

FENOTIPAGEM PARA TOLERÂNCIA À DEFICIÊNCIA HÍDRICA

CLEBER MORAIS GUIMARÃES¹

INTRODUÇÃO

O feijão é o principal produto básico na alimentação do brasileiro, com um consumo de 14,3 kg/habitante/ano. Sua área plantada em 2010 foi de 2.122.936 ha, produziu 2.727.696 toneladas e produtividade de 1.285 kg ha⁻¹ (FEIJÃO, 2011). No Brasil, o feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é cultivado em praticamente todo o território nacional, em várias épocas de plantio, o que lhe expõe a uma grande diversidade climática. A deficiência hídrica é mais importante pela intermitência das chuvas do que pela quantidade precipitada, principalmente numa das regiões mais produtoras, a dos Cerrados. Nessa região, chove no período compreendido entre os meses de outubro a abril, todavia, a partir do mês de janeiro podem ocorrer períodos de deficiência hídrica (STEINMETZ et al., 1988), que comprometem a produtividade da cultura pelos estresses hídricos induzidos à planta em seus diferentes períodos de desenvolvimento.

A adaptação à deficiência hídrica, dentre outros fatores, decorre da manutenção de boa condição hídrica nos tecidos das plantas (KRAMER; BOYER, 1995), avaliada pelo potencial da água na planta, pela resistência difusiva estomática e pela temperatura do dossel (BASCUR et al., 1985; HSIAO, 1990; PIMENTEL; PEREZ, 2000). Guimarães e Zimmermann (1985) observaram que os genótipos de feijoeiro mais tolerantes à deficiência apresentaram potenciais da água na folha mais altos e sistemas radiculares mais desenvolvidos no perfil do solo, de 20 cm a 60 cm de profundidade, em comparação aos mais suscetíveis. Outros autores também observaram que genótipos de feijoeiro comum mais tolerantes à deficiência hídrica mantiveram potenciais da água na folha mais altos e resistências estomáticas mais baixas, por apresentaram sistemas radiculares mais profundos que os dos mais suscetíveis. Pimentel e Perez (2000) constataram que o potencial da água na folha é um ótimo indicador do efeito da deficiência hídrica no feijoeiro e, aliado à área foliar e à massa da matéria seca da parte aérea, pode discriminar genótipos mais tolerantes à deficiência hídrica. Por sua vez, White e Castillo (1989) concluíram que o crescimento do dossel da planta é de menor importância que o sistema radicular na determinação da tolerância à deficiência hídrica de genótipos de feijoeiro. Guimarães et al. (1996), em concordância com as observações anteriores, verificaram que o genótipo BAT 477 e a cultivar Carioca, mais tolerantes à deficiência hídrica, apresentaram, nos tratamentos com deficiência hídrica, em relação ao irrigado, maior densidade e eficiência radicular na absorção de água nas camadas mais profundas do que o genótipo RAB 96, mais susceptível à deficiência hídrica. Essas características proporcionaram à cultivar Carioca e também ao genótipo BAT 477 menor redução da área foliar e também menor aumento do peso específico foliar, que significa manutenção da área de síntese de carboidratos e melhor fluxo deles aos sítios de armazenamento, resultando finalmente em maior produtividade dos genótipos mais adaptados à deficiência hídrica.

¹ Engenheiro agrônomo, Doutor em Fisiologia Vegetal, pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO, cleber@cnpaf.embrapa.br

Considerando que 43,4% da produção nacional vem do período das secas, é recomendável que as novas cultivares apresentem adaptabilidade ao plantio de sequeiro. Essa capacidade de adaptação é determinada pelo acúmulo de alelos favoráveis à produtividade nessas condições climáticas. Com o conhecimento da base fisiológica da variabilidade genética disponível para tolerância à deficiência hídrica, ter-se-á orientação para a seleção dos genitores que irão compor os cruzamentos destinados ao desenvolvimento de cultivares para as regiões com provável ocorrência de deficiência hídrica.

OBJETIVOS

1. Identificar linhagens promissoras em condições de deficiência hídrica;
2. Caracterizar os principais fatores fisiológicos e morfológicos responsáveis pela tolerância à deficiência hídrica;
3. Conduzir populações segregantes e selecionar linhagens promissoras, em condições de deficiência hídrica;
4. Fenotipar populações de mapeamento; e
5. Avaliar a tolerância à deficiência hídrica das linhagens elites.

SÍTIOS DE AVALIAÇÃO

Embrapa Arroz e Feijão, em Santo Antônio de Goiás, GO

Latitude 16° 28', Longitude 49° 17', altitude 823 m. Segundo a classificação de Köppen, o clima é Aw, tropical de savana, megatérmico. A temperatura média anual do ar é de 22,5 °C e o mês de junho apresenta a menor média de temperatura mínima do ar (14,0 °C), enquanto o mês de setembro apresenta a maior média de temperatura máxima do ar (31,3 °C). O regime pluvial é bem definido, ou seja, período chuvoso de outubro a abril e período seco de maio a setembro. A precipitação pluvial média anual é de 1.461 mm e a umidade relativa do ar, média anual, é de 71%, com o mês de agosto apresentando o menor índice (50%). A perda por evaporação, média anual, medida pelo tanque classe "A", é da ordem de 1.938 mm.ano⁻¹. O solo predominante é o Latossolo Vermelho-distrófico, textura argilosa, fase cerrado subperenifólio e o relevo é plano.

Estação Experimental da Emater em Porangatu, GO

Latitude 13° 27', Longitude 49° 10', altitude 600 m. Segundo a classificação de Köppen o clima é Aw, tropical de savana, megatérmico. A temperatura média anual do ar é de 26 °C e o mês de junho apresenta a menor média de temperatura mínima do ar (19,9 °C), enquanto o mês de setembro apresenta a maior média de temperatura máxima do ar (35,5 °C). O regime pluvial é bem definido, ou seja, período chuvoso de outubro a abril e período seco de maio a setembro. A precipitação pluvial média anual é de 1.684 mm e a umidade relativa do ar, média anual, é de 66%. O solo predominante é o Latossolo Vermelho-distrófico.

PROJETOS ATUAIS COM ATIVIDADES EM TOLERÂNCIA À DEFICIÊNCIA HÍDRICA

- Melhoramento genético para o fortalecimento da cadeia produtiva do feijoeiro comum
- Combatendo a fome oculta na América Latina: cultivos biofortificados com melhor qualidade protéica e maiores teores de vitamina A e minerais essenciais-BioFort
- Plataforma genômica para o melhoramento genético e genômica comparativa de leguminosas tropicais visando tolerância à deficiência hídrica – Plataforma Genômica
- Transformação genética de algodão, cana-de-açúcar, feijão, milho e soja com construções rd: AtDREB visando tolerância à deficiência hídrica

ESTRATÉGIA DE AÇÃO

São efetuadas avaliações preliminares, em alto número de genótipos, em que se faz um levantamento não detalhado do comportamento das plantas em dois regimes, com e sem deficiência hídrica. Seleciona-se um menor número de genótipos com maior divergência fenotípica para tolerância à deficiência hídrica. Os acessos são provenientes das mais variadas fontes e características fenotípicas, como tolerância à deficiência hídrica, germoplasma biofortificado, arquitetura da planta, etc. As fases seguintes da seleção são caracterizadas pelo aumento da pressão de seleção e detalhamento das informações. Cruzamentos simples e múltiplos são projetados e efetuados pelos programas de melhoramento entre os genótipos desse programa com os dos demais, que buscam outras características, como resistência a doenças, grupo de arquitetura de planta, alto teor de ferro e zinco, etc. As linhas segregantes e as fixadas são avaliadas nos ambientes hídricos descritos anteriormente.

PROTOSCOLOS DE AVALIAÇÃO

Aplicam-se protocolos específicos para as diversas fases de fenotipagens. Faz-se desde seleção individual de plantas em gerações segregantes até levantamentos detalhados da resposta das plantas ao estresse de deficiência hídrica em fenotipagens avançadas. Os genótipos são conduzidos, geralmente, em dois ambientes com disponibilidade contrastante de água. O primeiro recebe condição adequada de água no solo durante todo o ciclo de desenvolvimento da planta. Neste, o potencial matricial do solo, avaliado por tensiômetros instalados na área experimental, é mantido a $-0,035$ MPa (SILVEIRA; STONE, 1994) medido a 15 cm de profundidade. O outro tratamento recebe essas condições até os 20-25 dias após a emergência (DAE), quando é aplicada a deficiência hídrica. No experimento irrigado adequadamente e durante a fase sem deficiência hídrica do segundo experimento, são efetuadas novas irrigações de aproximadamente 25 mm quando os tensiômetros sinalizarem essa demanda. As irrigações são efetuadas por barras irrigadoras com 36 m de envergadura e equipadas com aspersores autorreguladores de pressão. O sistema, para se adequar à cultura, permite um ajustamento de altura que diminui o efeito do vento sobre a distribuição da água aplicada. O conjunto barra e aspersores é montado sobre um

chassi com rodas, que se move ao longo dos experimentos a uma velocidade constante, graças a um sensor de velocidade que equipa o sistema de irrigação e que possibilita a aplicação da lâmina de água planejada. Adicionalmente, por meio de coletores de água distribuídos na área experimental, é possível monitorar a distribuição da água de irrigação.

As avaliações de raízes são conduzidas preferencialmente em telados. As parcelas são colunas de solo, acondicionadas em tubos de PVC de 25 cm de diâmetro e 100 cm de altura, formados de cinco anéis de 20 cm de altura, interligados por fita adesiva, e, nas subparcelas, as cinco profundidades do solo consideradas são 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm, 60-80 cm e 80-100 cm. Os genótipos são mantidos em condições adequadas de umidade no solo até a floração, quando é aplicada a deficiência hídrica, que é mantida até a colheita. O sistema radicular é avaliado em amostras compostas de quatro subamostras simples, com trado tipo calha, com aproximadamente 7 cm de diâmetro e comprimento correspondente ao da camada de solo amostrada. A separação das raízes presentes nas amostras de solo é feita por meio do método de suspensão/decantação repetitivas (GUIMARÃES et al., 1996). Após a separação, as raízes são recuperadas do sobrenadante em peneiras de 0,25 mm, com o auxílio de pinças, e acondicionadas em freezer. Posteriormente, são descongeladas, purificadas e submetidas a avaliação pelo método informatizado WinRhizo. São determinados o comprimento, o número, a espessura média e o volume radicular. A biomassa da parte aérea é determinada após secagem em estufa a 80 °C até massa constante. Determina-se também a resistência difusiva estomática, o potencial da água nas folhas, a temperatura das folhas e os componentes de crescimento da planta (GUIMARÃES et al., 2006; GUIMARÃES et al., 2010). As leituras do potencial de água na planta e da temperatura das folhas são efetuadas continuamente, do amanhecer ao pôr do sol, enquanto a da resistência difusiva é iniciada após o desaparecimento do orvalho, para não comprometer as leituras. Essas leituras são feitas na superfície superior das folhas apicais completamente expandidas e com boa exposição solar. O potencial da água na folha é determinado com câmaras de pressão. A temperatura das folhas é avaliada com um termômetro de infravermelho e a resistência difusiva com porômetro.

AVALIAÇÕES

Seleção de Genótipos para o Aumento da Tolerância à Deficiência Hídrica

Em 2005, no Sítio de Fenotipagem de Santo Antônio, foram iniciados os trabalhos de tolerância à deficiência hídrica do feijoeiro. Avaliou-se parte da coleção nuclear, viveiros internacionais, cultivares lançadas, linhas de seleção recorrente. Destes, selecionou-se 49 genótipos, que foram re-avaliados no delineamento de blocos ao acaso, com três repetições, em experimentos irrigado adequadamente e com deficiência hídrica, na Estação Experimental da Emater, Porangatu, GO. Os genótipos foram classificados em quatro grupos pelo método de Ward (WARD, 1963), considerando-se os valores médios das produtividades observados em cada ambiente hídrico, nos dois anos de condução dos experimentos.

Verificou-se que sob condições de deficiência hídrica o grupo menos produtivo (G4) foi composto pelos genótipos G 3566, BRA 283983 CIAT G 6492, BAT 1203, BRASIL 0001, RAB 94 VERMELHO 2157, G 983 e BRA 129721 CIAT G 6896, que produziram em média 657 kg ha⁻¹. Sob essas mesmas condições, o grupo mais produtivo (G1) foi composto pelos

genótipos BAMBUÍ, FT 84 – 292, G 4280, BAT 304 e BRA 130583 CIAT G 6490, que produziram em média 1.080 kg ha^{-1} , 64,4% superior à do grupo anterior. Sob condições hídricas adequadas, o grupo menos produtivo (G4) foi composto pelos genótipos BAT 1203, EMP 86, PIRATÁ 1, G 2475, BRASIL 0001, FE 732007 – XAMEGO, G 4489, FFT 85 - 75 - PORTO REAL e G 2359, que produziram em média 1.754 kg ha^{-1} . Sob essas mesmas condições, o grupo mais produtivo (G1) foi composto pelos genótipos BRA 130583 CIAT G 6490, FT 84 – 292, G 4825, G 20716, IPA 7, G 2358, G 13571, BRA 283983 CIAT G 6492, FT 85 – 79, G 1356 e IAC UNA, que produziram em média 2.429 kg ha^{-1} , 38,5% superior à do grupo menos produtivo.

Os genótipos BRA 130583 CIAT G 6490 e FT 84 – 292 foram classificados no grupo mais produtivo (G1) dos tratamentos com e sem deficiência hídrica. O primeiro produziu 1.068 kg ha^{-1} e 2.530 kg ha^{-1} , respectivamente nos dois tratamentos, enquanto o segundo produziu 1.091 kg ha^{-1} e 2.542 kg ha^{-1} nesses mesmos tratamentos hídricos. Os genótipos BAMBUÍ e G 4280 mantiveram o comportamento produtivo, sob deficiência hídrica, dos genótipos anteriores, e foram também classificados no grupo mais produtivo (G1), entretanto, produziram significativamente menos sob condições hídricas adequadas e foram classificados no segundo grupo mais produtivo (G2). O genótipo BAT 304 manteve também o comportamento produtivo, sob deficiência hídrica, dos genótipos anteriores por ter sido classificado no grupo mais produtivo (G1), entretanto, produziu, sob condições hídricas adequadas, menos que os genótipos BAMBUÍ e G 4280, que foram classificados no grupo G3.

O genótipo BRA 283983 CIAT G 6492, BRA 129721 CIAT G 6896 e G 983 foram classificados como produtivos quando irrigados adequadamente, entretanto, apresentaram alta susceptibilidade à deficiência hídrica. O primeiro genótipo foi classificado nos grupos G4 e G1, com e sem deficiência hídrica, respectivamente, e os dois genótipos seguintes, BRA 129721 CIAT G 6896 e G 983, foram classificados nos grupos G4 e G2, com e sem deficiência hídrica, respectivamente.

Verificou-se também que entre os componentes de produtividade, o número de vagens planta⁻¹ foi o que mais influenciou na produtividade dos genótipos sob deficiência hídrica ($r=-0,413$, $p\leq 0,003$). Ele foi responsável, nessa condição hídrica, por 22,73% da variabilidade da produtividade e cada unidade da variável induziu aumento de 46 kg ha^{-1} na produtividade do feijoeiro comum sob deficiência hídrica.

Verificou-se também que a produtividade dos genótipos em condições de deficiência hídrica diminuiu com o aumento da temperatura das folhas ($r = 0,340$, $p\leq 0,05$) e que a cada grau de aumento dessa unidade resultou em 20 kg ha^{-1} de redução na produtividade dos genótipos. Portanto, os genótipos que apresentavam temperatura das folhas mais baixas produziram melhor, por apresentarem melhor estado hídrico. O melhor estado hídrico pode estar associado tanto a mecanismos de contenção excessiva de perda de água, como de melhor eficiência na absorção de água.

A termometria infravermelha pode inferir o estado hídrico da planta e discriminar genótipos fisiologicamente mais adaptados à deficiência hídrica (BASCUR et al., 1985). Conforme Guimarães et al. (2006), o coeficiente de correlação da temperatura das folhas com o estado

hídrico das plantas, medido pelo potencial da água nas folhas, foi de -0,8280 ($p < 0,0001$), sugerindo que a termometria de infravermelho é eficiente na inferência do estado hídrico da planta e, portanto, útil para discriminar genótipos em programas de tolerância à deficiência hídrica.

Avaliação de Linhagens Elites do Grupo Carioca e Preto Sob Irrigação Adequada e Deficiência Hídrica

Os experimentos foram conduzidos na Estação Experimental da Emater, em Porangatu, GO, no período de entressafra de 2009 e 2010. No primeiro ano foram conduzidos dois experimentos, um com 17 linhagens do grupo carioca e o outro com 14 linhagens do grupo preto, ambos os experimentos sob condições de irrigação adequada, mantendo-se o potencial mátrico da água no solo acima de - 0,035 MPa a 15 cm de profundidade, durante todo o desenvolvimento das plantas. No segundo ano foram repetidos os experimentos sob condições de deficiência hídrica. Esses foram irrigados adequadamente até aos 25 dias após a emergência (DAE) e após foram submetidos à deficiência hídrica pela aplicação de aproximadamente metade da lâmina de água fornecida a uma parcela irrigada adequadamente situada ao lado do experimento. Avaliaram-se a produtividade e a data da floração das plantas, em número de dias após a semeadura (DAS). Verificou-se que os genótipos diferiram significativamente em relação à produtividade obtida nos dois anos de condução dos experimentos. Os genótipos do grupo carioca produziram em média 1.766 kg ha⁻¹ e 917 kg ha⁻¹, em 2009 e 2010, respectivamente, enquanto os genótipos do grupo preto produziram 1.748 kg ha⁻¹ e 974 kg ha⁻¹, respectivamente. Verificou-se também que tanto os genótipos do grupo carioca como os do grupo preto diferiram quanto à produtividade. Adicionalmente, verificou-se que o efeito das condições climáticas diferenciadas dos dois anos atuou com a mesma intensidade sobre os genótipos dos dois tipos de feijão, desde que as interações ano x genótipo não foram significativas. Resultados similares foram observados com relação à data de floração dos genótipos. Tanto os genótipos do grupo carioca como os do grupo preto apresentaram datas de emissão de flores significativamente diferentes entre si. Essas, apesar de influenciadas significativamente pelas condições climáticas dos dois anos de condução dos experimentos, apresentaram desempenho semelhante nesses anos, pois as interações ano x genótipo não foram significativas para essa variável.

O genótipo mais produtivo do grupo carioca foi o IPR Juriti, com produtividade de 1.581 kg ha⁻¹. Esse genótipo foi classificado entre os mais precoces, com floração aos 41 DAS. Mais oito genótipos, CNFC11959, 1.549 kg ha⁻¹; CNFC11953, 1.543 kg ha⁻¹; CNFC11954, 1.542 kg ha⁻¹; CNFC11966, 1.542 kg ha⁻¹; CNFC11952, 1.465 kg ha⁻¹; CNFC11962, 1.369 kg ha⁻¹; CNFC11956, 1.286 kg ha⁻¹; e BRS Estilo, 1.264 kg ha⁻¹, não diferiram significativamente do genótipo anterior, entretanto, apresentaram produtividades que não diferiram do segundo grupo mais produtivo. O genótipo BRS Pérola, com apenas 1.144 kg ha⁻¹, foi o menos produtivo. Ele foi classificado entre os genótipos mais tardios, com floração aos 44 DAS. Entretanto, não diferiu significativamente dos genótipos CNFC11952, 1.465 kg ha⁻¹; CNFC11962, 1.369 kg ha⁻¹; CNFC11956, 1.286 kg ha⁻¹; BRS Estilo, 1.264 kg ha⁻¹; CNFC11945, 1.247 kg ha⁻¹; CNFC11946, 1.214 kg ha⁻¹; BRS 9435 Cometa, 1.191 kg ha⁻¹; CNFC11948, 1.183 kg ha⁻¹; CNFC11944, 1.172 kg ha⁻¹; e CNFC11951, 1.169 kg ha⁻¹.

Os genótipos mais produtivos do grupo preto foram CNFP 11983, 1.548 kg ha⁻¹; CNFP 11979, 1.527 kg ha⁻¹; CNFP 11985, 1.478 kg ha⁻¹; e CNFP 11994, 1.458 kg ha⁻¹. Todos esses genótipos foram classificados entre os mais tardios, exceto o CNFP 11994, que se classificou entre os mais precoces, com floração aos 42 DAS. Os genótipos BRS Campeiro, 1.447 kg ha⁻¹; CNFP 11984, 1.442 kg ha⁻¹; BRS Esplendor, 1.437 kg ha⁻¹; IPR Uirapuru, 1.406 kg ha⁻¹; CNFP 11995, 1.349 kg ha⁻¹; CNFP 11978, 1.290 kg ha⁻¹; CNFP 11976, 1.273 kg ha⁻¹; e CNFP 11973, 1.257 kg ha⁻¹, não diferiram significativamente dos genótipos anteriores, entretanto, apresentaram produtividades que não diferiram do segundo grupo mais produtivo. O genótipo CNFP 11991, 1.066 kg ha⁻¹, foi o menos produtivo. Caracterizou-se também por apresentar floração mais tardia entre os genótipos avaliados, que ocorreu aos 45 DAS. Os genótipos IPR Uirapuru, 1.406 kg ha⁻¹; CNFP 11995, 1.349 kg ha⁻¹; CNFP 11978, 1.290 kg ha⁻¹; CNFP 11976, 1.273 kg ha⁻¹; CNFP 11973, 1.257 kg ha⁻¹; e o BRS 7762 Supremo, 1.082 kg ha⁻¹, não diferiram significativamente do genótipo CNFP 11991.

Avaliação de Famílias de Seleção Recorrente Sob Deficiência Hídrica

Os experimentos, com e sem deficiência hídrica, também foram conduzidos na Estação Experimental da Emater, em Porangatu, GO, durante dois anos consecutivos, 2008 e 2009. Foram avaliadas 25 famílias C₀S_{1:6}, em 2008, com grãos do grupo carioca, de uma população base (C₀) obtida de cruzamentos múltiplos envolvendo genitores tolerantes à deficiência hídrica e três testemunhas, BRS Pérola, BRS Esplendor e a linhagem BAT 477. Adotou-se o delineamento em blocos casualizados com três repetições. Das famílias avaliadas em 2008, selecionaram-se quinze com melhor comportamento produtivo em ambos os ambientes hídricos e também com melhor qualidade de semente. As quinze famílias, acrescidas das testemunhas do ano anterior, foram reavaliadas em 2009. Foram conduzidos dois experimentos em cada ano de plantio, o primeiro foi mantido em condição adequada de água no solo durante todo o desenvolvimento das plantas e o outro apenas até aos 20 dias após a emergência, quando foi aplicada a deficiência hídrica. Avaliou-se o efeito da deficiência hídrica sobre a produtividade e a data de floração das plantas. Observou-se que os tratamentos hídricos influenciaram significativamente a produtividade dos genótipos em 2008, porém, não afetaram a data de floração. Verificou-se também que os genótipos produziram diferentemente entre si e responderam com intensidade diferenciada aos efeitos dos dois tratamentos hídricos, pois se observou significância na interação níveis hídricos x genótipos para produtividade. Os genótipos diferiram quanto à data de floração, entretanto, responderam com a mesma intensidade aos efeitos dos tratamentos hídricos, por não ter sido observado efeito significativo na interação níveis hídricos x genótipos para essa variável. Em 2009, foram reavaliadas quinze famílias selecionadas em 2008, adotando-se critérios de melhor comportamento produtivo em ambos os ambientes hídricos e também melhor qualidade de grãos, acrescidas das mesmas testemunhas do ano anterior, as cultivares BRS Pérola, BRS Esplendor e a linhagem BAT 477.

Na seleção para tolerância à deficiência hídrica, considerou-se a produtividade de grãos em ambas as condições hídricas, pois é desejável que os genótipos, além de apresentarem bom comportamento produtivo quando submetidos à deficiência hídrica, apresentem também bom potencial produtivo na ausência desta, para atender as regiões produtoras com distribuição irregular de chuvas, o que expõe às plantas a períodos de deficiência hídrica. Para tanto, os genótipos foram distribuídos em quartis definidos pelas médias das produtividades nos tratamentos irrigados adequadamente e com deficiência hídrica. Em 2008, as médias de

produtividades nos tratamentos sem e com deficiência foram de 2.259 kg ha⁻¹ e 536 kg ha⁻¹, respectivamente. Foram selecionados os genótipos do quartil um. Neste foram incluídas as famílias de seleção recorrente número 39, 191, 20, 118, 148, 113 e 150, por apresentarem produtividade acima da média em ambos os ambientes hídricos, ou seja, produziram bem no tratamento irrigado e foram menos susceptíveis à deficiência hídrica. Todas essas linhas apresentaram data de floração entre 43 e 45 dias após a semeadura (DAS) e não diferiram significativamente entre si, exceto a família número 39, que apresentou florescimento aos 47 DAS.

Efetou-se a análise conjunta considerando-se os resultados desses genótipos em 2008 e 2009. Verificou-se que o comportamento produtivo dos genótipos diferiu significativamente entre os anos de condução dos experimentos. Foram observados 1.503 kg ha⁻¹ e 1.008 kg ha⁻¹ em 2008 e 2009, respectivamente. A data de floração também foi influenciada pelo ano de condução dos experimentos. Os genótipos foram mais precoces em 2009, influenciados, provavelmente, pela antecipação de 20 dias na época de semeadura. Na análise conjunta, o efeito dos tratamentos hídricos foram similares aos observados em 2008, quando se observou que apenas a produtividade foi influenciada significativamente pelos tratamentos hídricos. Foram observados 400 kg ha⁻¹ e 2.111 kg ha⁻¹ nos tratamentos com e sem deficiência hídrica, respectivamente. Os genótipos, além de diferirem significativamente quanto à produtividade, emitiram flores em épocas diferentes, porém todos esses componentes responderam similarmente aos efeitos dos dois tratamentos hídricos, pois não se observou significância nas interações níveis hídricos x genótipos para produtividade e data de floração. Na seleção final para tolerância à deficiência hídrica, considerando-se os dados de produtividade dos experimentos conduzidos em 2008 e 2009, adotou-se a mesma metodologia de 2008. Foram selecionados os genótipos do quartil um. Neste foram incluídas as famílias de seleção recorrente número 191, 118, 20, 148 e 150, por apresentarem produtividade acima da média em ambos os ambientes hídricos, ou seja, produziram bem no tratamento irrigado e foram menos susceptíveis à deficiência hídrica. Todas essas famílias apresentaram data de floração abaixo de 43 DAS, mantiveram o mesmo comportamento produtivo, com e sem deficiência hídrica, observado em 2008 e foram também superiores ao genótipo BAT 477, testemunha tolerante à deficiência hídrica.

CARACTERES DE ADAPTAÇÃO DO FEIJOEIRO COMUM À DEFICIÊNCIA HÍDRICA

Temperatura das Folhas, Resistência Difusiva Estomática, Temperatura das Folhas e Sistema Radiular

Os potenciais da água na folha (Ψ_f) observados nas primeiras horas da manhã foram semelhantes entre os genótipos com divergência fenotípica para tolerância à deficiência hídrica, tanto no tratamento sob deficiência hídrica como no irrigado adequadamente. Observou-se, também, que variaram ao longo do dia segundo modelos matemáticos quadráticos, devido à variação diurna da demanda atmosférica por água, inferida pela radiação fotossinteticamente ativa, isenta de cobertura solar, em $\mu\text{E s}^{-1} \text{m}^{-2}$, que foi descrita pela equação $Y = -64,855 x^2 + 1605,796 x - 8318,84$ ($R = 0,97^{**}$), com ponto de máxima intensidade de radiação às 12h23min. O Ψ_f mínimo da cultivar Carioca (-0,97 MPa), quando submetido a deficiência hídrica, foi observado às 13h00min, enquanto o mínimo da linhagem RAB 96 (-1,07 MPa) foi verificado às 13h08min. O comportamento hídrico

dos dois genótipos foi semelhante quando irrigados adequadamente, pois apresentaram Ψ_f semelhante durante todo o dia, com mínimos próximos de -0,88 MPa às 12h59min.

A deficiência hídrica nas plantas é tanto maior quanto menor o suprimento de água pelas raízes. Como a RAB 96, quando submetida ao tratamento com deficiência hídrica, apresentou potencial mínimo menor, conclui-se que fatores ligados à absorção de água determinaram maior redução do Ψ_f em relação à Carioca. Observou-se que a eficiência radicular na absorção de água foi mais elevada na Carioca que na RAB 96, da superfície aos 120 cm de profundidade; a diferença entre elas foi maior nas camadas mais profundas.

Constatou-se que ambos os genótipos responderam termicamente ao aumento da radiação solar e que a sensibilidade das plantas a este fator diferiu entre eles, quando submetidos a deficiência hídrica. Tanto no tratamento irrigado adequadamente como no com deficiência hídrica, a temperatura do dossel (T_d) aumentou ao longo do dia, segundo modelos matemáticos quadráticos. As plantas irrigadas de forma adequada apresentaram menor aumento da temperatura do dossel devido à maior perda de energia térmica ocorrida com a também maior transpiração, condições em que a T_d da Carioca e da RAB 96 variaram de forma semelhante ao longo do dia, segundo os modelos matemáticos $y = -0,4069x^2 + 10,496x - 44,904$ ($R=0,89^{**}$) e $y = -0,402x^2 + 10,372x - 44,088$ ($R=0,89^{**}$), respectivamente, registrando-se máximo de 22,8 °C às 12h54min; entretanto, quando submetidas a deficiência hídrica, transpiraram menos e, conseqüentemente, tiveram sua temperatura aumentada de maneira intensa. Nessas condições hídricas, a cultivar Carioca, por ter apresentado menor resistência estomática que a RAB 96, e, em conseqüência, maior transpiração e maior perda de energia térmica, apresentou menores T_d . A máxima da Carioca foi 23,0 °C, enquanto a máxima da RAB 96 foi de 24,3 °C.

O coeficiente de correlação da temperatura do dossel com o estado hídrico das plantas, medido pelo potencial da água nas folhas, foi de -0,8280 ($p<0,0001$), sugerindo que a termometria de infravermelho é eficiente na inferência do estado hídrico da planta e, portanto, útil para discriminar genótipos em programas de tolerância à deficiência hídrica, pois é também um método de manuseio rápido, simples e não destrutivo de plantas.

Interceptação da Radiação Solar

O experimento foi conduzido no período de entressafra de 2010, na Estação Experimental da Emater, em Porangatu, GO. Adotou-se o delineamento de blocos casualizados. Foi conduzido um experimento com 12 linhagens do grupo preto. O experimento foi conduzido sob condições de deficiência hídrica. Semanalmente, efetuaram-se medições da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) em dois pontos dos dosséis: acima e abaixo, com o uso de um monitor solar marca LI-COR, modelo LI 1776 e um sensor LI-COR, modelo LI 191SB Line Quantum, colocado perpendicularmente às linhas das plantas. Avaliaram-se a produtividade e a data da floração das plantas, em número de dias após a semeadura (DAS), e aplicou-se o teste de Duncan na comparação das médias. Verificou-se que os genótipos diferiram significativamente quanto a produtividade, número de grãos por vagem e massa de 100 grãos. O mesmo não foi observado para o número de vagens por planta e data de floração. Apesar da não significância estatística dessas duas variáveis, aplicou-se o teste de comparação de médias em todas as variáveis avaliadas. Os genótipos mais produtivos foram CNFP 11983, 1.220 kg ha⁻¹ e CNFP 11994, 1.211

kg ha⁻¹. O CNFP 11983 foi um dos mais tardios, com floração aos 46 DAS e o CNFP 11994 um dos mais precoces, com floração aos 41 DAS. O genótipo CNFP 11983 destacou-se também por apresentar maior número de grãos por vagens, entretanto, apresentou baixa massa de 100 grãos comparativamente aos outros genótipos. Por outro lado, o genótipo CNFP 11994 apresentou número de grãos por vagem significativamente menor e massa de 100 grãos maior, comparativamente ao genótipo anterior. Os genótipos CNFP 11984, 1.184 kg ha⁻¹; BRS Campeiro, 1.146 kg ha⁻¹; IPR Uirapuru, 1.106 kg ha⁻¹, CNFP 11973, 1.090 kg ha⁻¹, CNFP 11978, 1.048 kg ha⁻¹ e BRS Esplendor, 1.016 kg ha⁻¹, não diferiram significativamente dos genótipos anteriores, entretanto, apresentaram produtividades que não diferiram do segundo grupo mais produtivo. O genótipo CNFP 11976, 493 kg ha⁻¹, foi o menos produtivo. Caracterizou-se também por apresentar floração mais tardia entre os genótipos avaliados, que ocorreu aos 48 DAS. Os genótipos CNFP 11979, BRS 7762 Supremo e o CNFP 11991 não diferiram significativamente do genótipo CNFP 11976. Observou-se que a relação entre a interceptação da radiação fotossinteticamente ativa e a produtividade foi descrita por um polinômio quadrático com o ponto de máximo em 546 μEm⁻²s⁻¹. Interceptações superiores provavelmente ocorrem em plantas com excessiva área foliar, que resulta em alto sombreamento e comprometimento da produtividade. Foi observado que os genótipos mais produtivos, sob deficiência hídrica, como o CNFP 11983, apresentaram maior nível de captação de radiação. Esses resultados permitem inferir que os genótipos mais produtivos, sob deficiência hídrica, apresentam melhor arquitetura de planta, o que permite melhor interceptação da radiação fotossinteticamente ativa, comparativamente aos genótipos menos produtivos sob as mesmas condições hídricas.

DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA AUTOMATIZADA DE FENOTIPAGEM PARA TOLERÂNCIA À DEFICIÊNCIA HÍDRICA

Foi proposto o aprimoramento da fenotipagem em ambiente controlado com o desenvolvimento e a implantação, com tecnologias de domínio da Embrapa (TORRE NETO et al., 2007), de um sistema de irrigação de precisão e monitoramento de umidade do solo. O sistema permite uma fenotipagem automatizada para tolerância à deficiência, tendo como base a quantidade de água absorvida pelas raízes, a profundidade da zona efetiva do sistema radicular na absorção de água e o planejamento de tratamentos hídricos. Ele constitui um sistema de automação em camadas funcionando de forma integrada e independente aos servidores de rede e acessível em tempo real pela Intranet/Internet.

REFERÊNCIAS

BASCUR, G.; OLIVA, M. A.; LAING, D. Termometria infrarroja en selección de genotipos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) resistentes a la sequía. I. Bases fisiológicas. **Turrialba**, San José, v. 35, n. 1, p. 43-47, 1985.

FEIJÃO: dados conjunturais do feijão (área, produção e rendimento) - Região Centro Oeste - 1986 a 2009. Disponível em: <http://www.cnpaf.embrapa.br/apps/socioeconomia/index.htm>
Acesso em: 31 maio 2011.

GUIMARÃES, C. M.; BRUNINI, O.; STONE, L. F. Adaptação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) à seca. I. Densidade e eficiência radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.31, n.6, p.393-399, 1996.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; BRUNINI, O. Adaptação do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) à seca. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.1, p.70–75, 2006.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; LORIEUX, M.; OLIVEIRA, J. P. de; ALENCAR, G. C. de O.; DIAS, R. A. A. Infrared thermometry for drought phenotyping of inter and intra specific upland rice lines. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.2, p.148–154, 2010.

GUIMARÃES, C. M.; ZIMMERMANN, M. J. Deficiência hídrica em feijão. In: REUNION DE TRABAJO SOBRE MEJORAMIENTO EN FRIJOL EN BRASIL CON ENFASIS EN TOLERANCIA A SEQUIA, 1985, Cali. **Anais...** Cali: CIAT, 1985. p.15-28.

HSIAO, T. C. Measurements of plant water status. In: Stewart, B. A.; Nielsen, D. R. (Eds.). **Irrigation of agricultural crops**. New York: American Society of Agronomy, 1990. p.244-280.

KRAMER, P.J.; BOYERS, J.S. Evolution and agriculture. In: Kramer, P.J.; Boyers, J.S. (Eds.). **Water relations of plants and soils**. San Diego: Academic Press, p.377-404, 1995.

PIMENTEL, C.; PEREZ, A. J. de L. Estabelecimento de parâmetros para avaliação de tolerância à seca, em genótipos de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.1, p.31-39, 2000.

SILVEIRA, P. M. da; STONE, L. F. **Manejo da irrigação do feijoeiro: uso do tensiômetro e avaliação do desempenho do pivô central**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 46p. EMBRAPA-CNPAF. Documentos, 27.

STEINMETZ, S.; REYNIERS, F. N.; FOREST, F. **Caracterização do regime pluviométrico e do balanço hídrico do arroz de sequeiro em distintas regiões produtoras do Brasil: síntese e interpretação dos resultados**. EMBRAPA-CNPAF Documentos 23. Goiânia (Brazil): EMBRAPA-CNPAF. v. 1. 66 p. 1988.

TORRE NETO, A.; RODRIGUES, E. L. L.; FERRAREZI, R. A.; SPERANZA, E. A.; OLIVEIRA, A. C. N. Rede de sensores e atuadores sem fio para irrigação com taxa variável. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AUTOMAÇÃO INTELIGENTE, 8., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2007. 1 CD-ROM.

WARD, J. H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American Statistical Association**, Washington, n.58, p.236, 1963.

WHITE, J. W.; CASTILLO, J. A. Relative effect of root and shoot genotypes and yield on common bean under drought stress. **Crop Sci** 29: 360–362, 1989.