

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

IGOR GONÇALVES DE PAULA

**ADAPTABILIDADE FENOTÍPICA DAS CULTIVARES DE FEIJÃO CARIOCA
RECOMENDADAS NAS ÚLTIMAS CINCO DÉCADAS**

VIÇOSA – MINAS GERAIS

2017

IGOR GONÇALVES DE PAULA

**ADAPTABILIDADE FENOTÍPICA DAS CULTIVARES DE FEIJÃO CARIOCA
RECOMENDADAS NAS ÚLTIMAS CINCO DÉCADAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Viçosa como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo. Modalidade: trabalho científico. Orientador: Prof. José Eustáquio de Souza Carneiro. Coorientador: Tiago de Souza Marçal.

VIÇOSA – MINAS GERAIS

2017

IGOR GONÇALVES DE PAULA

**ADAPTABILIDADE FENOTÍPICA DAS CULTIVARES DE FEIJÃO CARIOCA
RECOMENDADAS NAS ÚLTIMAS CINCO DÉCADAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal de Viçosa como parte das
exigências para a obtenção do título de Engenheiro
Agrônomo. Modalidade: trabalho científico.

APROVADO: 8 de dezembro de 2017.

José Eustáquio de Souza Carneiro

(orientador)

(UFV)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pois sem Ele nada teria acontecido ao longo da minha vida, não somente nesses anos como universitário, mas em todos os momentos por ser o autor do meu destino, meu guia, socorro presente na hora da angústia e o maior mestre que eu poderia ter.

À Universidade Federal de Viçosa, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte superior, com a confiança no mérito e ética aqui presentes.

Ao meu orientador Prof. José Eustáquio de Souza Carneiro, pelo empenho dedicado à elaboração deste trabalho, pela oportunidade, orientação, apoio, confiança e por ter me ensinado muito.

Gostaria de realizar um agradecimento especial aos estagiários, funcionários, professores e aos alunos de pós-graduação do laboratório do Programa Feijão por me acolher durante grande parte da minha formação acadêmica, por todos os ensinamentos e oportunidades fornecidos. Gostaria também de agradecer à Micheli Thaise Della Flora Possobom e ao meu coorientador Tiago de Souza Marçal que não mediram esforços para me acompanhar na elaboração desse trabalho, compartilhando comigo todo o seu conhecimento, sua paciência e sua dedicação e não somente por ter me ensinado, mas por ter me feito aprender.

Aos meus pais, Gildemar Gonçalves de Paula e Maria da Penha de Paula, por me darem o mais puro amor do mundo, por não medirem esforços para realizar cada sonho meu, pela educação e exemplo de caráter. Agradeço à minha família, a melhor que Deus poderia me dar, em especial ao meu irmão Ramon, por ser também um colaborador deste trabalho e meu maior exemplo de vida. À minha prima Carla por compartilhar todos os momentos de dificuldades e felicidades durante a minha vida. Aos meus amigos, que tantas vezes foram incentivo, meus companheiros e suporte em momentos difíceis, sem vocês, eu não teria conseguido. Muito obrigado a todos.

RESUMO

O cultivo do feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma prática de grande importância sócio-econômica no Brasil, tendo em vista que o país é um dos maiores produtores e consumidores do grão. No intuito de aumentar a média de produtividade, os atuais produtores de feijão-comum buscam a utilização de cultivares melhoradas, pela facilidade na obtenção das sementes, além de alta relação custo/benefício. Os programas de melhoramento vêm cada vez mais se empenhando para a obtenção dessas cultivares. Porém, um dos maiores empecilhos neste processo é a interação genótipos x ambientes (G x A), que proporciona diferentes comportamentos de um mesmo genótipo quando este é exposto a condições ambientais distintas. Com o propósito de diminuir esse efeito, uma alternativa bem utilizada é a busca de cultivares que possuam boa adaptabilidade e estabilidade de produção nas diferentes condições ambientais de cultivo. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o comportamento das cultivares de feijão do tipo carioca, recomendadas no Brasil nos últimos 50 anos. Foram utilizadas 40 cultivares de feijão do tipo carioca recomendadas por diferentes instituições de pesquisa durante as últimas cinco décadas. O caráter avaliado foi a produtividade de grãos nas safras da seca e inverno, nos anos de 2013, 2015 e 2016, em dois locais distintos, totalizando nove ambientes de estudo. Para a análise de adaptabilidade e estabilidade a estratégia utilizada foi o método dos centróides. As cultivares Campos Gerais, VC15, Notável, Estilo e IAC Imperador foram classificadas como genótipos de adaptabilidade geral com probabilidades de 49,47%, 39,82%, 38,45%, 38,15% e 36,34%, respectivamente. Observou-se aumento significativo da produtividade de grãos a partir da década de 1990, evidenciando a contribuição dos programas de melhoramento para o caráter. Houve progresso no rendimento médio das cultivares de feijão do tipo carioca lançadas nos últimos 50 anos no conjunto de ambientes avaliados, além de uma evolução da adaptabilidade das cultivares ao longo dos anos, que migrou da classe IV (baixa adaptabilidade) para a classe I (adaptabilidade geral).

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L.; produtividade; feijoeiro; centróide; ideótipo.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	6
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	8
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
4. CONCLUSÃO	19
5. REFERÊNCIAS	20

1. INTRODUÇÃO

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é um dos mais importantes constituintes da dieta da população brasileira. O grão é reconhecido por ser uma excelente fonte de carboidratos, proteínas, vitaminas e minerais, especialmente o ferro (Mesquita *et al.*, 2007). Atualmente o Brasil é um dos maiores produtores e consumidores do grão, atingindo na safra agrícola de 2015/2016 uma produção de 2,7 milhões de toneladas em uma área plantada de aproximadamente 1,8 milhões de hectares (Conab, 2016).

Com os investimentos na pesquisa da cultura do feijoeiro, no início dos anos 50, verificou-se um relativo incremento na produção e uma redução significativa da área plantada. Isso se deve ao fato do aumento na produtividade média de grãos, que passou de 500 kg ha⁻¹ para aproximadamente 1100 kg ha⁻¹ (Conab, 2016). Esta produtividade ainda é considerada baixa, tendo em vista que ela pode estar diretamente relacionada com o nível tecnológico dos produtores e também com fatores climáticos, como escassez ou má distribuição das chuvas ao longo do ano. Há relatos de produtores que, com o auxílio de tecnologias como a irrigação, atingem até 3000 kg ha⁻¹ (Borém & Carneiro, 2015).

Pode-se dividir o cultivo do feijoeiro em três diferentes safras: das águas (plantio de agosto a novembro), da seca (plantio de dezembro a março) e do inverno (plantio de abril a julho). Tem-se na safra de inverno as maiores médias de produtividade, principalmente devido ao uso da irrigação, uma vez que as chuvas não ocorrem neste período. Isso garante a obtenção de grãos com melhor qualidade, além de permitir a expansão da cultura na entressafra de outras culturas como o milho. No entanto, há uma certa preferência dos pequenos agricultores pela safra das águas e da seca (Araújo & Ferreira, 2016).

O feijão cultivado no Brasil apresenta grande diversidade para tipos de grão. Considerando a coloração de seu tegumento, podem ser distinguidos em feijão do tipo preto, carioca, vermelho, roxo, mulatinho e rosinha. Dentre esses, o mais cultivado é o feijão do tipo carioca. Este é aceito praticamente em todo o país, e corresponde, em média, a 79% dos tipos de feijão consumidos no Brasil (Carneiro *et. al.*, 2012). No entanto, em detrimento de aspectos culturais e regionais, existe uma variação na preferência do consumo desses grãos.

A utilização de cultivares melhoradas tem sido prática recorrente entre os produtores que desejam, por exemplo, aumentar a produtividade em suas áreas, uma vez que essa

tecnologia tem uma alta relação custo/benefício, além de ser de fácil acesso (Ramalho *et al.*, 2012). Pelo fato de a produtividade ser uma característica poligênica, ou seja, controlada por vários genes e ainda muito influenciada pelo ambiente de cultivo, os programas de melhoramento vêm se empenhando cada vez mais no sentido de se obter novas linhagens que apresentem desempenhos elevados, adaptados a diferentes condições e que satisfaçam as exigências do mercado consumidor.

Um dos maiores empecilhos nos programas de melhoramento tem sido a interação genótipos x ambientes (G x A). É possível observar essa interação quando o valor fenotípico de um indivíduo é avaliado em vários ambientes, tendo em vista que este valor é resultado da ação de efeitos genotípicos sob influência de cada meio em que ele se encontra (Cruz *et al.*, 2014). Isso explica o comportamento diferenciado de um mesmo genótipo em diferentes safras e em diferentes locais de plantio.

Segundo Allard & Bradshaw (1964), os genótipos podem ter duas respostas diferentes quanto aos ambientes em que se encontram. Uma dessas respostas é denominada previsível, que é dada pelas características permanentes do ambiente (clima, tipo de solo) e também pelas que variam de forma sistemática (comprimento do dia, por exemplo). A outra resposta é denominada imprevisível e se dá pelas flutuações variáveis do ambiente, como por exemplo, a quantidade e distribuição de chuvas e também as variações de temperaturas.

A interação G x A pode ser classificada como sendo de natureza simples, decorrente da diferença de variabilidade entre genótipos nos ambientes. Essa interação não é considerada problemática para os melhoristas, uma vez que os melhores genótipos em um ambiente também serão os melhores em outros. Contudo, existe a interação de natureza complexa, que se deve à falta de correlação entre os genótipos, causando comportamento diferenciado destes entre os ambientes. Assim, haverá genótipos com desempenho superior em um dado ambiente e que não o será em outro, dificultando ainda mais as etapas de seleção e recomendação de cultivares em um programa de melhoramento (Cruz *et al.*, 2014).

Tendo em vista estes problemas causados pela interação G x A, uma alternativa que vem sendo bastante utilizada é a busca por cultivares com ampla adaptabilidade e estabilidade. Várias são as definições para estes dois termos. De forma geral, definimos que a adaptabilidade é a capacidade de os genótipos aproveitarem vantajosamente o estímulo do ambiente. A estabilidade, por sua vez, seria a capacidade de os genótipos mostrarem um comportamento altamente previsível frente às variações ambientais.

Devido à relevância do tema, existem dezenas de métodos para se estudar a adaptabilidade e estabilidade dos genótipos, enfatizando a complexidade no estudo da interação genótipos x ambientes. Na cultura do feijão, os métodos de Eberhart & Russell (1996) e Lin & Binns (1988) têm sido os mais utilizados (Backes *et al.*, 2005; Melo *et al.*, 2007; Ribeiro *et al.*, 2008, 2009). Porém, métodos baseados em regressão, como é o caso do primeiro, exige a interpretação de vários parâmetros para a classificação dos genótipos. Já o método de Lin & Binns (1998) possibilita uma estimativa de parâmetro apenas para recomendação geral de genótipos. Além disso, há uma tendência de que esta recomendação seja feita particularizando grupos de ambientes favoráveis e desfavoráveis (Cruz *et al.*, 2014).

No intuito de minimizar esses problemas e facilitar a recomendação de genótipos, o método centróide (Rocha *et al.*, 2005) é um método não paramétrico que consiste na comparação da distância cartesiana dos genótipos em relação a quatro ideótipos, a partir da projeção dos escores dos dois primeiros componentes principais. Nesta metodologia, os ideótipos são estabelecidos, previamente, com base nos dados experimentais com a finalidade de representarem os genótipos de máxima adaptabilidade geral e específica a ambientes favoráveis ou desfavoráveis e também os de mínima adaptabilidade.

Neste contexto, o objetivo desse trabalho foi avaliar o comportamento das cultivares de feijão do tipo carioca, recomendados para o cultivo no Brasil nos últimos 50 anos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram avaliadas 40 cultivares de feijão do tipo carioca recomendadas por diversas instituições de pesquisa do Brasil nos últimos 50 anos (Tabela 1). A decisão sobre as cultivares utilizadas foi obtida por meio da literatura (artigos científicos, resumos e teses), e também por relatos de melhoristas atuantes em programas de melhoramento de feijão. Inicialmente, uma amostra de sementes das cultivares foi obtida junto as instituições obtentoras e, em seguida, multiplicada para uniformizar a germinação visando a realização dos experimentos.

Tabela 1. Cultivares de feijão do tipo carioca recomendada nos últimos 50 anos e suas respectivas instituições de origem.

Cultivar	Ano	Instituição	Cultivar	Ano	Instituição
Carioca 1030	1970	IAC ⁽¹⁾	SCS Guará	2004	EPAGRI ⁽⁸⁾
Carioca 80	1980	IAC	IPR Saracura	2004	IAPAR
IAPAR 16	1986	IAPAR ⁽²⁾	IPR Colibri	2004	IAPAR
Rio Doce	1987	INCAPER ⁽³⁾	Pioneiro	2005	UFV ⁽⁹⁾
IAC Carioca	1987	IAC	Votuporanga	2005	IAC
Carioca 1070	1989	IAC	Ybaté	2005	IAC
IAPAR 31	1991	IAPAR	Apuã	2005	IAC
Aporé	1992	EMBRAPA ⁽⁴⁾	Cometa	2006	EMBRAPA
FT Bonito	1992	FT-SEMENTES ⁽⁵⁾	IPR Eldorado	2006	IAPAR
IAPAR 57	1992	IAPAR	Alvorada	2007	IAC
Pérola	1994	EMBRAPA	IPR 139	2007	IAPAR
Rudá	1994	EMBRAPA	Tangará	2008	IAPAR
Carioca Pyatã	1994	IAC	Estilo	2009	EMBRAPA
Brígida	1994	IPA ⁽⁶⁾	Notável	2011	EMBRAPA
Carioca Akytá	1996	IAC	Formoso	2011	IAC
IAPAR 81	1997	IAPAR	Campos Gerais	2011	IAPAR
Talismã	2002	UFLA ⁽⁷⁾	Madrepérola	2012	UFV
Requinte	2003	EMBRAPA	VC15	2013	UFV
BRS Pontal	2004	EMBRAPA	IPR Andorinha	2013	IAPAR
Majestoso	2004	UFLA	IAC Imperador	2013	IAC

⁽¹⁾Instituto Agrônomo de Campinas; ⁽²⁾Instituto Agrônomo do Paraná; ⁽³⁾Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural; ⁽⁴⁾Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; ⁽⁵⁾Empresa Privada de Genética e Melhoramento de Soja; ⁽⁶⁾Instituto Agrônomo de Pernambuco; ⁽⁷⁾Universidade Federal de Lavras; ⁽⁸⁾Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina; ⁽⁹⁾Universidade Federal de Viçosa.

O caráter avaliado foi produtividade de grãos, obtido por meio do peso dos grãos da área útil da parcela, após colheita, trilha e limpeza desses e posterior correção do teor de umidade da massa de grãos para a umidade padrão de 13%, expressa em quilos por hectare (Kg ha⁻¹).

Os experimentos foram conduzidos nos municípios de Viçosa - MG (latitude: 20° 45' 14" S, longitude: 42° 52' 55" W, altitude: 648m) nas safras de seca e inverno de 2016 e seca de 2013; e Coimbra - MG (latitude: 20°49'44" S, longitude: 42°45'56" W, altitude: 713 m) nas safras de seca e inverno de 2013 e de 2016, além da safra de seca de 2015, totalizando nove diferentes ambientes de avaliação (Tabela 2).

Tabela 2. Safras conduzidas, locais, ambientes (A1 a A9).

Safra/Ano	Local	Ambiente
Seca 2013	Viçosa	A1
Seca 2013	Coimbra	A2
Inverno 2016*	Coimbra	A3
Seca 2015	Coimbra	A4
Inverno 2016*	Viçosa	A5
Inverno 2016**	Coimbra	A6
Seca 2016	Coimbra	A7
Seca 2016	Viçosa	A8
Inverno 2013*	Coimbra	A9

*Semeadura em abril de 2016; **Semeadura em agosto de 2016.

O delineamento experimental utilizado em cada ambiente foi o de blocos casualizados, com três repetições. A parcela constituiu-se de quatro fileiras de 2 m de comprimento com espaçamento de 0,50 m entre fileiras, composta por 12 plantas por metro. A parcela útil para a tomada de dados compreendeu as duas fileiras centrais, sendo que as duas externas foram consideradas como bordadura. A condução do experimento seguiu as recomendações técnicas para o cultivo de feijão (Vieira *et al.*, 2015).

Os dados de produtividade obtidos dos nove ambientes foram submetidos a uma análise de variância individual e, posteriormente, à conjunta - considerando efeitos de genótipos como aleatórios e efeitos de ambientes como fixo, conforme o modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + B/A_{jk} + A_j + GA_{ij} + E_{ijk} ,$$

no qual: Y_{ijk} : valor observado do i -ésimo genótipo, no j -ésimo ambiente e k -ésimo bloco; μ : média geral dos ensaios; G_i : efeito aleatório do i -ésimo genótipo; B/A_{jk} : efeito do k -ésimo bloco, dentro do j -ésimo ambiente; A_j : efeito fixo do j -ésimo ambiente; GA_{ij} : efeito da interação do i -ésimo genótipo com o j -ésimo ambiente; e E_{ijk} : erro aleatório associado a Y_{ijk} .

Para a estimação dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade foi utilizado o método centróide (Rocha *et al.*, 2005), que consiste em empregar a metodologia baseada em componentes principais a fim de representar a informação da performance diferencial dos genótipos em relação às alterações ambientais a que estes são submetidos.

O método dos centróides baseia-se na comparação de valores de distância cartesiana entre os genótipos utilizados e quatro referências ideais, denominados de ideótipos. Estes são classificados em quatro grupos, de acordo com os dados experimentais obtidos. O ideótipo de

máxima adaptabilidade geral (ideótipo I) é aquele que apresenta os valores máximos observados considerando todos os ambientes em estudo; os ideótipos de máxima adaptabilidade específica são aqueles que apresentam máxima resposta em ambientes favoráveis e mínima resposta em ambientes desfavoráveis (ideótipo II) ou então, de forma contrária, apresentam máxima resposta em ambientes desfavoráveis e mínima em ambientes favoráveis (ideótipo III); ideótipos de mínima adaptabilidade (ideótipo IV) correspondem àqueles que apresentam os valores mínimos observados para todos os ambientes estudados. No intuito de classificar os ambientes em favoráveis ou desfavoráveis foi utilizado o método proposto por Finlay e Wilkinson (1963), baseado no índice ambiental descrito a seguir:

$$I_j = \frac{1}{g} \sum_i Y_{ij} - \frac{1}{ag} Y_{..}$$

em que: Y_{ij} é a média do genótipo i no ambiente j ; $Y_{..}$ é o total das observações; a é o número de ambientes; e g é o número de genótipos.

A classificação dos genótipos quanto a adaptabilidade e estabilidade é dada a partir da análise de componentes principais, em que se obtém diferentes escores em uma representação gráfica. É considerado, para tal fim, a posição dos genótipos em relação aos centróides (ideótipos) no gráfico de dispersão, além dos valores de distância cartesiana entre os genótipos e cada um dos quatro ideótipos acima descritos. Calcula-se, portanto, uma probabilidade espacial com uso do inverso da distância entre um tratamento e os quatro ideótipos:

$$P_{d(i,k)} = \frac{\left(\frac{1}{d_{ik}}\right)}{\sum_i \frac{1}{d_{ik}}}$$

em que: $P_{d(i,k)}$ é a probabilidade de apresentar padrão de estabilidade semelhante ao k -ésimo centroide e d_{ik} é a distância do i -ésimo genótipo ao k -ésimo centroide no plano gerado a partir da análise de componentes principais.

Dessa forma, quanto mais próximo um genótipo for de um dos ideótipos, menor será a distância cartesiana entre eles e maior será a probabilidade deste genótipo pertencer a este grupo.

As análises foram realizadas usando o Programa Genes (Cruz, 2013) e o Programa R.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância individual para o caráter produtividade de grãos (Tabela 3) revela que o quociente entre o ambiente com o maior quadrado médio residual (A5) e o de menor quadrado médio residual (A9) foi menor que sete (homogeneidade das variâncias), atendendo a pressuposição para que se realize a análise de variância conjunta, conforme relatado por Pimentel Gomes (2009). Verificada tal condição, a significância observada entre a interação genótipos x ambientes permite-nos inferir que os genótipos apresentaram desempenho diferenciado conforme as variações ambientais a que foram impostos. Tal fator implica na dificuldade em se indicar cultivares e linhagens (Cruz & Castoldi, 1991; Vencovsky & Barriga, 1992).

Tabela 3. Quadrados médios (QM), produtividade e coeficiente de variação experimental (CVe) das análises de variância individuais e conjunta, referentes a avaliação de cultivares de feijão carioca recomendadas no Brasil.

Ambiente	QM					Produtividade (kg ha ⁻¹)	CVe (%)
	Bloco	Genótipo	Ambiente	Genótipos x Ambientes	Resíduo		
Seca2013V (A1)	1084861,81	1144568,92**	---	---	196464,83	3153	14,06
Seca2013C (A2)	227459,11	1631061,85**	---	---	139305,96	3571	10,45
Inv2016C (A3)	537112,82	354249,41 ^(p ≤ 0,0525)	---	---	229561,97	1964	24,39
Seca2015C (A4)	128613,85	523046,95 ^(p ≤ 0,0689)	---	---	351615,01	3060	19,38
Inv2016V (A5)	1677610,26	971075,80**	---	---	450909,20	3188	21,07
Inv2016C (A6)	5381,13	548676,64**	---	---	149299,71	2538	15,22
Seca2016C (A7)	1462033,29	864799,15**	---	---	349916,43	3056	19,35
Seca2016V (A8)	1613968,09	548111,85**	---	---	137904,28	2697	13,77
Inv2013C (A9)	179204,27	1455445,81**	---	---	87357,82	3218	9,18
ANOVA Conjunta	401144,82	2403192,13	26736455,16	704730,53**	232481,69	---	16,41

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste F; V – Viçosa; C – Coimbra.

Para o estudo da adaptabilidade e estabilidade os ambientes foram classificados em favoráveis e desfavoráveis (Tabela 4), de acordo com o índice ambiental calculado com base no desempenho dos genótipos em cada ambiente. O ambiente de maior produtividade foi a da Seca 2013 - Viçosa (A2), atingindo uma média de 3571 kg ha⁻¹. Já as duas safras de Inverno 2016 - Coimbra (A3 e A6), plantadas em épocas diferentes, apresentaram as menores médias de produtividade (1964 kg ha⁻¹ e 2538 kg ha⁻¹, respectivamente). Isso pode ser explicado pela possível ocorrência de doenças em ambos ambientes, uma vez que em baixas temperaturas e alta umidade gerada pela irrigação mal conduzida, cria-se microclimas favoráveis à proliferação de doenças fúngicas, como o mofo-branco, por exemplo.

Tabela 4. Classificação dos ambientes utilizando o índice ambiental e estabelecimento dos ideótipos, calculados pelo método Centróide, das cultivares de feijão do tipo carioca recomendadas no Brasil.

Ambiente	Ij*	Produtividade (kg ha ⁻¹)			Ideótipos			
		Média	Máx.	Mín.	I	II	III	IV
A1	214,36	3153	4130	1838	4130	4130	1838	1838
A2	632,88	3571	5083	2140	5083	5083	2140	2140
A3	-973,98	1964	2815	1291	2815	1291	2815	1291
A4	121,23	3060	3848	2064	3848	3848	2064	2064
A5	249,09	3188	4366	1962	4366	4366	1962	1962
A6	-400,29	2538	3267	1254	3267	1254	3267	1254
A7	118,03	3056	3972	2033	3972	3972	2033	2033
A8	-241,11	2697	3393	1722	3393	1722	3393	1722
A9	279,77	3218	4619	1849	4619	4619	1849	1849

*Valores negativos referem-se à ambientes desfavoráveis.

Constata-se a existência de pontos (genótipos) que se aproximam de cada um dos centróides, possibilitando recomendações de genótipos de adaptabilidade geral ou de adaptabilidade específica a um subgrupo de ambientes (Carvalho *et al.*, 2002). Porém, deve-se deixar claro que os pontos encontrados nas regiões centrais do gráfico apresentam menor semelhança com os ideótipos de comportamento desejado (probabilidades próximas de 25%), fazendo com que a classificação seja menos precisa. Nesse sentido, utiliza-se o inverso do valor da distância entre um ponto aos quatro centróides como estimativa da confiabilidade na classificação dos materiais (Rocha *et al.*, 2005).

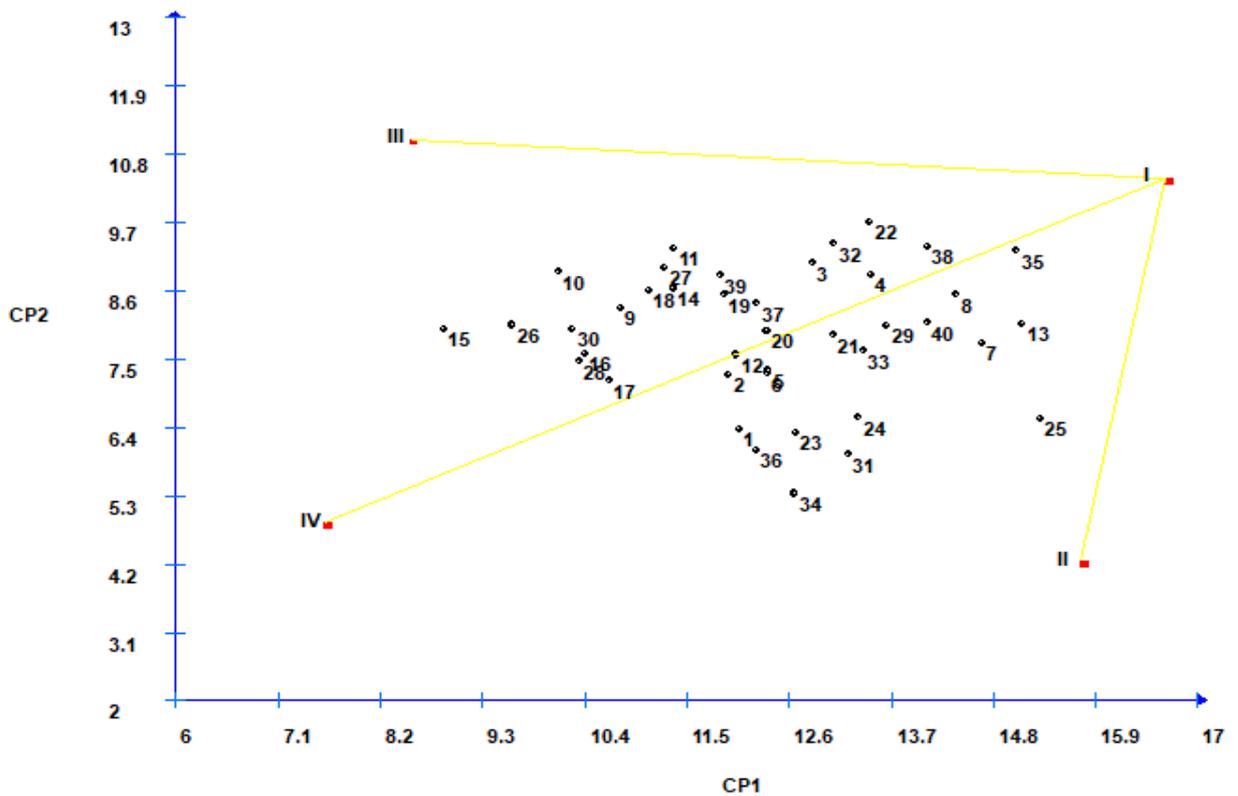


Figura 1. Dispersão gráfica dos escores em relação aos dois primeiros componentes principais obtidos da análise da produtividade de 40 cultivares de feijão carioca avaliados em nove ambientes. I – adaptabilidade geral, II – adaptabilidade específica a ambientes favoráveis, III – adaptabilidade específica a ambiente desfavoráveis, IV – baixa adaptabilidade; CP1 – 1º componente principal, CP2 – 2º componente principal. Cada ponto no gráfico, excluindo os algarismos romanos, representa o número do tratamento estabelecido à cada uma das 40 cultivares (Tabela 5).

Observando-se a Figura 1 e a Tabela 5, fica nítido o aumento da média da produtividade dos genótipos de feijão à medida que estes se aproximam do ideótipo I. Segundo Rocha *et. al.* (2005), quanto menor a diferença entre um genótipo qualquer e o ideótipo I, menor será a diferença entre este e o genótipo de melhor desempenho, considerando todos os ambientes. Dessa forma, a adaptabilidade geral estará sempre associada ao melhor desempenho.

Tabela 5. Classificação das cultivares em um dos quatro grupos caracterizados pelos centróides e a probabilidade associada a sua classificação, tratamento (Trat.) e média de produtividade de grãos.

Trat.	Cultivar	Prod. Média (kg ha ⁻¹)	Classe	Probabilidade			
				I	II	III	IV
16	Carioca 1030 (1970)	2574	IV	0,1852	0,1932	0,2931	0,3285
17	Carioca 80 (1980)	2596	IV	0,1958	0,2064	0,2815	0,3162
26	IAPAR 16 (1986)	2375	IV	0,1412	0,1415	0,3562	0,3612
9	Rio Doce (1987)	2705	III	0,2050	0,2015	0,3021	0,2914
18	IAC Carioca (1987)	2699	III	0,1930	0,1796	0,3450	0,2823
15	Carioca 1070 (1989)	2312	III	0,1403	0,1388	0,3729	0,3479
27	IAPAR 31 (1991)	2879	III	0,2391	0,2091	0,3036	0,2482
11	Aporé (1992)	2901	III	0,2401	0,2136	0,2962	0,2502
14	FT Bonito (1992)	2851	III	0,2343	0,2214	0,2831	0,2612
28	IAPAR 57 (1992)	2551	IV	0,1890	0,2052	0,2739	0,3319
1	Pérola (1994)	2751	IV	0,2334	0,2463	0,2519	0,2684
10	Rudá (1994)	2537	III	0,1576	0,1476	0,4036	0,2912
19	Carioca Pyatã (1994)	2850	III	0,2321	0,2096	0,3017	0,2566
30	Brígida (1994)	2575	III	0,1826	0,1756	0,3410	0,3008
20	Carioca Akytã (1996)	2916	I	0,2565	0,2478	0,2520	0,2437
37	IAPAR 81 (1997)	2946	I	0,2620	0,2405	0,2592	0,2383
32	Talismã (2002)	3202	I	0,3255	0,2421	0,2352	0,1972
2	Requinte (2003)	2811	III	0,2436	0,2425	0,2576	0,2563
3	BRS Pontal (2004)	3082	I	0,2963	0,2326	0,2583	0,2128
4	Majestoso (2004)	3198	I	0,3314	0,2590	0,2172	0,1925
12	SCS Guará (2004)	2832	III	0,2437	0,2337	0,2679	0,2547
36	IPR Saracura (2004)	2763	II	0,2314	0,2716	0,2291	0,2679
39	IPR Colibri (2004)	2867	III	0,2371	0,2113	0,2996	0,2520
5	Pioneiro (2005)	2898	I	0,2636	0,2548	0,2444	0,2372
21	Votuporanga (2005)	3095	I	0,2975	0,2818	0,2134	0,2073
22	Ybaté (2005)	3261	I	0,3309	0,2572	0,2189	0,1930
23	Apuã (2005)	2885	II	0,2626	0,2914	0,2154	0,2305
6	Cometa (2006)	2899	II	0,2594	0,2659	0,2349	0,2397
34	IPR Eldorado (2006)	2803	II	0,2342	0,3313	0,1944	0,2401
24	Alvorada (2007)	2999	II	0,2729	0,3138	0,1994	0,2138
33	IPR 139 (2007)	3134	I	0,3239	0,2860	0,2000	0,1900
29	Tangará (2008)	3204	I	0,3425	0,2729	0,2009	0,1836
7	Estilo (2009)	3370	I	0,3815	0,2971	0,1653	0,1561
8	Notável (2011)	3361	I	0,3845	0,2855	0,1712	0,1589
25	Formoso (2011)	3368	I	0,3485	0,3452	0,1533	0,1530
35	Campos Gerais (2011)	3549	I	0,4947	0,2493	0,1343	0,1218
31	Madrepérola (2012)	2925	II	0,2684	0,2972	0,2106	0,2237
13	VC15 (2013)	3432	I	0,3982	0,2847	0,1645	0,1526
38	IPR Andorinha (2013)	3292	I	0,3436	0,2616	0,2091	0,1856
40	IAC Imperador (2013)	3289	I	0,3634	0,3003	0,1723	0,1639

A partir da Tabela 5, podemos inferir, com base nos valores probabilísticos, que as cultivares Campos Gerais, VC15, Notável, Estilo e IAC Imperador foram classificadas como genótipos de adaptabilidade geral (Classe 1) com probabilidades de 49,47%, 39,82%, 38,45%, 38,15% e 36,34%, respectivamente. Além disso, estas foram as cultivares de melhor desempenho, apresentando maiores valores de produtividade média. Vale destacar o desempenho da cultivar Campos Gerais, que no ambiente considerado mais favorável (A2), obteve produtividade de 4560 kg ha⁻¹ (4º mais produtiva). Esta mesma cultivar, no ambiente mais desfavorável (A3), mostrou-se também como uma das mais produtivas, atingindo uma produtividade de 2550 kg ha⁻¹ (3º mais produtiva). Isso mostra que essa cultivar apresenta uma alta plasticidade fenotípica. Segundo Gage *et al.* (2017), esta plasticidade fenotípica é uma característica controlada por diferentes regiões regulatórias do genoma dos indivíduos. Ou seja, quando o genótipo é conduzido tanto em ambientes favoráveis quanto em ambientes desfavoráveis, diferentes conjuntos de genes são expressos no sentido de se obter uma resposta satisfatória em ambas as condições ambientais.

As cultivares IPR Eldorado (33,13%), Alvorada (31,38%) e Madrepérola (29,72%) foram incluídas no grupo de adaptabilidade específica a ambientes favoráveis (Classe II), sendo, portanto, recomendadas a ambientes em que o uso de tecnologias é mais intensificado no sentido de melhoria das condições para o cultivo das plantas. Por outro lado, as cultivares com maiores probabilidades de pertencerem à classe de adaptabilidade a ambientes desfavoráveis (Classe III) foram a Rudá (40,36%), Carioca 1070 (37,29%) e IAC Carioca (34,50%).

Ao se avaliar a adaptabilidade das cultivares de feijão do tipo carioca ao longo dos últimos 50 anos, observa-se, ao analisar a Figura 2, que as cultivares lançadas nas décadas de 1970 e 1980 foram classificadas nas classes de mínima adaptabilidade geral (Classe IV) e adaptabilidade a ambientes desfavoráveis (Classe III), evidenciando baixas produtividades quando impostas às condições de cultivo, muito devido ao fato dessas cultivares pioneiras não apresentarem incremento de alelos favoráveis ao longo do tempo como é o caso das cultivares recém recomendadas. De maneira geral, as cultivares de feijão do tipo carioca se tornaram mais adaptadas ao longo dos anos. Vale destacar o desaparecimento gradativo da classe IV e o aumento da classe I.

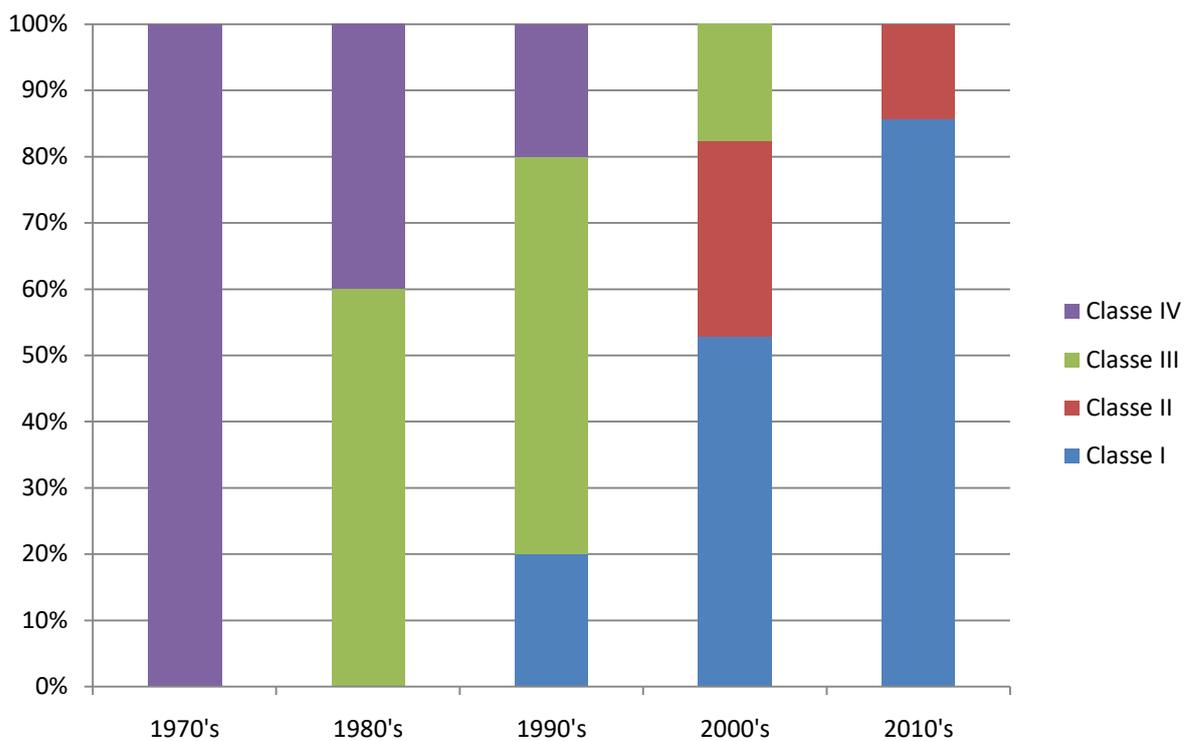


Figura 2. Classificação percentual das cultivares de feijão do tipo carioca recomendadas no Brasil nas cinco décadas.

O estudo realizado por Barili (2015) mostrou que a contribuição de programas de melhoramento de feijão do tipo carioca no Brasil passou a ser efetiva a partir de 1990, proporcionando um ganho de 6,74% ao ano em relação à produtividade de grãos. O mesmo pode ser observado no presente estudo, através da regressão linear apresentada na Figura 3.

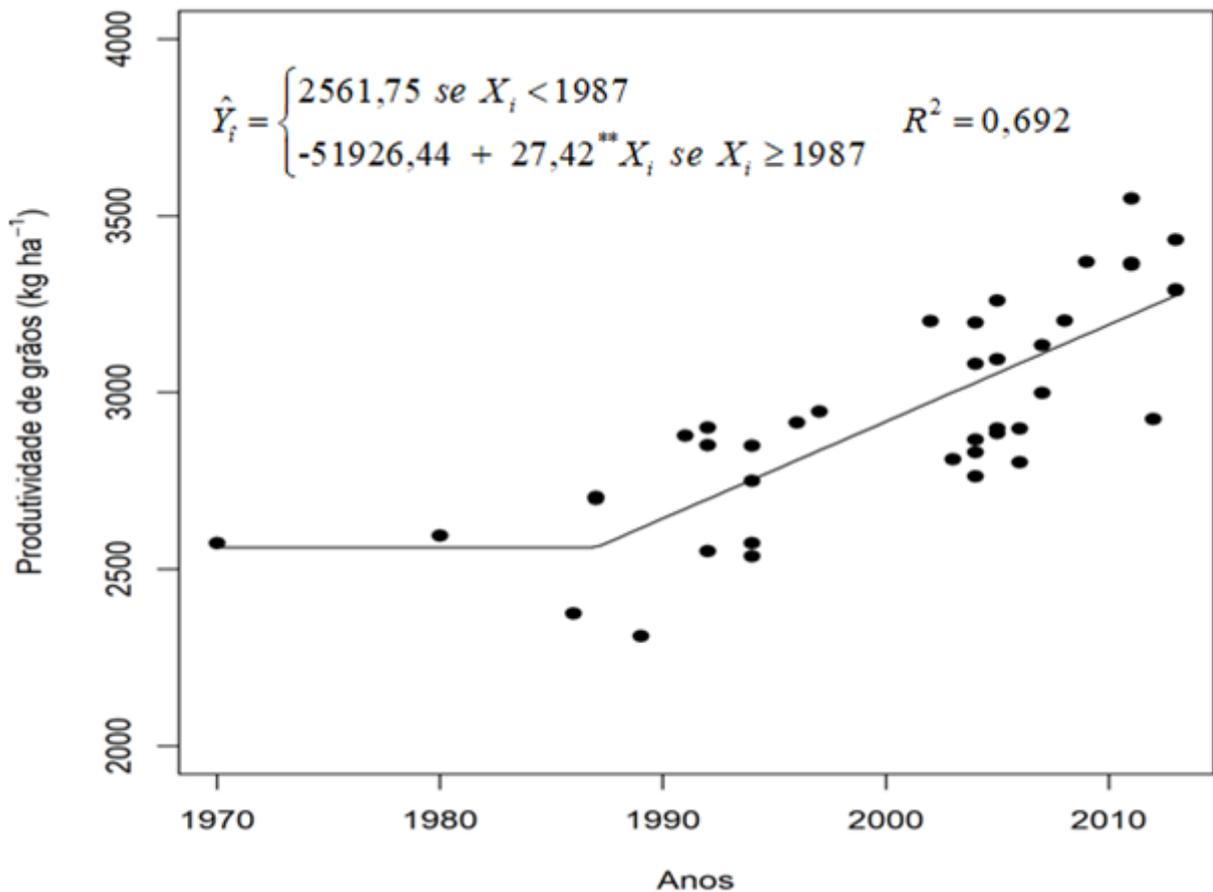


Figura 3. Progresso genético para produtividade de grãos das cultivares de feijão do tipo carioca recomendadas nos últimos 50 anos.

Além disso, o mesmo autor evidenciou incrementos anuais em caracteres como número de vagens por planta, número de grãos por vagem e também em massa de mil grãos. Esses resultados corroboram na importância dos programas de melhoramento na inclusão de alelos favoráveis aos seus materiais ao longo dos anos, além de colaborarem para uma maior adaptabilidade geral das cultivares recomendadas recentemente, como mostrado neste trabalho. Fato esse que é de grande importância para os produtores de feijão, que procuram cada vez mais variedades que produzam satisfatoriamente em diferentes condições ambientais.

4. CONCLUSÃO

Foi possível observar progresso no rendimento médio das cultivares de feijão do tipo carioca lançadas nos últimos 50 anos no conjunto de ambientes avaliados. Além disso,

verificou-se, cronologicamente, aumento da adaptabilidade das cultivares, que migrou da classe IV (baixa adaptabilidade) para a classe I (adaptabilidade geral).

5. REFERÊNCIAS

Allard RW & Bradshaw AD (1964) Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding. *Crop Science*, 4:503-507

Araújo GAA & Ferreira ACB (2016) Manejo do Solo e Plantio. In: Vieira C, Paula Junior TJ, Borém A (Eds) Feijão. Viçosa, Editora UFV. p.87-114

Backes RL, Elias HT, Hemp S & Nicknich W (2005) Análise de estabilidade de genótipos de feijoeiro no Estado de Santa Catarina. *Acta Scientiarum*, 27:623-628

Barili LD (2015) Evolução dos cultivares de feijão carioca recomendados no Brasil. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 38p.

Borém A & Carneiro JES (2015) A cultura. In: Carneiro JES, Borém A & Paula Junior TJ (Eds) Feijão - Do Cultivo a Colheita. Viçosa, Editora UFV. p. 384

Carneiro JES, Abreu AFB, Ramalho MAP, Paula Júnior TJ, Peloso MJD, Melo LC, Pereira HS, Pereira Filho IA, Martins M, Vieira RF, Martins FAD, Coelho MAO, Carneiro PCS, Moreira JAA, Santos JB, Faria LC, Costa JGC, Teixeira H (2012) BRSMG Madrepérola: common bean cultivar with late-darkening Carioca grain. In: *Crop Breeding and Applied Biotechnology*. 4^o ed., Londrina, p. 281-284.

Carvalho HW, Silva ML, Cardoso MJ, Santos MX, Tabosa JN, Carvalho CL & Lira MA (2002) Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de milho no Nordeste brasileiro no triênio de 1998 a 2000. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37:1581-1588

Conab – Companhia Nacional de Abastecimento (2016) Acompanhamento da safra brasileira de grãos (Segundo levantamento). Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_11_10_14_13_48_boletim_de_grao_-_2o_lev_2017.pdf>. Acesso em: 31 de outubro de 2017

Cruz CD (2013) GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum*, 35:271-276.

- Cruz CD, & Castoldi FL (1991) Decomposição da interação genótipos-ambientes em partes simples e complexa. *Revista Ceres*, 38:422-430
- Cruz CD, Carneiro PCS & Regazzi AJ (2014) Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 3º ed. Viçosa, Editora UFV. 668p.
- Eberhart SA & Russell WA (1996) Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6:36-40
- Finlay KW & Wilkinson GN (1963) The analysis of adaptation in a Plant-Breeding Programme, *Australian Journal of Agricultural Research*, 14:742-754
- Gage JL, Jarquin D, Romay C, Lorenz A, Buckler ES, Kaeppler S, Alkhalifah N, Bohn M, Campbell DA, Edwards J & Ertl D (2017) The effect of artificial selection on phenotypic plasticity in maize. *Nature Communications*, 8:1348
- Lin CS & Binns MR (1988) A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. *Canadian Journal of Plant Science*, 68:193-198
- Melo LC, Melo PGS, Faria LC, Diaz JLC, Peloso MJD, Rava CA & Costa JGC (2007) Interação com ambientes e estabilidade de genótipos de feijoeiro comum na Região Centro-Sul do Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42:715–723.
- Mesquita FR, Corrêa AD, Abreu CMP, Lima RAZ & Abreu AFB (2007) Linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris L.*): composição química e digestibilidade protéica. *Ciência e Agrotecnologia*, 31:1114-1121
- Piana CFB, Antunes IF, Silva JGC & Silveira EP (1999) Adaptabilidade e estabilidade do rendimento de grãos de genótipos de feijão. *Pesquisa agropecuária Brasileira*, 34:553-564
- Pimentel Gomes F (2009) Curso de estatística experimental. 15º ed. Piracicaba, FEALQ. 451p.
- Ramalho MAP, Abreu AFB, Santos JB & Rodrigues JA (2012) Aplicações da Genética Quantitativa no Melhoramento de Plantas Autógamas. 3º ed. Lavras, Editora UFLA. 522p.
- Ribeiro ND, Antunes IF, Souza JF & Poersch NL (2008) Adaptação e estabilidade de produção de cultivares e linhagens-elite de feijão no Estado do Rio Grande do Sul. *Ciência Rural* 38:2434–2440

Ribeiro ND, Souza JF, Antunes IF & Poersch NL (2009) Estabilidade de produção de cultivares de feijão de diferentes grupos comerciais no Estado do Rio Grande do Sul. *Bragantia* 68:339–346

Rocha RB, Muro-Abad JI, Araujo EF & Cruz CD (2005) Avaliação do método centróide para estudo de adaptabilidade ao ambiente de clones de *Eucalyptus grandis*. *Ciência Florestal*, 15:255-266

Vencovsky R & Barriga P (1992) *Genética biométrica no fitomelhoramento*. 1º ed. Ribeirão Preto, Sociedade Brasileira de Genética. 486p.

Vieira RF, Lima MS, Neves JCL & Andrade MJB (2015) Adubação. In: Borém A, Carneiro JES & Paula Junior TJ (Eds) *Feijão - Do Cultivo a Colheita*. Viçosa, Editora UFV. p. 384.