  | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 98  |
| 18.Urutá - Inverno 2004      | -  | -  | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   |

interações GxA e GxE foi a mesma, indicando que mesmo com pequenas variações entre épocas ocorre forte interação com esse fator.

Os valores de correlações obtidos, para a análise sem confundimento dos fatores, confirmam os resultados obtidos para as estimativas das interações. Para épocas, anos e locais os valores das correlações foram de, respectivamente, 0,07, 0,34 e 0,45, mostrando que as épocas geraram maior alteração na classificação dos genótipos, com correlação próxima de zero, indicando novamente a predominância da fração complexa. Já para os locais obteve-se o maior valor de correlação, indicando que o comportamento dos genótipos foi mais similar nos diferentes locais do que nos diferentes anos e épocas, corroborando com os valores de  $R^2$  encontrados.

Pode-se observar que os genótipos TB 9713 e TB 9409 apresentaram adaptação específica à época das águas, enquanto CNFP 7966 apresentou adaptação específica ao inverno. Já os genótipos CNFP 8000 e IPR Uirapuru foram de adaptação mais ampla (Tabela 4.3).

Os resultados obtidos sem o confundimento dos fatores mostram que é mais importante avaliar os genótipos em diferentes épocas, por alguns anos, em detrimento de locais, visto que existe diferença entre as épocas de semeadura das águas e do inverno, e que a presença da interação complexa entre os genótipos e as épocas é marcante, causando alteração significativa na classificação dos genótipos nessa região. Dessa forma, pode-se inferir que é obrigatória a avaliação dos genótipos nas duas épocas de semeadura (águas e inverno) para indicação de cultivares para Goiás e Distrito Federal.

Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Ramalho et al. (1998), que trabalharam com feijão carioca em Minas Gerais, e encontraram os seguintes valores de interação: GxE (1,91%), GxA (1,92%) e GxL (1,6%), e com os de Pereira et al. (2011), que trabalharam com o feijão carioca em Goiás e no Distrito Federal, e encontraram a interação GxE (3,9%) com maior importância do que GxA (2,6%) e GxL (1,9%). Nesses estados as épocas de cultivo apresentam características bem distintas, o que contribuiu para a sua maior importância na interação com os genótipos. Pereira et al. (2010), no Paraná e Santa Catarina, obtiveram resultados diferentes, com maior importância para a interação GxL (5%), seguida da interação GxA (3%) e GxE (1,5%). Entretanto, os autores enfatizam que no Paraná e Santa Catarina, as épocas de semeadura das águas e da seca, apresentam diferenças bem menores, principalmente no que se refere à temperatura durante o período de cultivo e a disponibilidade de água, que são parecidas.

Paterniani, citado por Ramalho et al. (1998), salienta que em condições tropicais e subtropicais como as do Brasil, onde há grande estação de cultivo em praticamente todo o ano e ocorrem variações climáticas de temperatura e pluviosidade, os ensaios de avaliação de cultivares devem ser conduzidos em maior número de épocas de semeadura, em detrimento do número de locais. Esse comentário corrobora os resultados obtidos no presente estudo, de que é mais importante avaliar os genótipos nas diferentes épocas, em alguns anos, em detrimento de alguns locais. Isso irá levar a certa economia de recursos pelos programas de melhoramento nesta região, visto que a avaliação em diferentes locais é o procedimento mais oneroso na etapa final de avaliação de cultivares.

**Tabela 4.5.** Resumo da análise conjunta de variância, com decomposição da interação genótipos x ambientes, para a produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de oito ensaios de feijoeiro-comum tipo preto, conduzidos nos municípios de Planaltina (DF) e Rio Verde (GO), nos anos de 2003 e 2004.

| Fontes de Variação | GL  | QM         | P     | R <sup>2</sup> (%) |
|--------------------|-----|------------|-------|--------------------|
| Genótipos (G)      | 12  | 871.855    | 0,000 | 8,1                |
| Locais (L)         | 1   | 11.229.405 | 0,000 | 8,7                |
| Épocas (E)         | 1   | 1.680.067  | 0,001 | 1,3                |
| Anos (A)           | 1   | 35.777.424 | 0,000 | 27,7               |
| G x L              | 12  | 321.079    | 0,018 | 3,0                |
| G x E              | 12  | 454.769    | 0,001 | 4,2                |
| G x A              | 12  | 436.085    | 0,001 | 4,1                |
| L x E              | 1   | 1.212.633  | 0,005 | 0,9                |
| L x A              | 1   | 4.565.814  | 0,000 | 3,5                |
| E x A              | 1   | 633.872    | 0,043 | 0,5                |
| G x L x E          | 12  | 381.287    | 0,004 | 3,5                |
| G x L x A          | 12  | 315.241    | 0,020 | 2,9                |
| G x E x A          | 12  | 252.981    | 0,078 | 2,4                |
| L x E x A          | 1   | 374.054    | 0,119 | 0,3                |
| G x L x E x A      | 12  | 462.945    | 0,001 | 4,3                |
| Resíduo            | 208 | 152.315    | -     | 24,5               |
| Total              | 311 | -          | -     | -                  |
| Média              |     | 2.751      |       |                    |
| CV (%)             |     | 14         |       |                    |

GL: Graus de liberdade; QM: Quadrado Médio; R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinação.

#### 4.3.2 Região Centro-Sul

Nas análises individuais, os coeficientes de variação, com exceção do ensaio de Ponta Grossa, na seca/2003, ficaram abaixo de 20%, indicando boa precisão experimental (Tabela 4.6). As médias de produtividade dos ensaios variaram de  $871 \text{ kg ha}^{-1}$  a  $3.958 \text{ kg ha}^{-1}$ , evidenciando que as condições ambientais a que os genótipos foram submetidos foram variáveis. No geral, os ensaios conduzidos na época das águas

apresentaram média de produtividade maior (2.980 kg ha<sup>-1</sup>) do que aqueles conduzidos na seca (2.237 kg ha<sup>-1</sup>) (Tabela 4.6). A produtividade alcançada nas duas épocas de semeadura é muito semelhante, ocorrendo pequenas oscilações de um ano para outro (Feijão, 2011).

**Tabela 4.6.** Resumo das análises de variância para a produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) dos 12 ensaios de feijoeiro-comum tipo preto, conduzidos nos Estados do Paraná e Santa Catarina, em 2003 e 2004.

| Época <sup>1</sup> | Local         | Estado | QM <sub>G</sub> <sup>2</sup> | QM <sub>E</sub> <sup>3</sup> | P <sup>4</sup> | Média <sup>5</sup> | CV <sup>6</sup> |
|--------------------|---------------|--------|------------------------------|------------------------------|----------------|--------------------|-----------------|
| Seca/2003          | Abelardo Luz  | SC     | 147.838                      | 62.043                       | 0,034          | 2.191              | 11              |
|                    | Ponta Grossa  | PR     | 389.129                      | 187.132                      | 0,061          | 1.949              | 22              |
|                    | Roncador      | PR     | 183.289                      | 50.485                       | 0,040          | 1.383              | 16              |
| Águas/2003         | Abelardo Luz  | SC     | 387.347                      | 262.498                      | 0,201          | 3.916              | 13              |
|                    | Ponta Grossa  | PR     | 439.048                      | 175.261                      | 0,027          | 3.569              | 12              |
|                    | Roncador      | PR     | 101.612                      | 23.747                       | 0,001          | 871                | 18              |
| Seca/2004          | Abelardo Luz  | SC     | 115.335                      | 106.091                      | 0,414          | 2.184              | 15              |
|                    | Ponta Grossa  | PR     | 511.985                      | 83.494                       | 0,000          | 3.163              | 9               |
|                    | Prudentópolis | PR     | 220.195                      | 93.244                       | 0,035          | 2.554              | 12              |
| Águas/2004         | Abelardo Luz  | SC     | 465.473                      | 158.017                      | 0,012          | 3.958              | 10              |
|                    | Ponta Grossa  | PR     | 630.750                      | 213.519                      | 0,012          | 3.320              | 14              |
|                    | Prudentópolis | PR     | 470.860                      | 40.774                       | 0,000          | 2.246              | 9               |

<sup>1</sup>Época de semeadura/ano; <sup>2</sup>Quadrado médio de genótipos; <sup>3</sup>Quadrado médio do erro; <sup>4</sup>Probabilidade de não existência de diferenças significativas entre genótipos; <sup>5</sup>Média geral do ensaio (kg ha<sup>-1</sup>); <sup>6</sup>Coefficiente de variação (%).

Na análise conjunta com decomposição da interação genótipos x ambientes, constataram-se diferenças significativas entre genótipos (G), locais+anos (L+A) e épocas (E), indicando a presença de variabilidade para estas fontes de variação (Tabela 4.7). Significância também foi observada para todas as interações, indicando a existência de resposta diferencial dos genótipos, tanto para as épocas de semeadura, quanto para os locais+anos; ou seja, os genótipos respondem de forma diferente de acordo com a época e com o local+ano em que são plantados. É importante salientar que a interação pode ser de natureza simples, sem causar alteração na classificação dos genótipos nos diferentes ambientes, ou complexa, causando alteração nesta classificação (Cruz & Regazzi, 2001). Desta forma, se houver interação significativa e maior importância da fração simples, a classificação dos genótipos não será alterada significativamente e com isso, a indicação pode ser generalizada.

Das interações com os genótipos, L+A foi a mais importante, apresentando coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) igual a 3,7%, cerca de cinco vezes maior do que o de GxE (Tabela 4.7). Vale salientar que, como a análise tem confundimento de fatores, não é possível isolar os efeitos de locais e anos, para avaliar a importância de cada um deles para

a interação. Mesmo com esse confundimento, observa-se maior importância de locais e anos para a interação, em detrimento de épocas, ou seja, é mais importante avaliar os genótipos em diferentes locais e anos do que em diferentes épocas.

**Tabela 4.7.** Resumo da análise conjunta de variância, com decomposição da interação genótipos x ambientes, para a produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) dos 12 ensaios de feijoeiro-comum tipo preto, conduzidos nos estados do Paraná e Santa Catarina, em 2003 e 2004.

| Fonte de Variação | GL   | QM         | P     | R <sup>2</sup> (%) |
|-------------------|------|------------|-------|--------------------|
| Genótipos (G)     | 12   | 592.574    | 0,000 | 1,4                |
| Local+Ano (L+A)   | 5    | 47.951.561 | 0,000 | 47,3               |
| Época (E)         | 1    | 64.545.161 | 0,000 | 12,7               |
| G x L+A           | 60   | 309.932    | 0,000 | 3,7                |
| G x E             | 12   | 324.614    | 0,004 | 0,8                |
| L+A x E           | 5    | 22.691.813 | 0,000 | 22,4               |
| G x L+A x E       | 60   | 319.202    | 0,000 | 3,8                |
| Resíduo           | 312  | 129.438    | -     | 8,0                |
| Total             | 467  | -          | -     | -                  |
| Média             | 2609 | -          | -     | -                  |
| CV (%)            | 14   | -          | -     | -                  |

GL: Graus de liberdade; QM: Quadrado médio; R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinação.

A estimativa da correlação de Spearman para as médias de produtividade dos genótipos entre as duas épocas foi igual a 0,03, enfatizando a alteração na classificação dos genótipos e predominância da fração complexa da interação (Tabela 4.8). Isso indica que, mesmo com a menor importância de épocas para a interação (Tabela 4.7), a indicação de cultivares não pode ser baseada em somente uma das épocas, sendo necessário avaliar os genótipos nas duas épocas de semeadura para realizar a indicação.

Pode-se observar a ocorrência de genótipos com adaptação específica à época das águas, BRS Valente e IPR Uirapuru, e com adaptação específica à seca, TB 9713. Já os genótipos CNFP 8000 e CNFP 7994 foram de adaptação ampla (Tabela 4.8). Mostrando que existem genótipos que podem ser recomendados para as duas épocas de semeadura sem que ocorram perdas na produtividade, permitindo uma recomendação generalizada.

Pereira et al. (2010), trabalhando com genótipos de feijão carioca, nesta mesma região, encontraram valores de correlações significativos, entre as épocas, para a produtividade e para a adaptabilidade e estabilidade de, respectivamente, 0,69 e 0,76, indicando a predominância da fração simples da interação. O contraste entre os resultados destes trabalhos indica que os genótipos são de grande importância nestas avaliações, uma vez que os anos de avaliação foram os mesmos nos dois trabalhos, havendo variação em somente um dos locais. Enquanto no presente trabalho foram avaliadas 13 linhagens de

feijão preto, Pereira et al. (2010) avaliaram 16 linhagens de feijão carioca. Os resultados indicam que grupos de genótipos diferentes apresentam sensibilidades diferentes à variação entre as épocas de semeadura e evidenciam a importância da continuidade da realização desse tipo de estudo nos programas de melhoramento, testando o comportamento das novas linhagens com relação a interação GxA.

Foi estimada a porcentagem complexa entre todos os pares de ambientes avaliados (Tabela 4.9), e os resultados obtidos mostraram predominância da fração complexa. A estimativa média da porcentagem complexa entre os pares de ambientes de mesma época foi de 85,1% (84,5% nas águas e 85,7 na seca), igual à média entre pares de ambientes de épocas diferentes, igual a 85,1% (Tabela 4.9). Isto mostra que a variação entre as diferentes épocas tem a mesma magnitude da variação dentro da mesma época.

Para se isolar o efeito de todos os fatores foi realizada uma análise conjunta dos oito ambientes em comum nas safras e anos. Diferenças significativas foram observadas para as fontes de variação genótipos, épocas e anos, enquanto para locais não foram detectadas diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) (Tabela 4.10).

As interações genótipos x anos (GxA) e genótipos x locais (GxL) apresentaram diferenças significativas a 1% e os valores de  $R^2$  de, respectivamente, 2,5% e 1,9%. A interação genótipos x épocas (GxE) foi significativa, a 5% de probabilidade, e apresentou valor de  $R^2$  igual a 1,4%, confirmando a menor importância das épocas na interação com os genótipos (Tabela 4.10). É importante comentar que, mesmo com a grande variação que ocorreu entre as épocas ( $R^2=54\%$ ) e média de produtividade na época das águas 36% maior do que a da seca, a interação deste fator com os genótipos foi pequena. Este fato pode também ser explicado quando se observam os valores de correlação média entre os genótipos, que foram para anos, locais e épocas, de respectivamente, 0,23, 0,35 e 0,42. O maior valor de correlação obtido foi para épocas, indicando que a alteração da classificação dos genótipos entre as épocas foi menor do que entre os anos e locais. Isso indica ainda que os melhores e piores genótipos se mantiveram constantes entre as diferentes épocas. Já para anos, a pequena variação que ocorreu alterou a classificação dos genótipos e, por isso, o valor de correlação foi o menor encontrado. Com isso, das interações com os genótipos, a interação GxA foi a que mais contribuiu para a variação total ( $R^2 = 2,5\%$ ).



**Tabela 4.8.** Médias de produtividade (kg ha<sup>-1</sup>) para as épocas de semeadura das águas, da seca e geral, para os 13 genótipos de feijoeiro-comum tipo preto, avaliados em 12 ensaios (com confundimento de fatores) e médias de produtividade (kg ha<sup>-1</sup>) dos mesmos genótipos avaliados em oito ensaios (sem confundimento de fatores), na Região Centro-Sul do Brasil.

| Ensaio com confundimento de fatores |        |        |    |        |    | Ensaio sem confundimento de fatores |        |        |    |        |    |
|-------------------------------------|--------|--------|----|--------|----|-------------------------------------|--------|--------|----|--------|----|
| Genótipo                            | Geral  | Águas  | C  | Seca   | C  | Genótipo                            | Geral  | Águas  | C  | Seca   | C  |
| CNFP 7994                           | 2.887a | 3.376a | 1  | 2.397a | 3  | CNFP 8000                           | 3.348a | 4.053a | 2  | 2.644a | 2  |
| CNFP 8000                           | 2.845a | 3.231a | 2  | 2.458a | 1  | CNFP 7994                           | 3.323a | 4.139a | 1  | 2.507b | 3  |
| IPR Uirapuru                        | 2.660b | 3.144a | 3  | 2.176b | 8  | IPR Uirapuru                        | 3.132b | 3.880a | 3  | 2.385c | 6  |
| CNFP 7966                           | 2.649b | 2.932b | 7  | 2.366a | 4  | TB 9713                             | 3.099b | 3.462b | 12 | 2.736a | 1  |
| FT Soberano                         | 2.629b | 2.930b | 8  | 2.328a | 5  | CNFP 7966                           | 3.092b | 3.722b | 5  | 2.463b | 4  |
| TB 9713                             | 2.599b | 2.779b | 13 | 2.419a | 2  | CNFP 9328                           | 3.045c | 3.725b | 4  | 2.365c | 7  |
| CNFP 9328                           | 2.543b | 2.933b | 6  | 2.153b | 10 | CNFP 10138                          | 2.989c | 3.704b | 6  | 2.273c | 9  |
| CNFP 10138                          | 2.541b | 2.906b | 10 | 2.176b | 9  | FT Soberano                         | 2.979c | 3.509b | 11 | 2.448b | 5  |
| CNFP 7972                           | 2.537b | 2.861b | 11 | 2.213b | 7  | BRS Valente                         | 2.948c | 3.620b | 8  | 2.276c | 8  |
| BRS Valente                         | 2.531b | 2.995b | 4  | 2.068b | 12 | CNFP 7972                           | 2.938c | 3.653b | 7  | 2.223c | 11 |
| Diamante Negro                      | 2.521b | 2.794b | 12 | 2.248b | 6  | Diamante Negro                      | 2.920c | 3.583b | 9  | 2.258c | 10 |
| TB 9409                             | 2.515b | 2.939b | 5  | 2.090b | 11 | TB 9409                             | 2.881c | 3.551b | 10 | 2.211c | 12 |
| FT Nobre                            | 2.457b | 2.919b | 9  | 1.995b | 13 | FT Nobre                            | 2.712c | 3.379b | 13 | 2.045c | 13 |
| Média/Época                         | 2.608  | 2.980a | -  | 2.237b | -  | Média/Época                         | 3.031  | 3.691a | -  | 2.372b | -  |

<sup>1</sup>Médias seguidas da mesma letra não diferem segundo o teste de Scott-Knott,  $\alpha=0,10$ ; <sup>2</sup>Classificação do genótipo em cada época de semeadura quanto a estabilidade.

**Tabela 4.9.** Estimativas da porcentagem complexa da interação genótipos x ambientes entre os pares de ensaios de feijoeiro-comum tipo preto, conduzidos no Estado do Paraná e Santa Catarina, em 2003 e 2004.

| Ensaio                         | 2  | 3   | 4  | 5  | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  |
|--------------------------------|----|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 – Abelardo Luz - Águas/2003  | 75 | 93  | 75 | 80 | 100 | 100 | 100 | 98  | 96  | 86  | 95  |
| 2 – Ponta Grossa - Águas/2003  | -  | 100 | 83 | 88 | 56  | 100 | 68  | 100 | 81  | 69  | 75  |
| 3 – Roncador - Águas/2003      | -  | -   | 92 | 65 | 95  | 37  | 78  | 48  | 95  | 90  | 100 |
| 4 – Abelardo Luz - Seca/2003   | -  | -   | -  | 73 | 94  | 74  | 93  | 90  | 100 | 77  | 100 |
| 5 – Ponta Grossa - Seca/2003   | -  | -   | -  | -  | 76  | 98  | 100 | 100 | 72  | 82  | 98  |
| 6 – Roncador - Seca/2003       | -  | -   | -  | -  | -   | 79  | 49  | 92  | 92  | 67  | 88  |
| 7 – Abelardo Luz - Águas/2004  | -  | -   | -  | -  | -   | -   | 97  | 86  | 84  | 86  | 100 |
| 8 – Ponta Grossa - Águas/2004  | -  | -   | -  | -  | -   | -   | -   | 87  | 40  | 90  | 96  |
| 9 – Prudentópolis - Águas/2004 | -  | -   | -  | -  | -   | -   | -   | -   | 73  | 100 | 100 |
| 10 – Abelardo Luz - Seca/2004  | -  | -   | -  | -  | -   | -   | -   | -   | -   | 71  | 100 |
| 11 – Ponta Grossa - Seca/2004  | -  | -   | -  | -  | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 96  |
| 12 – Prudentópolis - Seca/2004 | -  | -   | -  | -  | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   |

**Tabela 4.10.** Resumo da análise conjunta de variância, com decomposição da interação genótipos x ambientes, para a produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de oito ensaios de feijoeiro-comum tipo preto, conduzidos nos municípios de Ponta Grossa (PR) e Abelardo Luz (SC), nos anos de 2003 e 2004.

| Fontes de Variação | GL  | QM          | P     | R <sup>2</sup> (%) |
|--------------------|-----|-------------|-------|--------------------|
| Genótipos (G)      | 12  | 721.873     | 0,000 | 3,4                |
| Locais (L)         | 1   | 298.037     | 0,177 | 0,1                |
| Épocas (E)         | 1   | 135.686.849 | 0,000 | 54,0               |
| Anos (A)           | 1   | 4.878.250   | 0,000 | 1,9                |
| G x L              | 12  | 405.650     | 0,004 | 1,9                |
| G x E              | 12  | 293.833     | 0,048 | 1,4                |
| G x A              | 12  | 524.224     | 0,000 | 2,5                |
| L x E              | 1   | 14.456.190  | 0,000 | 5,8                |
| L x A              | 1   | 4.221.736   | 0,000 | 1,7                |
| E x A              | 1   | 9.758.724   | 0,000 | 3,9                |
| G x L x E          | 12  | 427.602     | 0,003 | 2,0                |
| G x L x A          | 12  | 127.100     | 0,668 | 0,6                |
| G x E x A          | 12  | 299.667     | 0,043 | 1,4                |
| L x E x A          | 1   | 11.149.110  | 0,000 | 4,4                |
| G x L x E x A      | 12  | 286.955     | 0,055 | 1,4                |
| Resíduo            | 208 | 162.354     |       | 13,4               |
| Total              | 311 | -           | -     | -                  |
| Média              |     |             | 3.031 |                    |
| CV (%)             |     |             | 13    |                    |

GL: Graus de liberdade; QM: Quadrado Médio; R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinação.

Os resultados obtidos com os dados sem confundimento de fatores confirmam os anteriores, da análise com confundimento de fatores, de que é mais importante avaliar em diferentes anos e locais do que em diferentes épocas. Em todas as análises realizadas, com exceção da safra da seca, os genótipos CNFP 7994 e CNFP 8000 foram classificados entre os mais produtivos e estáveis, o que reforça a menor importância das épocas de semeadura para a interação genótipos x ambientes (Tabela 4.8).

Os resultados confirmam também os obtidos por Pereira et al. (2010), em feijão carioca, de que a interação GxE (1,5%) é menos importante do que GxA (3,0%) e GxL (5,0%). Entretanto, no presente trabalho a interação existente provocou alteração na classificação dos genótipos, enquanto no trabalho de Pereira et al. (2010) não houve alteração na classificação. Esses autores comentam que no Paraná e em Santa Catarina, é esperada menor variação no comportamento dos genótipos entre as épocas, já que nesses estados existem duas épocas de semeadura, ambas sem irrigação e com menor variação climática, bastante parecidas, quando comparadas a outros estados onde a variação entre as épocas é maior.

Ramalho et al. (1998) avaliaram genótipos de feijão carioca, no Estado de Minas Gerais, nas safras da seca e inverno, que são bastante divergentes quanto às condições climáticas, e encontraram maior importância para a interação GxE. Os autores concluíram que é mais importante avaliar os genótipos em diferentes épocas (1,91%) e anos (1,92%) do que em diferentes locais (1,60%), indicando que Minas Gerais é um Estado com épocas de semeadura bastante distintas, diferentemente do que se observou neste estudo, para Paraná e Santa Catarina.

Diante do exposto, fica evidente a importância dos estudos de decomposição da interação genótipos com ambientes, visto que os resultados dependem dos genótipos avaliados, das épocas de semeadura, dos locais e dos anos, sendo portanto, fundamental o monitoramento permanente das redes de avaliação de genótipos para orientar os programas de melhoramento.

#### 4.4 CONCLUSÕES

- i) Na Região Central do Brasil é mais importante realizar as avaliações dos genótipos em diferentes épocas em vários anos em detrimento de alguns locais.
- ii) Na Região Centro Sul do Brasil é mais importante avaliar os genótipos em diferentes locais e anos do que em diferentes épocas.
- iii) Na Região Central, a maioria dos genótipos apresenta adaptação específica a uma época, mas foi possível identificar linhagens superiores de adaptação ampla.
- iv) Na Região Centro-Sul a maioria dos genótipos apresenta adaptação ampla, mas algumas linhagens mostraram forte adaptação específica a uma determinada época de semeadura.

v) Em programas de desenvolvimento de cultivares de feijão, a linhagem mais indicada para recomendação é CNFP 8000 por apresentar a maior adaptação ampla quando foram consideradas as duas épocas de semeadura e as duas regiões conjuntamente.

#### 4.5 REFERÊNCIAS

ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfafa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics and Plant Breeding**, Rome, v. 46, p. 269-278, 1992.

BERTOLDO, J. G.; COIMBRA, J. L. M.; NODARI, R. O.; GUIDOLIN, A. F.; HEMP, S.; BARILI, L. D.; VALE, N. M. do; ROZZETO, D. S. Stratification of the state of Santa Catarina in macro-environments for bean cultivation. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 9, n. 4, p. 335-343, 2009.

Brasil (2006) Instrução Normativa n° 25, de 23 de maio de 2006. Anexo I. Requisitos mínimos para determinação do valor de cultivo e uso de feijão (*Phaseolus vulgaris*) para inscrição no registro nacional de cultivares – RNC. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília. Disponível em <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegisconsulta/servlet/VisualizarAnexo?id=11376>>. Acesso em Novembro de 2010.

CRUZ, C. D.; CASTOLDI, F. Decomposição da interação genótipos x ambientes em partes simples e complexa. **Revista Ceres**, v. 38, p. 422- 430, 1991.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. v. 1, 2. ed. Viçosa: UFV, 2001. 390 p.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. v. 2, 2. ed. rev. Viçosa: UFV, 2006. 585 p.

CRUZ, C. D. **Programa Genes**: aplicativo computacional em genética e estatística: versão 2007.0.0. Disponível em: <<http://www.ufv.br/dbg/genes/genes.htm>>. Acesso em: 20 maio 2009.

FEIJÃO: dados conjunturais da produção de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) no Brasil: 1985 a 2009. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/apps/socioeconomia/index.htm>>. Acesso em: Março. 2011.

FERREIRA, D. F. **Aplicativo Estabilidade**, Universidade Federal de Lavras. Departamento de Ciências Exatas, 2008. Disponível em: <[www.ufla.br/dex](http://www.ufla.br/dex)>. Acesso em: 22 jun. 2009.

GONÇALVES, J. G. R.; CHIORATO, A. F.; MORAIS, L. K.; PERINA, E. F.; FARIAS, F. L.; CARBONELL, S. A. M. Estudo da estabilidade fenotípica de feijoeiro com grãos especiais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 922-931, 2010.

MELO, L. C.; MELO, P. G. S.; FARIA, L. C. de; DIAZ, J. L. C.; DEL PELOSO, M. J.; RAVA, C. A.; COSTA, J. G. C. da. Interação com ambientes e estabilidade de genótipos de feijoeiro-comum na Região Centro-Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 5, p. 715- 723, 2007.

OLIVEIRA, G. V.; CARNEIRO, P. C. S.; CARNEIRO, J. E. de S.; CRUZ, C. D. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de feijão-comum em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 2, p. 257-265, 2006.

PEREIRA, H. S.; MELO, L. C.; FARIA, L. C. de; DEL PELOSO, M. J.; COSTA, J. G. C.; RAVA, C. A.; WENDLAND, A. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijoeiro-comum com grãos tipo carioca na Região Central do Brasil. **Pesquisa e Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 1, p. 29-37, 2009.

PEREIRA, H. S.; MELO, L. C.; FARIA, L. C. de; DEL PELOSO, M. J.; DÍAZ, J. L. C.; WENDLAND, A. Indicação de cultivares de feijoeiro-comum baseada na avaliação conjunta de diferentes épocas de semeadura. **Pesquisa e Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 6, p. 571-578, 2010.

PEREIRA, H. S.; MELO, L. C.; DEL PELOSO, M. J.; FARIA, L. C. de; WENDLAND, A. Interação complexa entre genótipos e épocas de semeadura de feijoeiro comum carioca em Goiás/Distrito Federal. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. x, n. x, p. x, 2011. (Aceito para publicação)

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, P. S. J. Interações genótipos x épocas de semeadura, anos e locais na avaliação de cultivares de feijão nas Regiões sul e Alto Paranaíba em Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 22, n. 2, p. 176-181, 1998.

## **5 ESTRUTURAÇÃO DA REDE EXPERIMENTAL DE FEIJOEIRO-COMUM DO GRUPO PRETO DA EMBRAPA NAS REGIÕES CENTRAL E CENTRO-SUL DO BRASIL**

### **RESUMO**

O objetivo deste trabalho foi avaliar a existência de similaridade entre os locais de avaliação de ensaios finais do programa de melhoramento de feijoeiro-comum com grãos pretos da Embrapa, na Região Central (Goiás e Distrito Federal) e na Região Centro-Sul do Brasil (São Paulo, Paraná e Santa Catarina), utilizando diferentes metodologias. Foram utilizados dados de produtividade de grãos de 51 ensaios (27 na Região Central e 24 na Região Centro-Sul) conduzidos em blocos ao acaso, com três repetições, nos anos de 2003 e 2004. A estratificação ambiental foi realizada por região e época de semeadura, utilizando-se quatro metodologias: tradicional de Lin, complementada pela estimativa da fração simples da interação; análise de fatores; estimativa da correlação de Pearson; e ecovalência. Morrinhos foi identificado como redundante pelas quatro metodologias de estratificação ambiental, podendo ser eliminado da rede de ensaios de feijoeiro-comum do grupo preto, da Embrapa na Região Central do Brasil. Para a Região Centro-Sul, todos os locais de avaliação foram considerados informativos, não sendo passíveis de eliminação. Os locais presentes em todas as safras/Região (Rio Verde-GO, Planaltina-DF, Ponta Grossa-PR e Abelardo Luz-SC) foram identificados como informativos, e, portanto, são indicados para a avaliação de genótipos de feijoeiro-comum do grupo preto.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris*, análise de fatores, interação genótipos x ambientes, estratificação ambiental.

### **ABSTRACT**

#### **NETWORK OF EVALUATION OF BLACK BEAN GENOTYPES OF EMBRAPA IN CENTRAL AND CENTRAL-SOUTH REGIONS OF BRAZIL**

The aim of this study was to assess the similarities between locals where value of cultivation and use trials of Embrapa Rice and Beans were carried out for common black bean, in Central Region (Goiás and Distrito Federal) and the Central-South Region (São Paulo, Paraná and Santa Catarina) of Brazil, using different methodologies. Data of grain yield of 51 trials (27 from Central and 24 from Central-South region) were used. Data were collected from randomized block design with three replications between 2003 and 2004. Environmental stratification was performed by region and by season, using four different methods: Lin traditional, complemented by simple fraction analysis of GxE interaction; factor analysis; Pearson correlation estimate; and ecovalence. Morrinhos was identified as redundant using four methodologies of environmental stratification. Thus this county can be eliminated from the network of common black bean evaluation of Embrapa in Central region. For the South-Central Region, all local of tests were considered informative and it

is not possible to exclude them. The locals (Rio Verde-GO, Planaltina-DF, Ponta Grossa-PR, and Abelardo Luz-SC) present in all seasons/regions were identified as informative, and therefore are suitable for evaluation of common black bean genotypes.

Key words: *Phaseolus vulgaris*, factor analysis, genotype x environment interaction, environment stratification.

## 5.1 INTRODUÇÃO

Os ganhos em produtividade de grãos tendem a diminuir ao longo dos anos, devido à dificuldade de se detectarem diferenças entre as novas linhagens e as cultivares desenvolvidas. Uma maneira de melhorar a eficiência dos programas na avaliação de linhagens elites é por meio dos estudos da interação genótipos x ambientes (GxA).

Nos programas de melhoramento genético de diversas espécies, a interação genótipos x ambientes dificulta a seleção e indicação de cultivares, devido à resposta diferencial dos genótipos nos ambientes de teste. Na cultura do feijoeiro-comum, diversos trabalhos já foram conduzidos para estudar esta interação (Ramalho et al., 1998; Carbonell et al., 2004; Oliveira et al., 2005; Melo et al., 2007; Pereira et al., 2009). A interação GxA pode ser dividida em duas partes, uma de natureza simples, que não provoca alteração na classificação dos genótipos no conjunto de ambientes avaliados; e outra de natureza complexa, que é responsável pela alteração na classificação dos genótipos, ou seja, quando a correlação entre o desempenho dos genótipos nos ambientes em estudo é baixa (Cruz & Regazzi, 2001).

No sentido biométrico, duas abordagens são empregadas para atenuar os efeitos da interação GxA: a dos estudos de estabilidade e adaptabilidade de diferentes genótipos (realizados no capítulo 1), em que, segundo Cruz & Regazzi (2001), procuram-se particularizar as respostas de cada genótipo diante das variações ambientais, para identificar aqueles de adaptabilidade ampla ou específica e, ainda, os de comportamento previsível; e a relativa aos métodos de estratificação ambiental, por meio da análise da interação GxA, que permite agrupar ambientes com interação mínima ou nula.

Devido ao elevado custo que os ensaios de avaliação final de linhagens requerem, é fundamental identificar se há, entre os ambientes disponíveis, padrões similares de respostas dos genótipos e tomar decisões com relação a descartes de ambientes por meio de técnicas de estratificação ambiental. Assim, torna-se possível uma eventual substituição ou redução do número de ambientes, quando existem problemas técnicos ou

escassez de recursos (Mendonça et al., 2007). Desta forma, os estudos de estratificação ambiental são de grande importância para os programas de melhoramento, uma vez que quando se verifica a existência de locais redundantes tem-se a possibilidade de eliminá-los e substituí-los por outros locais mais informativos, o que trará ganhos em eficiência e economia de recursos ao programa de melhoramento.

Entre os métodos de estratificação ambiental, citam-se os que procuram formar subgrupos homogêneos em que a interação  $G \times A$  seja não significativa (Lin, 1982) ou, em outros casos significativa, mas de natureza predominantemente simples (Cruz & Castoldi, 1991). O método definido por Cruz & Castoldi (1991) procura quantificar o percentual da parte simples (PS%) da interação  $G \times A$ , em que a posição relativa dos genótipos de um ambiente para o outro não sofra alterações relevantes ou que comprometam as recomendações dos genótipos.

Outra metodologia, proposta por Murakami & Cruz (2004), utiliza o princípio da similaridade do desempenho genotípico, baseado na técnica multivariada de análise de fatores. Esta permite reduzir um grande número de variáveis originais a um pequeno número de variáveis abstratas, chamadas de fatores. Desta forma, dentro de cada fator são reunidas variáveis originais fortemente correlacionadas entre si, mas fracamente correlacionadas com as dos demais fatores. Assim, postula-se que a análise de fatores seja capaz de estabelecer subgrupos de ambientes de modo a haver altas correlações na característica de interesse dentro de subgrupos, e baixa ou nenhuma, entre subgrupos (Cruz & Carneiro, 2006).

A estimativa da ecovalência (Wricke, 1965), utilizada para medir a contribuição de cada genótipo para a interação  $G \times A$ , também pode ser utilizada para avaliar a contribuição de cada ambiente para a interação, por meio da decomposição da soma de quadrados da interação em frações relacionadas a esses ambientes e, dessa forma, identificar locais pouco informativos (Ramalho et al., 2002; Pereira et al., 2010a).

Normalmente as metodologias de estratificação ambiental são consistentes somente para a interação genótipos  $\times$  locais, e não para genótipos  $\times$  anos e/ou genótipos  $\times$  locais  $\times$  anos (Eberhart & Russel, 1966, citado por Oliveira et al., 2005), o que também aplica-se para a interação genótipos  $\times$  épocas de semeadura. Carbonell & Pompeu (1997) propuseram a estratificação ambiental dentro de cada safra em que a interação foi significativa. De acordo com os autores, a proposta serve para identificar ambientes específicos para seleção e avaliação de genótipos que são resistentes ou tolerantes aos



fatores desta interação (doenças, temperatura, seca, etc.). Alguns trabalhos com a cultura do feijoeiro-comum mostraram que a interação genótipos x épocas é significativa (Ramalho et al., 1998; Pereira et al., 2010a) e, além disso, atualmente a indicação de cultivares de feijoeiro-comum é realizada por épocas de semeadura (Brasil, 2006). Assim, torna-se recomendável que as análises de estratificação ambiental para esta cultura sejam realizadas para cada safra separadamente.

Trabalhos de estratificação ambiental foram conduzidos recentemente para culturas como feijoeiro (Pereira et al., 2010a) e soja (Pacheco et al., 2009) na Região Central; e feijoeiro (Oliveira et al., 2005; Pereira et al., 2010b; Bertoldo et al., 2009), soja (Mendonça et al., 2007) e milho (Garbuglio et al., 2007), na Região Centro-Sul. Porém estudos dessa natureza com feijoeiro-comum do grupo preto não foram ainda realizados para essas regiões.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a existência de similaridade entre os locais de avaliação da rede de ensaios finais do programa de melhoramento de feijoeiro-comum com grãos pretos da Embrapa, na Região Central e na Região Centro-Sul do Brasil, utilizando diferentes metodologias, visando eliminar redundância entre os locais de avaliação.

## 5.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram conduzidos nos anos de 2003 e 2004, em 27 ambientes da Região Central, no Estado de Goiás e Distrito Federal, nas épocas do inverno e águas, e em 24 ambientes da Região Centro-Sul do Brasil, nos estados de São Paulo, Paraná e Santa Catarina, nas épocas da seca e águas. Cada combinação de época de semeadura/ano foi considerada como uma safra. Os ensaios foram constituídos por 13 genótipos de feijoeiro-comum com grãos pretos, sendo: oito linhagens elite (TB 9409, TB 9713, CNFP 10138, CNFP 7966, CNFP 7972, CNFP 7994, CNFP 8000 e CNFP 9328) e cinco cultivares testemunhas (BRS Valente, FT Nobre, Diamante Negro, IPR Uirapuru e FT Soberano). O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso com três repetições e parcelas de quatro linhas de 4 m de comprimento. Foram coletados dados de produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) nas duas linhas centrais.

Os dados de produtividade de grãos de cada ensaio foram submetidos à análise de variância, considerando-se o efeito de genótipos como fixo e os demais como aleatórios

e, em seguida, foram realizadas análises conjuntas dos ensaios para cada safra. Para as safras em que as variâncias residuais dos ensaios não foram homogêneas (razão entre o maior e o menor quadrado médio do resíduo superior a sete), procedeu-se o ajuste dos graus de liberdade do erro médio e da interação GxA, conforme o método de Cochran (1954).

As análises de estratificação ambiental foram realizadas por safra, utilizando-se os métodos: tradicional, proposto por Lin (1982), associado ao método de Cruz e Castoldi (1991); análise de fatores, proposto por Murakami & Cruz (2004); estimativa de correlação de Pearson; e método da ecovalência (Wricke, 1965), adaptado por Pereira et al. (2010a). As análises foram realizadas utilizando-se o aplicativo Genes (Cruz, 2007).

O método de Lin (1982) consiste em estimar a soma de quadrados para a interação entre genótipos e pares de ambientes e, posteriormente, agrupar aqueles ambientes cuja interação seja não significativa. O método prossegue com a estimação da soma de quadrados entre genótipos e grupos de três ambientes, sendo empregado o teste F para se avaliar a possibilidade de formação de novo grupo. Assim, são formados grupos de  $n$  ambientes, em que a interação seja não significativa e, conseqüentemente, esses são considerados os ambientes mais similares.

Para os ambientes que apresentaram interação GxA significativa, ou seja, que não foram agrupados na metodologia de Lin (1982), foi avaliada a predominância da fração simples da interação, segundo a metodologia de Cruz & Castoldi (1991). Esta metodologia consiste em fracionar a interação GxA em duas partes. A primeira, denominada simples, é proporcionada pela diferença de variabilidade entre genótipos nos ambientes, e a segunda, denominada complexa, é dada pela baixa correlação entre os genótipos e indica a inconsistência da superioridade dos genótipos em diferentes ambientes (Cruz & Regazzi, 2001). A ocorrência de maior parte da interação devida à fração simples indica que os ambientes são similares. Desta forma, foram também considerados similares locais com interação significativa segundo a metodologia de Lin (1982), mas com porcentagem simples da interação acima de 50%. Para identificar o local mais redundante por estas metodologias verificou-se qual o local se agrupou com maior número de locais.

Na metodologia de Murakami & Cruz (2004), o agrupamento dos ambientes foi considerado a partir de cargas fatoriais finais, obtidas após rotações, que são as estimativas de similaridade ambiental fornecidas. Cargas fatoriais maiores ou iguais a 0,70 e de mesmo sinal indicam ambientes com altas correlações e que podem ser agrupados em

um mesmo fator. Cargas fatoriais de valores iguais ou abaixo de 0,50 indicam que o ambiente em questão não deve pertencer ao grupo. Para cargas fatoriais com valores entre 0,50 e 0,70 não há garantia de definição para o agrupamento (Murakami & Cruz, 2004). Segundo Cruz & Carneiro (2006), nessa análise o número de fatores finais considerado na estratificação ambiental pode ser definido pelo número de autovalores que são iguais ou superiores a 1,0. Porém, esses autores comentam que podem ocorrer situações em que a proporção da variação explicada pelos autovalores maiores que 1,0 seja relativamente baixa. Assim, devem-se considerar mais fatores, até que se atinjam, pelo menos, 80% da variabilidade total. Este método estima também um parâmetro denominado comunalidade, que corresponde à proporção da variação ambiental explicada pelos fatores apresentados. Valores de comunalidades acima de 0,64 têm sido aceitos como razoáveis, pois são equivalentes a uma correlação próxima de 0,80 entre a variável padronizada e a parte comum que explica esta variável. Assim, foram considerados redundantes os locais com cargas fatoriais maiores que 0,70 presentes nos fatores que agruparam maior número de ambientes (Cruz & Carneiro, 2006).

Foram também estimadas as correlações de Pearson entre as médias de produtividade dos genótipos nos diferentes pares de locais, sendo considerados similares quando a correlação foi significativa e positiva, pelo teste de t ( $\alpha \leq 0,05$ ). O local considerado redundante foi aquele que se correlacionou com um maior número de locais.

A ecovalência, estatística usada inicialmente para medir a contribuição de cada genótipo para a interação GxA (Wricke, 1965), no presente trabalho foi utilizada para estimar a contribuição de cada local para a interação GxA (Pereira et al., 2010a). Foram considerados menos informativos os locais que apresentaram os menores valores para essa estatística. Para a estimação da ecovalência, decompôs-se a soma de quadrados da interação GxA nas partes devidas a cada local, segundo a expressão abaixo:

$$\omega_j = r \sum_i (Y_{ij} - \bar{Y}_j - \bar{Y}_i + \bar{Y}_{..})^2$$

em que: r é o n° de repetições;  $Y_{ij}$  é a média do genótipo i no local j;  $\bar{Y}_i$  é a média do genótipo i;  $\bar{Y}_j$  é a média do local j;  $\bar{Y}_{..}$  é a média geral.

A avaliação da similaridade entre os locais foi realizada por época de semeadura, sendo avaliadas as épocas de inverno e águas nos dois anos, para a Região Central e as épocas da seca e águas nos dois anos, para a Região Centro-Sul. Para o conjunto de locais estudados existem duas situações de avaliação, a primeira envolvendo

os locais consolidados na rede (presentes nos dois anos), e a segunda com os locais sob avaliação de informatividade (presentes em apenas um ano), para os quais se sugere consolidação na rede aos locais considerados informativos. É importante enfatizar que o foco do presente trabalho é definir locais importantes para avaliar a produtividade de grãos, não sendo consideradas outras características.

Para identificar o local mais redundante em cada safra, foram considerados conjuntamente os resultados obtidos com os diferentes métodos, ou seja, foi considerado redundante o local identificado como pouco informativo em pelo menos três das metodologias, representando a maioria dos métodos avaliados. Já para identificar os locais passíveis de eliminação, foram considerados dois critérios. O primeiro para os locais consolidados na rede, eliminando-se aqueles considerados redundantes em pelo menos três metodologias nos dois anos; e o segundo, para os locais sob avaliação de informatividade, sendo eliminados nesse caso os locais considerados redundantes pelas quatro metodologias de avaliação.

### 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 5.3.1 Região Central

Nas análises individuais, a maioria dos ensaios (67%) apresentou diferenças significativas entre os genótipos para a produção de grãos (Tabela 5.1), indicando a existência de variabilidade genética entre as linhagens e cultivares. Os valores dos coeficientes de variação (CV) oscilaram de 7,6% a 21,9%, indicando boa precisão experimental, similares aqueles relatados para a cultura por outros autores (Oliveira et al., 2005; e Pereira et al., 2010a). As médias de produtividade de grãos ficaram entre 1.195 kg ha<sup>-1</sup> e 3.422 kg ha<sup>-1</sup>, com média geral de 2.349 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 5.1).

A partir das análises conjuntas por safra (Tabela 5.2) verificou-se diferenças altamente significativas ( $p < 0,01$ ) entre ambientes e para a interação GxA, em todas as safras, mostrando que os genótipos apresentaram resposta diferenciada aos ambientes avaliados, o que justifica a realização da estratificação ambiental.

Na safra de inverno/2003, a metodologia tradicional, proposta por Lin (1982), permitiu a formação de dois grupos com interação genótipos x locais não significativa (Tabela 5.3). O primeiro formado por Goiatuba, Urutaí e Santo Antônio, e o segundo por

Goiatuba, Rio Verde e Planaltina. Para os ambientes que apresentaram interação GxA significativa, ou seja, que não foram agrupados anteriormente, observou-se que em nenhum dos pares de locais a porcentagem simples da interação foi acima de 50% (Tabela 5.4). Desta forma, Goiatuba foi o local mais redundante utilizando-se esta metodologia, uma vez que se agrupou com quatro diferentes locais.

**Tabela 5.1.** Locais, épocas de avaliação e resumo das análises de variância individuais, dos ensaios de feijoeiro-comum com grãos pretos, conduzidos em Goiás e no Distrito Federal nos anos de 2003 e 2004.

| Ambientes           | Épocas       | Quadrado médio |         | Produtividade média (kg ha <sup>-1</sup> ) | CV <sub>e</sub> (%) |
|---------------------|--------------|----------------|---------|--|---------------------|
|                     |              | Tratamentos    | Erro    |  |                     |
| Goiatuba-GO         | Inverno/2003 | 153.593        | 113.986 | 1.877                                      | 17,9                |
| Sto. Ant. Goiás-GO  | Inverno/2003 | 387.691*       | 142.640 | 2.019                                      | 18,7                |
| Rio Verde-GO        | Inverno/2003 | 246.537        | 167.317 | 2.400                                      | 17,0                |
| Urutaí-GO           | Inverno/2003 | 385.795        | 269.732 | 2.677                                      | 19,4                |
| Cristalina-GO       | Inverno/2003 | 1416.966**     | 252.109 | 2.525                                      | 19,9                |
| Planaltina-DF       | Inverno/2003 | 389.305*       | 146.094 | 2.482                                      | 15,4                |
| Anápolis-GO         | Inverno/2004 | 598.836        | 301.948 | 3.082                                      | 17,8                |
| Sant. Ant. Goiás-GO | Inverno/2004 | 103.861        | 71.688  | 2.487                                      | 10,8                |
| Rio Verde-GO        | Inverno/2004 | 218.253        | 115.424 | 2.995                                      | 11,3                |
| Itumbiara-GO        | Inverno/2004 | 256.492*       | 107.752 | 1.961                                      | 16,7                |
| Urutaí-GO           | Inverno/2004 | 77.882**       | 19.450  | 1.672                                      | 8,3                 |
| Morrinhos-GO        | Inverno/2004 | 210.337**      | 60.844  | 1.944                                      | 12,7                |
| Cristalina-GO       | Inverno/2004 | 480.477**      | 86.650  | 2.951                                      | 10,0                |
| Planaltina-DF       | Inverno/2004 | 370.446*       | 151.787 | 3.422                                      | 11,4                |
| Rio Verde-GO        | Águas/2003   | 890.179**      | 82.075  | 2.288                                      | 12,5                |
| Ipameri-GO          | Águas/2003   | 330.685**      | 79.490  | 3.044                                      | 9,3                 |
| Anápolis-GO         | Águas/2003   | 208.086        | 123.104 | 1.870                                      | 18,8                |
| Formosa-GO          | Águas/2003   | 518.038**      | 92.866  | 2.299                                      | 13,3                |
| Planaltina-DF       | Águas/2003   | 152.205        | 190.776 | 2.481                                      | 17,6                |
| Campo Alegre-GO     | Águas/2003   | 103.934        | 68.173  | 1.195                                      | 21,9                |
| Morrinhos-GO        | Águas/2004   | 244.289**      | 53.762  | 2.018                                      | 11,5                |
| Urutaí-GO           | Águas/2004   | 484.146**      | 81.348  | 2.040                                      | 14,0                |
| Sant. Ant. Goiás-GO | Águas/2004   | 173.477**      | 19.065  | 1.519                                      | 9,1                 |
| Anápolis-GO         | Águas/2004   | 256.431**      | 38.172  | 2.578                                      | 7,6                 |
| Rio Verde-GO        | Águas/2004   | 684.442**      | 191.497 | 2.564                                      | 17,1                |
| Cristalina-GO       | Águas/2004   | 428.605**      | 96.722  | 1.644                                      | 18,9                |
| Planaltina-DF       | Águas/2004   | 544.875**      | 130.046 | 3.379                                      | 10,7                |

\*\* e \*: Significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

**Tabela 5.2.** Análise de variância conjunta para produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) de 13 genótipos de feijoeiro-comum com grãos pretos, avaliados em quatro diferentes safras em Goiás e no Distrito Federal.

| Fonte de variação | Inverno/2003 |              | Inverno/2004       |              | Águas/2003 |              | Águas/2004         |              |
|-------------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|------------|--------------|--------------------|--------------|
|                   | GL           | QM           | GL                 | QM           | GL         | QM           | GL                 | QM           |
| Blocos/Locais     | 12           | 2.735.924    | 16                 | 265.177      | 12         | 136.073      | 14                 | 64.304       |
| Genótipos (G)     | 12           | 6.644.914    | 12                 | 528.085      | 12         | 673.739*     | 12                 | 1.393.039**  |
| Locais (A)        | 5            | 19.058.073** | 7                  | 16.087.359** | 5          | 15.036.589** | 6                  | 16.126.714** |
| G x A             | 60           | 29.113.726** | 59 <sup>(1)</sup>  | 363.762**    | 60         | 305.877**    | 54 <sup>(1)</sup>  | 316.272**    |
| Erro médio        | 144          | 26.205.082   | 129 <sup>(1)</sup> | 170.333      | 144        | 106.081      | 120 <sup>(1)</sup> | 122.122      |
| Média             |              | 2.330        |                    | 2.564        |            | 2.196        |                    | 2.249        |
| CV (%)            |              | 18           |                    | 16           |            | 15           |                    | 16           |

<sup>(1)</sup>Análises com graus de liberdade ajustados segundo Cochran (1954); \*\*, \* Significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste de F.

**Tabela 5.3.** Agrupamento dos locais com interação genótipos x locais não significativa, segundo Lin (1982), e seus respectivos quadrados médios da interação genótipos x locais ( $QM_{G \times L}$ ), F calculados e tabelados a 5% de probabilidade, por combinação de época de semeadura/ano.

| Grupos       | Ambientes  | $QM_{G \times L}$ | F     |      |
|--------------|--|-------------------|-------|------|
|              |  |                   | Calc. | Tab. |
| Inverno/2003 |  |                   |       |      |
| A            | Goiatuba, Urutaí, Santo Antônio                        | 73.520            | 1,21  | 1,59 |
| B            | Goiatuba, Rio Verde, Planaltina                        | 86.705            | 1,43  | 1,59 |
| Inverno/2004 |  |                   |       |      |
| A            | Santo Antônio, Morrinhos, Rio Verde, Urutaí, Itumbiara | 52.200            | 1,37  | 1,42 |
| B            | Urutaí, Planaltina                                     | 42.304            | 1,11  | 1,80 |
| C            | Santo Antônio, Planaltina                              | 59.656            | 1,56  | 1,80 |
| D            | Anápolis, Itumbiara                                    | 65.666            | 1,72  | 1,80 |
| E            | Urutaí, Cristalina                                     | 65.678            | 1,72  | 1,80 |
| F            | Itumbiara, Planaltina                                  | 66.111            | 1,73  | 1,80 |
| Águas/2003   |  |                   |       |      |
| A            | Ipameri, Anápolis, Campo Alegre                        | 50.729            | 1,43  | 1,59 |
| B            | Planaltina, Campo Alegre                               | 37.741            | 1,07  | 1,81 |
| C            | Ipameri, Formosa                                       | 62.521            | 1,77  | 1,81 |
| Águas 2004   |  |                   |       |      |
| A            | Morrinhos, Urutaí                                      | 26.085            | 0,88  | 1,81 |
| B            | Anápolis, Cristalina                                   | 35.698            | 1,23  | 1,81 |
| C            | Morrinhos, Rio Verde                                   | 44.836            | 1,54  | 1,81 |

A análise de fatores, proposta por Murakami & Cruz (2004), foi realizada com quatro fatores finais, que explicaram 90,9% da variação (Tabela 5.5). No primeiro fator ficaram agrupados os locais Santo Antônio e Urutaí, que foram classificados como redundantes por esta metodologia, uma vez que os demais fatores ficaram com apenas um local (Tabela 5.5). Os valores da correlação de Pearson foram todos não significativos ( $p \leq 0,05$ ), indicando que houve alteração no desempenho relativo dos genótipos entre os pares de locais avaliados nessa safra (Tabela 5.4). O menor valor de ecovalência encontrado foi para Goiatuba, igual a 6,7% (Tabela 5.6), indicando que este foi o local que menos contribuiu para a interação GxA.

Diante dos resultados obtidos para esta safra, todos os locais foram informativos, visto que nenhum deles se repetiu, em pelo menos três das metodologias utilizadas, como redundante.

Na safra de inverno/2004, houve a formação de seis grupos com a utilização da metodologia tradicional, que estão listados na Tabela 5.3. Entre os locais avaliados Itumbiara e Urutaí agruparam-se com maior número de locais, sendo que cada um se agrupou com seis locais. Os pares de ambientes com interação significativa apresentaram predominância da fração complexa (Tabela 5.4), resultado semelhante ao inverno 2003.

Desta forma, segundo esta metodologia, Itumbiara e Urutaí foram classificados como redundantes.

Já na análise de fatores, os quatro autovalores superiores a 1,0 explicaram 85,9% da variação e, por isso, foi fixado o número final de quatro fatores para serem utilizados nos agrupamentos. O primeiro fator agrupou os locais Santo Antônio, Rio Verde e Morrinhos; o segundo, Urutaí e Planaltina; e no terceiro fator ficaram agrupados Anápolis e Itumbiara (Tabela 5.5). Desta forma, os locais agrupados no primeiro fator, que contemplou maior número de ambientes, foram considerados os mais redundantes.

**Tabela 5.4.** Porcentagem simples (PS%) da interação genótipos x ambientes, para os pares de ambientes com interação significativa segundo a metodologia de Lin, e estimativas de correlações de Pearson entre locais (r) em cada safra.

| Amb <sup>1</sup> | PS(%)        | R             | Amb     | PS(%) | R            | Amb    | PS(%) | r             |
|------------------|--------------|---------------|---------|-------|--------------|--------|-------|---------------|
| Inverno 2003     |              |               |         |       |              |        |       |               |
| 1 x 2            | -            | 0,03          | 2 x 3   | 0     | -0,37        | 3 x 5  | 40,27 | 0,19          |
| 1 x 3            | -            | 0,09          | 2 x 4   | -     | 0,40         | 3 x 9  | -     | 0,25          |
| 1 x 4            | -            | 0,42          | 2 x 5   | 38,85 | 0,34         | 4 x 5  | 7,16  | -0,20         |
| 1 x 5            | 46,96        | 0,12          | 2 x 9   | 0     | -0,21        | 4 x 9  | 0     | -0,01         |
| 1 x 9            | -            | -0,34         | 3 x 4   | 0     | -0,44        | 5 x 9  | 14,93 | -0,05         |
| Inverno 2004     |              |               |         |       |              |        |       |               |
| 7 x 2            | 20,86        | -0,15         | 2 x 11  | -     | <b>0,59*</b> | 10 x 5 | 0     | -0,11         |
| 7 x 3            | 4,63         | -0,13         | 2 x 5   | 29,50 | 0,10         | 10 x 9 | -     | 0,37          |
| 7 x 10           | -            | <b>0,59*</b>  | 2 x 9   | -     | 0,30         | 4 x 11 | -     | -0,18         |
| 7 x 4            | 32,18        | -0,07         | 3 x 10  | -     | -0,06        | 4 x 5  | -     | 0,42          |
| 7 x 11           | 13,95        | 0,03          | 3 x 4   | -     | -0,43        | 4 x 9  | -     | <b>0,57*</b>  |
| 7 x 5            | 9,62         | 0,17          | 3 x 11  | -     | 0,49         | 11 x 5 | 24,39 | 0,28          |
| 7 x 9            | 17,30        | 0,26          | 3 x 5   | 8,52  | 0,02         | 11 x 9 | 11,02 | 0,13          |
| 2 x 3            | -            | <b>0,60*</b>  | 3 x 9   | 0     | -0,27        | 5 x 9  | 5,17  | 0,08          |
| 2 x 10           | -            | -0,10         | 10 x 4  | -     | 0,08         | -      | -     | -             |
| 2 x 4            | -            | 0,02          | 10 x 11 | -     | -0,08        | -      | -     | -             |
| Águas 2003       |              |               |         |       |              |        |       |               |
| 3 x 6            | 39,55        | 0,45          | 6 x 7   | -     | <b>0,62*</b> | 7 x 9  | 0     | -0,19         |
| 3 x 7            | <b>54,56</b> | 0,50          | 6 x 8   | -     | <b>0,57*</b> | 7 x 12 | -     | -0,06         |
| 3 x 8            | 2,51         | -0,02         | 6 x 9   | 6,38  | -0,01        | 8 x 9  | 33,21 | 0,28          |
| 3 x 9            | 6,76         | -0,44         | 6 x 12  | -     | 0,17         | 8 x 12 | 28,96 | 0,06          |
| 3 x 12           | <b>54,55</b> | 0,28          | 7 x 8   | 19,58 | 0,18         | 9 x 12 | -     | 0,12          |
| Águas 2004       |              |               |         |       |              |        |       |               |
| 11 x 4           | -            | <b>0,83**</b> | 4 x 7   | 10,91 | 0,11         | 2 x 9  | 29,27 | 0,25          |
| 11 x 2           | 11,86        | 0,19          | 4 x 3   | 40,27 | <b>0,61*</b> | 7 x 3  | 28,03 | 0,29          |
| 11 x 7           | 10,20        | 0,19          | 4 x 5   | 17,91 | 0,32         | 7 x 5  | -     | <b>0,71**</b> |
| 11 x 3           | -            | <b>0,81**</b> | 4 x 9   | 41,91 | <b>0,66*</b> | 7 x 9  | 19,40 | 0,22          |
| 11 x 5           | 16,70        | 0,23          | 2 x 7   | 9,89  | 0,15         | 3 x 5  | 15,15 | 0,23          |
| 11 x 9           | 47,54        | <b>0,60*</b>  | 2 x 3   | 35,57 | 0,26         | 3 x 9  | 46,81 | <b>0,70**</b> |
| 4 x 2            | 23,19        | 0,20          | 2 x 5   | 37,29 | 0,45         | 5 x 9  | 27,12 | 0,45          |

<sup>1</sup>Ambientes (1-Goiatuba, 2-Santo Antônio de Goiás, 3-Rio Verde, 4-Urutaí, 5-Cristalina, 6-Ipameri, 7-Anápolis, 8-Formosa, 9-Planaltina, 10-Itumbiara, 11-Morrinhos, 12-Campo Alegre);

<sup>3</sup>Correlação de Pearson; \*\*, \*Correlação significativa a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.



Os pares de ambientes que apresentaram correlações significativas foram Anápolis x Itumbiara, Santo Antônio x Rio Verde, Santo Antônio x Morrinhos e Urutaí x Planaltina (Tabela 5.4), indicando que os genótipos se comportaram de maneira similar dentro de cada um desses pares. Santo Antônio foi o local que apresentou maior número de correlações significativas com outros locais, sendo considerado redundante por esta metodologia.

**Tabela 5.5.** Estratificação ambiental por meio da análise de fatores, com 13 genótipos de feijoeiro-comum com grãos pretos, avaliados em quatro diferentes safras, em Goiás e Distrito Federal.

| Estimativa dos Autovalores |                 |                  | Cargas Fatoriais Após Rotação |               |              |              |              |              |
|----------------------------|-----------------|------------------|-------------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Fator                      | $\lambda^{(1)}$ | % <sup>(2)</sup> | Ambientes                     | Fator 1       | Fator 2      | Fator 3      | Fator 4      | $\Phi^{(3)}$ |
|                            |                 |                  | Inverno 2003                  |               |              |              |              |              |
| 1                          | 1,99            | 33,15            | Goiatuba                      | 0,094         | 0,076        | <b>0,933</b> | -0,254       | 0,95         |
| 2                          | 1,35            | 55,58            | Santo Antônio                 | <b>-0,721</b> | 0,578        | 0,054        | -0,052       | 0,86         |
| 3                          | 1,18            | 75,17            | Rio Verde                     | 0,844         | 0,218        | 0,126        | 0,244        | 0,84         |
| 4                          | 0,94            | 90,87            | Urutaí                        | <b>-0,680</b> | -0,147       | 0,641        | 0,215        | 0,94         |
| -                          | 0,39            | 97,41            | Cristalina                    | 0,122         | <b>0,939</b> | 0,012        | -0,042       | 0,90         |
| -                          | 0,16            | 100,00           | Planaltina                    | 0,128         | -0,052       | -0,160       | <b>0,960</b> | 0,97         |
|                            |                 |                  | Inverno 2004                  |               |              |              |              |              |
| 1                          | 2,33            | 29,07            | Anápolis                      | -0,064        | -0,039       | <b>0,910</b> | 0,215        | 0,88         |
| 2                          | 2,02            | 54,29            | Santo Antônio                 | <b>0,888</b>  | 0,271        | -0,135       | -0,058       | 0,88         |
| 3                          | 1,52            | 73,25            | Rio Verde                     | <b>0,798</b>  | -0,391       | -0,055       | -0,058       | 0,80         |
| 4                          | 1,02            | 85,98            | Itumbiara                     | -0,039        | 0,206        | <b>0,850</b> | -0,208       | 0,81         |
| -                          | 0,52            | 92,46            | Urutaí                        | -0,227        | <b>0,841</b> | -0,123       | 0,349        | 0,90         |
| -                          | 0,33            | 96,57            | Morrinhos                     | <b>0,820</b>  | -0,034       | 0,055        | 0,269        | 0,75         |
| -                          | 0,15            | 98,45            | Cristalina                    | 0,117         | 0,146        | 0,018        | <b>0,960</b> | 0,96         |
| -                          | 0,12            | 100,00           | Planaltina                    | 0,153         | <b>0,882</b> | 0,319        | -0,636       | 0,91         |
|                            |                 |                  | Águas 2003                    |               |              |              |              |              |
| 1                          | 2,29            | 38,23            | Rio Verde                     | 0,433         | -0,706       | 0,381        | -            | 0,83         |
| 2                          | 1,55            | 64,01            | Ipameri                       | <b>0,920</b>  | -0,051       | 0,155        | -            | 0,87         |
| 3                          | 1,08            | 82,06            | Anápolis                      | <b>0,750</b>  | -0,413       | -0,113       | -            | 0,75         |
| -                          | 0,56            | 91,44            | Formosa                       | <b>0,714</b>  | 0,517        | 0,023        | -            | 0,78         |
| -                          | 0,30            | 96,50            | Planaltina                    | 0,036         | <b>0,849</b> | 0,136        | -            | 0,74         |
| -                          | 0,21            | 100,00           | Campo Alegre                  | 0,025         | 0,037        | <b>0,976</b> | -            | 0,96         |
|                            |                 |                  | Águas 2004                    |               |              |              |              |              |
| 1                          | 3,56            | 50,88            | Morrinhos                     | <b>0,930</b>  | 0,062        | 0,030        | -            | 0,87         |
| 2                          | 1,50            | 72,29            | Urutaí                        | <b>0,882</b>  | 0,056        | 0,093        | -            | 0,79         |
| 3                          | 0,86            | 84,53            | Santo Antônio                 | 0,136         | 0,138        | <b>0,966</b> | -            | 0,97         |
| -                          | 0,48            | 91,37            | Anápolis                      | 0,104         | <b>0,949</b> | -0,045       | -            | 0,91         |
| -                          | 0,42            | 97,40            | Rio Verde                     | <b>0,868</b>  | 0,145        | 0,086        | -            | 0,78         |
| -                          | 0,11            | 98,98            | Cristalina                    | 0,195         | <b>0,842</b> | 0,368        | -            | 0,88         |
| -                          | 0,07            | 100,00           | Planaltina                    | <b>0,786</b>  | 0,242        | 0,171        | -            | 0,71         |

<sup>(1)</sup>Autovalores; <sup>(2)</sup>Porcentagem acumulada da variação explicada pelos autovalores;

<sup>(3)</sup>Comunalidades.

Os ambientes que apresentaram menores valores para a ecovalência foram Santo Antônio e Urutaí, com valores de respectivamente 5,2% e 5,6% (Tabela 5.6). Os resultados obtidos para esta safra indicam que o ambiente menos informativo foi Santo Antônio, pois este foi considerado redundante em três das metodologias utilizadas.

Em síntese, para a época de inverno não há recomendação de eliminação ou substituição de nenhum dos locais avaliados, visto que não houve detecção de redundância entre os locais segundo os critérios propostos. Os locais sob avaliação de informatividade não apresentaram redundância devendo permanecer na rede de avaliações e, entre os locais consolidados na rede, Santo Antônio foi considerado pouco informativo na safra de inverno/2004, mas como este resultado não se repetiu em 2003, recomenda-se que este local continue na rede de avaliações da Embrapa.

**Tabela 5.6.** Estimativas de Ecovalência (W) em porcentagem para os locais onde foram conduzidos ensaios de feijoeiro-comum com grãos pretos, nas épocas de semeadura do inverno e águas, em 2003 e 2004, em Goiás e Distrito Federal.

| Local           | Inverno 2003 | Inverno 2004 | Águas 2003 | Águas 2004 |
|-----------------|--------------|--------------|------------|------------|
|                 | W(%)         | W(%)         | W(%)       | W(%)       |
| Goiatuba        | <b>6,7</b>   | -            | -          | -          |
| Sto. Ant. Goiás | 11,4         | <b>5,2</b>   | -          | 14,3       |
| Rio Verde       | 11,1         | 12,7         | 38,1       | 19,3       |
| Urutaí          | 14,8         | <b>5,6</b>   | -          | 13,8       |
| Cristalina      | 39,6         | 19,8         | -          | 17,0       |
| Ipameri         | -            | -            | <b>7,1</b> | -          |
| Anápolis        | -            | 23,8         | <b>7,8</b> | 15,6       |
| Formosa         | -            | -            | 21,8       | -          |
| Planaltina      | 16,3         | 13,8         | 16,3       | 13,9       |
| Itumbiara       | -            | 10,7         | -          | -          |
| Morrinhos       | -            | 8,5          | -          | <b>6,2</b> |
| Campo Alegre    | -            | -            | 8,9        | -          |

Na safra das águas/2003, a metodologia tradicional formou três grupos, o primeiro formado por Ipameri, Anápolis e Campo Alegre; o segundo, por Planaltina e Campo Alegre; e o terceiro, por Ipameri e Formosa (Tabela 5.3). Entre os locais que apresentaram interação significativa, os pares de locais Rio Verde x Anápolis e Rio Verde x Campo Alegre apresentaram predominância da parte simples da interação (Tabela 5.4), ou seja, houve interação significativa, mas sem alterar a classificação dos genótipos. Diante desses resultados, Campo Alegre foi considerado o local mais redundante por se agrupar com quatro dos locais avaliados.

A análise de fatores foi realizada com três fatores finais. O primeiro agrupou os locais Ipameri, Anápolis e Formosa, e os demais locais não foram agrupados (Tabela 5.5), sendo os locais presentes no primeiro fator classificados como redundantes.

Os pares de ambientes com correlações significativas foram Ipameri x Anápolis e Ipameri x Formosa (Tabela 5.4), sendo Ipameri o local menos informativo por este método de análise. Os menores valores de ecovalência encontrados foram de 7,1%, para Ipameri, e 7,8% para Anápolis (Tabela 5.6). Nesta safra o local menos informativo foi Ipameri que em três das metodologias foi obtido como redundante.

Na safra das águas/2004, houve formação de três grupos utilizando-se a metodologia tradicional (Tabela 5.3). O primeiro formado por Morrinhos e Urutaí; o segundo por Anápolis e Cristalina; e o terceiro por Morrinhos e Rio Verde. Entre os pares de locais com interação significativa todos apresentaram predominância da fração complexa (Tabela 5.4), sendo então Morrinhos considerado o local menos informativo. A análise de fatores foi realizada com três fatores finais (Tabela 5.5), que explicaram 84,5% da variação. O primeiro fator agrupou Morrinhos, Urutaí, Rio Verde e Planaltina; o segundo fator agrupou Anápolis e Cristalina; e no terceiro Santo Antônio não se agrupou com outro local. Desta forma, os ambientes agrupados no primeiro fator foram os mais redundantes.

Os locais Morrinhos, Urutaí, Rio Verde e Planaltina se correlacionaram com maior número de locais (Tabela 5.4), sendo considerados redundantes nesta análise. O menor valor de ecovalência encontrado foi para Morrinhos, igual a 6,2% (Tabela 5.6), indicando que este foi o local que menos contribuiu para a interação GxA neste método. Para esta safra Morrinhos foi o local mais redundante, uma vez que em todos os métodos de análise foi considerado pouco informativo.

Para a época das águas, dois locais sob avaliação de informatividade foram obtidos como redundantes: Ipameri nas águas/2003, em três dos métodos de análise, devendo desta forma permanecer na rede de ensaios para mais avaliações, segundo os critérios de avaliação propostos, e Morrinhos, na safra das águas/2004, por todos os métodos de análise. Os resultados obtidos para Ipameri nas águas/2003 recomendam a sua permanência da rede de avaliações, porém este local não foi avaliado nas águas/2004. Isto aconteceu devido a problemas com as parcerias/e ou perda de ensaios, e não devido aos resultados obtidos neste trabalho. Com os resultados obtidos para Morrinhos tem-se forte indício de que este local trará poucas informações para a rede de avaliações, visto que

mesmo na safra das águas, onde se espera maior oscilação na pluviosidade e temperatura, este local foi detectado como redundante pelas quatro metodologias utilizadas. Pereira et al. (2010a), trabalhando com feijão carioca e com um conjunto de locais semelhante, também encontraram redundância para o local Morrinhos na safra das águas/2004, reforçando que este local não adiciona novas informações para as avaliações. Desta forma, Morrinhos poderá ser substituído por outro local mais informativo ou eliminado da rede de ensaios.

Das combinações de ambientes avaliadas, 91% apresentaram predominância da interação complexa, e 84% apresentaram baixos valores para a correlação de Pearson, evidenciando a grande interação existente dentro da região. Esses valores são semelhantes aos encontrados por Pereira et al. (2010a), que trabalharam com feijão carioca, em GO e DF, e encontraram 79% dos pares com interação complexa, e correlação média de 0,17, evidenciando a baixa similaridade existente entre os locais de teste, mostrando que a maioria destes foi informativa e reforçando a importância da avaliação nesses locais.

Entre os locais consolidados na rede de avaliações, Rio Verde e Planaltina estiveram presentes nas quatro safras estudadas, e em nenhuma delas foram obtidos como redundantes, o que evidencia a importância destes locais para a região, gerando informações relevantes para o programa de melhoramento da Embrapa, corroborando os resultados obtidos por Pereira et al. (2010a).

Alguns autores trabalharam com estratificação ambiental em diferentes culturas como feijão (Oliveira et al., 2005), soja (Mendonça et al., 2007) e milho (Garbuglio et al., 2007), porém, nestes trabalhos as análises foram realizadas com todos os ambientes envolvidos em conjunto, sem separar por épocas de semeadura. Esses autores observaram tendência de ocorrerem agrupamentos de acordo com a época, principalmente quando se utiliza a metodologia de Lin (1982). Oliveira et al. (2005) comentam que nos agrupamentos de acordo com a época, os locais exercem pequeno efeito na performance das linhagens. Os resultados obtidos por estes autores mostram que para se trabalhar com estratificação visando à eliminação ou substituição de locais, é melhor realizar as análises por safras, como foi utilizado no presente trabalho.

Diante das diversas metodologias existentes para estudos de estratificação ambiental é importante que se avalie as facilidades na utilização e interpretação dos resultados de cada uma, para se indicar a mais adequada aos programas de melhoramento. Na metodologia tradicional de Lin (1982), a interpretação dos resultados é mais difícil,

uma vez que diferentes agrupamentos podem conter um mesmo local, o que dificulta a interpretação e a tomada de decisão pelos melhoristas. A metodologia proposta por Cruz & Castoldi, juntamente com o cálculo das correlações geram resultados claros; porém, dependendo do número de locais avaliados, a quantidade de informação gerada é grande o que dificulta a visualização e tabulação dos resultados, visto que avaliar o grande número de combinações geradas é bastante trabalhoso.

Na metodologia proposta por Murakami & Cruz (2004), todos os valores de comunalidades foram superiores a 0,64 (Tabela 5.5), o que evidencia alta eficiência na representação das variáveis por uma parte comum (Mendonça et al., 2007). Na maioria das safras os ambientes que se agruparam em um mesmo fator apresentaram altas correlações (Tabela 5.4 e Tabela 5.5), corroborando os resultados obtidos por Oliveira et al. (2005), Garbuglio et al. (2007), Mendonça et al. (2007) e, ainda, o preconizado pelos autores da metodologia. Oliveira et al. (2005) comentam que a metodologia da análise de fatores é mais efetiva para mostrar similaridade entre os ambientes do que as propostas anteriormente, indicando potencial desse tipo de análise.

Em melhoramento genético a estratificação que se baseia em coeficientes de correlação permite minimizar os efeitos da interação genótipos x ambientes e, no caso de sua existência, permite que a parte atuante seja de natureza simples (Garbuglio et al., 2007). Dessa forma, duas vantagens podem ser citadas para esta metodologia, uma é a simplificação das análises, não precisando realizar os cálculos das correlações, a outra é que cada ambiente só participa de um agrupamento, o que torna a interpretação dos resultados mais fácil, sendo uma metodologia bastante prática. O método da ecovalência foi também de fácil utilização e interpretação.

### 5.3.2 Região Centro-Sul

Nas análises individuais de variância, a maioria dos ambientes (80%) apresentou diferenças significativas entre os genótipos (Tabela 5.7), o que indica a existência de variabilidade genética entre as linhagens avaliadas. Os valores dos coeficientes de variação (CV) oscilaram de 8,2% a 24,2%, indicando boa precisão experimental e estando de acordo com os relatados para a cultura (Oliveira et al., 2005; Pereira et al., 2010b). As médias de produtividade de grãos variaram de 871 kg ha<sup>-1</sup>, em

Roncador, a 4.110 kg ha<sup>-1</sup>, em Capão Bonito, evidenciando diferenças entre as condições ambientais a que os genótipos foram submetidos.

A partir das análises conjuntas por safra (Tabela 5.8), verificou-se que as fontes de variação ambientes e interação de genótipos com ambientes apresentaram diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) em todas as safras, mostrando que os genótipos apresentaram resposta diferenciada nos ambientes avaliados. Isso indica também a necessidade de estudos mais detalhados da interação GxA, justificando, por exemplo, a realização da estratificação ambiental.

**Tabela 5.7.** Locais, épocas de avaliação e resumo das análises de variância individuais, dos ensaios de feijoeiro-comum com grãos pretos, da Região Centro-Sul do Brasil, nos anos de 2003 e 2004.

| Ambientes        | Épocas     | Quadrado médio |         | Produtividade<br>media (kg ha <sup>-1</sup> ) | CV <sub>e</sub><br>(%) |
|------------------|------------|----------------|---------|---|------------------------|
|                  |            | Tratamentos    | Erro    |   |                        |
| Ponta Grossa-PR  | Seca 2003  | 389.129        | 187.132 | 1.949   | 22,2                   |
| Abelardo Luz-SC  | Seca 2003  | 147.838*       | 62.043  | 2.191   | 11,4                   |
| Roncador-PR      | Seca 2003  | 183.289**      | 50.485  | 1.383   | 16,3                   |
| Prudentópolis-PR | Seca 2004  | 220.195*       | 93.244  | 2.554   | 12,0                   |
| Ponta Grossa-PR  | Seca 2004  | 511.985**      | 83.494  | 3.163   | 9,1                    |
| Major Vieira-SC  | Seca 2004  | 178.248**      | 30.298  | 1.663   | 10,5                   |
| Abelardo Luz-SC  | Seca 2004  | 115.335        | 106.091 | 2.184   | 14,9                   |
| Ponta Grossa-PR  | Águas 2003 | 439.048*       | 175.261 | 3.569   | 11,7                   |
| Abelardo Luz-SC  | Águas 2003 | 387.347        | 262.498 | 3.916   | 13,1                   |
| Campos Novos-SC  | Águas 2003 | 64.346         | 37.031  | 1.056   | 18,2                   |
| Major Vieira-SC  | Águas 2003 | 293.351**      | 68.292  | 1.831   | 14,3                   |
| Concórdia-SC     | Águas 2003 | 354.428**      | 113.912 | 2.255   | 15,0                   |
| Taquarituba-SP   | Águas 2003 | 369.722**      | 56.549  | 2.217   | 10,7                   |
| Capão Bonito-SP  | Águas 2003 | 366.642        | 284.165 | 4.110   | 13,0                   |
| Londrina-PR      | Águas 2003 | 640.498*       | 219.548 | 1.938   | 24,2                   |
| Taquarituba-SP   | Águas 2004 | 751.390**      | 117.376 | 2.390   | 14,3                   |
| Itaberá-SP       | Águas 2004 | 299.100*       | 112.587 | 2.920   | 11,5                   |
| Paranapanema-SP  | Águas 2004 | 467.368**      | 96.048  | 2.611   | 11,9                   |
| Roncador-PR      | Águas 2004 | 101.612**      | 23.747  | 871   | 17,7                   |
| Prudentópolis-PR | Águas 2004 | 470.860**      | 40.774  | 2.246   | 9,0                    |
| Laranjeiras-PR   | Águas 2004 | 129.640*       | 43.358  | 2.538   | 8,2                    |
| Campos Novos-SC  | Águas 2004 | 80.000*        | 33.801  | 1.367   | 13,5                   |
| Abelardo Luz-SC  | Águas 2004 | 465.473*       | 158.017 | 3.958   | 10,0                   |
| Ponta Grossa-PR  | Águas 2004 | 630.750*       | 213.519 | 3.320   | 13,9                   |

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

Na safra da seca/2003, somente a metodologia tradicional, permitiu a formação de um grupo contendo os locais Abelardo Luz e Roncador (Tabela 5.9); não existindo, entre os pares de locais com interação significativa, porcentagem simples acima de 50% (Tabela 5.10). As demais metodologias não formaram grupos homogêneos quanto à classificação dos genótipos (Tabelas 5.10 e 5.11). A análise da ecovalência permitiu

verificar que todos os locais foram informativos, contribuindo com proporções similares para a interação (Tabela 5.12). Desta forma não houve redundância entre os locais avaliados nesta safra.

Na safra da seca/2004, a metodologia tradicional permitiu a formação de um grupo contendo os locais Major Vieira e Abelardo Luz (Tabela 5.9), não havendo predominância da fração simples para nenhum dos pares de locais com interação significativa (Tabela 5.10). As demais metodologias utilizadas não formaram agrupamento (Tabelas 5.10 e 5.11). Já o resultado da ecovalência mostrou como menos informativo o local Major Vieira, que contribuiu com 12,8% para a interação (Tabela 5.12). Com isso, para esta safra também não houve local redundante, visto que nenhum deles foi classificado como pouco informativo em pelo menos três dos métodos de análises.

Com os resultados obtidos para a época da seca, observa-se que os locais avaliados não apresentaram redundância. Desta forma, para esta época de semeadura todos os locais avaliados foram informativos, devendo permanecer na rede de avaliações de linhagens do grupo preto.

Na safra das águas/2003, houve a formação de quatro grupos (Tabela 5.9) pela metodologia tradicional (Lin, 1982). O primeiro grupo contendo os locais Campos Novos, Major Vieira, Capão Bonito, Taquarituba e Concórdia; o segundo, formado por Abelardo Luz e Campos Novos; o terceiro, com Ponta Grossa e Abelardo Luz; e o quarto contendo Ponta Grossa e Campos Novos. Entre os pares de locais com interação significativa não houve predominância da parte simples da interação (Tabela 5.10). Desta forma, Campos Novos foi o local mais redundante segundo esta metodologia, uma vez que agrupou-se com seis dos locais conduzidos nesta safra.

A análise de fatores foi realizada com quatro fatores finais, que explicaram 82% da variação total (Tabela 5.11). O primeiro fator permitiu o agrupamento dos locais Campos Novos e Major Vieira. No segundo fator ficaram agrupados Ponta Grossa e Abelardo Luz e, no terceiro, Taquarituba e Londrina (Tabela 5.11). Somente o par de locais Campos Novos x Major Vieira apresentou correlação significativa (Tabela 5.10). A avaliação da ecovalência permitiu identificar o local Campos Novos como o que menos contribuiu para a interação ( $W = 3,5\%$ ) (Tabela 5.12). Com esses resultados pode-se concluir que o local menos informativo para esta safra foi Campos Novos, que foi classificado como redundante por todos os métodos de análise.

**Tabela 5.8.** Análise de variância conjunta para produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) de 13 genótipos de feijoeiro-comum com grãos pretos, avaliados em quatro diferentes safras na Região Centro-Sul do Brasil.

| Fonte de variação | Seca/2003 |             | Seca/2004 |              | Águas/2003         |              | Águas/2004         |              |
|-------------------|-----------|-------------|-----------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|
|                   | GL        | QM          | GL        | QM           | GL                 | QM           | GL                 | QM           |
| Blocos/Ambientes  | 6         | 98.811      | 8         | 432.257      | 16                 | 227.396      | 18                 | 141.977      |
| Genótipos (G)     | 12        | 348.392     | 12        | 269.262      | 12                 | 657.065      | 12                 | 761.913      |
| Ambientes (A)     | 2         | 6.704.656** | 3         | 15.545.223** | 7                  | 48.077.318** | 8                  | 34.093.159** |
| G x A             | 24        | 185.932*    | 36        | 252.167**    | 64 <sup>(1)</sup>  | 423.434**    | 70 <sup>(1)</sup>  | 451.591**    |
| Erro médio        | 72        | 99.887      | 96        | 78.282       | 142 <sup>(1)</sup> | 205.733      | 152 <sup>(1)</sup> | 132.509      |
| CV(%)             |           | 17          |           | 12           |                    | 17           |                    | 15           |
| Média             |           | 1.841       |           | 2.391        |                    | 2.611        |                    | 2.469        |

<sup>(1)</sup>Análises com graus de liberdade ajustados segundo Cochran (1954); \*\*, \* Significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste de F.



**Tabela 5.9.** Agrupamento dos locais com interação genótipos x locais não significativa, segundo Lin (1982), e seus respectivos quadrados médios da interação genótipos x locais ( $QM_{G \times L}$ ), F calculados e tabelados a 5% de probabilidade, por combinação de época de semeadura/ano.

| Grupos     | Ambientes  | $QM_{G \times L}$ | F     |      |
|------------|--|-------------------|-------|------|
|            |  |                   | Calc. | Tab. |
| Seca 2003  |  |                   |       |      |
| A          | Abelardo Luz, Roncador   | 49.421            | 1,48  | 1,88 |
| Seca 2004  |  |                   |       |      |
| A          | Major Vieira, Abelardo Luz                                       | 42.424            | 1,63  | 1,84 |
| Águas 2003 |  |                   |       |      |
| A          | Campos Novos, Major Vieira, Capão Bonito, Taquarituba, Concórdia | 66.714            | 1,32  | 1,42 |
| B          | Abelardo Luz, Campos Novos                                       | 70.172            | 1,38  | 1,8  |
| C          | Ponta Grossa, Abelardo Luz                                       | 78.115            | 1,54  | 1,8  |
| D          | Ponta Grossa, Campos Novos                                       | 90.928            | 1,79  | 1,8  |
| Águas 2004 |  |                   |       |      |
| A          | Roncador, Campos Novos, Laranjeiras, Itaberá                     | 42.623            | 1,37  | 1,47 |
| B          | Roncador, Abelardo Luz   | 51.718            | 1,66  | 1,79 |

Na safra das águas/2004, a metodologia tradicional permitiu a formação de dois grupos (Tabela 5.9), o primeiro contendo os locais Roncador, Campos Novos, Laranjeiras e Itaberá, e o segundo, os locais Roncador e Abelardo Luz. Entre os pares de locais com interação significativa, Roncador x Prudentópolis e Campos Novos x Abelardo Luz apresentaram porcentagem simples da interação superior a 50% (Tabela 5.10), indicando que a interação que ocorre é predominantemente aquela que não altera a classificação dos genótipos. Desta forma, por esta metodologia, Roncador foi o local mais redundante, agrupando-se com cinco dos locais avaliados nesta safra.

Na análise de fatores ocorreu a formação de dois grupos, um no primeiro fator, com os locais Taquarituba e Paranapanema e outro, no segundo fator, com os locais Prudentópolis e Laranjeiras (Tabela 5.11). Os pares de locais com correlações significativas foram Taquarituba x Paranapanema e Roncador x Abelardo Luz (Tabela 5.10). Os locais que menos contribuíram para a interação, segundo a análise da ecovalência, foram Laranjeiras, Campos Novos e Roncador, com valores de, respectivamente, 3,9%, 5,3% e 5,9% (Tabela 5.12). Diante dos resultados, o local menos informativo para esta safra foi Roncador, que em três das metodologias utilizadas foi classificado como redundante.

Em síntese, na época das águas dois locais foram identificados como redundantes: Campos Novos (consolidado na rede) na safra de 2003, por todos os métodos de análise, e Roncador (sob avaliação da informatividade) na safra de 2004, por três

métodos de análise. Desta forma, estes deverão permanecer na rede de ensaios para mais avaliações.

**Tabela 5.10.** Porcentagem simples (PS%) da interação genótipos x ambientes, para os pares de ambientes com interação significativa segundo a metodologia de Lin, e estimativas das correlações de Pearson entre locais (r) em cada safra.

| Amb <sup>1</sup> | PS % | r <sup>3</sup> | Amb     | PS %        | R             | Amb    | PS % | R            |
|------------------|------|----------------|---------|-------------|---------------|--------|------|--------------|
| Seca 2003        |      |                |         |             |               |        |      |              |
| 1 x 2            | 27,3 | 0,28           | 1 x 3   | 23,6        | 0,29          | 2 x 3  | -    | 0,11         |
| Seca 2004        |      |                |         |             |               |        |      |              |
| 4 x 1            | 3,6  | -0,09          | 4 x 2   | 0,0         | <b>-0,58*</b> | 1 x 2  | 29,5 | 0,12         |
| 4 x 5            | 0,0  | -0,17          | 1 x 5   | 40,5        | 0,44          | 5 x 2  | -    | 0,14         |
| Águas 2003       |      |                |         |             |               |        |      |              |
| 1 x 2            | -    | 0,43           | 2 x 8   | 0,0         | -0,18         | 5 x 9  | -    | 0,44         |
| 1 x 6            | -    | -0,13          | 2 x 9   | 4,8         | 0,09          | 5 x 10 | 0,9  | -0,12        |
| 1 x 5            | 0,0  | -0,35          | 2 x 10  | 19,1        | 0,29          | 7 x 8  | -    | 0,31         |
| 1 x 7            | 4,6  | 0,08           | 6 x 5   | -           | <b>0,67*</b>  | 7 x 9  | -    | 0,38         |
| 1 x 8            | 0,0  | -0,14          | 6 x 7   | -           | 0,26          | 7 x 10 | 8,1  | 0,07         |
| 1 x 9            | 0,0  | -0,33          | 6 x 8   | -           | 0,16          | 8 x 9  | -    | 0,44         |
| 1 x 10           | 20,8 | 0,34           | 6 x 9   | -           | 0,32          | 8 x 10 | 30,8 | 0,45         |
| 2 x 6            | -    | 0,10           | 6 x 10  | 44,7        | 0,04          | 9 x 10 | 0,0  | -0,14        |
| 2 x 5            | 5,3  | 0,08           | 5 x 7   | -           | 0,00          | -      | -    | -            |
| 2 x 7            | 0,0  | -0,20          | 5 x 8   | -           | 0,41          | -      | -    | -            |
| Águas 2004       |      |                |         |             |               |        |      |              |
| 8 x 11           | 25,0 | 0,24           | 11 x 6  | -           | 0,12          | 3 x 2  | -    | <b>0,59*</b> |
| 8 x 12           | 47,1 | <b>0,67*</b>   | 11 x 2  | 14,5        | 0,22          | 3 x 1  | 21,9 | -0,17        |
| 8 x 3            | 14,0 | -0,42          | 11 x 1  | 25,8        | 0,33          | 4 x 13 | 48,7 | 0,48         |
| 8 x 4            | 12,9 | 0,19           | 12 x 3  | 0,1         | -0,46         | 4 x 6  | 34,2 | 0,08         |
| 8 x 13           | 47,4 | 0,30           | 12 x 4  | 0,0         | -0,30         | 4 x 2  | 14,2 | 0,26         |
| 8 x 6            | 31,5 | -0,18          | 12 x 13 | 31,2        | 0,23          | 4 x 1  | 13,3 | 0,23         |
| 8 x 2            | 0,0  | -0,17          | 12 x 6  | 32,6        | 0,06          | 13 x 6 | -    | 0,44         |
| 8 x 1            | 29,2 | 0,49           | 12 x 2  | 0,0         | -0,41         | 13 x 2 | 16,6 | -0,02        |
| 11 x 12          | 16,6 | 0,26           | 12 x 1  | 16,6        | 0,28          | 13 x 1 | 29,1 | 0,07         |
| 11 x 3           | -    | 0,02           | 3 x 4   | <b>51,8</b> | 0,44          | 6 x 2  | 50,9 | 0,35         |
| 11 x 4           | 22,2 | 0,35           | 3 x 13  | -           | 0,22          | 6 x 1  | 10,5 | -0,53        |
| 11 x 13          | -    | 0,08           | 3 x 6   | -           | 0,45          | 2 x 1  | 3,1  | 0,04         |

<sup>1</sup>Ambientes (1-Ponta Grossa, 2-Abelardo Luz, 3-Roncador, 4-Prudentópolis, 5-Major Vieira, 6-Campos Novos, 7-Concórdia, 8-Taquarituba, 9-Capão Bonito, 10-Londrina, 11-Itaberá, 12-Paranapanema, 13-Laranjeiras); <sup>3</sup>Correlação de Pearson; \*Correlação significativa a 5% de Probabilidade.

**Tabela 5.11.** Estratificação ambiental por meio da análise de fatores, com 13 genótipos de feijoeiro-comum com grãos pretos, avaliados em quatro diferentes safras, na Região Central do Brasil.

| Estimativa dos Autovalores |                 |                  | Cargas Fatoriais Após Rotação |               |              |               |              |              |
|----------------------------|-----------------|------------------|-------------------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|--------------|
| Fator                      | $\lambda^{(1)}$ | % <sup>(2)</sup> | Ambientes                     | Fator 1       | Fator 2      | Fator 3       | Fator 4      | $\Phi^{(3)}$ |
| Seca 2003                  |                 |                  |                               |               |              |               |              |              |
| 1                          | 1,46            | 48,69            | Ponta Grossa                  | 0,147         | 0,141        | <b>-0,979</b> | -            | 1            |
| 2                          | 0,90            | 78,53            | Abelardo Luz                  | 0,043         | <b>0,990</b> | -0,137        | -            | 1            |
| 3                          | 0,64            | 100,00           | Roncador                      | <b>0,989</b>  | 0,043        | -0,143        | -            | 1            |
| Seca 2004                  |                 |                  |                               |               |              |               |              |              |
| 1                          | 1,78            | 44,47            | Prudentópolis                 | <b>0,879</b>  | 0,042        | -0,159        | -            | 0,799        |
| 2                          | 1,24            | 75,53            | Ponta Grossa                  | -0,054        | <b>0,966</b> | 0,231         | -            | 0,989        |
| 3                          | 0,56            | 89,63            | Major Vieira                  | -0,089        | 0,234        | <b>0,962</b>  | -            | 0,988        |
| 4                          | -               | -                | Abelardo Luz                  | -0,890        | 0,127        | -0,022        | -            | 0,808        |
| Águas 2003                 |                 |                  |                               |               |              |               |              |              |
| 1                          | 2,53            | 31,65            | Ponta Grossa                  | -0,359        | <b>0,798</b> | 0,096         | 0,175        | 0,805        |
| 2                          | 1,72            | 53,11            | Abelardo Luz                  | 0,245         | <b>0,842</b> | 0,005         | -0,225       | 0,820        |
| 3                          | 1,33            | 69,73            | Campos Novos                  | <b>0,797</b>  | 0,151        | -0,006        | 0,165        | 0,685        |
| 4                          | 0,99            | 82,05            | Major Vieira                  | <b>0,907</b>  | -0,132       | 0,111         | -0,148       | 0,874        |
| -                          | 0,76            | 91,58            | Concórdia                     | 0,102         | -0,019       | 0,104         | <b>0,958</b> | 0,939        |
| -                          | 0,41            | 96,68            | Taquarituba                   | 0,318         | -0,280       | <b>0,830</b>  | 0,218        | 0,915        |
| -                          | 0,20            | 99,17            | Capão Bonito                  | 0,653         | -0,164       | 0,064         | 0,423        | 0,637        |
| -                          | 0,07            | 100,00           | Londrina                      | -0,131        | 0,392        | <b>0,848</b>  | -0,024       | 0,890        |
| Águas 2004                 |                 |                  |                               |               |              |               |              |              |
| 1                          | 2,79            | 31,03            | Taquarituba                   | -0,330        | <b>0,741</b> | -0,320        | 0,158        | 0,786        |
| 2                          | 2,24            | 55,92            | Itaberá                       | -0,090        | 0,242        | -0,075        | <b>0,832</b> | 0,764        |
| 3                          | 1,49            | 72,50            | Paranapanema                  | 0,031         | <b>0,945</b> | 0,081         | 0,117        | 0,915        |
| 4                          | 1,00            | 83,56            | Roncador                      | -0,404        | -0,659       | 0,329         | 0,277        | 0,782        |
| -                          | 0,63            | 90,57            | Prudentópolis                 | <b>-0,819</b> | -0,270       | -0,215        | 0,262        | 0,860        |
| -                          | 0,42            | 95,23            | Laranjeiras                   | <b>-0,859</b> | 0,266        | -0,291        | 0,055        | 0,896        |
| -                          | 0,28            | 98,32            | Campos Novos                  | -0,242        | -0,022       | <b>0,914</b>  | 0,240        | 0,952        |
| -                          | 0,11            | 99,52            | Abelardo Luz                  | -0,093        | -0,528       | 0,165         | 0,666        | 0,759        |
| -                          | 0,04            | 100,00           | Ponta Grossa                  | -0,207        | -0,267       | -0,754        | 0,354        | 0,808        |

<sup>(1)</sup>Autovalores; <sup>(2)</sup>Porcentagem acumulada da variação explicada pelos autovalores; <sup>(3)</sup>Comunalidades.

Uma observação importante é que os locais de avaliação não foram os mesmos em todas as safras avaliadas. Essa variação entre os locais, de uma safra para outra, é comum e ocorre em razão da dificuldade de manutenção de parcerias duradouras para a avaliação dos genótipos, e, também, em razão de perdas ocasionais de ensaios. Vale ressaltar que a rede de avaliações da Embrapa é bastante dinâmica e, por isso, observa-se a entrada e, ou, saída de alguns locais na rede de um ano para outro. Mesmo quando um grupo de locais estava presente nas duas safras de mesma época de semeadura, não houve repetição dos locais apontados como redundantes. Esse fato pode ser explicado devido às condições ambientais imprevisíveis que ocorrem de um ano para outro (Ramalho et al., 1998; Pereira et al., 2011) e, também, devido a alteração no conjunto de locais nos anos de avaliação, que podem levar a obtenção de resultados diferentes. Outra observação

importante, ressaltada por Pereira et al. (2010b) e confirmada no presente trabalho, é que os locais avaliados em todas as safras, Ponta Grossa e Abelardo Luz, foram sempre classificados como informativos, evidenciando a importância da permanência destes na rede de avaliação e mostrando também que estes são contrastantes.

**Tabela 5.12.** Estimativas de Ecovalência (W) em porcentagem para os locais onde foram conduzidos ensaios de feijoeiro-comum com grãos pretos, nas épocas de semeadura da seca e águas, em 2003 e 2004, na Região Centro-Sul do Brasil.

| Local         | Seca 2003 | Seca 2004   | Águas 2003 | Águas 2004 |
|---------------|-----------|-------------|------------|------------|
|               | W(%)      | W(%)        | W(%)       | W(%)       |
| Ponta Grossa  | 40,1      | 34,0        | 17,7       | 16,5       |
| Abelardo Luz  | 29,3      | 19,4        | 13,6       | 15,9       |
| Roncador      | 30,6      | -           | -          | <b>5,9</b> |
| Prudentópolis | -         | 33,8        | -          | 12,3       |
| Major Vieira  | -         | <b>12,8</b> | 10,9       | -          |
| Campos Novos  | -         | -           | <b>3,5</b> | <b>5,3</b> |
| Concórdia     | -         | -           | 12,3       | -          |
| Taquarituba   | -         | -           | 10,1       | 18,7       |
| Capão Bonito  | -         | -           | 12,2       | -          |
| Londrina      | -         | -           | 19,8       | -          |
| Itaberá       | -         | -           | -          | <b>7,0</b> |
| Paranapanema  | -         | -           | -          | 14,6       |
| Laranjeiras   | -         | -           | -          | <b>3,9</b> |

Outro fato que contribuiu para a baixa ocorrência e coincidência dos agrupamentos foi a alta contribuição da fração complexa da interação, visto que, das 73 combinações de ambientes avaliadas, apenas quatro (6%) apresentaram porcentagem simples superiores a 50%; e, ainda, a baixa ocorrência de correlação entre os pares de ambientes, sendo que apenas três combinações de ambientes apresentaram correlações significativas, o que corresponde a 4%. Esses valores são semelhantes aos encontrados por Pereira et al. (2010b), que trabalharam com feijão carioca e encontraram 4% dos pares de locais com interação simples, e 14% das combinações com correlação de Pearson significativa. Outros autores também encontraram forte presença da interação genótipos x ambientes para a produção de grãos, realizando estratificação ambiental; entretanto, esses autores consideraram ensaios de várias safras em uma só análise. Garbuglio et al. (2007), trabalhando com milho nos Estados do Paraná e Santa Catarina, encontraram 87% dos pares de ambientes com predominância de interação complexa e 56% com baixa correlação de Pearson. Mendonça et al. (2007), trabalhando com soja nos mesmos estados, encontraram 92% dos pares com predominância da interação complexa e 90% com baixa correlação de Pearson.

Pereira et al. (2010b), trabalhando com feijão carioca nessa mesma região, com um conjunto de locais bastante similar, recomendaram a eliminação do local Roncador da rede de avaliação de feijoeiro-comum tipo carioca. Este local foi obtido como redundante em duas das safras avaliadas, águas/2003 e seca/2003. Porém, os autores não identificaram locais redundantes por época, mas considerando todas as safras estudadas em conjunto. No presente trabalho este local foi apontado como redundante apenas na safra das águas/2004, e devido a isto não foi indicado para eliminação. Comparando-se os dois trabalhos pode-se observar que não existe consistência entre os resultados obtidos, provavelmente devido aos fatos comentados acima e, também, devido a algumas diferenças entre ambos, quanto aos locais de avaliação, metodologias utilizadas e critérios adotados.

A metodologia da ecovalência foi utilizada no presente trabalho e por Pereira et al. (2010b) e mostrou resultados bastante similares, sendo que em três das quatro safras avaliadas, os locais que menos contribuíram para a interação foram coincidentes, Campos Novos (águas/2003), Laranjeiras (águas/2004) e Major Vieira (seca/2004). Esse resultado mostra que esta metodologia é bastante consistente, além de ser de fácil utilização e interpretação.

Enfim, nessa região nenhum local foi apontado como redundante em mais de uma safra, considerando-se os métodos de análise utilizados e os critérios propostos. Em algumas safras houve agrupamento em somente uma das metodologias. O resultado evidencia a importância de todos os locais de avaliação estudados; ou seja, a retirada de quaisquer deles prejudicaria a indicação de cultivares, uma vez que todos eles foram informativos e gerando informações importantes para as avaliações dos genótipos.

#### 5.4 CONCLUSÕES

- i) Na Região Central do Brasil, Morrinhos pode ser eliminado da rede de avaliação final de feijoeiro-comum com grãos pretos da Embrapa, na época das águas.
- ii) Todos os locais de avaliação foram informativos na Região Centro-Sul, gerando informações importantes para o programa de melhoramento, não sendo possível eliminar nenhum dos locais nesta região.
- iii) A utilização de métodos de estratificação ambiental em programas de melhoramento de feijoeiro-comum fornece informações que permitem conhecer a contribuição de cada ambiente para a formação de uma rede de avaliação consistente e eficiente.

## 5.5 REFERÊNCIAS

- AGRIANUAL. **Anuário da Agricultura Brasileira**. Feijão. Instituto FNP: São Paulo, 2010, p. 318-323.
- BERTOLDO, J. G.; COIMBRA, J. L. M.; NODARI, R. O.; GUIDOLIN, S. H.; BARILI, L. D.; VALE, N. M. do; ROZZETO, D. S. Stratification of the state of Santa Catarina in macro-environments for bean cultivation. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 9, n. 4, p. 335-343, 2009.
- Brasil (2006) Instrução Normativa n° 25, de 23 de maio de 2006. Anexo I. Requisitos mínimos para determinação do valor de cultivo e uso de feijão (*Phaseolus vulgaris*) para inscrição no registro nacional de cultivares – RNC. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília. Disponível em <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegisconsulta/servlet/VisualizarAnexo?id=11376>>. Acesso em Novembro de 2010.
- CARBONELL, S. A. M.; POMPEU, A. S. Estratificação de ambientes em experimentos de feijoeiro no estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 56, n. 1, p. 207-218, 1997.
- CARBONELL, S. A. M.; AZEVEDO FILHO, J. A.; DIAS, L. A. dos S.; GARCIA, A. A. F.; MORAIS, L. K. de. Common bean cultivars and line interactions with environments. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 2, p. 169-177, 2004.
- COCHRAN, W. G.; The combination of estimates from different experiments. **Biometrics**, Baltimore, v. 10, n. 1, p. 101-129, mar. 1954.
- CRUZ, C. D.; CASTOLDI, F. Decomposição da interação genótipos x ambientes em partes simples e complexa. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 38, n. 219, p. 422-430, 1991.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. v. 1, 2. ed. Viçosa: UFV, 2001. 390 p.
- CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. v. 2, 2. ed. rev. Viçosa: UFV, 2006. 585 p.
- CRUZ, C. D. **Programa Genes**: aplicativo computacional em genética e estatística: versão 2007.0.0. Disponível em: <<http://www.ufv.br/dbg/genes/genes.htm>>. Acesso em: 20 maio 2009.
- DEL PELOSO, M. J.; MELO, L. C. **Potencial de rendimento da cultura do feijoeiro-comum**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. 131 p.
- FEIJÃO: dados conjunturais da produção de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) no Brasil: 1985 a 2009. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/apps/socioeconomia/index.htm>>. Acesso em: Março. 2011.
- GARBUGLIO, D. D.; GERAGE, A. C.; ARAÚJO, P. M. de; FONSECA JÚNIOR, N. da S.; SHIOGA, P. S. Análise de fatores e regressão bissegmentada em estudos de

estratificação ambiental e adaptabilidade em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 2, p. 183-191, 2007.

LIN, C. S. Grouping genotypes by a cluster method directly related to genotype-environment interaction mean square. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 62, p. 277-280, 1982.

MELO, L. C.; MELO, P. G. S.; FARIA, L. C. de; DIAZ, J. L. C.; DEL PELOSO, M. J.; RAVA, C. A.; COSTA, J. G. C. da. Interação com ambientes e estabilidade de genótipos de feijoeiro-comum na Região Centro-Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 5, p. 715-723, 2007.

MENDONÇA, O.; CARPENTIERI - PÍPOLO, V.; GARBUGLIO, D. D.; FONSECA JUNIOR, N. da S. Análise de fatores e estratificação ambiental na avaliação da adaptabilidade e estabilidade em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 11, p. 1567- 1575, 2007.

MURAKAMI, D. M.; CRUZ, C. D. Proposal of methodologies for environment stratification and analysis of genotype adaptability. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 4, n. 1, p. 7-11, 2004.

OLIVEIRA, G. V. de; CARNEIRO, P. C. de S.; DIAS, L. A. dos S.; CARNEIRO, J. E. de S.; CRUZ, C.D. Factor analysis in the environment stratification for the evaluation of common bean cultivars. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 5, n. 2, p. 166-173, 2005.

PACHECO, R. M.; DUARTE, J. B.; SOUZA P. I. M. de; SILVA, S. A. DA; NUNES JUNIOR, J. Key locations for soybean genotype assessment in Central Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 5, p. 478-486, 2009.

PEREIRA, H. S.; MELO, L. C.; FARIA, L. C. de; DEL PELOSO, M. J.; COSTA, J. G. C. da; RAVA, C. A.; WENDLAND, A. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijoeiro-comum com grãos tipo carioca na Região Central do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 1, p. 29-37, 2009.

PEREIRA, H. S.; MELO, L. C ; FARIA, L. C. de; DEL PELOSO, M. J.; WENDLAND, A. Estratificação ambiental na avaliação de genótipos de feijoeiro-comum tipo Carioca em Goiás e no Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 6, p. 554-562, 2010a.

PEREIRA, H. S.; MELO, L. C ; FARIA, L. C. de; DEL PELOSO, M. J.; WENDLAND, A. Environmental Stratification in Paraná and Santa Catarina States to evaluate common bean genotypes. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 10, n. 2, p. 132-139, 2010b.

PEREIRA, H. S.; MELO, L. C.; FARIA, L. C. de; DEL PELOSO, M. J.; DÍAZ, J. L. C.; WENDLAND, A. Indicação de cultivares de feijoeiro-comum baseada na avaliação conjunta de diferentes épocas de semeadura. **Pesquisa e Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 6, p. 571-578, 2010c.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. dos; ZIMMERMANN, M. J. O. **Genética quantitativa em plantas autógamas**. Goiânia: UFG, 1993. 271 p.

RAMLHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, P. S. J. Interações genótipos x épocas de semeadura, anos e locais na avaliação de cultivares de feijão na região Sul e Alto Paranaíba em Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 22, n. 2, p. 167-181, 1998.

WRICKE, G. Zur Berechnung der Ökovalenz bei Sommerweizen und Hafer. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung*, v.52, p.127-138, 1965.



## 6 CONCLUSÕES GERAIS

A análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica, utilizando-se as metodologias de Annicchiarico e AMMI (MPEAP), identificou a linhagem CNFP 8000 com maior adaptação ampla. Esta linhagem foi lançada em 2009 com a denominação de BRS Esplendor. A linhagem com maior adaptação específica na Região Central do Brasil foi CNFP 8000, enquanto na Região Centro-Sul foi CNFP 7994. Já a metodologia AMMI (MPEA) identificou como mais estável o genótipo CNFP 7972, na Região Central, e, TB9409, na Região Centro-Sul. Considerando-se as duas regiões o genótipo mais estável foi o BRS Valente. Não foi possível identificar, para as duas regiões, considerando-se as duas metodologias simultaneamente, um genótipo com boa adaptabilidade/estabilidade.

A decomposição da interação GxA mostrou resultados discrepantes entre as duas regiões estudadas. As épocas de semeadura e os anos foram os fatores mais importantes para a interação na Região Central enquanto, locais e anos foram os mais importantes na Região Centro-Sul. Isto demonstra a importância de se realizar esse tipo de análise para monitorar a condução dos programas de melhoramento. Para a Região Central, a maioria dos genótipos apresentou adaptação específica, enquanto na Região Centro-Sul a maioria dos genótipos apresentou adaptação ampla. A linhagem CNFP 8000 foi a de maior adaptação ampla às duas épocas de semeadura e às duas regiões conjuntamente.

A estratificação ambiental permitiu identificar o município de Morrinhos, em Goiás, como redundante na Região Central, sendo passível de ser eliminado da rede de ensaios e/ou substituído por um novo local mais informativo. Na Região Centro-Sul, não foram encontrados locais redundantes, devendo todos os locais avaliados permanecerem na rede de ensaios. Novos locais podem ser inseridos na rede para que sejam realizados mais estudos e confirmados os ambientes mais representativos para as avaliações finais de linhagens nestas regiões.

O presente trabalho permitiu o detalhamento da interação de genótipos com ambientes, possibilitando elucidar diversos de seus aspectos. Além disso, mostrou a importância da realização desse tipo de estudo para auxiliar programas de melhoramento.

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
GPT/BC/UFG**

T682i Torga, Paula Pereira.  
Interação de genótipos com ambientes em ensaios de feijoeiro-comum do grupo preto: implicações na recomendação de cultivares [manuscrito] / Paula Pereira Torga. - 2011.  
104 f. : figs., tabs.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Patrícia Guimarães Santos Melo.  
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, 2010.  
Bibliografia.

1. Melhoramento Genético Vegetal. 2. *Phaseolus vulgaris*. 3. Interação genótipos x ambientes. 4. Recomendação de cultivares.  
I.Título.

CDU: 635.652