



**UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA**

JULIANA SAWADA BURATTO

**QUALIDADE NUTRICIONAL E TECNOLÓGICA DE GRÃOS
EM GENÓTIPOS DE FEIJÃO**

Londrina
2008

JULIANA SAWADA BURATTO

**QUALIDADE NUTRICIONAL E TECNOLÓGICA DE GRÃOS
EM GENÓTIPOS DE FEIJÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Cássio Egidio Cavenaghi
Prete

Co-Orientadora: Dra. Vania Moda-Cirino

Londrina
2008

**Catálogo na publicação elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da Universidade Estadual de Londrina.**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

B945q Buratto, Juliana Sawada.
Qualidade nutricional e tecnológica de grãos em genótipos de feijão / Juliana
Sawada Buratto. – Londrina, 2008.
73f. : il.

Orientador: Cássio Egidio Cavenaghi Prete.

Co-orientador: Vania Moda-Cirino.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina,
Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2008.
Inclui bibliografia.

1. Feijão – Melhoramento genético – Teses. 2. Feijão – Teor protéico –
Teses. 3. Feijão – Teor mineral – Teses. 4. Feijão – Qualidade – Teses. I. Prete,
Cássio Egidio Cavenaghi. II. Moda-Cirino, Vania. III. Universidade Estadual de
Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agro-
nomia. IV. Título.

CDU 631.52:635.652

JULIANA SAWADA BURATTO

**QUALIDADE NUTRICIONAL E TECNOLÓGICA DE GRÃOS
EM GENÓTIPOS DE FEIJÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Dra. Vânia Moda-Cirino – IAPAR

Dr. Nelson da Silva Fonseca Jr – IAPAR

Prof. Dr. Edison Miglioranza – UEL

Prof. Dr. Claudemir Zucareli – UEL

Dr. Pedro Mario de Araújo – IAPAR

Prof. Dr. Cássio Egidio Cavenaghi Prete
Orientador
Universidade Estadual de Londrina

Londrina, 22 de janeiro de 2008.

DEDICATÓRIA

Á Deus, em especial aos meus pais Jacqueline e Osnildo pelo amor e apoio.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus agradecimentos a aqueles que contribuíram para a realização deste trabalho:

Agradeço ao curso de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina – UEL, aos Professores pelos ensinamentos.

Ao Instituto Agronomico do Paraná - IAPAR pela oportunidade de estágio e infra-estrutura cedida sem o qual não poderia realizar este trabalho.

Agradeço aos meu orientadores a Dra Vânia Moda Cirino da Área de Melhoramento e Genética do IAPAR, por seu apoio e inspiração no amadurecimento dos meus conhecimentos que me levaram a execução deste trabalho e agradeço ao Prof. Dr. Cássio Egidio Cavenaghi Prete do Departamento de Agronomia da UEL pela orientação neste trabalho.

Aos pesquisadores do IAPAR Dr. Nelson da Silva Fonseca Júnior da Área de Melhoramento e Genética, Dra Maria Brigida dos Santos Scholz da Área de Ecofisiologia Vegetal e Dr Mario Miyazawa da Área de Solos, pelo apoio recebido.

Agradeço aos funcionários do Programa Feijão do IAPAR, Irineu Fin e Abel Nestor Ribeiro, a todos os funcionários do Laboratório de Ecofisiologia e do Laboratório de Solos pelo auxílio na condução dos experimentos. Também agradeço as funcionárias do laboratório de alimentos da UEL Alessandra C. da Silva e Celia B. Primo e Maria Alice Carlos pelo apoio recebido e ao Prof Raul Jorge H. Castro Gomes, do Departamento de Tecnologia de Alimentos da UEL pela atenção dispensada na realização de algumas análises laboratoriais.

Aos amigos do curso de Pós graduação em Agronomia Silvia Akimi Cavaguchi, Fábio Seidi Kanayama e Gustavo Sera pela amizade.

Em especial agradeço a toda a minha família, meus irmãos Fábio e Eduardo, e meus queridos pais, Osnildo e Jacqueline pelo apoio incondicional, sem o qual eu não poderia vencer mais esta etapa em minha vida.

A José Luciano de Oliveira pelo carinho e companheirismo que sempre me acompanhou.

BURATTO, Juliana Sawada. **Qualidade nutricional e tecnológica de grãos em genótipos de feijão**. 2008. 87f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

RESUMO

O presente estudo teve por objetivo avaliar o efeito do ambiente na qualidade nutricional de grãos e estimar a variabilidade genética para a qualidade tecnológica dos grãos de cultivares e linhagens de feijão adaptadas às condições edafoclimáticas do estado do Paraná. Para atingir o objetivo proposto foram conduzidos dois experimentos, um para o grupo comercial carioca e outro para o grupo preto, na safra da seca 2006, em três locais do estado do Paraná. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com três repetições e parcela experimental constituída de quatro linhas de 5m, espaçadas 0,50m, considerando-se como parcela útil as duas linhas centrais e descartando-se 0,5m de cada extremidade. Após a maturação fisiológica coletou-se de cada parcela experimental uma amostra de duzentos gramas de grãos, as quais foram armazenadas em câmara fria, para posterior análise da qualidade tecnológica e nutricional. As análises para qualidade tecnológica foram efetuadas em amostras provenientes de apenas um local e os resultados indicaram que há diferenças estatisticamente significativas entre os genótipos para tempo de cozimento (TC); porcentagem de absorção de água antes (CRAac) e após o cozimento (CRApc) e porcentagem de grãos inteiros (PGI) após o cozimento. Entretanto para outras características tecnológicas tais como: expansão volumétrica depois do cozimento (EXPVpc), densidade do grão seco (DS), densidade do grão após maceração (DU) e densidade do grão após o cozimento (DC) não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre as cultivares e linhagens avaliadas. A análise multivariada possibilitou distinguir o comportamento dos genótipos quanto as características tecnológicas avaliadas. As características relacionadas com a expansão e a densidade do grão antes e após o cozimento foram as que mais contribuíram para a variabilidade encontrada para a qualidade tecnológica. Para a qualidade nutricional, os resultados das análises de variância conjunta revelaram efeitos significativos para genótipo, ambiente e para a interação genótipo por ambiente para teor de proteína e minerais nos grãos. Esses resultados indicam a existência de variabilidade genética entre as cultivares e linhagens estudadas e influência do ambiente nos teores de proteína e dos minerais P, Ca, Mg, Cu, Zn, B, Mn, Fe, S e K nos grãos de feijão. A significância da interação genótipo por ambiente para as características nutricionais, revela resposta diferenciada dos genótipos frente as variações ambientais, portanto as informações que se referem ao comportamento das características nutricionais nos grãos em diferentes locais de cultivo devem ser consideradas em um programa de melhoramento genético.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L.. Tempo de cozimento. Teor de proteína. Teor de minerais. Interação genótipo por ambiente.

BURATTO, Juliana Sawada. **Nutritional and technological grain quality of common beans genotypes**. 2008. 87f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

ABSTRACT

This study evaluated environmental effects on the nutritional quality of common bean grains and estimated the genetic variability in the technological grain quality of cultivars and lines adapted to the edaphoclimatical conditions of the state of Paraná. Two experiments were conducted, one with the carioca bean and the other with the black bean group, in the dry season of 2006, at three locations, in the state of Paraná. An experimental design of randomized blocks with three replications was used. Each plot consisted of four 5m-rows, 0.50m apart, considering the two center rows and disregarding 0.5m on either side in the data analysis. After the physiological maturation a sample of 200gr grains was collected on each experimental plot and stored in a cold chamber for later analysis of technological and nutritional quality. Samples from only one location were analyzed for technological quality and the results indicated statistically significant differences between the genotypes for cooking time (TC); percentage of water uptake before (CRAac) and after (CRA pc) cooking and percentage of whole grains after cooking (PGI). However, for other technological characteristics such as: expansion volume after cooking (EXPVpc), dry grain density (DS), grain density after maceration (DU) and grain density after cooking (DC). No statistically significant differences were observed between the cultivars and lines evaluated. The performance of the genotypes was discriminated using multivariate analysis, considering the different technological characteristics. The multivariate analysis makes it possible to distinguish the behaviour of the genotypes and the technological characteristics related with the expansion and density grain before and after the cooking contributed to the variability. For nutritional quality, the results of the joint variance analyses revealed significant effects for genotype, environment and genotype per environment interaction for grain protein and mineral content. These results indicate the existence of genetic variability in the cultivars and lines studied and influence of the environment on the contents of protein and the minerals P, Ca, Mg, Cu, Zn, B, Mn, Fe, S, and K in the bean grains. The significance of the genotype per environment interaction for the nutritional characteristics indicates a differentiated response of the genotypes to environmental variations. Information on the nutritional characteristics in grains at different locations of cultivation must therefore be considered in genetic breeding programs.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L.. Cooking time. Protein content. Minerals content. genotype per environment interaction.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 3.1** – Distribuição das cultivares e linhagens (acima) e das variáveis (abaixo) nos dois eixos principais44
- Figura 3.2** – Dendrograma com as linhagens e cultivares de feijão do grupo preto, Wenceslau Braz – PR, safra da seca 200645

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Componentes principais do feijão comum, função tradicional e potencial nutraceutico.....	20
Tabela 2.2 – Teores de ferro e zinco avaliados em feijão, milho, trigo, arroz e batata em diversas instituições de pesquisa	26
Tabela 3.1 – Análise de variância dos caracteres tempo de cozimento (TC), capacidade de retenção de água antes do cozimento (CRA ac), capacidade de retenção de água após do cozimento (CRA pc), porcentagem de grãos inteiros (PGI), sólidos solúveis totais (ST), em cultivares e linhagens de feijão do grupo comercial preto, provenientes do ensaio conduzido em Wenceslau Braz - PR, na safra da seca 2006	37
Tabela 3.2 – Análise de variância dos caracteres expansão volumétrica antes do cozimento (EXPVac), expansão volumétrica após o cozimento (EXPVpc), densidade do grãos seco (DS), densidade do grão após maceração (DU) e densidade do grão após o cozimento (DC) em cultivares e linhagens de feijão do grupo comercial preto, provenientes do ensaio conduzido em Wenceslau Braz - PR, na safra da seca 2006.....	38
Tabela 3.3 – Média dos caracteres tempo de cozimento (TC), capacidade de retenção de água antes do cozimento (CRAac), capacidade de retenção de água após o cozimento (CRApc), porcentagem de grãos inteiros (PGI), sólidos totais (ST), expansão volumétrica antes do cozimento (EXPVac), expansão volumétrica após ao cozimento (EXPVpc), densidade do grãos crus (DS), densidade do grão após maceração (DU) e densidade do grão após o cozimento (DC) em cultivares e linhagens de feijão do grupo comercial preto, provenientes do ensaio conduzido em Wenceslau Braz –PR, na safra da seca 2006	41
Tabela 3.4 – Estimativas dos coeficientes de correlação fenotípica entre as características tecnológicas avaliadas em grãos de cultivares e linhagens de feijão preto, proveniente do ensaio conduzido em Wenceslau Braz – PR, safra da seca 2006.....	42

Tabela 3.5 – Análise de componentes principais, baseada em dez características tecnológicas avaliadas em grãos de cultivares e linhagens de feijão preto, provenientes do ensaio conduzido Wenceslau Braz – PR, safra da seca 2006	43
Tabela 3.6 – Médias das variáveis dos grupos formados com dez características tecnológicas avaliadas em grãos de cultivares e linhagens de feijão preto, provenientes do ensaio conduzido Wenceslau Braz – PR, safra da seca 2006.....	46
Tabela 4.1 – Análise de variância conjunta, média geral e coeficiente de variação (CV) dos teores de proteína em base seca (%) de 18 genótipos de feijão do grupo comercial preto e carioca, cultivados em Mauá da Serra, Pato Branco e Wenceslau Braz, no estado do Paraná, durante a safra da seca/2006	55
Tabela 4.2 – Média do teor de proteína (%), estimativas dos parâmetros de estabilidade e adaptabilidade para de 18 genótipos de feijão do grupo preto avaliados em Mauá da Serra, Pato Branco e Wenceslau Braz na safra da seca/2006.....	56
Tabela 4.3 – Média do teor de proteína (%), estimativas dos parâmetros de estabilidade e adaptabilidade para 18 genótipos de feijão do grupo carioca avaliados em Mauá da Serra, Pato Branco e Wenceslau Braz na safra da seca/2006	57
Tabela 4.4 – Análise de variância conjunta dos teores de minerais nos grãos em genótipos de feijão preto avaliados nos ensaios de Mauá de Serra, Pato Branco e Wenceslau Brás no estado do Paraná, safra da seca 2006.....	59
Tabela 4.5 – Teor médio de Fósforo (g.kg^{-1}) e Teor médio de Potássio (g.kg^{-1}) e estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de acordo com Eberhart e Russel (1966) em 18 genótipos de feijão preto. Mauá da Serra, Pato Branco e Wenceslau Braz - safra da seca/2006.....	62
Tabela 4.6 – Teor médio de Cálcio (g.kg^{-1}) e Teor médio de Magnésio (g.kg^{-1}) e estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de acordo com Eberhart e Russel (1966) em 18 genótipos de feijão preto. Mauá da Serra, Pato Branco e Wenceslau Braz - safra da seca/2006.....	63

Tabela 4.7 – Teor médio de Teor de Cobre (mg.kg^{-1}) e Teor de Zinco (mg.kg^{-1}) e estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de acordo com Eberhart e Russel (1966) em 18 genótipos de feijão preto. Mauá da Serra, Pato Branco e Wenceslau Braz - safra da seca/2006.....	64
Tabela 4.8 – Teor médio de Teor de Boro (mg.kg^{-1}) e Teor de Manganês (mg.kg^{-1}) e estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de acordo com Eberhart e Russel (1966) em 18 genótipos de feijão preto. Mauá da Serra, Pato Branco e Wenceslau Braz - safra da seca/2006.....	65
Tabela 4.9 – Teor médio de Teor de Ferro (mg.kg^{-1}) e Teor de Enxofre (g.kg^{-1}) e estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de acordo com Eberhart e Russel (1966) em 18 genótipos de feijão preto. Mauá da Serra, Pato Branco e Wenceslau Braz - safra da seca/2006.....	66
Tabela 4.10 – Análise de variância conjunta dos teores de minerais nos grãos em genótipos de feijão carioca avaliados nos ensaios de Mauá de Serra, Pato Branco e Wenceslau Brás no estado do Paraná, safra da seca 2006.....	70
Tabela 4.11 – Teor médio de Fósforo (g.kg^{-1}) e teor médio de Potássio (g.kg^{-1}) e estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de acordo com Eberhart e Russel (1966) em 18 genótipos de feijão carioca. Mauá da Serra, Pato Branco e Wenceslau Braz - safra da seca/..	71
Tabela 4.12 – Teor médio de teor de Cálcio (g.kg^{-1}) e Teor de Magnésio (g.kg^{-1}) e estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de acordo com Eberhart e Russel (1966) em 18 genótipos de feijão carioca. Mauá da Serra, Pato Branco e Wenceslau Braz - safra da seca/2006..	72
Tabela 4.13 – Teor médio de Teor de Cobre (mg.kg^{-1}) e Teor de Zinco (mg.kg^{-1}) e estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de acordo com Eberhart e Russel (1966) em 18 genótipos de feijão carioca. Mauá da Serra, Pato Branco e Wenceslau Braz - safra da seca/2006.....	73

Tabela 4.14 – Teor médio de Teor de Boro (mg.kg^{-1}) e teor de Manganês (mg.kg^{-1}) e estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de acordo com Eberhart e Russel (1966) em 18 genótipos de feijão carioca. Mauá da Serra, Pato Branco e Wenceslau Braz - safra da seca/2006..74

Tabela 4.15 – Teor médio de Teor de Ferro (mg.kg^{-1}) e teor de Enxofre (g.kg^{-1}) e estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de acordo com Eberhart e Russel (1966) em 18 genótipos de feijão carioca. Mauá da Serra, Pato Branco e Wenceslau Braz - safra da seca/2006.....75

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
1 OBJETIVOS	15
1.1 OBJETIVO GERAL... ..	15
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 QUALIDADE TECNOLÓGICA DOS GRÃOS	16
2.1.1 Tempo de cozimento	16
2.1.2 Absorção de água	17
2.1.3 Outras características tecnológicas	18
2.2 QUALIDADE NUTRICIONAL DOS GRÃOS.....	19
2.2.1 Teor de proteínas.....	20
2.2.2 Teor de minerais	23
2.2.2.1 Minerais e a alimentação humana	23
2.2.2.2 Teores de ferro e zinco em algumas culturas agrícolas.....	26
2.2.2.3 Absorção de minerais pelas plantas	27
2.2.3 Teor de fibras.....	28
2.3 ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE.....	30
3 ARTIGO A: QUALIDADE TECNOLÓGICA DE GRÃOS DE FEIJÃO DO GRUPO COMERCIAL PRETO	31
3.1 Resumo.....	31
3.2 Abstract.....	32
3.3 Introdução.....	33
3.4 Material e Métodos.....	34
3.5 Resultados e Discussão	37
3.6 Conclusões.....	46
3.7 Referências.....	47
4 ARTIGO B: EFEITO DO AMBIENTE NA QUALIDADE NUTRICIONAL DE GRÃOS DE FEIJÃO DO GRUPO COMERCIAL PRETO E CARIOCA	49

4.1 Resumo.....	49
4.2 Abstract.....	50
4.3 Introdução.....	51
4.4 Material e Métodos.....	53
4.5 Resultados e Discussão	55
4.6 Conclusões.....	69
4.7 Referências	70
5 CONCLUSÕES GERAIS	73
REFERÊNCIAS	74

INTRODUÇÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é um dos principais componentes da dieta alimentar do brasileiro. O Brasil cultiva anualmente uma área em torno de 4,2 milhões de hectares com uma produção total estimada de 3,5 milhões de toneladas (CONAB, 2007).

O feijoeiro é cultivado em quase todo o território nacional sendo produzido em diferentes safras agrícolas, o que proporciona ao mercado consumidor constante oferta do produto ao longo do ano. No país a 1ª safra, também denominada de safra das águas, contribui com 41,3% do total da produção, a 2ª safra, denominada de safra da seca, com 35,5% e a 3ª safra, a de outono-inverno, com o restante da produção. A região Sul é a maior produtora nacional de feijão, seguido das regiões: Nordeste, Sudeste, Centro-Oeste e Norte, sendo o Estado do Paraná o principal produtor, contribuindo com aproximadamente 22% da produção nacional (CONAB, 2007).

O feijão é um alimento básico do brasileiro, principalmente na forma de grão, sendo considerado uma das principais fontes de proteína para pessoas de baixa renda. Além de uma importante fonte de proteína, os grãos de feijão são também fontes de carboidratos, vitaminas, minerais e fibras, sendo que estas possuem efeitos hipoglicêmicos e hipocolesterolêmicos (LAJOLO et al, 1996).

No desenvolvimento de cultivares de feijoeiro, características como: alta produtividade de grãos, arquitetura de planta ereta, precocidade e resistência a fatores bióticos e abióticos estressantes são desejadas em uma cultivar, porém visando atender atualmente as exigências do mercado consumidor busca-se também melhoria nas qualidades tecnológicas e nutricionais dos grãos.

O desenvolvimento de cultivares de feijoeiro com maior teor de fibras, proteínas e ferro nos grãos, representa uma importante estratégia para nutrir e manter a saúde da população carente, contribuindo de maneira eficaz para a redução da má nutrição e da deficiência de ferro e conseqüentemente da anemia na população brasileira. Portanto, torna-se fundamental conhecer a variabilidade genética existente para os caracteres nutricionais nos grãos de genótipos de feijão, bem como a influência do ambiente nesses caracteres.

1 OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GERAL

O presente estudo teve por objetivo avaliar a qualidade nutricional e tecnológica nos grãos de cultivares e linhagens de feijão adaptadas às condições edafoclimáticas do estado do Paraná.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estimar a variabilidade genética para qualidade tecnológica dos grãos em cultivares e linhagens de feijão do grupo comercial preto;
- Quantificar o teor de proteína e minerais nos grãos de cultivares e linhagens de feijão do grupo comercial carioca e preto;
- Avaliar o efeito do ambiente nas características nutricionais de linhagens e cultivares de feijão do grupo comercial carioca e preto;
- Estudar o efeito da interação genótipo por ambiente para teor de minerais e proteína nos grãos;
- Avaliar a estabilidade fenotípica e adaptabilidade nos caracteres nutricionais dos grãos em linhagens e cultivares de feijão.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 QUALIDADE TECNOLÓGICA DOS GRÃOS

As propriedades sensoriais apresentadas pelos grãos de feijão são decisivas para sua aceitação pelo consumidor. Entre os caracteres mais relevantes podem-se citar: tamanho, forma e cor da semente e características dos grãos após o processamento, tais como: sabor, aroma e textura dos grãos e a aparência do caldo.

O tamanho, cor, brilho e forma do grão caracteriza a sua qualidade comercial. No Brasil são cultivados vários tipos comerciais de grãos, sendo os mais populares os tipos carioca, preto, jalo (amarelo e grande), mulatinho e roxo (VIEIRA et al, 2005). Os grãos de feijão são consumidos em todo o país, entretanto existem preferências regionais quanto ao seu tamanho e coloração, o feijão preto é mais popular no Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Sul e Leste do Paraná, Rio de Janeiro, Sudeste de Minas Gerais e Sul do Espírito Santo. No restante do país, este tipo de grão tem pouco ou quase nenhum valor comercial ou aceitação. O feijão do tipo carioca é aceito em praticamente todo o país (CARNEIRO et al, 2005).

2.1.1 Tempo de Cozimento

Para que uma cultivar de feijão seja aceita pelo consumidor, esta deve apresentar sabor e aroma agradável ao paladar, cor atraente e principalmente cozimento fácil e rápido.

O controle genético para o tempo de cozimento em grãos de feijão é controlado por genes com alelos dominantes, e o carácter apresenta efeito materno, onde o tegumento é o principal constituinte do grão responsável pelo tempo de cocção (PAULA, 2004).

Os diferentes tempos de cocção encontrados nas linhagens e cultivares de feijão podem ser de origem genética proveniente do próprio genótipo ou de influência do ambiente que atua no desenvolvimento da semente durante o

cultivo da planta. Os fatores ambientais, tais como o clima, temperatura e a disponibilidade de água podem influenciar a qualidade do grão (DALLA CORTE et al, 2003).

Os fenômenos “hard to shell” e “hard to cook” influenciam negativamente a qualidade culinária dos grãos, ambos os fenômenos resultam no aumento do tempo de cocção. “Hard to shell” ocorre quando os grãos não absorvem água ou mostram baixa capacidade de embebição devido a impermeabilidade do tegumento. O controle genético do “hard to shell” é relativamente simples, mas sua ocorrência depende de condições de alta umidade durante a formação ou maturação dos grãos. O “hard to cook” é um fenômeno que interfere na capacidade de cozimento do cotilédone. Contudo as sementes absorvem água mas o cotilédone não se torna macio durante o cozimento. O “hard to cook” é um fenômeno irreversível e desenvolve-se durante períodos prolongados de armazenamento especialmente sobre condições de temperaturas elevadas e alta umidade relativa. O prolongado tempo de cozimento observado em grãos de feijão é frequentemente devido à ocorrência do “hard to cook” (GARCIA-VELA E STANLEY, 1989; MARTIN-CABREJAS et al, 1997; STEEL et al, 1995; REYES-MORENO e PAREDE-LOPEZ, 1993).

O fenômeno “hard to cook” influencia diversas características nos grãos de feijão, como sabor, aroma, textura e cor. Quando foi realizado o armazenamento dos grãos a temperatura de 5 °C não foi verificado este fenômeno, conservando os grãos por maior tempo (COELHO et al, 2007).

2.1.2 Absorção de Água

A quantidade de água absorvida pelos grãos de feijão é relatada como um indicativo do tempo de cozimento, esta característica apresenta variabilidade genética entre os genótipos de feijão. No trabalho realizado por Esteves et al, (2002) foi observado que a quantidade de água absorvida pelos grãos variou de 169,14% (cv. Carioca Aruã) a 119,60% (Linhagem G2333). A absorção de água das linhagens de feijão do banco de germoplasma da UFLA variou de 15% a 115%, porém a maioria dos genótipos apresentou variação de 85% a 105%. Os autores relatam eficiência na

seleção nas primeiras gerações segregantes para este caráter, devido à alta estimativa de herdabilidade obtida ($h^2 = 0,98$) (COSTA et al, 2001).

A absorção de água pela semente foi correlacionada com o tempo de cozimento. Foram encontradas tanto correlações positivas (DALLA CORTE et al, 2003), quanto negativas (RODRIGUES et al, 2005). Devido aos diferentes resultados encontrados na literatura, torna-se difícil à utilização desta característica para efetuar a seleção de genótipos de feijão com baixo tempo de cozimento.

As características do tegumento como a espessura, aderência aos cotilédones, elasticidade, porosidade e propriedades coloidais também interferem na absorção de água pela semente (WYATT apud ESTEVES et al, 2002).

O teor de polifenóis pode influenciar a capacidade de hidratação dos grãos, verificou-se que os genótipos com maiores teores de polifenóis apresentam menor capacidade de absorção de água (ESTEVES et al, 2002).

A característica absorção de água é interessante do ponto de vista industrial, pois grãos de feijão que apresentem alta percentagem de absorção de água em relação ao seu peso seco proporcionam maior rendimento após o cozimento.

2.1.3 Outras Características Tecnológicas

As principais características relacionadas com a qualidade tecnológica dos grãos além do tempo de cozimento e absorção de água antes e após o cozimento são: porcentagem de grãos inteiros, sólidos totais no caldo, expansão volumétrica após a cocção, coloração do tegumento e do caldo, entre outros (BASSINELO, 2007).

O tempo de cozimento dos grãos de feijão é umas das características tecnológicas mais estudadas (CARBONELL et al, 2003; LEMOS et al, 2004; RIBEIRO et al, 2007a). Para efetuar o registro de uma nova cultivar no Serviço Nacional de Registro de Cultivares - SNRC/MAPA (Portaria nº 294, de 14 de outubro de 1998 - Anexo IV) são avaliadas nas cultivares e linhagens de feijoeiros os caracteres: rendimento de grãos, reação às doenças, reação às adversidades (secas, baixas temperaturas, altas temperaturas durante a fase reprodutiva), características agrônômicas entre outras. Também são avaliadas as características

tecnológicas dos grãos de feijão, as variáveis analisadas são: sólidos totais no caldo, porcentagem de grãos inteiros após o cozimento, porcentagem de absorção de água pela amostra antes e após o cozimento, estas características são avaliadas conforme a metodologia descrita por Plhak et al, (1989) e Garcia-Vela e Stanley, (1989). O tempo médio de cozimento é determinado método de Mattson (PROCTOR e WATTS, 1987) e o teor de proteína é avaliado de acordo com a metodologia da AOAC, (1980). A coloração do caldo também é avaliada, porém a mesma é realizada de forma muito subjetiva, dependendo da percepção de cada avaliador. (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2008).

Os caracteres sólidos totais no caldo e porcentagem de grãos inteiros após o cozimento são influenciados pelo ambiente de cultivo e pela interação genótipo por ambiente. Quando a quantidade de sólidos totais no caldo foi avaliada em cultivares e linhagens de feijão brasileiras foram observadas variações de 0,96g/100ml (cultivar Goiano Precoce) a 1,5g/100ml (linhagem LP20-88) (DALLA CORTE et al, 2003). A característica do caldo é influenciada pela quantidade de sólidos presentes, portanto quanto maior a quantidade de sólidos totais mais encorpado é o caldo do feijão (BASSINELLO et al, 2003).

A porcentagem de grãos inteiros após o cozimento é outra característica relevante a ser considerada no processo de industrialização dos grãos de feijão, pois, buscam-se genótipos que apresentem baixo tempo de cocção e elevada porcentagem de grãos inteiros. Nesta característica foi verificada variabilidade entre os genótipos e observada efeito ambiental (DALLA CORTE et al, 2003). O consumidor tem tendência a preferir feijões de boa consistência de caldo mantendo a integridade dos grãos cozidos (BASSINELLO et al, 2003).

2.2 QUALIDADE NUTRICIONAL DOS GRÃOS

O feijão é originário do continente americano, seus grãos constituem uma das principais fontes de proteínas, calorias, vitaminas do complexo B e minerais para a população da América Latina (GUZMÁN-MALDONADO e PAREDE-LÓPEZ, 1998). Os grãos desta leguminosa apresentam componentes que os tornam vantajosos nutricionalmente, tais como: altos teores protéicos e de lisina, fibra

alimentar, carboidratos complexos e vitaminas do complexo B (LAJOLO et al, 1996). Na Tabela 2.1 são apresentadas alguns componentes do feijão e respectiva função no organismo.

Tabela 2.1 – Componentes principais do feijão, função tradicional e potencial nutracêutico.

Componente	Função Tradicional	Potencial nutracêutico
Nutricional		
Proteína	Fonte de aminoácidos	Alternativa a proteína animal
Fibra	Redução da constipação do sistema digestivo	Redução de colesterol no sangue e requerimento de insulina no sangue
Lipídios Carboidratos	Fonte de energia Fonte de energia	
Proteção		
Polifenóis totais	Conferem resistência a pragas de armazéns; dão cor ao caldo	Antioxidante, redução de problemas cardiovasculares
Fisiológicos		
Ácido fítico	Fonte de fósforo durante a germinação	Antioxidante
Antinutricionais		
Taninos	Reduzem a assimilação de minerais e digestibilidade das proteínas	Antioxidantes, antimutagênicos, diminuição de problemas cardiovasculares e dos requerimentos de insulina
Inibidores de tripsinas	Diminuem a digestibilidade da proteína e o PER (relação de eficiência protéica), alergênico ocupacional	Proteção contra rotavirus, anti carcinogênicos, quimioprotetores.
Lectinas	Crescimento do pâncreas e ulceração do epitélio intestinal em ratos Conferem resistência a pragas de armazém	Inibição do crescimento de linfomas, diagnóstico de tumores cancerosos.

Fonte: Maldonado et al, (2002).

2.2.1 Teor de Proteínas

A proteína de origem vegetal tem papel essencial na alimentação humana em virtude do menor custo em relação à proteína de origem animal. Os grãos de feijão são considerados uma das principais fontes protéicas de origem vegetal. A

porcentagem de proteína bruta em base seca nos grãos de feijão pode variar de 16 a 33% (GUZMÁN-MALDONADO e PAREDE-LÓPEZ, 1998).

Segundo Pires et al, (2006) a proteína de boa qualidade deve apresentar boa digestibilidade, quantidades adequadas de aminoácidos essenciais e de nitrogênio total, em seu trabalho a digestibilidade de proteína encontrada para o feijão foi de 78,70%.

No estudo realizado por Pires et al, (2006), as proteínas de origem animal estudadas não apresentaram aminoácidos essenciais limitantes, entretanto as leguminosas soja e o feijão apresentaram os aminoácidos sulfurados (metionina + cisteína) como limitantes, e nos cereais trigo e milho a lisina foi o aminoácido mais limitante.

Os grãos de feijão são ricos em lisina e limitados em aminoácidos sulfurados ao contrário dos cereais que são pobres em lisina e ricos em aminoácidos sulfurados, tornando a dieta brasileira de arroz com feijão balanceado em termos de aminoácidos essenciais.

A composição de aminoácidos nos grãos de feijão, bem como a influência do ambiente nessa composição foi avaliada por Ribeiro et al (2007b) em 19 cultivares de feijão. Os autores observaram em ordem decrescente os seguintes aminoácidos essenciais: leucina, lisina, fenilalanina, valina, isoleucina, treonina, histidina e metionina; e aminoácidos não-essenciais: ácido glutâmico, ácido aspártico, arginina, serina, alanina, glicina, tirosina, prolina e cisteína. Somente os aminoácidos leucina, isoleucina, histidina, valina e treonina apresentaram diferença estatística para local, indicando que eles podem variar em razão do local de cultivo.

O controle genético para o caráter teor de proteína total é complexo, a variação do teor de proteína não depende somente do gene que controla a síntese e acumulação de específicas frações de proteína, mas também de genes que controlam outros fatores, tais como, obtenção de nutrientes, vigor da planta, maturação, rendimento e tamanho de grãos (REYES-MORENO e PAREDE-LÓPEZ, 1993).

O teor de proteína também é influenciado por fatores ambientais, como diferentes safras e anos agrícolas, localização geográfica, condições edafoclimáticas distintas apresentadas nos locais de cultivo. Além disso, tem o efeito da interação genótipo por ambiente atuando neste caráter. A atuação do efeito ambiental na variação do teor de proteína nos grãos de feijão tem sido estudada por

vários autores (DALLA CORTE et. al , 2003; SORATTO et. al, 2005; ANDRADE et. al, 2004).

A porcentagem do teor de proteína presente no grão foi correlacionada negativamente com as características agronômicas, número de vagens por planta, número de sementes por vagem e rendimento de grãos por planta (MELLO FILHO et al, 2004), isto demonstra a dificuldade de efetuar a seleção de genótipos com elevados teores de proteína com base nestes caracteres.

Em cultivares de feijão o teor de proteína nos grãos é correlacionado negativamente com a produtividade de grãos (VIEIRA et al, 2005), entretanto os autores ressaltam que mais importante que o teor de proteína no grão, é a qualidade comercial (tipo de grão), qualidade culinária (características dos grãos cozidos) e rendimento de grãos, pois, estes fatores determinam à aceitabilidade do produtor e do consumidor.

O teor de proteína nos grãos é influenciado pela adubação nitrogenada fornecida ao feijoeiro durante o desenvolvimento da cultura. Gomes Jr. et al, (2005) avaliaram o efeito de duas doses de adubação nitrogenada ($40\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ e $80\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) em oito épocas do desenvolvimento vegetativo (1ª época, planta com 3 folhas trifolioladas; 2ª época, planta com 4 folhas trifolioladas, sucessivamente até 8ª época, planta com 10 folhas trifolioladas) sobre o teor de proteína total e proteína solúvel nos grãos, observaram que a proteína total e solúvel aumentou quando foi aplicada a maior dose de nitrogênio. O teor obtido de proteína bruta foi de 20,1% a 21,4%, e de proteína solúvel foi de 14,4% e 16,3% respectivamente para as doses de $40\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ e $80\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Soratto et al, (2005) estudaram a influência da adubação nitrogenada na produtividade e teor de proteína nos grãos de feijão. Observaram que a aplicação de $90\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de nitrogênio no estágio V₄ (22 dias após a emergência) e início de R₇ (50 dias após a emergência) proporcionaram aumento nos teores de proteína em feijoeiro cultivado em plantio direto.

2.2.2 Teor de Minerais

2.2.2.1 Minerais e a alimentação humana

De acordo com a sua função biológica os minerais dividem-se em essenciais, com função biológica conhecida, elementos não essenciais e elementos tóxicos. A variação do conteúdo mineral de um mesmo alimento depende de fatores genéticos, climáticos, práticas de cultivo e também do processamento realizado pela indústria (BELITZ e GROSCH, 1997).

Os minerais são as cinzas resultantes da incineração da matéria orgânica (BELITZ e GROSCH, 1997). E em relação à quantidade utilizada pelo organismo e quantidade existente nos alimentos, os minerais são separados em dois grupos: os macroelementos e microelementos (FERREIRA, 1983; BELITZ e GROSCH, 1997). Os macroelementos são sódio, potássio, cálcio, fósforo, enxofre, cloro e magnésio, estes elementos são encontrados em quantidades elevadas, ao contrário dos microelementos ou oligoelementos que se encontram em proporções mínimas. Os exemplos de microelementos são os minerais ferro, cobre, manganês, zinco, iodo, flúor, cobalto, níquel e outros com papel nutricional desconhecido. Na alimentação humana os oligoelementos mais frequentemente deficientes são o ferro, iodo, flúor, cobre e zinco (FERREIRA, 1983).

Os seres humanos requerem os elementos minerais cálcio e fósforo em maior quantidade, a deficiência destes provoca enfermidades nos ossos e dentes, a vitamina D e a lactose favorecem a absorção de cálcio no trato gastrointestinal (POTTER e HOTCHKISS, 1999). O leite e derivados lácteos são as principais fontes de cálcio (BELITZ e GROSCH, 1997).

O teor de cálcio em vagens de quatro cultivares de feijão vagem (Hystyle, Labrador, Evergreen e BBL94) e de 60 famílias S1 foi avaliado por Quintana et al, (1996). Observou-se variabilidade genética para teor de cálcio na vagem sendo que a herdabilidade estimada foi de $0,50 \pm 0,03$, e os resultados obtidos indicaram que esta característica tem distribuição normal. Também observou-se uma correlação negativa entre o tamanho da vagem e a concentração de cálcio na vagem.

Em estudos visando avaliar a influência de diferentes doses, 0, 1, 2 e 4 t.ha⁻¹, de adubação com gesso (CaSO₄ 2H₂O) no teor de cálcio em vagens de 12 genótipos de feijão vagem, verificou-se que as doses de gesso não influenciaram no teor de cálcio nas vagens. Todavia observou-se diferença estatística entre os genótipos, sendo que as cultivares Top Crop, Astrel, Tenderlake e True Blue destacaram-se das demais por apresentarem maior concentração de cálcio nas vagens (MIGLIORANZA et al, 1997). Esses resultados evidenciam que a adubação adicional de Ca⁺² em um solo que tenha razoável teor deste elemento, não será eficiente para incrementar o teor de cálcio nas vagens. Quando objetiva-se aumentar o teor de Ca⁺² no fruto, recomenda-se o uso de genótipos mais aptos a translocar esse elemento para esse órgão. Como a herdabilidade nesse caso é de 0,50, segundo Quintana et al, (1996), torna o melhoramento para esta característica promissora.

O magnésio ativa diversos sistemas enzimáticos importantes para a manutenção do potencial elétrico de nervos e membranas. Os vegetais verdes são as principais fontes de magnésio, a molécula da clorofila presente nas plantas é decomposta no tubo digestivo liberando o magnésio que é em seguida absorvido pelo organismo (FERREIRA, 1983). O potássio por sua vez é um cátion intracelular que junto com o sódio regula a pressão osmótica e o equilíbrio do pH (POTTER e HOTCHKISS, 1999).

O enxofre no organismo de animais superiores faz parte de moléculas orgânicas, como os aminoácidos sulfurados metionina, cisteína e cistina e também de compostos complexos (FERREIRA, 1983).

Os minerais que o organismo humano tem necessidades inferiores a 50 miligramas diários são chamados de oligoelementos (FERREIRA, 1983). A função biológica e importância de alguns microelementos serão abordadas a seguir.

O iodo constitui parte dos hormônios da tireóide e nos seres humanos atua na prevenção do bócio. O cobalto é o átomo central da vitamina B₁₂, esta vitamina é importante para a formação de ácidos nucléicos e o metabolismo de lipídeos e hidrocarboneto. O fígado, as carnes, os pescados e outros alimentos marinhos são fontes de vitamina B₁₂ (POTTER e HOTCHKISS, 1999).

O flúor é necessário para o desenvolvimento dos dentes e a adição de 0,5ppm a 1,5ppm de flúor na forma de NaF ou (NH₄)₂SiF₆ na água diminui a incidência de cáries (BELITZ e GROSCH, 1997). O cobre facilita a utilização do ferro e a síntese de hemoglobina (POTTER e HOTCHKISS, 1999).

O ferro é considerado um microelemento essencial, a necessidade diária de ferro de um indivíduo adulto na faixa etária de 25 a 50 anos, é 10 a 15mg e a de zinco é de 12 a 15mg (WELCH e GRAHAM, 2004). Apesar da pequena quantidade requerida de ferro pelo organismo, a deficiência desse micronutriente afeta todas as faixas etárias, principalmente mulheres e crianças. A deficiência de ferro é um dos problemas nutricionais mais comuns, pois afeta mais de dois bilhões de pessoas no mundo (WHO, 2007).

As maiores consequências da deficiência de ferro no organismo humano são relatadas em mulheres grávidas onde a deficiência de ferro provoca o aumento de mortalidade de mães e crianças, reduzindo o desenvolvimento psicomotor e mental na infância, decréscimo do sistema imunológico, fadiga e indisposição (LUCCA et al, 2001).

A adição de ferro e ácido fólico nas farinhas de milho e trigo destinadas a indústria ou fabricação de outros produtos é determinada pela legislação brasileira. A cada 100g de farinha deverão conter 4,2mg de ferro e 150mcg de ácido fólico (Resolução RDC nº 344, de 13 de dezembro de 2002). Esta medida visa obter maior quantidade de ferro e ácido fólico na formulação final de farinhas e produtos como pães, macarrão, biscoitos, dentre outros (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2008).

A disponibilidade de ferro foi avaliada em amostras de feijão analisada isoladamente e combinada com ácido ascórbico e cistina por Moura e Canniatti-Brazaca, (2006). Os compostos antinutricionais encontrados nas amostras de feijão da variedade Carioca (0,065g de taninos por 100g; 8,03mg de ácido fítico por grama e 7,12mg de ácido oxálico por grama) diminuem a disponibilidade de ferro, no entanto, a disponibilidade de ferro nos grãos aumenta quando são adicionados ácido ascórbico e cistina.

De acordo com o estudo realizado por Brigide (2002), a disponibilidade de ferro aumenta quando é utilizada a radiação nos grãos de feijão. Amostras de feijão da variedade carioca foram submetidas às doses de radiação de 0, 2, 6 e 10kGy e observou-se que os teores de fitatos foram relacionados inversamente com as doses de irradiação. A autora recomenda a dosagem de 6kGy, que proporcionou diminuição dos fatores antinutricionais e maior disponibilidade de ferro em grãos cozidos e crus.

2.2.2.2 Teores de ferro e zinco em algumas culturas agrícolas

Devido à importância do mineral ferro e zinco na dieta humana foram realizados estudos em diversas culturas agrícolas, que constituem a base da alimentação humana. Observa-se na Tabela 2.2 a variação dos teores de ferro e zinco de algumas das principais plantas cultivadas.

Tabela 2.2 – Teores de ferro e zinco avaliados em feijão, milho, trigo, arroz e batata em diversas instituições de pesquisa.

Cultura	Instituição	Teor de ferro ($\mu\text{g/g}$)	Teor de zinco ($\mu\text{g/g}$)	Fonte
Feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	CIAT	34 a 89	21 a 54	Gregorio, (2002)
Trigo (<i>Triticum</i> sp.)	CIMMYT	28,8 a 56,5	25,2 a 53,3	Gregorio, (2002)
Milho (<i>Zea mays</i> L.)	CIMMYT	9,6 a 63,2	12,9 a 57,6	Gregorio, (2002)
Arroz (<i>Oriza sativa</i>)	IRRI	6,3 a 24,4	13,5 a 58,4	Gregorio, (2002)
Batata (<i>Solanum</i> sp.)	CIP	9 a 37	8 a 20	Burgos et al, (2007)

Na revisão efetuada por Gregorio, (2002), foram descritos os teores de ferro e zinco avaliados nas culturas de trigo, milho, arroz e feijão. Os genótipos de trigo e milho do Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) foram avaliados. Nos genótipos de trigo cultivados em El Batán, México, o teor de ferro variou de 28,8 $\mu\text{g/g}$ a 56,5 $\mu\text{g/g}$ (média de 37,2 $\mu\text{g/g}$) e o teor de zinco variou de 25,2 $\mu\text{g/g}$ a 53,3 $\mu\text{g/g}$ (média de 35 $\mu\text{g/g}$). No germoplasma de milho foram avaliadas as concentrações de ferro nos grãos variaram de 9,6 $\mu\text{g/g}$ a 63,2 $\mu\text{g/g}$ e as concentrações de zinco ficaram entre 12,9 $\mu\text{g/g}$ a 57,6 $\mu\text{g/g}$.

Estudos realizados no International Rice Research Institute (IRRI) indicaram a presença de significativa diversidade genética no genoma do arroz, suficiente para incrementar substancialmente as concentrações de ferro e zinco neste cereal (GREGORIO, 2002).

A coleção nuclear de feijão “core collection” do Centro internacional de Agricultura Tropical (CIAT), composta por mais de 1.000 acessos foi avaliada para o teor de Fe e Zn. Os resultados obtidos indicaram que a concentração de ferro variou de 34 a 89µg/g (média de 55µg/g de ferro), alguns genótipos de feijão apresentaram altos níveis de ferro, com média superior a 100µg/g, para zinco as concentrações nos acessos variaram de 21 a 54µg/g (média de 35µg/g zinco) (GREGORIO, 2002).

Em 49 genótipos de batata nativa dos Andes foi observada presença de variabilidade genética e efeito significativo da interação genótipo por ambiente nos teores de ferro e zinco para esta cultura. As concentrações de ferro e zinco encontradas nos tubérculos descascados variaram de 9 a 37mg Fe.kg⁻¹ e 8 a 20mg Zn.kg⁻¹ (base seca) (BURGOS et al, 2007).

Correlação positiva e significativa foi obtida entre os teores dos minerais ferro e zinco avaliados em grãos de feijão, isto indica a possibilidade de efetuar-se a seleção de genótipos de feijão com elevada concentração de ferro e zinco simultaneamente nas sementes (WELCH et al, 2000).

O teor de ferro em genótipos de origem andina apresentou correlação positiva com os minerais manganês, zinco, fósforo e enxofre, e em genótipos de origem mesoameriicanas foram observados correlações positiva do ferro com os minerais manganês, zinco, magnésio, potássio, fósforo e enxofre (BEEBE et al, 1999).

As estimativas de correlações possibilitam ao melhorista o conhecimento da existência da associação entre os diferentes caracteres e isto será útil na escolha do procedimento de seleção mais eficiente a ser adotado. No melhoramento de genótipos é levado em consideração um conjunto de caracteres simultaneamente, e não apenas caracteres isolados (VENCOVSKY e BARRIGA, 1992).

2.2.2.3 Absorção de Minerais Pelas Plantas

Os minerais são obtidos pelo sistema radicular das plantas na forma de íons inorgânicos do solo, estes elementos são translocados para diversas partes das plantas, onde atuam em numerosas funções biológicas. A assimilação de nutrientes é o processo pelos quais os nutrientes obtidos pelas plantas são

incorporados em compostos de carbono necessários ao crescimento e ao desenvolvimento da planta, por exemplo, o Ca^{+2} associa-se a pectatos na parede celular, o Mg^{+2} associa-se ao pigmento da clorofila. Os minerais são absorvidos na forma de íons pelo sistema radicular, a absorção de enxofre pelos vegetais é na forma de sulfato (SO_4^{-2}), o fósforo é absorvido na forma de fosfato (HPO_4^{-2}), os cátions (potássio, magnésio, cobre, ferro, manganês, cobalto, sódio e zinco) formam complexos com compostos orgânicos para serem absorvidos pelas células vegetais (TAIZ e ZEIGER, 2004).

O ferro é importante na planta como catalisador de enzimas que participam nas reações de óxido-redução, para obtenção do solo as plantas dispõem de mecanismos para aumentar a solubilidade e disponibilidade de ferro no solo, como: a) acidificação do solo aumentando a solubilidade do ferro férrico (Fe^{+3}); b) redução do ferro férrico a forma ferrosa (Fe^{+2}) mais solúvel; c) liberação de compostos que formam complexos mais estáveis e solúveis com o ferro, as gramíneas produzem os fitosideróforos, que formam complexos estáveis com o Fe^{+3} , as células das raízes das gramíneas possuem um sistema de transporte de fitosideróforos- Fe^{+3} que carrega o quelato para o interior do citoplasma (TAIZ e ZEIGER, 2004).

2.2.3 Teor de Fibras

A fibra é considerada um importante nutriente na dieta, e de grande interesse na área da saúde. Este componente é responsável pelo funcionamento normal da digestão, e relacionado com a diminuição da incidência e prevenção de enfermidades como: constipação, diverticulite, câncer de colón, obesidade, problemas cardiovasculares e diabetes (RAUPP e SGARBIERI, 1997; MALDONADO et al, 2002).

O consumo de determinados alimentos regionais deve ser estimulado por agregar elevado teor de fibra alimentar, ressalta-se a necessidade de campanhas de incentivos destinadas a população a retomar hábitos alimentares mais saudáveis (GIUNTINI et al, 2003). De acordo com Mattos e Martins (2000), entre os alimentos de consumo diário, o feijão foi considerado a maior fonte de fibra na dieta. Nas últimas três

décadas ocorreu diminuição do consumo de fibra pela população brasileira, umas das principais causas esta relacionada ao menor consumo de feijão (LAJOLO et al, 2001 citado por GIUNTINI et al, 2003).

A fibra alimentar é composta por um complexo de substâncias que inclui polissacarídeos solúveis e insolúveis. As fibras alimentares podem ser classificadas em fibras solúveis (FS) e fibras insolúveis (FI), de acordo com a solubilidade de seus componentes em água. Dentre os componentes solúveis da fibra estão as pectinas, protopectinas, gomas, mucilagens etc. Entre os componentes insolúveis da fibra estão a celulose, hemicelulose e a lignina (TURANO et al, 2000; MATTOS e MARTINS, 2000). As frações solúveis e insolúveis das fibras alimentares são responsáveis por diferentes efeitos fisiológicos no organismo. As fibras insolúveis aumentam o bolo fecal, reduzem o tempo de transito no intestino grosso tornando a eliminação fecal mais fácil, a fibra solúvel aumenta a viscosidade do conteúdo intestinal e reduz o colesterol plasmático (MATTOS e MARTINS, 2000).

Os componentes insolúveis da fibra apresentam baixa viscosidade, são pouco fermentáveis e auxiliam na movimentação no trato digestivo e contribuem para aumentar o volume das fezes. No experimento realizado com ratos, cujo grupo de indivíduos que receberam a dieta com fibra solúvel produziam fezes de menor peso e volume em comparação com outros ratos que ingeriram fibra insolúvel celulose (RAUPP e SGARBIERI, 1997).

Estima-se que as necessidades diárias de fibra de uma população adulta e sadia sejam de 25-30 g de fibra alimentar total; 4-6 g de celulose; 4-6 g de hemicelulose; 2-4 g de lignina; 5-10 g de pectina total; 0,7-1,6 g de pectina solúvel; 4-6 de protopectina (TURANO et al, 2000).

Londero et al, (2006; 2005) estudaram os teores de fibras e suas frações em grãos (cru) de feijão, encontraram valores que variavam de 33,39% a 39,39% de fibra alimentar total (FAT); 8,04% a 11,11% de fibra solúvel (FS) e 24,82% a 31,35% de fibra insolúvel (FI). Os genótipos de feijão apresentaram correlações fenotípicas negativas ($r = -0,48$) entre fibra solúvel e insolúvel, indicando a dificuldade de incrementar simultaneamente as duas frações de fibra. No entanto a correlação fenotípica entre o teor de fibra alimentar total (FAT) e fibra insolúvel (FI) foi positiva demonstrando que a seleção de genótipos com alto teor de fibra insolúvel e total poderá ser efetuada.

Os teores de fibra dietética para os grãos de feijão citados por Guzmán-Maldonado e Parede-López, (1998) foram: para os grãos cozidos a FI variou 13,4% a 22,9%, a FS variou de 3,1 a 7,0%; para os grãos cru a FI variou de 0,1% a 13,1%, a FS variou de 3,3% a 7,6%.

2.3 ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE

O cultivo do feijoeiro pode ser realizado praticamente em todo o país, em diferentes épocas e safras, sendo submetidos a diferentes condições edafoclimáticas, ocasionando aos genótipos comportamento diferenciado diante das condições de meio ambiente a que são submetidos, refletindo diretamente no seu desempenho agrônomo. Portanto, as cultivares de feijão devem ter além de alta produtividade e grãos e boas qualidades tecnológicas e nutricionais, um comportamento previsível e responder aos estímulos propostos pelo ambiente. A influência da interação do genótipo com o ambiente no desempenho fenotípico do feijoeiro tem sido reportado por Redden et al (2000); Truberg e Hühn (2000); Dalla Corte et al (2002).

Allard e Bradshaw (1964), consideram a existência de duas condições que contribuem para a interação dos genótipos com o ambiente no qual é submetido. A primeira é previsível, incluindo as variações ambientais que ocorrem de local para local, dentro da área de distribuição da cultura. Entre as condições ambientais previsíveis, estão fatores como clima, solo e técnicas agrônomicas. A segunda condição são as variações imprevisíveis, como frequência e distribuição de chuvas, temperatura do ar e do solo e a ocorrência de geadas.

Dessa forma, torna-se útil o conhecimento das estimativas de estabilidade e adaptabilidade, pois segundo o conceito adotado de Eberhart e Russell (1966), a adaptabilidade refere-se à capacidade dos genótipos aproveitarem vantajosamente o estímulo do ambiente e a estabilidade à capacidade dos genótipos mostrarem um comportamento altamente previsível, em função do estímulo ambiental.

3. ARTIGO A: QUALIDADE TECNOLÓGICA DE GRÃOS DE FEIJÃO DO GRUPO COMERCIAL PRETO

3.1 Resumo

Caracteres tecnológicos dos grãos são decisivos para a aceitabilidade de uma variedade no mercado consumidor. O objetivo deste trabalho foi avaliar as características tecnológicas de cultivares e linhagens de feijão do grupo preto. Na safra da seca 2006 o ensaio foi conduzido em Wenceslau Braz-PR. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com três repetições. Após a maturação fisiológica foram coletadas amostras de 200g de grãos de cada parcela experimental e as mesmas foram armazenadas em câmara fria. Nas amostras foram avaliados: tempo de cozimento (TC), capacidade de retenção de água antes (CRAac) e após (CRApc) o cozimento, porcentagem de grãos inteiros (PGI), sólidos totais no caldo (ST), expansão volumétrica antes (EXPVac) e após (EXPVpc) o cozimento e densidade dos grãos secos (DS), macerados (DU) e cozidos (DC). As análises de variância indicaram variabilidade genética entre os genótipos para os caracteres: TC, CRAac, CRApc e PGI. As características que apresentaram correlação positiva e significativa foram: TC e ST; DS e EXPVpc; DS e EXPV sugerindo que quanto maior a densidade dos grãos, maior a sua expansão volumétrica após a maceração e cocção. A aplicação da análise multivariada possibilitou distinguir o comportamento dos genótipos considerando as diferentes características avaliadas. As características relacionadas com a expansão e a densidade do grão antes e após o cozimento foram as que mais contribuíram para a variabilidade encontrada para a qualidade tecnológica. Com a análise de cluster foi possível observar a formação de três diferentes grupos considerando todas as características.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L., qualidade culinária, cocção, hidratação dos grãos

3.2 Abstract

Technological qualities in the grains are an important factor of acceptance in the consumer market. The aim this paper was evaluate the technological qualities of grain cultivars and lines of black beans. The experiment was conducted in Wenceslau Bras in Paraná state in dry season 2005/2006. A completely randomized block design was used with three replications and plots consisting of four 5m rows, spaced at 0,50m. Two hundred gram samples were collected from each material after physiological maturity. The grains samples were stored in a cold chamber. The following traits were evaluated: cooking time (TC), percentage before (CRA ac) and after (CRA pc) cooking water absorption, percentage of whole grains after cooking (PGI), solids content in the sauce after cooking (ST), volume expansion before (EXPVac) and after (EXPVpc) cooking, raw grain density (DS), soak grain density (DU) and cooked grain density (DC). The variance analyses indicated significant differences among genotypes in several culinary traits: TC, CRAac, CRApc and PGI. There are significant and positive correlations between: TC and ST; DS and EXPVpc; DS and EXPVac, suggesting that higher density of the grains, the larger its volume expansion is after the maceration and cooking. The application of multivariate analysis makes it possible to distinguish the behaviour of the genotypes considering several culinary traits. The technological characteristics related with the expansion and density grain before and after the cooking contributed to the variability. Considering all traits studied the cluster analysis made it possible to observe the formation three different groups.

Key words: *Phaseolus vulgaris* L., culinary quality, cooking time, grain hydration.

3.3 Introdução

Os programas de melhoramento genético de feijão focalizam seus esforços para a obtenção de cultivares com elevado rendimento de grãos, resistência a pragas e doenças e tolerância a fatores abióticos estressantes. Tão importante quanto os caracteres agrônômicos é a qualidade tecnológica dos grãos destinados a consumidores de diferentes regiões.

A variabilidade genética presente nas cultivares, a interação genótipo por ambiente e a influência ambiental durante o desenvolvimento da planta e da formação da semente afetam a qualidade tecnológica e nutricional dos grãos, sendo este tema objeto de estudo de vários autores (RAMOS JUNIOR et al, 2005; DALLA CORTE et al, 2003; CARBONELL et al 2003).

As principais características relacionadas com a qualidade tecnológica dos grãos são: tempo de cozimento, absorção de água antes e após o cozimento, porcentagem de grãos inteiros, sólidos totais no caldo, expansão volumétrica após a cocção, coloração do tegumento e do caldo entre outros (BASSINELO, 2007).

O cozimento é fundamental para o preparo dos grãos para o consumo, proporcionando a redução de fatores antinutricionais como taninos e fitatos (OLIVEIRA et al, 2001). Genótipos de feijão que apresentam cocção mais rápida são desejáveis por proporcionar economia de energia e de tempo uma vez que o tempo disponível para o preparo das refeições é restrito.

Diversos autores (DALLA CORTE et al, 2003; LEMOS et al, 2004) relataram a influência do ambiente na qualidade dos grãos para o cozimento, porém outros fatores como: o estágio de maturação da semente (HSIEH et al, 1991), adubação fornecida a planta com diferentes doses de nitrogênio e molibdênio (SILVA et al, 2006), diferentes épocas de semeadura (RIBEIRO et al, 2007), diferentes temperaturas e umidade relativa durante o período de armazenamento dos grãos (RIBEIRO et al, 2007; MARTIN-CABREJAS et al, 1995), cultivo em diferentes safras e anos agrícolas (DALLA CORTE et al, 2003; CARBONELL et al, 2003) também são mencionados na literatura.

Atualmente o consumidor está mais exigente quanto à qualidade dos grãos, considerando as condições de aparência e coloração do produto em detrimento do preço e marca a ele atribuído (BASSINELLO et al, 2003).

Existe preferência regional quanto ao tamanho, forma e cor dos grãos que são consumidos no país. O feijão preto é mais consumido na região Sul e Sudeste do país como Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Sul e Leste do Paraná, Rio de Janeiro, Sudeste de Minas Gerais e Sul do Espírito Santo (CARNEIRO et al, 2005) enquanto que o feijão de cor é preferencialmente consumido em demais regiões.

O tempo de cozimento demandado pelos grãos e a porcentagem de grãos inteiros após o cozimento são interessantes para o consumidor de feijão. A escolha de um determinado produto baseada em uma ou duas características não é suficiente na avaliação da qualidade tecnológica apresentada pelos grãos, portanto para efetuar-se uma avaliação mais abrangente dos materiais torna-se necessário considerar outros atributos ou características na avaliação. A análise multivariada é usualmente empregada em grupos de variáveis que são utilizadas na avaliação, isto permite compreender as relações entre as variáveis não observáveis nas análises univariadas ou bivariadas. Desta maneira, ao saber como as variáveis se correlacionam, tem-se uma melhor interpretação dos resultados (HAIR et al., 2005). Entre as diversas análises multivariadas pode-se citar a análise de componentes principais (ACP) e análise de agrupamento (AA) podendo-se citar aplicações em diversas áreas agrônomicas (MENEZES et al, 2003; MENEGUCE et al, 2005).

Como as características tecnológicas apresentadas pelos grãos são decisivas para a aceitação comercial de uma cultivar de feijão, o objetivo deste trabalho foi avaliar os caracteres tecnológicos em cultivares e linhagens de feijão do grupo comercial preto.

3.4 Material e Métodos

As avaliações para a qualidade tecnológica dos grãos foram efetuadas em 15 cultivares e três linhagens de feijão do grupo comercial preto provenientes do programa de melhoramento genético do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e da FT Pesquisas e Sementes (FT).

O experimento foi instalado em propriedade de agricultor, localizada no município de Wenceslau Braz - PR, na safra da seca 2006 em delineamento experimental de blocos ao acaso com três repetições e parcelas constituídas de

quatro linhas de 5m, espaçadas 0,50m, com uma população de 15 plantas por metro linear, considerando-se como parcela útil as duas linhas centrais e descartando-se 0,5m nas extremidades. A adubação de base foi efetuada de acordo com a análise química do solo, utilizando-se o adubo formulado NPK 4-30-10 e adubação em cobertura com nitrogênio, aos 23 dias após a emergência das plantas, onde foram aplicados 40kg/ha de nitrogênio na forma de sulfato de amônio. O controle de pragas e plantas invasoras foi efetuado quimicamente, com produtos e dosagens registrados para a cultura.

Após a maturidade fisiológica (R9) o ensaio foi colhido e de cada parcela beneficiada foi retirada uma amostra de 200g de sementes e as mesmas foram armazenadas em câmara fria a uma temperatura de 5,6°C e umidade relativa de 33%.

Qualidade tecnológica

As características tecnológicas avaliadas nos grãos foram: tempo de cozimento (TC); capacidade de retenção de água antes do cozimento (CRAac), capacidade de retenção de água após o cozimento (CRApc), porcentagem de grãos inteiros (PGI), sólidos totais no caldo (ST), expansão volumétrica antes do cozimento (EXPVac), expansão volumétrica após o cozimento (EXPVpc), densidade dos grãos (DS), densidade dos grãos após maceração (DU) e densidade dos grãos após o cozimento (DC). As determinações foram realizadas utilizando duplicatas laboratoriais para cada amostra.

O tempo de cozimento foi determinado utilizando 20g de sementes uniformes e inteiras foram colocadas em embebição por 16 horas a temperatura ambiente. Após este período vinte e cinco grãos foram colocados individualmente nos orifícios da base do cozedor de Mattson, e o aparelho foi colocado em uma cuba contendo água em ebulição. O tempo de cozimento consiste quando 50% dos grãos são perfurados pelas hastes do aparelho (PROCTOR e WATTS, 1987).

A capacidade de retenção de água antes do cozimento (CRAac), capacidade de retenção de água após do cozimento (CRApc), porcentagem de grãos inteiros (PGI), sólidos totais no caldo (ST) foram determinados de acordo com a metodologia proposta por Plhak et al. (1989) e Garcia-Vela e Stanley (1989). De acordo com a metodologia proposta por esses autores, uma amostra de 10g de grãos de feijão foi colocada em embebição em água destilada por 16 horas à

temperatura ambiente. Após o período de embebição a água foi drenada e os grãos foram pesados e a capacidade de retenção de água antes do cozimento (CRAac) foi calculada pela fórmula: $[(pu-ps)/ps] \times 100$ onde ps = peso inicial dos grãos; pu = peso dos grãos após a maceração. Os grãos drenados foram colocados em frascos, adicionados 100ml de água fervente e mantidos fechados com tampa rosqueável em banho-maria durante 1 (uma) hora. Em seguida o caldo foi drenado e a capacidade de retenção de água após o cozimento (CRApc) foi calculada pela fórmula: $[(pc-ps)/ps] \times 100$, onde ps = peso inicial dos grãos; pc = peso dos grãos cozidos. O cálculo da porcentagem de grãos inteiros após o cozimento, foi efetuado utilizando a fórmula: $PGI(\%) = (ng/ngi) \times 100$, onde ng = n° total de grãos; ngi = n° de grãos inteiros após o cozimento. A quantidade de sólidos totais (ST) no caldo de cozimento foi determinada gravimetricamente pela evaporação de 20ml de caldo em estufa com circulação forçada de ar a temperatura de 70-80°C e a quantidade de sólidos totais foi expressa em gramas de sólidos em 100ml no caldo de cozimento.

Para as determinações das características relacionadas com a expansão volumétrica e densidade dos grãos, pesou-se 10g de grãos crus onde este foi embebido em água destilada por 16h a temperatura ambiente. Após este período a água foi drenada e os grãos foram pesados. Em seguida os grãos foram colocados em potes de vidro com tampa rosqueável, adicionou-se 100ml de água fervente, onde foram cozidos em banho-maria por 1 hora. O volume dos grãos crus, macerados e cozidos foi determinado utilizando o princípio do deslocamento de água, em uma proveta com capacidade de 100ml contendo 50ml de água, adicionaram-se os grãos de feijão e anotou-se o volume de água deslocado.

As características tecnológicas expansão volumétrica dos grãos antes do cozimento (EXPVac), expansão volumétrica após o cozimento (EXPVpc), densidade dos grãos secos (DS), densidade dos grãos após a maceração (DU) e densidade dos grãos cozido (DC) foram calculados utilizando as fórmulas: $EXPVac = (vu - vs)/vu \times 100$; $EXPVpc = (vc - vs)/vc \times 100$; $DS = ps/vs$; $DU = pu/vu$; $DC = pc/vc$. Onde: vs = volume de água deslocado dos grãos crus; vu = volume de água deslocado dos grãos após a maceração; vc = volume de água deslocado dos grãos após o cozimento; ps = peso dos grãos crus; pu = peso dos grãos após a maceração e pc = peso dos grãos cozidos.

Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANAVA), e foi calculado o coeficiente de variação. As médias dos tratamentos (genótipos) foram agrupadas utilizando o teste de Scott e Knott (1974) ao nível de 5% de probabilidade. Foram estimados os coeficientes de correlação fenotípica entre as características tecnológicas. Estas análises foram efetuadas com o auxílio do programa Genes (CRUZ, 1997). Os dados foram ainda submetidos a análise multivariada, utilizando-se a Análise de Componentes Principais e Análise de Cluster (agrupamento), realizadas no programa Statistica 6.0.

3.5 Resultados e Discussão

Os caracteres tempo de cozimento (TC), capacidade de retenção de água antes do cozimento (CRAac), capacidade de retenção de água após o cozimento (CRApc), porcentagem de grãos inteiros (PGI) apresentaram efeito significativo de genótipo ao nível de 1% de probabilidade, indicando a existência de diferenças genéticas nas cultivares e linhagens de feijão avaliadas. Resultados semelhantes para estas características foram encontrados por Ramos Junior et al, (2005), Lemos et al, (2004), Dalla Corte et al, (2003) e Carbonell et al, (2003).

Os genótipos avaliados não apresentaram diferenças significativas para os caracteres expansão volumétrica após o cozimento (EXPVpc), densidade do grãos seco (DS), densidade do grão após maceração (DU) e densidade do grão após o cozimento (DC) (Tabela 3.2).

Tabela 3.1 Análise de variância dos caracteres tempo de cozimento (TC), capacidade de retenção de água antes do cozimento (CRAac), capacidade de retenção de água após do cozimento (CRApc), porcentagem de grãos inteiros (PGI), sólidos solúveis totais (ST), em cultivares e linhagens de feijão do grupo comercial preto, provenientes do ensaio conduzido em Wenceslau Braz - PR, na safra da seca 2006.

FV	GL	TC QM	CRAac QM	CRApc QM	PGI QM	ST QM
Bloco	2	35,19	4,20	10,29	91,24	0,185
Genótipo	17	69,54**	39,53**	205,64**	357,14**	0,013 ^{ns}
Resíduo	34	17,03	4,95	75,94	63,90	0,23
Média		41,48	105,68	112,66	58,85	1,02
CV (%)		9,95	2,10	7,73	13,58	14,9

**significativo a 1 e 5%, respectivamente; ns não significativo.

Tabela 3.2 Análise de variância dos caracteres expansão volumétrica antes do cozimento (EXPVac), expansão volumétrica após o cozimento (EXPVpc), densidade do grãos seco (DS), densidade do grão após maceração (DU) e densidade do grão após o cozimento (DC) em cultivares e linhagens de feijão do grupo comercial preto, provenientes do ensaio conduzido em Wenceslau Braz - PR, na safra da seca 2006.

FV	GL	EXPVac QM	EXPVpc QM	DS QM	DU QM	DC QM
Bloco	2	22,62	25,28	0,031	0,0014	0,0021
Genótipo	17	13,37 ^{ns}	16,51*	0,006 ^{ns}	0,0017 ^{ns}	0,0024 ^{ns}
Resíduo	34	8,54	8,49	0,004	0,0009	0,0033
Média		54,19	55,98	1,19	1,11	1,11
CV (%)		5,39	5,20	5,80	2,74	5,23

*/**significativo a 1 e 5%, respectivamente; ns não significativo.

Entre as características tecnológicas avaliadas nos grãos de feijão, o tempo de cozimento de uma cultivar é determinante para a sua aceitação pelo consumidor. Nos genótipos avaliados o tempo de cozimento (TC) variou de 33 minutos a 48 minutos, sendo que o teste de Scott e Knott agrupou as cultivares e linhagens avaliadas em duas classes distintas, sendo que as cultivares FT Nobre, FT Soberano, IAC Una, FT 120, IAPAR 44, IPR Tiziu, Xamego e Diamante Negro e a linhagem LP98-122 foram inseridas no grupo de menor tempo de cocção (Tabela 3.3). Durante o período de formação e maturação da semente, verificou-se a ocorrência de altas temperaturas (dados não apresentados) que provavelmente causaram o fenômeno “hard to cook” causando um acréscimo do tempo de cozimento dos genótipos avaliados. Além das diferenças genéticas presente nos genótipos, o tempo de cozimento também é influenciado pelo local onde é realizado o cultivo e da interação genótipo por ambiente (DALLA CORTE et al, 2003; CARBONELL et al, 2003).

A capacidade de retenção de água antes do cozimento (CRAac) variou de 100% (FT Soberano e IPR Gralha) a 113% (IAPAR 44). Pelo teste de Scott e Knott os genótipos foram agrupados em três classes, destacando-se as cultivares BRS Campeiro, BRS Valente e IAPAR 44 por apresentarem os maiores valores de CRAac. Costa et al, (2001) constataram diferença entre os genótipos e entre os locais de cultivo, e devido a estimativa de herdabilidade alta ($h^2=0,98$), os autores sugerem a possibilidade de efetuar seleção para este caráter. A absorção de água do grão tem sido utilizada como um indicativo do tempo de cozimento (COSTA et al, 2001) e também foi relacionada com a qualidade fisiológica da semente medida por meio da germinação e velocidade de emergência das plântulas (SOUZA et al, 2004).

Para a característica capacidade de retenção de água após o cozimento (CRApc) observou-se variação de 97% a 126%, com a formação de dois grupos onde 61% dos genótipos apresentaram CRApc superior a 113%. Grãos de feijão com altos valores de CRApc são recomendados a refeitórios e cozinhas industriais, pois proporcionam maior rendimento após a sua cocção.

A porcentagem de grãos inteiros (PGI) nas amostras avaliadas variou de 40% a 81%. Os genótipos BRS Campeiro, BRS Valente, Diamante Negro, IAPAR 44, IPR Chopim, IPR Graúna e IPR Gralha apresentaram maior porcentagem de grãos inteiros (PGI). Os sólidos totais (ST) variaram de 0,949 g/100ml (FT Nobre) a 1,170g/100ml (Rio Tibagi), sendo que as cultivares e linhagens avaliadas não divergiram para esta característica. Quanto maior a quantidade de ST mais encorpado o caldo do feijão. O consumidor tem uma tendência a preferir feijões de boa consistência de caldo sem perder a integridade dos grãos cozidos (BASSINELLO et al, 2003).

As porcentagens médias do caráter expansão volumétrica dos grãos antes do cozimento (EXPVac) e após o cozimento (EXPVpc) variaram de 51,3% a 57,9% e 51,3% a 59,2% respectivamente e não foi observado diferença estatística entre as cultivares e linhagens testadas para o caráter EXPVac, porém para o caráter EXPVpc os genótipos foram agrupados em três classes destacando-se as cultivares BRS Campeiro e IAPAR 44 (Tabela 3.4).

A média da densidade do grão antes (DS) e após a maceração (DU) e densidade dos grãos cozidos (DC) encontram-se na Tabela 3.3 e não foram observadas diferenças significativas para estas características entre os genótipos avaliados. A densidade dos grãos após a maceração e densidade dos grãos cozidos é menor quando comparada a densidade dos grãos seco, comportamento que foi observado na maioria dos genótipos. A menor densidade dos grãos macerados e cozidos deve-se ao aumento de volume em relação a massa quando ocorre a absorção de água pelo grão.

As estimativas dos coeficientes de correlação fenotípica encontradas variaram de -0,66 a 0,90 (Tabela 3.4). A densidade dos grãos (DS) foi correlacionada positivamente com EXPVpc (0,71) e EXPVac (0,90), sugerindo que quanto maior a densidade dos grãos, maior a sua expansão volumétrica após a maceração e cocção. O tempo de cozimento apresentou correlação significativa e positiva com sólidos totais no caldo quanto maior o tempo de cozimento, maior é a

quantidade de sólidos presentes no caldo. Na literatura o tempo de cozimento foi associado com outros caracteres tecnológicos, tais como: porcentagem de grãos inteiros, (CARBONELL et al, 2003; DALLA CORTE et al, 2003) sólidos totais no caldo e capacidade de absorção de água (DALLA CORTE et al, 2003) apresentando correlação significativa e positiva. No entanto Rodrigues et al, (2005) verificaram correlação negativa entre o tempo de cozimento e absorção de água pelos grãos.

Tabela 3.3 Média dos caracteres tempo de cozimento (TC), capacidade de retenção de água antes do cozimento (CRAac), capacidade de retenção de água após o cozimento (CRApc), porcentagem de grãos inteiros (PGI), sólidos totais (ST), expansão volumétrica antes do cozimento (EXPVac), expansão volumétrica após ao cozimento (EXPVpc), densidade do grãos crus (DS), densidade do grão após maceração (DU) e densidade do grão após o cozimento (DC) em cultivares e linhagens de feijão do grupo comercial preto, provenientes do ensaio conduzido em Wenceslau Braz –PR, na safra da seca 2006.

Genótipos	TC (minutos)	CRA ac (%)	CRA pc (%)	PGI (%)	ST (g/100ml)	EXPVac (%)	EXPVpc (%)	DS (g/ml)	DU (g/ml)	DC (g/ml)
BRS Campeiro	44 a	110 a	114 a	64 a	1,008 a	55,3 a	56,7 a	1,19 a	1,11 a	1,10 a
BRS Valente	44 a	111 a	117 a	63 a	1,068 a	52,2 a	56,9 a	1,14 a	1,15 a	1,07 a
Diamante Negro	41 b	109 b	115 a	75 a	1,012 a	54,3 a	56,6 a	1,18 a	1,11 a	1,09 a
FT 120	37 b	107 b	113 a	54 b	0,973 a	53,2 a	54,4 b	1,17 a	1,13 a	1,13 a
FT Nobre	33 b	106 b	109 b	43 c	0,949 a	54,9 a	56,7 a	1,20 a	1,11 a	1,07 a
FT Soberano	34 b	100 c	116 a	57 b	1,001 a	53,5 a	56,7 a	1,17 a	1,08 a	1,09 a
IAC Una	34 b	108 b	124 a	45 c	0,975 a	57,9 a	59,0 a	1,27 a	1,10 a	1,16 a
IAPAR 44	38 b	113 a	117 a	69 a	0,963 a	51,3 a	52,6 b	1,13 a	1,16 a	1,16 a
IPR Chopim	45 a	103 c	97 b	81 a	0,975 a	57,5 a	56,5 a	1,27 a	1,08 a	1,07 a
IPR Grauna	46 a	107 b	101 b	69 a	1,045 a	52,2 a	51,3 b	1,14 a	1,13 a	1,11 a
IPR Uirapuru	49 a	105 b	109 b	56 b	1,055 a	53,9 a	55,6 a	1,19 a	1,12 a	1,10 a
IPR Tiziu	40 b	106 b	105 b	58 b	1,035 a	57,1 a	59,2 a	1,30 a	1,13 a	1,08 a
LP98-122	40 b	101 c	104 b	40 c	1,002 a	51,4 a	53,1 b	1,17 a	1,13 a	1,11 a
IPR Gralha	45 a	100 c	103 b	67 a	0,958 a	52,3 a	52,3 b	1,18 a	1,13 a	1,14 a
LP99-85	43 a	103 c	119 a	56 b	1,059 a	57,1 a	59,0 a	1,26 a	1,09 a	1,13 a
LP99-96	46 a	107 b	126 a	56 b	1,164 a	54,8 a	57,4 a	1,19 a	1,11 a	1,14 a
Rio Tibagi	48 a	104 c	114 a	52 b	1,170 a	52,7 a	56,4 a	1,21 a	1,17 a	1,13 a
Xamego	40 b	104 c	123 a	55 b	1,115 a	54,0 a	57,5 a	1,19 a	1,11 a	1,12 a

Valores seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, Teste de Scott e Knott a 5%.

Tabela 3.4 Estimativas dos coeficientes de correlação fenotípica entre as características tecnológicas avaliadas em grãos de cultivares e linhagens de feijão preto, proveniente do ensaio conduzido em Wenceslau Braz – PR, safra da seca 2006.

	TC	CRAac	CRApc	PGI	ST	EXPVac	EXPVpc	DS	DU	DC
TC ^{1/}	1	-0,04	-0,25	0,40	0,57*	-0,14	-0,18	-0,06	0,27	-0,02
CRAac ^{2/}		1	0,35	0,26	-0,02	-0,02	0,05	-0,25	0,36	0,08
CRApc ^{3/}			1	-0,31	0,41	0,12	0,51*	-0,06	-0,05	0,46
PGI ^{4/}				1	-0,21	0,01	-0,23	-0,11	-0,07	-0,20
ST ^{5/}					1	-0,06	0,30	0,01	0,24	0,11
EXPVac ^{6/}						1	0,78*	0,90*	-0,66*	-0,15
EXPVpc ^{7/}							1	0,71*	-0,44	-0,21
DS ^{8/}								1	-0,43	-0,10
DU ^{9/}									1	0,25
DC ^{10/}										1

*significativo 5%, Teste t com n-2 graus de liberdade.

^{1/} tempo de tempo de cozimento (TC); ^{2/} capacidade de retenção de água antes do cozimento (CRAac); ^{3/} capacidade de retenção de água depois do cozimento (CRApc); ^{4/} porcentagem de grãos inteiros (PGI); ^{5/} sólidos totais (ST); ^{6/} expansão volumétrica antes do cozimento (EXPVac); ^{7/} expansão volumétrica depois do cozimento (EXPVpc); ^{8/} densidade dos grãos seco (DS); ^{9/} densidade dos grãos após maceração (DU) e ^{10/} densidade dos grãos após o cozimento (DC).

A qualidade tecnológica é melhor explicada pelo conjunto de características, ao invés do uso de somente uma das características. Em razão disso foi aplicada a Análise de Componentes Principais (ACP) para verificar as relações existentes entre as variáveis estudadas. Observa-se que os três primeiros componentes (CP1, CP2 e CP3) explicaram 68,90% da variabilidade existente para as características tecnológicas avaliadas em cultivares e linhagens de feijão (Tabela 3.5). As características relacionadas com a expansão e densidade do grão antes e após o cozimento estão altamente correlacionadas com o primeiro componente (CP1). Estas características têm grande influência na qualidade tecnológica do feijão, pois representaram 31,79% da variabilidade presente nas amostras.

A capacidade de absorção de água antes e após o cozimento e a densidade do grão cozido formaram o segundo componente (CP2) e são responsáveis por 20,64% da variância para os caracteres que determinam a qualidade tecnológica dos genótipos avaliados (Tabela 3.5).

O tempo de cozimento, a porcentagem de grãos inteiros e o teor de sólidos totais no caldo após o cozimento formaram o terceiro componente e representam 16,47% da variância encontrada entre os genótipos avaliados para a qualidade tecnológica dos grãos. O tempo de cozimento, considerada uma característica importante na identificação da qualidade tecnológica do feijão, apresentou pequena variabilidade entre os genótipos avaliados. As características

que mais contribuíram para a variabilidade encontrada para a qualidade tecnológica dos grãos foram àquelas relacionadas com a expansão e a densidade do grão antes e após o cozimento (Tabela 3.5).

Na Figura 3.1 observa-se o desempenho de cada cultivar e linhagem para as características tecnológicas avaliadas, utilizando-se do método de Análise de Componentes Principais.

Tabela 3.5 Análise de componentes principais, baseada em dez características tecnológicas avaliadas em grãos de cultivares e linhagens de feijão preto do ensaio conduzido em Wenceslau Braz – PR, safra da seca 2006.

Componentes Principais	Autovalores	Variância Total (%)	Variância Total Acumulada (%)
CP1	3,18	31,79	31,79
CP2	2,06	20,64	52,43
CP3	1,65	16,47	68,90

Variáveis	Componentes Principais		
	CP1	CP2	CP3
TC ^{1/}	0,3122	-0,0380	-0,8934
CRAac ^{2/}	0,1963	0,3791	-0,0003
CRApc ^{3/}	-0,2332	0,8883	0,1354
PGI ^{4/}	0,2044	-0,4431	-0,4474
ST ^{5/}	0,0161	0,5970	-0,6916
EXPVac ^{6/}	-0,9360	-0,0715	-0,1373
EXPVpc ^{7/}	-0,8745	0,3363	-0,1775
DS ^{8/}	-0,8573	-0,1095	-0,1987
DU ^{9/}	0,7264	0,3277	-0,1189
DC ^{10/}	0,2073	0,5829	0,2189

^{1/} tempo de tempo de cozimento (TC); ^{2/} capacidade de retenção de água antes do cozimento (CRAac); ^{3/} capacidade de retenção de água depois do cozimento (CRApc); ^{4/} porcentagem de grãos inteiros (PGI); ^{5/} sólidos totais (ST); ^{6/} expansão volumétrica antes do cozimento (EXPVac); ^{7/} expansão volumétrica depois do cozimento (EXPVpc); ^{8/} densidade dos grãos seco (DS); ^{9/} densidade dos grãos após maceração (DU) e ^{10/} densidade dos grãos após o cozimento (DC).

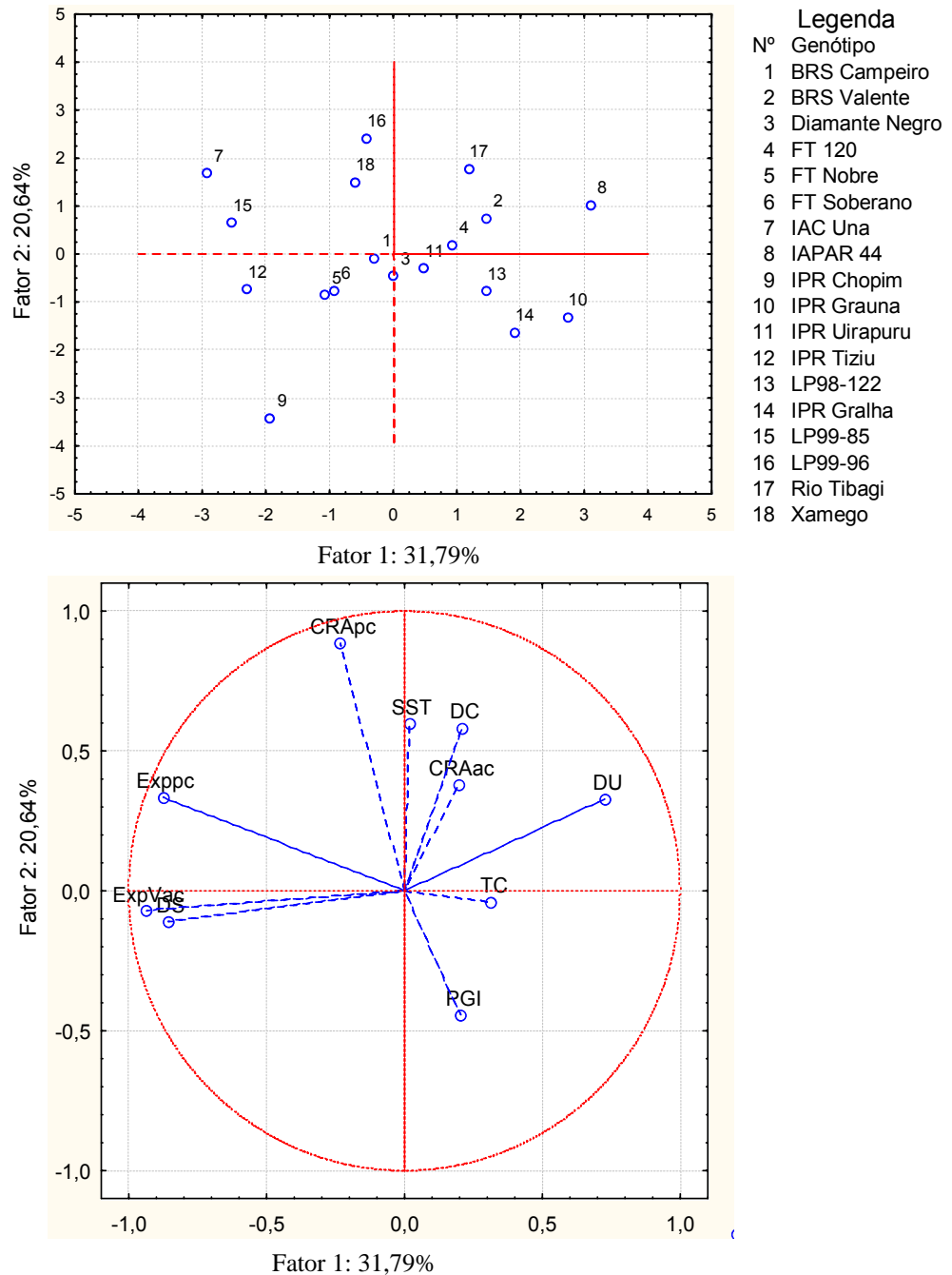


Figura 3.1. Distribuição das cultivares e linhagens avaliadas (acima) e das características tecnológicas dos grãos (abaixo) nos dois eixos principais.

A aplicação da Análise de Agrupamento (AA) levou a formação de três grupos com características tecnológicas diferenciadas. No dendrograma apresentado na Figura 3.2 observa-se a classificação dos genótipos em grupos homogêneos, considerando-se as dez características tecnológicas estudadas. O

grupo 1 constituído pelos genótipos IPR Tiziu, IPR Chopim, LP99-85, IAC Una, FT Soberano e FT Nobre apresentou maior expansão volumétrica antes (EXPVac) e após (EXPVpc) o cozimento e maior densidade do grão seco (DS). O grupo 2 é composto pelos genótipos IAPAR 44, IPR Gralha, IPR Graúna, FT 120 e LP 98-122 destacou-se dos demais por apresentar maior densidade dos grãos após a maceração (DU) e após o cozimento (DC). O grupo 3 foi formado pelas cultivares Rio Tibagi, Xamego, BRS Valente, IPR Uirapuru, Diamante Negro e BRS Campeiro e pela linhagem LP 99-96, tem como característica principal maior tempo de cozimento (TC), maior capacidade de retenção de água antes (CRAac) e após o cozimento (CRApc), maior porcentagem de grãos inteiros (PGI) e maior teor de sólidos totais no caldo (ST), quando comparado com os demais grupos (Tabela 3.6).

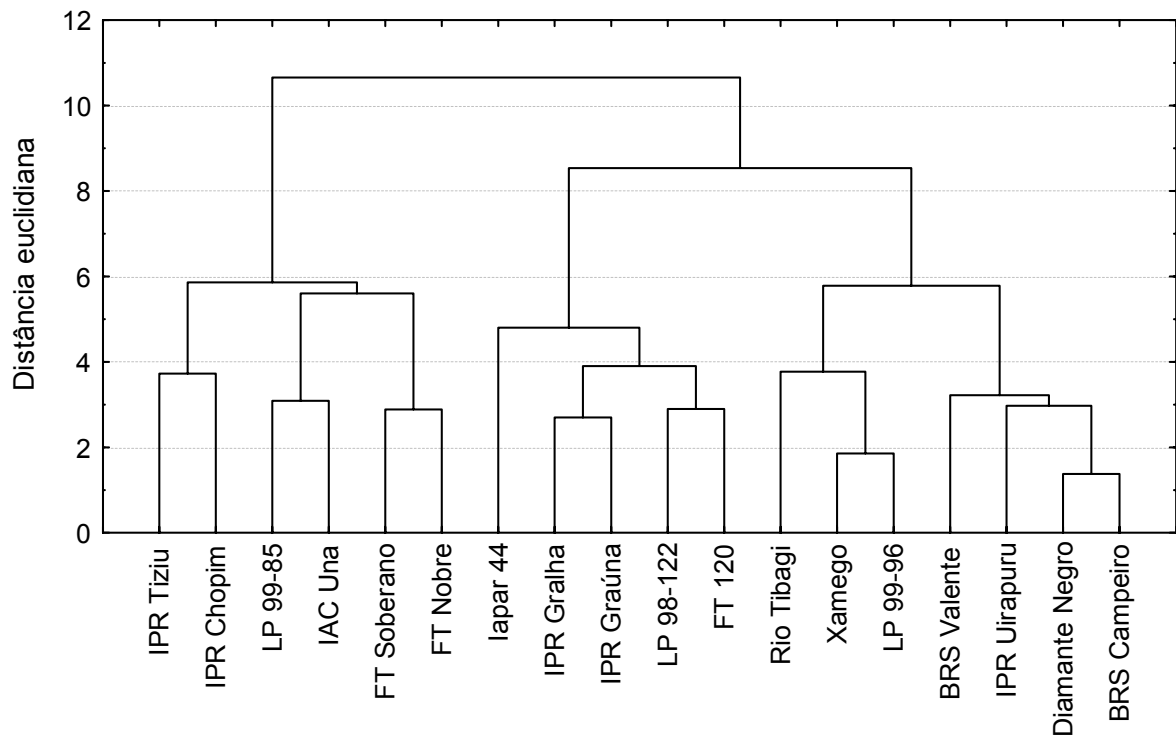


Figura 3.2. Dendrograma com as linhagens e cultivares de feijão do grupo preto, Wenceslau Braz – PR, safra da seca 2006.

Tabela 3.6 Médias das variáveis dos grupos formados com dez características tecnológicas avaliadas em grãos de cultivares e linhagens de feijão preto, provenientes do ensaio conduzido em Wenceslau Braz – PR, safra da seca 2006.

Grupo	TC ^{1/} (min)	CRAac ^{2/} (%)	CRApc ^{3/} (%)	PGI ^{4/} (%)	ST ^{5/} (%)	EXPV ac ^{6/} (%)	EXPV pc ^{7/} (%)	DS ^{8/} (g/ml)	DU ^{9/} (g/ml)	DC ^{10/} (g/ml)
G1	38,2	104,33	111,67	56,67	1,00	56,33	57,85	1,25	1,10	1,10
G2	41,2	105,60	107,60	59,80	0,99	52,08	52,74	1,16	1,14	1,13
G3	44,6	107,14	116,86	60,14	1,08	53,89	56,73	1,18	1,13	1,11

^{1/} tempo de tempo de cozimento (TC); ^{2/} capacidade de retenção de água antes do cozimento (CRAac); ^{3/} capacidade de retenção de água depois do cozimento (CRApc); ^{4/} porcentagem de grãos inteiros (PGI); ^{5/} sólidos totais (ST); ^{6/} expansão volumétrica antes do cozimento (EXPVac); ^{7/} expansão volumétrica depois do cozimento (EXPVpc); ^{8/} densidade dos grãos seco (DS); ^{9/} densidade dos grãos após maceração (DU) e ^{10/} densidade dos grãos após o cozimento (DC).

3.6 Conclusões

As cultivares e linhagens apresentaram comportamento diferenciado para os caracteres: tempo de cozimento (TC), capacidade de retenção de água antes do cozimento (CRA ac), capacidade de retenção de água depois do cozimento (CRA pc) e porcentagem de grãos inteiros (PGI).

Alguns caracteres apresentaram correlação positiva tais como: tempo de cozimento com sólidos totais e a densidade dos grãos com a expansão volumétrica antes e após o cozimento.

A análise de componentes principais demonstrou que os caracteres relacionados com a expansão e a densidade do grão antes e após o cozimento contribuíram com maior variabilidade para a qualidade tecnológica entre as cultivares e linhagens avaliadas.

As linhagens e cultivares foram separadas em três grupos com características tecnológicas diferenciadas.

A aplicação da análise multivariada possibilitou distinguir o comportamento dos genótipos considerando várias características tecnológicas.

3.7 Referências

- BASSINELLO, P. Z.; COBUCCI, R. M. A.; ULHÔA, V. G.; MELO, L. C.; PELOSO, M. J. Aceitabilidade de três cultivares de feijoeiro comum. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. (Embrapa Arroz e Feijão. Comunicado Técnico 66).
- BASSINELLO, P. Z. **Grãos**. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia4/AG01/arvore/AG01_2_28102004161635.html. Acesso em 10 dez. 2007.
- CARBONELL, S. A. M.; CARVALHO, C. R. L.; PEREIRA, V. R. Qualidade tecnológica de grãos de genótipos de feijoeiro cultivados em diferentes ambientes. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 3, p. 369-379, 2003.
- CARNEIRO, J. C. S.; MINIM, V. P. R.; SOUZA JR, M. M.; CARNEIRO, J. E. S.; ARAÚJO, G. A. A. Perfil sensorial e aceitabilidade de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 1, p.18-24. 2005
- COSTA, G. R.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Variabilidade para a absorção de água nos grãos de feijão do germoplasma da UFLA. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 4, p.1017-1021, 2001.
- CRUZ, C. D. **Programa Genes - Aplicativo computacional em genética e estatística**. Viçosa: UFV, 442p. 1997.
- DALLA CORTE, A.; MODA-CIRINO, V.; SCHOLZ, M. B. S.; DESTRO, D. Environment effect on grain quality in early common bean cultivars and lines. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v.3, n.3, p.193-202, 2003
- ESCRIBANO, M. R.; SANTALLA, M.; RON, A. M. Genetic diversity in pod and seed quality traits of common bean populations from northwestern Spain. **Euphytica**, v. 93, n. 1, p. 71-81, 1997.
- GARCIA-VELA, L.A.; STANLEY, D.W. Water holding capacity in hard-to-cook beans (*Phaseolus vulgaris*): effect of pH and ionic strenght. **Journal of Food Science**, Chicago, v.54, n.4, p. 1080-1081, 1989.
- HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAN, R. L. BLACK, W. O. **Análise Multivariada de dados**. 5 ed., Porto Alegre: Bookman, 2005. 593p.
- HSIEH, H. M.; POMERANZ, Y.; SWANSON, B. G. Composition, cooking time, and maturation of azuki (*Vigna angularis*) and common beans (*Phaseolus vulgaris*). **Cereal Chemistry**. v. 69, n. 3, p. 244-248, 1992.
- LEMOS, L. B.; OLIVEIRA, R. S.; PALOMINO, E. C.; SILVA, T. R. B. Características agrônômicas e tecnológicas de genótipos de feijão do grupo comercial carioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 4, p. 319-326, 2004.
- MARTIN-CABREJAS, M. A.; ESTEBAN, R. M.; WALDRON, K. W.; MAINA, G.; GRANT, G.; BARDOCZ, S.; PUSZTAI, A. Hard-to-cook phenomenon in beans: Changes in antinutrient factors and nitrogenous compounds during storage. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 69, n. 4, p. 429-435, 1995.

MENEZES JR, A. O.; SIMÕES H. C.; SOUZA, A. M.; TAKADA, R. M. Flutuação populacional de insetos associados ao feijão-vagem cv. UEL-1 em quatro épocas de plantio e seu efeito sobre as características produtivas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 24, n. 2, p. 283-288, jul./dez. 2003.

MENEGUCE, B.; FARIA, R. T.; FONSECA JR, N. S.; FARIA, A. P. ; DESTRO, D. . Interação genótipo x ano para tempo de cozimento e sua correlação com a massa e percentagem de embebição em soja tipo alimento. **Semina: Ciências agrárias**, Londrina, v. 26, n. 4, p. 687-694, 2005.

OLIVEIRA, A. C.; QUEIROZ, K. S.; HELBIG, E.; REIS, S. M. P. M.; CARRARO, F. O processamento domestico do feijão-comum ocasionou uma redução nos fatores antinutricionais fitatos e taninos, no teor de amido e nos fatores de flatulência. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, Caracas, v. 51, n. 3, p. 276-283, 2001.

PLHAK, L. C.; CALDWELL, K. B.; STANLEY, D. W. Comparison of methods used to characterize water imbibition in hard-to-cook beans. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 54, n. 2, p. 326-329, 1989.

PROCTOR, J. R.; WATTS, B. M. Development of a modified Mattson bean cooker procedure basead on sensory panel cookability evaluation. **Canadian Institute Food Science and Technology Journal**, Apple Hill, v.20, n.1, p. 9-14. 1987.

RAMOS JUNIOR, E. U.; LEMOS, L. B.; SILVA, T. R. B. Componentes da produção, produtividade de grãos e características tecnológicas de cultivares de feijão. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 1, p. 75-82, 2005.

RIBEIRO, N. D.; RODRIGUES, J. A; CARGNELUTTI FILHO, A.; POERSCH, N. L.; TRENTIN, M.; ROSA, S. S. Efeito de períodos de semeadura e das condições de armazenamento sobre a qualidade de grãos de feijão para o cozimento. **Bragantia**, Campinas, v. 66, p. 157-163, 2007.

RODRIGUES, J. A.; RIBEIRO, N. D.; LONDERO, P. M. G.; CARGNELUTTI FILHO, A.; GARCIA, D. C. Correlação entre absorção de água e tempo de cozimento de cultivares de feijão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 1, p. 209-214, jan./fev., 2005.

SILVA, T. R. B.; LEMOS, L. B.; TAVARES, C. A. Produtividade e característica tecnológica de grãos de feijão adubado com nitrogênio em molibdênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 5, p. 739-745, 2006.

SCOTT, A. J. AND KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analyses of variance. **Biometrics**, v. 30, p. 507-512. 1974.

SOUZA, L. V.; RAMALHO, M. A. P.; PINHO, E. V. R. Genetic parameters in relation to the physiological quality of common bean seeds. **Crop Breedind and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 4, n. 1, p. 43-48, 2004.

VENCOVSKY, R. Genética Quantitativa. In: Melhoramento e Genética, São Paulo: Melhoramentos. p. 17-37. 1969.

4 Artigo B: EFEITO DE GENÓTIPO E AMBIENTE NA QUALIDADE NUTRICIONAL DE GRÃOS DE FEIJÃO DO GRUPO COMERCIAL PRETO E CARIOCA

4.1 Resumo

O feijão é um dos principais componentes na dieta dos brasileiros e o melhoramento genético das características nutricionais dos grãos, como o teor de proteína e o teor de minerais, são importantes em um programa de melhoramento genético desta cultura, pois contribui de maneira eficaz para a melhoria da saúde da população. As características nutricionais nos grãos de feijão apresentam variabilidade genética e podem ser influenciadas pelo ambiente. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do ambiente na qualidade nutricional dos grãos de cultivares e linhagens de feijão adaptadas as condições edafoclimáticas brasileiras. Dois experimentos foram conduzidos, um para o grupo comercial carioca e outro para o grupo preto, na safra da seca 2006 em três locais do estado do Paraná. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com três repetições e parcelas constituídas de quatro linhas de 5m, espaçadas 0,50m, considerando-se como parcela útil às duas linhas centrais e descartando-se 0,5m de cada extremidade. Na maturidade fisiológica retiraram-se amostras de 200g de grãos de cada parcela experimental e as mesmas foram armazenadas em câmara fria até a realização das análises. As características nutricionais avaliadas foram: teor de proteína total e teor de minerais (fósforo, cálcio, magnésio, cobre, zinco, boro, manganês, ferro, enxofre e potássio). A análise de variância conjunta revelou efeito significativo de genótipo, ambiente e da interação genótipo por ambiente. Estes resultados indicam a existência de variabilidade genética entre as cultivares e linhagens de feijão estudadas e que esses genótipos comportaram-se de maneira diferenciada nos ambientes onde foram avaliados. As estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade fenotípica permitiram efetuar a seleção de cultivares e linhagens que apresentam altos teores de proteína e de minerais quando cultivados em ambientes de alta e baixa tecnologia e estabilidade de comportamento para esses caracteres.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L., Interação genótipos por ambiente, teor de proteína, teor de minerais.

4.2 Abstract

The common bean is one of the main items in Brazilians diet and genetic improvement of nutritional characteristics of the grain, such as quantity of protein and minerals are important in a programme of genetic improvement of this crop as it effectively contributes to the improvement of the health of the population. The nutritional characteristics of common beans present genetic variability and these characteristics could be influenced by the environment. The aim of this work was evaluate the environmental influence in the nutritional quality of grains in cultivars common beans and lines adapted Brazilian edaphoclimatic conditions. Two experiments were conducted, one for the carioca group and another for the black group, in the dry season of 2006 in three locations in the state of Paraná. A completely randomized block design was used with three replications and plots consisting of four rows with 5m, spaced at 0,50m. The useful plot was two central rows and each row extremity was discarded 0,5m. Two hundred grams samples were collected from each material at physical maturity. The sample grains were stored in a cold chamber. The nutritional characteristics evaluated were: protein content and minerals content (phosphorus, calcium, magnesium, copper, zinc, boron, manganese, iron, sulfur and potassium). A joined analysis of variance showed significant genotype, environment and genotype per interaction effect. These results indicate the existence of genetic variability among the genotypes of the common beans studied and each genotype showed different behaviour in different environments where they were evaluated. Adaptability and phenotypic stability parameters allowed making the selection of cultivars and lines that exhibit high protein and minerals levels when grown in environments of high and low technology and stability of behaviour for these characters.

Key-words: *Phaseolus vulgaris* L., genotype per environment interaction, protein content, mineral content.

4.3 Introdução

Os grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) constituem um alimento básico do brasileiro, sendo o consumo médio anual *per capita* estimado em 12,7kg (EMBRAPA, 2007). Os grãos desta leguminosa apresentam substâncias benéficas ao organismo humano, tais como: carboidratos, proteínas, vitaminas, minerais e fibras, sendo que estas possuem efeitos hipoglicêmico e hipocolesterolêmico (LAJOLO et al, 1996). O feijão é uma fonte protéica de baixo custo, embora os grãos apresentem deficiência de aminoácidos sulfurados. Entretanto a carência destes aminoácidos pode ser suprida com o consumo de cereais como o arroz, que é pobre em lisina e rico em aminoácidos sulfurados, tornando a dieta típica dos brasileiros, arroz com feijão, complementar em termos de aminoácidos essenciais.

O controle genético do teor protéico total é complexo, dependendo da expressão de genes que controlam a síntese de frações específicas de proteínas como também de genes que controlam outras características como absorção de nutrientes, vigor da planta, maturação, tamanho da semente, síntese e acúmulo de amido (OSBORN,1988).

Carboidratos, lipídeos e proteínas (aminoácidos), 17 nutrientes minerais e 13 vitaminas são considerados essenciais para a dieta humana (GRUSAK, 1999). Dos micronutrientes essenciais para a saúde humana, ferro, zinco, iodo e vitamina A são considerados de maiores riscos de deficiência (WELCH e GRAHAM, 2004). A necessidade diária de ferro de um indivíduo adulto, na faixa etária de 25 a 50 anos, é 10-15mg (WELCH e GRAHAM, 2004), apesar da pequena quantidade requerida a deficiência desse micronutriente afeta mais de 2 bilhões de pessoas no mundo, em todas as faixas etárias, principalmente mulheres e crianças (WHO, 2007).

A deficiência de mineral na população humana é decorrente do baixo teor de minerais cátions nos alimentos básicos, combinado com a abundância de fatores antinutricionais presentes nesses alimentos, os quais reduzem sua biodisponibilidade. Esses minerais essenciais encontram-se em abundância nos solos, mas geralmente não estão na forma assimilável pelas plantas. Para suprir a necessidade de mineral e simultaneamente evitar os efeitos tóxicos desses, as plantas desenvolveram um sistema complexo de regulação a qual envolve a absorção, translocação, redistribuição e mecanismos de seqüestro. Esses

mecanismos são controlados por muitos genes e atualmente pouco se conhece sobre os genes que controlam etapas específicas da homeostases de mineral. Avanços nesses conhecimentos irão proporcionar melhoria do rendimento, da qualidade nutricional e da segurança dos alimentos (GHANDILYAN et al., 2006).

Estudos realizados por Araújo et al. (2003), Dalla Corte et al, (2003), Buratto et al, (2005), Londero et al. (2005), Silva et al. (2006) tem demonstrado variabilidade genética para teor de proteínas, minerais e fibras em cultivares brasileiras de feijão. A existência de considerável variabilidade genética para a qualidade nutricional nos grãos de feijão, possibilita a obtenção de variedades com características agronômicas desejáveis e com melhor qualidade nutricional, contribuindo de maneira eficaz para redução da ocorrência da deficiência de ferro na população.

As qualidades nutricionais dos grãos de feijão são determinadas pelo genótipo e influenciadas pelo efeito do ambiente que atuam durante o crescimento da planta e desenvolvimento da semente. Dentre os numerosos fatores ambientais que influenciam a qualidade do feijão, pode-se mencionar os fatores climáticos, como temperaturas elevadas na fase de enchimento de grãos, práticas de cultivo, beneficiamento pós-colheita, condições de armazenamento e tecnologia de processamento. A influência do ambiente e da interação cultivar x ambiente nos caracteres relacionados com a qualidade nutricional dos grãos de feijão têm sido pouco estudados (ARAÚJO et al, 2003; DALLA CORTE et al, 2003). O conhecimento da variabilidade genética para as características relacionadas aos fatores nutricionais de maior importância nos grãos de feijão (teor de proteína, composição dos aminoácidos, teor de minerais, digestibilidade e a presença de fatores antinutricionais), a correlação genética entre eles, bem como o comportamento desses caracteres frente às variações ambientais, são fundamentais para o sucesso de um programa de melhoramento genético visando a biofortificação dos grãos de feijão.

Este trabalho objetivou avaliar o teor de proteína e minerais em grãos de cultivares e linhagens de feijão pertencentes aos grupos comerciais preto e carioca em diferentes ambientes, visando identificar entre os materiais estudados, aqueles que apresentem comportamento estável para estes caracteres frente às variações ambientais; e identificar genótipos com elevado teor médio de proteína e minerais.

4.4 Material e Métodos

Foram efetuadas avaliações para o teor de proteína e minerais em grãos de cultivares e linhagens de feijão provenientes do programa de melhoramento genético do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e de outras instituições de pesquisa.

Na safra da seca 2006 a semeadura foi efetuada no mês de janeiro, foram conduzidos dois experimentos denominados de “Ensaio em Cultivo”, um para o grupo comercial carioca e outro para o grupo comercial preto nos seguintes locais do estado do Paraná: Maua da Serra (Latitude 23°54'05” S, Longitude 51°13'46” O e Altitude 1020m), Pato Branco (Latitude 26°13'43” S, Longitude 52°40'14” O e Altitude 761m) e Wenceslau Bráz (Latitude 23°52'26” S, Longitude 49°48'10” O e Altitude 841m). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com três repetições e parcelas constituídas de quatro linhas de 5m espaçadas 0,50m, com uma população de 15 plantas por metro linear, considerando-se como parcela útil as duas linhas centrais excluindo-se 0,5m das extremidades. A adubação de base foi efetuada aplicando-se o adubo formulado NPK, 4-30-10, de acordo com a análise química do solo e efetuou-se a adubação nitrogenada aos 23 dias após a emergência das plantas, com 40kg de N por hectare, na forma de sulfato de amônio. Também efetuou-se o controle químico de plantas invasoras e de pragas quando necessário, utilizando-se de produtos registrados para a cultura do feijão.

Após a maturidade fisiológica (R9) efetuou-se a colheita e de cada parcela experimental foi retirada uma amostra de 200g de grãos, as quais foram armazenados em câmara fria com temperatura de 5,6°C e 33% de umidade.

Teor de proteína

Para a determinação dos teores de proteína foram utilizados grãos livres da presença de insetos, fungos, podridões e danos físicos. Os grãos foram triturados em moinho e o pó obtido foi acondicionado em recipiente plástico. Foram utilizadas duas repetições laboratoriais por amostra de cada parcela experimental. Para a execução das análises laboratoriais foi utilizado o método de Kjeldhal (AOAC, 1980), utilizando o fator 6,25 para converter o nitrogênio total em proteína bruta e posteriormente corrigida para base seca.

Teor de minerais

Para a determinação dos teores de minerais P, Ca, Mg, Cu, Zn, B, Mn, Fe, S e K foi utilizada a metodologia proposta por Miyazawa et al, (1999). Para a realização das análises, os grãos de feijão triturados foram colocados posteriormente em tubo digestor de 80ml, em seguida foi realizada uma digestão nitroperclórica com a solução de $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$ na proporção 3:1. Os minerais Ca, Mg, Cu, Zn, B, Mn, Fe e S foram determinados por espectrometria de emissão atômica com indução de plasma (EEA-ICP). O elemento K foi determinado utilizando um fotômetro de chama. Os valores para os teores de minerais foram corrigidos para base seca.

Teor de umidade

O conteúdo de umidade foi determinado pelo método descrito pela AOAC, (1984), a determinação foi efetuada em duplicata, com cadinhos de alumínio (com massa conhecida) secos a 105°C por 3 horas. A porcentagem de umidade foi determinada pela diferença de peso da amostra.

Análise estatística

Inicialmente efetuou-se a análise de variância individual para cada local e para cada característica avaliada, considerando-se os efeitos de genótipo e ambiente como fixos. Após a obtenção dos resultados, o teste de Hartley foi realizado para testar a homogeneidade de variância, sendo este fornecido pela razão entre a maior e a menor variância do erro (RAMALHO, 2000). Posteriormente efetuou-se a análise de variância conjunta e as médias dos tratamentos foram agrupados pelo método de Scott e Knott a 1 e 5% de probabilidade (SCOTT e KNOTT, 1974). Após a análise conjunta dos dados foram estimadas a adaptabilidade e estabilidade fenotípica pelo método proposto por Eberhart e Russell (1966). As análises estatísticas foram efetuadas com o auxílio do programa Genes (CRUZ, 1997).

4.5 Resultados e Discussão

Os resultados das avaliações nutricionais efetuadas em cultivares e linhagens de feijão, pertencentes ao grupo comercial preto e carioca, cultivados em três locais do Estado do Paraná na safra da seca 2006 são apresentados nas Tabelas 4.1 a 4.24.

Para ambos os grupos comerciais observaram-se efeitos significativos de genótipo para teor de proteína ao nível de 1% de probabilidade para todos os locais avaliados (dados não mostrados). A análise de variância conjunta (Tabela 4.1) também apresentou efeito significativo de genótipo a 1% de probabilidade, para ambos os grupos comerciais, indicando a presença de variabilidade genética para o caráter teor de proteína nos grãos nas cultivares e linhagens avaliadas.

O efeito de ambiente, bem como a interação genótipo por ambiente também foram significativos a 1% de probabilidade (Tabela 4.1). Esses resultados revelam um comportamento diferenciado das cultivares e linhagens nos diferentes ambientes onde foram avaliadas, estando plenamente de acordo com os resultados anteriormente obtidos por Dalla Corte et al., (2003) e Lemos et al., (2004).

Tabela 4.1 Análise de variância conjunta, média geral e coeficiente de variação (CV) dos teores de proteína em base seca (%) de 18 genótipos de feijão do grupo comercial preto e carioca, cultivados em Mauá da Serra, Pato Branco e Wenceslau Braz, no estado do Paraná, durante a safra da seca/2006.

FV	GL	Grupo Preto	Grupo Carioca
		QM	QM
Bloco/Ambiente	6	1,85011	1,4493
Genótipo	17	5,5885**	7,0160**
Ambiente	2	258,41**	147,50**
Genótipo x Ambiente	34	1,259**	1,7687**
Resíduo	102	0,5336	0,6124
Média		24,78	24,05
CV (%)		2,94	3,25

*, **: significativamente diferente de um, pelo teste F a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Os teores médios de proteína no grupo preto (Tabela 4.2) variaram de 23,2% a 25,9%, sendo que o teste de agrupamento de médias de Scott e Knott classificou os genótipos em dois grupos. As cultivares BRS Valente, Diamante

Negro, FT120, FT Soberano, IAPAR 44, Rio Tibagi e Xamego e a linhagem LP99-96 apresentaram maior porcentagem de proteína nos grãos. O estudo da adaptabilidade e estabilidade fenotípica, utilizando-se da metodologia proposta por Eberhart e Russel (1966) revelou que as cultivares FT120, FT Soberano e Xamego e a linhagem, LP99-96, apresentaram ampla adaptabilidade ($\beta_{1i}=1$) e estabilidade ($\sigma_{di}^2=0$) para teor de proteína nos grãos (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 Média do teor de proteína (%), estimativas dos parâmetros de estabilidade e adaptabilidade para 18 genótipos de feijão do grupo preto avaliados em Mauá da Serra, Pato Branco e Wenceslau Braz na safra da seca/2006.

Genótipo	Média ^{/1}	β_{1i} ^{/2}	σ_{di}^2 ^{/3}	R_i^2 (%)
BRS Campeiro	24,6 b	0,5748 **	-0,1779 ns	100,00
BRS Valente	25,1 a	0,9292 ns	1,4939 **	83,17
Diamante Negro	25,9 a	0,7206 *	-0,1553 ns	99,55
FT 120	25,6 a	0,997 ns	-0,1779 ns	100,00
FT Nobre	24,7 b	0,8894 ns	1,7021 **	80,11
FT Soberano	26,2 a	0,9212 ns	-0,1519 ns	99,68
IAC Una	24,7 b	1,0664 ns	-0,1574 ns	99,81
IAPAR 44	25,6 a	1,2804 *	0,4737 ns	96,01
IPR Chopim	23,8 b	0,9814 ns	0,294 ns	95,13
IPR Graúna	24,1 b	1,0745 ns	1,7574 **	85,10
IPR Uirapuru	23,8 b	0,9005 ns	-0,099 ns	98,99
IPR Tiziu	24,5 b	0,8581 ns	-0,0895 ns	98,76
LP98-122	24,5 b	0,9927 ns	-0,1053 ns	99,24
IPR Galha	23,2 b	1,0416 ns	0,1043 ns	97,35
LP99-85	24,3 b	1,2386 ns	-0,0761 ns	99,31
LP99-96	25,4 a	1,1175 ns	-0,0457 ns	98,91
Rio Tibagi	25,0 a	1,3134 *	0,7107 *	94,89
Xamego	25,0 a	1,1028 ns	0,1965 ns	96,88

/1; Valores seguidos da mesma letra pertencem a um mesmo grupo, Teste de Scott e Knott a 5%

/2; **, *; significativamente diferente de um, pelo teste t, a 1 e 5% de probabilidade respectivamente

/3; **, *; significativamente diferente de zero, pelo teste F, a 1 e 5% de probabilidade e ns não significativamente diferente de zero pelo teste F, ao nível de 1% de probabilidade.

Para o grupo carioca, os teores de proteína (Tabela 4.3) variaram de 22,5% a 25,9%, sendo que os genótipos foram agrupados em duas classes pelo teste Scott e Knott a 5% de probabilidade, destacando-se para maiores percentuais as cultivares BRS Pontal, BRS Requite, FT Magnífico, IAC Tibatã, IAPAR 81, IPR Juriti e Pérola. Essa cultivares exceto a BRS Requite também se destacaram das demais por apresentarem ampla adaptabilidade e estabilidade para teor de proteína nos grãos.

Tabela 4.3 Média do teor de proteína (%), estimativas dos parâmetros de estabilidade e adaptabilidade para 18 genótipos de feijão do grupo carioca avaliados em Mauá da Serra, Pato Branco e Wenceslau Braz na safra da seca/2006.

Genótipo	Média ^{/1}	β_{1i} ^{/2}	σ_{di}^2 ^{/3}	R_i^2 (%)
BRS Pontal	25,2 a	1,1443 ns	-0,1987 ns	99,92
BRS Requite	25,9 a	1,1874 ns	0,746 *	89,01
Carioca	23,2 b	0,2322 **	1,3566 **	15,87
FT Magnífico	24,5 a	0,8011 ns	0,5528 ns	82,24
FT Bonito	23,4 b	1,1524 ns	1,3174 **	82,66
IAC Eté	23,6 b	1,4117 *	0,7523 *	91,92
IAC Tibatã	25,2 a	1,3064 ns	-0,0665 ns	98,54
IAPAR 31	23,8 b	0,9992 ns	0,2662 ns	92,06
IAPAR 80	24,1 b	1,2929 ns	-0,1009 ns	98,88
IAPAR 81	25,1 a	1,3547 ns	0,0217 ns	97,79
IPR Juriti	24,3 a	1,14 ns	-0,1788 ns	99,64
IPR Saracura	24,0 b	0,7586 ns	1,3218 **	67,32
LP01-38	22,5 b	1,073 ns	-0,2035 ns	99,98
LP20-108	23,6 b	0,9793 ns	-0,1534 ns	99,04
LP99-63	23,1 b	0,8709 ns	2,5417 **	60,14
IPR Siriri	23,2 b	0,7739 ns	0,4434 ns	83,47
Pérola	24,4 a	0,6218 ns	-0,0656 ns	93,84
Rubi	23,9 b	0,9005 ns	-0,108 ns	97,87

/1; Valores seguidos da mesma letra pertencem a um mesmo grupo, Teste de Scott e Knott a 5%

/2; **, *; significativamente diferente de um, pelo teste t, a 1 e 5% de probabilidade respectivamente

/3; **, *; significativamente diferente de zero, pelo teste F, a 1 e 5% de probabilidade e ns não significativamente diferente de zero pelo teste F, ao nível de 1% de probabilidade.

Os resultados das avaliações efetuadas para teores dos minerais: fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, zinco, boro, manganês, ferro e enxofre nos grãos de cultivares e linhagens de feijoeiro do grupo comercial preto e carioca serão apresentados de forma separada para cada grupo comercial.

Grupo Comercial Preto

O resultado da análise de variância conjunta dos teores de minerais do grupo comercial preto é apresentado na Tabela 4.4. Verifica-se efeito significativo de genótipo a 1% de probabilidade para todos os minerais avaliados, indicando a existência de variabilidade genética para o teor dos dez minerais avaliados. Também se verificou efeito significativo para ambiente, exceto para o mineral cálcio. O efeito da interação genótipo por ambiente também foi significativa. Esses resultados demonstram que a quantidade dos minerais presentes nos grãos de feijão é influenciada pelo ambiente, estas diferenças devem-se provavelmente a diferentes condições edafoclimáticas dos locais onde foram conduzidos os ensaios. A significância da interação genótipo por ambiente para os teores de minerais indica que os genótipos avaliados demonstram diferentes respostas fenotípicas às variações ambientais.

A variabilidade genética foi relatada na literatura para os teores de minerais presentes nos grãos (GREGORIO, 2002; BEEBE et al, 1999) e também observados em genótipos de feijão adaptados às condições edafoclimáticas brasileiras (ARAÚJO et al, 2003; ANDRADE et al, 2004). O feijão é considerado uma fonte de cálcio, ferro, fósforo e zinco, e das vitaminas tiamina, niacina e ácido fólico, no entanto, a presença de compostos antinutricionais afetam a qualidade destas leguminosas onde estas substâncias atuam na redução da biodisponibilidade dos minerais, redução da digestibilidade das proteínas, entre outros (MALDONADO et al, 2002).

Tabela 4.4 Análise de variância conjunta dos teores de minerais nos grãos em genótipos de feijão preto avaliados nos ensaios de Mauá de Serra, Pato Branco e Wenceslau Brás no estado do Paraná, safra da seca 2006.

FV	GL	P (g.kg ⁻¹)	K (g.kg ⁻¹)	Ca (g.kg ⁻¹)	Mg (g.kg ⁻¹)	Cu (mg.kg ⁻¹)
		QM	QM	QM	QM	QM
Bloco/Ambiente	6	0,23132	0,18519	0,10756	0,0307	0,37833
Genótipo	17	0,72494**	0,36674**	0,35995**	0,17852**	3,77878**
Ambiente	2	2,56632*	50,39506**	0,09144ns	1,07081**	35,3745**
Genótipo x Ambiente	34	0,20466**	0,72186**	0,06713**	0,04544**	1,37134**
Resíduo	102	0,07861	0,38126	0,01592	0,00976	0,44433
Média		4,758	14,308	1,71	2,030	9,49
CV (%)		5,89	4,31	7,36	4,86	7,02

**/* significativo a 1 e 5%, respectivamente. Teste F.

FV	GL	Zn (mg.kg ⁻¹)	B (mg.kg ⁻¹)	Mn (mg.kg ⁻¹)	Fe (mg.kg ⁻¹)	S (g.kg ⁻¹)
		QM	QM	QM	QM	QM
Bloco/Ambiente	6	6,5397	1,74476	9,42764	68,74782	0,00942
Genótipo	17	92,4684**	6,83814**	25,94461**	266,3504**	0,09815**
Ambiente	2	373,2128**	38,2255**	150,5319**	1547,1273**	0,3339**
Genótipo x Ambiente	34	35,3535**	4,96197**	14,607**	166,2642**	0,05537**
Resíduo	102	7,36496	1,58441	3,380	35,4508	0,01157
Média		34,66	13,89	16,74	84,82	2,21
CV (%)		7,82	9,06	10,98	7,01	4,86

**/* significativo a 1 e 5%, respectivamente. Teste F.

Na Tabela 4.5 são apresentados os teores médios de Fósforo e Potássio e observa-se uma variação para Fósforo de 4,319g.kg⁻¹ a 5,186 g.kg⁻¹ sendo que as cultivares BRS Valente, Diamante Negro, FT 120, FT Soberano, IAPAR 44, LP99-96, Rio Tibagi e Xamego destacaram-se por apresentar maiores teores de fósforo (Tabela 4.5). Quanto à adaptabilidade e estabilidade deste caráter, dos 18 genótipos avaliados, 77% apresentaram ampla adaptabilidade e alta estabilidade. As cultivares BRS Valente, FT Nobre, IAPAR 44 e Xamego além de apresentarem altos teores de fósforo nos grãos também apresentaram ampla adaptabilidade ($\beta_{1i}=1$) e alta estabilidade ($\sigma^2_{di}=0$) para esta característica.

O teor médio de Potássio dos genótipos do grupo preto avaliados em três locais do estado do Paraná variou de 13,78g.kg⁻¹ a 15,22g.kg⁻¹ (Tabela 4.5). O estudo da estabilidade e adaptabilidade revelou que 83,33% dos genótipos apresentaram ampla adaptabilidade ($\beta_{1i}=1$) e 88,8% apresentaram alta previsibilidade ($\sigma^2_{di}=0$). As cultivares BRS Campeiro, BRS Valente, FT 120, FT Nobre, FT Soberano, IAPAR 44, IPR Graúna, IPR Uirapuru, IPR Tiziu, IPR Gralha e Rio Tibagi e as linhagens LP98-122, LP99-85, LP99-96 apresentaram o maior teor de Potássio, adaptabilidade ampla ($\beta_{1i}=1$) e estabilidade ($\sigma^2_{di}=0$).

Os teores médios de Cálcio avaliados nas cultivares e linhagens do grupo preto são apresentados na Tabela 4.6. O teste agrupamento de médias de Scott e Knott a 5% de probabilidade classificou os genótipos em cinco grupos. Os teores médios de cálcio nos grãos variaram de 1,30g.kg⁻¹ a 2,07g.kg⁻¹. As cultivares FT Nobre e Xamego apresentaram os maiores teores médios de cálcio nos grãos, ampla adaptabilidade ($\beta_{1i}=1$) e boa presivibilidade de comportamento ($\sigma^2_{di}=0$).

O teor de Magnésio variou de 1,731 g.kg⁻¹ a 2,256 g.kg⁻¹. Os genótipos que apresentaram ampla adaptabilidade ($\beta_{1i}=1$) e boa presivibilidade de comportamento ($\sigma^2_{di}=0$) foram FT 120, FT Nobre, Rio Tibagi e Xamego.

Os teores médios de Cobre variaram de 8,62mg.kg⁻¹ a 10,79mg.g⁻¹ a (Tabela 4.7), sendo que os genótipos IAPAR 44, FT 120, FT Nobre, LP99-85, Rio Tibagi e Xamego apresentaram maior teor médio de Cobre, ampla adaptabilidade ($\beta_{1i}=1$) e boa presivibilidade de comportamento ($\sigma^2_{di}=0$).

O teor médio de Zinco (Tabela 4.7) variou de 30,20mg.kg⁻¹ a 40,58mg.kg⁻¹. As cultivares FT 120 e FT Nobre apresentaram maior teor de Zinco, ampla adaptabilidade ($\beta_{1i}=1$) e alta estabilidade ($\sigma^2_{di}=0$), podendo ser utilizadas

como progenitores nos cruzamentos visando aumentar o teor deste nutriente nos grãos de feijão o qual irá contribuir para melhoria da saúde da população brasileira uma vez que este mineral apresenta-se deficiente na dieta da população.

O teor médio de Boro esta apresentado na Tabela 4.8, e observa-se que o teste de Scott Knott agrupou os genótipos avaliados em uma única classe. Os teores médios de Boro nos grãos variaram de $12,43\text{mg.kg}^{-1}$ a $16,0\text{mg.kg}^{-1}$. A maioria dos genótipos apresentou ampla adaptabilidade ($\beta_{1i}=1$) e alta estabilidade ($\sigma_{di}^2=0$).

O teor médio de manganês nos grãos de feijão no grupo preto variou de $14,36\text{mg.kg}^{-1}$ a $21,02\text{mg.kg}^{-1}$, sendo que as cultivares Diamante Negro, FT Nobre e FT120 destacaram-se por apresentar altos teores. O estudo da adaptabilidade e estabilidade revelou que 61,11% dos materiais apresentaram ampla adaptabilidade com $\beta_{1i}=1$ e 72,22% dos genótipos apresentaram alta estabilidade com $\sigma_{di}^2=0$ (Tabela 4.8).

Observa-se que para os teores de Ferro avaliados nos grãos de feijão os valores obtidos variaram de $77,68\text{mg.kg}^{-1}$ a $94,05\text{mg.kg}^{-1}$ (Tabela 4.9). As cultivares Xamego, FT120 e FT Nobre apresentaram alto teor médio de Ferro, ampla adaptabilidade ($\beta_{1i}=1$) e alta estabilidade ($\sigma_{di}^2=0$). Verifica-se que as cultivares FT120 e FT Nobre também se destacaram para o teor do mineral Zinco, portanto ambas podem ser utilizadas como progenitores nos cruzamentos a serem realizados, visando a biofortificação de grãos de feijão para teores de Ferro e Zinco, destacando-se a importância destes dois minerais que são altamente deficientes na população brasileira.

O teor médio de Enxofre variou de $2,02\text{g.kg}^{-1}$ a $2,327\text{g.kg}^{-1}$ sendo que as cultivares IAPAR 44 e FT Nobre apresentaram maior teor médio de enxofre, ampla adaptabilidade ($\beta_{1i}=1$) e alta estabilidade ($\sigma_{di}^2=0$) (Tabela 4.9).

Tabela 4.5 Teor médio de Fósforo (g.kg^{-1}) e Teor médio de Potássio (g.kg^{-1}) e estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de acordo com Eberhart e Russel (1966) em 18 genótipos de feijão preto. Mauá da Serra, Pato Branco e Wenceslau Braz - safra da seca/2006.

Genótipo	Teor de Fósforo (g.kg^{-1})				Teor de Potássio (g.kg^{-1})			
	Média ^{/1}	β_{1i} ^{/2}	σ_{di}^2 ^{/3}	R^2_i (%)	Média ^{/1}	β_{1i} ^{/2}	σ_{di}^2 ^{/3}	R^2_i (%)
BRS Campeiro	4,403 b	2,007 ns	-0,0014 ns	93,9	14,22 a	0,66 ns	0,030 ns	83,7
BRS Valente	4,994 a	1,262 ns	0,0001 ns	85,2	14,44 a	1,05 ns	0,113 ns	89,5
Diamante Negro	4,902 a	2,435 **	-0,0181 ns	98,6	15,22 a	0,33 *	0,185 ns	39,9
FT 120	5,137 a	2,154 *	-0,0208 ns	98,8	14,56 a	0,92 ns	0,362 ns	76,4
FT Nobre	4,969 a	1,299 ns	0,025 ns	75,8	14,44 a	0,58 ns	0,208 ns	65,2
FT Soberano	4,964 a	0,365 ns	0,2773 **	4,0	14,22 a	0,72 ns	-0,123 ns	99,5
IAC Una	4,616 b	0,875 ns	0,312 **	17,7	14,33 a	1,71 **	0,660 *	87,4
IAPAR 44	4,841 a	1,093 ns	-0,0183 ns	93,5	15,22 a	1,04 ns	-0,074 ns	97,5
IPR Chopim	4,571 b	1,297 ns	0,176 **	44,1	13,78 a	1,23 ns	0,688 *	77,6
IPR Graúna	4,401 b	0,986 ns	0,0337 ns	60,7	14,44 a	1,17 ns	0,065 ns	93,0
IPR Uirapuru	4,405 b	-0,110 *	-0,0062 ns	5,4	14,00 a	0,97 ns	0,108 ns	88,2
IPR Tiziu	4,672 b	1,191 ns	-0,0261 ns	99,9	14,00 a	0,91 ns	-0,127 ns	100,0
LP98-122	4,674 b	0,894 ns	0,0133 ns	65,8	14,11 a	0,84 ns	-0,051 ns	94,6
IPR Gralha	4,319 b	1,275 ns	-0,0223 ns	97,6	14,00 a	0,59 ns	-0,107 ns	97,0
LP99-85	4,525 b	0,760 ns	-0,0148 ns	82,8	14,11 a	1,17 ns	0,065 ns	93,0
LP99-96	4,932 a	0,256 ns	0,242 **	2,3	14,00 a	1,18 ns	-0,048 ns	97,0
Rio Tibagi	5,143 a	-0,161 *	0,033 ns	4,0	14,33 a	1,24 ns	-0,094 ns	98,8
Xamego	5,186 a	0,125 ns	-0,0071 ns	7,2	14,11 a	1,70 **	-0,099 ns	99,5

/1; Valores seguidos da mesma letra pertencem a um mesmo grupo, Teste de Scott e Knott a 5%

/2; **, *; significativamente diferente de um, pelo teste t, a 1 e 5% de probabilidade respectivamente

/3; **, *; significativamente diferente de zero, pelo teste F, a 1 e 5% de probabilidade e ns não significativamente diferente de zero pelo teste F, ao nível de 1% de probabilidade,

Tabela 4.6 Teor médio de Cálcio (g.kg^{-1}) e Teor médio de Magnésio (g.kg^{-1}) e estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de acordo com Eberhart e Russel (1966) em 18 genótipos de feijão preto. Mauá da Serra, Pato Branco e Wenceslau Braz - safra da seca/2006.

Genótipo	Teor de Cálcio (g.kg^{-1})				Teor de Magnésio (g.kg^{-1})			
	Média ^{/1}	β_{1i} ^{/2}	σ_{di}^2 ^{/3}	R^2_i (%)	Média ^{/1}	β_{1i} ^{/2}	σ_{di}^2 ^{/3}	R^2_i (%)
BRS Campeiro	1,75 b	0,387 ns	0,0388 **	1,1	2,042 b	-0,255 **	0,0026 ns	30,48
BRS Valente	1,61 c	0,938 ns	0,0378 **	6,5	1,880 c	0,195 **	-0,0025 ns	65,42
Diamante Negro	2,07 a	-3,819 **	-0,0027 ns	94,9	2,256 a	1,245 ns	0,0697 **	45,74
FT 120	1,88 a	-3,210 **	-0,0015 ns	90,1	2,231 a	1,285 ns	0,0009 ns	94,08
FT Nobre	2,02 a	-0,459 ns	0,0059 ns	6,0	2,243 a	0,445 ns	-0,0029 ns	95,91
FT Soberano	1,57 c	1,155 ns	0,0175 *	16,5	1,992 b	1,503 ns	-0,0029 ns	99,62
IAC Una	1,66 c	5,094 **	0,0146 ns	81,5	1,806 c	1,910 **	0,0121 *	90,40
IAPAR 44	1,58 c	2,880 ns	-0,0048 ns	98,3	2,066 b	0,741 ns	0,0050 ns	72,60
IPR Chopim	1,30 d	6,318 **	0,0012 ns	95,4	2,035 b	0,800 ns	0,0187 *	53,63
IPR Graúna	1,72 b	-0,853 ns	0,0132 ns	11,7	1,966 b	0,279 *	0,0184 *	12,53
IPR Uirapuru	1,64 c	2,177 ns	-0,0052 ns	99,4	2,018 b	0,535 ns	0,0153 *	37,99
IPR Tiziu	1,73 b	2,002 ns	0,0356 **	24,9	2,022 b	0,355 *	0,0034 ns	42,93
LP98-122	1,77 b	1,138 ns	0,0964 **	4,1	1,981 b	2,050 **	0,0003 ns	97,91
IPR Gralha	1,49 d	2,523 ns	0,0088 ns	60,5	1,953 b	1,955 **	-0,0032 ns	99,99
LP99-85	1,47 d	2,528 ns	-0,0053 ns	100,0	1,731 c	1,818 **	0,0042 ns	94,63
LP99-96	1,95 a	-2,034 *	0,0177 *	37,9	2,061 b	0,655 ns	-0,0020 ns	93,23
Rio Tibagi	1,77 b	1,270 ns	0,0073 ns	30,3	2,134 a	1,240 ns	0,0048 ns	88,35
Xamego	1,88 a	-0,034 ns	0,0076 ns	80,0	2,135 a	1,243 ns	0,0001 ns	94,85

/1; Valores seguidos da mesma letra pertencem a um mesmo grupo, Teste de Scott e Knott a 5%

/2; **, *; significativamente diferente de um, pelo teste t, a 1 e 5% de probabilidade respectivamente

/3; **, *; significativamente diferente de zero, pelo teste F, a 1 e 5% de probabilidade e ns não significativamente diferente de zero pelo teste F, ao nível de 1% de probabilidade,

Tabela 4.7 Teor médio de Teor de Cobre (mg.kg^{-1}) e Teor de Zinco (mg.kg^{-1}) e estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de acordo com Eberhart e Russel (1966) em 18 genótipos de feijão preto. Mauá da Serra, Pato Branco e Wenceslau Braz - safra da seca/2006.

Genótipo	Teor de Cobre (mg.kg^{-1})				Teor de Zinco (mg.kg^{-1})			
	Média ^{/1}	β_{1i} ^{/2}	σ_{di}^2 ^{/3}	R^2_i (%)	Média ^{/1}	β_{1i} ^{/2}	σ_{di}^2 ^{/3}	R^2_i (%)
BRS Campeiro	9,04 b	-0,5776 **	1,2442 **	23,89	30,43 b	1,709 ns	-2,3407 ns	99,72
BRS Valente	9,53 b	0,7112 ns	1,1181 **	34,36	36,45 a	1,506 ns	23,1941 **	55,00
Diamante Negro	9,47 b	1,0031 ns	-0,0296 ns	91,75	37,38 a	0,513 ns	32,3022 **	9,46
FT 120	9,79 a	1,0658 ns	0,4004 ns	73,07	40,58 a	0,695 ns	-1,611 ns	88,78
FT Nobre	9,99 a	1,4142 ns	-0,0215 ns	95,39	38,75 a	1,793 ns	2,0091 ns	90,87
FT Soberano	9,28 b	1,6748 *	0,4151 ns	86,71	35,62 a	0,305 ns	26,0986 **	4,31
IAC Una	8,71 b	1,4377 ns	0,364 ns	84,10	32,50 b	0,344 ns	11,8738 *	10,25
IAPAR 44	10,4 a	1,512 ns	0,0973 ns	92,43	33,91 b	0,167 *	19,557 **	1,72
IPR Chopim	9,86 a	0,5416 ns	1,2867 **	21,12	33,30 b	1,015 ns	48,2567 **	21,92
IPR Graúna	8,79 b	1,0612 ns	0,3106 ns	76,28	32,39 b	0,737 ns	0,4241 ns	72,27
IPR Uirapuru	8,62 b	1,6238 ns	-0,1002 ns	98,63	32,75 b	-0,606 **	2,2837 ns	51,68
IPR Tiziu	8,79 b	1,418 ns	-0,1282 ns	99,25	30,47 b	0,742 ns	-1,3201 ns	87,02
LP98-122	9,07 b	0,8006 ns	-0,1477 ns	99,96	32,59 b	1,868 *	-2,455 ns	100,00
IPR Gralha	9,09 b	1,0699 ns	0,5794 *	67,33	30,20 b	1,724 ns	4,8819 ns	84,85
LP99-85	9,87 a	1,1892 ns	-0,0636 ns	95,64	33,58 b	0,721 ns	-1,1607 ns	84,75
LP99-96	9,31 b	-0,0652 **	0,0999 ns	2,19	37,01 a	1,862 *	13,9374 *	74,52
Rio Tibagi	10,51 a	1,244 ns	0,0051 ns	92,97	36,11 a	1,148 ns	21,0976 **	43,61
Xamego	10,79 a	0,8758 ns	-0,0544 ns	91,47	39,87 a	1,757 ns	38,7545 **	50,88

/1; Valores seguidos da mesma letra pertencem a um mesmo grupo, Teste de Scott e Knott a 5%

/2; **, *; significativamente diferente de um, pelo teste t, a 1 e 5% de probabilidade respectivamente

/3; **, *; significativamente diferente de zero, pelo teste F, a 1 e 5% de probabilidade e ns não significativamente diferente de zero pelo teste F, ao nível de 1% de probabilidade,

Tabela 4.8 Teor médio de Teor de Boro (mg.kg^{-1}) e Teor de Manganês (mg.kg^{-1}) e estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de acordo com Eberhart e Russel (1966) em 18 genótipos de feijão preto. Mauá da Serra, Pato Branco e Wenceslau Braz - safra da seca/2006.

Genótipo	Teor de Boro (mg.kg^{-1})				Teor de Manganês (mg.kg^{-1})			
	Média ^{/1}	β_{1i} ^{/2}	σ_{di}^2 ^{/3}	R^2_i (%)	Média ^{/1}	β_{1i} ^{/2}	σ_{di}^2 ^{/3}	R^2_i (%)
BRS Campeiro	12,43 a	0,454 ns	6,1439 **	4,19	17,01 b	-0,222 **	3,151 ns	6,01
BRS Valente	13,82 a	-0,239 *	6,99 **	1,07	17,60 b	-0,938 **	-0,449 ns	87,87
Diamante Negro	16,00 a	3,063 **	-0,4901 ns	99,71	18,50 a	2,150 *	8,507 **	72,80
FT 120	13,86 a	1,556 ns	-0,5196 ns	99,75	21,02 a	2,707 **	-1,055 ns	99,83
FT Nobre	14,71 a	1,359 ns	-0,2974 ns	91,89	19,50 a	0,287 ns	0,381 ns	23,32
FT Soberano	14,03 a	1,238 ns	1,6096 *	50,39	17,13 b	1,463 ns	-0,968 ns	98,68
IAC Una	12,65 a	-0,554 *	-0,517 ns	97,50	16,01 b	1,178 ns	6,865 **	49,18
IAPAR 44	15,13 a	0,547 ns	0,534 ns	28,51	15,60 b	0,390 ns	1,849 ns	22,14
IPR Chopim	13,88 a	-0,073 ns	-0,1267 ns	1,82	15,40 b	0,280 ns	13,132 **	2,97
IPR Graúna	14,46 a	0,089 ns	0,8646 ns	0,80	17,43 b	-0,298 **	-0,005 ns	30,64
IPR Uirapuru	14,18 a	1,646 ns	-0,3652 ns	95,93	15,78 b	0,987 ns	-0,943 ns	96,72
IPR Tiziu	12,92 a	1,765 ns	-0,5006 ns	99,38	15,41 b	1,375 ns	0,868 ns	84,08
LP98-122	13,52 a	1,947 ns	2,8213 *	61,58	15,23 b	0,237 ns	-1,005 ns	71,98
IPR Gralha	12,86 a	2,002 ns	1,1026 ns	77,68	14,36 b	2,716 **	1,956 ns	93,02
LP99-85	13,93 a	-0,494 *	4,9013 **	5,98	14,69 b	2,480 **	4,319 *	86,29
LP99-96	13,81 a	0,808 ns	0,2955 ns	52,90	16,92 b	1,108 ns	0,407 ns	81,69
Rio Tibagi	13,82 a	1,819 ns	0,6983 ns	79,25	16,79 b	0,697 ns	2,673 ns	41,59
Xamego	14,04 a	1,066 ns	-0,5278 ns	99,98	16,95 b	1,405 ns	-0,021 ns	90,87

/1; Valores seguidos da mesma letra pertencem a um mesmo grupo, Teste de Scott e Knott a 5%

/2; **, *; significativamente diferente de um, pelo teste t, a 1 e 5% de probabilidade respectivamente

/3; **, *; significativamente diferente de zero, pelo teste F, a 1 e 5% de probabilidade e ns não significativamente diferente de zero pelo teste F, ao nível de 1% de probabilidade,

Tabela 4.9 Teor médio de Teor de Ferro (mg.kg^{-1}) e Teor de Enxofre (g.kg^{-1}) e estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de acordo com Eberhart e Russel (1966) em 18 genótipos de feijão preto. Mauá da Serra, Pato Branco e Wenceslau Braz - safra da seca/2006.

Genótipo	Teor de Ferro (mg.kg^{-1})				Teor de Enxofre (g.kg^{-1})			
	Média ^{/1}	β_{1i} ^{/2}	σ_{di}^2 ^{/3}	R^2_i (%)	Média ^{/1}	β_{1i} ^{/2}	σ_{di}^2 ^{/3}	R^2_i (%)
BRS Campeiro	79,75 b	-0,413 **	-11,367 ns	95,59	2,141 b	3,2219 **	0,0721 **	62,82
BRS Valente	85,95 b	-0,874 **	27,632 ns	52,61	2,215 b	1,5881 ns	0,0134 *	64,33
Diamante Negro	87,26 a	-0,672 **	-9,821 ns	92,84	2,343 a	1,7873 ns	0,0129 *	70,27
FT 120	91,72 a	1,609 ns	16,659 ns	83,90	2,225 b	2,5278 **	0,0174 *	78,79
FT Nobre	92,80 a	0,930 ns	-11,569 ns	99,50	2,327 a	1,9827 ns	-0,0014 ns	95,15
FT Soberano	84,94 b	0,162 ns	-10,902 ns	62,10	2,144 b	-1,1421 **	0,0042 ns	66,81
IAC Una	79,81 b	0,050 *	24,116 ns	0,40	2,073 b	-1,6205 **	-0,0014 ns	92,90
IAPAR 44	80,14 b	2,037 *	0,479 ns	95,08	2,284 a	0,167 ns	-0,0031 ns	30,57
IPR Chopim	77,68 b	3,186 **	13,533 ns	95,82	2,176 b	-0,8769 **	-0,0035 ns	96,55
IPR Graúna	79,84 b	1,613 ns	20,963 ns	81,98	2,130 b	0,6428 ns	-0,0009 ns	63,74
IPR Uirapuru	81,93 b	0,545 ns	48,941 *	21,89	2,107 b	1,0203 ns	0,0038 ns	62,82
IPR Tiziu	82,14 b	0,225 ns	48,632 *	4,59	2,160 b	0,4843 ns	-0,0034 ns	86,58
LP98-122	85,79 b	1,376 ns	36,896 *	69,01	2,202 b	0,4381 ns	-0,0037 ns	94,96
IPR Gralha	78,26 b	1,118 ns	34,232 ns	60,87	2,023 b	0,3917 ns	-0,0002 ns	33,91
LP99-85	82,52 b	2,019 *	73,729 **	73,20	2,175 b	-0,0891 ns	0,0025 ns	1,52
LP99-96	92,82 a	2,411 **	67,937 *	80,67	2,371 a	2,6744 **	-0,0038 ns	99,96
Rio Tibagi	89,51 a	1,360 ns	102,417 **	48,13	2,366 a	2,943 **	0,0201 *	81,72
Xamego	94,05 a	1,318 ns	11,016 ns	81,34	2,324 a	1,8593 ns	0,0069 ns	79,93

/1; Valores seguidos da mesma letra pertencem a um mesmo grupo, Teste de Scott e Knott a 5%

/2; **, *; significativamente diferente de um, pelo teste t, a 1 e 5% de probabilidade respectivamente

/3; **, *; significativamente diferente de zero, pelo teste F, a 1 e 5% de probabilidade e ns não significativamente diferente de zero pelo teste F, ao nível de 1% de probabilidade,

Grupo Comercial Carioca

O resultado da análise de variância conjunta e as estimativas dos coeficientes de variação (CV) para os teores de minerais avaliados em grãos de feijão de cultivares e linhagens do grupo carioca encontram-se na Tabela 4.10.

Observa-se que o efeito de genótipo foi significativo a 1% probabilidade para todos os minerais, indicando diferença estatística entre os diferentes genótipos. O efeito do ambiente também foi significativo a 1% ou 5% de probabilidade, indicando que o local onde foi realizado o cultivo dos genótipos influenciou estas características (Tabela 4.10).

A interação genótipo por ambiente apresentou significância ao nível de 1% de probabilidade, revelando que os genótipos avaliados apresentaram reação diferenciada frente às variações ambientais, isto é, as cultivares e linhagens avaliadas apresentam distintas concentrações de minerais quando as mesmas são avaliadas em diferentes locais de cultivo (Tabela 4.10). As estimativas dos coeficientes de variação (CV) da análise de variância conjunta variaram de 4,16% (teor de Magnésio) a 7,47% (teor de Potássio), indicando boa precisão experimental.

Os teores médios de Fósforo avaliados nos genótipos de feijão carioca (Tabela 4.11) variaram de $3,986\text{g.kg}^{-1}$ a $5,169\text{g.kg}^{-1}$. O teste de agrupamento de Scott e Knott classificou os genótipos em três grupos sendo que os genótipos IPR Siriri, LP99-63, LP20-108, IPR Saracura, IPR Juriti, IAPAR 81, IAPAR 80, IAPAR 31, IAC Tibatã, IAC Etê, FT Magnífico e BRS Requite destacaram-se por apresentar maiores teores. As cultivares IPR Juriti, IAPAR 81, IAPAR 80, IAPAR 31, IAC Tibatã e FT Magnífico destacaram-se das demais por apresentarem elevados teores médios de fósforo, ampla adaptabilidade ($\beta_{1i}=1$) e alta estabilidade ($\sigma_{di}^2=0$).

Os teores médios de Potássio nos genótipos (Tabela 4.11) variaram de $11,22\text{g.kg}^{-1}$ a $14,778\text{g.kg}^{-1}$. As cultivares IPR Saracura e FT Bonito apresentaram elevado teor de potássio, ampla adaptabilidade ($\beta_{1i}=1$) e alta estabilidade ($\sigma_{di}^2=0$).

O teor médio de Cálcio nos grãos de feijão carioca (Tabela 4.12) variou de $1,066\text{g.kg}^{-1}$ a $1,345\text{g.kg}^{-1}$. Os estudos de adaptabilidade e estabilidade fenotípica revelaram que 77,77% dos genótipos apresentaram ampla adaptabilidade para este nutriente, coeficiente de regressão igual a um ($\beta_{1i}=1$) e 88,8% dos

genótipos apresentaram alta previsibilidade, desvio de regressão igual a zero ($\sigma^2_{di}=0$). A cultivar BRS Requite apresentou maior teor de Cálcio, ampla adaptabilidade e estabilidade para o caráter.

O teor médio de Magnésio nos grãos de feijão carioca (Tabela 4.12) variou de $1,437\text{g.kg}^{-1}$ a $1,619\text{g.kg}^{-1}$. As cultivares BRS Requite, FT Magnífico, FT Bonito, IAPAR 31 e a linhagem LP 20-108 estão inseridas no grupo com maior teor. Verificou-se que 61% dos genótipos apresentaram coeficiente de regressão igual a um ($\beta_{1i}=1$) com ampla adaptabilidade e 72% dos genótipos apresentaram desvio de regressão igual à zero ($\sigma^2_{di}=0$) com alta previsibilidade de comportamento.

O teor de Cobre nos grãos de feijão carioca avaliados em 18 genótipos apresentaram variação de $5,525\text{mg.kg}^{-1}$ a $8,99\text{mg.kg}^{-1}$. As estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade revelaram que 77,7% dos genótipos avaliados apresentaram coeficiente de regressão igual a um ($\beta_{1i}=1$), com ampla adaptabilidade e 55% apresentaram desvio de regressão igual a zero ($\sigma^2_{di}=0$) com alta previsibilidade de comportamento. As cultivares IAPAR 81 e BRS Requite destacaram-se por apresentar alto teor de cobre, ampla adaptabilidade ($\beta_{1i}=1$) e alta estabilidade ($\sigma^2_{di}=0$), podendo ser utilizado como fonte para esta característica (Tabela 4.13).

Nos teores de Zinco observou-se uma variação de $25,4\text{ mg.kg}^{-1}$ a $31,0\text{ mg.kg}^{-1}$. As cultivares IAPAR 81, IPR Juriti, IPR Saracura, LP 99-63, Rubi, FT Magnífico, FT Bonito e IAC Tibatã apresentaram maior teor de zinco, ampla adaptabilidade ($\beta_{1i}=1$) e alta estabilidade ($\sigma^2_{di}=0$) para este caráter. Para teor de zinco nas sementes, 83% dos genótipos estudados apresentaram desvio de regressão igual à zero ($\sigma^2_{di}=0$), com alta previsibilidade de comportamento. Para o grupo carioca também foi detectado a presença de variabilidade genética entre cultivares adaptadas as condições edafoclimáticas brasileiras facilitando o desenvolvimento de cultivares biofortificadas para este nutriente.

O teor médio de Boro encontrados nos grãos de cultivares e linhagens de feijão (Tabela 4.14) variou de $38,99\text{mg.kg}^{-1}$ a $50,16\text{mg.kg}^{-1}$. As cultivares BRS Requite, Carioca, FT Bonito, IAC Tibatã, IAC Etê, IAPAR 81, IPR Juriti, LP 01-38 e IPR Siriri destacaram-se por apresentar maiores teores de boro, ampla adaptabilidade ($\beta_{1i}=1$) e alta estabilidade ($\sigma^2_{di}=0$). A maioria dos genótipos avaliados (94%) apresentou alta previsibilidade de comportamento para esta característica com desvio de regressão igual a zero ($\sigma^2_{di}=0$).

Os teores médios de Manganês encontrados nos genótipos de feijão carioca (Tabela 4.14) variaram de $12,05\text{mg.kg}^{-1}$ a $15,21\text{mg.kg}^{-1}$. O teste de Scott e Knott agrupou os genótipos em duas classes, sendo que as cultivares e linhagens BRS Requite, FT Magnífico, IAC Tibatã, LP20-108, Pérola e Rubi estão inseridas no grupo com maior teor médio de manganês. As estimativas para adaptabilidade e estabilidade fenotípica para o teor de manganês em grãos de genótipos de feijão carioca foram de 77% para ampla adaptabilidade ($\beta_{1i}=1$) e 88% para alta estabilidade ($\sigma^2_{di}=0$).

Para o teor médio de Ferro em feijão carioca foi observada variação de $57,4\text{mg.kg}^{-1}$ a $69,04\text{mg.kg}^{-1}$ (Tabela 4.15). O teste de Scott e Knott não discriminou os genótipos em classes distintas. As estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade fenotípica, permitiu selecionar as cultivares e linhagens BRS Requite, Carioca, FT Bonito, IAC Tibatã, IAPAR 31, IAPAR 80, IAPAR 81, IPR Juriti, IPR Saracura, LP01-38, LP20-108, LP99-63 e IPR Siriri por apresentarem ampla adaptabilidade ($\beta_{1i}=1$) e alta estabilidade ($\sigma^2_{di}=0$). Como observado anteriormente no grupo preto à maioria dos os materiais do grupo carioca que se destacou para teor de Zinco, igualmente se destacou para teor de Ferro. Essas cultivares e linhagens poderão ser utilizadas concomitantemente para a melhoria do teor de ferro e zinco nos grãos.

O teor médio de Enxofre nos grãos de feijão carioca variou de $1,863\text{g.kg}^{-1}$ a $2,14\text{g.kg}^{-1}$ (Tabela 4.15). As cultivares BRS Requite, FT Bonito, IAPAR 80, IAPAR 81, IPR Saracura, Pérola e Rubi estão inseridas no grupo que apresentou maiores teores, sendo que IAPAR 81 e Rubi, destacaram-se dentro deste grupo por apresentarem ampla adaptabilidade ($\beta_{1i}=1$) e alta estabilidade ($\sigma^2_{di}=0$).

Tabela 4.10 Análise de variância conjunta dos teores de minerais nos grãos em genótipos de feijão carioca avaliados nos ensaios de Mauá de Serra, Pato Branco e Wenceslau Brás no estado do Paraná, safra da seca 2006.

FV	GL	P (g.kg ⁻¹)	K (g.kg ⁻¹)	Ca (g.kg ⁻¹)	Mg (g.kg ⁻¹)	Cu (mg.kg ⁻¹)
		QM	QM	QM	QM	QM
Bloco/Ambiente	6	0,04023	1,05556	0,00911	0,00228	0,208
Genótipo	17	0,98654**	8,30356**	0,20388**	0,02464**	7,29547**
Ambiente	2	23,31616**	34,0803**	0,09252*	0,09215**	9,83548**
Genótipo x Ambiente	34	0,43407**	6,19789**	0,01925**	0,01171**	1,05029**
Resíduo	102	0,06634	0,88562	0,00794	0,00393	0,18559
Média		4,74	12,60	1,25	1,51	7,90
CV (%)		5,43	7,47	7,12	4,16	5,46

**/* significativo a 1 e 5%, respectivamente. Teste F.

FV	GL	Zn (mg.kg ⁻¹)	B (mg.kg ⁻¹)	Mn (mg.kg ⁻¹)	Fe (mg.kg ⁻¹)	S (g.kg ⁻¹)
		QM	QM	QM	QM	QM
Bloco/Ambiente	6	6,6037	9,1868	1,3437	47,7269	0,0031
Genótipo	17	21,7423**	78,3028**	5,1236**	74,4355**	0,0551**
Ambiente	2	50,6957*	96,8172*	27,3941**	28,039821**	0,3691**
Genótipo x Ambiente	34	11,1674**	25,7122**	1,5945**	35,4986**	0,0243**
Resíduo	102	4,1444	7,1467	0,6674	17,9696	0,0077
Média		28,98	44,133	13,367	64,543	1,980
CV (%)		7,02	6,06	6,11	6,57	4,42

**/* significativo a 1 e 5%, respectivamente. Teste F.

Tabela 4.11 Teor médio de Fósforo (g.kg^{-1}) e Teor médio de Potássio (g.kg^{-1}) e estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de acordo com Eberhart e Russel (1966) em 18 genótipos de feijão carioca. Mauá da Serra, Pato Branco e Wenceslau Braz - safra da seca/2006.

Genótipo	Teor de Fósforo (g.kg^{-1})				Teor de Potássio (g.kg^{-1})			
	Média ^{/1}	β_{1i} ^{/2}	σ_{di}^2 ^{/3}	R^2_i (%)	Média ^{/1}	β_{1i} ^{/2}	σ_{di}^2 ^{/3}	R^2_i (%)
BRS Pontal	3,986 c	0,500 **	0,3676 **	35,65	12,444 b	0,640 *	5,5132 **	47,02
BRS Requite	4,950 a	0,397 **	-0,0219 ns	99,84	12,889 a	1,571 **	4,4883 **	86,66
Carioca	4,455 b	0,834 ns	0,0919 *	84,06	12,889 a	0,583 **	0,8378 ns	79,05
FT Magnífico	4,686 a	0,702 ns	0,0074 ns	93,50	13,889 a	0,928 ns	1,3751 *	86,66
FT Bonito	4,552 b	0,537 **	-0,0203 ns	99,26	13,444 a	0,751 ns	-0,2133 ns	98,86
IAC Etê	4,702 a	0,998 ns	0,0910 *	88,37	12,222 b	1,205 ns	-0,2863 ns	99,95
IAC Tibatã	5,056 a	0,999 ns	-0,0011 ns	97,62	11,556 b	1,219 ns	1,5020 *	91,24
IAPAR 31	4,845 a	1,130 ns	0,0033 ns	97,75	12,222 b	1,074 ns	-0,2946 ns	99,99
IAPAR 80	5,016 a	0,753 ns	0,0032 ns	95,07	11,667 b	1,348 *	-0,2843 ns	99,95
IAPAR 81	4,934 a	1,236 ns	-0,0197 ns	99,82	11,556 b	1,122 ns	-0,0809 ns	98,67
IPR Juriti	5,003 a	1,154 ns	-0,0183 ns	99,67	12,444 b	1,214 ns	2,5611 **	86,66
IPR Saracura	4,917 a	1,831 **	-0,0194 ns	99,91	12,889 a	1,239 ns	0,2131 ns	97,44
LP01-38	4,617 b	1,229 ns	0,0057 ns	97,91	11,889 b	1,336 *	-0,2681 ns	99,88
LP20-108	4,849 a	1,260 ns	0,1841 **	86,93	11,222 b	1,565 **	0,9428 *	96,14
LP99-63	5,169 a	1,907 **	-0,0119 ns	99,68	11,778 b	1,159 ns	1,0758 *	92,51
IPR Siriri	5,047 a	1,714 **	-0,0220 ns	99,99	13,444 a	0,814 ns	1,6615 *	81,00
Pérola	4,439 b	0,235 **	-0,0165 ns	89,43	14,778 a	0,123 **	3,1448 **	5,22
Rubi	4,100 c	0,586 *	0,4631 **	37,93	13,667 a	0,111 ns	4,2156 **	3,34

/1; Valores seguidos da mesma letra pertencem a um mesmo grupo, Teste de Scott e Knott a 5%

/2; **,*, significativamente diferente de um, pelo teste t, a 1 e 5% de probabilidade respectivamente

/3; **,*, significativamente diferente de zero, pelo teste F, a 1 e 5% de probabilidade e ns não significativamente diferente de zero pelo teste F, ao nível de 1% de probabilidade,

Tabela 4.12 Teor médio de teor de Cálcio (g.kg^{-1}) e Teor de Magnésio (g.kg^{-1}) e estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de acordo com Eberhart e Russel (1966) em 18 genótipos de feijão carioca. Mauá da Serra, Pato Branco e Wenceslau Braz - safra da seca/2006.

Genótipo	Teor de Cálcio (g/kg)				Teor de Magnésio (g/kg)			
	Média ^{/1}	β_{1i} ^{/2}	σ_{di}^2 ^{/3}	R^2_i (%)	Média ^{/1}	β_{1i} ^{/2}	σ_{di}^2 ^{/3}	R^2_i (%)
BRS Pontal	1,345 b	0,815 ns	0,0180 **	9,94	1,507 b	2,266 *	0,0013 ns	87,14
BRS Requite	1,710 a	0,469 ns	0,0050 ns	8,97	1,563 a	2,014 ns	0,0046 *	70,03
Carioca	1,319 b	2,013 ns	0,0057 ns	62,54	1,473 b	1,777 ns	0,0028 ns	72,57
FT Magnífico	1,232 b	1,056 ns	0,0001 ns	58,14	1,575 a	1,085 ns	0,0008 ns	65,40
FT Bonito	1,079 c	0,023 ns	-0,0024 ns	90,64	1,590 a	2,480 *	-0,0013 ns	99,82
IAC Eté	1,245 b	0,454 ns	-0,0010 ns	29,87	1,437 b	2,113 ns	0,0019 ns	82,45
IAC Tibatã	1,219 b	2,889 *	-0,0007 ns	93,66	1,516 b	-1,970 **	0,0012 ns	83,93
IAPAR 31	1,381 b	1,532 ns	0,0021 ns	62,87	1,534 a	2,099 ns	-0,0013 ns	99,14
IAPAR 80	1,082 c	1,717 ns	-0,0026 ns	99,14	1,463 b	1,996 ns	0,0009 ns	85,77
IAPAR 81	1,107 c	2,269 ns	-0,0025 ns	99,21	1,463 b	0,212 ns	-0,0011 ns	39,50
IPR Juriti	1,066 c	1,925 ns	-0,0021 ns	96,19	1,525 b	1,174 ns	0,0009 ns	68,09
IPR Saracura	1,302 b	-1,953 **	0,0622 **	16,78	1,481 b	1,178 ns	-0,0011 ns	96,36
LP01-38	1,254 b	1,830 ns	0,0009 ns	76,53	1,452 b	1,052 ns	-0,0012 ns	95,96
LP20-108	1,224 b	2,797 *	0,0018 ns	85,84	1,619 a	-0,585 *	-0,0010 ns	77,93
LP99-63	1,178 c	-0,850 *	-0,0026 ns	100,0	1,442 b	0,863 ns	-0,0002 ns	68,77
IPR Siriri	1,331 b	0,428 ns	-0,0005 ns	22,77	1,507 b	1,230 ns	-0,0012 ns	97,52
Pérola	1,302 b	0,245 ns	-0,0027 ns	16,52	1,507 b	-1,422 **	0,0106 **	36,74
Rubi	1,141 c	0,343 ns	0,0000 ns	13,21	1,489 b	0,440 ns	-0,0004 ns	41,09

/1; Valores seguidos da mesma letra pertencem a um mesmo grupo, Teste de Scott e Knott a 5%

/2; **, *; significativamente diferente de um, pelo teste t, a 1 e 5% de probabilidade respectivamente

/3; **, *; significativamente diferente de zero, pelo teste F, a 1 e 5% de probabilidade e ns não significativamente diferente de zero pelo teste F, ao nível de 1% de probabilidade,

Tabela 4.13 Teor médio de Teor de Cobre (mg.kg^{-1}) e Teor de Zinco (mg.kg^{-1}) e estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de acordo com Eberhart e Russel (1966) em 18 genótipos de feijão carioca. Mauá da Serra, Pato Branco e Wenceslau Braz - safra da seca/2006.

Genótipo	Teor de Cobre (mg.kg^{-1})				Teor de Zinco (mg.kg^{-1})			
	Média ^{/1}	β_{1i} ^{/2}	σ_{di}^2 ^{/3}	R^2_i (%)	Média ^{/1}	β_{1i} ^{/2}	σ_{di}^2 ^{/3}	R^2_i (%)
BRS Pontal	7,206 c	-0,423 **	2,8882 **	2,16	25,44 b	-2,965 **	1,4055 ns	85,55
BRS Requite	8,991 a	1,333 ns	-0,0079 ns	92,31	30,39 a	2,706 *	-0,1283 ns	91,65
Carioca	7,233 c	1,525 ns	0,2363 *	73,97	27,29 b	0,471 ns	-1,3814 ns	99,98
FT Magnífico	8,493 a	1,550 ns	0,1969 *	77,18	28,79 a	1,382 ns	0,2890 ns	68,23
FT Bonito	7,908 b	2,041 *	0,0461 ns	93,36	28,61 a	1,784 ns	0,9911 ns	71,57
IAC Eté	8,180 b	0,932 ns	0,7448 **	28,15	29,90 a	3,582 **	3,6679 ns	82,68
IAC Tibatã	7,983 b	2,073 *	-0,0349 ns	98,30	30,97 a	0,476 ns	-1,3750 ns	98,50
IAPAR 31	5,525 d	1,647 ns	0,9902 **	48,44	26,53 b	2,477 ns	-0,4575 ns	92,58
IAPAR 80	8,312 b	0,976 ns	-0,0572 ns	98,67	28,65 a	1,270 ns	5,8479 *	29,53
IAPAR 81	8,649 a	1,516 ns	-0,0034 ns	93,48	31,03 a	1,086 ns	-0,0697 ns	62,79
IPR Juriti	8,163 b	0,676 ns	-0,0618 ns	99,98	30,11 a	1,609 ns	-1,3652 ns	99,67
IPR Saracura	6,134 d	1,284 ns	-0,0277 ns	94,62	29,80 a	2,187 ns	-0,1703 ns	88,11
LP01-38	8,301 b	-0,819 **	0,6526 **	25,46	27,00 b	1,353 ns	0,1098 ns	69,75
LP20-108	8,894 a	0,224 ns	1,3089 **	1,32	29,82 a	-2,601 **	-0,3143 ns	92,25
LP99-63	8,056 b	0,718 ns	-0,0173 ns	80,82	29,54 a	0,059 ns	0,3331 ns	70,38
IPR Siriri	7,527 b	0,718 ns	-0,0586 ns	98,29	28,57 a	0,648 ns	8,8703 **	7,13
Pérola	8,468 a	0,846 ns	0,2741 *	43,68	29,13 a	1,673 ns	0,5419 ns	73,20
Rubi	8,089 b	1,182 ns	0,0955 ns	76,40	30,12 a	0,803 ns	-0,0449 ns	47,56

/1; Valores seguidos da mesma letra pertencem a um mesmo grupo, Teste de Scott e Knott a 5%

/2; **, *; significativamente diferente de um, pelo teste t, a 1 e 5% de probabilidade respectivamente

/3; **, *; significativamente diferente de zero, pelo teste F, a 1 e 5% de probabilidade e ns não significativamente diferente de zero pelo teste F, ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 4.14 Teor médio de Teor de Boro (mg.kg^{-1}) e teor de Manganês (mg.kg^{-1}) e estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de acordo com Eberhart e Russel (1966) em 18 genótipos de feijão carioca. Mauá da Serra, Pato Branco e Wenceslau Braz - safra da seca/2006.

Genótipo	Teor de Boro (mg.kg^{-1})				Teor de Manganês (mg.kg^{-1})			
	Média ^{/1}	β_{1i} ^{/2}	σ_{di}^2 ^{/3}	R^2_i (%)	Média ^{/1}	β_{1i} ^{/2}	σ_{di}^2 ^{/3}	R^2_i (%)
BRS Pontal	45,16 a	-2,105 **	0,6617 ns	83,92	14,44 a	-0,904 **	-0,2223 ns	99,97
BRS Requite	47,93 a	-0,130 ns	-1,8954 ns	11,01	15,21 a	2,149 *	0,2155 ns	91,45
Carioca	44,16 a	1,011 ns	-2,3698 ns	99,66	12,72 b	0,642 ns	0,0787 ns	58,12
FT Magnífico	45,45 a	3,414 **	-1,0138 ns	96,83	14,23 a	1,182 ns	-0,1669 ns	96,23
FT Bonito	50,16 a	1,673 ns	6,1029 ns	54,18	13,32 b	1,373 ns	-0,0292 ns	90,82
IAC Eté	45,69 a	1,410 ns	-0,1228 ns	75,94	13,28 b	1,523 ns	0,0519 ns	89,56
IAC Tibatã	43,58 a	2,030 ns	6,2349 ns	63,17	13,62 a	1,707 ns	0,5875 ns	78,49
IAPAR 31	44,32 a	2,926 *	-0,4452 ns	94,06	12,96 b	1,850 ns	-0,2162 ns	99,82
IAPAR 80	46,75 a	-1,513 **	1,7659 ns	66,42	12,80 b	1,843 ns	-0,0752 ns	95,90
IAPAR 81	43,35 a	-0,025 ns	5,4400 ns	60,03	12,93 b	-0,566 **	-0,2209 ns	99,53
IPR Juriti	43,34 a	0,417 ns	1,9086 ns	12,67	12,91 b	-0,095 *	0,0426 ns	3,31
IPR Saracura	45,10 a	4,132 **	6,6335 ns	87,17	12,91 b	1,427 ns	-0,0888 ns	93,92
LP01-38	45,71 a	-0,275 ns	-1,5158 ns	23,77	12,05 b	0,902 ns	-0,0201 ns	80,31
LP20-108	39,50 b	1,368 ns	-2,1946 ns	97,28	13,85 a	0,742 ns	0,6860 *	38,05
LP99-63	41,42 b	-1,500 **	7,2446 **	13,98	12,67 b	1,115 ns	-0,0161 ns	85,94
IPR Siriri	44,60 a	1,272 ns	5,0225 ns	43,92	13,18 b	0,543 ns	-0,2016 ns	93,48
Pérola	38,99 b	2,470 ns	-2,3284 ns	99,75	13,88 a	1,405 ns	0,1372 ns	84,77
Rubi	39,18 b	1,424 ns	-0,1667 ns	76,65	13,66 a	1,164 ns	1,5846 **	43,19

/1; Valores seguidos da mesma letra pertencem a um mesmo grupo, Teste de Scott e Knott a 5%

/2; **, *; significativamente diferente de um, pelo teste t, a 1 e 5% de probabilidade respectivamente

/3; **, *; significativamente diferente de zero, pelo teste F, a 1 e 5% de probabilidade e ns não significativamente diferente de zero pelo teste F, ao nível de 1% de probabilidade,

Tabela 4.15 Teor médio de Teor de Ferro (mg.kg^{-1}) e teor de Enxofre (g.kg^{-1}) e estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de acordo com Eberhart e Russel (1966) em 18 genótipos de feijão carioca. Mauá da Serra, Pato Branco e Wenceslau Braz - safra da seca/2006.

Genótipo	Teor de Ferro (mg.kg^{-1})				Teor de Enxofre (g.kg^{-1})			
	Média ^{/1}	β_{1i} ^{/2}	σ_{di}^2 ^{/3}	R^2_i (%)	Média ^{/1}	β_{1i} ^{/2}	σ_{di}^2 ^{/3}	R^2_i (%)
BRS Pontal	66,58 a	0,360 **	11,5014 ns	43,44	1,863 b	-0,132 **	0,0251 **	0,85
BRS Requite	69,04 a	1,045 ns	-1,5942 ns	96,27	2,049 a	2,292 **	-0,0026 ns	100,00
Carioca	61,82 a	0,678 ns	-2,3853 ns	92,99	1,897 b	0,957 ns	0,0018 ns	74,03
FT Magnífico	66,32 a	1,315 ns	37,0012 **	80,69	1,952 b	1,528 ns	0,0015 ns	88,74
FT Bonito	63,63 a	1,133 ns	-4,0876 ns	98,59	2,018 a	1,921 *	-0,0023 ns	99,55
IAC Eté	62,10 a	1,483 *	-5,7785 ns	99,91	1,927 b	1,765 ns	0,0004 ns	93,47
IAC Tibatã	66,14 a	1,236 ns	-1,3077 ns	97,13	1,969 b	1,282 ns	-0,0023 ns	99,02
IAPAR 31	60,34 a	1,280 ns	-5,6148 ns	99,78	1,970 b	1,479 ns	0,0030 ns	84,32
IAPAR 80	65,96 a	1,189 ns	-0,4012 ns	96,33	2,032 a	1,613 ns	0,0104 *	73,33
IAPAR 81	66,31 a	1,164 ns	-5,9899 ns	98,00	2,094 a	1,471 ns	-0,0003 ns	92,92
IPR Juriti	65,07 a	0,905 ns	1,3342 ns	92,07	1,984 b	0,899 ns	-0,0026 ns	99,52
IPR Saracura	57,40 a	0,971 ns	9,4464 ns	86,37	2,033 a	0,518 ns	0,0509 **	6,42
LP01-38	65,98 a	0,623 ns	-0,3581 ns	87,75	1,960 b	0,694 ns	-0,0013 ns	83,58
LP20-108	65,80 a	0,902 ns	-5,1725 ns	99,04	1,891 b	0,346 ns	0,0085 *	12,87
LP99-63	64,42 a	1,174 ns	8,9366 ns	90,55	1,896 b	-0,303 **	-0,0012 ns	47,73
IPR Siriri	61,68 a	1,291 ns	-5,3584 ns	99,64	1,898 b	-0,065 *	0,0005 ns	1,83
Pérola	65,59 a	0,487 *	30,9638 *	39,98	2,066 a	0,122 *	0,0002 ns	6,88
Rubi	67,60 a	0,765 ns	61,3096 **	47,45	2,140 a	1,613 ns	-0,0017 ns	97,61

/1; Valores seguidos da mesma letra pertencem a um mesmo grupo, Teste de Scott e Knott a 5%

/2; **, *; significativamente diferente de um, pelo teste t, a 1 e 5% de probabilidade respectivamente

/3; **, *; significativamente diferente de zero, pelo teste F, a 1 e 5% de probabilidade e ns não significativamente diferente de zero pelo teste F, ao nível de 1% de probabilidade,

4.6 Conclusões

As cultivares e linhagens avaliadas no presente estudo apresentaram variabilidade genética para os teores de minerais e proteína.

As características nutricionais (teor de proteína e minerais) dos grãos são influenciadas pelo ambiente e pela interação genótipo por ambiente. As cultivares e linhagens de feijão avaliadas apresentaram comportamento diferenciado frente aos diferentes locais de cultivo.

Os resultados obtidos possibilitaram a seleção das cultivares do grupo carioca BRS Pontal, FT Magnífico, IAC Tibatã, IAPAR 81, IPR Juriti e Pérola e as cultivares do grupo preto FT120, FT Soberano, Xamego, e da linhagem LP 99-96 por apresentarem altos teores de proteína, alta estabilidade e ampla adaptação.

As cultivares de feijão do grupo preto IAPAR 44, BRS Valente e FT Nobre, apresentaram os maiores teores de fósforo, potássio e enxofre e alta previsibilidade de comportamento. No grupo carioca os genótipos IAPAR 80 e IAPAR 81 apresentaram os maiores teores de fósforo e enxofre.

Os minerais ferro e zinco são os mais deficientes na dieta humana, e os maiores teores destes elementos foram observados nas cultivares do grupo preto FT 120 e FT Nobre e nas cultivares do grupo carioca IAPAR 81, IPR Juriti, IPR Saracura, FT Bonito, IAC Tibatã e da linhagem LP 99-63. Esses genótipos apresentam altos teores quando cultivados em ambientes de alta e baixa tecnologia e previsibilidade de comportamento. Os mesmos poderão ser utilizados como progenitores em programas de melhoramento visando a biofortificação de grãos de feijão.

4.7 Referências

- ANDRADE, C. A. B.; PATRONI, S. M. S.; CLEMENTE, E.; SCAPIM, C. A. Produtividade e qualidade nutricional de cultivares de feijão em diferentes adubações. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 5, p. 1077-1086, set./out., 2004.
- AOAC **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 13. ed. Washington: Association Official Analytical Chemists.1980
- ARAUJO, R.; MIGLIORANZA, E.; MONTALVAN, R.; DESTRO, D.; VIDIGAL, M. C. G.; MODA-CIRINO, V. Genotype X environment interactions effects on the iron content of common bean grains. **Crop Breeding Applied Biotechnology**, Londrina, v. 3, n. 4, p. 269-274, 2003.
- AOAC. **Official Methods of analysis AOAC** 14 ed., Virgínia, 1984, p.152-155.
- BEEBE, S.; GONZALEZ, A. V.; RENGIFO, J. Research on trace minerals in common bean. A workshop hosted by Intenational Rice Research Institute, Los Banos, The Philippines, and organized by the International Food Policy Research Institute, p. 5–7 Oct. 1999. Disponível em: <<http://www.ifpri.org/themes/grp06/papers/beebe.pdf>>. Acesso em: 10 dec. 2007.
- BOREM, A.; CARNEIRO, J. E. S. A cultura. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1998. p. 13-17.
- BURATTO, J. S. **Estudo da interação genótipo por ambiente no rendimento e qualidade nutricional de grãos de feijão precoce**. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2005.
- CIAT **Sistema Estándar para la Evaluación de Germoplasma de Frijol**. Cali: CIAT, 1987, 53p.
- CRUZ, C. D. REGAZZI A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Editora UFV, Viçosa, 1994, 394p.
- CRUZ, C. D. **Programa Genes – Aplicativo computacional em genética e estatística**. UFV, Viçosa, 1997, 442p.
- DALLA CORTE, A.; MODA-CIRINO, V.; SCHOLZ, M.B.S.; DESTRO, D. Environment effect on grain quality in early common bean cultivars and lines. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 3, n. 3,p. 193-202, sep., 2003.
- EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, v. 6, n. 1, p. 36-40, jan./fev. 1966.
- EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia4/AG01/Abertura.html>>. Acesso em: 29 de out. de 2007.

- GUZMÁN-MALDONADO, S. H.; PAREDE-LOPEZ, O. Functional products of plants indigenous to Latin America: Amaranth, Quinoa, Common Beans and Botanicals. In: **Functional Foods - Biochemical e Processing Aspects**, New York: Chapman and Hall, 1998, p. 293-328.
- GREGORIO, G. B. Progress in breeding for trace minerals in staple crops. **Journal of Nutrition**, v. 132, p. 500S-502S, 2002.
- GRUSAK, M. A. Genomics-assisted plant improvement to benefit human nutrition and health. **Trends in Plant Science**, v. 4, n. 5, p. 164-166, may, 1999.
- GHANDILYAN, A; VREUGDENHIL, D.; AARTS, M. G. M. Progress in the genetic understanding of plant iron and zinc nutrition. **Physiologia Plantarum**, v. 126, n. 3, p. 407-417, mar., 2006.
- LAJOLO, F. M.; GENOVESE, M. I.; MENEZES, E. W. Qualidade nutricional. In: ARAUJO, R. S. et al. (Coord.). **Cultura do feijoeiro no Brasil**. Piracicaba: Potafos, 1996. p. 71-99.
- LEMONS, L. B.; OLIVEIRA, R. S.; PALOMINO, E. C.; SILVA, T. R. B. Características agronômicas e tecnológicas de genótipos de feijão do grupo comercial Carioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.4, p.319-326, abr. 2004.
- LONDERO, P. M. G.; RIBEIRO, N. D.; RODRIGUES, J. A.; POERSCH, N. L.; TRENTIN, M. Genetic variability for dietary fiber content in common bean populations. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 5, p. 86-90, 2005.
- MALDONADO, S. H. G.; GALLEGOS, J. A. A.; ALVAREZ-MUÑOZ, M. A.; GARCIA-DELGADOS, S.; LOARCA-PIÑA, G. Calidad alimentaria y potencial nutracéutico del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). **Agricultura Técnica en Mexico**, v. 28, n. 2, p. 159-173. jul.-dic., 2002.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MURAOKA, T.; CARMO, C. A. F. S.; Mello, W. J. Análises químicas de tecido vegetal. In: SILVA, F. C. (Org). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Editora: Embrapa Solos/Embrapa Informática Agropecuária/Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, Brasília, 1999. p. 171-223.
- OSBORN, T. C.; ALEXANDER, D. C.; SUN, S. S. M.; CARDONA, C.; BLISS F. A. Insecticidal Activity and Lectin Homology of Arcelin Seed Protein. **Science**, v. 240, n. 4849, p. 207-210 1988
- POTTER, N. N.; HOTCHKISS J. H. **Ciencia de los Alimentos**. Zaragoza: Acribia, 1999. p. 53-75.
- RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **A experimentação em genética e melhoramento de plantas**. Lavras: UFLA , 2000, 326 p.
- SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analyses of variance. **Biometrics**, Raligh, v. 30, n. 3, p. 507-512, 1974.
- SILVA, T. R. B.; LEMOS, L. B.; TAVARES, C. A. Produtividade e característica tecnológica de grãos em feijoeiro adubado com nitrogênio e molibdênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 5, p. 739-745, 2006.

WELCH, R. M.; GRAHAM, R. D. Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, n. 396, p. 353-364, 2004.

WHO, **World Health Organization**. Disponível em: <<http://www.who.int/nutrition/topics/ida/en/index.html>>, Acesso em: 11 out. 2007.

VENCOVSKY, R. Genética Quantitativa. In: Kerir W. E. (Org.) **Melhoramento e Genética**. São Paulo: Melhoramentos, São Paulo, 1969. p. 17-37.

5 CONCLUSÕES GERAIS

Para as características tecnológicas: tempo de cozimento (TC), capacidade de retenção de água antes (CRAac) e após (CRApc) o cozimento e na característica porcentagem de grãos inteiros (PGI). Esses resultados possibilitaram a seleção das cultivares IAPAR 44 e Diamante Negro por apresentarem maior capacidade de retenção de água após o cozimento (CRApc) e maior porcentagem de grãos inteiros (PGI) e menor tempo de cocção (TC) quando comparados com outros genótipos avaliados.

Neste estudo verificou-se a associação entre os seguintes caracteres: tempo de cozimento (TC) com sólidos totais (ST), densidade dos grãos (DS) com expansão volumétrica dos grãos macerados (EXPVac) e cozidos (EXPVpc). O conhecimento da associação presente nas características tecnológicas possibilita efetuar a seleção para duas características simultaneamente. A aplicação da análise multivariada possibilitou efetuar-se uma avaliação mais abrangente dos materiais, considerando outros atributos ou características na avaliação.

As características nutricionais foram avaliadas em grãos de cultivares e linhagens de feijão pertencentes ao grupo comercial preto e carioca cultivados em três locais do estado do Paraná na safra da seca 2006. Entre as cultivares e linhagens estudadas foi observado variabilidade genética para as características teor de proteína e teor dos minerais: fósforo, cálcio, magnésio, cobre, zinco, boro, manganês, ferro, enxofre e potássio.

O efeito ambiental observado foi significativo atuando nos teores de proteína e minerais dos grãos de feijão, indicando que estas características nutricionais também são influenciadas pelo local de cultivo.

As características nutricionais (teor de proteína e minerais) dos grãos foram influenciadas pela interação genótipo por ambiente, onde as cultivares e as linhagens de feijão avaliadas apresentam comportamento diferenciado frente aos diferentes locais de cultivo.

REFERÊNCIAS

- ALLARD, R. W.; BRADSHAW, A. D. Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding. **Crop Science**, Madison, v. 4, n. 5, p. 503-507, 1964.
- AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official analysis. 13th ed., 1980.
- ANDRADE, C. A. B.; PATRONI, S. M. S.; CLEMENTE, E.; SCAPIM, C. A. Produtividade e qualidade nutricional de cultivares de feijão em diferentes adubações. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 5, p. 1077-1086, set./out., 2004.
- BASSINELLO, P. Z.; COBUCCI, R. M. A.; ULHÔA, V. G.; MELO, L. C.; PELOSO, M. J. Aceitabilidade de três cultivares de feijoeiro comum. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. (Embrapa Arroz e Feijão. Comunicado Técnico 66).
- BASSINELO, P. Z. **Grãos**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia4/AG01/arvore/AG01_2_28102004161635.html> Acesso em: 10 dez. 2007.
- BEEBE, S.; GONZALEZ, A. V.; RENGIFO, J. Research on trace minerals in common bean. A workshop hosted by Intenational Rice Research Institute, Los Banos, The Philippines, and organized by the International Food Policy Research Institute, p. 5–7 Oct. 1999. Disponível em: <<http://www.ifpri.org/themes/grp06/papers/beebe.pdf>>. Acesso em: 10 dec. 2007.
- BELITZ, H. D.; GROSCH, W. **Química de los Alimentos**. 3 ed. Zaragoza: Acribia, 1997. 1087 p.
- BOREM, A.; CARNEIRO, J. E. S. A cultura. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1998. p. 13-17.
- BRIGIDE, P. **Disponibilidade de ferro em grãos de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) irradiados**. 2002. 58 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002.

BURGOS, G.; AMOROS, W.; MOROTE, M.; STANGOULIS, J.; BONIERBALE, M. Iron and zinc concentration of native Andean potato cultivars from a human nutrition perspective. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 87, n. 4, p. 668-675, mar., 2007.

CARBONELL, S. A. M.; CARVALHO, C. R. L.; PEREIRA, V. R. Qualidade tecnológica de grãos de genótipos de feijoeiro cultivados em diferentes ambientes. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 3, p. 369-379, 2003.

CARNEIRO, J. C. S.; MINIM, V. P. R.; SOUZA JR, M. M.; CARNEIRO, J. E. S.; ARAÚJO, G. A. A. Perfil sensorial e aceitabilidade de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 1, p.18-24, jan./mar., 2005.

COELHO, C. M. M.; BELLATO, C. M.; SANTOS, J. C. P.; ORTEGA, E. M. M.; TSAI, S. M. Effect of phytate and storage conditions on the development of the 'hard-to-cook' phenomenon in common beans. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 87, n. 7, p. 1237-1243, 2007.

CONAB, **Companhia Nacional de Abastecimento**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/8levsafra.pdf>>. Acesso em: 5 jun. 2007.

COSTA, G. R.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Variabilidade para absorção de água nos grãos de feijão do germoplasma da ufla. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 4, p. 1017-1021, jul./ago., 2001.

DALLA CORTE, A.; MODA-CIRINO V.; DESTRO D. Adaptability and phenotypic stability in early common bean cultivars and lines. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 2, n. 4, p. 525-534, dec., 2002.

DALLA CORTE, A.; MODA-CIRINO, V.; SCHOLZ, M.B.S.; DESTRO, D. Environment effect on grain quality in early common bean cultivars and lines. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 3, n. 3, p. 193-202, sep., 2003.

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

ESTEVEZ, A. M.; ABREU, C. M. P.; SANTOS, C. D.; CORRÊA, A. D. Comparação química e enzimática de seis linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 5, p.999-1005, set./out., 2002.

FERREIRA, F. A. G. **Nutrição humana**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1983. 1291 p.

GARCIA-VELA, L. A.; STANLEY, D. W. Water-holding capacity in hard-cook bean (*P. vulgaris*): effect of pH and ionic strength. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 54, n. 4, p. 1080-1081, 1989.

GIUNTINI, E. B.; LAJOLO, F. M.; MENEZES, E. W. Potencial de fibra alimentar em países ibero-americanos: alimentos, produtos e resíduos. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, v. 53, n. 1, p. 1-7, 2003.

GOMES JR, F. G. G.; LIMA, E. R.; LEAL, A, J. F.; MATOS, F. A.; SÁ, M. E.; HAGA, K.I. Teor de proteína em grãos de feijão em diferentes épocas e doses de cobertura nitrogenada. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 3, p. 455-459, July/sep., 2005.

GUZMÁN-MALDONADO, S. H.; PAREDE-LÓPEZ, O. Functional products of plants indigenous to Latin America: amaranth, quinoa, common beans and botanicals. In: MAZZA, G. (ed.) **Functional Foods - Biochemical e Processing Aspects**. New York: Chapman and Hall, 1998, p. 293-328.

GREGORIO, G. B. Progress in breeding for trace minerals in staple crops. **Journal of Nutrition**, v. 132, p. 500S-502S, 2002.

HARVEST PLUS. Disponível em: <<http://www.harvestplus.org/iron.html>>. Acesso em: 11 out. 2007.

LAJOLO, F. M.; GENOVESE, M. I.; MENEZES, E. W. Qualidade Nutricional. In: ARAUJO, R. S. et al (coord.) **Cultura do feijoeiro comum do Brasil**. Piracicaba:Potafos, 1996. p. 23-56.

LEMOS, L. B.; OLIVEIRA, R. S.; PALOMINO, E. C.; SILVA, T. R. B. Características agrônômicas e tecnológicas de genótipos de feijão do grupo comercial carioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 4, p. 319-326, 2004.

LONDERO, P. M. G.; RIBEIRO, N. D.; CARGNELUTTI FILHO, A.; RODRIGUES, J. A.; POERSCH, N. L.; TRENTIN, M. Genetic variability for dietary fiber content in common bean populations. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 5, n. 1, p. 86-90, mar., 2005.

LONDERO, P. M. G.; RIBEIRO, N. D.; CARGNELUTTI FILHO, A.; RODRIGUES, J. A.; ANTUNES, I. F. Herdabilidade dos teores de fibra alimentar e rendimento de grãos em populações de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 1, p. 51-58, jan., 2006.

LUCCA, P.; HURRELL, R.; POTRYKUS, I. Approaches to improving the bioavailability and level of iron in rice seeds. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 81, n. 9, p. 828-834, jul., 2001.

MALDONADO, S. H. G.; GALLEGOS, J. A. A.; ALVAREZ-MUÑOZ, M. A.; GARCIA-DELGADOS, S.; LOARCA-PIÑA, G. Calidad alimentaria y potencial nutracéutico del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). **Agricultura Técnica en Mexico**, v. 28, n. 2, p. 159-173. jul.-dic., 2002.

MARTIN-CABREJAS, M.A.; ESTEBAN, R.M.; PEREZ, P.; MAINA, G.; WALDRON, K. W. Changes in Physicochemical properties of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) during long-term storage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 45, n. 8, p. 3223-3227, 1997.

MATTOS, L. L.; MARTINS, I. S. Consumo de fibras alimentares em população adulta. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 34, n. 1, p. 50-55, 2000.

MELLO FILHO, O. L.; SEDIYAMA, C. S.; MOREIRA, M. A.; REIS, M. S. ; ANDRADE, G. A. M.; DIAS, R. R.; PIOVESAN, N. D. Selection of high protein content and high yield soybean families. **Crop Breeding And Applied Biotechnology**, v. 4, n. 2, p. 171-177, 2004.

MIGLIORANZA, E.; BARAK, P.; KMIECIK, K.; NIENHUIS, J. Comparison of soil and genotypic effects on calcium concentration of snap bean pods. **Hort Science**, v. 32, n. 1, p. 68-70, fev., 1997.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Portaria nº 294, de 14 de outubro de 1998. Estabelece os critérios mínimos a serem observados nos ensaios para determinação do Valor de Cultivo e Uso - VCU de cultivares de algodão, arroz, batata, feijão, milho, soja, sorgo e trigo e os respectivos formulários de solicitação de inscrição de cultivares no Registro Nacional de Cultivares – RNC. **Diário Oficial da União**, 16 nov. 1998, Seção 1, p. 62. Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=15013>>. Acesso em: 20 jan. 2008.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Resolução RDC nº 344, de 13 de dezembro de 2002. Aprova o regulamento técnico para a fortificação das farinhas de trigo e das farinhas de milho com ferro e ácido fólico. **Diário Oficial da União**, 18 de dez 2002. Disponível em: <<http://e-segis.bvs.br/leisref/public/showAct.php?id=1679>>. Acesso em: 30 jan. 2008.

MOURA, N. C.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Avaliação da disponibilidade de ferro do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) em comparação com carne bovina. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 2, p. 270-276, abr./jun., 2006.

PAULA, S. R. R. **Efeito materno associado à capacidade de cozimento do feijoeiro**. 2004. 53 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

PIRES, C. V.; OLIVEIRA, M. G. A.; ROSA, J. C.; COSTA, N. M. B. Qualidade nutricional e escore químico de aminoácidos de diferentes fontes protéicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 1, p. 179-187, jan./mar., 2006.

POTTER, N. H.; HOTCHKISS, J. H. **Ciencia de los alimentos**. Zaragoza:Acribia, 1999. 667p.

PLHAK, L. C.; CALDWELL, K. B.; STANLEY, D. W. Comparison of methods used to characterize water imbibition in hard-to-cook beans. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 54, n. 3, p. 326-336, 1989.

PROCTOR J. R.; WATTS, B. M. Development of a modified Mattson bean cooker procedure based on sensory panel cookability evaluation. **Canadian Institute of Food Science and Technology Journal**, Apple Hill, v.20, n.1, p. 9-14, 1987.

QUINTANA, J. M.; HARRISON, H. C.; NIENHUIS, J.; PALTA, J. P.; GRUSAK, M. A. Variation in calcium concentration among sixty S1 families and four cultivars of snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of American Society for Horticultural Science**, v. 121, n. 5, p. 789-793, sep., 1996.

RAUPP, D. S.; SGARBIERI, V. C. Efeito da fibra solúvel de alta viscosidade na ingestão de alimentos, na excreção fecal e no peso corpóreo em ratos. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 40, n. 4, p. 863-874, 1997.

REDDEN, R. J.; DELACY, I. H.; BUTLER, D. G.; USHER, T. Analysis of line x environment interactions for yield in navy beans. 2. Pattern analysis of lines and environment within years. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v. 51, n. 5, p. 607-617, 2000.

REYES-MORENO, C.; PAREDE-LOPEZ, O. Hard-to-Cook Phenomenon in common bean – A review. **Critical Review in Food Science and Nutrition**, v. 33, n. 3, p. 227-286, 1993.

RIBEIRO, N. D.; RODRIGUES, J. A.; CARGNELUTTI FILHO, A.; POERSCH, N. L.; TRENTIN, M.; ROSA, S. S. Efeito de períodos de semeadura e das condições de armazenamento sobre a qualidade de grãos de feijão para o cozimento. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 1, p. 157-163, 2007a.

RIBEIRO, N. D.; MEDIANEIRA, P. M.; CARGNELUTTI FILHO A.; JOST, E.; POERSCH, N. L.; MALLMANN, C. A. Composição de aminoácidos de cultivares de feijão e aplicações para o melhoramento genético. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 10, p. 1393-1399, 2007b.

RODRIGUES, J. A.; RIBEIRO, N. D.; LONDERO, P. M. G.; CARGNELUTTI FILHO, A.; GARCIA, D. C. Correlação entre absorção de água e tempo de cozimento de cultivares de feijão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 1, p. 209-214, jan./fev., 2005.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; SILVA, L. M.; LEMOS, L. B. Aplicação tardia de nitrogênio no feijoeiro em sistema de plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 2, p. 211-218, 2005.

STEEL, C. J.; SCARBIERI, V. C.; JACKIX, M. H. Use of extrusion technology to overcome undesirable properties of hard-to-cook dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 43, n. 9, p. 2487-2492, 1995.

TAIZ L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3ª ed., Porto Alegre: Artmed Editora, 2004. 719 p.

TURANO, W.; DERIVI, S. C. N.; MENDEZ, M. H. M.; VIANNA, L. M.; MENDES, W. L. Estimativa de recomendação diária de fibra alimentar total e se seus componentes na população adulta. **Alimentos & Nutrição**, São Paulo, v. 11, p. 35-49, 2000.

TRUBERG, B.; HÜHN, M. Contributions to the analysis of genotype x environment interactions: comparison of different parametric and non-parametric tests for interactions with emphasis on crossover interactions. **Journal of Agronomy & Crop Science**, Berlin, v. 185, n. 4, p. 267-274, 2000.

VIEIRA, C.; BORÉM, A.; RAMALHO, M. A. P.; CARNEIRO, J. E. S. Melhoramento de feijão. In: BORÉM, A. (org.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: UFV, 2005. p. 301-391.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Revista Brasileira de Genética, 1992. 496 p.

WELCH, R. M.; HOUSE, W. A.; BEEBE, S.; CHENG, Z. Genetic selection for enhanced bioavailable levels of iron in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, n. 8, p. 3576-3580. 2000.

WELCH, R. M.; GRAHAM, R. D. Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, n. 396, p. 353-364, 2004.

WHO, **World Health Organization**. Disponível em:
<<http://www.who.int/nutrition/topics/ida/en/index.html>>, Acesso em: 11 out. 2007.