

***Utilização do Modelo
CROPGRO-DRY BEAN para a
Simulação do Crescimento e
Desenvolvimento do Feijoeiro***

*Elza Jacqueline Leite Meireles
Antonio Roberto Pereira*



República Federativa do Brasil

Fernando Henrique Cardoso

Presidente

Ministério da Agricultura e do Abastecimento

Marcus Vinícius Pratini de Moraes

Ministro

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Conselho de Administração

Marcio Fortes de Almeida

Presidente

Alberto Duque Portugal

Vice-Presidente

Dietrich Gerhard Quast

José Honório Accarini

Sérgio Fausto

Urbano Campos Ribeiral

Membros

Diretoria-Executiva da Embrapa

Alberto Duque Portugal

Diretor-Presidente

Dante Daniel Giacomelli Scolari

Bonifácio Hideyuki Nakasu

José Roberto Rodrigues Peres

Diretores

Embrapa Arroz e Feijão

Pedro Antônio Arraes Pereira

Chefe-Geral

Documentos 121

Utilização do Modelo *Cropgro – Dry Bean* para a Simulação do Crescimento e Desenvolvimento do Feijoeiro

Elza Jacqueline Leite Meireles
Antonio Roberto Pereira

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Arroz e Feijão

Rodovia Goiânia a Nova Veneza km 12 Zona Rural

Caixa Postal 179

75375-000 Santo Antônio de Goiás, GO

Fone: (62) 533 2110

Fax: (62) 533 2100

www.cnpaf.embrapa.br

sac@cnpaf.embrapa.br

Comitê de Publicações

Presidente: *Carlos Agustín Rava Seixas*

Secretário-Executivo: *Luiz Roberto da Silva*

Membros: *Evaldo Pacheco Sant'Ana*

Massaru Yokoyama

Supervisor editorial: *Marina A. Souza de Oliveira*

Revisor de texto: *Vera Maria Tietzmann Silva*

Normalização bibliográfica: *Ana Lúcia D. de Faria*

Tratamento de ilustrações: *Fabiano Severino*

Capa: *Clauber Humberto Vieira*

Editoração eletrônica: *Fabiano Severino*

1ª edição

1ª impressão (2001): 500 exemplares

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

Meireles, Elza Jacqueline Leite.

Utilização do modelo Cropgro – Dry Bean para a simulação do crescimento e desenvolvimento do feijoeiro / Elza Jacqueline Leite Meireles, Antonio Roberto Pereira. – Santo Antônio de Goiás : Embrapa Arroz e Feijão, 2001.

38 p. – (Documentos / Embrapa Arroz e Feijão, ISSN 1516-7518 ; 121)

1. Feijão – Simulação - Crescimento. 2. Feijão – Simulação – Desenvolvimento. 3. Feijão – Análise de risco. I. Pereira, Antonio Roberto. II. Título. III. Embrapa Arroz e Feijão. IV. Série.

CDD 635.652 (21. ed.)

© Embrapa 2001

Autores

Elza Jacqueline Leite Meireles

Engenheira Agrícola, Doutora, Embrapa Arroz e Feijão, Rod.
Goiânia Nova Veneza, km 12, 75375-000 Santo Antônio
de Goiás-GO. jacqueline.meireles@embrapa.br.

Antonio Roberto Pereira

Professor Associado, PhD., Departamento de Ciências
Exatas, USP/ESALQ, Caixa Postal 9, CEP. 13418-900
Piracicaba, SP. arpereir@carpa.ciagri.usp.br

Apresentação

Os modelos de simulação de cultura podem ser definidos como um conjunto de equações para estimar o crescimento, desenvolvimento e produção de uma cultura a partir de uma série de coeficientes genéticos e variáveis ambientais. Permitem analisar detalhadamente os diversos componentes da produção, possibilitando uma visão integrada de sua participação no sistema. Apesar da complexidade envolvida na construção de modelos, os esforços são compensados em função de sua grande aplicabilidade, que auxilia o agricultor na tomada de decisão, permitindo a organização racional de questões envolvendo distribuição, armazenamento, comercialização do produto agrícola, entre outras.

No Brasil, a modelagem está sendo utilizada, principalmente, nos estudos de zoneamento de riscos climáticos para algumas culturas, tais como: feijão, arroz, milho, soja e em sistemas de monitoramento ambiental.

Com relação à cultura do feijoeiro, vários modelos de simulação têm sido desenvolvidos para avaliar a resposta dessa cultura em diferentes condições ambientais.

A Embrapa Arroz e Feijão tem desenvolvido alguns trabalhos utilizando modelos de simulação para a determinação de épocas de semeadura. Este estudo poderá trazer subsídios para a implementação de novas técnicas nos estudos de riscos climáticos.

Pedro Antônio Arraes Pereira
Chefe da Embrapa Arroz e Feijão

Sumário

Introdução	9
Revisão de Literatura	10
Modelos de simulação	10
Sistema DSSAT	12
Modelo CROPGRO - Dry Bean	13
Aplicação do modelo CROPGRO -Dry Bean em agricultura	14
Material e Métodos	16
Fenologia	16
Matéria seca	17
Fotossíntese	18
Partição de fotoassimilados	19
Balanço de água	19
Balanço de nitrogênio	20
Dados necessários para a execução do CROPGRO - Dry Bean	20
Estudo de um caso utilizando o modelo CROPGRO - Dry Bean	22
Calibração do CROPGRO - Dry Bean	23
Teste do CROPGRO - Dry Bean	24
Aferição do modelo	24
Resultados e Discussão	25
Calibração do modelo	25
Teste do modelo	29
Município de Santo Antônio de Goiás, GO	29
Município de Planaltina, DF	32
Agradecimentos	33
Referências Bibliográficas	34

Utilização do Modelo *Cropgro - Dry Bean* para a Simulação do Crescimento e Desenvolvimento do Feijoeiro

Elza Jacqueline Leite Meireles

Antonio Roberto Pereira

Introdução

A grande variabilidade dos fatores ambientais que influenciam a produtividade agrícola, aliada à redução acentuada dos recursos técnicos e financeiros, tem provocado um redirecionamento no planejamento dos projetos de pesquisa. Neste sentido, o uso de modelos de simulação aplicados à agricultura vem ganhando um grande impulso. Apresentando como grandes características a multidisciplinaridade e o caráter integrador, os modelos de simulação têm-se tornado, ao longo dos anos, uma ferramenta altamente eficiente e complementar às pesquisas experimentais convencionais (Pereira, 1987; Boote et al., 1996; Costa, 1997).

Nas últimas décadas, vários modelos foram desenvolvidos para testar e avaliar a resposta do feijoeiro em diferentes condições ambientais. Dentre eles, destacam-se os seguintes: PHASIM (White, 1981) e BEAN (Leith, 1982), citados por Chikoye et al. (1996); BEANGRO (Hoogenboom et al., 1991); e o desenvolvido por Gutierrez et al. (1994). O modelo BEANGRO faz parte do módulo CROPGRO, juntamente com outras leguminosas, do sistema DSSAT, "Decision Support System for Agrotechnology Transfer", pertencente ao projeto IBSNAT, "International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer".

O modelo CROPGRO - Dry Bean simula o crescimento do feijoeiro, calculando-se a produtividade e o desenvolvimento da cultura pelos balanços de água, de nitrogênio e de carbono. O sistema permite analisar os efeitos do manejo da cultura, tais como, época de semeadura, uso de irrigação, população de plantas e

adubação nitrogenada, sobre a produtividade. Simulações de longo período de dados meteorológicos permitem avaliar o desempenho das diferentes práticas de manejo em termos probabilísticos. Além disso, o modelo pode ser integrado a métodos de análise econômica para se estimarem os riscos envolvidos, assim como a sistemas de informação geográfica para sua espacialização.

Assim, propõem-se como objetivos deste trabalho:

- Calibrar o modelo CROPGRO - Dry Bean para a cultivar Carioca, no espaçamento de 0,6 m entre linhas, e adubação de 500 kg ha⁻¹ da fórmula de 4-30-16 (N-P-K), em Santo Antônio de Goiás, GO.
- Testar a performance do modelo calibrado para estimar a produtividade e o desenvolvimento do feijoeiro, utilizando o espaçamento de 0,5 m para a adubação de 500 kg ha⁻¹, em Santo Antônio de Goiás, GO.
- Testar o modelo calibrado para a região de Planaltina, DF, utilizando a cultivar Carioca, a fim de comparar as produtividades observadas em campo com aquelas simuladas.

Revisão de Literatura

Modelos de simulação

A interação entre as plantas e o ambiente envolve uma complexidade de processos físicos, químicos e biológicos. A fim de se obter melhor conhecimento das respostas da cultura ao ambiente, modelos de simulação são utilizados como ferramenta de grande potencial na área de sistemas cultivados, permitindo o estudo e o entendimento do conjunto, estimando a performance da cultura em diferentes áreas e situações.

Visando ao adequado entendimento da definição de modelos de simulação, Costa (1997) menciona a necessidade de se fazer a separação de três termos: sistemas, modelos e simulação. Sistema é uma parte limitada da realidade que contém vários elementos interrelacionados; modelo é uma representação simplificada de um sistema; simulação é a arte de construir modelos matemáticos e de estudar suas propriedades em relação às do sistema (De Wit, 1982).

Jame & Cutforth (1996) definem modelo como uma série de equações matemáticas, as quais descrevem um sistema físico, no caso, sistema solo-

planta-atmosfera. O modelo simula uma cultura pela estimativa do crescimento de seus componentes, como folhas, raízes, caules e grãos. Assim, um modelo de simulação de crescimento de cultura não somente estima a biomassa total ou a produção na colheita, mas também inclui informações quantitativas sobre a maioria dos processos envolvidos no crescimento e desenvolvimento da planta.

De acordo com Boote et al. (1996), é importante desenvolverem-se modelos porque: (i) são ferramentas usadas para sumarizar o conhecimento científico; (ii) auxiliam na tomada de decisão agrícola; (iii) são úteis no planejamento. Costa (1997) acrescenta mais dois motivos: (iv) grande potencial didático do desenvolvimento de modelos; e (v) orientação e racionalização do uso de experimentos convencionais. Além disso, Pereira (1987) comenta que a tentativa de construir um modelo ajuda a detectar áreas onde o conhecimento e os dados são escassos.

Os modelos podem ser utilizados para analisar os efeitos de diferentes estratégias, ajudando na determinação da melhor decisão, e apresentam uma série de vantagens para uma análise econômica, em relação aos dados provenientes de experimentação em campo. Entre essas vantagens, destacam-se: um grande número de diferentes estratégias podem ser avaliadas rapidamente e com baixo custo; cada estratégia pode ser avaliada em um amplo intervalo de condições incertas, como por exemplo, clima; e, dependendo do modelo de crescimento utilizado, podem-se avaliar complexas estratégias de manejo interagindo com diversas decisões como irrigação, fertilização, datas de semeadura, dentre outras (Boogess & Ritchie, 1988).

Vale ressaltar que, embora os modelos de simulação tenham grande aplicabilidade e custo inferior àquele dos experimentos convencionais, eles não podem ser considerados substitutos dos experimentos, e sim uma técnica que os complementa.

A utilização de modelos de simulação também apresenta algumas limitações, descritas a seguir.

Costa (1997) menciona que o desenvolvimento e a utilização de modelos são limitados pela disponibilidade de dados de entrada e pela falta de conhecimento da parte do sistema que se quer modelar. É comum encontrar na literatura modelos que apresentam níveis de complexidade incompatíveis com o nível de conhecimento científico atual.

A cautela no emprego de modelos está relacionada aos erros que podem ser cometidos, em função de relações empíricas baseadas em evidências experimentais limitadas ou inadequadas, ou por conter funções arbitrárias isentas de bases mecânicas. Deve-se tomar precaução com as extrapolações das relações empíricas além das condições para as quais foram derivadas e testadas (Monteith, 1996). Boote et al. (1996) ressaltam a importância da qualidade e da precisão dos dados de entrada dos modelos. As maiores falhas quanto à utilização de modelos são, muitas vezes, devidas à qualidade dos dados de entrada.

Muitas vezes o usuário poderá se confrontar com outras limitações, tais como: custos elevados na aquisição de dados ou equipamentos; variabilidade espacial do solo; variabilidade temporal do ataque de doenças; dificuldade na obtenção dos dados; como também, a necessidade de conhecimento técnico em relação ao funcionamento do modelo e interpretação dos resultados gerados.

Sistema DSSAT

No início dos anos 70, surgiram os primeiros modelos de simulação da produção potencial de culturas (Stapleton, 1970; Bowen et al., 1973). Dentre os vários modelos de simulação de crescimento e desenvolvimento das culturas destaca-se o sistema DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer), o qual faz parte do projeto IBSNAT (Tsuji et al., 1994; Jame & Cutforth, 1996).

Segundo Jones (1993), a primeira versão do DSSAT, v. 2.10, continha modelos para quatro culturas: milho (CERES-maize), trigo (CERES-wheat), soja (SOYGRO) e amendoim (PNUTGRO). Posteriormente, foram adicionados os modelos para as culturas de arroz (CERES-rice), feijão (BEANGRO), sorgo (CERES-sorghum) e milheto (CERES-millet).

A partir da versão 3.0 do DSSAT, os modelos de simulação para as leguminosas soja, feijão e amendoim foram agrupados em um único módulo, CROPGRO (Tsuji et al., 1994).

A última versão do DSSAT (v. 3.5) surgiu em 1998, apresentando ajustes significativos na estrutura dos modelos já existentes, especialmente nas rotinas de crescimento e desenvolvimento das plantas. Foram acrescentados três novos programas na estrutura do DSSAT, sendo um para apresentar gráficos de

umidade e nitrogênio do solo em função do tempo e os outros dois, para conectar os modelos de cultura com o Sistema de Informação Geográfica (SIG). Atualmente, estão incorporados ao DSSAT modelos para dezesseis culturas (milho, trigo, cevada, milheto, sorgo, arroz, feijão, soja, amendoim, grão de bico, tomate, cana-de-açúcar, pastagem, girassol, batata e mandioca), todos os quais possuem módulos idênticos para simular os balanços de água e de nitrogênio do solo (Hoogenboom, 1998).

Jones (1993) relata que o sistema DSSAT foi planejado para permitir: a) organizar, armazenar e entrar com dados de cultura, solo e clima; b) recuperar, analisar e exibir os dados; c) calibrar e avaliar modelos de crescimento de culturas; e d) avaliar diferentes práticas de manejo em um determinado local. São realizadas simulações para diferentes tipos de culturas, solos, densidades de plantas e épocas de semeadura. Posteriormente, pode-se selecionar a cultura, a cultivar, a época de semeadura, as práticas culturais, o manejo de água e nutrientes que proporcionarão os menores riscos.

O DSSAT é uma ferramenta de gerenciamento que pode melhorar a qualidade e diminuir o tempo nas tomadas de decisões (Jame & Cutforth, 1996).

Modelo CROPGRO – Dry Bean

O modelo CROPGRO - Dry Bean é mecanístico e determinístico para a simulação de crescimento e desenvolvimento da cultura do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). Este modelo foi desenvolvido por pesquisadores da Universidade da Flórida em colaboração com um programa do Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), na Colômbia, e simula a duração dos estádios vegetativo e reprodutivo, acúmulo de biomassa e produção de grãos para uma cultivar específica, em função de diferentes tipos de solo, condições climáticas e práticas de manejo (Hoogenboom et al., 1994).

As cultivares são representadas por um grupo de coeficientes genéticos derivados de calibrações com dados obtidos em experimentos de campo. Esses coeficientes descrevem as características do genótipo, em resposta às condições de solo e clima, afetando a fenologia, acúmulo de biomassa e partição de assimilados. Para simular a fenologia da cultura, o CROPGRO define 13 estágios, e cada um ocorre quando um determinado acumulador fototérmico é alcançado (Jones et al., 1998). Os valores limites desse índice fototérmico são

estabelecidos nos coeficientes genéticos. A biomassa é dividida entre os órgãos da planta e seu acúmulo é regido pelo processo de fotossíntese, o qual depende da interceptação da luz, fotoperíodo, temperatura do ar, estresses hídrico e de nitrogênio (Faria et al., 1997a).

O balanço de carbono abrange os processos de fotossíntese, respiração, partição, remobilização de proteínas e carboidratos dos tecidos vegetais e abscisão de partes da planta (Boote et al., 1998a). O balanço de nitrogênio considera a absorção diária de N pela planta, a fixação de N_2 , a utilização pelos tecidos em crescimento e a perda de N devido à abscisão de órgãos (Boote et al., 1998b). No balanço de água no solo são contabilizados a infiltração da água de chuva ou irrigação, o escoamento superficial, a absorção de água pelas raízes, a drenagem na zona radicular e a evapotranspiração (Ritchie, 1985, 1998).

Aplicação do modelo CROPGRO – Dry Bean em agricultura

Considerando-se a utilização do modelo BEANGRO, podem citar-se as seguintes aplicações: impacto global da mudança climática na produção do feijoeiro (Curry et al., 1990); efeito de tolerância e mecanismos de adaptação do feijoeiro à seca (Hoogenboom et al. (1988), citados por Hoogenboom et al. (1994); previsão da variação espacial da produção de feijão em Porto Rico pela integração do modelo BEANGRO a um sistema de informação geográfica (Lal et al., 1993); e utilização em condições tropicais (White et al., 1995).

Faria et al. (1997a) estudaram os benefícios econômicos de diferentes estratégias de manejo de irrigação, utilizando simulações de longo período (20 anos) para a cultura do feijoeiro no Estado do Paraná. O modelo BEANGRO foi usado para simular a produtividade e demanda de irrigação, assumindo-se oito níveis críticos de extração de água no solo (20 a 90% da água disponível do solo em etapas de 10%), em adição a um nível sem irrigação. Os resultados mostraram um acréscimo significativo da produtividade devido à irrigação, porém observou-se uma alta variabilidade de resposta aos níveis de umidade no solo. A estratégia de irrigar a cultura quando o solo atingir 60% de água disponível proporcionou o máximo retorno econômico.

Faria et al. (1997b) calibraram o modelo BEANGRO para o feijoeiro nas condições de Londrina, PR, com o intuito de testar sua performance em simular a fenologia, produção de matéria seca e grãos desta cultura sob diferentes condições ambientais. Embora houvesse necessidade de refinamentos na estimativa de alguns processos, os resultados indicaram que o modelo é adequado para estimar a fenologia e produção de duas cultivares de feijoeiro em diferentes épocas de semeadura e regimes hídricos, o que permite a utilização do método para estudos de riscos climáticos e de viabilidade técnica e econômica da cultura de feijão em condições de sequeiro e irrigadas na região.

Heinemann & Hoogenboom (2000), utilizando o modelo CROPGRO – *Dry Bean*, determinaram a capacidade ótima de aplicação de água, via pivô central, e a melhor estratégia de manejo de irrigação em função da receita líquida, para o feijoeiro em Londrina, PR. Eles observaram que, para os pivôs centrais com capacidades de aplicação de água de 6 mm dia^{-1} (pivô 1) e 7 mm dia^{-1} (pivô 2), a melhor estratégia foi irrigar quando o conteúdo de água disponível no solo atingiu menos que 70%. Ambos os sistemas de irrigação resultaram em uma receita líquida de U\$1,631.00 ha^{-1} . A única diferença entre os dois sistemas foi a quantidade média de água aplicada durante o ciclo da cultura, sendo de 234 mm (pivô 1) e 242 mm (pivô 2). Porém concluíram que o sistema do pivô 1 foi o melhor, uma vez que este possui uma vazão de $150 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, sendo $25 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ menor que a do pivô 2.

Meireles (2000) e Meireles et al. (2001) determinaram as épocas de semeadura com menores riscos para a cultura de feijoeiro, em condições de sequeiro e irrigada, em Santo Antônio de Goiás, GO, utilizando as produtividades potencial e real, e a quebra relativa de produtividade (Q , %), simuladas pelo modelo CROPGRO – *Dry Bean*. A semeadura efetuada no período “das águas” (outubro a novembro) atingiu o menor índice de quebra relativa de produtividade (em média 34%), seguida pela semeadura “da seca”, janeiro a fevereiro ($Q=50\%$), e, por último, a “de inverno”, maio a junho, em que Q foi maior que 95%. Assim, observou-se que a irrigação suplementar é essencial para as semeaduras realizadas no período “das águas” e “da seca”, e durante todo o ciclo da cultura, para a “de inverno”.

Heinemann & Hoogenboom (2001) utilizaram o modelo CROPGRO – *Dry Bean* para determinar a necessidade de irrigação pela cultura do feijoeiro no nordeste

da Bacia do Rio Tibagi, no Estado do Paraná, e um Sistema de Informações Geográficas (SIG) para regionalizar as informações. Eles verificaram que as produtividades mínima, média e máxima, no período de 1978 a 1997, foram de 2501, 3288 e 4053 kg ha⁻¹, respectivamente, com um desvio padrão médio de 495 kg ha⁻¹. Considerando que a água não foi limitante neste caso, devido à irrigação suplementar, a maior variação da produtividade foi em relação à variação da temperatura média do ar nos diferentes anos. Assim, pode-se dizer que a aplicação de um modelo de simulação de culturas associado ao SIG é uma grande ferramenta de suporte à tomada de decisão agrícola.

Material e Métodos

Fenologia

Baseando-se no conceito de dia fisiológico (Boote et al., 1998a), foram efetuadas as estimativas do número de dias para aparecerem a primeira flor, vagem e grão, e também para a planta atingir a maturação fisiológica. A relação entre dia fisiológico (DF) e o dia do calendário (Dia) é definida na equação (1):

$$\frac{DF}{Dia} = f(T).f(P).f(W) \quad (1)$$

sendo,

$f(T)$ = fator de restrição do crescimento devido à temperatura do ar (adimensional);

$f(P)$ = fator de restrição do crescimento devido ao fotoperíodo (adimensional);

$f(W)$ = fator de restrição do crescimento devido ao estresse hídrico (adimensional).

Em condições ótimas de temperatura do ar, de fotoperíodo e de água no solo, $f(T)$, $f(P)$ e $f(W)$ são iguais a um e, neste caso, o dia fisiológico torna-se igual ao dia do calendário; logo, $DF \leq Dia$.

A equação é definida a partir dos valores da temperatura basal (T_b), temperaturas ótimas (To_1 e To_2) e temperatura limite (T_l) para cada uma das fases a seguir (Tabela 1).

Tabela 1. Temperaturas basal (T_b), ótimas (T_o , e T_o_2) e limite (T_l) consideradas durante o ciclo do feijoeiro, pelo modelo CROPGRO – *Dry Bean*, v.2.02.

Estádios	T_l (°C)	T_o (°C)	T_o_2 (°C)	T_l (°C)
Vegetativo	4,0	27,0	35,0	45,0
Anterior ao estágio reprodutivo	5,0	22,5	35,0	45,0
Após estágio reprodutivo	0,0	18,0	35,0	45,0

Fonte: Hoogenboom et al. (1994).

No presente trabalho, consideraram-se $f(P)$ e $f(W)$ iguais à unidade, uma vez que o feijoeiro foi caracterizado como uma cultura insensível ao fotoperíodo e não houve restrições hídricas durante a simulação.

Matéria seca

Equações diferenciais não lineares de primeira ordem foram utilizadas para descrever o ganho de matéria seca total (equação 2) e parcial resultantes do balanço de carbono (Boote et al., 1998a), ou seja:

$$\frac{dW}{dt} = W^+ - S_L - S_S - S_R - S_{SH} - C_T \quad (2) \quad \frac{dW}{dt} = \text{taxa de variação da massa de matéria seca total (g m}^{-2}\text{);}$$

S_L , S_S , S_R e S_{SH} correspondem, respectivamente, às taxas de abscisão de folhas, ramos, raízes e casca de vagem; C_T é o total de carboidratos mobilizados; W^+ significa novo crescimento e é função da fotossíntese total (FT), respiração de manutenção (R_m) e da eficiência de conversão (E) de CH_2O em matéria seca, sendo definido por:

$$W^+ = E (FT - R_m) \quad (3)$$

As equações 4, 5, 6, 7 e 8 foram utilizadas para o cálculo da taxa de variação de matéria seca nas folhas, nos ramos, nas raízes e na casca da vagem.

$$\frac{dW_L}{dt} = X_L \cdot W^+ - S_L - M_L - C_L \quad (4)$$

$$\frac{dW_S}{dt} = X_S \cdot X^+ - S_S - M_S - C_S \quad (5)$$

$$\frac{dW_R}{dt} = X_R \cdot W^+ - S_R - M_R - C_R \quad (6)$$

$$\frac{dW_{SH}}{dt} = X_{SH} \cdot W^+ - S_{SH} - M_{SH} - C_{SH} \quad (7)$$

$$\frac{dW_{SD}}{dt} = X_{SD} \cdot W^+ + a(M_L + M_S + M_R + M_{SH}) \quad (8)$$

X_L , X_S , X_R , X_{SH} e X_{SD} representam os coeficientes de partição de fotoassimilados para as folhas, ramos, raízes, casca da vagem e sementes, variando com o estágio fenológico da cultura. M_L , M_S , M_R e M_{SH} descrevem a quantidade de proteína (g) mobilizada diariamente nas folhas, ramos, raízes e casca de vagem, respectivamente. C_L , C_S , C_R e C_{SH} descrevem a quantidade de carboidratos (g) mobilizada diariamente nas folhas, ramos, raízes e casca da vagem, respectivamente.

Fotossíntese

O modelo CROPGRO possui duas opções para a estimativa da fotossíntese total. A primeira opção baseia-se nos cálculos da interceptação diária de luz pelo dossel da cultura, enquanto a segunda baseia-se nos cálculos horários da interceptação de luz pelas folhas expostas ao sol e folhas sombreadas (Boote et al., 1998a). Neste estudo, utilizou-se a primeira opção para a estimativa da fotossíntese.

A fotossíntese total diária do dossel é influenciada pela temperatura média diária do ar, pelo IAF, pelo conteúdo de N nas folhas, pela área foliar específica, pelo déficit hídrico na planta, e pelos espaçamentos entre linhas e entre plantas (Hoogenboom et al., 1992).

Partição de fotoassimilados

A partição de fotoassimilados foi estimada de acordo com a equação (9) (Boote et al., 1998a):

$$W_i^+ = X_i \cdot E_i \cdot (FT - R_m) \quad (9)$$

W_i = matéria seca nova produzida em cada componente da planta;

X_i = fator de partição para cada tipo de tecido da planta;

E_i = eficiência de conversão;

R_m = respiração de manutenção.

Durante a fase vegetativa, os assimilados são alocados para os tecidos vegetativos (folhas, ramos e raízes). No estágio reprodutivo, novos drenos (paredes das vagens e sementes) são formados, alocando parte dos fotoassimilados.

Balço de água

O balanço de água no solo utilizado no CROPGRO – *Dry Bean* é um modelo unidimensional, desenvolvido por Ritchie (1985), que calcula a redistribuição de água devido à irrigação, precipitação pluvial e drenagem, estimando a evapotranspiração potencial, a evaporação da água do solo e a transpiração da planta.

O perfil de solo é preenchido por água, camada por camada, até que se atinja o conteúdo de água correspondente à capacidade de campo nestas camadas, sendo o excesso contabilizado como drenagem profunda ou escoamento superficial. Segundo Ritchie (1998), a drenagem é controlada pela camada de solo que drena mais lento e ocorre quando o teor de água está entre a saturação e a capacidade de campo.

A infiltração da água de chuva ou da irrigação e o escoamento superficial são estimados pelo método do número da curva de escoamento superficial (Soil Conservation Service - SCS). Segundo Ritchie et al. (1990), esse método descreve quatro grupos hidrológicos de solo, devendo-se selecionar o valor mais apropriado para representar o número da curva de escoamento do solo estudado.

A evapotranspiração potencial pode ser estimada pelos métodos de Priestley-Taylor ou de Penman - FAO. Neste estudo, utilizou-se o método de Priestley-Taylor, que necessita apenas dos dados de temperaturas máxima e mínima do ar e saldo de radiação.

A evapotranspiração é dividida em transpiração da planta e evaporação da água do solo. A transpiração é proporcional à energia interceptada pelo dossel da cultura e a evaporação da água do solo depende da quantidade de energia que atinge a superfície do solo, sendo afetadas por índice de área foliar, albedo do solo e teor de água no solo. Em condições de baixo teor de água no solo, a absorção de água pelas raízes é reduzida e, conseqüentemente, a transpiração diminui. O estresse hídrico determina uma redução da fotossíntese e do crescimento em expansão, bem como um aumento da partição da biomassa para as raízes (Faria et al., 1997a).

Balço de Nitrogênio

O balanço de nitrogênio no solo é o mesmo utilizado no modelo CERES do DSSAT e se encontra detalhado em Goodwin & Jones (1991), citados por Boote et al. (1998b). As absorções de NO_3^- e NH_4^+ dependem da concentração dessas substâncias no solo, da disponibilidade de água e da densidade de raízes em cada camada do solo. A absorção diária de N não pode ser maior que sua demanda, sendo calculada a partir do acúmulo de matéria seca em cada órgão da planta multiplicado pela concentração máxima de N encontrada nos tecidos, com valores esses definidos no arquivo de espécie.

Dados necessários para a execução do CROPGRO - Dry Bean

Para a execução do modelo CROPGRO - Dry Bean, versão 2.02, desenvolvido por Hoogenboom et al. (1994), é necessário conhecerem-se os parâmetros genéticos da cultivar, do solo, do manejo e dos elementos climáticos. A Figura 1 apresenta o fluxograma do modelo CROPGRO - Dry Bean.

Os dados de entrada referentes à planta constam de arquivos, conforme a seguinte descrição:

- (a) arquivo.ECO: caracteriza o ecótipo, contendo atributos genéticos que diferenciam cultivares de crescimento determinado e indeterminado;

- (b) arquivo.SPE: caracteriza a espécie, contendo coeficientes que definem a composição básica dos tecidos e descrevem vários processos, como fotossíntese, respiração, assimilação de nitrogênio, partição de fotoassimilados, senescência, fenologia e crescimento;
- (c) arquivo.CUL: contém informações da cultivar, tais como, sensibilidade ao fotoperíodo, taxa de fotossíntese, área foliar específica, massa máxima por semente, área máxima de um trifólio, número médio de grãos por vagem, períodos entre emergência e primeira flor, primeira flor e primeira vagem, primeira flor e primeiro grão, primeiro grão e maturação fisiológica, primeira flor e o fim da expansão foliar.

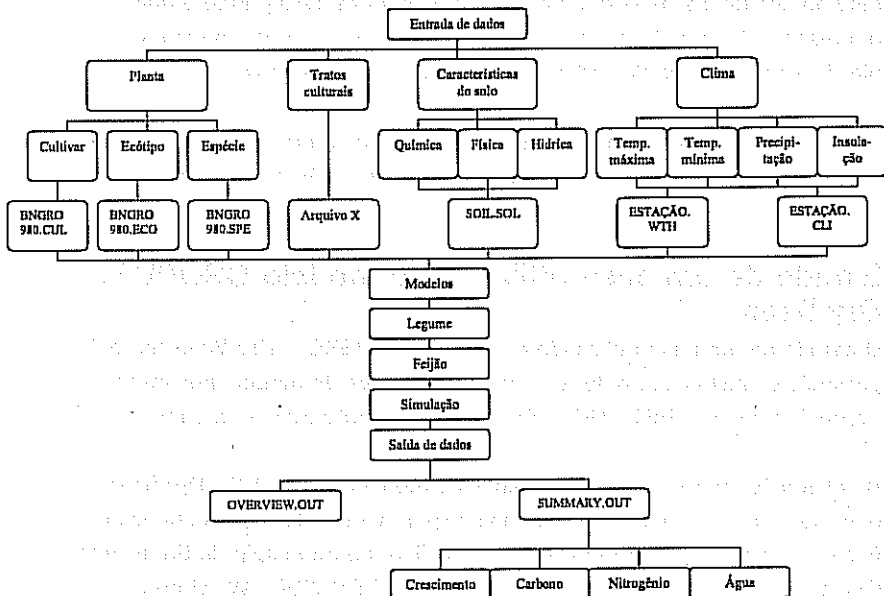


Fig. 1. Fluxograma do modelo CROPGRO - *Dry Bean*.

Os elementos climáticos, temperaturas máxima e mínima do ar, precipitação pluvial e insolação, base diária, foram armazenados nos arquivos de clima (estação.WTH e estação. CLI).

Os dados de solo como, por exemplo, densidade global, umidades de saturação, capacidade de campo e ponto de murcha permanente, albedo do solo, análise granulométrica, carbono orgânico, textura, pH em água, dentre outros, foram armazenados no arquivo soil.SOL.

Os dados de manejo da cultura (irrigação, fertilizantes, incorporação de resíduos e rotação de culturas, dados de semeadura) foram definidos no arquivo X.

As saídas do modelo compreendem dois arquivos, OVERVIEW.OUT e SUMMARY.OUT (Jones et al., 1994). O primeiro arquivo fornece uma descrição dos experimentos, com os nomes dos tratamentos e cultivares, local e data em que foram conduzidos, as opções de manejo adotadas na simulação e um resumo dos dados de entrada do solo e da cultura. O segundo arquivo relaciona um resumo dos resultados simulados do crescimento e desenvolvimento da planta, dos balanços de carbono, nitrogênio e água no solo.

Um programa gráfico é incluído, para permitir traçar gráficos dos dados simulados e observados com o propósito de avaliação do modelo.

Estudo de um caso utilizando o modelo CROPGRO – Dry Bean

O estudo de um caso utilizando o modelo CROPGRO – Dry Bean foi realizado por meio da calibração e do teste da performance do modelo nos municípios de Santo Antônio de Goiás, GO, e Planaltina, DF, utilizando-se a cultivar Carioca.

A calibração e o teste da performance do modelo CROPGRO - Dry Bean foram realizados utilizando-se dados de dois experimentos de feijão conduzidos, um na Fazenda Capivara, da Embrapa Arroz e Feijão, no município de Santo Antônio de Goiás, GO (latitude: 16°28'00" S; longitude: 49°17'00" W; altitude: 823 m), em 1990, e o outro, no campo experimental Embrapa Cerrados, situado em Planaltina, Brasília, DF (latitude: 15°35'30" S; longitude: 47°42'30" W; altitude: 1014 m), durante três anos (1988, 1990 e 1991).

O primeiro experimento avaliou os efeitos de três espaçamentos (0,4 m; 0,5 m; e 0,6 m) e duas adubações (300 e 500 kg ha⁻¹ da fórmula de 4-30-16) sobre a produtividade do feijoeiro, em Santo Antônio de Goiás, GO (Stone & Pereira, 1994a, 1994b).

O segundo experimento analisou a variação da produtividade do feijoeiro sob diferentes níveis de tensões da água no solo, durante três anos (1988, 1990 e 1991), em Planaltina, DF (Figueroa, 1998).

Calibração do CROPGRO – *Dry Bean*

Para a calibração do modelo utilizou-se a série climatológica (1978 a 1998) de dados diários de temperatura máxima e mínima do ar, precipitação pluvial e insolação, obtida da estação climatológica da Embrapa Arroz e Feijão, bem como as características físicas, químicas e hídricas do solo do local, classificado como Latossolo Vermelho perférrico, para gerar os arquivos de clima e solo a serem usados nas simulações.

Os dados de fenologia, produtividade de grãos e componentes de produção utilizados na calibração foram os obtidos por Stone & Pereira (1994a, 1994b), selecionando-se o espaçamento de 0,6 m e a adubação de 500 kg ha⁻¹.

Neste experimento, a semeadura foi realizada em 01/07/1990, sob pivô central, na Fazenda Capivara, da Embrapa Arroz e Feijão, em Santo Antônio de Goiás, GO.

Stone & Pereira (1994a, 1994b) conduziram a irrigação de maneira que o potencial de água no solo, determinado a 0,15 m de profundidade, não ultrapassasse o valor de 0,03 MPa, conforme recomendado por Stone et al. (1988).

A calibração do modelo CROPGRO-Dry Bean consistiu da modificação de alguns coeficientes genéticos, como, por exemplo: período entre emergência e primeira flor; período entre primeira flor e primeira vagem; período entre primeira flor e primeiro grão; período entre primeira grão e maturação fisiológica; período entre primeira flor e o fim da expansão foliar; taxa fotossintética máxima; área foliar específica; área máxima de um trifólio; massa máxima de um grão; número médio de grãos por vagem; visando a obter os melhores ajustes possíveis entre os dados simulados e os observados, seguindo a metodologia proposta por Boote (1994).

Primeiramente, ajustaram-se as datas de florescimento e de maturação fisiológica, efetuando-se alterações nos coeficientes genéticos relacionados à fenologia da cultura, de modo que os valores simulados se aproximassem dos valores experimentais. Posteriormente, sucederam-se os ajustes do índice de área foliar

(IAF), massa de matéria seca total (MMST), massa unitária de grãos, número de grãos por vagem, número de sementes por m^2 e produtividade de grãos. Nesta etapa, foram atribuídos valores seqüenciais aos parâmetros da planta e o modelo foi executado várias vezes até que os valores simulados estivessem próximos dos observados.

Teste do CROPGRO – Dry Bean

Para o teste, compararam-se os valores simulados pelo modelo calibrado com os medidos, não utilizados na calibração (espaçamento de 0,5 m), para o município de Santo Antônio de Goiás, GO, como sugerido por Jones et al. (1987) e Hoogenboom et al. (1992). Estas comparações foram sobre as datas de antese e maturação fisiológica, índice de área foliar, massa de matéria seca total, componentes de produção e produtividade.

Posteriormente, o modelo previamente calibrado foi testado para Planaltina, DF, empregando-se dados de um experimento em que se utilizou a cultivar Carioca e diferentes níveis de tensões da água no solo, durante três anos (1988, 1990 e 1991), comparando-se as produtividades observadas a campo com aquelas simuladas. Maiores detalhes deste experimento podem ser encontrados em Figuerêdo (1998).

Ao testar-se o modelo previamente calibrado em Planaltina, utilizaram-se os dados diários de temperatura máxima e mínima do ar, precipitação pluvial e insolação, durante os anos 1988, 1990 e 1991, obtidos da estação climatológica da Embrapa Cerrados, e das características físicas, químicas e hídricas do solo do local, classificado como Latossolo Vermelho, para gerar os arquivos de clima e solo a serem usados nas simulações.

Aferição do modelo

A performance do modelo foi avaliada utilizando-se método gráfico e estatístico, plotando-se os valores observados e simulados do índice de área foliar e massa de matéria seca total versus tempo. Como critério estatístico, utilizaram-se a análise de regressão, que expressa a precisão das estimativas por meio do coeficiente de determinação (r^2), e o índice de concordância (d) (Wilmott et al., 1985), que indica a exatidão das estimativas em relação aos valores observados, variando de zero, que indica nulidade, a 1, que indica perfeita exatidão. O índice d foi determinado pela equação 10:

$$d = 1 - [(\sum (P_i - O_i)^2 / \sum (|P_i - O_i| + |O_i - O|)^2)] \quad (10)$$

em que,
 O_i = valor medido do IAF e da MMST,
 P_i = valor estimado do IAF e da MMST,
 O = média dos valores medidos do IAF e MMST, e
 i = número de observações.

Além disso, foram efetuadas as análises de variância entre os valores de IAF e MMST, simulados e observados, do feijoeiro, para todos os espaçamentos e adubação de 500 kg ha⁻¹.

Para a produtividade de grãos e componentes de produção determinou-se a diferença percentual entre os valores observados e simulados.

Resultados e Discussão

Calibração do modelo

O modelo ainda não considera os efeitos da ocorrência de pragas e moléstias, fatores que afetaram os resultados experimentais aqui adotados como alvo a serem atingidos pela simulação. Para minimizar esse problema, os valores experimentais são apresentados como médias envoltas pelo desvio padrão. Considerou-se como boa a simulação que ficou contida no intervalo do desvio padrão.

A combinação dos coeficientes genéticos que melhor simulou a fenologia e a morfologia da cultivar Carioca é apresentada na Tabela 2. Com esses coeficientes, verificou-se perfeita concordância entre as datas da antese (44 dias após semeadura, DAS) e da maturação fisiológica (82 DAS) simuladas e observadas a campo, para a adubação de 500 kg ha⁻¹. Esses períodos são governados pelas características genéticas e afetados pelas condições de temperatura do ar. Estes resultados apresentaram diferenças significativas em relação àqueles obtidos por Martins et al. (1994), no plantio de outono-inverno, na região de Lavras, MG, onde a cultivar Carioca necessitou 64 DAS para atingir a antese e 104 DAS para a maturação fisiológica. Em Lavras, houve alongamento do ciclo da cultura devido à ocorrência de temperaturas do ar menores, em relação a Santo Antônio de Goiás, GO.

Tabela 2. Coeficientes genéticos presentes no modelo CROPGRO – *Dry Bean* e modificados durante a calibração para a cultivar Carioca, espaçamento de 0,6 m e adubação de 500 kg ha⁻¹, em Santo Antônio de Goiás, GO.

Coeficientes genéticos	CROPGRO <i>Dry Bean</i>	Valores modificados Adubação 500 (kg/ha)
Período entre a emergência e 1ª flor (DF ^{1/})	33,5	30 ^{2/}
Período entre 1ª flor e 1ª vagem (DF)	3	9 ^{2/}
Período entre 1ª flor e 1º grão (DF)	11	13 ^{2/}
Período entre 1º grão e maturidade fisiológica (DF)	24	23 ^{2/}
Período entre 1ª flor e o fim da expansão foliar (DF)	18	55 ^{2/}
Taxa fotossintética máxima (10 ⁻³ kg CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	0,9	1,1 ^{4/}
Área foliar específica em condições normais de crescimento (m ² kg ⁻¹)	27	37 ^{4/}
Área máxima de um trifólio (10 ⁻⁴ m ²)	133	100 ^{2/}
Massa máxima de um grão (10 ⁻⁴ kg)	2,50	2,51 ^{2/}
Número médio de grãos por vagem	5,0	5,1 ^{2/}

^{1/} Dias fisiológicos (DF) – corresponde ao dia do calendário quando há condições ótimas de desenvolvimento para a planta.

^{2/} Valores experimentais, Embrapa Arroz e Feijão, em Santo Antônio de Goiás, GO.

^{3/} Entrevista concedida pelo professor Tomás de Aquino Portes, da Universidade Federal de Goiás, Goiânia (GO), em 1999.

^{4/} Arquivo de coeficientes genéticos "gcrules.fle" do DSSAT 3.5.

Uma comparação entre os valores observados e simulados de massa de matéria seca total (MMST) e os desvios padrões correspondentes pode ser observada na Figura 2. Houve simulação satisfatória da MMST, com correlação significativa com os valores observados ($r^2 = 0,97$), assim como uma exatidão quase perfeita das estimativas da MMST em relação aos valores observados, $d = 0,98$.

Observou-se uma subestimativa da MMST até a maturação fisiológica (70 DAS) e, posteriormente, uma superestimativa. Situação semelhante foi descrita por White et al. (1995) com o modelo BEANGRO aplicado à cultivar Carioca, com superestimativa durante o período de enchimento de grãos.

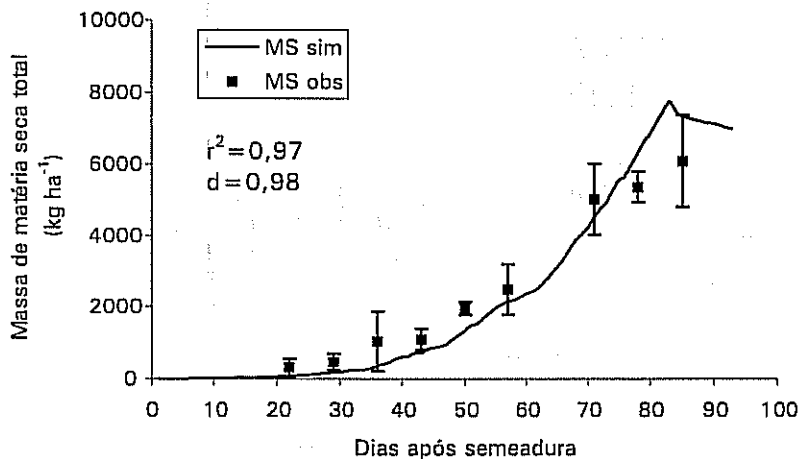


Fig. 2. Massa de matéria seca total do feijoeiro, observada e simulada, cultivar Carioca, no espaçamento de 0,6 m e adubação de 500 kg ha⁻¹, em Santo Antônio de Goiás, GO. A amplitude das barras verticais corresponde ao desvio padrão.

Comparando-se os índices de área foliar (IAF) estimados e observados com os desvios padrões correspondentes, observa-se que os ajustes foram satisfatórios, com $r^2 = 0,84$. Embora a precisão das estimativas do IAF, expressa pelo r^2 , tenha sido menor, a exatidão das estimativas do IAF em relação aos valores observados foi de 0,95. Houve subestimativa até aproximadamente 43 DAS, abrangendo o início do florescimento, com posterior superestimativa (Figura 3). As superestimativas podem estar relacionadas à ocorrência de pragas e doenças, fato que o modelo não considera.

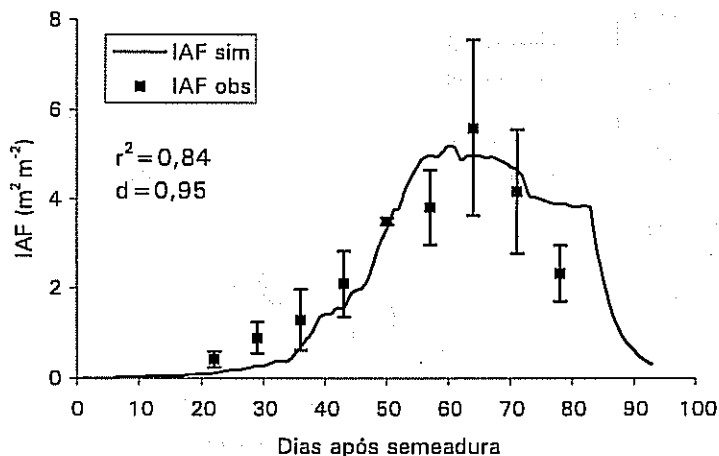


Fig. 3. Índice de área foliar (IAF) do feijoeiro, observado e simulado, cultivar Carioca, no espaçamento de 0,6 m e adubação de 500 kg ha⁻¹, em Santo Antônio de Goiás, GO. A amplitude das barras verticais corresponde ao desvio padrão.

Houve antecipação de quatro dias no IAF máximo simulado, sendo cerca de 7% menor que o observado (IAF = 5,19 m² m⁻²). As condições favoráveis de água, energia solar e nutrientes favoreceram o crescimento vegetativo mais intenso da cultura, resultando em elevados IAF. IAF máximo elevado também foi obtido por Urchei (1996) para a cultivar Aporé, em sistemas de plantio direto (IAF = 5,13 m² m⁻²) e convencional (4,19 m² m⁻²), por volta dos 58 dias após a emergência, na fase de florescimento, na região de Senador Canedo, GO.

Pelo teste F, observou-se que não houve diferenças significativas entre os valores de IAF e MMST, simulados e observados, espaçamento de 0,6 m e adubação de 500 kg ha⁻¹.

A produtividade foi simulada satisfatoriamente, com diferença de +6,1%, conforme mostra a Tabela 3. O número de grãos por vagem e a massa de 100 grãos (M100) foram perfeitamente simulados na fase de calibração do modelo.

Tabela 3. Produtividade e componentes de produção do feijoeiro, observados e simulados, cultivar Carioca, espaçamento de 0,6 m e adubação de 500 kg ha⁻¹, na fase de calibração do modelo, em Santo Antônio de Goiás, GO.

Componente	Adubação (500 kg ha ⁻¹)		
	Simulado	Observado	Dif. (%)
Produtividade (kg ha ⁻¹)	2463	2321	6,10
Nº de grãos/ vagem	5,10	5,10	0
Massa 100 grãos (kg)	2,09.10 ⁻²	2,09.10 ⁻²	0

¹ Diferença (%) = [(Simulado - Observado) / Observado].100

Teste do modelo

Município de Santo Antônio de Goiás, GO

Ao testar-se o modelo calibrado, para o espaçamento de 0,5 m, observou-se que não houve diferenças entre os dados simulados e observados da data de antese (44 DAS) e da maturação fisiológica (82 DAS). Esses resultados mostram o bom desempenho do CROPGRO - *Dry Bean* ao simular a fenologia do feijoeiro.

As estimativas da produção de MMST, praticamente durante todo o ciclo, enquadraram-se dentro do intervalo dos desvios padrões dos valores observados, resultando em $r^2 = 0,95$ e $d = 0,96$ (Figura 4). Ao final do ciclo, as produções máximas de MMST foram superestimadas, podendo estar relacionadas ao aumento da massa de grãos nessa ocasião. Superestimativas da produção de MMST também foram obtidas por White et al. (1995) com o modelo BEANGRO.

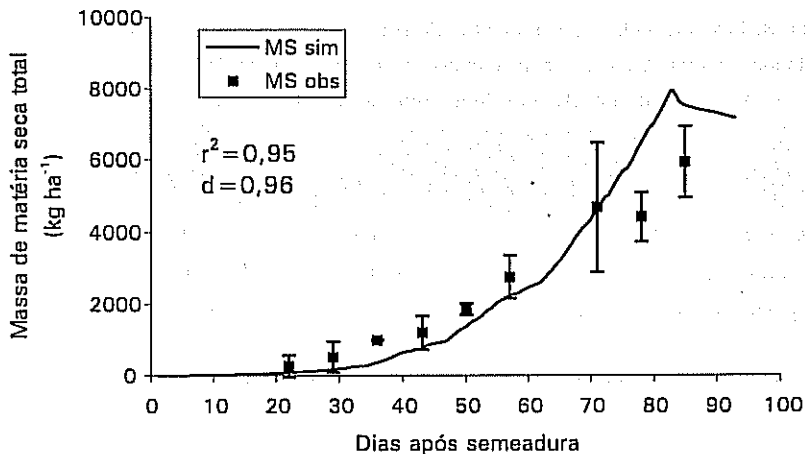


Fig. 4. Massa de matéria seca total do feijoeiro, observada e simulada, cultivar Carioca, espaçamento de 0,5 m e adubação de 500 kg ha⁻¹, em Santo Antônio de Goiás, GO. A amplitude das barras verticais corresponde ao desvio padrão.

Com respeito ao IAF, nota-se que houve subestimativa durante o período vegetativo até aproximadamente o início da floração (44 DAS) e após este período, houve superestimativa até o final do ciclo (Figura 5). Entretanto, apresentou um $r^2 = 0,88$, indicando uma precisão satisfatória e $d = 0,92$, expressando uma exatidão satisfatória entre os dados simulados e observados. Essas diferenças podem estar relacionadas à ocorrência de pragas e doenças que o modelo não considera, como também à variabilidade espacial dos dados experimentais.

Pelo teste F, verificou-se que não houve diferenças significativas entre os valores de IAF e MMST, simulados e observados, para o espaçamento de 0,5 m e adubação de 500 kg ha⁻¹.

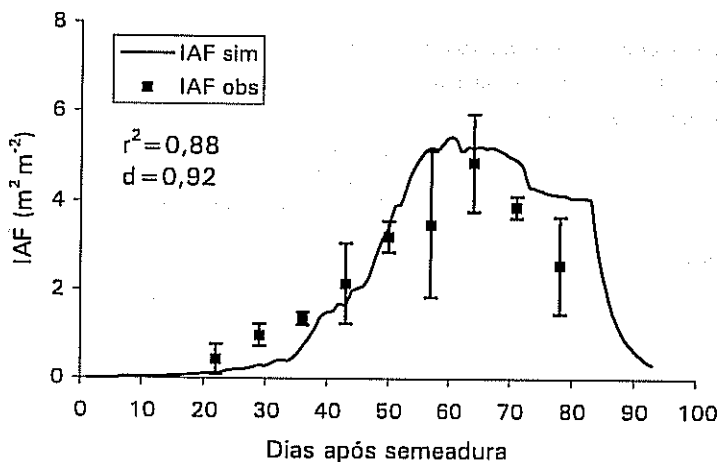


Fig. 5. Índice de área foliar do feijoeiro, observado e simulado, cultivar Carioca, espaçamento de 0,5 m e adubação de 500 kg ha⁻¹, em Santo Antônio de Goiás, GO. A amplitude das barras verticais corresponde ao desvio padrão.

A produtividade de grãos simulada foi 10,8% superior à observada a campo (Tabela 4). Resultados semelhantes foram obtidos por White et al. (1995) com o modelo BEANGRO, porém com superestimativas maiores, para a mesma cultivar Carioca.

Com relação ao número de grãos por vagem, houve uma diferença de +5,2% entre os dados simulados e observados. E, quanto à M100, foi observada uma pequena variação de +2,9% entre os valores simulados e observados em campo.

Tabela 4. Produtividade e componentes da produção do feijoeiro, observados e simulados, cultivar Carioca, espaçamento de 0,5 m, e adubação de 500 kg ha⁻¹, em Santo Antônio de Goiás, GO.

Componente	Adubação (500 kg ha ⁻¹)		
	Simulado	Observado	Dif. (%)
Produtividade (kg ha ⁻¹)	2525,0	2278,0	+ 10,8
Nº grãos por vagem	5,10	4,85	+ 5,2
M100 (kg)	2,11.10 ⁻²	2,05.10 ⁻²	+ 2,9

$$\text{Diferença (\%)} = \frac{(\text{Simulado} - \text{Observado})}{\text{Observado}} \cdot 100$$

O modelo CROPGRO - Dry Bean, após calibrado e testado para o feijoeiro, cultivar Carioca, em Santo Antônio de Goiás, GO, apresentou um bom desempenho ao simular a fenologia, componentes de produção e produtividade para tal localidade.

Município de Planaltina, DF

A Tabela 5 apresenta as produtividades de grãos simuladas pelo modelo CROPGRO - Dry Bean, previamente calibrado para Santo Antônio de Goiás, GO, e observadas em campo para o feijoeiro, cultivar Carioca, durante 1988, 1990 e 1991, em Planaltina, DF, considerando-se as tensões de água no solo de 33 e 100 kPa.

Pode-se verificar que, para a tensão de água no solo de 33 kPa, o modelo CROPGRO - Dry Bean superestimou a produtividade nos três anos de experimento, com variações em torno de +14,26, +15,92 e +16,02%, respectivamente, para 1988, 1990 e 1991. Porém, para a tensão de água no solo de 100 kPa, subestimativas das produtividades simuladas ocorreram em 1988 e 1990. Essas variaram cerca de -13,82% para 1988 e -21,17% para 1990.

Tabela 5. Produtividade de grãos simulada e observada (kg.ha⁻¹) para o feijoeiro, cultivar Carioca, tensões de água no solo de 33 e 100 kPa, durante 1988, 1990 e 1991, em Planaltina, DF.

Tensão (kPa)	Produtividade de grãos (kg.ha ⁻¹)								
	1988			1990			1991		
	Simul. lado	Obs. lado	Diff(%)	Simul. lado	Obs. lado	Diff(%)	Simul. lado	Obs. lado	Diff(%)
33	3436	2946	+14,26	3503	3022	+15,92	3852	3320	+16,02
100	2470	2866	-13,82	1892	2400	-21,17	3421	3168	+7,99

Diferença(%) = [(Simulado-Observado)/Observado].100

Essas pequenas flutuações na produtividade podem estar relacionadas à ocorrência de doenças e ao ataque de pragas, que o modelo CROPGRO - *Dry Bean* não considera, como também, à variabilidade espacial dos dados experimentais.

Observou-se que o modelo simulou satisfatoriamente a produtividade de grãos para tensões de água no solo mantidas próximas à capacidade de campo. Entretanto, a partir do momento em que se aumenta a tensão de água no solo, ou seja, começa a haver deficiência hídrica, o modelo torna-se muito sensível, reduzindo gradativamente a produtividade.

Enfim, pode-se dizer que o modelo CROPGRO - *Dry Bean*, previamente calibrado para Santo Antônio de Goiás, GO, poderá ser utilizado em outra região, uma vez que ele simulou satisfatoriamente a produtividade de grãos para Planaltina, DF.

Agradecimentos

Ao Dr. Luís Fernando Stone, Embrapa Arroz e Feijão, e ao Dr. Sebastião Francisco Figuerêdo, Embrapa Cerrados, pela concessão dos dados experimentais.

Ao Dr. Francisco José P. Zimmermann, Embrapa Arroz e Feijão, e ao Professor Dr. Paulo Cesar Sentelhas, USP/ESALQ, pelas valiosas sugestões.

Referências Bibliográficas

- BOOGESS, W.G.; RITCHIE, J.T. Economic and risk analysis of irrigation decisions in humid regions. *Journal Production Agricultural*, London, v.1, n.2, p.116-122, 1988.
- BOOTE, K.J. Concepts for calibrating crop growth models. [S.l.: s.n.], 1994. 13p. (Crop Simulation Course).
- BOOTE, K.J.; JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G. Simulation of crop growth: CROPGRO model. In: PEART, R.M.; CURRY, R.B. (Ed.). *Agricultural systems modeling and simulation*. New York: Marcel Dekker, 1998a. p.651-691.
- BOOTE, K.J.; JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G.; PICKERING, N.B. The CROPGRO model for grain legumes. In: TSUJI, G.Y.; HOOGENBOOM, G.; THORNTON, P.K. (Ed.). *Understanding options for agricultural production*. Dordrecht: Kluwer, 1998b. p.99-128.
- BOOTE, K.J.; JONES, J.W.; PICKERING, N.B. Potential uses and limitations of crop models. *Agronomy Journal*, Madison, v.88, p.707-716, 1996.
- BOWEN, H.D.; COLWICK, R.F.; BTHCHOLDER, D.G. Computer simulation of crop production: potential and hazards. *Agricultural Engineering*, St. Joseph, v.54, n.10, p.42-45, 1973.
- CHIKOYE, D.; HUNT, L.A.; SWANTON, C.J. Simulation of competition for photosynthetically active radiation between common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) and dry bean (*Phaseolus vulgaris*). *Weed Science*, Ithaca, v.44, p.545-554, 1996.
- COSTA, L.C. Modelagem e simulação em agrometeorologia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOLOGIA, 10., 1997, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997. p.3-6.
- CURRY, R.B.; PEART, R.M.; JONES, J.W.; BOOTE, K.J.; ALLEN JUNIOR, L.H. Simulation as a tool for analyzing crop response to climate change. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.33, p.981-990, 1990.

- FARIA, R.T. de; FOLEGATTI, M.V.; FRIZZONE, J.A.; SAAD, A.M. Determination of a long-term optimal irrigation strategy for dry beans in Parana State, Brazil. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.54, p.155-164, 1997a. Número especial.
- FARIA, R.T. de; OLIVEIRA, D. de; FOLEGATTI, M.V. Simulação da fenologia e produção do feijoeiro pelo modelo BEANGRO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., 1997, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997b. p.141-142.
- FIGUEREDO, S.F. Estabelecimento do momento de irrigação com base na tensão da água no solo para a cultura do feijoeiro. 1998. 94 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- GUTIERREZ, A.P.; MARIOT, E.J.; CURE, J.R.; RIDDLE, C.S.W.; ELLIS, C.R.; VILLACORTA, A.M. A model of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) growth types I-III: factors affecting yield. *Agricultural Systems*, Barking, v.44, p.35-63, 1994.
- HEINEMANN, A.B; HOOGENBOOM, G. Optimization of the capacity of center pivot irrigation systems based on the dry bean model CROPGRO. *Annual Report of the Bean Improvement Cooperative*, East Lansing, v.43, p.132-133, 2000.
- HEINEMANN, A.B; HOOGENBOOM, G. Regional irrigation requirements for dry bean based on the simulation model CROPGRO and a geographic information system. *Annual Report of the Bean Improvement Cooperative*, East Lansing, v.44, p.41-42, 2001.
- HOOGENBOOM, G. DSSAT version 3.5 released. *ICASA News*, Honolulu, n.4, p.2, 1998.
- 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.2043-2055, 1992.
- HOOGENBOOM, G.; WHITE, J.W.; JONES, J.W.; BOOTE, K.J. BEANGRO v1.01: Dry bean crop growth simulation model: user's guide. Gainesville: Florida Agricultural Experiment Station, 1991. 122p.

HOOGENBOOM, G.; JONES, J.W.; WILKENS, P.W.; BATCHELOR, W.D.; BOWEN, W.T.; HUNT, L.A.; PICKERING, N.B.; SINGH, U.; GODWIN, D.C.; BAER, B.; BOOTE, K.J.; RITCHIE, J.T.; WHITE, J.W. *CROPPGRO - Dry Bean*. In: TSUJI, G.Y.; UEHARA, G.; BALAS, S. (Ed.). *Crop models: DSSAT version 3*. Honolulu: IBSNAT, 1994. v.2, p.95-281.

JAME, Y.W.; CUTFORTH, H.W. Crop growth models for decision support systems. *Canadian Journal of Plant Science*, Ottawa, v.76, p.9-19, 1996.

JONES, J.W. Decision support systems for agricultural development. In: PENNING DE VRIES, F.W.T.; TENG, P.; METSELAAR, K. (Ed.). *Systems approaches for agricultural development*. Dordrecht: Kluwer, 1993. p.459-471.

JONES, J.W.; MISHOE, J.W.; BOOTE, K.J. *Introduction to simulation and modeling*. Taipei: Food & Fertilizer Technology Center, 1987. 19p. (ASPAC Technical Bulletin, 100).

JONES, J.W.; HUNT, L.A.; HOOGENBOOM, G.; GODWIN, D.C.; SINGH, U.; TSUJI, G.Y.; PICKERING, N.B.; THORNTON, P.K.; BOWEN, W.T.; BOOTE, K.J.; RITCHIE, J.T. Input and output files. In: TSUJI, G.Y.; UEHARA, G.; BALAS, S. (Ed.). *DSSAT v3*. Honolulu: University of Hawaii, 1994. v.2, p.3-94.

JONES, J.W.; WHITE, J.; BOOTE, K.; HOOGENBOOM, G.; PORTER, C.H. *Phenology Module - CROPPGRO v.3.7 documentation and source code listing*. Gainesville: University of Florida, 1998. 21p. (University of Florida Agricultural and Biological Engineering Department. Research Report, 98-502).

LAL, H.; HOOGENBOOM, G.; CALIXTE, J.P.; JONES, J.W.; BEINROTH, F.H. Using crop simulation models and GIS for regional productivity analysis. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.36, n.1, p.175-184, 1993.

MARTINS, L.A.; SOUSA, F.F. de; RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A. de F.B. Variabilidade da taxa e da duração do período de acúmulo de matéria seca nos grãos do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). *Ciência e Prática*, Lavras, v.18, n.2, p.165-170, 1994.

MEIRELES, E.J.L. Utilização do modelo CROPGRO – dry bean na análise de risco climático da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) na região de cerrados. 2000. 105 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MEIRELES, E.J.L.; PEREIRA, A.R.; SENTELHAS, P.C.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, F.J.P. Aplicação do modelo CROPGRO-Dry Bean na análise de risco climático na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.) no cerrado goiano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12.; REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 3., 2001, Fortaleza. Anais... Fortaleza: SBA/FUNCEME, 2001. v.2, p.537-538.

MONTEITH, J. The quest balance in crop modeling. *Agronomy Journal*, Madison, v.88, n.5, p.695-697, 1996.

PEREIRA, A.R. Simulação do crescimento e da produtividade. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DE ÁGUA NA AGRICULTURA, 1987, Campinas, Anais... Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.200-209.

RITCHIE, J.T. A user orientated model of the soil water balance in wheat. In: FRY, E.; ATKIN, T.K. (Ed.). *Wheat growth and modeling*. New York: Plenum, 1985. p.293-305.

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

RITCHIE, J.T.; GOODWIN, D.C.; SINGH, U. Soil and weather inputs for the IBSNAT crop models. In: INTERNATIONAL BENCHMARK SITES NETWORK FOR AGROTECHNOLOGY TRANSFER (IBSNAT) PROJECT, 1990, Las Vegas. Proceedings... Honolulu: University of Hawaii, 1990. p.31-45.

STAPLETON, H.N. Crop production system simulation. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.13, n.1, p.110-113, 1970.

STONE, L.F.; PEREIRA, A.L. Sucessão arroz-feijão irrigados por aspersão: efeitos de espaçamento entre linhas, adubação e cultivar na produtividade e nutrição do feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.29, n.4, p.521-533, 1994a.

STONE, L.F.; PEREIRA, A.L. Sucessão arroz-feijão irrigados por aspersão: efeitos de espaçamento entre linhas, adubação e cultivar no crescimento, desenvolvimento radicular e consumo d'água do feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.29, n.6, p.939-954, 1994b.

STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A.; SILVA, S.C. da. Efeitos da tensão da água do solo sobre a produtividade e crescimento do feijoeiro. I. Produtividade. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.23, n.2, p.161-167, 1988.

TSUJI, G.Y.; JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G.; HUNT, L.A.; THORNTON, P.K. DSSAT V3: overview. In: TSUJI, G.Y.; UEHARA, G.; BALAS, S. (Ed.). *DSSAT version 3: a decision support system for agrotechnology transfer*. Honolulu: University of Hawaii, 1994. v.1, p.3-11.

URCHEI, M.A. Efeitos do plantio direto e do preparo convencional sobre alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Escuro argiloso e no crescimento e desenvolvimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob irrigação. 1996. 131 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

WHITE, J.W.; HOOGENBOM, 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, p.241-254, 1995.

WILMOTT, C.J.; STEVEN, G.A.; ACKLESON, S.G.; DAVIS, R.E.; FEDDEMA, J.J.; KLINK, K.M.; LEGATES, D.R.; O'DONEELL, J.; ROWE, C.M. Statistics for the evaluation and comparison of models. *Journal of Geophysical Research*, Oxford, v.90, n.C5, p.8995-9005, 1985.

WIT, C.T. de. Simulation of living systems. In: PENNING DE VRIES, F.W.T.; LAAR, H.H. Van (Ed.). *Simulation of plant growth and crop production*. Wageningen: Pudoc, 1982. p.3-8.

Embrapa

Arroz e Feijão