

**IMPLICAÇÕES DA SELEÇÃO NO
FEIJOEIRO EFETUADA EM AMBIENTES
CONTRASTANTES EM NÍVEIS DE
NITROGÊNIO**

ISABELA VOLPI FURTINI

2008

ISABELA VOLPI FURTINI

**IMPLICAÇÕES DA SELEÇÃO NO FEIJOEIRO EFETUADA EM
AMBIENTES CONTRASTANTES EM NÍVEIS DE NITROGÊNIO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador:

Prof. Dr. Magno Antonio Patto Ramalho

**LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2008**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Furtini, Isabela Volpi.

Implicações da seleção no feijoeiro efetuada em ambientes contrastantes em níveis de nitrogênio / Isabela Volpi Furtini. – Lavras : UFLA, 2008.

67 p. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2008.

Orientador: Magno Antonio Patto Ramalho.

Bibliografia.

1. Resposta correlacionada. 2. Eficiência na utilização de nitrogênio. 3. Genética quantitativa. 4. Melhoramento de plantas. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 635.652

ISABELA VOLPI FURTINI

**IMPLICAÇÕES DA SELEÇÃO NO FEIJOEIRO EFETUADA EM
AMBIENTES CONTRASTANTES EM NÍVEIS DE NITROGÊNIO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 29 de julho de 2008

Dr. Sidney Netto Parentoni

EMBRAPA Milho e Sorgo

Dr. José Carlos Cruz

EMBRAPA Milho e Sorgo

Prof. Dr. Magno Antonio Patto Ramalho

UFLA

(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2008

*A Deus,
por me conceder o dom da vida,*

OFEREÇO

*Aos meus pais, Eduardo e Marly, pela educação, apoio, incentivo e amor
durante toda minha vida;*

Ao Ciro, pelo amor e companheirismo...

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, meu refúgio e luz.

Aos meus pais, Eduardo e Marly, pelo incansável apoio, amor, carinho, dedicação e incentivo. Sem vocês eu não conseguiria.

À minha irmã Karina, pelo companheirismo, carinho, amizade, alegria e otimismo.

Ao Ciro, pelo amor, companheirismo e compreensão em todos os momentos.

Aos meus avós, agradeço pelo carinho, torcida e orações.

Ao professor e orientador Magno, pelos ensinamentos concedidos, paciência e disponibilidade em todos os momentos, amizade, apoio. Sinto-me orgulhosa pela sua presença na minha formação profissional.

À co-orientadora Ângela, pela amizade, disponibilidade, apoio e pelas valiosas sugestões.

Aos membros da banca, Dr. Sidney Netto Parentoni e Dr. José Carlos Cruz, pela disponibilidade e pelas valiosas sugestões para o engrandecimento do trabalho.

Ao Departamento de Biologia, pela oportunidade para realização do trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos. À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo financiamento do projeto de pesquisa.

Aos professores César, João Bosco, João Cândido, Flávia e Elaine, pelos ensinamentos.

À grande amiga Flavinha, por estar sempre me apoiando, aconselhando, pela agradável convivência e amizade.

Às amigas da pós-graduação, Cristiana e Paula, pela amizade e pela agradável convivência.

Aos colegas do GEN, Flávia Mendes, Lívia, Gra, Flávia Fernandes, Dani, Lidiane, Aninha, Dheyne, Ranoel, Cristiane, Fernando, Rafaela, Camila, Fabrício, Jeanne, Douglas, Fernanda, André, Lucas, Lúcio, Ana Luíza, César, Ricardo, Hugo, José Maria, Marcela, Gustavo, Jerônimo, José Luís, Gui, Quélen, Marcus que, direta ou indiretamente, me auxiliaram na realização desse trabalho.

À amiga e secretária, Elaine, pela paciência e auxílio durante toda essa caminhada.

Aos funcionários de campo, Léo e Lindolfo, pela ajuda e disposição na condução dos experimentos.

Aos funcionários do DBI, Zélia, Rafaela, Irondina, pela prazerosa convivência.

A todos que estiveram presentes e contribuíram para a realização desse trabalho, MUITO OBRIGADA!

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT	ii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 Macronutrientes na cultura do feijoeiro.....	3
2.2 Seleção de plantas visando melhoria na eficiência do uso de nutrientes	8
2.3 Estratégias de seleção para condições de estresse ambiental.....	15
2.4 Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos em condições de estresse	17
3 MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1 Ambientes.....	20
3.2 Linhagens e, ou cultivares avaliadas.....	23
3.3 Condução dos experimentos	23
3.4 Análise dos dados	24
3.5 Estimativa do índice de resposta à aplicação de nitrogênio.....	28
3.6 Estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos.....	28
3.7 Estimativas dos ganhos esperados com a seleção (GS) e resposta correlacionada.....	31
4 RESULTADOS	33
5 DISCUSSÃO	48
6 CONCLUSÕES	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
ANEXOS	65

RESUMO

FURTINI, Isabela Volpi. **Implicações da seleção no feijoeiro efetuada em ambientes contrastantes em níveis de nitrogênio.** 2008. 67 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG*.

O presente trabalho foi conduzido visando à identificação de linhagens de feijoeiro eficientes na utilização de nitrogênio e estimar a resposta correlacionada, na produtividade de grãos, em ambientes sob baixa disponibilidade de nitrogênio, pela seleção efetuada sem o estresse do nutriente. Foram avaliadas 100 linhagens de feijoeiro com e sem aplicação de nitrogênio, em quatro ambientes. Em cada ambiente, foram instalados dois experimentos distintos e contíguos, no delineamento experimental látice triplo 10 x 10, sendo as parcelas constituídas por duas linhas de dois metros de comprimento. Utilizando-se a produtividade média de grãos foram estimados os índices de resposta à aplicação de nitrogênio e os parâmetros genéticos e fenotípicos. Na média dos quatro ambientes, a produtividade de grãos obtida com N foi 16% acima da obtida sem N. Esse valor correspondeu a 3,81 kg de grãos por kg de N aplicado. As linhagens diferem na eficiência de utilização de nitrogênio. Dentre as mais eficientes e responsivas destacam-se: BP-16, CVII-55-14, Ouro Negro e MA-III-9.91. As estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos dos diferentes níveis de nitrogênio permitem inferir ser possível obter sucesso com a seleção em ambientes com e sem estresse de nitrogênio. A resposta correlacionada em ambientes com baixa disponibilidade de nitrogênio pela seleção efetuada sem o estresse do nutriente é de magnitude inferior à observada na seleção direta. Infere-se que a seleção de linhagens, para ambientes sob baixa disponibilidade de nitrogênio, deve ser realizada preferencialmente nessa condição.

* Comitê Orientador: Magno Antonio Patto Ramalho – UFLA (Orientador); Ângela de Fátima Barbosa Abreu – EMBRAPA Arroz e Feijão/UFLA (Co-Orientadora).

ABSTRACT

FURTINI, Isabela Volpi. **Implications of selection in common bean in contrasting environments concerning nitrogen levels**. 2008. 67p. Dissertation (Master's degree in Genetics and Plant Improvement) – Universidade Federal de Lavras, MG.[†]

This study was conducted aimed at identifying lines of common bean efficient in the use of nitrogen and estimate the correlated response, in grain yield, in environments with low nitrogen availability by selection under no stress of the nutrient. One hundred lines of common bean were evaluated with and without nitrogen application in four environments. In each environment two distinct experiments, in a 10 x 10 triple lattice design were set up, with plots having two lines 2 m long. The index of response to nitrogen application and genetic and phenotypic parameters were estimated using the average grain yield. In the average of the four environments, grain yield with N was 16% higher than with no N. This value means a 3.81 kg of grain per kg of applied N. The lines differ in the efficiency of nitrogen usage. Among the more efficient and responsive are: BP-16, CVII-55-14, Ouro Negro and MA-III-9.91. The estimates of genetic and phenotypic parameters at different nitrogen levels indicate that it is possible to succeed with selection in environments with and without nitrogen stress. The correlated response in environments with low nitrogen availability by selection under no stress of the nutrient presents lower magnitude than that observed by direct selection. It appears that selection of lines for environments with low nitrogen availability should preferably be held in this condition.

[†] Advisor Committee: Magno Antonio Patto Ramalho – UFLA (Senior advisor); Ângela de Fátima Barbosa Abreu – Embrapa Arroz e Feijão /UFLA (Co-advisor)

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o cultivo do feijão é submetido a vários sistemas de produção. Há um grande número de agricultores que, praticamente, não utilizam as tecnologias disponíveis. No outro extremo, grandes empresas rurais realizam o cultivo irrigado e empregam o que há de mais moderno em técnicas de produção. A diferença básica entre eles é o emprego ou não de fertilizantes.

Embora o feijoeiro seja uma leguminosa, a fixação biológica de nitrogênio (N) é insuficiente para suprir a demanda da planta pelo nutriente. Por isso, na maioria das vezes é imprescindível a aplicação de nitrogênio na cultura para que a produção não seja prejudicada. Considerando que os custos dos fertilizantes são expressivos (Skalsky et al., 2008) e que as cultivares são recomendadas indistintamente para os diferentes sistemas de manejo, torna-se importante obter linhagens que sejam eficientes no uso de nitrogênio.

A eficiência de utilização de nitrogênio pode ser avaliada sob dois aspectos. O primeiro é o retorno em produtividade de grãos, para cada unidade do nutriente aplicado. O segundo envolve a capacidade das linhagens em ter boa produtividade, em condições de baixa disponibilidade do nutriente.

A maioria dos trabalhos sobre eficiência no uso de nitrogênio (EUN), foi realizada com gramíneas, principalmente com as culturas do milho (Banziger et al., 1997; Presterl et al., 2003; Gallais & Hirel, 2004) e trigo (Le Gouis et al., 2000; Brancourt-Hulmel et al., 2005). No caso do feijoeiro, as pesquisas relacionadas à eficiência no uso de nitrogênio são mais escassas.

Como a grande maioria dos programas de melhoramento do feijoeiro no Brasil avalia as progênies e/ou linhagens em presença de N, é importante verificar se a seleção, realizada sob condições favoráveis à cultura, é eficaz também para condições de estresse do nutriente.

Como esse tipo de informação ainda é restrito na cultura do feijoeiro, objetivou-se, no presente trabalho, identificar linhagens eficientes na utilização de nitrogênio e estimar a resposta correlacionada, na produtividade de grãos, em ambientes com baixa disponibilidade de nitrogênio, pela seleção efetuada sem o estresse do nutriente.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Macronutrientes na cultura do feijoeiro

A planta de feijoeiro é muito exigente em nutrientes. Por possuir ciclo curto e sistema radicular pouco desenvolvido, necessita que os nutrientes estejam prontamente disponíveis nos momentos de demanda (Silva & Silveira, 2000). Assim, a planta poderá expressar todo seu potencial genético em produtividade de grãos.

A exigência nutricional das culturas, em geral, torna-se mais intensa no início da fase reprodutiva, sendo mais crítica na época da formação das sementes, quando grandes quantidades de nutrientes são para elas translocados. Essa maior exigência deve-se ao fato de os nutrientes serem essenciais à formação e ao desenvolvimento dos órgãos de reserva (Carvalho & Nakagawa, 2000).

Os macronutrientes N, P, K, Mg e S são absorvidos até os 70 a 80 dias após emergência (DAE), enquanto o Ca é absorvido até os 59 dias, sendo a maior taxa de absorção desse nutriente entre 29 e 37 DAE. No caso dos demais macronutrientes, a maior taxa de absorção ocorre entre 42 e 47 dias, exceto para o enxofre, onde os picos máximos de absorção ocorrem mais próximos do final do ciclo, em média aos 81 DAE (Vieira, 2006a).

Com relação à extração e exportação de nutrientes pelo feijoeiro, embora ocorram diferenças entre os resultados obtidos da literatura, os obtidos por Vieira (2006a), em estudo sobre a marcha de absorção de nutrientes pelas cultivares Ouro Negro e Talismã, em sistema de plantio direto e convencional, representam bem o que ocorre. Neste trabalho, a ordem crescente de extração de

macronutrientes foi $S < P < Mg < Ca < K < N$ e a de exportação $S < Mg < P < Ca < K < N$.

Por tratar-se de uma leguminosa que apresenta elevados teores de proteínas, o feijoeiro exige quantidades elevadas de S para o seu desenvolvimento, pois o nutriente, além de estar envolvido em processos enzimáticos, é um constituinte dos aminoácidos cisteína e metionina (Malavolta, 2006). É um macronutriente que acumula-se em boa proporção nas sementes (Vieira, 2006b).

Furtini Neto et al. (2000) ao avaliarem o efeito da aplicação de doses de S ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) no crescimento de três cultivares de feijoeiro, verificaram respostas significativas na produção de matéria seca da parte aérea (MSPA). Esses autores também observaram que a eficiência de utilização de S, correspondente a 90% da produção máxima de MSPA, variou de acordo com as cultivares de feijoeiro, evidenciando ser possível a seleção de linhagens adaptadas às condições distintas de disponibilidade desse nutriente, no solo.

O cálcio é de grande importância no crescimento radicular, através de seu papel na divisão e alongação das células (Furtini Neto et al., 2001), enquanto o magnésio, constituinte da clorofila, desempenha papel importante na fotossíntese (Vitti et al., 2006). Apesar de serem essenciais às plantas, a deficiência desses nutrientes não é muito comum e, quando há necessidade, a aplicação de Ca e Mg no solo está, normalmente, ligada à prática da calagem. Resposta do feijoeiro em produtividade à aplicação de calcário foi constatada por Fageria (2001). O autor verificou também que a calagem aumentou o pH, os teores de Ca e Mg trocáveis e as relações Ca/K e Ca/Mg. Resultados semelhantes foram relatados por Souza et al. (2008).

O fósforo é um dos nutrientes que mais limita a produtividade do feijoeiro em solos brasileiros. É fundamental no metabolismo das plantas, desempenhando papel importante na transferência de energia da célula, na

respiração e na fotossíntese. É também componente estrutural dos ácidos nucléicos de genes e cromossomos, assim como de muitas coenzimas, fosfoproteínas e fosfolipídeos (Grant et al., 2001). A influência do P na cultura do feijão está ligada ao aumento da produção de matéria seca da parte aérea, do número de vagens e da massa de grãos, que são os principais determinantes da produtividade (Fageria et al., 2003).

As limitações na disponibilidade de P no início do ciclo vegetativo podem resultar em restrições no desenvolvimento, das quais a planta não se recupera posteriormente, mesmo aumentando o suprimento de P a níveis adequados. O suprimento adequado de P é, portanto, essencial desde os estádios iniciais de crescimento da planta (Grant et al., 2001).

Em função das características da grande maioria dos solos brasileiros, como baixos teores de fósforo e alta capacidade de fixação desse nutriente, as respostas à adubação fosfatada são freqüentes. Em 61 experimentos em campo, conduzidos em Minas Gerais, foi constatado que em 43, ou seja, em 70% deles, o adubo fosfatado teve efeito positivo (Vieira, 2006b). Rodrigues et al. (2002) observaram que o aumento das doses de P elevou a produtividade de grãos. O efeito mais pronunciado ocorreu com a combinação das maiores doses de N e P.

No sistema de plantio direto, tem sido observado aumento nos teores de fósforo na camada superficial do solo, principalmente nas profundidades entre 0 a 10 cm. Esse comportamento é conseqüência da redução da adsorção de P na superfície de óxidos de ferro e alumínio em função do menor revolvimento do solo; incremento do teor de matéria orgânica na camada superficial, que obstrui parcialmente os sítios de adsorção de P e aumenta o armazenamento de água no solo, permitindo melhor aproveitamento pelas plantas dos fertilizantes aplicados; e redução nas perdas de solo e de nutrientes por erosão, devido à proteção proporcionada pelos resíduos culturais mantidos na superfície do solo (Cubilla et al., 2007).

O potássio (K), depois do N, é o nutriente encontrado em maior quantidade na planta de feijoeiro (Vieira, 2006b). Os papéis bioquímicos e funcionais do K são ativação de enzimas, translocação de açúcares, abertura e fechamento de estômatos e regulação osmótica (Malavolta, 2006). Esse nutriente está muitas vezes associado a uma maior resistência das plantas a condições adversas, tais como baixa disponibilidade de água e extremos de temperatura, além de reduzir a incidência de doenças e ataque de insetos (Furtini Neto et al., 2001).

Contudo, respostas do feijoeiro à aplicação de potássio não são freqüentes. Em 37 experimentos em campo conduzidos em 22 municípios de Minas Gerais, em apenas um o K aumentou a produtividade da cultura (Vieira, 2006b). Resultados semelhantes foram obtidos por Sguario-Junior et al. (2006). Os autores avaliaram a resposta da cultura do feijão, cultivar Carioca, a diferentes doses de potássio (0, 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹ de K₂O) em sistema de plantio direto e verificaram que a cultura não respondeu às diferentes doses de potássio. Porém, Vieira (2006b) comenta que a adubação com potássio é indicada, visando repor no campo de cultivo o K exportado pelas sementes, que, em caso de rendimento da ordem de 3000 kg ha⁻¹, atinge cerca de 50 kg ha⁻¹.

O nitrogênio é o nutriente mais exigido pela maioria das culturas, inclusive pelo feijoeiro e pode ser absorvido pelas plantas em duas formas distintas: como ânion NO₃⁻ ou como cátion NH₄⁺, além de aminoácidos e uréia (Malavolta, 2006). Independente da forma absorvida, uma vez na planta, o N inorgânico tem que ser assimilado (isto é, incorporado em compostos de carbono) em formas orgânicas, tipicamente aminoácidos (Below, 2002). O N é transportado no xilema na mesma forma em que foi absorvido pelas raízes, isto é, NH₄⁺ ou NO₃⁻ principalmente, ou como produto de sua assimilação, em geral aminoácidos (Malavolta, 2006).

Noventa por cento do N incorporado irá participar da síntese de proteínas. Esse nutriente, entre outras funções, participa do estabelecimento e manutenção da capacidade fotossintética e do desenvolvimento e crescimento dos drenos reprodutivos (Below, 2002). A sua deficiência provoca pequeno desenvolvimento das plantas, as folhas tornam-se verde-pálidas ou mesmo amareladas e poucas flores desenvolvem-se (Vieira, 2006b).

Uma das alternativas do feijoeiro obter o N é por meio da fixação biológica (FBN), que é basicamente a transformação biológica do N atmosférico (N_2) em amônia (NH_3), por bactérias denominadas comumente rizóbios. A interação planta x rizóbios é mutualística, pois a bactéria utiliza os fotoassimilados produzidos pela planta hospedeira, enquanto a planta se beneficia do N fixado pelo rizóbio microssimbionte na forma amoniacal, assimilando-a em compostos nitrogenados, que podem ser translocados para as suas diferentes partes (Cassini & Franco, 2006).

Diversos fatores biológicos, químicos e físicos podem interferir nos passos que levam à simbiose mutualística (Moreira & Siqueira, 2006). Cassini & Franco (2006) ao avaliarem o efeito da inoculação no feijoeiro, constataram que há ampla variação nas respostas à inoculação e que alguns fatores contribuem para a limitação da eficiência simbiótica como: existência generalizada e diversificada de rizóbios nativos nos solos, que interagem diferencialmente com as diversas cultivares utilizadas, acarretando em variabilidade de resposta à nodulação e à FBN; persistência de fatores ambientais limitantes da FBN, como temperatura, umidade, acidez e deficiências nutricionais; competição entre as estirpes nativas de rizóbio e aquelas presentes nos inoculantes, com nítidas vantagens adaptativas para as primeiras; diversidade das cultivares de feijão utilizadas; utilização ou manejo inadequado dos adubos nitrogenados e sua ação negativa sobre a nodulação e a FBN.

Por essas razões, tem-se constatado que a fixação biológica de nitrogênio é insuficiente para atender à demanda da planta pelo nutriente (Alves, 2002; Silva, 2002). Apesar de se ter obtido considerável avanço nos fatores que afetam a FBN, ainda não existem informações consistentes para uma recomendação generalizada de inoculantes, principalmente em cultivos em que deseja-se obter altas produtividades. Por essa razão, a forma mais comumente utilizada de fornecimento de nitrogênio ao feijoeiro é a aplicação de N mineral, via fertilizantes.

De um total de 80 experimentos em campo com a cultura do feijoeiro, conduzidos em cerca de 30 municípios de Minas Gerais, em 51, ou seja, em 64% dos ensaios, houve resposta positiva à aplicação do nitrogênio (Vieira, 2006b). Furtini et al. (2006) ao avaliarem 100 linhagens de feijoeiro, na presença e ausência de N em cobertura, no Sul de Minas Gerais, verificaram incremento médio de 12% na produtividade de grãos com aplicação de N em cobertura. Observaram também que a resposta variou entre as linhagens avaliadas.

2.2 Seleção de plantas visando melhoria na eficiência do uso de nutrientes

O crescimento populacional mundial demanda um aumento na produção de alimentos. Para tanto, em muitas regiões tem sido freqüente a expansão da agricultura para solos de fertilidade marginal, nos quais o retorno econômico é insuficiente para justificar o emprego de pesadas doses de fertilizantes. Além do mais, o custo dos fertilizantes é crescente (Skalsky et al., 2008). Nesse contexto, cultivares mais eficientes em absorver e utilizar os nutrientes têm sido procuradas intensamente.

Que as plantas de várias espécies mostram diferenças na absorção, translocação, acúmulo e uso de nutrientes, tem sido observado há longo tempo (Foy et al., 1972; Clark, 1983). Contudo, a seleção de plantas mais eficientes é

um processo dinâmico e que exige dedicação constante para a obtenção de cultivares adaptadas às condições de estresse mineral.

Para conduzir trabalhos visando à identificação de cultivares eficientes, um primeiro questionamento é como medir a eficiência. São vários os conceitos de eficiência, e em geral eles são baseados nos processos pelos quais as plantas adquirem, translocam, acumulam e usam o nutriente para melhor produzirem matéria seca e/ou grãos em condições de baixo ou alto suprimento do nutriente.

Tem sido proposta a classificação das cultivares em quatro categorias, dependendo da produção em solos pobres e da capacidade em responder à adubação (Blair, 1993):

1- Cultivares eficientes e não responsivas (ENR): são as que apresentam alta produção sob baixos teores do elemento, não respondendo ao aumento do fornecimento desse elemento.

2- Cultivares eficientes e responsivas (ER): são as que apresentam alta produção sob baixos teores do elemento, mas respondem positivamente ao aumento do fornecimento do elemento.

3- Cultivares ineficientes e responsivas (IR): são as que produzem pouco sob baixos teores do elemento, respondendo positivamente ao aumento no fornecimento do elemento.

4- Cultivares ineficientes e não responsivas (INR): são aquelas que produzem pouco sob baixos teores do elemento, não respondendo ao aumento no fornecimento do elemento.

Uma forma de agrupar grande número de genótipos de acordo com sua eficiência e responsividade a um dado nutriente foi apresentada por Fageria & Barbosa Filho (1982). Os autores utilizaram gráficos do tipo (x,y), em que no eixo x tem-se a produção sob baixo nível do nutriente e no eixo y tem-se a eficiência de utilização de nitrogênio $[(PG_A - PG_B) / P_{(A-B)}]$, onde PG_A e PG_B correspondem à produção de grãos nos ambientes com alta e baixa

disponibilidade do nutriente, respectivamente; $P_{(A-B)}$ é a diferença entre o nível alto e baixo do nutriente.

Há na literatura vários relatos sobre diferenças de espécies com relação à eficiência no uso de nutrientes, com milho (Banziger et al., 1997; Agrama et al., 1999; Presterl et al., 2003; Gallais & Hirel, 2004), trigo (Le Gouis & Pluchard, 1996; Le Gouis et al., 2000), cevada (Sinebo et al., 2004), feijão (Guazelli, 1988; Procópio et al., 2005; Furtini et al., 2006; Lana et al., 2006; Santos & Fageria, 2007) e eucalipto (Furtini Neto, 1994).

A variação intra-específica na resposta das plantas a determinado estresse nutricional pode estar relacionada a diversos fatores morfológicos, anatômicos e fisiológicos, tais como alteração da relação raiz: parte aérea; aumento do tamanho, densidade, diâmetro e formação de pêlos do sistema radicular; associação com microrganismos; modificações do microambiente na rizosfera; distribuição e remobilização do nutriente na parte aérea, compreendendo remobilização de partes maduras como folhas velhas para meristemas de crescimento vegetativo e reprodutivo; variação nos parâmetros cinéticos de absorção ($V_{máx}$ e K_{min}). E ainda a capacidade do genótipo em manter o metabolismo normal com concentrações reduzidas do nutriente no tecido (Marschner, 1995).

Diversos parâmetros morfológicos e fisiológicos têm sido adotados visando auxiliar no entendimento da eficiência no uso de nutrientes, e também para serem utilizados como indicadores dessa eficiência e da produtividade de grãos.

Um trabalho visando associar aspectos morfológicos com a eficiência no uso de fósforo em arroz foi realizado por Crusciol et al. (2005). Esses autores verificaram que, na ausência da adubação fosfatada, algumas cultivares priorizaram o desenvolvimento radicular em relação à parte aérea, a fim de

aumentar a área de exploração pelas raízes. Essa seria uma estratégia das plantas para aumentar a capacidade de aquisição do nutriente.

Outros trabalhos associaram parâmetros cinéticos de absorção (K_m e C_{min}) com a eficiência na utilização de fósforo, em milho. Em um desses estudos, constatou-se que menores valores de K_m e C_{min} foram bons indicadores da capacidade de absorção de P das variedades. Esses parâmetros estiveram relacionados às maiores produções de matéria seca e maiores índices de utilização de P (Machado & Furlani, 2004).

Na cultura do milho, um caráter que tem sido avaliado é o intervalo entre o florescimento masculino e feminino (ASI). A ausência de sincronia entre florescimento masculino e feminino pode levar à diminuição da produtividade de grãos, devido à escassez de pólen durante a fase de emissão dos estilestimas, como também a um abortamento de grãos logo após a fertilização (Ribaut et al., 1996). Aumentos no ASI, em ambientes sob estresse, têm sido reportados na literatura (Parentoni, 2008). Esse autor sugere que o caráter ASI, avaliado sob estresse de P, poderia vir a ser um critério auxiliar de seleção para adaptação de plantas a ambientes sob baixa disponibilidade do nutriente.

Com relação à eficiência no uso de nitrogênio (EUN), a maioria dos trabalhos foi realizada com gramíneas, principalmente com a cultura do milho. Um trabalho clássico para a interpretação dos fatores que contribuem para a eficiência de utilização de nitrogênio pelo milho foi apresentado por Moll et al. (1982). Foram avaliados oito híbridos de milho de acordo com a produtividade de grãos, acumulação de N nos grãos e restos culturais. Diferenças foram encontradas em todos os níveis de N e para todos os caracteres avaliados. Sob baixa disponibilidade de N, a diferença entre híbridos na eficiência no uso de N foi devida, principalmente, à variação na utilização do nutriente acumulado, bem como à proporção do N translocado para os grãos.

Ao estudar a eficiência de uso de nitrogênio em variedades locais e melhoradas de milho, Majerowicz et al. (2002), observaram que a massa seca das plantas deficientes em N apresentou elevada correlação positiva (0,86) com a massa seca acumulada nas raízes dos diferentes genótipos. Os autores relatam a importância do estudo das características morfológicas e fisiológicas do sistema radicular na seleção de genótipos eficientes, quanto ao uso do N.

Um parâmetro adicional de importância para avaliação da EUN refere-se ao índice de colheita (IC), que corresponde à razão entre a produção de grãos e a biomassa total (Dawson et al., 2008). Quanto maior o índice de colheita significa que a planta converte com maior eficiência o rendimento biológico em rendimento de grãos. Por exemplo, o IC de 20% comparado ao IC de 40%, para um mesmo rendimento biológico, indica que as plantas com IC de 40% são duas vezes mais eficientes na conversão de seu rendimento biológico em grãos.

Componentes fisiológicos como a atividade da enzima redutase do nitrato (NR) e da glutamina sintetase (GS), têm sido propostos como critério auxiliar na seleção de cultivares eficientes no uso de nitrogênio. Feil et al. (1993) encontraram correlação positiva entre a atividade da NR em plântulas e a produtividade de grãos de milho. Entretanto, outro estudo demonstrou que as características bioquímicas estudadas (atividades da NR, GS e conteúdo de pigmentos fotossintéticos) foram sensíveis à disponibilidade de N, mas não permitiram discriminar diferenças genotípicas (Majerowicz et al., 2002).

Alguns métodos alternativos têm sido sugeridos para avaliar a EUN, como por exemplo, o uso do medidor portátil de clorofila (Balasubramanian et al., 2000), uma vez que a concentração desse pigmento pode ser usada para prever a concentração de nitrogênio nas plantas (Peterson, 1993). Em estudo realizado por Miranda et al. (2005), foi verificado que o medidor portátil de clorofila não foi adequado para classificar genótipos mais eficientes quanto ao uso de nitrogênio. Contudo, os autores comentam que o aparelho pode ser

utilizado como teste rápido para eliminar, antes do florescimento, os genótipos menos produtivos, especialmente em ambientes sem adubação nitrogenada em cobertura.

Os efeitos dos exsudatos radiculares excretados pelas plantas sobre a rizosfera são de grande interesse para sistemas de baixa aplicação de nitrogênio, devido ao potencial de aumentar a disponibilidade de nutrientes para as plantas (Dawson et al., 2008).

Algumas espécies e cultivares têm superado a disponibilidade limitada de nutrientes através da simbiose com micorrizas arbusculares. Embora a aquisição de fósforo tenha recebido muito mais atenção, essa simbiose pode também ser importante na absorção de N (Azcón et al., 2001).

Para pesquisar com mais detalhes o controle genético da produtividade do milho sob baixo nível de N, estudos de correlação entre os diferentes componentes da eficiência de utilização de nitrogênio (EUN) e produção têm sido efetuados. O objetivo é de identificar os componentes da EUN, regiões cromossômicas e genes candidatos que podem controlar a produção e seus componentes direta ou indiretamente, quando a quantidade de fertilizantes nitrogenados fornecidos às plantas é variável (Hirel et al., 2007).

Foi verificado que a maioria das regiões cromossômicas para produção, composição dos grãos e características relacionadas à EUN detectadas em baixo N, correspondiam a locos com características quantitativas (QTL's) detectados sob alto N (Bertin & Gallais, 2001). Agrama et al. (1999) utilizaram marcadores moleculares para identificar QTL's associados com a eficiência no uso de N e detectaram mais QTL's em baixo nível de N.

No caso específico do feijoeiro, pesquisas relacionadas à eficiência no uso de nitrogênio, têm sido realizadas principalmente após 2005. As anteriores a essa data, foram realizadas com pequeno número de linhagens e em solução nutritiva. Em um desses experimentos, três cultivares de feijão (Carioca,

Eriparza e Rio Tibagi) foram avaliadas e verificaram-se diferenças quanto à eficiência no uso de N entre as cultivares (Guazzelli, 1988).

Trabalhos em condições de campo foram realizados por Furtini et al. (2006), Lago (2007), Silva (2007) e Santos & Fageria (2007). Santos & Fageria (2007) ao avaliarem a resposta e a eficiência do uso de N por cultivares de feijoeiro, em função do manejo do fertilizante nitrogenado em solo de várzea, verificaram que houve diferenças entre as cultivares com relação à EUN. Segundo esses autores, a eficiência de uso de nitrogênio pelo feijoeiro é maior nas cultivares de ciclo médio do que nas precoces.

Em estudo conduzido em Minas Gerais com a cultura do feijoeiro, em que foram avaliadas 100 linhagens, foi constatado que elas diferiram na tolerância à baixa disponibilidade de nitrogênio e/ou resposta ao N aplicado (Furtini et al., 2006). Na média de todos os ambientes, a eficiência na utilização do nutriente entre as linhagens variou de 11,3 a 18,3 kg de grãos por kg de N aplicado.

Utilizando as linhagens mais divergentes com relação à EUN da pesquisa de Furtini et al. (2006), Lago (2007) procurou entender os mecanismos que explicam o comportamento diferencial dessas linhagens em relação à EUN. Para isso o autor associou os teores de N-total e frações nitrogenadas nas folhas (N-nítrico, N-insolúvel, N-solúvel e N-orgânico solúvel) e a EUN. Em algumas linhagens (Esal 629 e MA-I-2.5) houve indicações de que as frações de N e N-total nas folhas poderiam explicar a maior EUN. Resultados obtidos por Silva (2007), mostraram que as frações nitrogenadas no tecido foliar e nos grãos não acompanharam a produtividade de grãos das linhagens de feijoeiro.

Para investigar o mecanismo do controle genético da tolerância à baixa disponibilidade de N no solo em feijão, Kimani & Tongoona (2008) avaliaram oito linhagens, sendo três tolerantes à baixa disponibilidade de N no solo (CAL 143, CIM9314-36 e AFR708) e cinco não tolerantes (E5, E8, GLP-2, CAL 96 e

SCAM80-CM115) num esquema de dialelo parcial. Foram avaliados o comprimento da raiz, peso seco da raiz, número de nódulos, área foliar e produtividade de grãos. Esses pesquisadores concluíram que houve predominância dos efeitos genéticos aditivos, indicando que é possível obter linhagens melhoradas para tolerância à baixa disponibilidade de N no solo.

2.3 Estratégias de seleção para condições de estresse ambiental

O melhoramento para condições de estresses abióticos tem sido bastante pesquisado em todo mundo, visando à obtenção de cultivares adaptadas aos mais variados ambientes. Em geral, os melhoristas não conseguem selecionar em todos os ambientes em que as cultivares serão utilizadas. Normalmente, eles realizam a seleção sob condições favoráveis à cultura na expectativa de que a seleção realizada repercuta em outras condições, ou seja, que a seleção indireta seja eficiente. Quando a interação genótipos x níveis de fertilizantes está presente, é questionável em qual ambiente a seleção deve ser efetuada (Sinebo et al., 2002).

Há, na literatura, resultados contraditórios em relação à eficiência da seleção direta ou indireta. Ceccarelli (1996) e Banziger et al. (1997), por exemplo, apresentam resultados em que a seleção realizada sob condições favoráveis não propiciou ganhos expressivos indiretamente para condições desfavoráveis. Já Kamprath et al. (1982) e Castleberry et al. (1984) apresentam resultados que evidenciam a eficiência da seleção indireta.

Na Europa, Presterl et al. (2003) concluíram que é possível selecionar genótipos sob baixas condições de fertilização nitrogenada, embora haja uma significativa redução na produtividade de grãos. Apesar dessa redução na produção, esses autores verificaram que a seleção direta sob baixa fertilização nitrogenada seria mais efetiva que a seleção indireta sob alta fertilização. As

mesmas conclusões foram obtidas por Banziger et al. (1997). Esses autores avaliaram progênies de milho sob condições de baixo e alto N e concluíram que a seleção efetuada em alto N não seria eficiente para as condições de baixo N, sugerindo que, sob condições tropicais, deveriam ser estimulados programas de melhoramento específicos para as condições de baixo N. Resultados semelhantes foram obtidos por Brancourt-Hulmel et al. (2005), ao avaliarem a eficiência relativa da seleção indireta. Os autores enfatizam que os programas de melhoramento para ambientes sob baixa disponibilidade de nitrogênio deveriam fazer a seleção em ambientes sob essa condição, para se maximizar os ganhos com a seleção.

Há também estudos que relatam que a seleção indireta é tão eficiente quanto a seleção direta. Atlin & Frey (1989) encontraram alta correlação genética da produção de linhagens de aveia cultivadas sob baixo e alto N, resultando em respostas similares nos dois ambientes.

A estratégia mais aceita para seleção de cultivares, com bom desempenho sob condições de estresse, é a utilização de vários ambientes. Essa alternativa tem propiciado os maiores avanços nos mais importantes programas de melhoramento a nível mundial (Souza, 2006). Rosielle & Hamblin (1981) demonstraram teoricamente que a seleção para tolerância a estresse resulta na redução da produtividade no ambiente favorável e também reduz a produção média envolvendo os ambientes com e sem estresse. Quando a seleção é efetuada utilizando a produtividade média de todos os ambientes, ocorre aumento na produtividade de grãos tanto no ambiente com ou sem estresse.

Tem sido proposta também a alternância entre a seleção direta e indireta. Van Ginkel et al. (2001) avançaram as populações segregantes de F_2 a F_6 sob cinco métodos de seleção: sempre sob baixo nível de N; sempre sob médio nível de N; sempre sob alto N; alternando entre baixo e alto N, começando com a primeira geração segregante F_2 sob baixo N; e alternando entre alto e baixo N

começando com a primeira geração segregante sob alto N. Posteriormente, as populações foram testadas sob baixo, intermediário e alto nível de N. O avanço da população segregante com alternância entre condições com alto e baixo nível de N, resultou em maiores produtividades em níveis intermediários e altos de N.

2.4 Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos em condições de estresse

Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos são freqüentes na literatura com a cultura do feijoeiro. Moreto (2005) fez uma compilação das estimativas de h^2 obtidas, utilizando diferentes metodologias e populações. O autor encontrou valores de h^2 , no sentido restrito, em média de 30%, variando de 1 a 60%. Entretanto, esses relatos foram realizados sob condições sem estresse e não houve extrapolação dos resultados das estimativas obtidas e, sobretudo, da seleção em um ambiente para outras condições ambientais.

Uma discussão a esse respeito é apresentada por Falconer & Mackay (1996). Os autores fornecem expressões que permitem avaliar a eficiência da seleção para um dado ambiente, resposta direta, em relação ao comportamento em outro ambiente, resposta indireta. O fundamento é a correlação genética do desempenho dos genótipos nos dois ambientes. A expressão da resposta correlacionada (RC), isto é, da seleção em um ambiente x , por exemplo, sem estresse abiótico, e a resposta em outro ambiente y , com estresse abiótico, é fornecida pela expressão:

$$RC_{y/x} = ih_x h_y r_{xy} \sigma_{Fy}$$

em que:

$RC_{y/x}$: resposta indireta no ambiente y à seleção efetuada no ambiente x ;

i : diferencial de seleção padronizado;

h_x e h_y : raiz quadrada da herdabilidade das linhagens nos ambientes x e y ;

r_{xy} : correlação genética entre o desempenho das linhagens nos ambientes x e y ;

σ_{Fy} : desvio padrão fenotípico entre as médias das linhagens no ambiente y .

A partir dessa expressão pode-se inferir em que condições a seleção sem estresse poderia propiciar ganhos expressivos na condição com estresse. Para isso, é necessário avaliar progênies e/ou linhagens nas condições com e sem estresse de nutrientes, por exemplo, e obter as estimativas dos parâmetros que permitem verificar se a seleção indireta poderia ser utilizada com sucesso. Os autores demonstraram que a seleção indireta seria vantajosa quando a raiz quadrada da herdabilidade no ambiente sem estresse (h_x) for superior àquela no ambiente com estresse (h_y), e a correlação genética nas duas condições (r_{xy}) for alta ($h_y < r_{xy}h_x$).

Segundo Ceccarelli et al. (1998), ainda que o alvo sejam ambientes sob estresse, os programas de melhoramento realizam a seleção sob condições favoráveis. Isso porque nas condições de mais alta produtividade, o controle da variação ambiental é mais eficiente, com melhor expressão das diferenças genotípicas, propiciando maiores estimativas de herdabilidades que nas condições de estresse. Esse fato é frequentemente constatado na literatura (Banziger et al., 1997; Brancourt-Hulmel et al., 2005). Há relatos também de altas estimativas de h^2 , em condições de estresse (Presterl et al., 2003).

Somente em situações onde não ocorre pronunciada interação genótipos x ambientes, é possível identificar genótipos superiores em condições de estresse pela seleção efetuada em ambientes favoráveis (Ceccarelli, 1996). Em princípio,

essa situação raramente deve ocorrer. Alguns trabalhos mostraram que a presença da interação genótipos x ambientes pode ter maior efeito sobre a EUN do que a contribuição genotípica per se (Bertin & Gallais, 2000). Desse modo, quando a interação genótipos x ambientes é complexa, o melhorista enfrenta problemas para selecionar cultivares para cada tipo de ambiente.

A grande maioria dos programas de melhoramento do feijoeiro no Brasil avalia as progênies e/ou linhagens em presença de N. Desse modo, os programas de melhoramento do feijoeiro deveriam ter duas alternativas visando a melhoria na eficiência no uso de nitrogênio. Uma delas seria a obtenção de cultivares com alta resposta ao nutriente aplicado, e uma outra seria a de identificar cultivares que sejam tolerantes à baixa disponibilidade de N.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Ambientes

Os experimentos foram conduzidos em três safras. Na safra da “seca” de 2007, a semeadura ocorreu em março, em dois locais, Ijaci (sul de Minas Gerais, 21°10’S, 44°55’W e a uma altitude média de 805 m) e Lavras (sul de Minas Gerais, a 21°14’S, 44°59’W e altitude média de 919 m). Na safra das “águas” 2007/08, a semeadura foi em novembro, em Lavras. Já na safra da “seca” 2008, a semeadura foi em março, em Lavras.

Os dados de temperatura e precipitação durante o período em que foram conduzidos os experimentos são apresentados nas Figuras 1, 2 e 3.

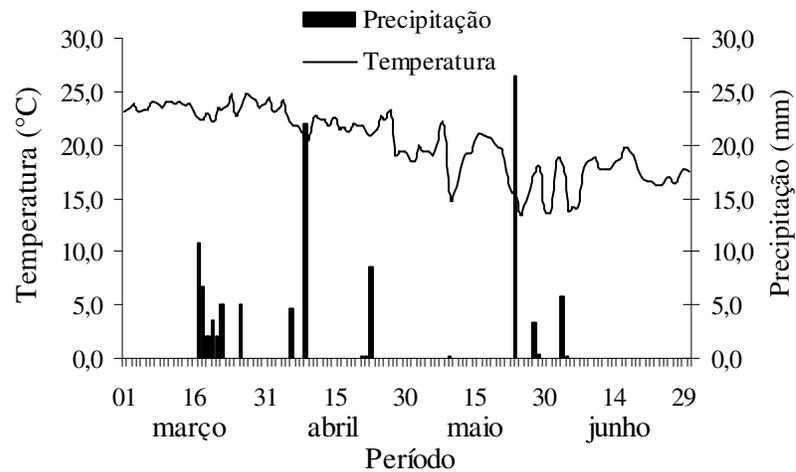


FIGURA 1. Dados diários das temperaturas médias e precipitação pluvial no período de março a junho de 2007 (Dados fornecidos pela Estação Climatológica Principal de Lavras – MG, situada no “campus” da UFLA, em convênio com o Instituto Nacional de Meteorologia – INMET).

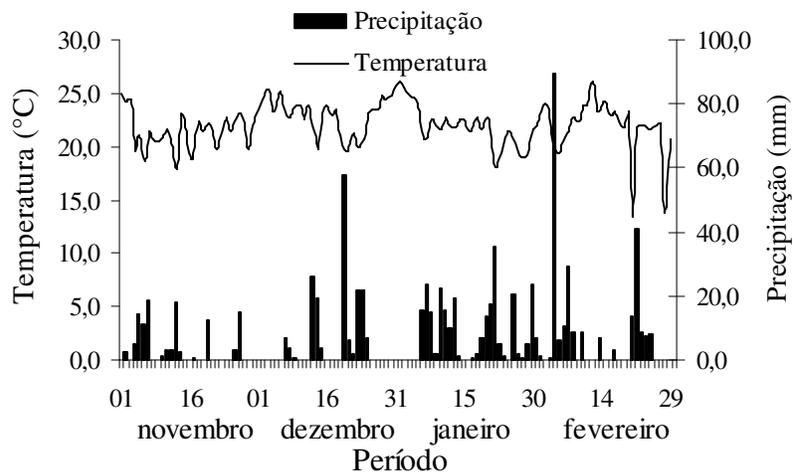


FIGURA 2. Dados diários das temperaturas médias e precipitação pluvial no período de novembro de 2007 a fevereiro de 2008 (Dados fornecidos pela Estação Climatológica Principal de Lavras – MG, situada no “campus” da UFLA, em convênio com o Instituto Nacional de Meteorologia – INMET).

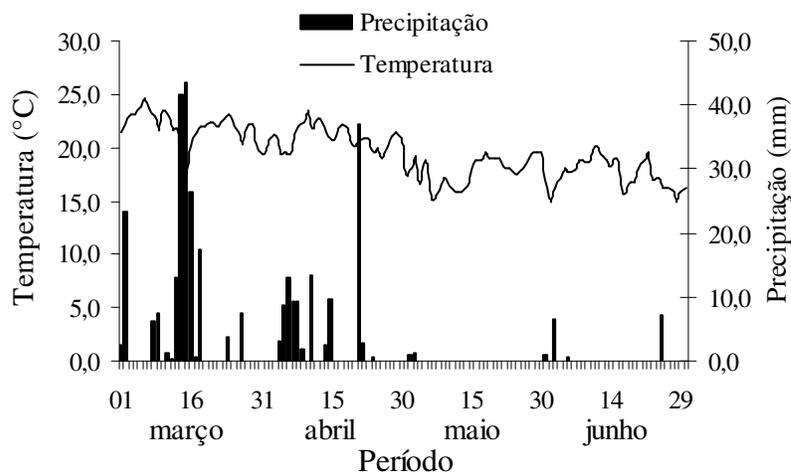


FIGURA 3. Dados diários das temperaturas médias e precipitação pluvial no período de março a junho de 2008 (Dados fornecidos pela Estação Climatológica Principal de Lavras – MG, situada no “campus” da UFLA, em convênio com o Instituto Nacional de Meteorologia – INMET).

As principais características químicas dos solos em que foram conduzidos os experimentos são apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1. Análises químicas dos solos amostrados à profundidade de 0 a 20 cm nas áreas experimentais em Lavras e Ijaci.^{1/}

Características ^{2/}	Safras			
	Seca	Águas		Seca
	2007	2007/2008	2007/2008	2008
	Lavras	Ijaci	Lavras	Lavras
pH H ₂ O	5,1AcM	5,2AcM	5,4AcM	5,4AcM
P (mg dm ⁻³)	13,6Bo	24,9MBo	30,9MBo	2,3MBa
K (mg dm ⁻³)	70M	108Bo	78Bo	58M
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,8Ba	1,3M	1,9M	1,2Ba
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,3Ba	0,4Ba	0,7M	0,4Ba
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,6M	0,3Ba	0,1MBa	0,4Ba
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	5,6Bo	4,5M	4,0M	5,6Bo
SB (cmol _c dm ⁻³)	1,3Ba	2,0M	2,8M	1,8Ba
t (cmol _c dm ⁻³)	1,9Ba	2,3Ba	2,9M	2,1Ba
T (cmol _c dm ⁻³)	6,9M	6,5M	6,8M	7,3M
V (%)	18,6Ba	30,6Ba	41,2M	23,8Ba
m (%)	32M	13MBa	3,0MBa	19,0Ba
MO (dag kg ⁻¹)	2,2M	1,9Ba	2,5M	2,4M
P-rem (mg L ⁻¹)	12,2	20,5	9,9	18,8
Zn (mg dm ⁻³)	3,8MBo	5,0MBo	7,9MBo	2,3MBo
B (mg dm ⁻³)	0,4M	0,3Ba	0,3Ba	0,3Ba
S (mg dm ⁻³)	59,4MBo	39,2MBo	43,7MBo	20,1MBo

^{1/} Análises realizadas nos laboratórios do Departamento de Ciência do Solo (DCS), de acordo com a metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa (1997) e interpretação de acordo com Alvarez V. et al. (1999). AcM – acidez média, MBa – teor muito baixo, Ba – teor baixo, M – teor médio, Bo – teor bom, MBo – teor muito bom..

^{2/} SB – soma de bases, t – CTC efetiva, m – saturação por alumínio, T – CTC a pH 7,0, V – saturação por bases.

3.2 Linhagens e/ou cultivares avaliadas

Foram avaliadas 100 linhagens de feijoeiro do banco de germoplasma da Universidade Federal de Lavras (UFLA). A maioria dessas linhagens possui grãos tipo carioca, porém, existem representantes dos diferentes tipos de grãos. Algumas delas já são cultivares comerciais, mas serão indistintamente denominadas de linhagens. Essas têm sua origem, predominantemente, no programa de melhoramento do feijoeiro da UFLA, conduzido nos últimos 30 anos.

3.3 Condução dos experimentos

As linhagens foram avaliadas em dois experimentos distintos e contíguos. No primeiro não se utilizou fertilizante nitrogenado e no segundo aplicou-se 100 kg ha⁻¹ de N, sendo 1/3 na semeadura, 1/3 aos 20 dias após a semeadura (DAS) e o restante aos 27 DAS, tendo como fonte de N o sulfato de amônio. Na semeadura, os dois experimentos receberam 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e K₂O. Para isso aplicou-se 400 kg ha⁻¹ do formulado 0-20-20 de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente.

O delineamento experimental foi um látice triplo 10 x 10. As parcelas foram constituídas por duas linhas de dois metros de comprimento, com espaçamento entre linhas de 50 cm, com 15 sementes por metro.

Em todos os locais a semeadura foi realizada no sistema de plantio direto. Para isso, a área foi submetida à prévia dessecação utilizando glifosato, cerca de 15 dias antes da semeadura.

Durante a safra da “seca”, a cultura foi submetida à irrigação por aspersão, quando necessário. O controle de plantas daninhas foi efetuado por meio da mistura fomesafen e fluazifop-p-butyl, em pós emergência.

3.4 Análise dos dados

Foram obtidos os dados de produtividade de grãos das linhagens. As análises individuais para cada experimento, com e sem aplicação de N, foram realizadas no programa estatístico MSTAT-C (1991), conforme o modelo estatístico:

$$y_{ljk} = \mu + p_l + q_j + b_{k(j)} + e_{ljk}$$

em que:

y_{ljk} : observação referente à linhagem l na repetição j no bloco k ;

μ : média geral;

p_l : efeito da linhagem l , sendo $l = 1, 2, 3, \dots, 100$;

q_j : efeito da repetição j , sendo $j = 1, 2, 3$;

$b_{k(j)}$: efeito do bloco k dentro da repetição j , sendo $k = 1, 2, 3, \dots, 10$;

e_{ljk} : erro experimental $e_{ljk} \cap N(0, \sigma^2)$

O modelo da análise de variância para cada experimento, com e sem aplicação de nitrogênio e as respectivas esperanças dos quadrados médios são apresentados na Tabela 2.

TABELA 2. Esquema da análise de variância para cada experimento i , com e sem aplicação de nitrogênio, com as respectivas esperanças dos quadrados médios, utilizados na análise, para produtividade de grãos.

FV	GL	QM	E(QM)
Linhagens	v_1	Q_1	$\sigma_{ei}^2 + r\sigma_{Pi}^2$
Erro	v_2	Q_2	σ_{ei}^2

r : número de repetições.

Posteriormente, procederam-se às análises conjuntas envolvendo os dois níveis de nitrogênio, por ambiente, e envolvendo todos os níveis e ambientes, empregando a metodologia apresentada por Ramalho et al. (2005). Os efeitos de níveis, locais e a média foram considerados fixos, e os demais aleatórios.

O modelo estatístico da análise de variância conjunta dos níveis de N, por ambiente foi o seguinte:

$$y_{ljt} = \mu + p_l + n_t + q_{j(t)} + (pn)_{lt} + e_{ljt}$$

em que:

y_{ljt} : observação referente à linhagem l na repetição j no nível t ;

μ : média geral;

p_l : efeito da linhagem l , sendo $l = 1, 2, 3, \dots, 100$;

n_t : efeito do nível t , sendo $t = 1, 2$;

$q_{j(t)}$: efeito da repetição j no nível t ;

$(pn)_{lt}$: efeito da interação linhagens x níveis;

e_{ljt} : erro experimental $e_{ljt} \cap N(0, \sigma^2)$.

O modelo da análise de variância conjunta dos níveis de N e as respectivas esperanças dos quadrados médios são apresentados na Tabela 3.

A análise de variância conjunta envolvendo os níveis e ambientes foi realizada de acordo com o seguinte modelo estatístico:

$$y_{ljtu} = \mu + p_l + n_t + a_u + q_{j(tu)} + (pn)_{lt} + (pa)_{lu} + (na)_{tu} + (pna)_{ltu} + e_{ljtu}$$

em que:

y_{ljtu} : observação referente à linhagem l na repetição j no nível t no ambiente u ;

μ : média geral;

p_l : efeito da linhagem l , sendo $l = 1, 2, 3, \dots, 100$;

n_t : efeito do nível t , sendo $t = 1, 2$;

a_u : efeito do ambiente u , sendo $u = 1, 2, 3, 4$;

$q_{j(tu)}$: efeito da repetição j no nível t no ambiente u ;

$(pn)_{lt}$: efeito da interação linhagens x níveis;

$(pa)_{lu}$: efeito da interação linhagens x ambientes;

$(na)_{tu}$: efeito da interação níveis x ambientes;

$(pna)_{ltu}$: efeito da interação linhagens x níveis x ambientes;

e_{ljtu} : erro experimental $e_{ljtu} \cap N(0, \sigma^2)$

O modelo da análise de variância conjunta envolvendo os níveis e os ambientes e as respectivas esperanças dos quadrados médios são apresentados na Tabela 4.

TABELA 3. Esquema da análise de variância conjunta dos experimentos com e sem aplicação de nitrogênio, por ambiente u , com as respectivas esperanças dos quadrados médios, utilizados na análise, para produtividade de grãos.

FV	GL	QM	E(QM)
Repetição/níveis	v_1	Q_3	$\sigma_{eu}^2 + s\sigma_{B/Nu}^2$
Linhagens (P)	v_2	Q_4	$\sigma_{eu}^2 + rW\sigma_{Pu}^2$
Níveis (N)	v_3	Q_5	$\sigma_{eu}^2 + r\sigma_{PNu}^2 + s\sigma_{B/Nu}^2 + sr\sigma_{Nu}^2$
P x N	v_4	Q_6	$\sigma_{eu}^2 + r\sigma_{PNu}^2$
Erro médio	v_5	Q_7	σ_{eu}^2

r: número de repetições; s: número de linhagens; w: número de níveis.

TABELA 4. Esquema da análise de variância conjunta dos níveis e ambientes, com as respectivas esperanças dos quadrados médios, utilizados na análise, para produtividade de grãos.

FV	GL	QM	E(QM)
Repetição/níveis/ambientes	v_1	Q_8	$\sigma_e^2 + s\sigma_{B/N/A}^2$
Linhagens (P)	v_2	Q_9	$\sigma_e^2 + rWZ\sigma_P^2$
Níveis (N)	v_3	Q_{10}	$\sigma_e^2 + rZ\sigma_{PN}^2 + s\sigma_{B/N/A}^2 + srZ\sigma_N^2$
Ambientes (A)	v_4	Q_{11}	$\sigma_e^2 + rW\sigma_{PA}^2 + s\sigma_{B/N/A}^2 + srW\sigma_A^2$
P x N	v_5	Q_{12}	$\sigma_e^2 + rZ\sigma_{PN}^2$
P x A	v_6	Q_{13}	$\sigma_e^2 + rW\sigma_{PA}^2$
N x A	v_7	Q_{14}	$\sigma_e^2 + r\sigma_{PNA}^2 + s\sigma_{B/N/A}^2 + sr\sigma_{NA}^2$
P x N x A	v_8	Q_{15}	$\sigma_e^2 + r\sigma_{PNA}^2$
Erro médio	v_9	Q_{16}	σ_e^2

r: número de repetições; s: número de linhagens; w: número de níveis; z: número de ambientes.

3.5 Estimativa do índice de resposta à aplicação de nitrogênio

Utilizando os dados médios da produtividade de grãos (kg ha^{-1}) das linhagens, foi estimado o índice de eficiência de utilização de nitrogênio pela expressão de Thung (1990), ou seja:

$$\alpha_i = (N_{1i} - N_{2i}) / Q$$

em que:

α_i : índice de resposta ao nitrogênio da linhagem i ;

N_{1i} : produtividade média da linhagem i com aplicação de nitrogênio;

N_{2i} : produtividade média da linhagem i sem aplicação de nitrogênio;

Q : quantidade de N aplicado (100 kg ha^{-1}).

3.6 Estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos

A partir das esperanças dos quadrados médios foram estimados os parâmetros genéticos e fenotípicos, por meio dos seguintes estimadores:

- variância genética entre linhagens dos experimentos com e sem aplicação de nitrogênio (Tabela 2):

$$\hat{\sigma}_{P_i}^2 = \frac{Q_{1_i} - Q_{2_i}}{r}$$

- b) variância genética entre linhagens da análise conjunta dos experimentos com e sem aplicação de nitrogênio, por ambiente u (Tabela 3):

$$\hat{\sigma}_{P_u}^2 = \frac{Q_{4_u} - Q_{6_u}}{rw}$$

- c) variância da interação linhagens x níveis de nitrogênio, por ambiente u (Tabela 3):

$$\hat{\sigma}_{PN_u}^2 = \frac{Q_{6_u} - Q_{7_u}}{r}$$

Os intervalos de confiança (IC) associados às estimativas dos componentes de variância foram estimados a partir da expressão apresentada por Ramalho et al. (2005):

$$IC_{1-\alpha} : \left[\frac{V_p \hat{\sigma}_P^2}{\chi_{\alpha/2}^2}; \frac{V_p \hat{\sigma}_P^2}{\chi_{1-\alpha/2}^2} \right]$$

em que:

α : nível de significância preestabelecido (no caso 0,05);

$\hat{\sigma}_P^2$: estimativa da variância genética entre as linhagens;

V_p : número de graus de liberdade associado ao componente da variância genética;

$\chi_{1-\alpha/2}^2$ e $\chi_{\alpha/2}^2$: valores tabelados da distribuição de qui-quadrado para V_p graus de liberdade.

- d) herdabilidade na média das linhagens no experimento i , com e sem aplicação de nitrogênio:

$$h_i^2 = \frac{\hat{\sigma}_{P_i}^2}{\hat{\sigma}_{\bar{F}_i}^2}$$

em que:

$\hat{\sigma}_{P_i}^2$: definido anteriormente;

$\hat{\sigma}_{\bar{F}_i}^2$: variância fenotípica entre médias das linhagens.

Pelas expressões apresentadas por Knapp et al. (1985), com confiança de $1 - \alpha = 0,95$, foram obtidos os limites inferiores (LI) e superiores (LS) das estimativas de herdabilidade (h^2):

$$LI = \left\{ 1 - \left[\left(\frac{Q_1}{Q_2} \right) x F_{1-\alpha/2; v_1; v_2} \right]^{-1} \right\}$$

$$LS = \left\{ 1 - \left[\left(\frac{Q_1}{Q_2} \right) x F_{\alpha/2; v_1; v_2} \right]^{-1} \right\}$$

em que:

$F_{\alpha/2}$ e $F_{1-\alpha/2}$: valores tabelados da distribuição de F, com v_1 e v_2 graus de liberdade, sendo $\alpha = 0,05$.

v_1 e v_2 : graus de liberdade associados QM de linhagens e QM do erro, respectivamente;

Q_1 e Q_2 : quadrado médio de linhagens e quadrado médio do erro, respectivamente.

3.7 Estimativas dos ganhos esperados com a seleção (GS) e resposta correlacionada

Os ganhos esperados com a seleção, considerando as médias das linhagens em cada ambiente i , foram estimados de acordo com a seguinte expressão:

$$GS_i = i \frac{\sigma_{P_i}^2}{\sigma_{\bar{F}_i}}$$

em que:

i : diferencial de seleção padronizado, considerando 10% das linhagens sendo selecionadas;

$\sigma_{P_i}^2$: definido anteriormente;

$\sigma_{\bar{F}_i}$: desvio padrão fenotípico entre média das linhagens no experimento i .

Foi estimado o erro associado ao ganho esperado com a seleção pela expressão apresentada por Bridges et al. (1991), em que;

$$S(GS)_i = \sqrt{\frac{2i^2}{r} \left\{ \left(\frac{Q_{1_i}^2}{V_1} \right) \left[\left(1 + \frac{Q_{2_i}^2}{Q_{1_i}} \right)^2 / 4 \right] + \frac{Q_{2_i}^2}{V_2} \right\} / Q_{1_i}}$$

$S(GS)_i$: erro associado ao ganho esperado com a seleção no experimento i ;
 i : diferencial de seleção padronizado, considerando 10% das linhagens sendo selecionadas;
 r : número de repetições;
 Q_1 : quadrado médio de linhagens no experimento i ;
 V_1 : grau de liberdade de linhagens;
 Q_2 : quadrado médio do erro no experimento i ;
 V_2 : grau de liberdade do erro.

Para estimar a resposta correlacionada na condição de estresse de $N(y)$ pela seleção efetuada no ambiente sem estresse de $N(x)$, foi utilizada a seguinte expressão (Falconer & Mackay, 1996):

$$RC_{y/x} = ih_x h_y r_{xy} \sigma_{Fy}$$

em que:

$RC_{y/x}$: resposta indireta no ambiente y à seleção efetuada no ambiente x ;
 i : definido anteriormente
 h_x e h_y : raiz quadrada da herdabilidade das linhagens nos ambientes x e y ;
 r_{xy} : correlação genética entre o desempenho das linhagens nos ambientes x e y ;
 σ_{Fy} : desvio padrão fenotípico entre as médias das linhagens no ambiente y .

4 RESULTADOS

Os resumos das análises de variância para produtividade de grãos dos experimentos com e sem aplicação de nitrogênio, em cada ambiente, estão apresentados na Tabela 1A. A eficiência relativa do látice (ER) em relação aos blocos casualizados para a maioria dos experimentos foi superior a 100%, evidenciando ser vantajoso o emprego do látice. O emprego desse delineamento só não foi eficiente na safra das “águas” 07/08 no experimento sem aplicação do nutriente. A precisão experimental avaliada pelo coeficiente de variação (CV) pode ser considerada boa. O CV na maioria dos experimentos foi inferior a 20%. Não se constatou tendência da precisão se alterar com a aplicação de fertilizante nitrogenado. Em todos os experimentos foi detectada diferença significativa entre as linhagens ($P \leq 0,01$), indicando existência de variabilidade entre as mesmas, condição essa essencial para a seleção.

A análise de variância conjunta envolvendo os dois níveis de nitrogênio em cada local é apresentada na Tabela 2A. A fonte de variação linhagens apresentou teste de F significativo ($P \leq 0,01$). O mesmo ocorreu com a fonte de variação níveis ($P \leq 0,08$). Também ocorreu diferença significativa ($P \leq 0,05$) para a interação linhagens x níveis de N, exceto na safra da “seca” em 2008. A presença da interação indica que o comportamento das linhagens não foi coincidente em presença ou ausência do nutriente.

A análise de variância conjunta envolvendo todos os ambientes e níveis de nitrogênio é apresentada na Tabela 5. Ocorreu diferença significativa entre os ambientes ($P \leq 0,01$). A maior produtividade média, independente do nível de N, ocorreu na safra da “seca” de 2008 (Tabela 6). Nesse ambiente, a média foi 38% superior à obtida na safra das “águas” 07/08, a de menor produtividade média.

TABELA 5. Resumo da análise de variância conjunta envolvendo os níveis e os ambientes, para produtividade de grãos (g/parcela), obtidos na avaliação das linhagens de feijoeiro no período de março/2007 a junho/2008.

FV	GL	QM
Repetição/ambientes/níveis	16	59660,499**
Ambientes (A)	3	3677972,460**
Níveis (N)	1	3485510,013**
Linhagens (C)	99	37509,762**
A x C	297	23410,806**
A x N	3	2284078,362**
N x C	99	11331,810*
A x C x N	297	12537,462**
Erro médio	1395	8561,306
Média		508,27
CV (%)		12,72

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

TABELA 6. Média da produtividade de grãos das linhagens, em kg ha⁻¹, independente do nível de nitrogênio, nos quatro ambientes de avaliação.

Locais	Média	LI ^{1/}	LS ^{1/}	%
Lavras – seca/07	2260	1184	3339	104
Ijaci – seca/07	2744	2060	3295	126
Lavras – águas 07/08	2171	1330	2750	100
Lavras – seca/08	2991	1480	3987	138
Média	2541	1514	3343	

^{1/} LI e LS – limites inferiores e superiores da produtividade das linhagens de feijoeiro.

A fonte de variação níveis também apresentou teste de F significativo ($P \leq 0,01$). Verifica-se na média de todos os ambientes, que os experimentos com aplicação de nitrogênio produziram 16% acima daqueles onde não houve o fornecimento do nutriente, ou seja, ocorreu incremento médio de 381 kg ha⁻¹ de

grãos. (Tabela 7). Esse valor corresponde a 3,81 kg de grãos por kg de N aplicado.

A interação ambientes x níveis de N, significativa ($P \leq 0,01$), indica que o efeito do estresse de nitrogênio não foi coincidente nos diferentes ambientes. Observa-se que ocorreu resposta ao nutriente em três dos quatro ambientes avaliados. A resposta mais expressiva ocorreu em Ijaci, na safra da “seca” de 2007 (Tabela 7). É interessante observar que em Lavras na safra das “águas” 07/08, o efeito da aplicação do equivalente a 100 kg ha⁻¹ de N, foi prejudicial a cultura. Na média das linhagens, quando houve o fornecimento do nutriente a produtividade reduziu em 16%, quando comparado ao experimento em que não houve aplicação de nitrogênio.

TABELA 7. Produtividade média de grãos (kg ha⁻¹) das linhagens de feijoeiro, obtida com e sem aplicação de nitrogênio, nos diferentes ambientes de avaliação.

Locais	Com N	Sem N	Com N / Sem N
Lavras – seca/07	2529	1991	1,27
Ijaci – seca/07	3301	2187	1,51
Lavras – águas 07/08	1987	2354	0,84
Lavras – seca/08	3110	2871	1,08
Média	2732	2351	1,16

Constatou-se também que todas as interações envolvendo linhagens foram significativas ($P \leq 0,05$), indicando que o comportamento das linhagens não foi coincidente nos diferentes níveis de N e nem nos ambientes. Em função desse fato, e considerando que o interesse maior é na interação linhagens x níveis de nitrogênio, os resultados serão enfocados considerando cada ambiente (locais e época de semeadura).

Como já mencionado, a interação linhagens x níveis de N foi significativa em todos os ambientes ($P \leq 0,05$), exceto na safra da “seca” de 2008 em Lavras. Mesmo nesse último caso em que a interação foi não significativa é importante avaliar o comportamento de todas as linhagens com e sem N, pois o quadrado médio (QM) da interação representa o que ocorre em média, não excluindo a possibilidade de alguma linhagem ser mais tolerante ou responsiva.

Verifica-se que a maioria das linhagens apresentou desempenho próximo à média com ou sem aplicação de N. Contudo, o comportamento de algumas linhagens merece destaque. Vê-se que as linhagens BP-16, CVII-55-14 e Ouro Negro foram as de melhor performance tanto na presença quanto na ausência de fertilizante nitrogenado. Isto é, elas foram ao mesmo tempo tolerantes ao estresse devido à baixa disponibilidade de nitrogênio e responsivas quando o nutriente foi fornecido via adubação. No outro extremo, a linhagem PF2-53 apresentou a menor média, nas duas condições (Figura 4).

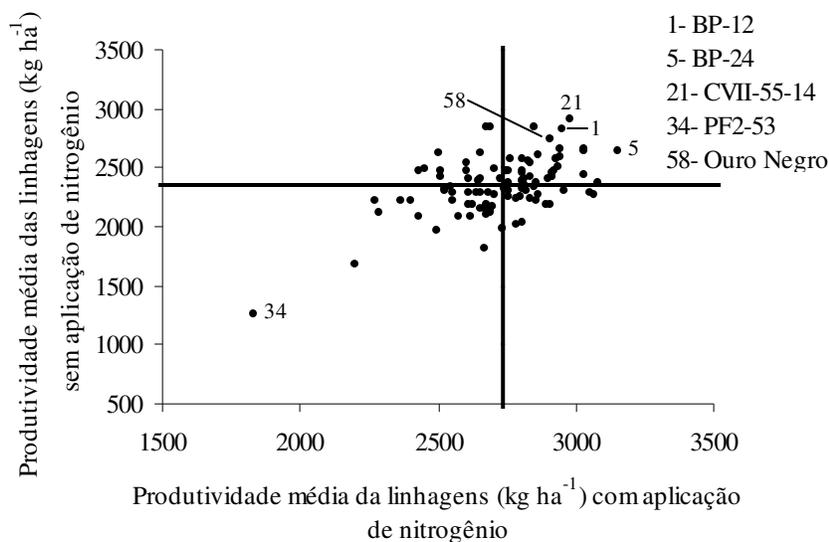


FIGURA 4. Produtividade média de grãos (kg ha^{-1}) das linhagens nos experimentos com e sem aplicação de nitrogênio, na média dos quatro ambientes.

Como era esperado foi detectada diferença significativa ($P \leq 0,01$) entre as linhagens. A existência de variabilidade entre as linhagens pode ser constatada também pelas estimativas da variância genética (σ^2_G) (Tabela 8). Observa-se que, em todos os ambientes, nos experimentos com ou sem fornecimento de nitrogênio, a σ^2_G foi diferente de zero, com 95% de probabilidade, pois em todas as situações o limite inferior foi positivo. A comparação da magnitude das estimativas de σ^2_G é difícil, pois a produtividade média variou entre os ambientes. Entretanto, quando se comparam as estimativas de σ^2_G , nos experimentos com e sem N, nos diferentes ambientes, verifica-se que elas foram diferentes, porém nem sempre na mesma direção. Embora, em três dos quatro ambientes, houve tendência de σ^2_G ser maior nos experimentos em que houve o fornecimento do nutriente.

TABELA 8. Estimativas da variância genética (σ^2_G) entre as linhagens com e sem nitrogênio, nos ambientes de avaliação.

Ambientes	σ^2_G	LI ^{1/}	LS ^{1/}
Lavras seca/07 com N	1679,689	1294,865	2266,725
Lavras seca/07 sem N	5014,317	3865,517	6766,775
Ijaci seca/07 com N	3406,192	2625,819	4596,625
Ijaci seca/07 sem N	1482,942	1143,194	2001,217
Lavras águas 07/08 com N	3798,608	2928,332	5126,187
Lavras águas 07/08 sem N	2524,328	1945,994	3406,558
Lavras seca/08 com N	6038,243	4654,857	8148,554
Lavras seca/08 sem N	5463,974	4212,155	7373,583

^{1/} LI e LS – limites inferiores e superiores dos intervalos de confiança, a 5% de probabilidade.

Para melhor visualizar a existência de variabilidade genética entre as linhagens, foram estimadas também as herdabilidades (h^2) para a seleção na média das linhagens (Tabela 9). Em todos os casos, o limite inferior do intervalo de confiança (IC) foi positivo, indicando, com 95% de probabilidade, que as estimativas de h^2 são diferentes de zero. Por meio das estimativas do limite inferior (LI) e limite superior (LS) pode-se inferir que na maioria das condições as estimativas de h^2 foram semelhantes.

Foram obtidas também as respostas esperadas com a seleção (GS) das 10% melhores linhagens, em cada nível de nitrogênio. Antes de serem comentadas as magnitudes dos GS, é importante salientar que foram estimados os erros associados às estimativas de GS obtidas. Esses erros possibilitam inferir se os valores obtidos podem ou não ser considerados expressivos, ou seja, diferentes de zero. Verifica-se que em todos os experimentos, a sua magnitude foi bem inferior às estimativas de GS (Tabela 10). Portanto, é muito provável que os valores dos ganhos com a seleção sejam diferentes de zero.

TABELA 9. Estimativas da herdabilidade (h^2) com e sem aplicação de nitrogênio, nos ambientes de avaliação.

Ambientes	h^2 (%)	LI ^{1/}	LS ^{1/}
Lavras seca/07 com N	34	5	53
Lavras seca/07 sem N	58	39	70
Ijaci seca/07 com N	52	31	66
Ijaci seca/07 sem N	49	27	64
Lavras águas 07/08 com N	69	55	78
Lavras águas 07/08 sem N	46	24	62
Lavras seca/08 com N	63	47	74
Lavras seca/08 sem N	65	49	75

^{1/} LI e LS – limites inferiores e superiores dos intervalos de confiança, a 5% de probabilidade.

TABELA 10. Estimativas dos ganhos esperados com a seleção com (GS_x) e sem (GS_y) aplicação de nitrogênio e resposta correlacionada ($RC_{y/x}$) no ambiente sem aplicação de nitrogênio pela seleção efetuada no ambiente com aplicação do nutriente, nos ambientes de avaliação.

Ambientes	GS_x Com N		GS_x Sem N		$RC_{y/x}$ (%)	$RC_{y/x}/GS_y$
	g/parcela	%	g/parcela	%		
Lavras seca/07	41,90 (17,03) ^{1/}	8,29	94,49 (18,12)	23,73	10,94	0,46
Ijaci seca/07	73,69 (16,81)	11,16	47,32 (11,64)	10,82	6,68	0,62
Lavras águas 07/08	89,69 (12,94)	22,57	60,09 (15,74)	12,76	7,90	0,62
Lavras seca/08	108,24 (18,09)	17,40	104,26 (16,72)	18,16	15,83	0,87

^{1/} Estimativas dos erros associados ao ganho esperado com a seleção

Observa-se, por meio das estimativas de GS em porcentagem, que o ganho com a seleção variou entre os ambientes. Ele foi maior, na média dos dois

níveis, no experimento da safra da “seca” de 2008 em Lavras. O interessante, contudo, é comparar a estimativa do ganho nos experimentos com ou sem aplicação de nitrogênio. Vê-se que essa comparação variou com o ambiente. Ela foi maior, por exemplo, no experimento sem N em Lavras na “seca” de 2007 e, na safra das “águas” 07/08, ocorreu o contrário. Nos dois outros ambientes a resposta foi semelhante.

O mais expressivo, entretanto, são as estimativas da resposta correlacionada pela seleção realizada no ambiente com aplicação de nitrogênio, que é normalmente realizada para condições com estresse de N (Tabela 10). Pôde-se verificar também por meio da relação entre a $RC_{y/x}$ e o ganho com a seleção direta no ambiente com estresse (GS_y), que a maior estimativa do ganho com a seleção indireta, correspondeu a 87% do ganho com a seleção direta e a menor a 46%. Depreende-se que as estimativas da resposta correlacionada foram expressivas, porém, de magnitude inferior àquela observada na seleção direta.

Essa última constatação pode ser confirmada por meio das estimativas da interação linhagens x níveis de nitrogênio. Verificou-se que a interação linhagens x níveis de N foi alta. Em algumas situações o componente da interação linhagens x níveis de N (σ^2_{PL}) foi até mesmo superior à estimativa da variância genética (Tabela 11 e 12).

As estimativas da correlação genética (r_G) são apresentadas na Tabela 13. Observa-se para a maioria dos ambientes que as estimativas de r_G foram de média magnitude. No caso da safra da “seca” de 2008 essa estimativa foi maior, ou seja, 0,88. As estimativas de r_G obtidas, reforçam a existência da interação linhagens x níveis de nitrogênio.

TABELA 11. Estimativas da variância da interação linhagens x níveis de nitrogênio (σ^2_{GN}), nos ambientes de avaliação.

Ambientes	σ^2_{GN}	LI ^{1/}	LS ^{1/}
Lavras seca/07	1422,41	1096,53	1919,53
Ijaci seca/07	1498,32	1155,05	2021,97
Lavras águas 07/08	1678,93	1294,28	2265,70
Lavras seca/08	261,15	201,32	352,43

^{1/} LI e LS – limites inferiores e superiores dos intervalos de confiança, a 5% de probabilidade.

TABELA 12. Estimativas da variância genética (σ^2_G) entre as linhagens de feijoeiro e relação entre σ^2_{GN} e σ^2_G , nos ambientes de avaliação.

Ambientes	σ^2_G	LI ^{1/}	LS ^{1/}	σ^2_{GN}/σ^2_G
Lavras seca/07	1924,30	1483,43	2596,82	0,74
Ijaci seca/07	946,45	729,61	1277,22	1,58
Lavras águas 07/08	1438,99	1109,31	1941,90	1,17
Lavras seca/08	5489,94	4232,17	7498,62	0,05

^{1/} LI e LS – limites inferiores e superiores dos intervalos de confiança, a 5% de probabilidade.

TABELA 13. Estimativas da correlação genética (r_G) entre o desempenho das linhagens com e sem aplicação de nitrogênio, nos ambientes de avaliação.

Ambientes	r_G
Lavras seca/07	0,60
Ijaci seca/07	0,60
Lavras águas 07/08	0,51
Lavras seca/08	0,88

Para os agricultores, uma informação importante seria qual a resposta das linhagens ao nitrogênio aplicado, ou seja, a estimativa do índice de resposta ao nitrogênio (α). Como era esperado, pelo que já foi comentado, ocorreu diferença na estimativa de α entre os ambientes ($P \leq 0,01$) (Tabela 14).

TABELA 14. Resumo da análise de variância conjunta dos índices de resposta ao nitrogênio, obtidos na avaliação das linhagens de feijoeiro no período de março/2007 a junho/2008.

FV	GL	QM
Repetição/ambientes	8	361,570**
Linhagens (C)	99	70,278*
Ambientes (A)	3	11420,412**
C x A	297	71,892**
Erro médio	684	50,636
Média		3,81
CV (%)		20,56

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

Na média de todas as linhagens, os menores índices foram obtidos na safra das “águas” 07/08 (-3,7) e os maiores na safra da “seca” de 2007 em Ijaci (11,1) (Tabela 15). Foram constatadas também diferenças significativas para as fontes de variação linhagens e interação linhagens x ambientes ($P \leq 0,05$). Infere-se também, para a estimativa de α , que o comportamento das linhagens não foi coincidente nos diferentes ambientes. Essa não coincidência pode ser visualizada na Tabela 15.

Considerando que o que se deseja é uma informação mais generalizada, foi estimado o índice de resposta médio. Veja que foi possível por meio do teste de Scott Knott separar as 100 linhagens em dois grupos, as responsivas ao N, aquelas com resposta superior a 4,15 kg de grãos por kg de N aplicado e, as não responsivas, as que apresentaram estimativas de α inferiores a esse valor (Tabela 15).

É importante associar o índice de resposta (α) com a média das linhagens na condição de estresse de N. Assim, foi possível classificar as linhagens em quatro categorias:

- 1) ineficientes e não-responsivas (INR): foram as que produziram abaixo da média geral dos experimentos com estresse de N e apresentaram α abaixo da média geral dos índices;
- 2) ineficientes e responsivas (IR): foram as que produziram abaixo da média geral dos experimentos com estresse de N, mas apresentaram α superior à média geral dos índices;
- 3) eficientes e não-responsivas (ENR): foram as que produziram acima da média geral dos experimentos com estresse de N e apresentaram α abaixo da média geral dos índices;
- 4) eficientes e responsivas (ER): foram as que produziram acima da média geral dos experimentos com estresse de N e apresentaram α acima da média geral dos índices.

Nota-se que 32% das linhagens foram INR, 18% IR, 22% ENR e 28% ER (Figura 5). Ressalta-se que há um número expressivo de linhagens que se enquadram dentro do que todo melhorista para condição de estresse almeja. Ou seja, obter linhagens que apresentam elevada produtividade de grãos no ambiente com estresse, mas que também sejam responsivas à melhoria do ambiente. Vê-se que as linhagens PF2-53 e Bolinha apresentaram baixa produtividade média de grãos e não responderam ao fornecimento do nutriente. Já as linhagens PF5-3 e CVII-45-5, embora tenham respondido à aplicação de nitrogênio, apresentaram baixa produtividade média de grãos. No extremo oposto, as linhagens BP-16, CVII-55-14, Ouro Negro e MA-III-9.91 foram as que mais se destacaram na categoria das eficientes e responsivas. Também é interessante observar o comportamento das linhagens Pérola e P18-163, pois apresentaram elevada produtividade de grãos no ambiente com estresse de nitrogênio, porém, responderam pouco à aplicação do fertilizante nitrogenado.

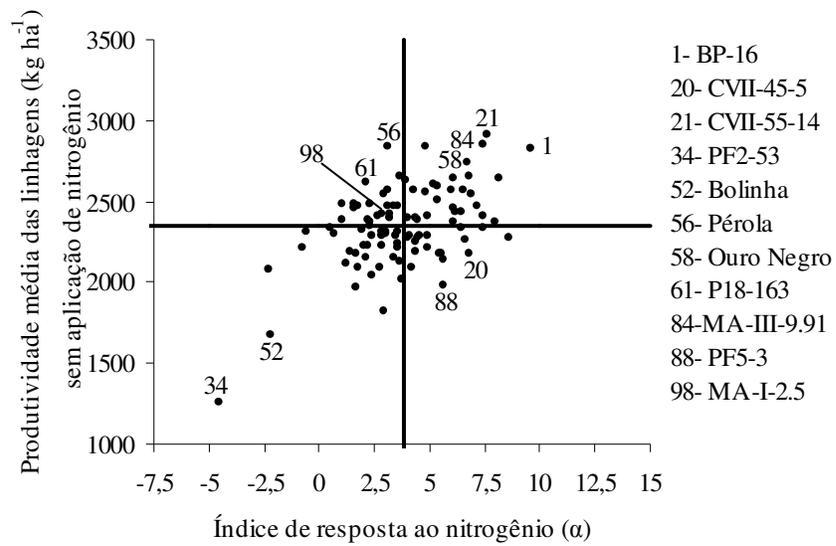


FIGURA 5. Índice de resposta ao nitrogênio (α) e a produtividade média das linhagens sem aplicação de nitrogênio.

TABELA 15. Índice de resposta ao nitrogênio (α) das linhagens nos ambientes de avaliação e produtividade média das linhagens (kg ha^{-1}) sem aplicação de nitrogênio.

Linhagens	α				α médio	Prod. média ^{1/} Sem N
	Lavras seca 2007	Ijaci seca 2007	Lavras águas 07/08	Lavras seca 2008		
BP-16	19,7	16,9	-5,5	7,3	9,6 a ^{2/}	2825
P5-9	2,7	3,7	4,8	11,0	5,5 a	2175
BP-28	9,3	18,5	3,8	-3,9	6,9 a	2541
BP-30	-0,3	13,3	3,4	3,2	4,9 a	2216
BP-24	11,7	12,5	2,4	6,0	8,1 a	2643
BP-31	3,5	13,6	-3,6	-1,6	3,0 b	2307
BP-34	11,6	11,8	4,7	6,2	8,6 a	2277
MA-II-2	2,5	3,5	-3,4	9,7	3,1 b	2465
MA-II-3	3,1	2,7	-2,8	14,4	4,3 a	2253
MA-II-5	2,8	6,5	-4,5	4,4	2,3 b	2376
MA-II-8	2,1	2,2	-5,5	5,4	1,0 b	2488
MA-II-10	-9,7	9,2	-0,4	6,5	1,4 b	2194
MA-II-14	10,3	2,2	-2,5	4,5	3,6 b	2234
MA-II-16	-2,1	5,4	-4,3	22,5	5,4 a	2590
MA-II-17	6,2	8,7	-8,6	3,2	2,4 b	2292
MA-II-22	-0,3	11,5	0,0	8,1	4,8 a	2556
CVII-55-3	11,4	9,5	-2,3	5,8	6,1 a	2639
CVII-215-10	1,9	11,6	-5,1	6,3	3,7 b	2661
CVII-85-1	7,0	12,2	-2,1	-4,9	3,0 b	2296
CVII-45-5	8,7	12,0	-1,5	8,2	6,8 a	2180
CVII-55-14	11,5	11,4	-3,6	11,3	7,6 a	2915
CVII-39-18	8,2	20,4	-0,8	-1,7	6,5 a	2565
CVII-119-4	3,8	14,3	-2,7	4,5	5,0 a	2414
CVII-39-24	-0,5	13,2	-6,8	1,1	1,7 b	2471
CVII-85-17	7,4	10,4	-0,5	6,6	6,0 a	2570
CVII-85-11	12,8	15,0	-3,1	-3,9	5,2 a	2606
MA-III-16-155	3,7	16,6	-9,0	6,1	4,3 a	2571
MA-III-16-165	5,8	6,6	-14,4	-1,0	-0,8 b	2216
RP-1	10,5	18,3	-4,8	-7,3	4,2 a	2293
MA-III-16-169	7,4	8,6	-2,8	6,2	4,9 a	2838
RP-2	3,6	6,3	0,1	1,4	2,8 b	2231
RP-3	4,1	17,9	-5,1	-3,4	3,3 b	2157
RP-4	-1,3	16,0	-7,3	3,6	2,8 b	2093
PF2-53	-4,3	7,9	-7,8	-13,8	-4,5 b	1252

“... continua...”

“TABELA 15, Cont.”

Linhagens	α				α médio	Prod. média Sem N
	Lavras seca 2007	Ijaci seca 2007	Lavras águas 07/08	Lavras seca 2008		
RP-5	8,0	15,9	-8,9	3,3	4,6 a	2291
MAN-1	5,4	10,5	-6,4	-2,6	1,7 b	2178
PF5-13	5,9	6,0	-8,6	5,8	2,3 b	2384
CARIOCA IAC	2,3	18,8	-6,2	-1,9	3,3 b	2401
ESAL 506	8,0	14,5	-4,1	1,1	4,9 a	2284
NEGRO ARGEL	8,3	9,7	-12,2	3,3	2,3 b	2482
ESAL 643	10,0	6,6	-5,5	3,0	3,5 b	2212
CARIOCA 300V	4,5	13,3	-2,0	-4,6	2,8 b	2291
ESAL 508	4,8	10,4	-8,4	-0,4	1,6 b	2478
ESAL 569	2,6	13,7	2,1	7,4	6,5 a	2434
ESAL 654	10,8	14,6	-9,3	-1,8	3,6 b	2310
VC-5	2,3	11,2	-6,5	-0,4	1,7 b	1963
VI-4899C	2,4	10,4	-4,4	-1,9	1,6 b	2459
IAPAR 81	5,0	7,1	-6,5	11,2	4,2 a	2088
CI-107	11,4	6,9	1,5	2,2	5,5 a	2182
ESAL 511	12,0	10,6	-9,6	2,9	4,0 b	2396
OURO	15,4	3,5	-6,6	-3,3	2,3 b	2221
BOLINHA	5,2	9,8	-12,4	-11,3	-2,2 b	1678
ESAL 588	9,9	15,6	-10,6	6,5	5,4 a	2505
TALISMA	3,8	10,3	-4,2	-1,3	2,2 b	2148
CARIOCA	1,0	8,4	-4,7	3,0	1,9 b	2323
PEROLA	0,5	14,1	-2,4	0,3	3,1 b	2836
CARIOCA MG	5,5	11,8	-8,5	-6,0	0,7 b	2303
OURO NEGRO	5,4	17,0	0,9	3,6	6,7 a	2736
P5-7	7,7	3,3	0,3	2,5	3,4 b	2282
P1-103	5,1	16,8	-9,2	-1,0	2,9 b	1820
P18-163	10,2	5,9	-7,4	-0,4	2,1 b	2616
P18-171	10,9	17,6	0,9	0,3	7,4 a	2411
MA-IV-18-524	7,1	3,9	-12,4	3,6	0,5 b	2341
MA-IV-18-264	9,2	9,6	-0,8	-0,5	4,4 a	2402
MA-IV-15-203	14,0	9,1	-6,6	-0,7	4,0 b	2626
MA-IV-15-204	2,2	11,4	-0,8	-0,1	3,2 b	2572
MA-IV-8-102	14,0	9,9	4,4	3,6	8,0 a	2372
MA-IV-18-266	0,4	16,8	-3,8	1,1	3,6 b	2465

“... continua...”

“TABELA 15, Cont.”

Linhagens	α				α médio	Prod. média Sem N
	Lavras seca 2007	Ijaci seca 2007	Lavras águas 07/08	Lavras seca 2008		
MA-IV-18-259	1,0	8,8	-1,3	6,2	3,7 b	2124
RC-II-2-21	5,8	8,7	-9,4	1,4	1,7 b	2473
RC-II-2-19	4,0	16,2	-9,2	4,9	4,0 b	2275
RC-II-10-26	0,7	7,7	-1,3	1,1	2,0 b	2220
RC-II-2-2	4,4	19,2	-3,1	4,0	6,1 a	2375
RC-II-14-27	3,6	10,0	-6,0	3,6	2,8 b	2317
RC-II-6-14	6,7	14,1	1,5	-4,4	4,5 a	2390
RC-II-14-22	8,0	6,3	-1,0	-2,1	2,8 b	2417
CVIII-3	7,6	11,6	0,5	4,5	6,1 a	2456
CVIII-4	10,4	12,1	6,7	0,5	7,4 a	2341
CVIII-7	1,9	16,3	5,6	-1,3	5,6 a	2137
CVIII-1	2,0	14,1	-1,3	-1,2	3,4 b	2476
CVIII-5	8,4	16,1	4,9	-0,7	7,2 a	2471
CVIII-6	4,4	10,9	-4,2	0,6	2,9 b	2541
CVIII-2	0,6	11,9	7,8	-2,4	4,5 a	2276
MA-III-9-91	6,7	12,2	3,3	7,4	7,4 a	2845
MA-III-17-179	-2,3	14,1	-8,5	7,6	2,7 b	2406
MA-III-17-185	1,8	4,2	-9,7	8,0	1,1 b	2388
PF5-9	6,5	11,2	-5,9	5,7	4,4 a	2190
PF-5-3	1,9	11,5	0,7	8,4	5,6 a	1980
PF3-47	5,5	15,1	0,1	5,3	6,5 a	2331
VALENTE	8,8	17,5	5,6	-5,6	6,6 a	2259
BRS SUPREMO	0,6	12,8	-3,1	-3,2	1,8 b	2090
VC-11	5,6	17,6	-6,7	8,4	6,2 a	2430
VC-9	6,7	10,2	-0,7	11,2	6,8 a	2651
BRS HORIZONTE	-3,2	3,9	1,7	2,7	1,3 b	2117
BJ-4	1,7	7,8	-10,9	-0,9	-0,6 b	2312
BJ-7	5,8	5,0	-16,8	-2,9	-2,2 b	2080
JALO EEP 558	16,3	11,6	-10,1	-2,9	3,7 b	2019
MA-I-2-5	2,8	8,7	-7,7	9,1	3,2 b	2422
MA-I-18-13	-1,2	8,3	-2,0	4,5	2,4 b	2039
OPNS-331	-1,0	13,2	-5,9	2,8	2,3 b	2351
Média	5,4	11,1	-3,7	2,4	3,8	2351

^{1/}Prod.média – produtividade média das linhagens sem aplicação de N.

^{2/}As média seguidas da mesma letra pertencem ao mesmo grupo, pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade.

5 DISCUSSÃO

Os experimentos foram conduzidos nas safras das “secas” – semeadura em fevereiro/março, em que as condições de precipitação são menos favoráveis à cultura e as temperaturas, especialmente no final do ciclo da cultura, são mais amenas. Outra safra utilizada foi a safra das “águas” – semeadura em novembro. Nessa época, as precipitações são mais constantes e em maior intensidade. Adicionalmente as temperaturas, especialmente as noturnas, são maiores (Figuras 1, 2 e 3). São nessas duas épocas de semeadura que se concentra a maioria do feijão cultivado no estado de Minas Gerais (Companhia Nacional de Abastecimento, 2008). Os dois locais utilizados, embora próximos, possuem condições relativamente distintas de fertilidade do solo, especialmente no teor de P_2O_5 e na saturação por bases (Tabela 1). Do exposto, as respostas das linhagens aos níveis de nitrogênio, ocorreram em condições que refletem o cultivo do feijoeiro na região.

Quando se realiza um experimento envolvendo níveis de adubação é aconselhável o emprego de bordadura nas parcelas. Considerando-se que foram avaliadas 100 linhagens de feijoeiro, as parcelas seriam grandes, e dificilmente seria possível obter uma área homogênea, especialmente no teor de matéria orgânica. Por essa razão, optou-se por realizar dois experimentos contíguos, sem a colocação de bordadura nas parcelas. Com tal estratégia é esperado que os dois experimentos próximos difiram, predominantemente, nos níveis de N utilizados. Ao que tudo indica essa estratégia foi correta, haja vista que a precisão experimental, quando se considerou os experimentos isolados foi boa. Na análise de variância conjunta, por exemplo, o CV foi de 12,7%, ou seja, valor esse inferior ao que tem sido relatado em experimentos com a cultura do feijoeiro, e quando se emprega parcelas maiores (Matos, 2005).

Em experimentos dessa natureza, um questionamento que surge, inicialmente, é sobre quais níveis de fertilizante utilizar. Considerando que foram avaliados apenas dois níveis, optou-se por considerar a ausência completa do fertilizante e a dose que tem sido recomendada, em condições de cultivo de alta tecnologia (Vieira, 2006b).

Verificou-se na média de todos os ambientes, que os experimentos com aplicação de nitrogênio produziram 16% acima daqueles onde não houve o fornecimento do mesmo. Esse valor correspondeu a 3,81 kg de grãos, por kg de N aplicado (Tabela 7). O nitrogênio é o nutriente mais exigido pela maioria das culturas, inclusive pelo feijoeiro. Por essa razão, a ocorrência de resposta ao nitrogênio na cultura do feijoeiro é freqüente (Kikut, 2004; Vieira, 2006b, Furtini et al., 2006). De um total de 80 experimentos em campo com a cultura do feijoeiro, conduzidos em cerca de 30 municípios de Minas Gerais, em 51, ou seja, em 64% dos ensaios, houve resposta positiva à aplicação do nitrogênio (Vieira, 2006b). Entretanto, a comparação da magnitude de resposta entre experimentos é difícil, porque ela depende de uma série de fatores, tanto ambientais, como genotípicos. Binotti et al. (2007) verificaram que a aplicação de 75 kg ha⁻¹ de N, proporcionou um aumento de 62% na produtividade do feijoeiro se comparado com a testemunha sem N. Em estudo conduzido em Minas Gerais, em que foram avaliadas 100 linhagens de feijoeiro na presença (40 kg ha⁻¹ de N) e ausência de N em cobertura, foi constatado que a resposta à aplicação de N correspondeu em média a 6,5 kg grãos, por kg de N aplicado.

As respostas obtidas pelo feijoeiro são inferiores ao que tem sido relatado para outras espécies, como por exemplo, o milho, em que a resposta média é de 17 kg de grãos por kg de N aplicado (Fidelis et al., 2007). Depreende-se que uma comparação direta da eficiência entre essas duas espécies não é possível.

Em uma análise superficial, em princípio, é possível inferir que o emprego de nitrogênio no feijoeiro apresentou retorno econômico. O preço atual do sulfato de amônio é R\$ 850,00 a tonelada e o da saca de 60 kg de feijão de R\$ 140,00. Como o sulfato de amônio possui 20% de N, cada kg de N custa R\$ 4,25. Considerando o preço do kg de N de R\$ 4,25 e do feijão de R\$ 2,33, 1 kg de N equivale a um poder de compra de 1,82 kg de feijão. Desconsiderando o custo de aplicação infere-se que qualquer resposta à aplicação de N superior a 1,82 kg seria economicamente viável. Procedimento semelhante foi adotado por Skalsky et al. (2008) ao utilizar equações de resposta ao N em milho, beterraba, feijão e cevada.

Deve ser salientado que ocorreu interação níveis de N x ambientes, ou seja, a resposta aos níveis de N não foi coincidente nos diferentes ambientes. As maiores respostas ocorreram nas safras da “seca”. Já na safra das “águas”, embora fosse notada diferença marcante no desenvolvimento vegetativo das linhagens no experimento em que houve aplicação de nitrogênio, isso não refletiu em incremento na produtividade de grãos. Sob condições de disponibilidade de N e na presença de muita umidade e calor, como ocorreu na safra das “águas” 07/08 (Figuras 2), as plantas são estimuladas a terem grande desenvolvimento vegetativo. A competição entre elas se intensifica e a eficiência reprodutiva é prejudicada. Em consequência, a produtividade de grãos na presença de N é reduzida.

Em experimentos desse tipo é indispensável que ocorra variabilidade genética para o caráter, entre as linhagens. Nesse trabalho, a variação entre as mesmas ficou evidenciada em algumas oportunidades. A primeira delas foi por meio do teste de F, da fonte de variação linhagens (Tabelas 1A, 2A, 5). As linhagens avaliadas foram obtidas nos últimos 30 anos, no programa de melhoramento da UFLA e também em outros programas do Brasil. Assim, era esperado que diferissem em produtividade, como de fato ocorreu. Constatou-se

que as estimativas da variância genética (σ^2_G) em todos os experimentos foram diferentes de zero (Tabela 8).

A variabilidade entre as linhagens também pode ser confirmada pelas estimativas da herdabilidade (h^2). A herdabilidade é um dos parâmetros genéticos mais importantes para o trabalho do melhorista. Ela fornece a proporção da variância fenotípica que pode ser perpetuada via seleção, ou seja, a proporção da variância genética presente na variância fenotípica total. Dessa forma, a herdabilidade possui um papel preditivo expressando a confiança do valor fenotípico como um indicador do valor reprodutivo (Bernardo, 2002). Em todos os experimentos, o limite inferior do intervalo de confiança (IC) foi positivo, indicando, com 95% de probabilidade, que as estimativas de h^2 são diferentes de zero (Tabela 9).

A comparação das estimativas de herdabilidade nem sempre é válida porque ela depende da população considerada, das condições ambientais, do número de progênies, da geração, do tamanho da parcela, da precisão experimental, entre outros (Cordeiro, 2001). Entretanto, os valores obtidos nesse trabalho para produtividade de grãos, são semelhantes aos relatados na literatura. Moreto (2005) fez uma compilação das estimativas de h^2 obtidas na literatura com a cultura do feijoeiro, utilizando diferentes metodologias e populações. O autor encontrou valores de h^2 , no sentido restrito, em média de 30%, variando de 1 a 60%.

É frequentemente relatado que as estimativas de h^2 são menores nos ambientes com estresses, devido a menor precisão experimental nessas condições (Banziger et al., 1997; Ceccarelli et al., 1998; Brancourt-Humel et al., 2005). Contudo, observou-se que as estimativas de h^2 foram semelhantes nas condições com ou sem estresse de N (Tabela 9). Resultados semelhantes foram relatados por Presterl et al. (2003). Portanto, pode-se inferir, em princípio, que

as condições para se ter sucesso com a seleção independem da presença ou não de estresse.

As estimativas dos ganhos esperados com a seleção, nas duas condições, foram expressivas e diferentes de zero (Tabela 10). Infere-se assim, que o sucesso seletivo pode ser alto, independente da existência ou não de estresse.

O que se questiona é se a seleção na presença de N proporcionaria ganhos sob condições de baixa disponibilidade do nutriente. A resposta correlacionada à seleção indireta só é superior à seleção direta do caráter, se a raiz quadrada da h^2 , em condições de estresse de N (h_y) for inferior ao produto da correlação genética do desempenho das linhagens nas duas condições pela raiz quadrada da herdabilidade entre as linhagens, na presença de N ($r_{xy}h_x$) (Falconer & Mackay, 1996). Nesse trabalho, as estimativas de h_y sempre foram superiores ao produto $r_{xy}h_x$. Isso ocorre quando a interação linhagens x níveis de N é expressiva (Ceccarelli, 2006). Verificou-se que a interação linhagens x níveis de N foi alta. Em algumas situações o componente da interação linhagens x níveis de N (σ^2_{GN}) foi até mesmo superior à estimativa da variância genética (Tabelas 11 e 12).

As estimativas da correlação genética (r_G) do desempenho médio das linhagens nos ambientes com e sem estresse de N, reforçam a presença da interação (Tabela 13). Como já mencionado, é oportuno salientar também que as estimativas da h^2 sob estresse de N foram relativamente altas, indicando que dificilmente a resposta correlacionada será superior à seleção direta na condição de estresse. As estimativas da resposta correlacionada pela seleção efetuada na presença de N e a resposta, no ambiente com estresse foram todas inferiores à seleção direta (Tabela 10). Esses resultados são semelhantes aos obtidos por Banziger et al. (1997) e Brancourt-Hulmel et al. (2005). Esses autores observaram que se o objetivo é a seleção de cultivares para ambientes com baixa

disponibilidade de N, a seleção deve ser realizada nessa condição, para se maximizar o ganho com a seleção.

Deve ser enfatizado, entretanto, que embora a resposta correlacionada à seleção indireta tenha sido inferior à seleção direta, ela foi expressiva (Tabela 10). Assim, é possível identificar algumas linhagens que apresentam bom desempenho tanto no ambiente com ou sem estresse. Para isso, foram estimados os índices de resposta à aplicação de nitrogênio (α) para cada linhagem (Thung, 1990). Dessa forma, pôde-se verificar qual a tolerância e a resposta de cada linhagem ao nitrogênio aplicado.

Um dos problemas que ocorre na avaliação das linhagens em vários ambientes e em diferentes condições de estresse, é a baixa repetibilidade dos resultados. Isso ocorre, por exemplo, devido às diferenças no manejo do solo, clima, ocorrência de patógenos, teores de matéria orgânica, ocasionando grande interação genótipos x ambientes. Desse modo, quando a interação genótipos x ambientes é complexa, o melhorista enfrenta problemas para selecionar cultivares para cada tipo de ambiente.

Embora a interação linhagens x ambientes fosse significativa (Tabela 14), verificou-se que algumas linhagens se comportaram de maneira semelhante na maioria dos ambientes (Tabela 15). Ressalta-se nesse caso o comportamento das linhagens BP-16, CVII-55-14, Ouro Negro e MA-III-9.91, que foram eficientes e responsivas, e das linhagens P-18-163, Pérola e MA-I-2.5, que foram eficientes, porém, não responsivas.

O desempenho das linhagens Ouro Negro e MA-I-2.5, em resposta ao N, também já foi constatado em outras oportunidades (Furtini et al., 2006). Em princípio, pode-se inferir que essas linhagens utilizam melhor o N disponível no solo que as demais. Pode ser também que essas linhagens possuem maior eficiência na fixação biológica de N com as estirpes nativas do solo, uma vez

que não foi realizada inoculação nas sementes. Para a linhagem Ouro Negro, esse último aspecto já foi constatado na literatura (Franco, 1995).

No presente trabalho foi possível identificar algumas linhagens de feijoeiro que se enquadram dentro do que todo melhorista almeja para condição de estresse. Ou seja, obter linhagens que apresentam elevada produtividade de grãos no ambiente com estresse, mas que também sejam responsivas à melhoria do ambiente. Assim, essas linhagens deveriam ser aproveitadas nos programas de melhoramento, visando a obtenção de cultivares para os agricultores de subsistência, que ocorrem em grande número no Brasil, e também para os agricultores que empregam alta tecnologia.

6 CONCLUSÕES

Cada kg de N aplicado corresponde ao incremento de 3,81 kg de grãos.

As linhagens avaliadas diferem na eficiência de utilização de nitrogênio. Dentre as mais eficientes e responsivas destacam-se: BP-16, CVII-55-14, Ouro Negro e MA-III-9.91.

As estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos dos diferentes níveis de nitrogênio permitem inferir que é possível obter sucesso com a seleção em ambientes com e sem estresse de N. Contudo, a seleção de linhagens para ambientes sob baixa disponibilidade do nutriente deve ser realizada, preferencialmente nessa condição.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRAMA, H. A. S.; ZACHARIA, A. G.; SAID, F. B.; TUINSTRAN, M. Identification of quantitative trait loci for nitrogen use efficiency in maize. **Molecular Breeding**, Dordrecht, v. 5, n. 2, p.187-195, 1999.
- ALVAREZ, V. V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. p. 25-32.
- ALVES, V. G. **Resposta do feijoeiro a doses de nitrogênio no plantio e cobertura e à inoculação de sementes com rizóbio**. 2002. 46 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- ATLIN, G. N.; FREY, K. J. Predicting the relative effectiveness of direct versus indirect selection for oat yield in three types of stress environments. **Euphytica**, Wageningen, v.44, n. 1-2, p. 137-142, Nov. 1989.
- AZCÓN, R.; RUIZ-LOZANO, J. M.; RODRÍGUEZ, R. Differential contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to plant nitrate uptake (¹⁵N) under increasing N supply to soil. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 79, n. 10, p. 1175–1180, Oct. 2001.
- BALASUBRAMANIAN, V.; MORALES, A. C.; CRUZ, R. T.; THIYAGARAJAN, T. M.; NAGARAJAN, R.; BABU, M.; ABDULRACHMAN, S.; HAI, L. H. Adaptation of the chlorophyll meter (SPAD) technology for real-time N management in rice: a review. **International Rice Research Institute**, Manial, v. 5, p. 25-26, 2000.
- BANZIGER, M.; BETRÁN, F. J.; LAFITTE, H. R. Efficiency of high-nitrogen selection environments for improving maize for low-nitrogen target environments. **Crop Science**, Madison, v. 37, n. 4, p.1103-1109, July/Aug. 1997.
- BELOW, F. E. Fisiologia, nutrição e adubação nitrogenada do milho. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 99, p. 7-12, 2002.

- BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. Woodbury: Minnesota, 2002. 368 p.
- BERTIN, P.; GALLAIS, A. Genetic variation for nitrogen use efficiency in a set recombinant maize inbred lines. I. Agrophysiological results. **Maydica**, Bergamo, v. 45, n. 1, p. 53-66, 2000.
- BERTIN, P.; GALLAIS, A. Physiological and genetic basis of nitrogen use efficiency in maize. II. QTL detection and coincidences. **Maydica**, Bergamo, v. 46, n. 1, p. 53-68, 2001.
- BINOTTI, F. F. S.; ARF, O.; ROMANINI JUNIOR, A.; FERNANDES, F. A.; SÁ, M. E. de.; BUZETTI, S. Manejo do solo e da adubação nitrogenada na cultura de feijão de inverno e irrigado. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 1, p.121-129, jan./mar. 2007.
- BLAIR, G. J. Nutrient efficiency – what to we really mean. In: RANDALL, P. J.; DELHAIZE, E.; RICHARD, R. A.; MUNNS, R. **Genetic aspects of plant mineral nutrition**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1993. p. 205-213.
- BRANCOURT-HULMEL, M.; HEUMEZ, E.; PLUCHARD, P.; BEGHIN, D.; DEPATUREAUX, C.; GIRAUD, A.; LE GOUIS, J. Indirect versus direct selection of winter wheat for low-input or high-input levels. **Crop Science**, Madison, v. 45, n. 4, p.1427-1431, July/Aug. 2005.
- BRIDGES, W. C.; KNAPP, S. J; CORNELIUS, P. L. Standard errors and confidence interval estimators for expected selection response. **Crop Science**, Madison, v. 31, n. 2, p. 253-255, Mar./Apr. 1991.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 588 p.
- CASSINI, S. T. A.; FRANCO, M. C. Fixação Biológica de Nitrogênio: microbiologia, fatores ambientais e genéticos. In: VIEIRA, C.; PAULA JUNIOR, T. J.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. p. 251-312.
- CASTLEBERRY, R. M.; CRUM, C. W.; CRULL, C. F. Genetic yield improvement of U.S. maize cultivars under varying fertility and climatic environments. **Crop Science**, Madison, v. 24, n. 1, p. 33-36, Jan./Feb. 1984.

CECCARELLI, S. Adaptation to low/high input cultivation. **Euphytica**, Dordrecht, v. 92, n. 1-2, p. 203-214, 1996.

CECARELLI, S.; GRANDO, S.; IMPIGLIA, A. Choice of selection strategy in breeding barley for stress environments. **Euphytica**, Wageningen, v. 103, n. 3, p. 307-318, 1998.

CECCARELLI, S.; GRANDO, S.; BAUM, M. Plant breeding for dry áreas. In: X SIMPÓSIO SOBRE ATUALIZAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS: Melhoramento de plantas visando a tolerância a estresses abióticos, 2006, Lavras. **Anais....** Lavras: UFLA/GEN, 2006. p. 29-57.

CLARK, R. B. Plant genotype differences in the uptake, translocation, accumulation, and use of mineral elements required for plant growth. **Plant and Soil**, v. 72, n. 2-3, p. 175-206, 1983.

COMPANIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Feijão**: safras 2007/2008. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 1 jul. 2008.

CORDEIRO, A. C. C. **Número de inter cruzamentos na eficiência da seleção recorrente na cultura do arroz**. 2001. 149 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

CRUSCIOL, C.A.C.; MAUAD, M.; ALVAREZ, R.C.F.; LIMA, E.V.; TIRITAN, C.S. Doses de fósforo e crescimento de cultivares de arroz de terras altas. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 4, p. 643-649, out./dez. 2005.

CUBILLA, M. M.; AMADO, T. J. C.; WENDLING, A.; ELTZ, F. L. F.; MIELNICZUK, J. Calibração visando à fertilização com fósforo para as principais culturas de grãos sob sistema plantio direto no Paraguai. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 6, p. 1463-1474, nov./dez. 2007.

DAWSON, J. C.; MURPHY, K. M.; JONES, S. S. Decentralized selection and participatory approaches in plant breeding for low-input systems. **Euphytica**, Dordrecht, v. 160, n. 2, p. 143-154, Mar. 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M. P. Avaliação preliminar de cultivares de arroz irrigado para maior eficiência de utilização de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 12, p. 1709-1712, dez. 1982.

FAGERIA, N. K. Efeito da calagem na produção de arroz, feijão, milho e soja em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1419-1424, nov. 2001.

FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M. P.; STONE, L. F. Resposta do feijão a adubação fosfatada. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.102, p.1-9, 2003.

FALCONER, D.S.; MACKAY, T.F.C. **Introduction to quantitative genetics**. 4.ed. England: Longman, 1996. 463 p.

FEIL, B.; THIRAPORN, R.; STAMP, P. In vitro nitrate reductase activity of laboratory-grown seedlings as an indirect selection for maize. **Crop Science**, Madison, v. 33, n. 6, p. 1280-1286, Nov./Dec. 1993.

FIDELIS, R. R.; MIRANDA, G. V.; SANTOS, I. C. dos; GALVÃO, J. C. C.; PELUZIO, J. M.; LIMA, S. O. Fontes de germoplasma de milho para estresse de baixo nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 3, p. 147-153, jul./set. 2007.

FOY, C. D.; FLEMING, A. L.; GERLOFF, G. C. Differential aluminum tolerance in two snap bean varieties. **Agronomy Journal**, Madison, v. 64, n. 6, p. 815-818, 1972.

FRANCO, A. A. Nutrição nitrogenada na cultura do feijoeiro. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 70, p. 4-5, jun. 1995.

FURTINI, I. V.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; FURTINI NETO, A.E. Resposta diferencial de linhagens de feijoeiro ao nitrogênio. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 6, p. 1696-1700, nov./dez. 2006.

FURTINI NETO, A.E. **Eficiência nutricional, cinética de absorção e frações fosfatadas em Eucalyptus spp**. 1994. 99 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

FURTINI NETO, A. E.; FERNANDES, L. A.; FAQUIN, V.; SILVA, I. R.; ACCIOLY, A. M. A. Resposta de cultivares de feijoeiro ao enxofre. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 3, p. 567-573, mar. 2000.

FURTINI NETO, A. E.; VALE, F. R.; RESENDE, A. V.; GUILHERME, L. R. G.; GUEDES, G. A. A. **Fertilidade do solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 252 p.

GALLAIS, A.; HIREL, B. An approach of the genetics of nitrogen use efficiency in maize. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, n. 396, p. 295-306, Feb. 2004.

GRANT, C. A.; PLATEN, D. N.; TOMAZIEWICZ, D. J.; SHEPPARD, S. C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.95, p. 1-11, set. 2001.

GUZZELLI, E. M. F. M. **Efeito de nitrato e amônio no crescimento, assimilação e eficiência de utilização do nitrogênio por cultivares de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) na fase inicial de crescimento**. 1988. 112 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

HIREL, B.; LE GOUIS, J.; NEY, B.; GALLAIS, A. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 58, n. 9, p. 2369-2387, 2007.

KAMPRATH, E. J. et al. Effects of nitrogen fertilization and recurrent selection on performance of hybrids populations of corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, n. 6, p. 955-958, Nov./Dec.1982.

KIKUT, H. **Resposta do feijoeiro (cv. BRS-MG Talismã) a doses de nitrogênio e fósforo**. 2004. 124p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

KIMANI, J. M.; TONGOONA, P. The mechanism of genetic control for low soil nitrogen (N) tolerance in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Euphytica**, Dordrecht, n. 2, p. 193-203, July 2007.

KNAPP, S. J.; STROUP, W. W.; ROSS, W. M. Exact confidence intervals for heritability on a progeny mean basis. **Crop Science**, Madison, v. 25, n. 1, p. 192-194, Jan./Feb. 1985.

LAGO, F. J. do. **Estratégias de seleção de linhagens de feijoeiro eficientes no uso de nitrogênio**. 2007. 66 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

LANA, R. M. Q.; ZANAO JUNIOR, L. A.; CORREIA, N. M.; LANA, A. M. Q. Variabilidade entre genótipos de feijoeiro na eficiência no uso do fósforo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 778-784, maio/jun. 2006

LE GOUIS, J.; PLUCHARD, P. Genetic variation for nitrogen use efficiency in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). **Euphytica**, Dordrecht, v. 92, n. 1-2, p. 221-224, 1996.

LE GOUIS, J.; BÉGHIN, D.; HEUMEZ, E.; PLUCHARD, P. Genetic differences for nitrogen uptake and nitrogen utilization efficiencies in winter wheat. **European Journal of Agronomy**, v.12, p.163-173, 2000.

MACHADO, C. T. T.; FURLANI, A. M. C. Kinetics of phosphorus uptake and root morphology of local and improved varieties of maize. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 1, p. 69-76, Jan./Feb. 2004.

MAJEROWICZ, N.; PEREIRA, J.M.S.; MEDICI, L.O.; BISON, O.; PEREIRA, M.B.; SANTOS JÚNIOR, U.M. Estudo da eficiência de uso do nitrogênio em variedades locais e melhoradas de milho. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 129-136, abr./jun. 2002.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. San Diego, Academic, 1995. 889p.

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

MIRANDA, G. V.; GODOY, C. L.; GALVÃO, J. C. C.; SANTOS, I. C. dos; ECKERT, F. R.; SOUZA, L. V. Selection of discrepant maize genotypes for nitrogen use efficiency by a chlorophyll meter. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 5, n. 4, p. 451-459, Oct./Dec. 2005.

MOLL, R.H.; KAMPRATH, E.J.; JACKSON, W.A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, n. 3, p. 562-564, May/June 1982.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Ufla, 2006. 729 p.

MORETO, A. L. **Componentes da variância fenotípica em feijoeiro utilizando o método genealógico**. 2005. 75 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

MSTAT-C. **A software program for the design, management and analysis of agronomic research experiments**. Michigan: Michigan State University, 1991. p. ir.

PARENTONI, S. N. **Estimativas de efeitos gênicos de diversos caracteres relacionados à eficiência e resposta ao fósforo em milho tropical**. 2008. 207 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

PETERSON, T. A.; BLACKMER, T. M.; FRANCIS, D. D.; SCHEPERS, J. S. **Using a chlorophyll meter to improve N management**. Nebraska: University of Nebraska-Lincoln, 1993. 4 p.

PRESTERL, T.; SEITZ, G.; LANDBECK, M.; THIEMT, W.; SCHMIDT, W.; GEIGER, H.H. Improvement nitrogen use efficiency in European maize: estimation of quantitative genetic parameters. **Crop Science**, Madison, v. 43, n. 4, p. 1259-1265, July/Aug. 2003.

PROCÓPIO, S. O.; SANTOS, J. B.; PIRES, F. R.; SILVA, A. A.; MENDONÇA, E. S. Absorção e utilização do fósforo pelas culturas da soja e do feijão e por plantas daninhas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 6, nov./dez. 2005.

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 300 p.

RIBAUT, J. M.; HOISINGTON, D. A.; DEUTSCH, J.; GONZALEZ de LEON, D. Identification of quantitative trait loci under drought conditions in tropical maize: Flowering parameters and the anthesis-silking interval. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 92, n. 7, p. 905-914, May 1996.

- RODRIGUES, J. R. de M.; ANDRADE, M.J.B. de; CARVALHO, J.G. de; MORAIS, A.R.de; REZENDE, P.M. de. População de plantas e rendimento de grãos do feijoeiro em função de doses de nitrogênio e fósforo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 6, p.1218-1277, Nov./Dec. 2002.
- ROSIELLE, A. A.; HAMBLIN, J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. **Crop Science**, Madison, v. 21, n. 6, p. 943-946, Nov./Dec. 1981.
- SANTOS, A. B.; FAGERIA, N. K. Manejo do nitrogênio para eficiência de uso por cultivares de feijoeiro em várzea tropical. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 9, p. 1237-1248, set. 2007.
- SGUARIO-JÚNIOR, J. C.; DAROS, E.; PAULETTI, V.; RONZELLI-JUNIOR, P.; SOARES-KOEHLER, H.; OLIVEIRA, R. A. de. Doses e formas de aplicação de potássio na cultura do feijoeiro em sistema de plantio direto na palha. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 7, n. 1-2, p. 9-14, 2006.
- SILVA, C. C. da; SILVEIRA, P. M. da. Influência de sistemas agrícolas na resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado à adubação nitrogenada em cobertura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 30, n. 2, p. 86-96, jul./dez. 2000.
- SILVA, M. V. da. **Aplicação foliar de cobalto, inoculação com rizóbio e adubação nitrogenada na cultura do feijoeiro**. 2002. 54 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- SILVA, T. O. da. **Frações nitrogenadas em linhagens de feijoeiro submetidas a doses e fontes de nitrogênio e suas relações com a produtividade de grãos**. 2007. 80p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- SINEBO, W.; GRETZMACHER, R.; EDELBAUER, A. Environment of selection for grain yield in low fertilizer input barley. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 74, n. 2-3, p. 151-162, Mar. 2002.
- SINEBO, W.; GRETZMACHER, R.; EDELBAUER, A. Genotypic variation for nitrogen use efficiency in Ethiopian barley. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 85, n. 1, p. 43–60, Jan. 2004.

SKALSKY, S. A.; JACOBS, J. J.; MENKHAUS, D. J.; STEVENS, W. B. Impact of fuel and nitrogen prices on profitability of selected crops: a case of study. **Agronomy Journal**, Madison, v. 100, n. 4, p. 1161-1165, July/Aug. 2008.

SOUZA, A. B. de.; ANDRADE, M. J. B. de.; VIEIRA, N. M. B.; ALBUQUERQUE, A. de. Densidades de semeadura e níveis de NPK e calagem na produção do feijoeiro sob plantio convencional, em Ponta Grossa, Paraná. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, n. 1, p. 39-43, July/Aug. 2008.

SOUZA, M. A. de. Estratégias de melhoramento para condições de estresses abióticos. In: SIMPÓSIO SOBRE ATUALIZAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS: Melhoramento de plantas visando a tolerância a estresses abióticos, 2006, Lavras. **Anais....** Lavras: UFLA/GEN, 2006. p. 1-11.

THUNG, M. Phosphorus: a limiting nutrient in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) production in Latin America and field screening for efficiency and response. In: EL BASSAM, N.; DAMBROTH, M.; LOUGHMAN, B.C. (Ed.). **Genetic aspects of plant mineral nutrition**. Dordrecht: Kluwer, 1990. p. 501-521.

VAN GINKEL, M.; ORTIZ-MONASTERIO, I.; TRETOWAN, R.; HERNANDEZ, E. Methodology for selecting segregating populations for improved nitrogen-use efficiency in bread wheat. **Euphytica**, Dordrecht, v. 119, n. 1-2, p. 223-230, 2001.

VIEIRA, N. M. B. **Crescimento e marcha de absorção de nutrientes no feijoeiro cvs. BRS- MG Talismã e Ouro Negro, em plantio direto e convencional**. 2006a. 145 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

VIEIRA, C. Adubação mineral e calagem. In: VIEIRA, C.; PAULA JUNIOR, T. J.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006b. p. 115-142.

VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 299-325.

ANEXOS

	Página
TABELA 1A. Resumo das análises de variância individuais por nível de nitrogênio, em cada ambiente, para produtividade de grãos (g/parcela), obtidos na avaliação das linhagens de feijoeiro, no período de março de 2007 a junho de 2008.....	66
TABELA 2A. Resumo das análises de variância conjunta dos níveis de nitrogênio, para cada ambiente, para produtividade de grãos (g/parcela), obtidos na avaliação das linhagens de feijoeiro, no período de março de 2007 a junho de 2008.....	67

TABELA 1A. Resumo das análises de variância individuais por nível de nitrogênio, em cada ambiente, para produtividade de grãos (g/parcela), obtidos na avaliação das linhagens de feijoeiro, no período de março de 2007 a junho de 2008.

FV	GL	QM							
		Lavras seca 2007		Ijaci seca 2007		Lavras águas 2007/08		Lavras seca 2008	
		Com N	Sem N	Com N	Sem N	Com N	Sem N	Com N	Sem N
Tratamentos	99	14845,312**	26018,466**	19738,217**	9074,423**	16571,321**	16307,158**	28756,454**	25376,681**
Erro	171; (198) ^{1/}	9806,244	10975,516	9519,642	4625,597	5175,496	8734,174	10641,724	8984,758
Média		505,81	398,11	660,21	437,39	397,45	470,87	622,07	574,28
CV (%)		19,58	26,32	14,78	15,55	18,10	19,85	16,58	16,51
ER (%)		100,24	114,99	100,57	108,72	108,20	<100	110,29	111,37

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste de F.

^{1/} Graus de liberdade correspondentes ao experimento sem aplicação de nitrogênio na safra das “águas 2007/08.

TABELA 2A. Resumo das análises de variância conjunta dos níveis de nitrogênio, para cada ambiente, para produtividade de grãos (g/parcela), obtidos na avaliação das linhagens de feijoeiro, no período de março de 2007 a junho de 2008.

FV	GL	QM			
		Lavras seca/07	Ijaci seca/07	Lavras águas 07/08	Lavras seca/08
Repetição/níveis	4	144186,517 (0,000) ^{1/}	16165,553 (0,059)	13810,973 (0,102)	64478,953 (0,000)
Níveis (N)	1	1740022,749 (0,021)	7446577,569 (0,000)	808662,576 (0,000)	342482,202 (0,083)
Linhagens (C)	99	26203,890 (0,000)	17246,247 (0,000)	20755,716 (0,000)	43536,324 (0,000)
N x C	99	14658,105 (0,013)	11567,580 (0,000)	12121,809 (0,000)	10596,702 (0,305)
Erro médio	342 (369) ^{2/}	10390,880	7072,619	7085,031	9813,241
Média		451,96	548,80	434,16	598,18
CV (%)		15,47	11,31	14,64	9,94

^{1/} Probabilidade de significância, pelo teste de F.

^{2/} Grau de liberdade correspondente ao experimento de Lavras na safra das águas 2007/08.