

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Arroz e Feijão  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

# ***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 50***

## **Deficit Hídrico nas Áreas de Produção do Feijão das Águas e da Seca em Goiás**

Alexandre Bryan Heinemann  
Luís Fernando Stone  
Agostinho Dirceu Didonet  
Thiago Lívio Pessoa Oliveira de Souza  
Silvando Carlos da Silva  
Alessandra da Cunha Moraes

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Arroz e Feijão**

Rod. GO 462, Km 12, Zona Rural  
Caixa Postal 179  
75375-000 Santo Antônio de Goiás, GO  
Fone: (62) 3533-2105  
Fax: (62) 3533-2100  
www.embrapa.br  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

**Comitê Local de Publicações**

Presidente: *Lineu Alberto Domiti*  
Secretário-executivo: *Pedro Marques da Silveira*  
Membros: *Aluisio Goulart Silva*  
*Ana Lúcia Delalibera de Faria*  
*Écio Perpétuo Guimarães*  
*Luciene Fróes Camarano de Oliveira*  
*Luís Fernando Stone*  
*Márcia Gonzaga de Castro Oliveira*  
*Roselene de Queiroz Chaves*

Supervisão editorial: *Luiz Roberto Rocha da Silva*  
Revisão de texto: *Henrique César de Oliveira Ferreira*  
Normalização bibliográfica: *Ana Lúcia D. de Faria*  
Tratamento de ilustrações: *Fabiano Severino*  
Editoração eletrônica: *Fabiano Severino*

**1ª edição**

On-line (2017)

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa Arroz e Feijão

---

Deficit hídrico nas áreas de produção do feijão das águas e da seca em Goiás / Alexandre Bryan Heinemann ... [et al.]. - Santo Antônio de Goiás : Embrapa Arroz e Feijão, 2017.

41 p. - (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Arroz e Feijão, ISSN 1678-9601 ; 50)

1. Feijão – Deficiência hídrica – Goiás. 2. Modelo de simulação. I. Heinemann, Alexandre Bryan. II. Stone, Luís Fernando. III. Didonet, Agostinho Dirceu. IV. Souza, Thiago Lívio Pessoa Oliveira de. V. Silva, Silvando Carlos da. VI. Moraes, Alessandra da Cunha. VII. Embrapa Arroz e Feijão. VIII. Série.

---

CDD 635.652098173

© Embrapa 2017

# Sumário

Resumo .....	5
Abstract.....	6
Introdução.....	7
Material e Métodos.....	9
Região de estudo .....	9
Dados observados .....	10
Dados meteorológicos e de solo.....	10
Dados dos experimentos com feijão .....	12
Parametrização e avaliação do modelo .....	13
Modelo de cultura.....	13
Parametrização do modelo .....	14
Avaliação do modelo .....	15
Caracterização ambiental .....	16
Simulações do modelo.....	16
Impacto do deficit hídrico na produtividade de grãos .....	16
Determinação de grupos ambientais .....	17
Tipologia dos padrões de deficit hídrico .....	17

<b>Resultados e Discussão.....</b>	<b>18</b>
Performance do modelo de cultura .....	18
Quantificação do deficit hídrico.....	20
Caracterização do ambiente.....	22
População-alvo de ambientes (TPE) para a época das águas.....	23
População-alvo de ambientes (TPE) para a época da seca.....	25
Principais padrões de deficit hídrico .....	26
População-alvo de ambientes (TPE) para a época das águas .....	26
População-alvo de ambientes (TPE) para a época da seca.....	30
<b>Conclusões.....</b>	<b>34</b>
<b>Referências .....</b>	<b>34</b>

# Deficit Hídrico nas Áreas de Produção do Feijão das Águas e da Seca em Goiás

---

*Alexandre Bryan Heinemann<sup>1</sup>*

*Luís Fernando Stone<sup>2</sup>*

*Agostinho Dirceu Didonet<sup>3</sup>*

*Thiago Lívio Pessoa Oliveira de Souza<sup>4</sup>*

*Silvando Carlos da Silva<sup>5</sup>*

*Alessandra da Cunha Moraes<sup>6</sup>*

## Resumo

A produção de feijão-comum em Goiás concentra-se na mesma área geográfica, mas se estende por três safras: águas, seca e outono-inverno. Nas duas primeiras, o feijoeiro é cultivado sob condições de sequeiro, enquanto que na safra de outono-inverno é irrigado. No cultivo de sequeiro, o deficit hídrico pode assumir papel importante na redução da produtividade. Este estudo objetivou realizar a caracterização ambiental e determinar padrões de deficit hídrico no Estado de Goiás, para as safras das águas e da seca, e quantificar o impacto desse deficit, utilizando um modelo de simulação de culturas. As simulações, baseadas em duas cultivares (Pérola e BRS Radiante), sugerem que as safras das águas e da seca podem ser divididas em ambientes altamente favorável e favorável. Para essas safras, o ambiente altamente favorável representou 44% e 58% da área de produção do Estado de Goiás, respectivamente. Em menos de 25% da região de produção, o deficit hídrico foi fator restritivo à produtividade. A frequência relativamente baixa desse estresse sugere que

---

<sup>1</sup> Engenheiro-agrônomo, doutor em Irrigação e Drenagem, pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO.

<sup>2</sup> Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO.

<sup>3</sup> Engenheiro-agrônomo, doutor em Fisiologia Vegetal, pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO.

<sup>4</sup> Engenheiro-agrônomo, doutor em Genética e Melhoramento de Plantas, pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO.

<sup>5</sup> Engenheiro-agrícola, mestre em Agrometeorologia, pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO.

<sup>6</sup> Bacharela em Sensoriamento Remoto, analista da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO.

o desenvolvimento de germoplasma adaptado pode não ser justificado. Contudo, é importante que as cultivares lançadas tenham, além de produtividades elevadas, plasticidade suficiente para tolerar condições de deficit hídrico que ocorrem em áreas ou anos particulares.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L., modelagem, classificação ambiental, data de semeadura.

## Water Deficit on Wet and Dry Common Bean Production Areas in Goiás

---

### Abstract

*Common bean production in Goiás is concentrated in the same geographic area, but spread across three growing seasons, namely, wet, dry and autumn-winter. In the wet and dry seasons, common beans are grown under rainfed conditions, whereas the winter sowing is fully irrigated. In the rainfed environments, water deficit may play an important role in reducing common bean yield. This study aimed to perform environmental characterization and to determine water deficit patterns in Goiás state, for wet and dry seasons, and to quantify the impact of this deficit using a crop simulation model. Crop simulations based on two cultivars (Pérola and BRS Radiante) suggest that both rainfed seasons can be divided in two groups of environments: highly favorable and favorable. For the wet and dry seasons, the highly favorable environment represented 44% and 58% of production area of Goiás state, respectively. In less than 25% of the production region, the water deficit was a factor restricting productivity. The relatively low frequency of this stress suggests that the development of adapted germplasm may not be justified. However, it is important that the cultivars released have, in addition to high yields, sufficient plasticity to tolerate water deficit conditions that occur in particular areas or years.*

*Index terms: Phaseolus vulgaris* L., modeling, environment classification, sowing date.

## Introdução

O feijão é considerado a leguminosa de grão mais importante para consumo humano direto em todo o mundo, com produção global de, aproximadamente, 26,5 milhões de toneladas, em 2014 (FAO, 2015). Entre as espécies de feijão, as do gênero *Phaseolus* são as mais cultivadas, ocupando mais de 85% da área de produção mundial. (SINGH, 2001). O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) responde por 80% das espécies de feijão consumidas (WANDER, 2007) e é cultivado em ampla gama de sistemas de produção, abrangendo diferentes condições climáticas, solos, cultivares e níveis de tecnologia.

O Brasil é o maior produtor e consumidor mundial de feijão-comum, com, aproximadamente, 2,67 milhões de toneladas produzidas, em 2015. O feijão constitui uma fonte primária de proteína na dieta da população brasileira, com consumo per capita estimado em 17,8 kg ano<sup>-1</sup>. Os sistemas de sequeiro abrangem 1,66 milhão de ha, correspondendo a 90,3% da área de produção brasileira de feijão (EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, 2017).

No Estado de Goiás, foco deste trabalho e quarto maior produtor de feijão-comum no Brasil, com área cultivada de 130.260 ha, em 2015 (EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, 2017), a produção agrícola está concentrada na mesma área geográfica, se estendendo, porém, por três safras distintas: águas, com semeadura de 1º de novembro a 31 de dezembro; seca, semeada de 1º de janeiro a 28 de fevereiro; e outono-inverno, de 1º de maio a 30 de junho. Apesar das duas primeiras safras terem datas de semeadura sequenciais, elas se caracterizam por apresentarem condições climáticas diversas e, conseqüentemente, desempenho produtivo diferente. A safra da seca apresenta produtividade potencial mais baixa do que a das águas, devido à diminuição na radiação acumulada e maior frequência de temperaturas mínimas inferiores à ótima, durante o ciclo da cultura (HEINEMANN; STONE, 2015).

A produção de feijão-comum em Goiás, em 2015, foi distribuída da seguinte forma: 45,0% (águas), 16,5% (seca) e 38,5% (outono-inverno). Nas águas e na seca o feijão é cultivado sob condições de sequeiro, enquanto a semeadura de outono-inverno é totalmente irrigada. Devido à variabilidade ambiental, o desempenho das cultivares oscila substancialmente entre as épocas de semeadura, sendo a produtividade média, em  $\text{kg/ha}^{-1}$ , de 2.208, 2.015 e 2.840, para as águas, seca e outono-inverno, respectivamente (EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, 2017).

A diferença de produtividade entre a safra outono-inverno e as outras duas, sob condições de sequeiro, é devida à ocorrência de estresses que limitam a produtividade do feijoeiro (BEEBE et al., 2011). O cultivo do feijoeiro, sob condições de sequeiro, sofre restrições na produtividade, tanto de característica abiótica como biótica. As restrições abióticas mais disseminadas são: A baixa fertilidade do solo, o deficit hídrico e a deficiência de nitrogênio, devido à sua limitada fixação biológica (RAO, 2001). Além disso, várias doenças bacterianas, fúngicas e virais reduzem a produtividade do feijão (BARCELOS et al., 2014; BEEBE et al., 2011; MELO et al., 2012; SINGH; SCHWARTZ, 2010; SOUZA et al., 2013). O desenvolvimento de cultivares resistentes aos estresses tem sido estratégia bem-sucedida, para superar os seus impactos negativos na produtividade (ARAÚJO et al., 2015).

Dentre os estresses abióticos, o deficit hídrico pode assumir papel importante na redução da produtividade do feijoeiro. Nas safras das águas e da seca, no Estado de Goiás, ainda não está claro como esse estresse varia no espaço e no tempo. Como a maioria da produção de feijão-comum ocorre sob agricultura de baixo custo, em fazendas de pequena escala, essa informação é crítica para o desenvolvimento de tecnologias e conhecimentos para a melhoria da produtividade (DE LUQUE; CREAMER, 2014).

Este estudo teve o objetivo de realizar a caracterização ambiental e determinar padrões de deficit hídrico no Estado de Goiás, para as



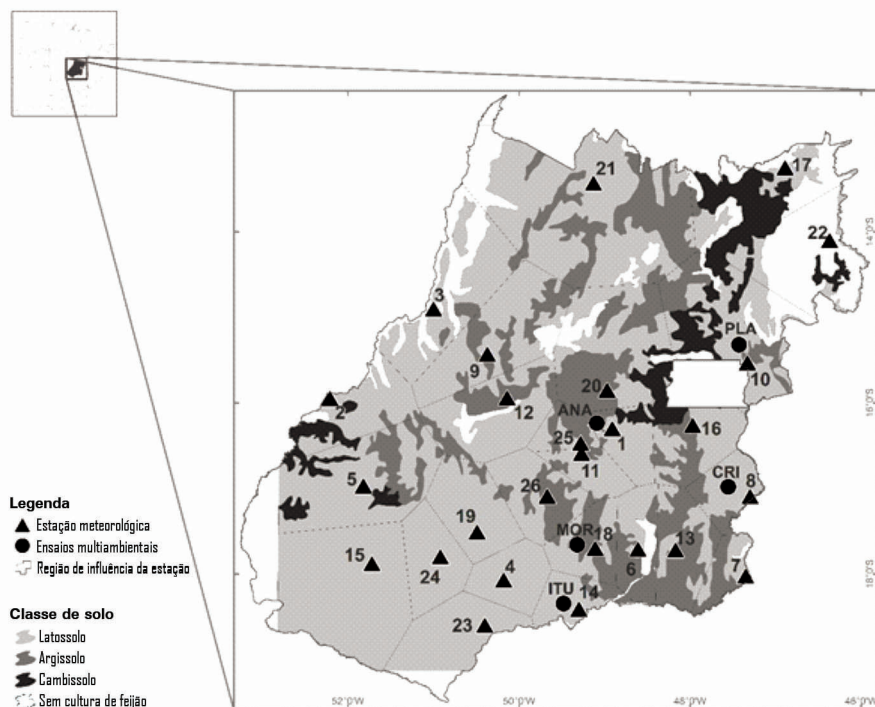
safras das águas e da seca, integrando fatores de tempo, solo, cultura e manejo, quantificando o impacto desse deficit sobre o feijoeiro, por meio de um modelo de simulação de culturas. As informações geradas podem auxiliar nas estratégias do melhoramento para desenvolver germoplasma tolerante ao deficit hídrico e com alta produtividade, nas condições de sequeiro.

## Material e Métodos

### Região de estudo

A região de estudo está localizada no Estado de Goiás, com área de 340.086 km<sup>2</sup>, faixa de altitude de 400-1300 m e latitude/longitude de -12.8° a -19.5°S e -49.0° a -50.9° W (Figura 1). O clima anual da área de estudo corresponde à categoria de clima Aw, da classificação de Köppen, isto é, clima tropical úmido e seco ou de savana, com chuvas de verão monomodais e precipitação anual média de 1.000-1.500 mm.

A denominação das safras como águas, seca e outono-inverno, é resultado de muitos fatores, como radiação, temperatura e equilíbrio hídrico do solo, que afetam o desempenho das cultivares e fazem com que cada safra seja um conjunto distinto de ambientes. Nesse contexto, e com base na definição de população-alvo de ambientes, TPE (*Target Population of Environments*) na sigla em inglês, “um conjunto de ambientes, incluindo a variabilidade espacial e temporal, para os quais as variedades melhoradas desenvolvidas por um programa de melhoramento precisam ser adaptadas” (COOPER et al., 1997; HEINEMANN et al., 2008; NYQUIST; BAKER, 1991), as três safras, águas, seca e inverno, são consideradas individualmente uma TPE. O foco deste estudo será apenas as duas TPE nas quais o feijoeiro é cultivado em sequeiro (águas e seca).



**Figura 1.** População-alvo de ambientes (TPE) para o feijoeiro no Estado de Goiás, localização das estações meteorológicas (triângulos) e suas áreas de cobertura (polígonos), e ensaios multiambientais (círculos). ANA - Anápolis; CRI - Cristalina; ITU - Itumbiara; MOR - Morrinhos; PLA - Planaltina. O grau de sombreamento indica as classes de solo (Latossolo, Argissolo e Cambissolo). Os números representam identificadores da estação meteorológica. A janela de zoom mostra a localização da TPE Goiás, no Brasil.

## Dados observados

### *Dados meteorológicos e de solo*

Vinte e seis locais com dados meteorológicos diários, disponíveis em Goiás, nos quais o feijoeiro é atualmente cultivado, foram selecionados na TPE para análises. Dados meteorológicos históricos diários, tais como precipitação e temperaturas máxima e mínima, foram obtidos a partir do site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), disponível em <http://www.inmet.gov.br>, para cada um dos 26 locais,

sendo verificada a existência de lacunas e inconsistências, segundo D'Afonseca et al. (2012, 2013a, 2013b). A radiação solar global diária para todas as estações meteorológicas foi estimada segundo o método de Richardson e Wright (1984).

A área de influência de cada estação meteorológica foi determinada pelo método dos polígonos de Thiessen, uma vez que ele permite simulações de culturas espacialmente explícitas (HEINEMANN et al., 2002, 2015). Os três solos agrícolas mais prevalentes na região de produção, como o Latossolo, o Argissolo e o Cambissolo, foram selecionados a partir do mapa de solos do IBGE - <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/mma/openlayers.htm> - (Figura 1). Os latossolos, os argissolos e os cambissolos representam 64%, 19% e 6% da área agrícola do Estado de Goiás, respectivamente.

Para a elaboração de três cenários de solo (Latossolo, Argissolos e Cambissolo) para as simulações, foram utilizadas as propriedades físicas de cada classe de solo da base de dados do solo brasileiro, disponível em [http://www.esalq.usp.br/gerd/BrazilSoilDB\\_08VIO5.xls](http://www.esalq.usp.br/gerd/BrazilSoilDB_08VIO5.xls) (BENEDETTI et al., 2008). Esta base representa bem todas as classes de solo do Brasil, independentemente do uso da terra, contemplando 5.479 perfis e 10.950 horizontes, em todo o país. Dada a ampla cobertura dos dados de Goiás e a qualidade da informação (BENEDETTI et al., 2008), essa base de dados foi considerada apropriada para as análises aqui realizadas. Esses dados foram então utilizados para derivar as propriedades hidrológicas do solo, segundo o mesmo procedimento aplicado por Heinemann et al. (2015). A capacidade de água disponível (CAD) foi de 0,813; 0,476 e 0,588 mm cm<sup>-1</sup> para os Latossolos, Argissolos e Cambissolos, na devida ordem. Na literatura, para os solos da região de Cerrado, a CAD para Latossolos, Argissolos e Cambissolos é descrita variando de 0,75-1,00, 0,48-0,77 e 0,46-0,60 mm cm<sup>-1</sup>, cada uma (ASSIS et al., 2015; REATTO et al., 2000; SPERA et al., 2005). A profundidade efetiva da raiz foi de 60 cm (Latossolo), 40 cm (Argissolo) e 40 cm (Cambissolo) e, como as demais propriedades físicas e hidrológicas do solo, foi derivada de um grande número de perfis de solo: 93 (Latossolo), 51 (Argissolo) e 31 (Cambissolo) (HEINEMANN et al., 2016).

### *Dados dos experimentos com feijão*

Quatro conjuntos de experimentos foram utilizados no presente estudo. O primeiro, para a parametrização do modelo de cultura CSM-CROPGRO-DRY BEAN, enquanto os outros três foram utilizados para a avaliação do modelo. Os experimentos de parametrização (CONJ1) foram conduzidos na estação experimental da Embrapa Arroz e Feijão, localizada em Santo Antônio de Goiás, GO (latitude: -16,47, longitude: -49,28, elevação: 715 m), durante os meses do outono-inverno de 2011 (semeado em 15 de junho) e 2012 (semeados em 22 de maio, 8 de junho, 20 de junho e 4 de julho). Esses experimentos foram selecionados porque tiveram os menores efeitos de estresses abióticos e bióticos. Eles foram totalmente irrigados e foram utilizados para fenologia e parametrização do crescimento. Para fenologia, foram utilizadas medidas das datas de semeadura, emergência, floração, primeira vagem, primeira semente e maturação fisiológica. Para a parametrização do crescimento, foram utilizadas medidas do índice de área foliar (IAF), da biomassa de folhas, caules e vagens e da produtividade de grãos.

O segundo conjunto (CONJ2) consistiu de 11 experimentos, conduzidos durante o período de 2011-2013, em Santo Antônio de Goiás, GO, e foram totalmente irrigados. Os experimentos foram divididos em dois subconjuntos, o primeiro (CONJ2a) utilizado para a avaliação da fenologia (floração, primeira vagem, primeira semente e maturação fisiológica), crescimento (massa da matéria seca na floração e massa da matéria seca da vagem) e dinâmica da biomassa (índice de área foliar), e o segundo (CONJ2b) para avaliação da produtividade. Esses experimentos abrangiam uma série de datas de semeadura. O terceiro conjunto (CONJ3) consistiu em dois experimentos, semeados em 17 de maio e 5 de julho de 2013, em Santo Antônio de Goiás, GO. Em ambos, foi induzido deficit hídrico, aos 40 dias após a semeadura (DAS). O deficit hídrico foi classificado como moderado e severo, para a primeira e segunda datas de semeadura, respectivamente. Para a primeira data de semeadura, no final do outono, a demanda de água da planta foi menor, devido a temperaturas mais baixas, em comparação com a segunda data de semeadura (no início do inverno). Esse conjunto

de experimentos foi utilizado para avaliar o desempenho do modelo de cultura sob os níveis de deficit hídrico. Em particular, foi avaliada a habilidade do modelo para simular a dinâmica da biomassa seca total, índice de área foliar e teor de água do solo. O quarto conjunto de experimentos (CONJ4) foi um conjunto de dados dos ensaios multiambientais, do programa de melhoramento do feijoeiro, de 2003 a 2011, em vários locais (Anápolis, Morrinhos, Planaltina, Cristalina e Itumbiara) no Estado de Goiás. Os experimentos foram totalmente irrigados. Os dados reportados foram apenas 'produtividade' e 'data de semeadura'. Mais informações sobre os experimentos podem ser obtidas em Heinemann et al. (2016).

## **Parametrização e avaliação do modelo**

### *Modelo de cultura*

O modelo de cultura CSM-CROPGRO-DRY BEAN é um modelo computacional orientado ao processo, que simula o crescimento, desenvolvimento e produção de feijão-comum, em função das condições ambientais, manejo da cultura e parâmetros específicos da cultivar (HOOGENBOOM et al., 1992; JONES et al., 2003). Esse modelo foi utilizado pelo fato de ser amplamente empregado em todo o Brasil (HEINEMANN et al., 2000, 2002; LIMA FILHO et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2012). O modelo funciona em base diária e fornece resultados para o crescimento e desenvolvimento das culturas e para os balanços de água, nitrogênio e carbono do solo e da planta (HEINEMANN et al., 2002). Um balanço diário da água do solo (SWB) calcula todos os processos que afetam diretamente o conteúdo de água no perfil do solo ao longo da estação de crescimento, usando uma abordagem do tipo "cascata" para determinar a infiltração e o teor de água em camadas sucessivas do solo (RITCHIE, 1998). Nessa abordagem, o excesso de água de um horizonte logo depois de um evento de precipitação ou irrigação, será drenado para o horizonte imediatamente inferior. Se esse fluxo de água for insuficiente para elevar a umidade do solo nesse horizonte à "capacidade de campo", interrompe-se a drenagem e, caso contrário, o excesso será considerado drenagem para o horizonte de solo inferior. Se esse

horizonte corresponder ao final da profundidade de absorção de água pelas raízes, o fluxo drenado será considerado como percolação. A evapotranspiração potencial é baseada no método de Priestley-Taylor.

Sob deficit hídrico, três fatores de estresse relativo agem para limitar o crescimento das plantas. O fator TURFAC reduz o crescimento expansivo, se a captação potencial total de água da raiz for  $< 1,5$  vez a transpiração potencial. O fator SWFAC reduz a fotossíntese, quando a captação potencial total de água da raiz é inferior à transpiração potencial. O último fator de estresse atua para aumentar a partição de biomassa para as raízes, quando a proporção de transpiração real, em relação à transpiração potencial, é  $< 1$  (HOOGENBOOM et al., 1992; JONES et al., 2003; RITCHIE, 1998; WEBBER et al., 2010).

### *Parametrização do modelo*

O modelo CSM-CROPGRO-DRY BEAN foi parametrizado para duas cultivares, Pérola e BRS Radiante, representativas daquelas cultivadas no Brasil Central nos últimos dez anos. Ambas são comumente adotadas como testemunhas em ensaios de melhoramento. A cultivar Pérola tem tipo de grão carioca, de maior porte, sendo a classe comercial que representa cerca de 70% do consumo brasileiro de feijão; e a BRS Radiante com tipo de grão manteigão, representando a classe comercial para exportação (FARIA et al., 2003).

Como características, quanto ao hábito de crescimento, para a Pérola é indeterminado, enquanto para a Radiante é determinado. A arquitetura de planta, na Pérola, é semiereta e na Radiante, ereta. A eficiência de uso de radiação foi de  $1,04 \text{ g MJ}^{-1}$  para a Pérola e de  $1,52 \text{ g MJ}^{-1}$  para a BRS Radiante (TEIXEIRA et al., 2015).

Foram calculados os parâmetros de desenvolvimento das cultivares considerando os períodos da emergência à floração (EM-FL), da floração à primeira vagem (FL-SH), da floração à primeira semente (FL-SD) e da primeira semente à maturação fisiológica (SD-PM), usando os dados do primeiro conjunto de experimentos. Ambas as cultivares foram

assumidas como não tendo sensibilidade ao fotoperíodo. Devido à falta de observações, os parâmetros SDPRO e SDLIP, respectivamente relativos à fração de proteína e ao óleo nas sementes, foram ajustados para os da cultivar Carioca, disponível na base de dados do modelo. O tamanho das sementes (WTPSD), a média de sementes por vagem (SDPDV), ambos em condições de crescimento padrão, e a proporção máxima da massa de sementes (sementes + casca) (THRSH) na maturação, foram também estabelecidos com base nos dados do primeiro conjunto de experimentos. A fração máxima da partição do crescimento diário para sementes e vagens (XFRT) foi fixado em 1, para ambas as cultivares.

Para derivar as características específicas de crescimento das cultivares, foi aplicado um método híbrido de estimação de parâmetros, baseado no algoritmo Metropolis-Hastings, com um amostrador Gibbs (ALDERMAN et al., 2015). Para reduzir o risco de os parâmetros de crescimento relacionados absorverem os erros uns dos outros, foi usada uma abordagem sequencial, primeiro otimizando os parâmetros de crescimento LFMAX (taxa máxima de fotossíntese foliar) e PODUR (tempo fototérmico necessário para atingir o carregamento final de vagens), com base em observações da biomassa total da cultura, caule, folha e vagem, e índice de vagem (biomassa da vagem/biomassa da parte aérea). Em seguida, foi otimizado o parâmetro SLAVR (área foliar específica em condições padrão). Após o procedimento automático, a calibração foi refinada com uma abordagem manual e interativa, com base na redução da diferença entre o índice de área foliar (IAF) simulado e observado, bem como da biomassa total da cultura, folhas, caules e vagens. A parametrização e a avaliação foram realizadas com os balanços de água e nitrogênio ativados.

### *Avaliação do modelo*

A avaliação do modelo foi focada na percepção das diferenças entre os valores simulados e observados das variáveis medidas no segundo, terceiro (apenas Pérola) e quarto conjuntos de experimentos. A raiz

quadrada do erro quadrático médio (RMSE) e o erro absoluto médio (MAE) foram utilizados como medidas da performance do modelo.

## **Caracterização ambiental**

### *Simulações do modelo*

Foram realizadas simulações do crescimento e do desenvolvimento das cultivares, para um total de 13 datas de semeadura, em ambas as safras de sequeiro, para cada uma das três classes de solo e 26 locais, para o período de 1980 a 2013, utilizando práticas agronômicas recomendadas para a região (cultivar, data de semeadura, profundidade de semeadura e espaçamento entre linhas). As datas de semeadura foram definidas em intervalos de dez dias, para a safra das águas (de 1 de novembro a 30 de dezembro) e da seca (de 10 de janeiro a 28 de fevereiro), com base no zoneamento de risco climático do feijoeiro, desenvolvido pelo governo brasileiro, disponível em <http://www.agricultura.gov.br>. Para cada ano civil, foram iniciadas corridas do modelo no ano anterior, independentemente da data de semeadura, para estabelecer o perfil de água do solo, com base nos padrões de precipitação ocorridos antes da data de semeadura real. As simulações foram realizadas para a produtividade potencial ( $Y_{ns}$ , bem irrigado) e para a produtividade limitada pela disponibilidade hídrica ( $Y_{wl}$ ), ou seja, em condições de sequeiro, mas sem limitações de nutrientes, insetos-praga ou doenças, também designada como produtividade atingível (LOBELL et al., 2009). Para a simulação de  $Y_{ns}$ , foi utilizado o manejo típico dos agricultores, isto é, a oferta automatizada de irrigação de 20 mm, quando o teor de água dos primeiros 30 cm de solo ficava abaixo de 50% da “capacidade de campo”.

### *Impacto do deficit hídrico na produtividade de grãos*

O impacto do deficit hídrico na produtividade foi quantificado pelo impacto relativo do deficit hídrico (RWSI), avaliado pela expressão da produtividade simulada atingível ( $Y_{wl}$ ), como uma fração da produtividade simulada sem limitação de água ( $Y_{ns}$ ), segundo a



equação (1), e pelo impacto do deficit hídrico, calculado como a diferença entre  $Y_{ns}$  e  $Y_{wl}$ .

$$RWSI = 100 * (Y_{ns} - Y_{wl}) / Y_{ns} \quad (1)$$

### *Determinação de grupos ambientais*

Foi utilizada a produtividade atingível ( $Y_{wl}$ ) para identificar grupos ambientais nas TPE de sequeiro. Para tanto, utilizou-se um método de agrupamento hierárquico aglomerativo (WILLIAMS, 1976), considerando todos os valores de produtividades simuladas ( $Y_{wl}$ ) individuais (por exemplo, ano, data de semeadura, local e classe de solo) como entradas para a classificação. Foi utilizado no procedimento a distância euclidiana ao quadrado, como medida de dissimilaridade e a soma incremental de quadrados como critério de fusão (WARD, 1963). O número de grupos ambientais foi definido de acordo com Charrad et al. (2014) e Heinemann et al. (2015), considerando-se, também, a opinião de melhoristas da Embrapa Arroz e Feijão. Como uma verificação de robustez para confirmar que as safras de sequeiro (águas e seca) podem ser consideradas individualmente, TPEs, primeiro agrupou-se as produtividades simuladas de ambas as safras e aplicou-se a análise de cluster.

### *Tipologia dos padrões de deficit hídrico*

Para cada grupo ambiental dentro das TPE de sequeiro de feijão-comum, os principais padrões de deficit hídrico foram determinados usando a variação temporal da razão média de cinco dias do índice de deficit hídrico (WSPD), calculada como a relação entre a transpiração real e a demanda, a qual atua no modelo como fator de redução da fotossíntese diária. Os padrões de deficit hídrico simulados foram obtidos agrupando-se os padrões de sequência fenológica de WSPD separadamente, para cada TPE e grupo ambiental, seguindo o mesmo método de classificação usado para a determinação dos grupos ambientais. Segundo Chenu et al. (2011) e Heinemann et al. (2015), foram utilizados apenas valores de WSPD,

durante o período de 20 dias após a semeadura até a maturação fisiológica (R7). Isso reduziu os erros potenciais de grandes variações temporais no WSPD, durante o estabelecimento da cultura e nos poucos grãos de feijão-comum que ainda crescem após a maturação fisiológica. Todas as análises estatísticas foram realizadas usando a base estatísticas e pacotes FactoMineR do software R (R FOUNDATION, 2015).

As informações contidas neste trabalho foram derivadas do estudo desenvolvido por Heinemann et al. (2016).

## Resultados e Discussão

### Performance do modelo de cultura

O modelo CSM-CROPGRO-DRY BEAN mostrou boa performance na predição da fenologia do feijoeiro para as duas cultivares, Pérola e BRS Radiante. Ambas mostraram ajuste aceitável para a simulação da massa de matéria seca total na floração, com RMSE de 347 kg ha<sup>-1</sup> e 188 kg ha<sup>-1</sup>, para as duas, respectivamente, e a parametrização da produtividade de grãos, da mesma forma, mostrou bom desempenho para as duas cultivares, com RMSE de 247 e 295 e MAE de 224 kg ha<sup>-1</sup> e 272 kg ha<sup>-1</sup>. O modelo não conseguiu capturar a variação da massa de matéria seca total das vagens, em ambas as cultivares, nos experimentos usados para a parametrização e avaliação. Contudo, na parametrização, todos os dados caíram dentro dos intervalos de confiança derivados dos dados observados ( $\alpha = 95\%$ ). Nos experimentos de parametrização (CONJ1), o modelo também captou bem a variação sazonal na dinâmica da massa de matéria seca dos órgãos da planta e do índice de área foliar.

Como esperado, para o conjunto de dados usados na avaliação (CONJ2a), as diferenças entre as simulações pelo modelo e as observações da fenologia, para ambas as cultivares, foram maiores em comparação com as verificadas no conjunto de dados usados na parametrização do modelo

(CONJ1). Em geral, as simulações da fenologia da cultivar BRS Radiante e da dinâmica das variáveis de crescimento foram mais próximas das observações do que as da cultivar Pérola. Em particular, as variáveis de crescimento simuladas para a BRS Radiante mostraram menor variação do que as observadas, destacando, possivelmente, deturpações ou aspectos faltantes no modelo de cultura. Para avaliação da produtividade (CONJ2b), foi observada superestimação, principalmente para a cultivar BRS Radiante. Embora os experimentos tenham sido realizados para minimizar os estresses bióticos, as datas de semeadura anteriores a maio e após meados de julho sofreram ataques de mosca-branca e excesso de chuva, durante a fase de enchimento dos grãos. Apesar disso, os dados de produtividade caíram dentro dos intervalos de confiança derivados dos dados observados ( $\alpha = 95\%$ ).

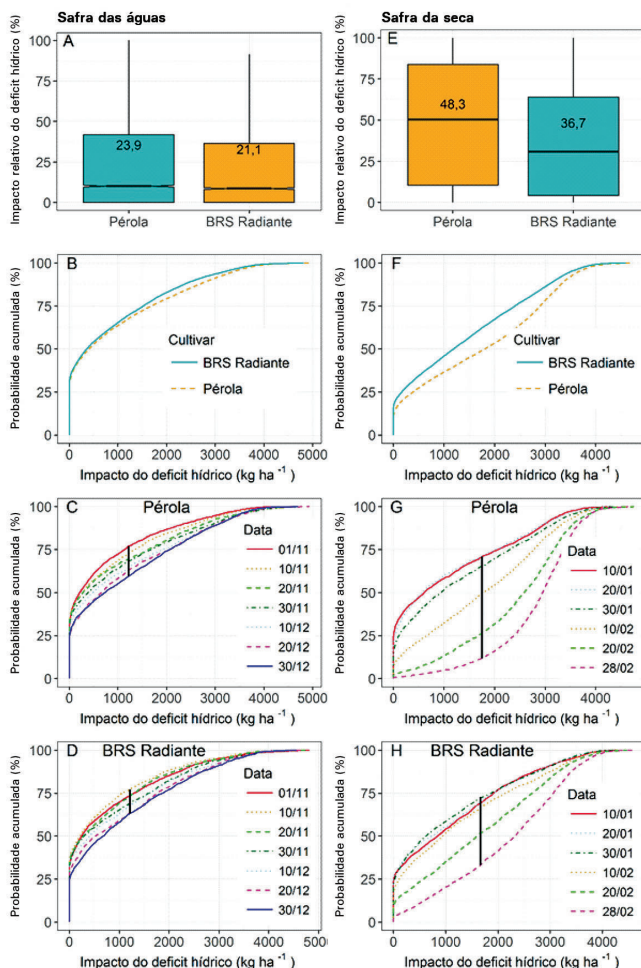
O modelo CSM-CROPGRO-DRY BEAN também captou devidamente a variação sazonal na dinâmica da matéria seca total e da IAF, sob deficit hídrico moderado (dados do CONJ3), embora tenha sido observada tendência do estabelecimento do impacto do deficit hídrico ocorrer mais tarde para as simulações do que para os valores medidos. Para esse nível de deficit hídrico, o modelo captou corretamente a dinâmica do conteúdo de água do solo, para as camadas 0 cm - 10 cm, 10 cm - 20 cm, 20 cm - 30 cm e 30 cm - 40 cm. Para o deficit hídrico severo, o modelo não conseguiu reproduzir a dinâmica da massa de matéria seca total e do índice de área foliar, bem como do teor de água do solo observado. No início do ciclo de crescimento, o aparecimento do deficit hídrico ocorreu muito mais tarde no modelo, em comparação com as observações, e o impacto sobre o IAF foi subestimado. Como o modelo apresentou bom desempenho sob deficit hídrico moderado, ele foi considerado adequado para este trabalho, uma vez que o deficit hídrico severo raramente ocorre nas TPE de sequeiro. A produtividade simulada também foi avaliada, com base na produtividade observada nos experimentos multiambientais do programa de melhoramento de feijão (CONJ4). Os resultados indicaram um desempenho relativamente bom do modelo, estando a maioria das simulações dentro do intervalo de confiança para ambas as cultivares, sendo o RMSE e o MAE, para

as cultivares BRS Radiante e Pérola, de 404 kg ha<sup>-1</sup> e 328 kg ha<sup>-1</sup>, e 322 kg ha<sup>-1</sup> e 319 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

## Quantificação do deficit hídrico

Considerando todas as datas de semeadura e classes de solo na TPE das águas, a mediana e a média do impacto relativo do deficit hídrico (RWSI) foi menor que 13% e 24%, para ambas as cultivares (Figura 2A). A adoção de uma cultivar de ciclo curto, BRS Radiante, nessa TPE, reduz o impacto do deficit hídrico sobre a produtividade. A diferença entre a melhor e a pior data de semeadura foi maior para a cultivar Pérola, de ciclo mais longo (17,7%), do que para a cultivar BRS Radiante (14,1%) (Figuras 2C e 2D, linhas verticais), principalmente porque a cultivar de ciclo curto escapa do deficit hídrico terminal. Usando uma análise de risco (Figura 2B), no entanto, verificou-se que a cultivar de ciclo curto era vantajosa apenas quando o impacto do deficit hídrico (WSI) na produtividade era maior do que 1.000 kg ha<sup>-1</sup>. Com base nesses resultados, o deficit hídrico não deve ser considerado a principal restrição para essa TPE. Além disso, para a cultivar Pérola, a data de início da janela de semeadura, 1º de novembro (Figura 2C) e a data de semeadura da BRS Radiante, 10 de novembro (Figura 2D), minimizam o impacto do deficit hídrico (WSI), indicando que a data de semeadura selecionada apropriadamente pode diminuir os seus efeitos sobre a produtividade.

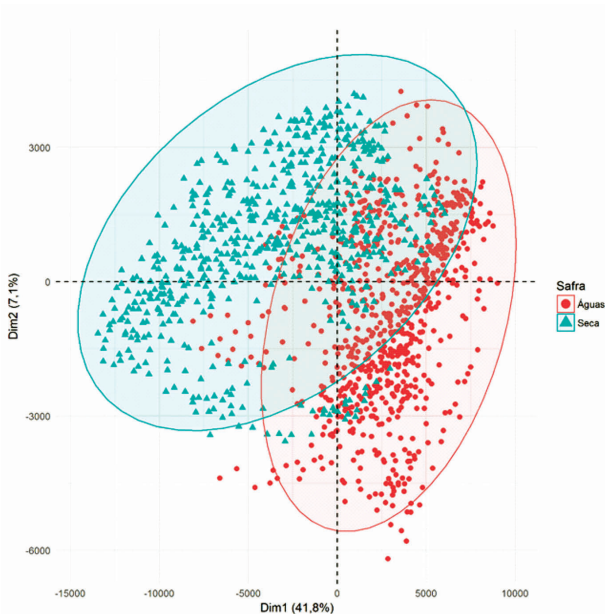
Em contraste, para a TPE da seca, a mediana e a média do RWSI foram 50% e 31,3%, e 48,3% e 36,7% para as cultivares Pérola e BRS Radiante, respectivamente (Figura 2E). A análise de risco (Figura 2F) indicou que a cultivar precoce sempre apresentou vantagem na minimização dos impactos do deficit hídrico sobre a produtividade nessa TPE. As datas iniciais de semeadura para ambas as cultivares (Figuras 2G e 2H) minimizaram os impactos do deficit hídrico sobre a produtividade, novamente com a cultivar de ciclo menor, BRS Radiante, sendo menos sensível devido à sua capacidade de escapar ao deficit hídrico (Figuras 2G e 2H, linhas verticais).



**Figura 2.** Impacto relativo do deficit hídrico e parcelas de risco associadas. (A, E) Diagrama de caixa do impacto relativo do deficit hídrico (RWSI) na produtividade, nas safras das águas (A) e da seca (E) por cultivar, considerando todas as datas de semeadura e classes de solo. As linhas horizontais pretas são as medianas e o valor indicado pelo número são as médias; a caixa estende-se aos percentis 25 e 75 e as linhas verticais estendem-se a 5%-95% dos dados. (B, F) Risco de impacto do deficit hídrico, desagregado pela cultivar, para as safras das águas (B) e da seca (F). (C, G) Risco de impacto do deficit hídrico, desagregado pela data de semeadura, para a cultivar Pérola, para as safras das águas (C) e da seca (G). (D, H) Risco de impacto do deficit hídrico, desagregado pela data de semeadura, para a cultivar BRS Radiante, para as safras das águas (D) e da seca (H). As linhas verticais pretas nos painéis C, D, G e H representam a distância máxima entre as datas de semeadura.

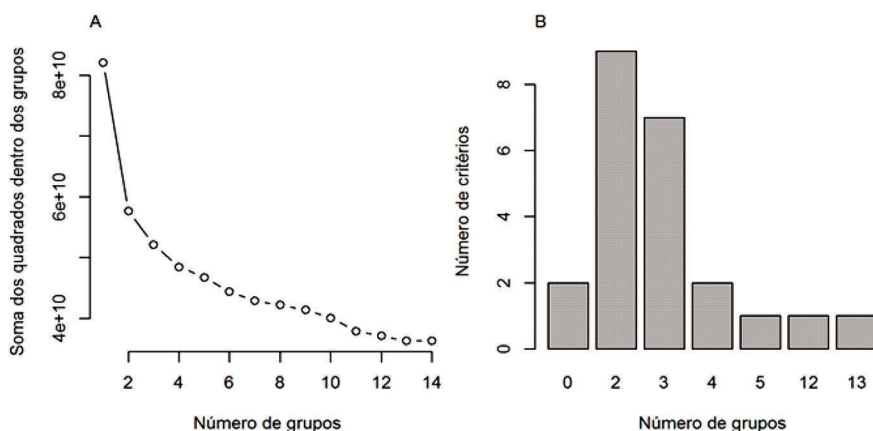
## Caracterização do ambiente

Para a determinação dos grupos ambientais neste estudo, foram utilizadas 26 estações meteorológicas (32 anos de dados climáticos diários para cada estação) dentro da região, três solos e 13 datas de semeadura (safras das águas e da seca). A diferença entre essas duas safras, com base no desempenho do genótipo, isto é, produtividade simulada, para ambas as cultivares, BRS Radiante e Pérola, é apresentada na Figura 3. Para a safra das águas, a maior variação foi encontrada no eixo y (dimensão 2), enquanto que, para a safra da seca foi no eixo x (dimensão 1). Esse resultado confirmou que essas safras podem ser consideradas TPE distintas. A sobreposição entre as duas TPE ocorreu, provavelmente, devido a condições de crescimento semelhantes em anos e locais específicos.



**Figura 3.** Resultado da análise de componentes principais (ACP) com base em todas as produtividades simuladas para as cultivares Pérola e BRS Radiante, confirmando a ocorrência de duas populações-alvo de ambientes (TPE) distintas: safra das águas (círculo cheio, vermelho) e da seca (triângulo cheio, verde). As elipses representam 95% do intervalo de confiança.

O número de agrupamentos propostos por duas análises estatísticas, a soma de quadrados dentro dos grupos (Figura 4A) e o número de critérios (Figura 4B) indicaram que a divisão por dois grupos é a mais indicada. Além disso, as séries temporais da produtividade simulada, para ambas as cultivares, mostraram as diferenças entre as TPE, confirmando que as duas safras são dois conjuntos de ambientes distintos para melhoramento ou TPE. A TPE das águas, como já esperado, apresentou maiores produtividades simuladas para ambas as cultivares do que a TPE da seca. Assim, as análises numéricas suportam a compreensão mais empírica dos melhoristas de feijão-comum da Embrapa, de que as safras das águas e da seca são realmente TPE distintas.



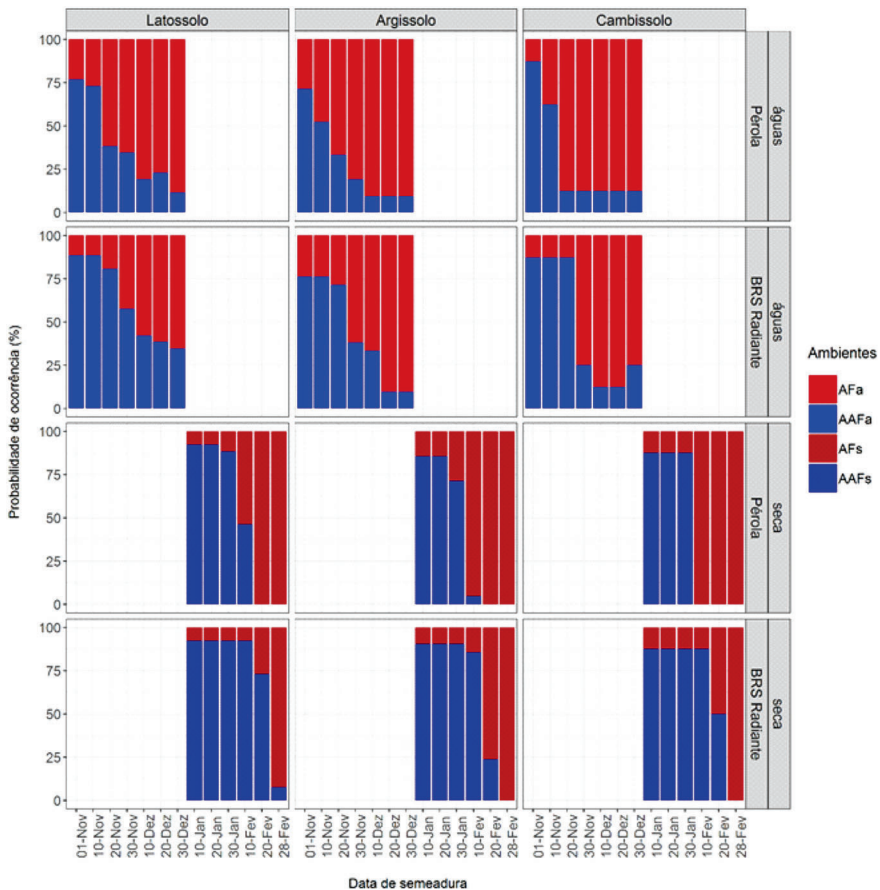
**Figura 4.** Número de agrupamentos para as cultivares Pérola e BRS Radiante para a análise conjunta das safras das águas e da seca. (A) Soma de quadrados dentro dos grupos, e (B) número de grupos sugeridos com base em 30 critérios diferentes.

Fonte: Charrad et al. (2014).

## População-alvo de ambientes (TPE) para a época das águas

Foram identificados dois grupos ambientais na TPE das águas, com base na análise de agrupamento das produtividades simuladas: ambiente altamente favorável (AAFa, 44% de ocorrência na TPE) e ambiente favorável (AFa, 56% de ocorrência na TPE). O ambiente altamente favorável apresentou as maiores produtividades, com

média simulada de 3.655 kg ha<sup>-1</sup>, considerando ambas as cultivares, a maior precipitação anual, 1.448 mm ano<sup>-1</sup>, a menor amplitude anual de temperatura e as menores temperaturas anuais máxima, média e mínima (1,6 °C; 28,3 °C; 22,5 °C e 16,7 °C). Esse ambiente caracteriza-se por datas de semeadura precoce, entre 1º e 20 de novembro (Figura 5), prevalência da cultivar BRS Radiante (61%) e predominância de solos da classe Latossolo (55%).



**Figura 5.** Frequência de ocorrência dos ambientes altamente favorável (AAFa e AAFs) e favorável (AFa e AFs), ao longo das datas de semeadura e classes de solo, para a população-alvo de ambientes (TPE) de feijão-comum, em Goiás.



Nesse ambiente, a média da produtividade e o desvio-padrão, para as cultivares Pérola e BRS Radiante, foram  $3.593 \text{ kg ha}^{-1}$  ( $\pm 1.002 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e  $3.696 \text{ kg ha}^{-1}$  ( $\pm 1.027 \text{ kg ha}^{-1}$ ), respectivamente. O ambiente favorável apresentou produtividades menores, com média da produtividade simulada e desvio-padrão, considerando ambas as cultivares, de  $2.870 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $1.274 \text{ kg ha}^{-1}$ . Em contraste com o AAFA, nesse ambiente, a precipitação anual é menor ( $1.416 \text{ mm ano}^{-1}$ ), enquanto a amplitude anual de temperatura e as temperaturas anuais máxima, média e mínima são relativamente altas ( $1,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $29 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $23,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $17,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ). O AFA também mostrou tendência para datas de semeadura tardias, após 10 de dezembro (Figura 5), predominância da cultivar Pérola (58%) e de duas classes de solo, Argissolos (42% de ocorrência nessa TPE) e Latossolos (41%). Nesse ambiente, a média de produtividade e o desvio-padrão para as cultivares Pérola e BRS Radiante foram  $2.815 \text{ kg ha}^{-1}$  ( $\pm 1.279 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e  $2.947 \text{ kg ha}^{-1}$  ( $\pm 1.263 \text{ kg ha}^{-1}$ ).

### **População-alvo de ambientes (TPE) para a época da seca**

Foram também identificados dois grupos ambientais na TPE da seca com base na análise de agrupamento das produtividades simuladas: ambiente altamente favorável (AAFs, ocorrência de 58% na TPE) e ambiente favorável (AFs, ocorrência de 42% na TPE). Para AAFs, a precipitação anual foi de  $1.451 \text{ mm ano}^{-1}$ , enquanto as temperaturas máxima, média e mínima anuais foram  $28,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $22,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $16,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . O ambiente altamente favorável apresentou produtividade média simulada e desvio-padrão de  $2.781 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $1.202 \text{ kg ha}^{-1}$ . A ocorrência de AAFs é, principalmente, condicionada por datas de semeadura precoces, 10 a 30 de janeiro (Figura 5), e a presença da cultivar de ciclo curto, BRS Radiante (60% de ocorrência), cultivada em Latossolo (52% das ocorrências). A data de florescimento nesse ambiente é, em média, um dia antes da observada em AFA. Nesse ambiente, a média de produtividade e o desvio-padrão para as cultivares Pérola e BRS Radiante foram  $2.697 \text{ kg ha}^{-1}$  ( $\pm 1.211 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e  $2.838 \text{ kg ha}^{-1}$  ( $\pm 1.192 \text{ kg ha}^{-1}$ ), respectivamente. O ambiente favorável apresentou produtividades menores, com média simulada e desvio-padrão, considerando ambas as cultivares, de

1.356 kg ha<sup>-1</sup> e 1.152 kg ha<sup>-1</sup>. Nesse ambiente, a precipitação anual foi menor do que em AAFs (1.400 mm ano<sup>-1</sup>), enquanto as temperaturas máxima, média e mínima anuais foram maiores (28,9 °C; 23,1 °C e 17,2 °C). Ao contrário do observado para o AAFs, a ocorrência de AFs é condicionada por datas de semeadura tardias, após 20 de fevereiro (Figura 5), e a presença da cultivar Pérola (63% de ocorrência) cultivada em argissolos (44%) e latossolos (41%). Nesse ambiente, a média de produtividade e o desvio-padrão para as cultivares Pérola e BRS Radiante foram de 1.201 kg ha<sup>-1</sup> ( $\pm$  1.100 kg ha<sup>-1</sup>) e 1.623 kg ha<sup>-1</sup> ( $\pm$  1.190 kg ha<sup>-1</sup>).

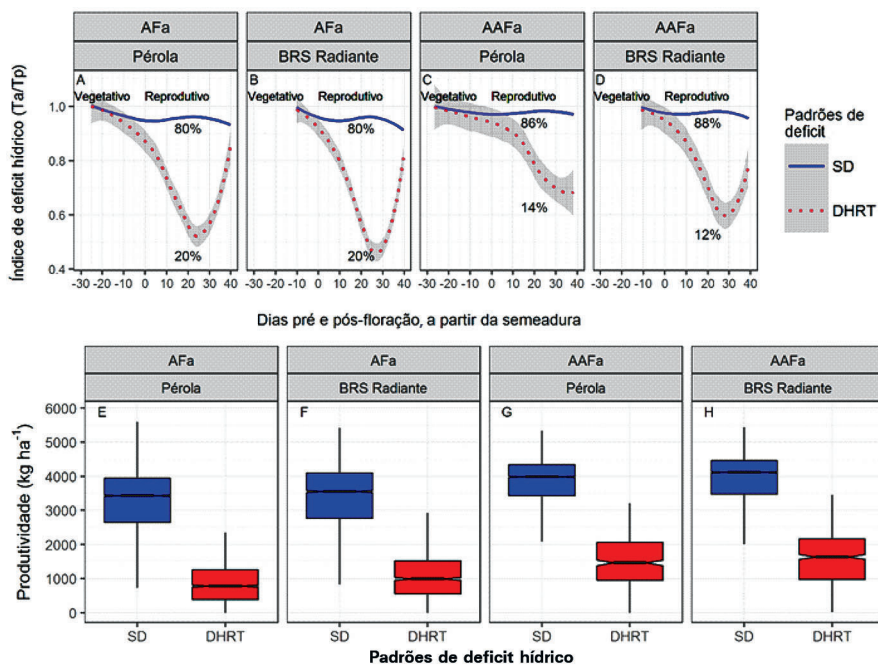
## Principais padrões de deficit hídrico

### *População-alvo de ambientes (TPE) para a época das águas*

Dois padrões de deficit hídrico predominantes foram identificados para o ambiente altamente favorável (AAFa) (Figuras 6C e 6D), tanto para a cultivar Pérola como para a BRS Radiante, designados sem deficit e deficit hídrico reprodutivo terminal. Para as duas cultivares, o padrão mais frequente, com 86% e 88% de ocorrência, respectivamente, foi o sem deficit (Figuras 6C e 6D). Esse padrão é responsável pelas maiores produtividades simuladas (Figuras 6G e 6H), com produtividades muito similares para as cultivares Pérola e BRS Radiante, com médias de 3.841 kg ha<sup>-1</sup> ( $\pm$  692 kg ha<sup>-1</sup>) e 3.923 kg ha<sup>-1</sup> ( $\pm$  760 kg ha<sup>-1</sup>), respectivamente.

O deficit hídrico reprodutivo terminal inicia aos 15 e dez dias antes da floração e aumenta a intensidade até o final do enchimento das vagens. Ele é menos frequente que o padrão anterior, com 14% e 12% de ocorrência para as cultivares Pérola e BRS Radiante, respectivamente. Na comparação com as condições livres de deficit, este causou redução na produtividade de 38% e 40% para as duas cultivares, tendo a cultivar precoce BRS Radiante apresentado maiores produtividades sob esse padrão de deficit hídrico. A média e o desvio-padrão da data de floração para os padrões sem deficit e deficit reprodutivo terminal foram 46 DAS ( $\pm$  1,77) e 47 DAS ( $\pm$  2,98) para a Pérola e 31 DAS ( $\pm$  1,28) e 31 DAS ( $\pm$  1,99) para a BRS Radiante, respectivamente.

Para as condições livres de deficit hídrico, a precipitação acumulada de cinco dias aumenta, desde a fase vegetativa até dez dias após a floração, seguida por diminuição até a maturação fisiológica. Para as condições de deficit hídrico reprodutivo terminal, houve diminuição da precipitação de 20 dias antes da floração até 15 dias após a floração, seguida de outro aumento (Figuras 7C e 7D). A temperatura máxima é menor para as condições sem deficit (Figuras 7G e 7H) e a radiação solar é maior para o deficit hídrico reprodutivo terminal, devido à menor quantidade de chuvas e menor cobertura de nuvens para essa condição (Figuras 7K e 7L).



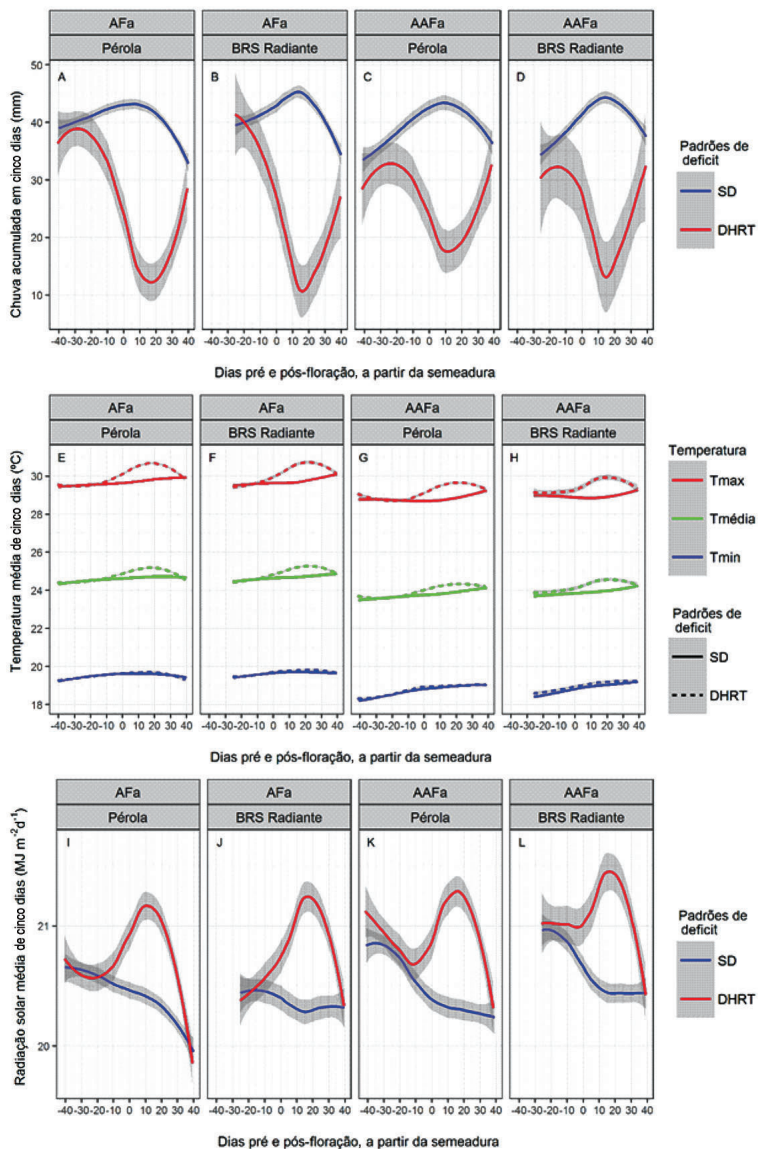
**Figura 6.** Padrões de deficit hídrico (A, B, C e D) e produtividades simuladas para esses padrões (E, F, G e H), para os ambientes favorável (AFA) e altamente favorável (AAFA) para as populações-alvo de ambientes do feijão-comum (TPE) da safra das águas. A legenda do painel superior (A, B, C e D) indica os padrões de deficit hídrico e os números representam a frequência de ocorrência desses padrões em grupos de ambientes dentro da TPE das águas. As faixas cinza representam o intervalo de confiança de 95% em torno dos padrões de deficit médios. Nos diagramas de caixa (E, F, G e H), estas estendem-se para os percentis 25 e 75 da amostra de produtividade; a linha horizontal representa a mediana e as linhas verticais estendem-se até 1,5 vez a faixa interquartil. SD - sem deficit hídrico; DHRT - deficit hídrico reprodutivo terminal.

No ambiente favorável (AFa), o padrão mais frequente foi o sem deficit, que ocorreu em 80% do tempo, para ambas as cultivares (Figuras 6A e 6B). Esse padrão apresentou as maiores produtividades simuladas no ambiente e pouca variação entre as cultivares.

Verifica-se que, para ambos os grupos ambientais na TPE das águas, AAFa e AFa, e para as duas cultivares, Pérola e BRS Radiante, há predominância do padrão sem deficit hídrico. Esse resultado concorda com os obtidos por Beebe et al. (2011), que utilizou um modelo de adequação de cultura e mostrou que o Brasil Central é altamente adequado para o cultivo de feijão-comum.

O deficit hídrico reprodutivo terminal, que ocorreu em 20% do tempo para as cultivares Pérola e BRS Radiante e teve sua maior intensidade durante a fase de enchimento de vagens, reduziu as produtividades em 74% e 68%, em relação ao padrão sem deficit (Figuras 6E e 6F). As datas de floração foram semelhantes em ambos os padrões de deficit, na comparação de AFa com AAFa. A principal diferença entre o padrão sem deficit e o deficit hídrico reprodutivo terminal, em AFa, é que, para esse último, a precipitação diminui (Figuras 7A e 7B) e a temperatura máxima aumenta (Figuras 7E e 7F), iniciando 20 dias após a floração, enquanto para o sem deficit há um aumento da precipitação e pouco ou nenhum aumento na temperatura máxima.

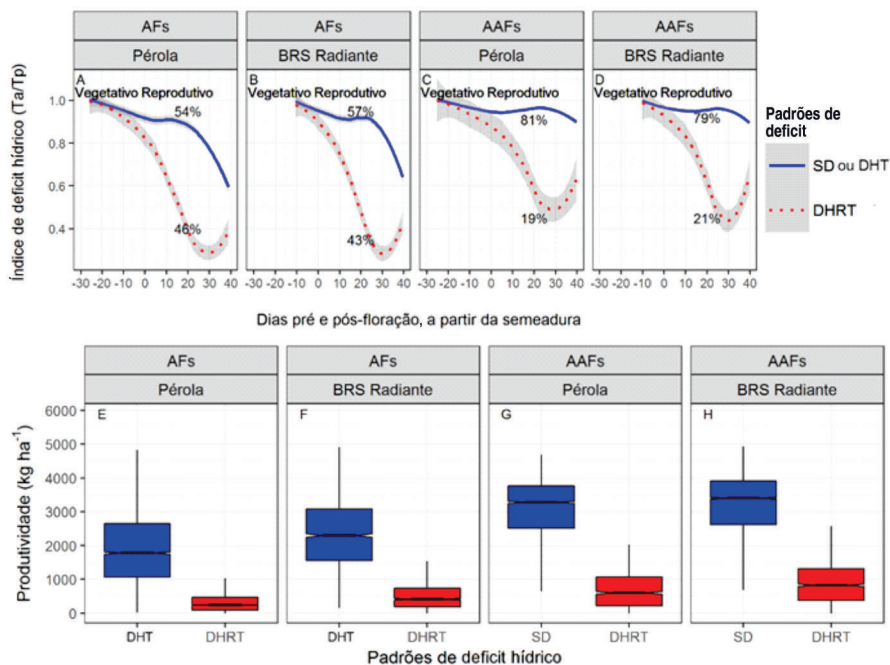
De acordo com Allen et al. (1998) e White et al. (1995), as exigências de água para a produtividade máxima de uma cultura de feijão-comum, de 60-120 dias, variam de 300 mm a 500 mm, dependendo das exigências ambientais, classe de solo e fertilidade. Para o padrão sem deficit hídrico a precipitação sazonal total para a cultivar Pérola foi de 696 mm, em AAFa, e 478 mm, em AFa, enquanto para a BRS Radiante foi de 589 mm e 382 mm, em AAFa e AFa, respectivamente; todas dentro ou acima da exigência para produtividade máxima. Para o TPE das águas, o deficit hídrico está relacionado com o aumento da temperatura máxima, como mostrado nas Figuras 7E, 7F, 7G e 7H.



**Figura 7.** Variação nas condições climáticas médias para a população-alvo de ambientes de feijão-comum (TPE) das águas: Médias da precipitação acumulada das temperaturas diárias máxima, média e mínima, e da radiação solar diária, para cada padrão de deficit hídrico nos dois ambientes (AAFa - ambiente altamente favorável; AFa - ambiente favorável). SD - sem deficit hídrico; DHRT - deficit hídrico reprodutivo terminal.

### *População-alvo de ambientes (TPE) para a época da seca*

Dois padrões de deficit hídrico predominantes foram identificados para o ambiente altamente favorável (AAFs) (Figuras 8C e 8D), tanto para a cultivar Pérola como para a BRS Radiante, designados sem deficit e deficit hídrico reprodutivo terminal. Para as duas cultivares, o padrão mais frequente, com 81% e 79% de ocorrência, respectivamente, foi o sem deficit (Figuras 8C e 8D). Esse padrão é responsável pelas maiores produtividades simuladas (Figuras 8G e 8H), com médias de  $3.078 \text{ kg ha}^{-1}$  ( $\pm 886 \text{ kg ha}^{-1}$ ), para a Pérola, e  $3.225 \text{ kg ha}^{-1}$  ( $\pm 855 \text{ kg ha}^{-1}$ ), para a BRS Radiante.



**Figura 8.** Padrões de deficit hídrico (A, B, C e D) e produtividades simuladas para esses padrões (E, F, G e H), para os ambientes favorável (AFs) e altamente favorável (AAFs), para as populações-alvo de ambientes do feijão-comum (TPE) da safra da seca. A legenda do painel superior (A, B, C e D) indica os tipos de deficit hídrico e os números representam a frequência de ocorrência de padrões de deficit hídrico, em grupos de ambientes dentro da TPE da seca. As faixas cinza representam o intervalo de confiança de 95% em torno dos padrões de deficit médios. Nos diagramas de caixa (E, F, G e H), estas estendem-se para os percentis 25 e 75 da amostra de produtividade; a linha horizontal representa a mediana e as linhas verticais estendem-se até 1,5 vez a faixa interquartil. SD - sem deficit (C, D, G e H); DHT - deficit hídrico terminal (A, B, E e F); DHRT - deficit hídrico reprodutivo terminal (A, B, C, D, E, F, G e H).

O deficit hídrico reprodutivo terminal ocorreu em somente 19% e 21% das simulações, para as cultivares Pérola e BRS Radiante, nesta ordem. O estabelecimento desse deficit ocorre aos 20 (Pérola) e dez (BRS Radiante) dias antes da floração, com sua intensidade aumentando até o final do enchimento das vagens, causando redução na produtividade de 78% e 72% para as duas cultivares, na comparação com as condições sem deficit. A cultivar BRS Radiante, como no AAFa, apresentou as maiores produtividades.

Para condições sem deficit, a precipitação acumulada de cinco dias diminuiu a partir de dez dias após a floração e continuou até a maturação fisiológica, para ambas as cultivares. Para o deficit hídrico reprodutivo terminal, a precipitação começou a diminuir 20 dias antes da floração (Figuras 9C e 9D). As temperaturas máximas e mínimas foram mais elevadas para esse padrão de deficit, com maior taxa de aumento da temperatura máxima (Figuras 9G e 9H). A radiação solar diminuiu de 21 MJd<sup>-1</sup> para 17 MJd<sup>-1</sup>, ao longo do ciclo de cultura (Figuras 9K e 9L).

No ambiente favorável (AFs) também foram encontrados dois padrões predominantes para as cultivares Pérola e BRS Radiante, deficit hídrico terminal e deficit hídrico reprodutivo terminal, com o primeiro representando 54% e 57% da frequência de ocorrências para ambas (Figuras 8A e 8B). A cultivar BRS Radiante apresentou maiores produtividades simuladas, 2.314 kg ha<sup>-1</sup> (± 969 kg ha<sup>-1</sup>), que a cultivar Pérola, 1.900 kg ha<sup>-1</sup> (± 995 kg ha<sup>-1</sup>), para esse padrão de deficit hídrico (Figuras 8E e 8F). O deficit hídrico reprodutivo terminal, que apresentou frequência de ocorrência de 46% e 43%, para as duas cultivares, teve sua maior intensidade durante a fase de enchimento das vagens, com produtividades 84% e 78% menores em relação ao deficit hídrico terminal (Figuras 8E e 8F).

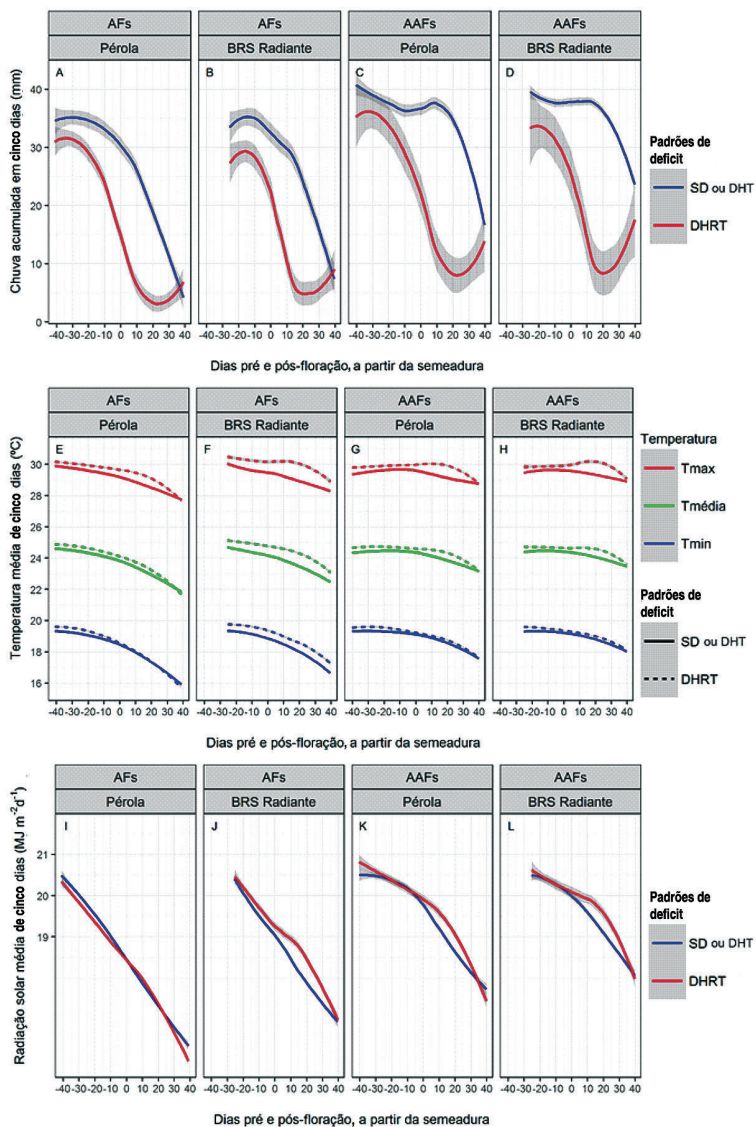
Foi observada diminuição da precipitação, aos 20 dias antes da floração, para a cultivar de ciclo mais longo, Pérola, para ambos os padrões de deficit hídrico. Para a cultivar precoce, BRS Radiante,

a diminuição da precipitação começou a ocorrer dez dias antes da floração, para os dois padrões (Figuras 9A e 9B). As taxas de decréscimo da temperatura mínima e da radiação solar foram mais elevadas para esse grupo ambiental do que para o AAFs (Figuras 9E, 9F, 9I e 9J).

Verifica-se que o deficit hídrico é um fator limitante importante apenas para o grupo ambiental AFs na TPE da seca. Nessa TPE, escolhas apropriadas de data de semeadura e cultivar são fatores importantes para minimizar o deficit. Em particular, destaca-se a importância de cultivares que podem resistir à deficiência, como pode ser observado nas produtividades geralmente mais altas mostradas pela cultivar BRS Radiante, com floração e maturação precoces, na maioria das situações de carência hídrica.

Como as safras de sequeiro em Goiás são caracterizadas basicamente por pequenos agricultores e agricultura de baixo custo, a adoção de cultivares precoces deve ser ponderada, quando se consideram os fatores de estresses mais relevantes que atuam sobre essas safras, não só o deficit hídrico. As cultivares de maturação precoce, geralmente de hábito de crescimento determinado, como a BRS Radiante, não produzem bem em um ambiente de deficit hídrico intermitente. O IAF pode parar de crescer numa fase relativamente precoce devido à falta de nós para produzir folhas adicionais (WHITE; IZQUIERDO, 1991), o que, por sua vez, não permite uma recuperação sustentada do crescimento reprodutivo com o retorno da precipitação (VANDENBERG; NLEYA, 1999). Por outro lado, as de hábito de crescimento indeterminado, em que o período de floração é maior, como a Pérola, retomam o crescimento após a melhoria das condições para a floração (BEEBE et al., 2011; ROSALES-SERNA et al., 2004; VILHORDO et al., 1996). Além disso, as cultivares precoces são menos eficientes na fixação de nitrogênio biológico, durante o enchimento de grãos, e requerem manejo de alta tecnologia, devido à menor plasticidade inerente ao genótipo (DIDONET, 2005).





**Figura 9.** Variação nas condições climáticas médias para a população-alvo de ambientes de feijão-comum (TPE) da seca: Médias da precipitação acumulada, das temperaturas diárias máxima, média e mínima e da radiação solar diária, para cada padrão de deficit hídrico nos dois ambientes (AAFs - ambiente altamente favorável; AFs - ambiente favorável). SD - sem deficit (C, D, G, H, K e L); DHT - deficit hídrico terminal (A, B, E, F, I e J); DHRT - deficit hídrico reprodutivo terminal (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K e L).

## Conclusões

No Estado de Goiás, o deficit hídrico na cultura do feijoeiro ocorre em uma frequência relativamente baixa, na safra das águas, em ambos os grupos ambientais, altamente favorável e favorável e, na safra da seca, no grupo ambiental altamente favorável. Contudo, em situações específicas, as reduções de produtividade associadas ao deficit hídrico podem ser significativas, embora localizadas. Especificamente, reduções maiores que 50% na produtividade podem ocorrer, no norte e no nordeste do Estado, na safra da seca. Embora uma análise custo-benefício seja necessária para determinar se o desenvolvimento de germoplasma tolerante ao deficit hídrico é economicamente viável, a frequência relativamente baixa de ocorrência desse estresse sugere que a adaptação ao mesmo pode não ser justificada. Ademais, os resultados obtidos sugerem que, embora a escolha da cultivar seja importante para o manejo do deficit hídrico, a data de semeadura tem maior impacto na minimização deste. Entretanto, é importante o desenvolvimento de germoplasma que alcance produtividades elevadas, mas também tenha plasticidade suficiente para tolerar condições de deficit hídrico que ocorrem em áreas ou anos particulares.

## Referências

- ALDERMAN, P. D.; BOOTE, K. J.; JONES, J. W.; BHATIA, V. S. Adapting the CSM-CROPGRO model for pigeon pea using sequential parameter estimation. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 181, p. 1-15, Sept. 2015.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and drainage paper, 56).

ARAÚJO, S. S.; BEEBE, S.; CRESPI, M.; DELBREIL, B.; GONZÁLEZ, E. M.; GRUBER, V.; LEJEUNE-HENAUT, I.; LINK, W.; MONTEROS, M. J.; PRATS, E.; RAO, I.; VADEZ, V.; PATTO, M. C. V. Abiotic stress responses in legumes: strategies used to cope with environmental challenges. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, v. 34, n. 1/3, p. 237-280, 2015.

ASSIS, P. C. R.; STONE, L. F.; MEDEIROS, J. C.; MADARI, B. E.; OLIVEIRA, J. de M.; WRUCK, F. J. Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 4, p. 309-316, 2015.

BARCELOS, Q. L.; PINTO, J. M. A.; VAILLANCOURT, L. J.; SOUZA, E. A. Characterization of *Glomerella* strains recovered from anthracnose lesions on common bean plants in Brazil. **Plos One**, v. 9, n. 3, e90910, Mar. 2014.

BEEBE, S.; RAMÍREZ, J.; JARVIS, A.; RAO, I. M.; MOSQUERA, G.; BUENO, J. M.; BLAIR, M. W. Genetic improvement of common beans and the challenges of climate change. In: YADAV, S. S.; REDDEN, R.; HATFIELD, J. L.; LOTZE-CAMPEN, H.; HALL, A. (Ed.). **Crop adaptation to climate change**. Oxford: Wiley-Blackwell, 2011. p. 356-369.

BENEDETTI, M. M.; SPAROVEK, G.; COOPER, M.; CURI, N.; CARVALHO FILHO, A. Representatividade e potencial de utilização de um banco de dados de solos do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 6, p. 2591-2600, nov./dez. 2008.

CHARRAD, M.; GHAZZALI, N.; BOITEAAU, V.; NIKNAFS, A. NbClust: an R Package for determining the relevant number of clusters in a data set. **Journal of Statistical Software**, Los Angeles, v. 61, n. 6, p. 1-36, 2014.

CHENU, K.; COOPER, M.; HAMMER, G. L.; MATHEWS, K. L.; DRECCER, M. F.; CHAPMAN, S. C. Environment characterization as an aid to wheat improvement: interpreting genotype-environment interactions by modeling water-deficit patterns in North-Eastern Australia. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, n. 6, p. 1743-1755, Mar. 2011.

COOPER, M.; STUCKER, R. E.; DELACY, I. H.; HARCH, B. D. Wheat breeding nurseries, target environments, and indirect selection for grain yield. **Crop Science**, Madison, v. 37, n. 4, p. 1168-1176, July 1997.

D'AFONSECA, D. S.; HEINEMANN, A. B.; SILVA, S. C.; MORAES, A. C. **Preenchimento de dados climáticos diários faltantes para os municípios do Estado de Rondônia na base de dados de clima da Embrapa Arroz e Feijão**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2012. 28 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 277).

D'AFONSECA, D. S.; HEINEMANN, A. B.; SILVA, S. C.; MORAES, A. C. **Preenchimento de dados climáticos diários faltantes para os municípios do Estado de Mato Grosso na base de dados de clima da Embrapa Arroz e Feijão**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2013a. 51 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 282).

D'AFONSECA, D. S.; HEINEMANN, A. B.; SILVA, S. C.; MORAES, A. C. **Metodologia para o preenchimento de dados climáticos diários faltantes: uma aplicação para os municípios de Goiás a partir da base de dados de clima da Embrapa Arroz e Feijão**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2013b. 91 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 296).

DE LUQUE, J. J. R.; CREAMER, B. Major constraints and trends for common bean production and commercialization, establishing priorities for future research. **Agronomia Colombiana**, Bogotá, v. 32, n. 3, p. 423-431, 2014.

DIDONET, A. D. Ecofisiologia e rendimento potencial do feijoeiro. In: DEL PELOSO, M. J.; MELO, L. C. (Ed.). **Potencial de rendimento da cultura do feijoeiro-comum**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. p. 9-37.

EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. **Dados de conjuntura da produção de feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) e caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) no Brasil: (1985-2015)**. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index.htm>>. Acesso em: 16 mar. 2017.

FAO. **Faostat**: Food and agriculture data. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#home>>. Acesso em: 06 jul. 2015.

FARIA, L. C.; DEL PELOSO, M. J.; COSTA, J. G. C.; RAVA, C. A.; CARNEIRO, G. E. S.; SOARES, D. M.; CABRERA DIAZ, J. L.; SARTORATO, A.; FARIA, J. C. BRS Radiante - sugar common bean. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 3, n. 4, p. 307-309, Dec. 2003.

HEINEMANN, A. B.; STONE, L. F. Requirement of supplemental irrigation for dry season common bean in Goiás. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 2, p. 57-66, 2015.

HEINEMANN, A. B.; BARRIOS-PEREZ, C.; RAMIREZ-VILLEGAS, J.; ARANGO-LONDONO, D.; BONILLA-FINDJI, O.; MEDEIROS, J. C.; JARVIS, A. Variation and impact of drought-stress patterns across upland rice target population of environments in Brazil. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 66, n. 12, p. 3625-3638, June 2015.

HEINEMANN, A. B.; DINGKUHN, M.; LUQUET, D.; COMBRES, J. C.; CHAPMAN, S. Characterization of drought stress environments for upland rice and maize in central Brazil. **Euphytica**, Wageningen, v. 162, n. 3, p. 395-410, Aug. 2008.

HEINEMANN, A. B.; HOOGENBOOM, G.; FARIA, R. T. Determination of spatial water requirements at county and regional levels using crop models and GIS: an example for the State of Paraná, Brazil. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 52, n. 3, p. 177-196, Jan. 2002.

HEINEMANN, A. B.; HOOGENBOOM, G.; GEORGIEV, G. A.; FARIA, R. T.; FRIZZONE, J. A. Center pivot irrigation management optimization of dry beans in humid areas. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 43, n. 6, p. 1507-1516, 2000.

HEINEMANN, A. B.; RAMIREZ-VILLEGAS, J.; SOUZA, T. L. P. O.; DIDONET, A. D.; DI STEFANO, J. G.; BOOTE, K. J.; JARVIS, A. Drought impact on rainfed common bean production areas in Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 225, p. 57-74, Sept. 2016.

HOOGENBOOM, G.; JONES, J. W.; BOOTE, K. J. Modeling growth, development, and yield of grain legumes using SOYGRO, PNUTGRO, and BEANGRO: a review. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 35, n. 6, p. 2043-2056, 1992.

JONES, J. W.; HOOGENBOOM, G.; PORTER, C. H.; BOOTE, K. J.; BATCHELOR, W. D.; HUNT, L. A.; WILKENS, P. W.; SINGH, U.; GIJSMAN, A. J.; RITCHIE, J. T. The DSSAT cropping system model. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 18, n. 3, p. 235-265, Jan. 2003.

LIMA FILHO, A. F.; COELHO FILHO, M. A.; HEINEMANN, A. B. Calibração e avaliação do modelo CROPGRO para a cultura do feijão caupi no Recôncavo Baiano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 12, p. 1286-1293, dez. 2013.

LOBELL, D. B.; CASSMAN, K. G.; FIELD, C. B. Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes. **Annual Review of Environment and Resources**, Palo Alto, v. 34, p. 179-204, Nov. 2009.

MELO, L. C.; COSTA, J. G. C.; PEREIRA, H. S.; DEL PELOSO, M. J.; WENDLAND, A.; FARIA, L. C.; NASCENTE, A. S.; CABRERA DIAZ, J. L.; CARVALHO, H. W. L.; COSTA, A. F.; ALMEIDA, V. M.; MELO, C. L. P.; ABREU, A. F. B.; MAGALDI, M. C. S.; POSSE, S. C. P.; SOUZA FILHO, B. F.; SOUZA, J. F.; GUIMARÃES, C. M.; OLIVEIRA, J. P. Common bean cultivar BRS Ametista with large Carioca grains and disease resistance. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v. 12, n. 4, p. 293-296, Dec. 2012.

NYQUIST, W. E.; BAKER, R. J. Estimation of heritability and prediction of selection response in plant population. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, v. 10, n. 3, p. 235-322, 1991.

OLIVEIRA, E. C.; COSTA, J. M. N.; PAULA JUNIOR, T. J.; FERREIRA, W. P. M.; JUSTINO, F. B.; NEVES, L. O. The performance of the CROPGRO model for bean (*Phaseolus vulgaris* L.) yield simulation. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 34, n. 3, p. 239-246, 2012.

R FOUNDATION. **R**: A language and environment for statistical computing. Vienna, 2015. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 06 jul. 2015.

RAO, I. M. Role of physiology in improving crop adaptation to abiotic stresses in the tropics: the case of common bean and tropical forages. In: PESSARAKLI, M. (Ed.) **Handbook of plant and crop physiology**. New York: Marcel Dekker, 2001. p. 583-613.

REATTO, A.; CORREIA, J. R.; SPERA, S. T.; CHAGAS, C. S.; MARTINS, E. S.; ANDAHUR, J. P.; GODOY, M. J. S.; ASSAD, M. L. C. L. **Levantamento semidetalhado dos solos da bacia Rio Jardim-DF escala 1:50.000**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2000. 1 CD-ROM. (Embrapa Cerrados. Boletim de pesquisa, 18).

RICHARDSON, C. W.; WRIGHT, D. A. **WGEN**: a model for generating daily weather variables. Washington: USDA, 1984. 83 p.

RITCHIE, J. T. Soil water balance and plant stress. In: TSUJI, G. Y.; HOOGENBOOM, G.; THORNTON, P. K. (Ed.). **Understanding options for agricultural production**. Dordrecht: Kluwer, 1998. p. 41-54.

ROSALES-SERNA, R.; KOHASHI-SHIBATA, J.; ACOSTA-GALLEGOS, J. A.; TREJO-LÓPEZ, C.; ORTIZ-CERECERES, J.; KELLY, J. D. Biomass distribution, maturity acceleration and yield in drought-stressed common bean cultivars. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 85, n. 2/3, p. 203-211, Feb. 2004.

SINGH, S. P. Broadening the genetic base of common bean cultivars: a review. **Crop Science**, Madison, v. 41, n. 6, p. 1659-1675, Nov. 2001.

SINGH, S. P.; SCHWARTZ, H. F. Breeding common bean for resistance to diseases: a review. **Crop Science**, Madison, v. 50, n. 6, p. 2199-2223, Nov. 2010.

SOUZA, T. L. P. O.; FALEIRO, F. G.; DESSAUNE, S. N.; PAULA JUNIOR, T. J.; MOREIRA, M. A.; BARROS, E. G. Breeding for common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) rust resistance in Brazil. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, DF, v. 38, n. 5, p. 361-374, Sept./Oct. 2013.

SPERA, S. T.; REATTO, A.; MARTINS, E. S.; CORREIA, J. R. **Atributos físicos de solos e distribuição das fitofisionomias de cerrado na bacia hidrográfica do Rio Jardim, DF**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2005. 18 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 146).

TEIXEIRA, G. C. S.; STONE, L. F.; HEINEMANN, A. B. Eficiência do uso da radiação solar e índices morfofisiológicos em cultivares de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 1, p. 9-17, jan./mar. 2015.

VANDENBERG, A.; NLEYA, T. Breeding to improve plant type. In: SINGH, S. P. (Ed.). **Common bean improvement in the twenty-first century**. Dordrecht: Kluwer, 1999. p. 185-222.

VILHORDO, B. W.; MIKUSINSKI, O. M. F.; BURIN, M. E.; GANDOLFI, V. H. Morfologia. In: ARAUJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. O. (Ed.). **Cultura do feijoeiro-comum no Brasil**. Piracicaba: Potafós, 1996. p. 71-99.

WANDER, A. E. Produção e consumo de feijão no Brasil, 1975-2005. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 37, n. 2, p. 7-21, fev. 2007.



WARD, J. H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American Statistical Association**, Washington, v. 58, n. 301, p. 236-244, Mar. 1963.

WEBBER, H. A.; MADRAMOOTOO, C. A.; BOURGAULT, M.; HORST, M. G.; STULINA, G.; SMITH, D. L. Adapting the CROPGRO model for saline soils: the case for a common bean crop. **Irrigation Science**, New York, v. 28, n. 4, p. 317-329, May 2010.

WHITE, J. W.; IZQUIERDO, J. Physiology of yield potential and stress tolerance. In: SCHOONHOVEN, A.; VOYSEST, O. (Ed.). **Common beans: research for crop improvement**. Wallingford: CAB; Cali: CIAT, 1991. p. 287-382.

WHITE, J. W.; HOOGENBOOM, G.; JONES, J. W.; BOOTE, K. J. Evaluation of the dry bean model Beangro V1.01 for crop production research in a tropical environment. **Experimental Agriculture**, London, v. 31, n. 2, p. 241-254, Apr. 1995.

WILLIAMS, W. T. (Ed.). **Pattern analysis in agricultural science**. Amsterdam: Elsevier, 1976. 331 p.

