



**DAYANE CRISTINA LIMA**

**RESPOSTA DIFERENCIAL DE PROGÊNIES DE FEIJOEIRO  
À EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA**

**LAVRAS - MG  
2016**

**DAYANE CRISTINA LIMA**

**RESPOSTA DIFERENCIAL DE PROGÊNIES DE FEIJOEIRO À EFICIÊNCIA NO  
USO DA ÁGUA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para obtenção do título de doutor.

Dra. Ângela de Fátima Barbosa Abreu  
Orientadora

Prof. Dr. Magno Antonio Patto Ramalho  
Coorientador

**LAVRAS - MG**

**2016**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Lima, Dayane Cristina.

Resposta diferencial de progênies de feijoeiro à eficiência no  
uso da água / Dayane Cristina Lima. - 2016.

56 p. : il.

Orientador(a): Ângela de Fátima Barbosa Abreu.

Coorientador(a): Magno Antonio Patto Ramalho

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2016.

Bibliografia.

1. Produtividade de grãos. 2. Estresse abiótico. 3. *Phaseolus  
vulgaris* L. I. Abreu, Ângela de Fátima Barbosa. II. Ramalho,  
Magno Antonio Patto. III. Título.

O conteúdo desta obra é de responsabilidade do(a) autor(a) e de seu  
orientador(a).

**DAYANE CRISTINA LIMA**

**RESPOSTA DIFERENCIAL DE PROGÊNIES DE FEIJOEIRO À EFICIÊNCIA NO  
USO DA ÁGUA**

**DIFFERENTIAL RESPONSE OF COMMON BEANS PROGENIES TO WATER USE  
EFFICIENCY**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para obtenção do título de doutor.

APROVADA em 16 de dezembro de 2016.

Profa. Dra. Flávia Barbosa Silva Botelho      UFLA

Dr. Helton Santos Pereira                              EMBRAPA

Prof. Dr. José Airton Rodrigues Nunes              UFLA

Dra. Ângela de Fátima Barbosa Abreu  
Orientadora

Prof. Dr. Magno Antonio Patto Ramalho  
Coorientador

**LAVRAS - MG  
2016**

*Aos meus pais, Carlos e Zeli.*

*Aos meus irmãos, Júlia, Luiz Felipe e Tatiane.*

*Ao meu sobrinho, Arthur.*

*Ao meu cunhado, Paulo.*

*As minhas avós, Orica (em lembrança) e Aparecida.*

*Ao meu noivo, Lucas.*

*A minha amiga e orientadora, Ângela.*

*Dedico*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por iluminar meu caminho.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, pela oportunidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão das bolsas de estudos de doutorado e doutorado sanduíche.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), pelo apoio na realização do trabalho.

À Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), pelo auxílio na condução dos experimentos. Em especial, aos funcionários da EPAMIG de Patos de Minas.

Aos professores do programa, pelos inúmeros ensinamentos dentro e fora da sala de aula, pela amizade e boa vontade.

Ao professor Magno Antonio Patto Ramalho, pela excelente coorientação e colaboração, pelo exemplo profissional, pelos inúmeros ensinamentos, pela amizade e boa vontade.

Ao professor José Airton Rodrigues Nunes, por todo o suporte nas análises estatísticas, pela disponibilidade e excelentes contribuições.

Aos membros da banca, pelas contribuições, disponibilidade e boa vontade.

Aos funcionários do Departamento de Biologia, pelo apoio, pela ótima convivência no dia a dia, pelas horas de prosa e pela amizade. No departamento, Dona Iron, Du (em lembrança), Zélia, Raffa, Liloça, Barrinha, Lamartine, Gi, Ramon, Iara, Miler, Felipe e Cleber. Em campo, Léo, Lindolfo, Zé Carlinho, Vera e Marlene.

Ao grupo do Feijão, pelas incontáveis horas de alegria e prosa boa, pelo trabalho em equipe, pelas amizades construídas. Vocês fizeram o dia a dia no campo e na salinha mais prazerosos.

Aos membros do laboratório de citogenética, pelo apoio e parceria. As professoras Vânia e Lisete, pela coorientação no trabalho de qualificação, sempre com boa vontade e paciência para me ensinar. Aos estudantes, Gui e Cris pela ajuda e boa vontade. Aos técnicos, pelo suporte e boa vontade.

Ao meu orientador do doutorado sanduíche, Stephen Paul Difazio, por todo o conhecimento compartilhado durante o período em que estive na West Virginia University, pela oportunidade e amizade.

Aos amigos e colegas que fiz na West Virginia, pelo carinho, atenção, amizade e por tornarem meus dias mais alegres. Espero um dia revê-los.

Aos amigos do GEN pela amizade, pelos ótimos momentos compartilhados, pela troca de conhecimento e apoio.

Aos amigos da UFLA, por todos os momentos, pelo apoio e amizade.

Aos amigos de república, Marcinho, Zina e Tibas, pela ótima convivência, amizade e parceria.

Ao meu amigo Ricardo, pela amizade sincera, boa vontade, parceria e grande suporte nas análises estatísticas.

Aos amigos e colegas feitos e mantidos ao longo da jornada. Que os momentos que passamos juntos jamais sejam esquecidos. Amigos de Lavras, Divinópolis, Morgantown, e de tantos outros lugares, vocês fizeram com que a caminhada fosse mais prazerosa e alegre.

Aos meus pais, Carlos e Zeli, por caminharem junto comigo, pelo amor e apoio incondicional, pelo companheirismo e confiança, pelo exemplo de vida em cada passo, pelos ensinamentos e convivência feliz.

Aos meus irmãos, Júlia, Luiz Felipe e Tatiane, pelo amor e companheirismo, amizade e carinho.

Ao meu sobrinho Arthur, pelo amor, companheirismo. Você é alegria e encanto nos meus dias.

A toda minha família, pelo apoio, amizade e carinho.

Ao meu noivo, Lucas, pelo amor, companheirismo, cumplicidade, por apoiar meus sonhos e pelo maravilhoso ano durante o doutorado sanduíche.

Aos meus sogros, Cleusa e Deca, por todo apoio, orações e amizade.

A minha orientadora, Ângela, pela amizade e companheirismo, pelo exemplo e ensinamentos, pela dedicada e maravilhosa orientação. Você foi durante todos esses anos uma segunda mãe, fica minha admiração e gratidão.

Aos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização desse trabalho, muito obrigada. Keju!

## RESUMO

Os objetivos deste trabalho foram: avaliar progênies de feijoeiro quanto a produtividade de grãos e eficiência no uso da água; verificar se a seleção na condição sem estresse hídrico reflete a seleção que seria praticada na condição de estresse. Para isso, 80 progênies da população do cruzamento entre as cultivares BRSMG Talismã x G4280 e 80 progênies da população do cruzamento entre BRSMG Talismã x G6492 e nove testemunhas foram avaliadas em experimentos contíguos, em condição de alta (ADA) e baixa (BDA) disponibilidade de água em Lavras e Patos de Minas, MG, nos anos de 2014 e 2015. O delineamento experimental foi látice triplo 13x13 e as parcelas foram de uma linha de 2m espaçadas de 0,5m. As características avaliadas foram produtividade de grãos e eficiência no uso da água (EUA). Foram estimadas as variâncias genéticas, herdabilidade, acurácia seletiva, ganho esperado e resposta correlacionada à seleção, correlação genética entre ADA e BDA, correlação genética entre as duas características avaliadas e índice de risco na recomendação (IR). Concluiu-se que: as progênies responderam de modo distinto aos níveis de água aplicado, sendo possível identificar progênies com alta produtividade e boa EUA; as duas condições de avaliação foram igualmente eficientes na seleção, como comprovado pelas estimativas dos ganhos esperados com a seleção, que foram sempre altos, tanto em BDA como ADA; as progênies diferiram no risco de sua recomendação (IR). Algumas progênies apresentaram IR próximo de zero, ou seja, são tolerantes em BDA e responsivas sob condições de maior disponibilidade de água, o que é altamente desejado.

**Palavras-chave:** Produtividade de grãos. Estresse abiótico. *Phaseolus vulgaris* L.

## ABSTRACT

With this work we intended to evaluate common bean progenies for grain yield and water use efficiency; verify if the selection in condition without water stress reflects the selection that would be practiced under stress. For this, 80 progenies of the population from BRSMG Talismã x G4280 cross, 80 progenies of the population from BRSMG Talismã x G6492 cross and nine controls were evaluated in contiguous experiments, with high (ADA) and low (BDA) water availability in Lavras and Patos de Minas, MG, in the years 2014 and 2015. The experimental design was 13 x 13 triple lattice with plots of one two-meter row and spaced 0.5m apart. The traits considered in the evaluation were grain yield and water use efficiency (EUA). It was estimated genetic variance, heritability, accuracy, gain expected from selection, correlated response to selection, genetic correlation between ADA and BDA, genetic correlation between the two character evaluated and risk index in the recommendation (IR). The study concluded that the progenies had distinct responses to applied water levels, being possible to identify progenies with high grain yield and EUA; the two conditions of evaluation were equally efficient in the selection, as can be verified by estimates of expected gains with selection, which were always high, as BDA as ADA; progenies differed in risk of their recommendation (IR). Some progenies had IR close to zero, that is, they are tolerant in BDA and responsive under conditions of greater water availability, which is highly desired.

**Keywords:** Grain yield. Abiotic stress. *Phaseolus vulgaris* L.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	11
2.1 Importância econômica e social do feijoeiro no Brasil.....	11
2.2 Estresse hídrico na cultura do feijoeiro.....	11
2.3 Estratégias de melhoramento visando eficiência do uso da água e tolerância ao estresse hídrico .....	13
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3.1 Locais.....	19
3.2 Obtenção das progênies .....	19
3.3 Tipo de progênie, local e época de semeadura .....	20
3.4 Condução e avaliação dos experimentos .....	20
3.5 Características avaliadas e análise dos dados .....	21
4 RESULTADOS .....	28
5 DISCUSSÃO .....	40
6 CONCLUSÃO.....	45
REFERÊNCIAS .....	46
APÊNDICE .....	52

## 1 INTRODUÇÃO

O sistema de cultivo do feijoeiro no Brasil é muito diversificado em função do tipo de agricultor e, sobretudo, da época de semeadura. Em alguns estados, como o de Minas Gerais, o cultivo pode ser realizado praticamente durante todo o ano (ARAÚJO; FERREIRA, 2006). Contudo, em alguns períodos a irrigação é necessária, pois não ocorre precipitação (chuvas) e mesmo em épocas em que ocorrem chuvas, nem sempre são bem distribuídas. Desse modo, os trabalhos dos melhoristas ao longo do tempo, direta ou indiretamente, tem como foco a seleção de cultivares que sejam tolerantes à deficiência hídrica (seca) ou mais eficientes no uso da água (EUA).

Provavelmente a procura de cultivares mais tolerantes à seca é o objetivo das pesquisas que mais tem despertado a atenção dos melhoristas (BOYER et al., 2013; CECCARELLI, 2014). Principalmente com a ocorrência do aquecimento global e previsões de que a seca será acentuada em algumas regiões, essa linha de pesquisa tem sido incrementada (CECCARELLI, 2014; MUKESHIMANA et al., 2014). De modo geral, a seleção tem sido direcionada à obtenção de plantas/linhagens/híbridos tolerantes à deficiência hídrica. O número de pesquisas, contudo, é menor quando o foco é direcionado à obtenção de cultivares eficientes no uso da água, ou seja, tolerantes às condições de baixa precipitação, mas que respondam quando ocorre maior disponibilidade de água.

O programa de melhoramento genético do feijoeiro conduzido no sudeste do estado de Minas Gerais, há algum tempo tem procurado identificar populações segregantes que tenham potencial para serem utilizadas na seleção visando maior EUA (BIUDES et al., 2008). Duas populações se mostraram promissoras. A obtenção e avaliação das progênies dessas populações sob diferentes níveis de água é importante para verificar a viabilidade da obtenção de novas cultivares de feijão que associem boa produtividade de grãos sob deficiência hídrica (DH) e sejam responsivas na ausência de DH. As estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos obtidas nessas avaliações certamente poderão auxiliar os melhoristas na tomada de decisão na continuidade do programa de seleção para maior EUA na região.

O objetivo deste trabalho foi selecionar progênies de feijoeiro altamente produtivas e eficientes no uso da água. Além disso, verificar se a seleção na condição sem estresse hídrico reflete a seleção que seria praticada na condição de estresse.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Importância econômica e social do feijoeiro no Brasil

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é um dos alimentos mais importantes no Brasil (70% dos brasileiros consomem feijão diariamente) e, juntamente com o arroz, forma a base da alimentação brasileira (BRASIL, 2016; BORÉM; CARNEIRO, 2015). O feijão é o principal fornecedor de proteína para as famílias de baixa renda. Aliado às suas qualidades nutricionais, suas características econômicas fazem com que a cultura seja de grande importância para a agricultura (BORÉM; CARNEIRO, 2015; POLANIA et al., 2016a). É cultivado desde agricultores tipicamente de subsistência até grandes empresários rurais. Dependendo do nível tecnológico e da região do país, o feijoeiro pode ser cultivado durante todo ano. A cultura tem destaque no cenário produtivo do país em razão da sua adaptação edafoclimática que permite a produção em todas as regiões do país (MOURA; BRITO, 2015).

O Brasil é o maior produtor e consumidor de feijão, com produção média anual de 2,5 milhões de toneladas (feijão tipo preto e carioca) e consumo per capita em torno de 16 kg/habitante/ano (CONAB, 2016; WANDER, 2014). Os maiores estados produtores são, Paraná, com produção de aproximadamente 665 mil toneladas, e produtividade de 1,67 tonelada/hectare na estimativa da safra 2016/2017, e Minas Gerais, com a produção de aproximadamente 537 mil toneladas e produtividade de 1,54 tonelada/hectare no mesmo período (CONAB, 2016).

### 2.2 Estresse hídrico na cultura do feijoeiro

A maioria das culturas, e entre elas o feijoeiro, tem sua produção influenciada pela disponibilidade de água (ASSEFA et al., 2015; CECCARELLI, 2014; FAROOQ et al., 2012; POLANIA et al., 2016a; PORCH et al., 2009; URREA et al., 2009). No caso do feijoeiro a deficiência hídrica pode causar perdas que variam de 10 a 100% e cerca de 60% das regiões produtoras de feijão são afetadas pela seca, que é considerada o segundo fator mais importante de redução da produção, ficando atrás apenas das doenças (POLANIA et al., 2016a; RAO, 2014; THUNG; RAO, 1999; URREA et al., 2009). Nas regiões tropicais, geralmente afetadas por variações climáticas acentuadas, com períodos frequentes sem chuva ou chuvas irregularmente distribuídas, as possíveis perdas econômicas são mais significativas (MUKESHIMANA et al., 2014). Essas perdas são agravadas por vários outros fatores,

incluindo a baixa fertilidade natural do solo, práticas de manejo ineficientes, estresses bióticos e a combinação de deficiência hídrica com outros estresses abióticos (ASSEFA et al., 2015; CECCARELLI, 2014).

Estresse hídrico (seca) é definido por Ceccarelli (2014) como nível de água disponível abaixo do que é necessário para a cultura expressar o seu potencial em termos de crescimento e produção. Esse estresse pode ocorrer em diferentes períodos do desenvolvimento da cultura, com intensidades e duração variadas, dependendo da quantidade de água disponível.

O feijoeiro é uma espécie bastante sensível à deficiência hídrica, tornando-se este um dos principais limitantes da produtividade e qualidade de grãos. A necessidade hídrica para suprir a demanda durante o ciclo do feijoeiro tem sido descrita variando de 300 a 500 mm, dependendo da linhagem, da capacidade de retenção de água do solo, do manejo agrícola e das condições climáticas locais (ANDRADE et al., 2015; SILVEIRA; STONE; VIEIRA, 2015). Muitas vezes a deficiência hídrica é associada a altas temperaturas, que também influenciam na produção do feijoeiro. A falta ou o excesso de água pode comprometer a produtividade de grãos (ANDRADE et al., 2015). Esses fatores são específicos de cada região. Dessa forma, a época de semeadura e a cultivar a ser utilizada também devem variar.

No estado de Minas Gerais, o feijão pode ser cultivado em praticamente todos os meses do ano. Conforme proposto por Vieira et al. (2004), podem-se considerar quatro épocas de semeadura em função das estações do ano: a de primavera-verão, verão-outono, outono-inverno e inverno-primavera. No cultivo de primavera-verão a semeadura é feita em outubro ou novembro, no início do período chuvoso, e a colheita, no começo do verão. É comumente chamado de “feijão das águas”. Este é o cultivo mais praticado pelos produtores que não possuem o recurso da irrigação, porém é grande a chance de chuvas durante a época de maturação e colheita, ficando a qualidade dos grãos comprometida. No cultivo de verão-outono, ou feijão da “seca”, a semeadura é realizada em fevereiro-março, final da época das chuvas. Nessa safra, a escassez ou a má distribuição das chuvas pode comprometer o desenvolvimento da cultura sendo necessária a utilização de irrigações suplementares para que se obtenha boa produtividade. Nas safras de “outono-inverno” e “inverno-primavera”, cujas semeaduras ocorrem, respectivamente, nos meses de abril-junho e julho-agosto, a cultura deve ser irrigada e é mais praticada em regiões com alto investimento em tecnologia. Assim, fica evidente que, para garantir boa produtividade da cultura há necessidade de uso de irrigação. Entretanto, nos últimos anos as chuvas têm-se tornado mais escassas e a utilização indiscriminada da água tem-se tornado preocupante, não só em Minas Gerais, mas também em várias partes do planeta (CECCARELLI, 2014; RUIZ-NIETO et al., 2015). Entre as

opções para mitigar esse problema e garantir a produção de alimentos está o melhoramento para tolerância à seca, que tem sido o alvo de pesquisa em várias culturas (HU; XIONG, 2014; ZHANG et al., 2014; ZIYOMO; BERNARDO, 2013).

A ocorrência de deficiência hídrica durante a fase inicial de desenvolvimento da cultura provoca redução do crescimento e da superfície fotossintética, ocorrendo, conseqüentemente, menor número de flores, de vagens por planta e de sementes por vagem evidenciando redução da produção. As fases de floração e de desenvolvimento da vagem são consideradas como as mais sensíveis. Quando a deficiência hídrica ocorre na fase do florescimento e início de formação das vagens, a redução na produtividade deve-se à baixa porcentagem de pegamento das flores e ao abortamento de óvulos, produzindo vagens chochas (GUIMARÃES et al., 2011). A restrição hídrica no período de floração pode acarretar redução tanto na estrutura da planta, quanto no tamanho e no número de vagens e de sementes por vagem, o que afeta o rendimento da cultura. Após o florescimento, a ausência de água diminui a produção de matéria seca e grãos, fator limitante para a cultura (BLAIR et al., 2012). A produtividade de grãos decresce de acordo com o aumento no número de dias em condições de deficiência hídrica e tem sido observado que as cultivares respondem de forma diferenciada, independentemente da magnitude do estresse, ou seja, apresentam variabilidade para o caráter em questão (MOLINA et al., 2001; SINGH, 1995).

De uma forma geral, a deficiência hídrica desencadeia uma série de processos fisiológicos, que objetivam resguardar a planta, evitando a sua morte. Pode-se citar: a diminuição da área foliar devido ao estímulo à abscisão feito pelo estresse, aprofundamento das raízes em direção à zona dos solos que permanecem úmidas, fechamento dos estômatos, reduzindo a evaporação da área foliar, limitação e inibição da fotossíntese, alteração da dissipação de energia das folhas e alteração da expressão gênica devido ao estresse osmótico que é ocasionado pela deficiência hídrica.

Há ativação de rotas metabólicas alternativas, desencadeando outros processos (TAIZ et al., 2015). Todos esses processos culminam em uma menor produção de grãos. Portanto, a produção de plantas, limitada pela água, depende da quantidade disponível deste recurso e da eficiência do seu uso pela planta. Uma planta capaz de obter mais ou perder menos água ou que tem maior eficiência no seu uso resistirá melhor à seca.

### **2.3 Estratégias de melhoramento visando eficiência do uso da água e tolerância ao estresse hídrico**

Quando um genótipo produz significativamente mais que outro sob estresse hídrico ele é relativamente mais tolerante (BLUM, 2005). A experimentação em campo busca de forma confiável quantificar a diferença entre os genótipos e selecionar aqueles com melhor desempenho e tolerância à deficiência hídrica (BEEBE et al., 2013; BLUM, 2011; CECCARELLI, 2014; CATTIVELLI et al., 2008; VOLTAS; LÓPEZ-CÓRCOLES; BORRÁS, 2005; ZIYOMO; BERNARDO, 2013). Nesse caso, os genótipos de interesse são aqueles altamente produtivos e eficientes no uso da água (EUA), ou seja, que produzam bem com pouca água disponível e que respondam a melhoria do ambiente.

Diferentes características são recomendadas para quantificar a tolerância à deficiência hídrica tanto no feijoeiro como em outras culturas (ASSEFA et al., 2015; BLAIR et al., 2012; CECCARELLI, 2014; HU; XIONG, 2014; POLANIA et al., 2016a; WANG et al., 2013; ZIYOMO; BERNARDO, 2013). Componentes da produção, como número de vagens por planta, número de grãos por vagem e massa de 100 grãos são muito utilizados nas avaliações dos genótipos e são altamente influenciadas pelas condições ambientais ocorrentes durante o ciclo da cultura (BEZERRA et al., 2007). No entanto, Blair et al. (2012), indica a massa de 100 grãos e o rendimento de grãos como boas medidas de tolerância à seca. Em trabalho conduzido por Guimarães, Stone e Brunini (2006), o número de vagens por planta foi o componente mais sensível à deficiência hídrica.

Sousa e Lima (2010) avaliaram a produtividade de grãos, componentes de rendimento, índice de área foliar e o sistema radicular da cultivar Carioca com suspensão da irrigação no estágio vegetativo, préfloração, plena floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica. Os autores chegaram à conclusão que o estresse hídrico interfere nos estádios de desenvolvimento da cultura, de modo negativo em todas as características analisadas. Polania et al. (2012) comentam que genótipos de feijão mais resistentes à seca, apresentam maior produção de grãos devido à maior eficiência na extração de água do solo por meio de um sistema radicular vigoroso. Outras características também têm sido avaliadas, como o número de dias para o início do florescimento, número de dias para maturação, rendimento de massa seca, senescência foliar, índice de área foliar, biomassa da parte aérea e produtividade por dia, entre outros (BELKO et al., 2014; BLAIR et al., 2012; GOMES et al., 2000).

Alguns autores têm dedicado maiores esforços em entender os mecanismos que ocorrem na planta e os genes que são ativados e desativados em cada situação (FAROOQ et al., 2012; MÜLLER et al., 2013; NEMESKÉRI et al., 2010). Esses autores argumentam que a compreensão das respostas fisiológicas das plantas ao estresse é fundamental para minimizar os impactos deletérios desses estresses, visando a maximização da produtividade de grãos

(CAVATTE et al., 2011). Além disso, entender esses mecanismos certamente facilita o processo de geração de novas cultivares no futuro, além de contribuir para o desenvolvimento de técnicas de seleção capazes de reduzir o tempo e o trabalho para avaliação de fontes genéticas de tolerância à seca.

Ceccarelli (2014) considera dois tipos de estratégia no melhoramento para tolerância a seca. Na primeira a seleção é realizada em condições ótimas de cultivo e baseada na pressuposição de que os genótipos selecionados nessa situação também teriam bom desempenho em condições menos favoráveis. Na segunda estratégia a seleção é realizada na condição de estresse e pode ser de duas formas: a) seleção indireta para características fisiológicas ou de desenvolvimento (melhoramento analítico) e; b) seleção direta para produtividade de grãos (melhoramento empírico).

Esse autor considera que o melhoramento analítico tem tido muito sucesso no entendimento de quais características são associadas com a resistência à seca, mas muito pouco sucesso na obtenção de novas cultivares com resistência à seca em condições de campo, onde esse estresse varia quanto à ocorrência, severidade e duração. Além do mais, é a interação entre as características que determina a resposta da cultura ao estresse, e não uma característica específica (CECCARELLI et al., 1991). Apesar do melhoramento para resistência à seca pela seleção direta para produtividade de grãos no ambiente alvo (melhoramento empírico) parecer ser a melhor estratégia, também recebe críticas porque a chance de sucesso e de progresso com a seleção pode ser menor devido à precisão na seleção, que também pode ser menor (CECCARELLI, 2014). Sob estresse hídrico a média normalmente é baixa, aumentando o erro experimental. Por essa razão, a maioria dos trabalhos de melhoramento são conduzidos sob irrigação, o que muitas vezes não reflete bem a situação predominante de cultivo. Provavelmente, podem estar sendo selecionadas linhagens não adaptadas aos estresses de deficiência hídrica, mesmo aqueles de menor intensidade. Assim, é importante obter estimativas de resposta correlacionada da seleção efetuada sob irrigação em relação à obtida com estresse hídrico.

A avaliação em campo para a seleção de genótipos tolerantes à deficiência hídrica é laboriosa e dispendiosa, demanda vários locais e anos de avaliação para obter estimativas acuradas (COLLINS; TARDIEU; TUBEROSA, 2008). Dessa forma, muitos autores argumentam que características de fácil mensuração devem ser utilizadas ao invés da produtividade de grãos. No entanto, a dificuldade em identificar parâmetros fisiológicos como indicadores acurados da produtividade de grãos, conforme já comentado, sugere que a seleção para a própria característica no maior número de ambientes possível, deve ser utilizada como

principal indicador para a tolerância à deficiência hídrica (ASSEFA et al., 2015; CATTIVELLI et al., 2008; CECCARELLI, 2014; MENKIR et al., 2016; PORCH et al., 2009; VOLTAS; LÓPEZ-CÓRCOLES; BORRÁS, 2005). Além do mais, a seleção indireta pode ser mais eficiente que a seleção direta, apenas se a herdabilidade ( $h^2$ ) para a característica selecionada for maior do que a da característica em que a resposta é desejada e se a correlação genética entre as duas for alta (ZIYOMO; BERNARDO, 2013).

A seleção visando tolerância à seca no feijoeiro tem sido o objetivo de inúmeras pesquisas em todo o mundo (BEEBE et al., 2013; CATTIVELLI et al., 2008; POLANIA et al., 2016b; PORCH et al., 2009; ROSALES et al., 2012; TRAPP et al., 2016). Nesses trabalhos algumas fontes de tolerância têm sido identificadas tais como BAT 477 (BLAIR et al., 2012; TERÁN; SINGH, 2002), SEA 5 (BEEBE et al., 2013; POLANIA et al., 2016; TERÁN; SINGH, 2002) e L88-63 (FRAHM et al., 2004). Urrea et al. (2009) avaliaram 110 genótipos de feijoeiro de diferentes padrões de tipo de grão interrompendo a irrigação após o florescimento. Foi possível selecionar genótipos tolerantes a seca com base no alto rendimento obtido em condição de deficiência hídrica que seriam utilizados como fonte de tolerância para trabalhos futuros.

No Brasil, Biudes et al. (2006) avaliaram a reação de cinco cultivares de grãos tipo carioca (IAPAR 81, Pérola, Carioca, IPR Juriti e IPR Saracura) com e sem estresse hídrico. A cultivar que apresentou o menor índice de redução da produtividade de grãos com estresse foi a 'IPR Saracura', mas a maior produtividade de grãos com estresse foi da 'Pérola'. Guimarães (1992) sugere que a cultivar Carioca deve ser usada em cruzamentos que visem à obtenção de cultivares para regiões onde há probabilidade de deficiência hídrica não muito prolongada, enquanto que, para regiões onde o período de seca é mais prolongado, deve ser utilizada a linhagem BAT 477 como fonte de tolerância à seca. É interessante observar que as cultivares Pérola e Carioca são amplamente adaptadas às condições brasileiras de cultivo. Diante dos resultados desses trabalhos pode-se levantar a hipótese de que um dos motivos de serem bem adaptadas possa ser justamente o bom desempenho em condições de estresse hídrico, que é muito comum de ocorrer, principalmente se a cultura não for irrigada. A cultivar Carioca foi, por muitos anos, a mais cultivada no Brasil, dando origem, de forma direta ou indireta, ao grande número de cultivares com esse tipo de grão que são recomendadas no país (ABREU et al., 2004). A 'Pérola', até os dias atuais ainda é muito cultivada, apesar de já existirem inúmeras outras opções de cultivares de grãos tipo carioca (ABREU et al., 2007; CARNEIRO et al., 2012; MELO et al., 2010, 2012; RAMALHO et al., 2016).

Na Universidade Federal de Lavras, Biudes et al. (2008) avaliaram 99 linhagens de feijoeiro pertencentes ao Banco de Germoplasma, juntamente com a testemunha 'Carioca', considerada tolerante ao estresse hídrico (GUIMARÃES; STONE; BRUNINI, 2006), com e sem irrigação. O objetivo foi identificar linhagens tolerantes à seca no germoplasma disponível. Foi encontrada variabilidade para a característica e identificadas linhagens mais tolerantes.

Quando se identificam linhagens com o fenótipo almejado em um banco de germoplasma, essas podem ser utilizadas diretamente ou em cruzamentos como fontes do fenótipo de interesse da característica considerada. No caso da utilização em cruzamentos, uma metodologia muito utilizada são os cruzamentos dialélicos, que permitem identificar as linhagens que apresentam boa capacidade de combinação (RAMALHO et al., 2012). Gonçalves et al. (2013) trabalharam com cruzamentos dialélicos para escolha de populações mais tolerantes à seca. As plantas foram submetidas à deficiência hídrica na prefloração, as quais permaneceram nesta condição por um período de 30 dias. Foram avaliados os componentes de rendimento e a produtividade de grãos e identificadas combinações com bom desempenho para as características avaliadas.

Porch et al. (2009) avaliaram a produtividade de grãos de 29 linhagens de feijoeiro em condições de estresse e reduzido estresse. A irrigação foi aplicada quando o teor de umidade do solo foi reduzido em 75% da capacidade de campo para a condição de estresse. Foram identificadas linhagens tolerantes à seca e que também tinham um bom potencial de rendimento em melhores condições. Hubner (2013), trabalhando com centeio, encontrou correlação positiva entre as duas condições de avaliação. Correlação positiva e de alta magnitude entre o desempenho de linhagens em ambientes com e sem estresse, é uma situação altamente desejável na condução de um programa de melhoramento, uma vez que, ao selecionar para alta produtividade de grãos também seriam selecionados os genótipos mais tolerantes à deficiência hídrica e mais eficientes no uso da água (CATTIVELLI et al., 2008).

Além da produtividade de grãos, a eficiência no uso da água (EUA), que é a relação entre a produtividade de grãos e a quantidade, em milímetros, de água recebida pela cultura ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ ), é um índice amplamente utilizado pelos melhoristas em trabalhos para tolerância à deficiência hídrica (BUILES; PORCH; HARMSEN, 2011; HU; XIONG, 2014; ORTIZ, 2013; POLANIA et al., 2016a). Genótipos mais eficientes no uso da água são mais tolerantes à deficiência hídrica e demandam menor gasto com irrigação. Identificar genótipos mais eficientes no uso da água seria uma importante contribuição dos programas de melhoramento, já que há previsões de que esse recurso pode se tornar mais escasso no futuro

(CATTIVELLI, 2008; HU; XIONG, 2014; MUÑOZ-PEREA et al., 2006; RUIZ-NETO et al., 2015), fato que já vem sendo constatado em diversas regiões do planeta.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Locais

Os experimentos foram instalados em dois locais: no município de Lavras, região sul do estado de Minas Gerais, no Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico da Universidade Federal de Lavras (UFLA), a 918,8 metros de altitude, 21°14'S de latitude e 45°59'W de longitude; e em Patos de Minas, na Fazenda Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), situada na região do Alto Paranaíba de Minas Gerais, a 815 metros de altitude, 18°34'S de latitude e 46°31'W de longitude.

#### 3.2 Obtenção das progênies

Em etapa anterior do Programa de Melhoramento Genético do Feijoeiro da UFLA foram selecionadas doze linhagens que foram cruzadas em um esquema de dialelo parcial 6 x 6 (TABELA 1). Um grupo foi composto por seis linhagens de grãos tipo carioca, com boa adaptação na região e, o outro grupo, por seis fontes de tolerância à deficiência hídrica (dados não publicados). As populações, na geração F<sub>2</sub>, foram avaliadas em dois experimentos instalados em condições de campo no Departamento de Biologia da UFLA, um com o fornecimento da quantidade ideal de água para o desenvolvimento do feijoeiro e outro, ao lado, com supressão de água, objetivando o estresse hídrico. Após a análise dialélica dos dados de produtividade de grãos foram identificadas as populações BRSMG Talismã x G4280 e BRSMG Talismã x G6492 como as mais promissoras para a seleção de progênies para as condições de deficiência hídrica, as quais foram utilizadas nesse trabalho.

Tabela 1 - Linhagens de feijoeiro de diferentes tipos de grãos e distintos níveis de tolerância à seca utilizadas na obtenção das populações segregantes.

	Grupo I	Tipo de Grão		Grupo II	Tipos de Grãos
1	FT84-292	Carioca	7	G4280	Preto
2	Carioca	Carioca	8	SEA-5	Mulatinho
3	Carioca MG	Carioca	9	BAT-477	Mulatinho
4	BRSMG Talismã	Carioca	10	IAC-Una	Preto
5	IAPAR 31	Carioca	11	G6492	Preto
6	CNFC9506	Carioca	12	Ouro Negro	Preto

Fonte: Do autor (2016).

Nas avaliações foram utilizadas 160 progênies provenientes dessas duas populações, sendo 80 progênies da população BRSMG Talismã x G4280 e 80 progênies da população BRSMG Talismã x G6492.

### 3.3 Tipo de progênie, local e época de semeadura

Na geração F<sub>2</sub>, foram selecionadas 80 plantas do cruzamento BRSMG Talismã x G4280 e 80 plantas do cruzamento BRSMG Talismã x G6492 que constituíram as progênies F<sub>2:3</sub>. Essas progênies foram multiplicadas para serem avaliadas a partir da geração F<sub>2:4</sub> nos locais e épocas de semeadura descritos na Tabela 2. Como testemunhas foram utilizadas as cultivares/linhagens BRSMG Talismã, BRS Estilo, G 4280, BAT 477, Carioca, Pérola, Iapar 81, BRSMG Madrepérola e BRSMG Majestoso.

Tabela 2. Gerações, locais e épocas de semeadura de avaliação das progênies.

Progênies	Locais	Épocas de semeadura
F <sub>2:4</sub>	Patos de Minas	Abril 2014
F <sub>2:4</sub>	Lavras	Julho 2014
F <sub>2:5</sub>	Patos de Minas e Lavras	Março 2015
F <sub>2:6</sub>	Patos de Minas e Lavras	Julho 2015

Fonte: Do autor (2016).

### 3.4 Condução e avaliação dos experimentos

Em cada local e época foram conduzidos dois experimentos simultaneamente. No primeiro o fornecimento de água foi de acordo com as necessidades da cultura, ou seja, sem estresse hídrico, que foi denominada condição de alta disponibilidade de água - ADA. No outro, as plantas não receberam a quantidade de água requerida (com estresse), que foi denominada condição de baixa disponibilidade de água - BDA. O nível de água foi estabelecido em função do tempo de irrigação por aspersão, sendo em BDA, metade do tempo de irrigação utilizado em ADA.

O delineamento experimental utilizado em cada experimento foi o látice triplo 13x13. As parcelas foram de uma linha de 2m espaçadas de 0,5m. A adubação e os tratos culturais foram realizados de acordo com o recomendado para a cultura (RAMALHO; ABREU; GUILHERME, 2014).

Os dois experimentos foram instalados no mesmo dia e até a emergência das plantas receberam quantidade de água igual. Em cada bloco dentro de cada repetição foram instalados coletores para informar a quantidade de água recebida, inclusive a água proveniente de precipitação pluviométrica.

### 3.5 Características avaliadas e análise dos dados

Inicialmente obteve-se a produtividade de grãos, em  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , de cada parcela. A quantidade de água recebida em cada coletor foi utilizada como covariável para a análise desta característica. Considerou-se que todas as parcelas dentro de um mesmo bloco, receberam a mesma quantidade de água. Os dados foram ajustados de acordo com a expressão:

$$Y_{ajustado} = Y - b(x_{ijk} - \bar{x})$$

em que,

$Y_{ajustado}$ : produtividade de grãos ajustada para a covariável lâmina de água (mm);

$Y$ : produtividade de grãos sem ajuste;

$b$ : coeficiente de regressão linear entre produtividade de grãos e lâmina de água;

$x_{ijk}$ : lâmina de água recebida pela parcela;

$\bar{x}$ : lâmina de água média recebida pelo experimento.

Também foi obtida a eficiência no uso da água (EUA), em  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$ , pelo seguinte estimador:

$$EUA = \frac{\text{produtividade de grãos sem ajuste para covariável}}{\text{lâmina de água recebida}}$$

A análise dos dados de produtividade de grãos ajustados e EUA foram realizadas utilizando-se a abordagem de modelos mistos empregando-se o software asreml (BUTLER et al., 2009). Realizou-se inicialmente a análise em cada ambiente (local/época de semeadura/nível de água) considerando o seguinte modelo:

$$\mathbf{y} = \mathbf{1}\mu + \mathbf{Z}_1\mathbf{g} + \mathbf{Z}_2\mathbf{r} + \mathbf{Z}_3\mathbf{b} + \boldsymbol{\varepsilon}$$

em que,

$\mathbf{y}$ : vetor de dados;

$\boldsymbol{\mu}$ : constante, vetor de 1's;

**g**: efeito aleatório dos genótipos, sendo que  $g \sim \text{NMV}(0, \sigma_g^2 \mathbf{I})$ , onde  $\sigma_g^2$  é o componente de variância genotípico associados aos genótipos;

**r**: efeito aleatório de repetição, sendo  $r \sim \text{NMV}(0, \sigma_r^2 \mathbf{I})$ . O  $\sigma_r^2$  é o componente de variância de repetição;

**b**: efeito aleatório do bloco dentro de repetição, sendo  $b \sim \text{NMV}(0, \sigma_b^2 \mathbf{I})$ . O  $\sigma_b^2$  é o componente de variância do bloco dentro de repetição;

**ε**: efeito aleatório do resíduo, sendo que  $\varepsilon \sim \text{NMV}(0, \sigma_\varepsilon^2 \mathbf{I})$ . O  $\sigma_\varepsilon^2$  é o componente de variância residual;

**Z<sub>1</sub>, Z<sub>2</sub> e Z<sub>3</sub>**: matrizes de incidência para *g*, *r* e *b*, respectivamente.

Foi realizada uma análise conjunta dentro de cada local/época de semeadura utilizando o seguinte modelo estatístico:

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\mathbf{m} + \mathbf{Z}_1\mathbf{g} + \mathbf{Z}_2\mathbf{r} + \mathbf{Z}_3\mathbf{b} + \mathbf{Z}_4\mathbf{w} + \boldsymbol{\varepsilon}$$

em que,

**y**: vetor de dados;

**m**: vetor do efeito fixo de nível de água;

**g**: efeito aleatório dos genótipos, sendo que  $g \sim \text{N}[0, \mathbf{I} \otimes G_0]$ , em que *I* uma matriz identidade e

$G_0$  uma matriz não estruturada,  $G_0 = \begin{bmatrix} \sigma_{a_1}^2 & \sigma_{a_{12}}^2 \\ & \sigma_{a_2}^2 \end{bmatrix}$ , em que  $\sigma_{a_1}^2$ : variância genética no

ambiente com baixa disponibilidade de água,  $\sigma_{a_2}^2$ : variância genética no ambiente com alta disponibilidade de água;  $\sigma_{a_{12}}^2$ : covariância genética entre BDA e ADA;

**r**: efeito aleatório de repetição, sendo  $r \sim \text{NMV}(0, \sigma_r^2 \mathbf{I})$ . O  $\sigma_r^2$  é o componente de variância de repetição;

**b**: efeito aleatório do bloco dentro de repetição, sendo  $b \sim \text{NMV}(0, \sigma_b^2 \mathbf{I})$ . O  $\sigma_b^2$  é o componente de variância do bloco dentro de repetição;

**w**: efeito aleatório da interação genótipos x nível de água, sendo que  $w \sim \text{NMV}(0, \sigma_w^2 \mathbf{I})$ . O  $\sigma_w^2$  é o componente de variância da interação genótipos x nível de água;

**ε**: efeito aleatório dos resíduos, sendo que  $\varepsilon \sim \text{NMV}(0, \sigma_\varepsilon^2 \mathbf{I})$ . O  $\sigma_\varepsilon^2$  é o componente de variância residual;

**X, Z<sub>1</sub>, Z<sub>2</sub>, Z<sub>3</sub>, Z<sub>4</sub>**: matrizes de incidência para *m*, *g*, *r*, *b* e *w* respectivamente.

Em seguida, realizou-se a análise conjunta considerando os 12 ambientes, utilizando o seguinte modelo estatístico:

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\mathbf{a} + \mathbf{Z}_1\mathbf{g} + \mathbf{Z}_2\mathbf{r} + \mathbf{Z}_3\mathbf{b} + \mathbf{Z}_4\mathbf{s} + \boldsymbol{\varepsilon}$$

em que,

**y**: vetor de dados;

**a**: vetor do efeito fixo de ambiente;

**g**: efeito aleatório dos genótipos, sendo que  $g \sim \text{NMV}(0, \sigma_g^2\mathbf{I})$ . O  $\sigma_g^2$  é o componente de variância genotípico associados aos genótipos;

**r**: efeito aleatório de repetição dentro de ambiente, sendo  $r \sim \text{NMV}(0, \sigma_r^2\mathbf{I})$ . O  $\sigma_r^2$  é o componente de variância de repetição dentro de ambiente;

**b**: efeito aleatório do bloco dentro de repetição dentro de ambiente, sendo  $b \sim \text{NMV}(0, \sigma_b^2\mathbf{I})$ . O  $\sigma_b^2$  é o componente de variância do bloco dentro de repetição dentro de ambiente;

**s**: efeito aleatório da interação genótipos x ambientes, sendo que  $s \sim \text{NMV}(0, \sigma_s^2\mathbf{I})$ . O  $\sigma_s^2$  é o componente de variância da interação genótipos x ambientes;

**ε**: efeito aleatório dos resíduos, sendo que  $\varepsilon \sim \text{NMV}(0, \mathbf{R})$ . Devido a heterogeneidade de

variâncias residuais foi utilizada uma matriz diagonal (**R**), em que  $\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \sigma_{e_1}^2 & & \\ & \dots & \\ & & \sigma_{e_{12}}^2 \end{bmatrix}$ , sendo

$e_1, \dots, e_{12}$  os erros referentes a cada ambiente;

**X**, **Z**<sub>1</sub>, **Z**<sub>2</sub>, **Z**<sub>3</sub> e **Z**<sub>4</sub>: matrizes de incidência para **a**, **g**, **r**, **b** e **s** respectivamente.

Posteriormente, considerou-se o nível de água como um fator do modelo. Foi realizada uma análise conjunta considerando os locais e épocas de semeadura, utilizando o seguinte modelo estatístico:

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\mathbf{p} + \mathbf{X}_1\mathbf{m} + \mathbf{Z}_1\mathbf{g} + \mathbf{Z}_2\mathbf{r} + \mathbf{Z}_3\mathbf{b} + \mathbf{X}_2\mathbf{n} + \mathbf{Z}_4\mathbf{o} + \mathbf{Z}_5\mathbf{q} + \mathbf{Z}_6\mathbf{j} + \boldsymbol{\varepsilon}$$

em que,

**y**: vetor de dados;

**p**: vetor do efeito fixo de local/época de semeadura;

**m**: vetor do efeito fixo de nível de água;

**g**: efeito aleatório dos genótipos, sendo que  $g \sim \text{NMV}(0, \sigma_g^2\mathbf{I})$ . O  $\sigma_g^2$  é o componente de variância genotípico associados aos genótipos;

**r**: efeito aleatório de repetição, sendo  $r \sim \text{NMV}(0, \sigma_r^2\mathbf{I})$ . O  $\sigma_r^2$  é o componente de variância de repetição;



$$h^2 = \frac{\hat{\sigma}_G^2}{\hat{\sigma}_G^2 + \frac{\hat{\sigma}_{GA}^2}{a} + \frac{\hat{\sigma}_e^2}{ar}}$$

em que,

$\hat{\sigma}_{GA}^2$ : variância da interação genótipos x ambientes;

$a$ : número de ambientes;

$\hat{\sigma}_G^2$ ,  $\hat{\sigma}_e^2$  e  $r$  já foram descritos anteriormente.

A precisão experimental foi aferida por meio da estimativa da acurácia seletiva ( $acurácia = \sqrt{h^2}$ ).

Utilizando os dados médios (média EBLUP) da produtividade de grãos ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) dos genótipos, foi estimado o índice de resposta à irrigação ( $I_{RI}$ ), utilizando a seguinte expressão:

$$I_{RI} = \frac{P_{ADA} - P_{BDA}}{A_{ADA} - A_{BDA}}$$

em que,

$P_{ADA}$ : produtividade do genótipo  $i$  em condição de alta disponibilidade de água;

$P_{BDA}$ : produtividade do genótipo  $i$  em condição de baixa disponibilidade de água;

$A_{ADA}$ : lâmina de água (em milímetros) fornecida ao genótipo  $i$  na condição de alta disponibilidade de água;

$A_{BDA}$ : lâmina de água (em milímetros) fornecida ao genótipo  $i$  na condição de baixa disponibilidade de água.

As médias dos genótipos em cada ambiente foram padronizadas, obtendo-se o valor de  $Z_{ij}$  pelo seguinte estimador:

$$Z_{ij} = \frac{(Y_{ij} - \bar{Y}_j)}{s_j}$$

em que,

$Z_{ij}$ : valor da variável padronizada correspondente ao genótipo  $i$  no ambiente  $j$ ;

$Y_{ij}$ : EBLUP do genótipo  $i$  no ambiente  $j$ ;

$\bar{Y}_j$ : é a média do ambiente  $j$ ;

$s_j$ : desvio padrão entre os EBLUP dos genótipos no ambiente  $j$ ;

Como a variável padronizada  $Z_{ij}$  assume valores positivos e negativos, foi somada a constante cinco de modo a tornar os valores sempre positivos. A média populacional em vez de zero, passou a ser cinco. Posteriormente foi obtido o somatório das variáveis padronizadas ( $\sum Z$ ) dos genótipos. Com os valores padronizados também foi estimado o Índice de Risco na recomendação (IR) pelo seguinte estimador:

$$IR = \frac{|\sum(Z < 5)|}{\text{Número de ambientes } \times \text{ constante adicionada}} \times 100$$

em que:  $|\sum(Z < 5)|$  é o somatório das estimativas de Z dos ambientes em que a produtividade de grãos foi abaixo da média.

Para a seleção dos genótipos com maior estabilidade foi utilizado o método gráfico proposto por Nunes, Ramalho e Abreu (2005). O método utiliza o somatório das variáveis padronizadas ( $\sum Z$ ) como medida da adaptabilidade de cada genótipo em cada ambiente.

Considerando todos os genótipos, foi estimado o ganho esperado (GS) pela seleção dos 10% melhores genótipos utilizando o seguinte estimador:

$$GS = M_s - M_o$$

em que,

$M_s$ : média EBLUP (EBLUP + média geral dos dados) dos genótipos selecionados;

$M_o$ : média geral dos dados;

A resposta correlacionada ( $RC_{Y(X)}$ ) em BDA (Y) pela seleção em ADA (X) foi obtida pela expressão:

$$RC_{Y(X)} = M_{s_{Y(X)}} - M_{o_Y}$$

em que,

$M_{s_{Y(X)}}$ : média EBLUP (EBLUP + média geral dos dados) dos genótipos em BDA que foram selecionados em ADA;

$M_{o_Y}$ : média geral dos dados;

A fim de verificar a associação entre a produtividade de grãos e a eficiência no uso da água foi estimada a correlação entre as duas características. Foi também estimada a correlação entre o desempenho dos genótipos nos experimentos em condições de BDA e ADA em cada local/época de semeadura. Essas correlações foram obtidas de acordo com a expressão descrita em Bernardo (2010).

Utilizando a expressão proposta por Hamblin e Zimmermann (1986) foi estimada a coincidência na seleção dos dez melhores genótipos para produtividade de grãos e EUA:

$$\text{Coincidência} = \frac{A - C}{B - C} \times 100$$

em que,

A: número de genótipos entre os dez melhores comuns às duas características;

B: número de genótipos selecionados (B=10);

C: número esperado de genótipos em comum para produtividade de grãos e EUA, unicamente devido ao acaso, que é igual a 10% de B (C=1).

## 4 RESULTADOS

A análise em cada experimento para produtividade de grãos mostrou que a precisão experimental foi relativamente alta. As estimativas da acurácia seletiva variaram de 69,0% a 94,4%, podendo-se inferir que ocorreu diferença entre os genótipos em todos os ambientes (épocas de semeadura/locais/níveis de água). As estimativas dos componentes de variância em cada ambiente encontram-se na Tabela 1, do Apêndice A.

Na análise conjunta dos 12 ambientes para produtividade de grãos constatou-se que o efeito de ambientes foi significativo, pelo teste de Wald, a 1% de probabilidade. As estimativas dos componentes de variância associados aos efeitos aleatórios do modelo encontram-se na Tabela 3, bem como a significância do teste LRT para esses componentes. Todos os componentes estimados foram não nulos. Os erros associados foram inferiores às estimativas obtidas. Observou-se que o componente da interação genótipos x ambientes foi 7,35 vezes superior ao da variância genética entre os genótipos, indicando que o comportamento dos genótipos não foi coincidente nos diferentes ambientes avaliados.

É oportuno salientar que ocorreu heterogeneidade das variâncias do erro. A menor estimativa foi em Patos de Minas, semeadura em julho de 2015, na condição de baixa disponibilidade de água (BDA) e a maior em Lavras, semeadura em julho de 2014 com alta disponibilidade de água (ADA) (TABELA 3).

Como o componente de interação genótipos x ambientes foi muito expressivo, procurou-se elucidar melhor essa interação. Foi isolado o efeito de locais e época de semeadura do efeito do nível de água (N). Constatou-se que os efeitos de ambiente, níveis de água e a interação entre eles foram significativos pelo teste de Wald, a 1% de probabilidade. Todos os componentes aleatórios do modelo foram significativos, exceto genótipos x níveis de água (TABELA 4). As estimativas dos componentes de variância reforçam esses resultados. O componente da interação genótipos x níveis de água foi 6,27 vezes inferior ao componente da variância genética entre os genótipos. Como nesse trabalho a informação mais almejada foi da interação genótipos x níveis de água, os resultados possibilitam inferir a priori, que o comportamento dos genótipos foi coincidente nos dois níveis de água.

Tabela 3 - Estimativas dos componentes de variância dos efeitos aleatórios para produtividade de grãos ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) da análise conjunta dos 12 ambientes.

Descrição	Componente	Erro padrão
Genótipos (G)	9738,61*	2079,35
Repetição	5637,81*	2177,94
Bloco(Repetição)	10710,00*	1436,52
Ambientes x G	71588,82*	3650,78
Resíduos		
Baixa disponibilidade de água (BDA)		
Patos de Minas - semeadura abril 2014	37523,73	2972,09
Lavras - semeadura julho 2014	201781,14	15652,54
Patos de Minas - semeadura março 2015	35495,89	2849,21
Lavras - semeadura março 2015	69487,28	5615,56
Patos de Minas - semeadura julho 2015	25164,24	2023,19
Lavras - semeadura julho 2015	152242,26	11506,30
Alta disponibilidade de água (ADA)		
Patos de Minas - semeadura abril 2014	52129,10	4115,02
Lavras - semeadura julho 2014	407533,68	29786,18
Patos de Minas - semeadura março 2015	50411,10	4044,73
Lavras - semeadura março 2015	82046,15	6564,60
Patos de Minas - semeadura julho 2015	250617,02	19795,81
Lavras - semeadura julho 2015	372370,72	27264,03

\* Significativo, pelo teste de LRT, a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2016).

Tabela 4 - Estimativas dos componentes de variância dos efeitos aleatórios para produtividade de grãos ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) considerando o efeito de níveis de água independente dos demais fatores de ambiente (locais e épocas de semeadura).

Descrição	Componente	Erro padrão
Genótipos (G)	5615,19*	2243,14
Repetição	5635,33*	2180,91
Bloco(Repetição)	10826,52*	1441,25
G x Ambientes (A)	37556,12*	4019,76
G x Níveis de água (N)	895,29	1549,30
G x A x N	36070,58*	3528,68

\* Significativo, pelo teste de LRT, a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2016).

Foi também efetuada uma análise envolvendo o efeito dos níveis de água dentro de cada local/época de semeadura (TABELA 5). Nesse caso, os componentes do modelo foram todos significativos, inclusive o da interação genótipos x níveis de água, que não havia sido significativo quando se considerou todos os locais e épocas de semeadura. As estimativas das correlações dos níveis de água dois a dois, a maioria de pequena magnitude, reforçam a existência da interação genótipos x níveis de água.

Tabela 5 - Teste de significância dos componentes do modelo considerando o efeito de níveis de água dentro de cada local/época de semeadura para produtividade de grãos e correlação entre condição de baixa disponibilidade de água (BDA) e alta disponibilidade de água (ADA).

Descrição	Teste					
	1 <sup>1</sup>	2	3	4	5	6
Níveis de água (N)	76,81 <sup>+</sup>	28,10 <sup>+</sup>	228,00 <sup>+</sup>	52,65 <sup>+</sup>	11,27 <sup>+</sup>	128,6 <sup>+</sup>
Genótipos (G)	43,09 <sup>*</sup>	48,82 <sup>*</sup>	28,80 <sup>*</sup>	23,47 <sup>*</sup>	15,78 <sup>*</sup>	3,83 <sup>*</sup>
G x N	8,92 <sup>*</sup>	108,65 <sup>*</sup>	38,04 <sup>*</sup>	5,64 <sup>*</sup>	160,13 <sup>*</sup>	13,22 <sup>*</sup>
Correlação	0,80	0,60	0,53	0,68	0,36	0,32

<sup>1</sup> 1: Patos de Minas, semeadura abril 2014. 2: Lavras, semeadura julho 2014. 3: Patos de Minas, semeadura março 2015. 4: Lavras, semeadura março 2015. 5: Patos de Minas, semeadura julho 2015. 6: Lavras, semeadura julho 2015.

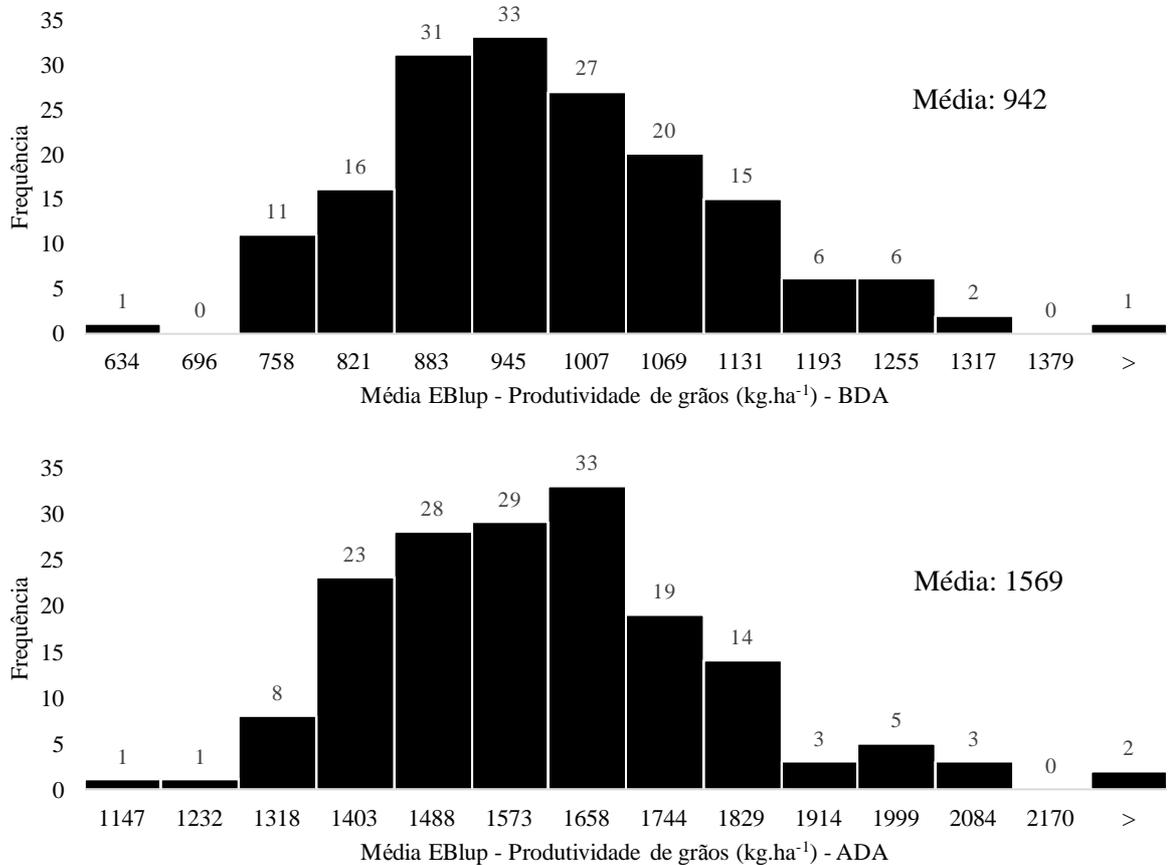
<sup>+</sup> Significativo, pelo teste de Wald, a 1% de probabilidade.

<sup>\*</sup> Significativo, pelo teste de LRT, a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2016).

As distribuições de frequência das médias EBLUP permitem uma melhor visualização da existência de variação entre os genótipos nos dois locais (FIGURAS 1 e 2). Observa-se que a amplitude de variação foi grande, e muitos genótipos possuem média elevada. Interessante destacar que os maiores valores obtidos em BDA são inferiores ou bem próximos as menores médias em ADA. A fim de identificar os mais produtivos quando submetidos ao estresse hídrico (BDA), mas que respondam a melhoria do ambiente (ADA), os genótipos foram dispostos em quatro quadrantes delimitados pela média em cada condição. Para fins de seleção, os genótipos de interesse ocupam o quadrante I, denominados produtivos e responsivos, possuem EBLUP positivo em BDA e ADA (TABELA 6). Nessa situação, 17 genótipos são comuns aos dois locais de avaliação.

Figura 1 - Distribuição de frequência das médias EBLUP de produtividade de grãos ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) em Patos de Minas nas condições de baixa disponibilidade de água (BDA) e alta disponibilidade de água (ADA).



Fonte: Do autor (2016).

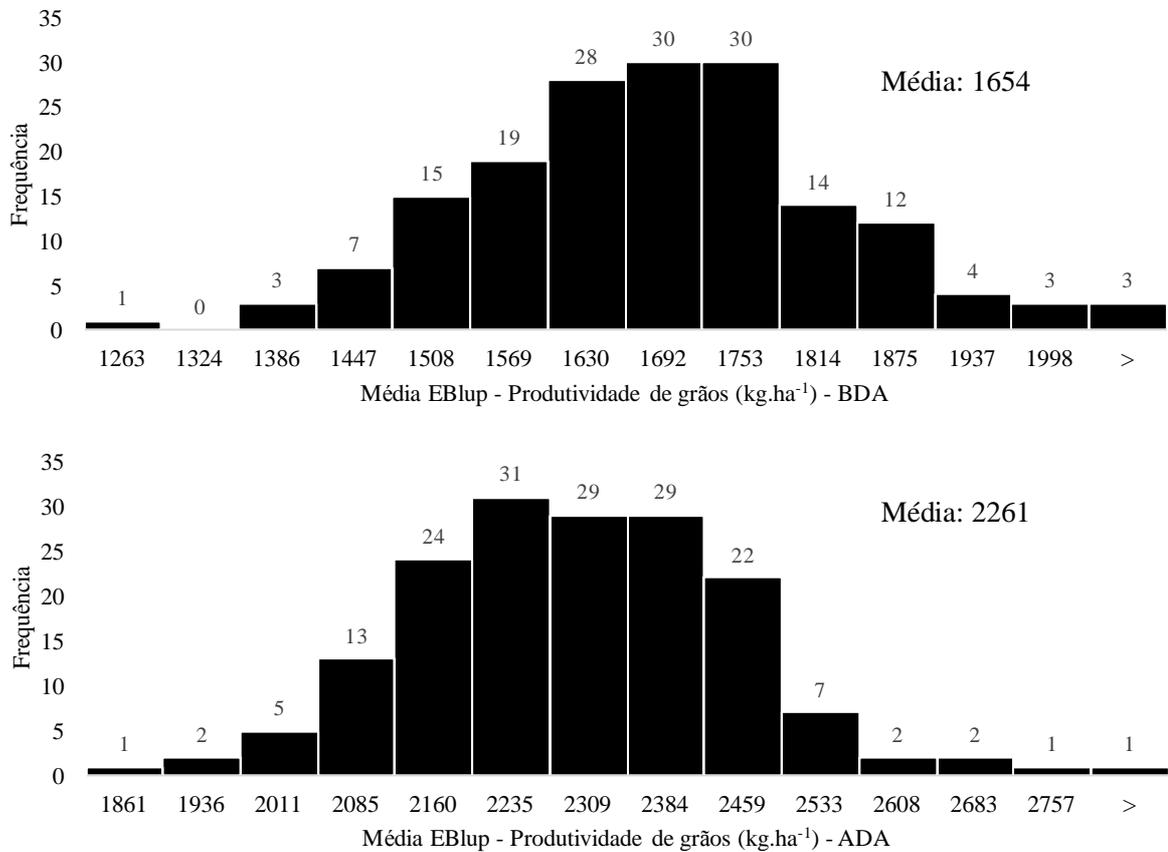
Tabela 6 - Número de genótipos em cada quadrante em Lavras e Patos de Minas e genótipos comuns aos dois locais para produtividade de grãos.

Local	Quadrante							
	I		II		III		IV	
	BDA <sup>1</sup>	ADA <sup>2</sup>	BDA	ADA	BDA	ADA	BDA	ADA
	+	+	-	+	-	-	+	-
Patos de Minas	51		30		60		28	
Lavras	51		35		52		31	
Comuns	17		7		20		5	

<sup>1</sup>BDA: Baixa disponibilidade de água. <sup>2</sup>ADA: Alta disponibilidade de água.

Fonte: Do autor (2016).

Figura 2 - Distribuição de frequência das médias EBLUP de produtividade de grãos ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) em Lavras nas condições de baixa disponibilidade de água (BDA) e alta disponibilidade de água (ADA).



Fonte: Do autor (2016).

Para os melhoristas uma informação importante é o risco envolvido na decisão dos genótipos a serem escolhidos para posterior recomendação. Nesse caso é necessário ter a informação envolvendo todos os ambientes. Como a produtividade de grãos entre os ambientes foi diferente, foi necessário inicialmente padronizar as variáveis por ambiente. Adicionou-se a constante cinco para evitar valores negativos. Com as variáveis padronizadas estimou-se o risco da recomendação (IR) e o somatório de Z ( $\sum Z$ ) (TABELA 7). A progênie 1 apresentou menor IR e maior  $\sum Z$ , indicando seu bom comportamento. O mesmo ocorreu com a testemunha BRSMG Majestoso. A cultivar G4280 teve alto risco de recomendação e o pior desempenho, considerando o  $\sum Z$ .

Na Figura 3 são mostrados os cinco melhores genótipos e na Figura 4, os cinco de pior desempenho considerando o  $\sum Z$ . O genótipo de melhor performance (progênie 1) apresentou, em todos os ambientes, comportamento igual ou superior à média, mostrando sua estabilidade e adaptabilidade nos 12 ambientes. Os outros quatro, também tiveram boa performance, porém em alguns dos ambientes o comportamento foi abaixo da média. Os genótipos de pior

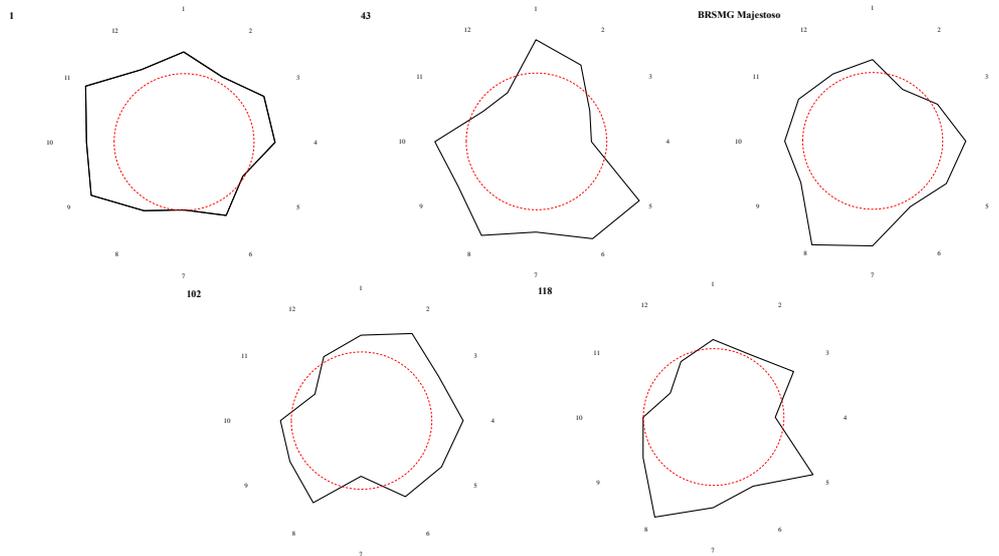
desempenho dificilmente apresentam o comportamento acima da média nos ambientes avaliados. Além disso, apresentam maior risco na recomendação.

Tabela 7 - Estimativa do índice de risco (IR) e  $\sum Z$  considerando a produtividade de grãos dos dez melhores e dez piores genótipos.

Genótipo	Ir (%)	Genótipo	$\sum Z$
1	0,39	1	75,62
14	1,07	43	75,35
BRSMG Majestoso	1,10	BRSMG Majestoso	74,03
136	1,48	102	71,94
37	1,89	118	69,87
16	1,91	5	68,51
122	1,96	68	67,36
143	2,00	90	67,12
131	2,11	74	67,00
111	2,38	Talismã	66,85
67	15,23	Iapar 81	52,51
Iapar 81	15,38	148	52,10
146	15,92	58	51,85
139	15,95	50	51,74
106	16,29	146	51,46
160	16,34	139	51,24
15	16,57	106	50,73
BRS Estilo	17,01	160	50,67
97	18,35	97	50,09
G4280	25,08	G4280	48,54

Fonte: Do autor (2016).

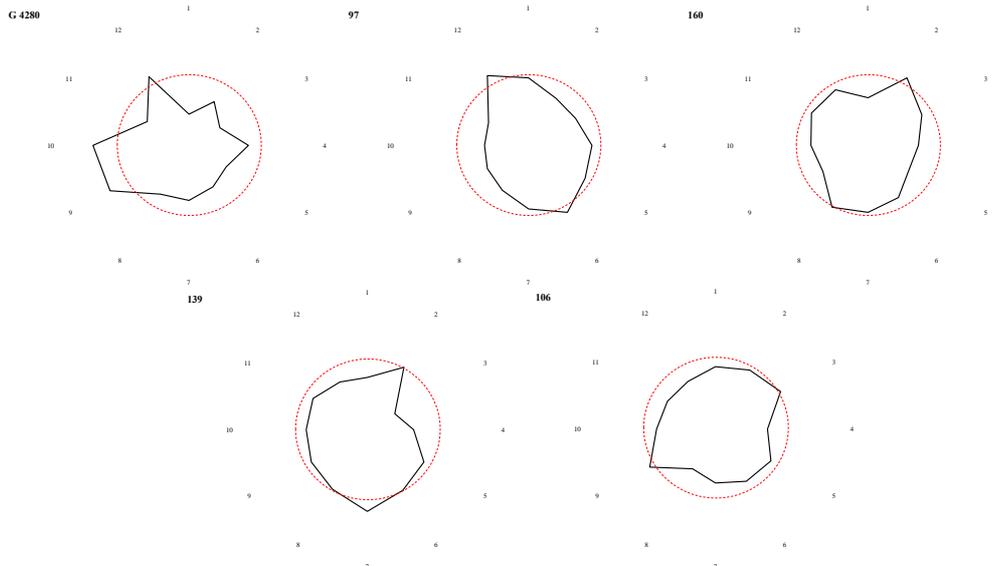
Figura 3 - Representação gráfica do desempenho dos cinco melhores genótipos pelo  $\Sigma Z$ , considerando produtividade de grãos. A linha pontilhada representa o valor da constante (cinco) associado à variável Z (média do ambiente), e os eixos referem-se aos 12 ambientes avaliados.



Legenda: 1: Patos de Minas (PM), semeadura abril 2014 (04/14), baixa disponibilidade de água (BDA). 2: PM, 04/14, alta disponibilidade de água (ADA). 3: Lavras, semeadura julho 2014 (07/14), BDA. 4: Lavras, 07/14, ADA. 5: PM, semeadura março 2015 (03/15), BDA. 6: PM, 03/15, ADA. 7: Lavras, 03/15, BDA. 8: Lavras, 03/15, ADA. 9: PM, semeadura julho 2015 (07/15), BDA. 10: PM, 07/15, ADA. 11: Lavras, 07/15, BDA. 12: Lavras, 07/15, ADA.

Fonte: Do autor (2016).

Figura 4 - Representação gráfica do desempenho dos cinco piores genótipos pelo  $\Sigma Z$ , considerando produtividade de grãos. A linha pontilhada representa o valor da constante (cinco) associado à variável Z (média do ambiente), e os eixos referem-se aos 12 ambientes avaliados.

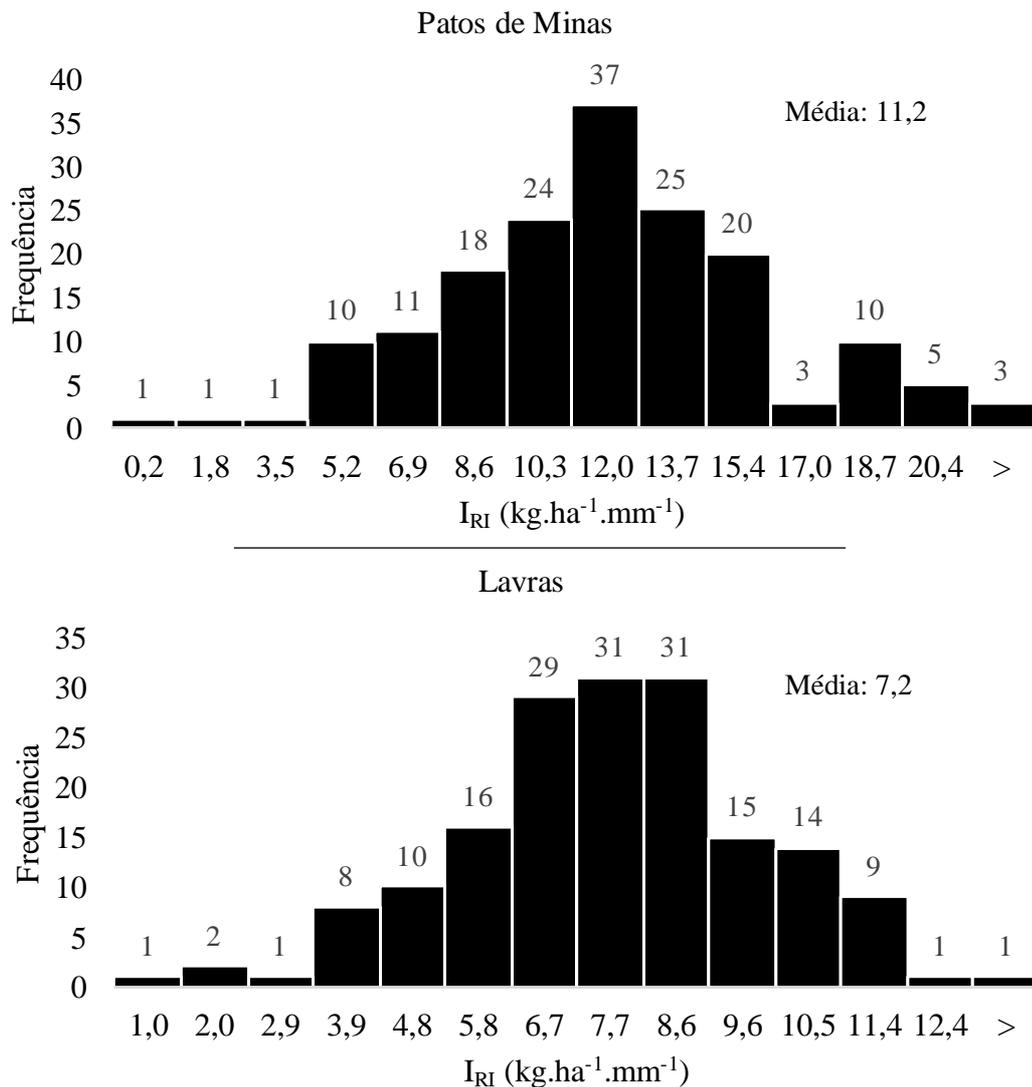


Legenda: 1: Patos de Minas (PM), semeadura abril 2014 (04/14), baixa disponibilidade de água (BDA). 2: PM, 04/14, alta disponibilidade de água (ADA). 3: Lavras, semeadura julho 2014 (07/14), BDA. 4: Lavras, 07/14, ADA. 5: PM, semeadura março 2015 (03/15), BDA. 6: PM, 03/15, ADA. 7: Lavras, 03/15, BDA. 8: Lavras, 03/15, ADA. 9: PM, semeadura julho 2015 (07/15), BDA. 10: PM, 07/15, ADA. 11: Lavras, 07/15, BDA. 12: Lavras, 07/15, ADA.

Fonte: Do autor (2016).

Outra informação de interesse para o melhorista seria a resposta dos genótipos a água fornecida. Para isso, uma das alternativas é a utilização do índice de resposta a irrigação (FIGURA 5). Como esperado, verifica-se que a resposta na produtividade média dos genótipos foi sempre positiva. Na média, o incremento por milímetro de água aplicada foi de 9.2 kg.ha<sup>-1</sup>.

Figura 5 - Distribuição de frequência do índice de resposta a irrigação (I<sub>RI</sub>) em Patos de Minas e Lavras.



Fonte: Do autor (2016).

Um outro índice que pode ser útil para o melhorista e é amplamente utilizado é a eficiência no uso da água (EUA). Procedeu-se as análises de modo análogo ao da produtividade de grãos. Verificou-se que os resultados foram bem semelhantes para as duas características (TABELA 2, APÊNDICE A). A acurácia seletiva foi sempre superior a 69,7%

na análise em cada ambiente. A estimativa do componente de variância genética de genótipos foi diferente de zero em todas as avaliações, confirmando a existência de variabilidade para a característica avaliada. Considerando a análise conjunta dos 12 ambientes verificou-se que todos os componentes do modelo foram significativos (TABELA 8). O componente de variância da interação genótipos x ambientes foi diferente de zero e maior que o componente de variância genética dos genótipos, confirmando a não coincidência no comportamento das mesmas nos 12 ambientes. Assim como para produtividade de grãos, para EUA ocorreu grande heterogeneidade nas estimativas do erro.

Tabela 8 - Estimativas dos componentes de variância dos efeitos aleatórios para eficiência no uso da água ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ ) da análise conjunta dos 12 ambientes.

Descrição	Componente	Erro padrão
Genótipos (G)	0,22*	0,05
Repetição	0,09*	0,04
Bloco(Repetição)	0,39*	0,05
Ambientes x G	1,56*	0,08
Resíduos		
Baixa disponibilidade de água (BDA)		
Patos de Minas - semeadura abril 2014	1,93	0,15
Lavras - semeadura julho 2014	9,81	0,73
Patos de Minas - semeadura março 2015	0,72	0,06
Lavras - semeadura março 2015	1,11	0,09
Patos de Minas - semeadura julho 2015	1,25	0,10
Lavras - semeadura julho 2015	4,85	0,36
Alta disponibilidade de água (ADA)		
Patos de Minas - semeadura abril 2014	0,91	0,07
Lavras - semeadura julho 2014	6,81	0,51
Patos de Minas - semeadura março 2015	0,79	0,06
Lavras - semeadura março 2015	0,89	0,07
Patos de Minas - semeadura julho 2015	6,69	0,53
Lavras - semeadura julho 2015	4,91	0,37

\* Significativo, pelo teste de LRT, a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2016).

Comparando os experimentos em condição de BDA e ADA em cada local/época de semeadura foi encontrada diferença significativa para o efeito de genótipos, bem como o da interação genótipos x níveis de água pelo teste de razão de verossimilhança. A correlação entre os dois níveis de água foi de magnitude baixa a mediana na maioria dos locais/época de semeadura, indicando interação do tipo complexa. Na época de semeadura em julho de 2015 em Lavras e Patos de Minas o valor baixo da correlação indica predominância de interação do tipo complexa, que ocorre em função da falta de correlação no desempenho dos genótipos nas duas condições (TABELA 9).

Nota-se que alguns genótipos estão entre as de melhor desempenho para EUA e produtividade de grãos (TABELA 3, APÊNDICE A). Estimou-se a coincidência entre os dez melhores genótipos a fim de verificar se ao selecionar para a produtividade de grãos, os melhores genótipos considerando EUA também seriam selecionadas (TABELA 10). Entre as análises em cada local/época de semeadura, Patos de Minas na época de semeadura em abril de 2014 (ADA) e março de 2015 (BDA) e Lavras, em março de 2015 (ADA) apresentaram 100% de coincidência entre os dez melhores genótipos. Nas demais análises, todas as estimativas foram superiores a 88%, exceto para Lavras, na época de semeadura julho de 2015 (ADA). O valor na média dos 12 ambientes avaliados indica que a seleção para produtividade de grãos é coincidente com a seleção para EUA. Foi também estimada a correlação entre os EBLUP de EUA e produtividade de grãos. Observa-se que todas as estimativas em todas as condições apresentaram valores superiores a 98% (Tabela 10).

Tabela 9 - Teste de significância dos componentes do modelo considerando o efeito de níveis de água dentro de cada local/época de semeadura para eficiência no uso da água e correlação entre condição de baixa disponibilidade de água (BDA) e alta disponibilidade de água (ADA).

Descrição	Teste					
	1 <sup>1</sup>	2	3	4	5	6
Níveis de água (N)	5,71 <sup>+</sup>	0,08 <sup>NS</sup>	136,1 <sup>+</sup>	0,32 <sup>NS</sup>	0,22 <sup>NS</sup>	7,21 <sup>+</sup>
Genótipos (G)	47,48 <sup>*</sup>	49,25 <sup>*</sup>	32,26 <sup>*</sup>	22,13 <sup>*</sup>	16,40 <sup>*</sup>	5,96 <sup>*</sup>
G x N	5,86 <sup>*</sup>	110,43 <sup>*</sup>	76,79 <sup>*</sup>	6,66 <sup>*</sup>	149,65 <sup>*</sup>	13,59 <sup>*</sup>
Correlação	0,80	0,60	0,52	0,68	0,38	0,40

<sup>1</sup> 1: Patos de Minas, semeadura abril 2014. 2: Lavras, semeadura julho 2014. 3: Patos de Minas, semeadura março 2015. 4: Lavras, semeadura março 2015. 5: Patos de Minas, semeadura julho 2015. 6: Lavras, semeadura julho 2015.

<sup>+</sup> Significativo, pelo teste de Wald, a 1% de probabilidade.

<sup>\*</sup> Significativo, pelo teste de LRT, a 5% de probabilidade.

<sup>NS</sup> Não significativo, pelo teste de Wald, a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2016).

Tabela 10 - Estimativa da coincidência na seleção dos dez melhores genótipos para produtividade de grãos e eficiência no uso da água e correlação entre as duas características.

Local/época de semeadura	Coincidência		Correlação	
	BDA <sup>1</sup>	ADA <sup>2</sup>	BDA	ADA
Patos de Minas - semeadura abril 2014	88,9	100,0	99,94	99,96
Lavras - semeadura julho 2014	88,9	88,9	99,83	99,73
Patos de Minas - semeadura março 2015	100,0	88,9	99,97	99,91
Lavras - semeadura março 2015	88,9	100,0	99,91	99,64
Patos de Minas - semeadura julho 2015	88,9	88,9	99,61	99,60
Lavras - semeadura julho 2015	88,9	55,6	99,65	98,72
Conjunta 12 ambientes	88,9		99,51	

<sup>1</sup>BDA: baixa disponibilidade de água. <sup>2</sup>ADA: alta disponibilidade de água.  
Fonte: Do autor (2016).

Foi estimada a  $h^2$  para seleção entre média de genótipos (TABELA 11). Essa informação é sobretudo importante para orientar os melhoristas em qual ambiente a seleção pode ser mais eficiente. Os valores das estimativas foram bem semelhantes para as duas características e variaram em função do ambiente. Na análise conjunta dos 12 ambientes o valor da estimativa de  $h^2$  foi de média a alta magnitude.

Tabela 11 - Estimativa da herdabilidade (em porcentagem) para produtividade de grãos e eficiência no uso de água (EUA) nas análises em cada ambiente e conjunta considerando os 12 ambientes.

Local/época de semeadura	Produtividade		EUA	
	BDA <sup>1</sup>	ADA <sup>2</sup>	BDA	ADA
Patos de Minas - semeadura abril 2014	55,7	73,2	56,1	73,3
Lavras - semeadura julho 2014	59,8	51,8	58,5	50,5
Patos de Minas - semeadura março 2015	86,2	84,3	86,4	84,0
Lavras - semeadura março 2015	84,7	81,3	84,3	81,8
Patos de Minas - semeadura julho 2015	89,2	78,8	89,0	78,3
Lavras - semeadura julho 2015	47,5	52,6	48,5	50,2
Média	70,5	70,3	70,5	69,7
Conjunta 12 ambientes	49,4		49,5	

<sup>1</sup>BDA: baixa disponibilidade de água. <sup>2</sup>ADA: alta disponibilidade de água.  
Fonte: Do autor (2016).

Observa-se que embora ocorra divergência entre os valores da estimativa de  $h^2$  em BDA e ADA, tanto para produtividade de grãos quanto para EUA, verifica-se na média das estimativas dos seis locais/época de semeadura que as  $h^2$  foram praticamente iguais, indicando a princípio que a seleção com alto ou baixo nível de água deve ter a mesma eficiência.

Finalmente, as estimativas do ganho esperado com a seleção dos 10% melhores genótipos (GS) nos diferentes ambientes e resposta correlacionada na condição BDA pela seleção realizada na condição ADA são apresentadas na Tabela 12. Considerando que os resultados referentes a produtividade de grãos e a EUA foram muito semelhantes e a correlação entre as duas características de alta magnitude, os resultados apresentados serão apenas para produtividade de grãos. As estimativas do GS foram todas de grande magnitude, reforçando a existência de variação genética entre genótipos e a boa precisão experimental na avaliação nas duas disponibilidades de água. Na média dos locais e épocas de semeadura, o GS foi de 34,5% na condição BDA e 29,4% em ADA, evidenciado novamente que a disponibilidade de água praticamente não afeta o ganho esperado com a seleção. Observou-se também que a RC da seleção em ADA em BDA, foi sempre positiva, embora de magnitude inferior ao ganho direto. O maior ganho com a seleção na condição ADA para resposta em BDA correspondeu a 55% do ganho com a seleção diretamente na condição BDA, e o menor foi de 11%.

Tabela 12 - Estimativas (em porcentagem das médias EBLUP dos 169 genótipos) do ganho com a seleção (GS) nos 12 ambientes avaliados e resposta correlacionada (RC) na condição de baixa disponibilidade de água (BDA) pela seleção efetuada em alta disponibilidade de água (ADA) para produtividade de grãos.

Local/época de semeadura	GS		RC
	BDA	ADA	
Patos de Minas - semeadura abril 2014	17,7	21,4	7,2
Lavras - semeadura julho 2014	21,4	14,5	7,3
Patos de Minas - semeadura março 2015	50,3	47,2	27,7
Lavras - semeadura março 2015	47,4	35,4	5,3
Patos de Minas - semeadura julho 2015	53,4	38,4	21,0
Lavras - semeadura julho 2015	16,6	19,5	1,9
Média	34,5	29,4	11,7

Fonte: Do autor (2016).

## 5 DISCUSSÃO

Em praticamente todas as espécies cultivadas, grande esforço do melhoramento genético foi e é direcionado à tolerância à deficiência hídrica (CECCARELI, 2014). O procedimento na condução das progênes segregantes é muito variável (CATTIVELLI et al., 2008; GONÇALVES et al., 2013). Contudo, o objetivo na maioria dos casos é obter plantas que sejam tolerantes à deficiência hídrica por tempo variável (BEEBE et al., 2013; POLANIA et al., 2016a).

Em Minas Gerais o feijão é semeado praticamente em todo o ano (VIEIRA et al., 2004). Contudo, no período que vai de abril a setembro, as precipitações (chuvas) são insuficientes para o cultivo havendo a necessidade de irrigação. Quando o cultivo é realizado sem irrigação ocorrem períodos de duração variável sem precipitação e, nas épocas em que é irrigado a água é um dos insumos mais caros. Dessa forma, o enfoque na seleção de plantas para essa região não deve ser de tolerância à seca, mas sim de eficiência no uso da água (EUA). Esse foi o objetivo do presente trabalho.

A necessidade de água na cultura do feijoeiro, evidentemente, varia em função de uma série de condições (ANDRADE et al., 2015; SILVEIRA; STONE; VIEIRA, 2015). A recomendação para que a água não seja limitante é variável, porém se aceita que 100 mm mensais, bem distribuídos, sejam suficientes. Contudo, mesmo no cultivo irrigado a quantidade de água varia, pois há períodos em que ocorre precipitação que, evidentemente, não é possível de ser controlada. Nesse trabalho a quantidade de água recebida pela cultura variou um pouco. Na média dos dois locais e das quatro épocas de semeadura, na condição de alta disponibilidade de água (ADA) a quantidade recebida foi de 254 mm. No outro nível, de baixa disponibilidade de água (BDA), o valor foi de 183 mm. Ou seja, em BDA a quantidade de água foi 72% da ADA (TABELA 1, APÊNDICE A). Essa diferença em todas as situações contribuiu para que, na média de todos os genótipos, a produtividade de grãos em ADA fosse diferente da BDA. Na média de todos os ambientes, a produtividade de grãos em ADA foi 68% superior a BDA. Essa condição é indispensável para o que se propunha no presente trabalho.

As 160 progênes avaliadas foram provenientes de cruzamentos identificados anteriormente no programa de melhoramento do feijoeiro da UFLA, como promissoras quanto à tolerância à deficiência hídrica (dados não publicados). Essas progênes foram avaliadas em experimentos contíguos, conduzidos no campo, em condições de presença e ausência de deficiência hídrica. Depreende-se que a diferença entre as progênes era esperada

sob condições de diferentes disponibilidades de água, o que foi constatado em quase todas as situações.

Quando se avalia a tolerância à seca, como já mencionado, inúmeros caracteres têm sido avaliados (ASFAW; BLAIR, 2012; ASSEFA et al., 2015; CECCARELLI, 2014; MUKESHIMANA et al., 2014; ZIYOMO; BERNARDO, 2013). Contudo, optou-se por considerar a produtividade de grãos, pois esse caráter depende de todos os demais e a resposta irá refletir a ação de praticamente todos os genes da planta (CATTIVELLI et al., 2008; CECCARELLI, 2014; PORCH et al., 2009; ROSALES et al., 2012; VOLTAS; LÓPEZ-CÓRCOLES; BORRÁS, 2005). O emprego de técnicas biotecnológicas, especialmente marcadores moleculares, visando tolerância à seca, também tem sido o foco de inúmeros trabalhos. Contudo, em levantamento realizado por Ceccarrelli (2014) é mencionado que apesar dos inúmeros esforços de pesquisa, a identificação de marcas associadas à tolerância tem sido ineficiente na geração de novas cultivares tolerantes a esse estresse.

Na literatura grande ênfase tem sido dada ao que se denominou eficiência no uso da água (EUA) (BUILES; PORCH; HARMSSEN, 2011; HU; XIONG, 2014; POLANIA et al., 2016a, 2016b). O mesmo tipo de índice tem sido utilizado para a seleção visando a eficiência na utilização de outros insumos agrícolas (FURTINI; RAMALHO; ABREU, 2014; SANT'ANA; SANTOS; SILVEIRA, 2011; SOUZA et al., 2012). Nesse trabalho também foi obtida a estimativa de EUA. A concordância com os resultados usando a produtividade de grãos per se foi muito alta. A correlação entre as médias dos genótipos, usando EUA e produtividade na maioria dos casos foi próxima de um (TABELA 10). Nessa situação a discussão dos resultados será direcionada predominantemente no que ocorreu com a produtividade de grãos.

A irrigação foi realizada por meio de aspersão. Os aspersores foram colocados a cada 12 metros, de acordo com a recomendação do fabricante. Contudo, a distribuição da água nem sempre é uniforme. Para mitigar esse problema, foram colocados coletores a espaço regulares, dentro de cada bloco. Logo após a irrigação, ou alguma precipitação, a água dos coletores foi mensurada. A quantidade de água, no final, foi utilizada como covariável, para atenuar a diferença na água recebida, na produtividade de grãos. Pelo menos em princípio esse procedimento foi bem sucedido, pois a maioria das estimativas da acurácia foram elevadas (TABELA 1, APÊNDICE A). Não foi encontrado nenhum relato a esse respeito na literatura em experimentos visando tolerância à seca. Contudo, coleta de água nas parcelas, visando a melhoria da precisão experimental com a cultura do feijoeiro já foi realizada com sucesso por Krause, Ramalho e Abreu (2007).

Na condução de experimentos em condições de estresse, normalmente ocorre heterogeneidade de variância dos erros, o que dificulta a análise conjunta. Para contornar esse problema, na análise dos dados foi empregado o procedimento de máxima verossimilhança restrita que consegue utilizar essa informação para uma estimação mais acurada dos parâmetros de interesse (PATTERSON; THOMPSON, 1971).

Nesse tipo de experimento, uma informação fundamental é se ocorre interação genótipos x níveis de água. Em ocorrendo, pode-se antever a possibilidade de identificar genótipos mais adaptados a determinado nível de água. Em todos os locais/épocas de semeadura as análises envolvendo simultaneamente BDA e ADA, mostraram que a interação genótipos x níveis de água foram significativas (TABELA 5). As estimativas das correlações entre o desempenho médio dos genótipos em BDA e ADA, em cada ambiente foram na maioria dos casos de média a baixa magnitude (TABELA 5), evidenciando que a interação genótipos x níveis de água é predominantemente complexa. Em princípio, isso indica que é difícil identificar genótipos que possam ser recomendados para ambas as condições (RAMALHO et al., 2012).

A ocorrência de interação entre genótipos x ambientes para produtividade de grãos na região é normalmente frequente (LIMA et al., 2014; LIMA et al., 2015). Uma forma de mitigar o efeito desse tipo de interação é conduzir os experimentos de avaliação no maior número de ambientes possível e identificar os melhores genótipos na média dos ambientes (LIMA et al., 2014; FERREIRA et al., 2015). Quando se procedeu a análise conjunta com níveis de água independente dos demais fatores de ambientes, isto é, época de semeadura e locais, a interação genótipos x níveis de água não foi significativa, diferente do que ocorreu nas análises dentro de cada local/época de semeadura (TABELAS 4 e 5). Pode-se inferir que na análise conjunta com níveis de água independente dos demais fatores de ambientes, todos os componentes presentes foram isolados, e a interação genótipos x níveis de água estava livre de outros efeitos, o que não poderia ser detectado nas análises dentro de cada local/época de semeadura.

Contudo, mesmo com a interação genótipos x níveis de água presente, há genótipos que coincidem entre os de melhor desempenho em BDA e ADA em ambos os locais. O mesmo fato é observado entre as de pior desempenho (TABELA 6). Por essa razão a ênfase na discussão será direcionada preferencialmente para o que ocorreu na média dos locais e época de semeadura.

Foi utilizada a metodologia de Nunes, Ramalho e Abreu (2005) visando a identificar os genótipos mais adaptadas e estáveis por meio de uma análise gráfica. Os cinco melhores

genótipos por essa metodologia estão apresentados na Figura 3. O destaque é a progênie 1, que em todas as condições apresentou desempenho acima da média. Utilizando o mesmo princípio foi estimado o risco de recomendação dos genótipos. Nesse caso, a progênie 1, como era esperado, teve estimativa de risco próximo de zero (TABELA 7).

Deve-se destacar o desempenho da cultivar BRSMG Majestoso, que é recomendada para cultivo em Minas Gerais (ABREU et al., 2007) (FIGURA 1, TABELA 7 e TABELA 3, APÊNDICE A). Apesar de não ter sido selecionada para tolerância a deficiência hídrica, foi avaliada intensamente no Estado nas mais diversas condições de cultivo. Evidentemente, foi recomendada por ter sido superior na maioria das condições avaliadas e confirmou seu bom desempenho e estabilidade em ambientes variáveis. Fato semelhante ocorreu com a cultivar BRSMG Talismã, que foi um dos genitores utilizados na obtenção das populações segregantes, devido sua ampla e boa adaptação no Estado e que também esteve entre os melhores (TABELA 7 e TABELA 3 do APÊNDICE A). É interessante comentar que essa cultivar é oriunda de um programa de seleção recorrente em que um dos genitores é a linhagem BAT 477, que é uma das fontes de tolerância à seca mais citadas na literatura (ABREU et al., 2004; BLAIR et al., 2012; MÜLLER et al., 2013). Deve-se destacar também a linhagem G4280, que foi utilizada como um dos genitores por também ser uma referência de tolerância à seca (ASFAW; BLAIR, 2012; GUIMARÃES et al., 2011). Nesse trabalho essa linhagem esteve entre as de pior desempenho (TABELA 7 e TABELA 3, APÊNDICE A). Provavelmente isso ocorreu por não ser bem adaptada. Contudo, confirmou sua boa capacidade de combinação em gerar progênies com boa adaptação ao estresse hídrico, já que, entre as progênies de melhor desempenho estão as oriundas do cruzamento com essa linhagem.

Um questionamento frequente é se a possibilidade de sucesso com a seleção varia com a presença ou ausência de estresse hídrico (CATTIVELLI et al., 2008; HUBNER et al., 2013; PORCH et al., 2009). Para responder a esse questionamento, em princípio, uma boa estimativa é a herdabilidade ( $h^2$ ) para seleção na média dos genótipos. Constatou-se que, embora tenha ocorrido variação nas estimativas de  $h^2$  entre os ambientes, na média dos locais e épocas de semeadura, a  $h^2$  em BDA e ADA foi a mesma. Isso indica que a seleção sob BDA ou ADA teria o mesmo sucesso.

Os resultados obtidos nas estimativas do ganho esperado com a seleção (GS) e a resposta correlacionada (RC) na condição de BDA pela seleção realizada na condição de ADA reforçam essa hipótese (Tabela 12). As estimativas do GS foram todas de grande magnitude, reforçando a existência de variação genética entre genótipos e a boa precisão

experimental na avaliação nas duas disponibilidades de água. Na média dos locais e épocas de semeadura, o GS foi de 34,5% na condição BDA e 29,4% em ADA, evidenciado novamente que a disponibilidade de água praticamente não afetou o ganho esperado com a seleção e que as populações utilizadas foram adequadamente escolhidas para o objetivo proposto. Observou-se também que a RC em BDA quando a seleção é realizada em ADA, foi sempre positiva, embora de magnitude inferior ao ganho direto. Assim, diante das dificuldades já expostas, que ocorrem para avaliação sob deficiência hídrica, pode-se inferir que, no caso do feijoeiro, as avaliações realizadas em grande diversidade de ambientes (locais, safras e condições edafoclimáticas) são eficientes para seleção de genótipos adaptados às diversas condições de cultivo no estado, inclusive condições de BDA. Essas observações são válidas tanto para a produtividade de grãos quanto para a EUA, que apresentou correlação de alta magnitude com a produtividade de grãos, como já mencionado.

O melhoramento para adaptação específica à condição de estresse hídrico é considerado uma estratégia de melhoramento indesejável, porque normalmente é associada com baixa produtividade sob condições favoráveis (CECCARELLI, 2014). Já o melhoramento para adaptação ampla foi considerado como de melhor custo-benefício que a seleção de genótipos especificamente adaptados por Windhausen et al. (2012). Assim, a estratégia utilizada nesse trabalho, de avaliar sob as duas condições de disponibilidade de água concomitantemente, parece ser a melhor estratégia, pois permite identificar genótipos com bom desempenho em BDA, mas que respondem à melhoria do ambiente. Contudo, se não for possível avaliar sob condições controladas de disponibilidade de água, o emprego de grande número de ambientes também pode contribuir indiretamente para a identificação de genótipos que também apresentem boa produtividade sob BDA. O desempenho das cultivares BRSMG Majestoso e BRSMG Talismã, comentado anteriormente, confirmam essa observação. Outras cultivares, como a Carioca e Pérola, recomendadas para plantio em Minas Gerais e em diversos outros estados, também foram consideradas como tolerantes à seca em outras oportunidades, também reforçando essa observação (GUIMARÃES, 1992; BIUDES et al., 2006).

## 6 CONCLUSÃO

Os genótipos responderam de modo distinto aos níveis de água aplicado, sendo possível identificar genótipos com alta produtividade e boa eficiência no uso da água.

A seleção na condição sem estresse hídrico (ADA) reflete a seleção na condição de estresse (DBA). As duas condições de avaliação foram igualmente eficientes na seleção, como comprovado pelas estimativas dos ganhos esperados com a seleção, que foram sempre altos, tanto em BDA como ADA.

Os genótipos diferiram no risco de sua recomendação, alguns apresentaram IR próximo de zero, ou seja, são tolerantes em BDA e responsivos sob condições de maior disponibilidade de água, o que é altamente desejado.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, A. de F. B. A et al. BRSMG Majestoso: another common bean cultivar of carioca grain type for the state of Minas Gerais. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 7, p. 403-405, 2007.
- \_\_\_\_\_ et al. 'BRSMG Talismã': common bean cultivar with Carioca grain type. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 4, p. 372-374, 2004.
- ANDRADE, M. J. B. de et al. Exigências edafoclimáticas. In: CARNEIRO, J. E. S.; PULA JÚNIOR, T. J. de; BORÉM, A. **Feijão: do plantio a colheita**. Viçosa: Ed. UFV, 2015, cap. 4, p. 67-95.
- ARAÚJO, G. A. de A.; FERREIRA, A. C. de B. Manejo do Solo e Plantio. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J. de; BORÉM, A. **Feijão**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2006. p. 87-114.
- ASSEFA, T et al. Improving adaptation to drought stress in small red common bean: phenotypic differences and predicted genotypic effects on grain yield, yield components and harvest index. **Euphytica**, v. 203, p. 477-489, 2015.
- ASFAW, A.; BLAIR, M. W. Quantitative trait loci for rooting pattern traits of common beans grown under drought stress versus non-stress conditions. **Molecular Breeding**, v.30, p. 681-695, 2012.
- BEEBE, S. et al. Phenotyping common beans for adaptation to drought. **Frontiers in Physiology**, v. 4, p. 1-20, 2013.
- BELKO, N. et al. Selection for post flowering drought resistance in short- and medium-duration cowpeas using stress tolerance indices. **Crop Science**, v. 54, p. 25-33, 2014.
- BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. 2 ed. Woodbury: Stemma, 2010.
- BEZERRA, A. P. A. et al. Rendimento, componentes da produção e uso eficiente da terra nos consórcios sorgo x feijão-de-corda e sorgo x milho. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 38, p. 104-108, 2007.
- BIUDES, G. B. et al. Identificação de linhagens de feijoeiro tolerantes à deficiência hídrica. In: IX CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 4, 2008, Campinas. **Resumos expendidos...** CD-ROM.
- \_\_\_\_\_ et al. Selection of bean cultivars for tolerance to water stress. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, v.49, p. 237-238, 2006.
- BIULES, V. H. R.; PORCH, T. G.; HARMSSEN, E. W. Genotypic Differences in Water Use Efficiency of Common Bean under Drought Stress. **Agronomy Journal**, v. 103, p. 1206-1215, 2011.

BLAIR, M.W. et al. Development of a Mesoamerican intra-genepool genetic map for quantitative trait loci detection in a drought tolerant x susceptible common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cross. **Molecular Breeding**, v.29, p.71-88, 2012.

BLUM, A. Drought resistance – is it really a complex trait? **Functional Plant Biology**, v. 38, p. 753-757, 2011.

\_\_\_\_\_. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential - Are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? **Australian Journal of Agricultural Research**, v.56, p. 1159-1168, 2005.

BORÉM, A.; CARNEIRO, J. E. S. A cultura. In: CARNEIRO, J. E. S.; PULA JÚNIOR, T. J. de; BORÉM, A. **Feijão: do plantio a colheita**. Viçosa: Ed. UFV, 2015, cap. 1, p. 9-15.

BOYER, J. S. et al. The U. S. drought of 2012 in perspective: A call to action. **Global Food Security**, v.2, p. 139-143, 2013.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. **Perfil do feijão no Brasil**. Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/feijao/saiba-mais>>. Acesso em: 02 dez. 2016.

BUTLER, D. asreml: asreml() fits the linear mixed model. R package version 3.0. 2009. Disponível em: [www.vsni.co.uk](http://www.vsni.co.uk).

CARNEIRO, J. E. de S. et al. BRSMG Madrepérola: common bean cultivar with late-darkening Carioca grain. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 12, p. 281-284, 2012.

CATTIVELLI, L. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. **Field Crop Research**, v. 105, p. 1-14, 2008.

CAVATTE, P.C. et al. A fisiologia dos estresses abióticos. In: FRITSCHÉ-NETO, R.; BORÉM, A. **Melhoramento de Plantas para Condições de Estresses Abióticos**. Viçosa: Ed. UFV, 2011, cap. 3, p.39-79.

CECCARELLI, S. Drought. In: JACKSON, M.; FORD-LLOYD, B.; PARRY, M. L. **Plant Genetic Resources and Climate Change**. Boston: Ed. Cabi, 2014, cap. 13, p. 221-235.

\_\_\_\_\_ et al. Breeding for yield stability in unpredictable environments: single traits, interaction between traits, and architecture of genotypes. **Euphytica**, v. 56, p. 169–185, 1991.

COLLINS, N. C.; TARDIEU, F.; TUBEROSA, R. Quantitative trait loci and crop performance under abiotic stress: Where do we stand? **Plant Physiology**, v. 147, p. 469-486, 2008.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, 2º levantamento safra 2016/2017**, Brasília, DF, 2016. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16\\_11\\_11\\_14\\_54\\_21\\_boletim\\_graos\\_novembro\\_2016.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_11_11_14_54_21_boletim_graos_novembro_2016.pdf)>. Acesso em: 3 dez. 2016.

- FAROOQ, M. et al. Drought stress in plants: a overview. In: AROCA, R. **Plant responses to drought stress: From morphological to molecular features**. New York: Ed. Springer, 2012, cap. 1, p. 1-36.
- FERREIRA, R. A. D. C. et al. Implications of the number of years assessment on recommendation of common bean cultivars. **Plant Breeding**, v. 134, p. 599-604, 2015.
- FRAHM, M. A. et al. Breeding beans for resistance to terminal drought in the lowland tropics. **Euphytica**, v. 136, p. 223-232, 2004.
- FURTINI, I. V.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B. Implications of selection in common bean lines in contrasting environments concerning nitrogen levels. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 14, p. 160-165, 2014.
- GOMES, A. A. et al. Acumulação de biomassa, características fisiológicas e rendimento de grãos em cultivares de feijoeiro irrigado e sob sequeiro. Pesquisa agropecuária brasileira, v.35, p.1927-1937, 2000.
- GONÇALVES, J. G. R. et al. Avaliação do déficit hídrico na pré-floração na cultura do feijoeiro por meio da análise dialética. In: 7 CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 2013, Uberlândia. **Anais eletrônicos...** CD-ROM.
- GUIMARÃES, C. M. et al. Genótipos de feijoeiro comum sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p. 649-656, 2011.
- \_\_\_\_\_; STONE, L. F.; BRUNINI, O. Adaptação do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) à seca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.70-75, 2006.
- \_\_\_\_\_. Características morfofisiológicas de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) relacionadas com a resistência a seca. 1992. 31p. Tese (doutorado) - UNICAMP, Campinas, 1992.
- HAMBLIN, J.; ZIMMERMANN, M. J. de O. Breeding common bean for yield mixtures. **Plant Breeding Reviews**, v. 4, p. 245-272, 1986.
- HU, H.; XIONG, L. Genetic Engineering and Breeding of Drought-Resistant Crops. **Annual Reviews Plant Biology**, v. 65, p. 715-741, 2014.
- HUBNER, M. et al. Hybrid rye performance under natural drought stress in Europe. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 126, p. 475-482, 2013.
- KRAUSE, W.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B. Alternativas para melhorar a eficiência dos experimentos de valor de cultivo e uso na cultura do feijoeiro. **Ceres**. v. 54, p. 199-205, 2007.
- LIMA, D. C. et al. Breeding common bean populations for traits using selection index. **Scientia Agrícola**, v. 72, p. 132-137, 2015.
- LIMA, L. K. et al. Implications of predictable and unpredictable environmental factors in common bean VCU trials in Minas Gerais. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 14, p. 146-153, 2014.

MELO, L. C. et al. Common bean cultivar BRS Ametista with large Carioca grains and disease resistance. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 12, p. 293-296, 2012.

\_\_\_\_\_ et al. BRS Estilo - Common bean cultivar with Carioca grain, upright growth and high yield potential. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 10, p. 377-379, 2010.

MENKIR, A. et al. Comparative performance of top-cross maize hybrids under managed drought stress and variable rainfed environments. **Euphytica**, v. 212, p. 455-472, 2016.

MOLINA, J.C. et al. Response of common bean cultivars and lines to water stress. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.1, p. 363-372, 2001.

MOURA, A. D. de; BRITO, L. M. de. Aspectos Socioeconômicos. In: CARNEIRO, J. E. S.; PULA JÚNIOR, T. J. de; BORÉM, A. **Feijão: do plantio a colheita**. Viçosa: Ed. UFV, 2015, cap. 2, p. 16-36.

MÜLLER, B. S. de F. et al. Differentially expressed genes during flowering and grain filling in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grown under drought stress conditions. **Plant Molecular Biology Reporter**, v. 32, p. 438-451, 2013.

MUKESHIMANA, G. et al. Quantitative trait loci associated with drought tolerance in common bean. **Crop Science**, v. 54, p. 923-938, 2014.

MUÑOZ-PEREA, C. G. et al. Selection for drought resistance in dry bean landraces and cultivars. **Crop Science**, v. 46, p. 2111-2120, 2006.

NEMESKÉRI, E. et al. Study of the defensive mechanism against drought in French bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties. **Acta Physiological Plantarum**, v. 32, p. 1125-1134, 2010.

NUNES, J. A. R.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B. Graphical method in studies of adaptability and stability of cultivars. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, v. 48, p. 182-183, 2005.

ORTIZ, R. Drought tolerance. In: KOLE, C. **Genomics and breeding for climate-resilient crops**. Heidelberg: Ed. Springer, 2013, v. 2, cap. 5, p. 203-223.

PATTERSON, H. D.; THOMPSON, R. Recovery of inter-block information when block sizes are unequal. **Biometrika**, v. 58, p. 545-554, 1971.

POLANIA, J. et al. Physiological traits associated with drought resistance in Andean and Mesoamerican genotypes of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Euphytica**, v. 210, p. 17-29, 2016a.

\_\_\_\_\_ et al. Effective use of water and increased dry matter partitioned to grain contribute to yield of common bean improved for drought resistance. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 1-10, 2016b.

\_\_\_\_\_ et al. Características morfo-fisiológicas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) relacionadas con la adaptación a sequía. **Acta Agronómica**, v. 61, p. 179-187, 2012.

- PORCH, T. G. et al. Evaluation of common bean for drought tolerance in Juana Diaz, Puerto Rico. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 195, p. 328-334, 2009.
- RAMALHO, M. A. P. et al. BRSMG UAI: common bean cultivar with carioca grain type and upright plant architecture. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 16, p. 261-264, 2016.
- \_\_\_\_\_; ABREU, A. de F. B.; GUILHERME, S. R. **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na região Central-Brasileira: 2015-2017**. Lavras: Ed. UFLA, 2014.
- \_\_\_\_\_ et al. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: UFLA, 2012.
- RAO, I. M. Advances in improving adaptation of common bean and *Brachiaria* forage grasses to abiotic stresses in the tropics. In: PESSARAKLI, M. **Handbook of plant and crop physiology**. 3. ed. New York: Ed. CRC, 2014, p. 847-889.
- ROSALES-SERBA, R. et al. Biomass distribution, maturity acceleration and yield in drought-stressed common bean cultivars. **Field Crop Research**, v. 85, p. 203-211, 2012.
- RUIZ-NIETO, J. E. et al. Photosynthesis and chloroplast genes are involved in water-use efficiency in common bean. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 86, p. 166-173, 2015.
- SANT'ANA, E. V. P.; SANTOS, A. dos; SILVEIRA, P. M. da. Eficiência de uso de nitrogênio em cobertura pelo feijoeiro irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.458-462, 2011.
- SILVEIRA, P. M. da; STONE, L. F.; VIEIRA, R. F. Irrigação. In: CARNEIRO, J. E. S.; PULA JÚNIOR, T. J. de; BORÉM, A. **Feijão: do plantio a colheita**. Viçosa: Ed. UFV, 2015, cap. 8, p. 173-206.
- SINGH, S.P. Selection for water-stress tolerance in interracial populations of common bean. **Crop Science**, v. 35, p. 118-124, 1995.
- SOUZA, S. A. de et al. Efficiency and response to nitrogen application of common bean genotypes grown in lowland tropical rainforest in the state of Tocantins. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 3, p. 31-37, 2012.
- SOUSA, M. A.; LIMA, M. D. B. Influence of suppression of the irrigation in stages of growth of bean cv. Carioca Comum. **Bioscience Journal**, v. 26, p. 550-557, 2010.
- TAIZ, L. et al. **Plant Physiology and Development**. 6. ed. Sunderland: Sinauer, 2015.
- TERÁN, H.; SINGH, S. P. Comparison of sources and lines selected for drought resistance in common bean. **Crop Science**, v. 42, p. 64-70, 2002.
- THUNG, M.; RAO, I. M. Integrated management of abiotic stresses. In: SINGH, S. P. **Common bean improvement in the twenty-first century**. Netherlands: Ed. Springer, 1999, v. 7, cap. 13, p. 331-370.

TRAPP, J. J. et al. Selective phenotyping traits related to multiple stress and drought response in dry bean. **Crop Science**, v. 56, p. 1460-1472, 2016.

URREA, C. A.; YONTS C. D.; LYON D. J.; KOEHLER A. Selection for drought tolerance in dry bean derived from the Mesoamerican gene pool in western Nebraska. **Crop Science**, v. 49, p. 2005-2010, 2009.

VIEIRA, C. Métodos culturais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 25, n. 223, p. 57-60, 2004.

VOLTAS, J.; LÓPEZ-CÓRCOLES, H.; BORRÁS, G. Use of biplot analysis and factorial regression for the investigation of superior genotypes in multi-environment trials. **European Journal of Agronomy**, v. 22, p. 309-324, 2005.

WANDER, A. E. Socioeconomia. In: RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B.; GUILHERME, S. R. **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na região Central-Brasileira: 2015-2017**. Lavras: Ed. UFLA, 2014, cap. 1, p. 15-35.

WANG, Y.; ZANG, J.; SUN, Y.; ALI, J.; XU, J.; LI, Z. Background-independent quantitative trait loci for drought tolerance identified using advanced backcross introgression lines in rice. **Crop Science**, v. 53, p. 430-441, 2013.

WINDHAUSEN, V. S. et al. Strategies to subdivide a target population of environments: results from the CIMMYT-led maize hybrid testing programs in Africa. **Crop Science**, v. 52, p. 2143–2152, 2012.

ZHANG, X. et al. Recent progress in drought and salt tolerance studies in Brassica crops. **Breeding Science**, v. 64, p. 60-73, 2014.

ZIYOMO, C.; BERNARDO, R. Drought Tolerance in Maize: Indirect selection through secondary traits versus genome wide selection. **Crop Science**, v. 53, p. 1269-1275, 2013.

## APÊNDICE

Tabela 1A - Estimativa dos componentes de variância de genótipos com seus limites superior (LS) e inferior (LI) e do erro para produtividade de grãos ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), acurácia (em porcentagem), média ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) e lâmina média de irrigação (mm) obtidos na avaliação de genótipos de feijoeiro em condição de baixa disponibilidade de água (BDA) e alta disponibilidade de água (ADA), com ajuste para a lâmina de água recebida (continua).

Descrição	Patos de Minas - semeadura abril 2014		Lavras - semeadura julho 2014		Patos de Minas - semeadura março 2015	
	BDA	ADA	BDA	ADA	BDA	ADA
Genótipos	16584	48863	87762	127498	75731	90621
LI - LS <sup>1</sup>	11274-26794	36785-68080	61753-134595	84838-213021	59788-99062	71167-119352
Erro	39607	53745	176838	355323	36279	50566
Acurácia <sup>2</sup>	74,62	85,54	77,34	72,00	92,86	91,82
Média	932	1398	1941	2882	1012	1160
Lâmina <sup>3</sup>	139,93	238,3	156,99	238,66	220,83	251,12

<sup>1</sup> Limite superior e inferior a 5% de probabilidade.

Tabela 1A - Estimativa dos componentes de variância de genótipos com seus limites superior (LS) e inferior (LI) e do erro para produtividade de grãos ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), acurácia (em porcentagem), média ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) e lâmina média de irrigação (mm) obtidos na avaliação de genótipos de feijoeiro em condição de baixa disponibilidade de água (BDA) e alta disponibilidade de água (ADA), com ajuste para a lâmina de água recebida (conclusão).

Descrição	Lavras - semeadura março 2015		Patos de Minas - semeadura julho 2015		Lavras - semeadura julho 2015	
	BDA	ADA	BDA	ADA	BDA	ADA
Genótipos	122118	117086	70637	224939	48138	124865
LI - LS <sup>1</sup>	95935-160765	91098-156092	56286-91303	173307-303779	31093-84391	84200-204295
Erro	66212	80718	25718	181807	159309	337741
Acurácia	92,03	90,17	94,43	88,76	68,96	72,52
Média	1349	1624	882	2150	1674	2278
Lâmina	245,52	316,74	151,21	204,19	180,8	277,59

<sup>1</sup> Limite superior e inferior a 5% de probabilidade.

Tabela 2A - Estimativa dos componentes de variância de genótipos com seus limites superior (LS) e inferior (LI) e do erro para eficiência no uso de água ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ ), acurácia (em porcentagem) e média ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ ) obtidos na avaliação de genótipos de feijoeiro em condição de baixa disponibilidade de água (BDA) e alta disponibilidade de água (ADA) (continua).

Descrição	Patos de Minas - semeadura abril 2014		Lavras - semeadura julho 2014		Patos de Minas - semeadura março 2015	
	BDA	ADA	BDA	ADA	BDA	ADA
Genótipos	0,86	0,87	3,55	2,16	1,56	1,43
LI - LS <sup>1</sup>	0,59-1,38	0,65-1,21	2,48-5,52	1,42-3,67	1,23-2,03	1,12-1,88
Erro	2,02	0,95	7,57	6,35	0,74	0,81
Acurácia	74,9	85,6	76,5	71,0	92,9	91,7
Média	6,64	5,87	12,40	12,09	4,59	4,62

<sup>1</sup> Limite superior e inferior a 5% de probabilidade.

Tabela 2A - Estimativa dos componentes de variância de genótipos com seus limites superior (LS) e inferior (LI) e do erro para eficiência no uso de água ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$ ), acurácia (em porcentagem) e média ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$ ) obtidos na avaliação de genótipos de feijoeiro em condição de baixa disponibilidade de água (BDA) e alta disponibilidade de água (ADA) (conclusão).

Descrição	Lavras - semeadura março 2015		Patos de Minas - semeadura julho 2015		Lavras - semeadura julho 2015	
	BDA	ADA	BDA	ADA	BDA	ADA
Genótipos	1,97	1,39	3,18	5,63	1,54	1,56
LI - LS <sup>1</sup>	1,54-2,59	1,08-1,85	2,52-4,12	4,33-7,62	1,00-2,67	1,02-2,65
Erro	1,10	0,93	1,17	4,68	4,91	4,64
Acurácia	91,8	90,4	94,4	88,5	69,7	70,8
Média	5,45	5,53	5,87	10,60	9,28	8,30

<sup>1</sup> Limite superior e inferior a 5% de probabilidade.

Tabela 3A - Média EBLUP das dez melhores, dez piores genótipos e testemunhas para produtividade de grãos ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) e eficiência no uso da água ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$ ) das análises considerando 12 ambientes.

Produtividade de grãos		Eficiência no uso da água	
Tratamento	Média EBLUP	Tratamento	Média EBLUP
43	1860	43	8,81
1	1829	1	8,73
118	1785	118	8,39
102	1777	102	8,38
5	1742	5	8,30
90	1727	90	8,19
54	1722	54	8,15
68	1713	68	8,09
131	1704	131	8,07
122	1700	122	8,06
60	1503	60	7,11
100	1500	76	7,11
139	1497	139	7,08
148	1494	50	7,02
50	1490	146	7,01
146	1484	58	7,01
58	1484	148	7,00
160	1475	106	6,97
106	1468	160	6,96
97	1455	97	6,85
BRSMG Talismã	1706		8,01
BRS Estilo	1582		7,44
G 4280	1452		6,85
BAT 477	1586		7,52
Carioca	1619		7,66
Pérola	1641		7,71
Iapar 81	1501		7,10
BRSMG Madrepérola	1648		7,81
BRSMG Majestoso	1826		8,61