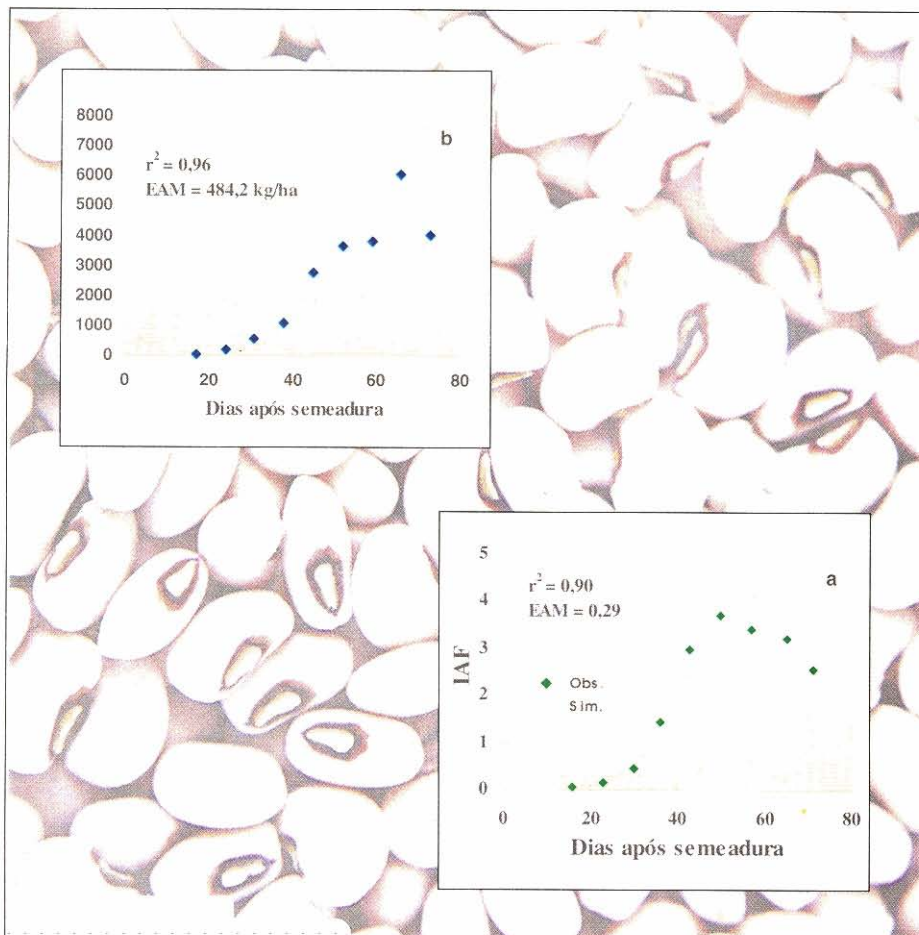


MODELAGEM EM FEIJÃO CAUPI (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)





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

Alberto Duque Portugal
Diretor-Presidente

Dante Daniel Giacomelli Scolari
Elza Ângela Battaglia Brito da Cunha
José Roberto Rodrigues Peres
Diretores

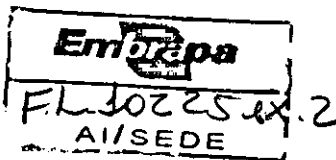
Embrapa Meio-Norte

Maria Pinheiro Fernandes Corrêa
Chefe-Geral

Hoston Tomás Santos do Nascimento
Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Cândido Athayde Sobrinho
Chefe Adjunto de Comunicação e Negócios

João Erivaldo Saraiva Serpa
Chefe Adjunto de Administração



MODELAGEM EM FEIJÃO CAUPI

(Vigna unguiculata (L.) Walp.)

Edson Alves Bastos
Marcus Vinicius Folegatti
Rogério Teixeira de Faria
Aderson Soares de Andrade Júnior
Milton José Cardoso
Braz Henrique Nunes Rodrigues



Embrapa
Meio-Norte

Teresina, PI.

Exemplares desta publicação podem ser solicitados à:

Embrapa-Meio-Norte

Av. Duque de Caxias, 5650

Telefone: (86) 225-1141

Fax: (86) 225-1142. E-mail: publ@cpamn.embrapa.br

Caixa Postal 01

CEP 64006-220 Teresina, PI

Tiragem: 300 exemplares

Comitê de Publicações:

Paulo Henrique Soares da Silva - Presidente

Antonio Boris Frota

Valdenir Queiroz Ribeiro

Expedito Aguiar Lopes

Edson Alves Bastos

Tratamento Editorial:

Lígia Maria Rolim Bandeira

Diagramação Eletrônica:

Célio Marcos Martins de Oliveira

BASTOS, E.A.; FOLEGATTI, M.V.; FARIA, R.T. de; ANDRADE JÚNIOR, A.S. de; CARDOSO, M.J.; RODRIGUES, B.H.N.

Modelagem em Feijão Caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) Teresina:

Embrapa Meio-Norte. 2000. 42p.

(Embrapa Meio-Norte. Documentos, 48)

Termos para indexação: *Vigna unguiculata*; Modelo de simulação;
Manejo de irrigação.

CDD: 635.652

© Embrapa 2000

APRESENTAÇÃO

Atualmente, os modelos de simulação do crescimento de cultura têm se constituído em uma nova e importante forma de se fazer pesquisa, principalmente devido à geração de resultados confiáveis, com grande economia de tempo e de recursos financeiros. Cresce, no mundo, a discussão sobre esse tema, com a realização de congressos, conferências e inúmeros trabalhos de teses e dissertações.

Este documento contém resultados de simulações do crescimento e desenvolvimento do feijão caupi, que podem ser úteis para o manejo adequado dessa cultura e servir como referência para futuros trabalhos de modelagem.

Com essa publicação, a Embrapa Meio-Norte inicia suas primeiras obras nessa nova área de conhecimento, inserindo-se no contexto de linhas de pesquisas atuais e inovadoras.

Maria Pinheiro Fernandes Corrêa
Chefe-Geral da Embrapa Meio-Norte

MODELAGEM EM FEIJÃO CAUPI

(*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)¹

Edson Alves Bastos²

Marcus Vinícius Folegatti³

Rogério Teixeira de Faria⁴

Aderson Soares de Andrade Júnior²

Milton José Cardoso²

Braz Henrique Nunes Rodrigues²

1. Introdução

A recomendação de novas técnicas, visando o aumento de produtividade, demanda muito tempo e recursos, uma vez que qualquer tecnologia de cultivo necessita ser avaliada em vários locais para se tornar uma prática de uso generalizado. Uma alternativa, para tal avaliação, é o uso de modelos de simulação, que estimam a produtividade da cultura sob diversas condições ambientais. A grande vantagem desses modelos é a obtenção de resultados de forma rápida e com baixo custo, além de poder auxiliar eficientemente o agricultor em um planejamento e manejo agrícola que proporcionem melhores rendas líquidas.

Dentre outras aplicações, esses modelos podem auxiliar o agricultor nos manejos da irrigação e da adubação, na escolha de culturas ou cultivares para uma determinada região e na definição das melhores épocas de plantio. Podem também auxiliar pesquisadores em programas de melhoramento de plantas, pesquisas ambientais, além de possibilitar uma melhor orientação das pesquisas convencionais.

¹Parte da Tese de Doutorado definida pelo primeiro autor;

²Embrapa Meio Norte - Av. Duque de Caxias, 5650 - CEP 642006-220 Teresina-PI
edsonuep@secrel.com.br - milton@cpamn.embrapa.br, braz@cpamn.embrapa.br.

³ESALQ/USP - C.P09 - CEP 13418-900 - Piracicaba-SP;

⁴IAPAR, C.P 481, CEP: 86001-970, Londrina-PR;

Pesquisadores de todo o mundo têm se preocupado em desenvolver modelos de simulação de cultura. Não é uma tarefa fácil e, normalmente, é requerida uma equipe multidisciplinar, pois são inúmeras as variáveis que influenciam o crescimento e o desenvolvimento vegetal. Uma outra forma de se trabalhar com modelagem é adaptar modelos existentes, que podem ser calibrados e aplicados às condições de diferentes regiões, obtendo-se resultados satisfatórios, com uma grande economia de tempo e de recursos financeiros.

Nesse contexto, pode-se destacar o DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer), que é um sistema computacional, que inclui um conjunto de modelos de crescimento de culturas e que tem sido aplicado eficientemente em todo o mundo por pesquisadores, extensionistas e produtores rurais (Hoogenboom et al., 1992). Assim, tem-se constituído em uma ótima alternativa para obtenção de informações que auxiliam o planejamento e manejo da produção agrícola.

Dentre os modelos de simulação presentes no DSSAT, destaca-se o CROPGRO, que é um modelo genérico para leguminosas e permite a simulação do crescimento e desenvolvimento da soja, amendoim e feijão comum. Uma das características do DSSAT é permitir a inclusão de outras culturas, por meio de modificações nos arquivos de espécie, de cultivar e de ecótipo.

Como no Brasil não existem modelos de simulação para a cultura do feijão caupi e dada sua importância para o país, o presente estudo propõe adaptar o modelo CROPGRO, do sistema DSSAT, para simular o crescimento e desenvolvimento do feijão caupi (CROPGRO-cowpea), nas condições de solo e clima do Estado do Piauí.

2. Descrição do modelo CROPGRO

O CROPGRO faz parte do sistema DSSAT e teve sua primeira versão publicada em 1994. É um modelo genérico para leguminosas e simula o crescimento e desenvolvimento de culturas como soja (*Glycine max* (L.) Merr.), amendoim (*Arachis hypogea* L.) e feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.). Antes, essas culturas apresentavam modelos específicos, os quais eram denominados SOYGRO (soja), PNUTGRO (amendoim) e BEANGRO (feijão comum) (Tsuji et al., 1994b).

Segundo Boote et al. (1998b), a união dos três modelos foi realizada para torná-lo mais flexível a melhorias futuras e, desta forma, eliminar a necessidade de mudanças nos códigos dos modelos isoladamente. No

CROPGRO, existem três tipos de arquivos para cada leguminosa, constituindo os dados de entrada relativos à planta:

- Arquivo .SPE, que caracteriza a espécie, contendo coeficientes utilizados para caracterizar a composição básica dos tecidos e para descrever vários processos da planta como fotossíntese, respiração, assimilação de nitrogênio, partição de fotoassimilados, senescência, fenologia e crescimento.

- Arquivo .CUL, que apresenta informações inerentes à própria cultivar, tais como: sensibilidade ao fotoperíodo, características fenológicas, taxa de fotossíntese à luz saturada, área foliar específica, máximo peso de sementes e outras.

- Arquivo .ECO, que caracteriza o ecótipo, contendo alguns atributos genéticos, os quais permitem diferenciar cultivares de hábito de crescimento determinado e indeterminado.

Quanto aos tratamentos culturais, são incluídas informações sobre o manejo da cultura, tais como, aplicações de fertilizantes e de lâminas de irrigação, incorporação de resíduos e rotação de culturas, espaçamento entre plantas e entre fileiras, data da semeadura, profundidade de plantio, dentre outras. Essas informações compõem o arquivo X (Tsuji et al., 1994a).

Segundo esses autores, além dos dados relacionados com a planta, o modelo CROPGRO requer informações sobre o solo, clima e tratamentos culturais. Os parâmetros do solo incluem as características físicas, químicas e hídricas em todo o perfil, além de alguns coeficientes específicos do modelo.

Em relação ao clima, são requeridos dados diários de temperaturas máxima e mínima ($^{\circ}\text{C}$), precipitação (mm) e radiação solar ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$). Essa última pode ser estimada através de dados de insolação (h ou %). Para preencher possíveis falhas na série de dados climáticos, o modelo dispõe de dois programas, WGEN (Richardson) e SIMMETEO (Geng et al.) citados por Tsuji et al. (1994). O primeiro estima os elementos climáticos a partir de valores diários enquanto o segundo requer apenas médias mensais.

Como saída de dados, o modelo inclui dois arquivos, OVERVIEW.OUT e SUMMARY.OUT descritos por Jones et al. (1994). No primeiro, uma breve descrição dos experimentos é apresentada, 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 SUMMARY.OUT relaciona um resumo dos resultados simulados do crescimento e desenvolvimento da planta, do balanço de carbono e de nitrogênio e do balanço de água no solo. Esses arquivos são incluídos para gerar gráficos detalhados e comparações numéricas entre os valores simulados e observados ao longo do ciclo da cultura.

De acordo com Boote et al. (1998a, 1998b), o balanço de carbono (C) inclui conversão e condensação de C nos tecidos da planta; perda de C devido à abscisão de órgãos, ao crescimento e à respiração de manutenção; expansão da área foliar; mobilização de carboidratos; adição de vagens e de sementes, dentre outros processos. O balanço de nitrogênio (N) leva em conta a absorção diária de N pela planta, fixação de N₂, utilização do N para tecidos em crescimento e perda de N devido à abscisão de órgãos. No balanço de água no solo, são contabilizados a infiltração da chuva ou da irrigação, a absorção de água pelas raízes, a drenagem na zona radicular e a transpiração das plantas.

Além de possuir uma base fisiológica consistente, o CROPGRO permite aos usuários calibrar e aplicar o modelo em distintas condições de solo e clima, por meio de modificações nos arquivos .CUL e .ECO. Também é possível acrescentar outras espécies ao modelo, modificando os coeficientes do arquivo .SPE (Jones et al., 1998). Para isto, é necessário que se tenha uma série de informações sobre a fisiologia da cultura, bem como suas interações com o ambiente.

3. O modelo CROPGRO-cowpea

O CROPGRO-cowpea foi desenvolvido seguindo a mesma estrutura (Figura 1) do modelo CROPGRO do sistema DSSAT, que se encontra descrito em Boote et al. (1998a, 1998b) e Tsuji et al. (1994a).

O CROPGRO-cowpea simula o crescimento e desenvolvimento do feijão caupi. Para criá-lo, foram modificados, no CROPGRO, apenas parâmetros que definem os arquivos de espécie (.SPE), de cultivar (.CUL) e de ecótipo (.ECO), visando caracterizar a cultura do feijão caupi. Essas informações foram obtidas a partir da literatura e de resultados de pesquisas conduzidas na Embrapa Meio-Norte, nos municípios de Parnaíba e Teresina, Piauí, durante os anos de 1996 a 1998. Além disso, foram criados arquivos de solo e de clima dos locais onde foram conduzidos os experimentos.

Os arquivos relacionados com a planta de feijão caupi foram criados por meio de modificações nos arquivos originais do feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), uma das leguminosas integrantes do CROPGRO. Essas adaptações são possíveis dentro da estrutura do CROPGRO e foi uma prática adotada para criação dos modelos de amendoim (PNUTGRO) e feijão (BEANGRO), que tiveram por base o modelo da soja (SOYGRO) (Hoogenboom et al., 1992).

4. Calibração do modelo CROPGRO-cowpea

4.1 Experimentos de campo

Para calibrar o modelo CROPGRO-cowpea, foram utilizados dados de pesquisas conduzidas em campos experimentais da Embrapa Meio-Norte, localizados nos municípios de Teresina (latitude: 5°5'S; longitude: 42°48'W e altitude: 74,4 m) e Parnaíba (latitude: 3°5'S; longitude: 41°47'W e altitude: 46,8 m), Piauí (Sudene, 1990).

Os experimentos foram instalados nos solos Aluvial Eutrófico, em Teresina, e Areia Quartzosa, em Parnaíba (Jacomine et al., 1986), cujas características químicas e físico-hídricas encontram-se nas Tabelas 1 e 2, respectivamente. O clima dos dois municípios é Aw' segundo a classificação de Köppen, com média anual de umidade relativa do ar em torno de 75% e precipitação pluviométrica média anual entre 1.200 e 1.400 mm. Na Figura 2 são apresentados os valores das temperaturas máxima e mínima, ocorridas durante a fase experimental, nos dois municípios.

A cultivar utilizada foi a BR 14 Mulato e os tratamentos (Tabela 3) consistiram em quatro lâminas de irrigação, aplicadas por um sistema de aspersão convencional, dispostos no campo segundo o sistema de "aspersão em linha". Os experimentos foram repetidos por dois anos, de junho a agosto de 1997 e de julho a outubro de 1998, avaliando-se a biomassa, o índice de área foliar, os componentes de produção (peso de cem grãos, número de vagens por planta e número de grãos por vagem) e a produtividade de grãos.

O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados, com quatro repetições. Para aferir a performance do modelo utilizou-se o método gráfico. Plotou-se os valores observados e simulados do índice de área foliar e matéria seca acumulada versus tempo, utilizando-se o coeficiente de determinação (r^2) e o erro absoluto médio (EAM), como critérios estatísticos. Para os dados de componentes de produção e produtividade de grãos do feijão caupi calculou-se o percentual da diferença entre os valores observados e simulados.

Ressalta-se que o modelo CROPGRO-cowpea foi calibrado com base nos tratamentos que proporcionaram maiores produtividade de grãos (L1 para Teresina e L2 para Parnaíba), considerando-se que, durante a fase de calibração, as simulações devem ser feitas para condições ótimas de solo e clima, sem ocorrência de estresse hídrico ou nutricional.

Tabela 1. Resumo das características químicas dos solos das áreas experimentais dos municípios de Teresina e Parnaíba, Piauí.

Município	Tipo de Solo	pH em Água (1:2,5)	mg.dm ⁻³		mmol _c .dm ⁻³		
			P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺
Teresina	AE	6,0	37,6	160,9	37,0	21,0	0,9
Parnaíba	AQ	6,0	15,0	110,0	30,0	13,0	0,0

Fonte: Laboratório de Fertilidade de Solos da Embrapa Meio-Norte

AE = Aluvial Eutrófico; AQ = Areia Quartzosa.

Tabela 2. Resumo das características físico-hídricas dos solos das áreas experimentais dos municípios de Teresina e Parnaíba, Piauí.

Solo	Composição granulométrica (%)			Densidade (g.cm ⁻³)	Umidade(cm ³ .cm ⁻³)		
	Areia	Silte	Argila		θ_{SA}	θ_{CC}	θ_{PMP}
AE ₍₀₋₂₀₎	12	51	37	1,19	0,402	0,195	0,069
AE ₍₂₀₋₄₀₎	24	50	26	1,40	0,391	0,242	0,083
AQ ₍₀₋₂₀₎	65	25	10	1,42	0,171	0,139	0,042
AQ ₍₂₀₋₄₀₎	84	9	7	1,44	0,210	0,175	0,058

Fonte: Laboratório de Fertilidade de Solos da Embrapa Meio-Norte

AE = Aluvial Eutrófico; AQ = Areia Quartzosa. Números entre parênteses significam a profundidade do solo (cm).

Tabela 3. Lâminas de irrigação aplicadas nos diferentes tratamentos com o feijão caupi (cv. BR 14 - Mulato).

Município	Ano	Lâminas (mm)			
		L1	L2	L3	L4
Parnaíba	1997	455	330	274	190
Parnaíba	1998	449	429	317	194
Teresina	1997	403	428	331	200
Teresina	1998	434	459	453	361

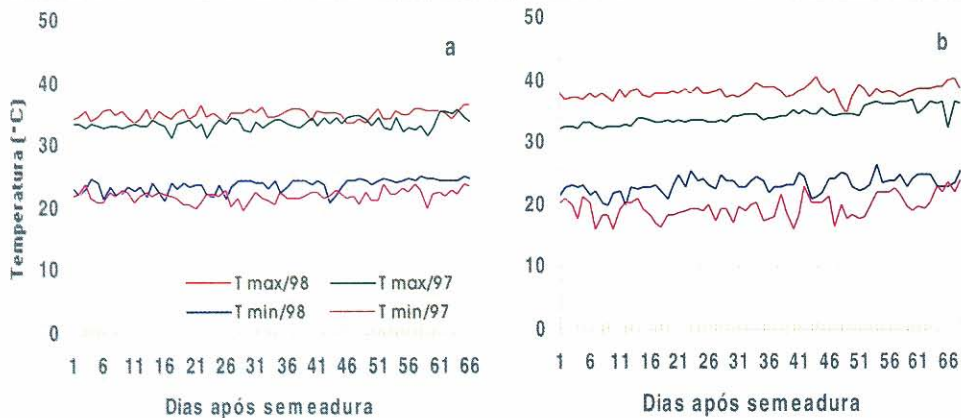


Figura 2 - Valores das temperaturas máxima e mínima ocorridos durante os experimentos de 1997 e 1998, nos municípios de Parnaíba (a) e Teresina (b).

4.2 Procedimento computacional

A calibração consiste em se modificar os parâmetros do modelo para a obtenção dos melhores ajustes entre os dados simulados e os observados (Hoogenboom et al., 1992; Jones et al., 1987).

Para calibrar o CROPGRO-cowpea adotou-se a técnica descrita por Boote (1994). Inicialmente ajustaram-se as datas de florescimento, aparecimento do primeiro grão, primeira vagem e maturidade fisiológica. Estes ajustes foram obtidos, alterando-se os coeficientes que se relacionam com a fenologia da cultura (Tabela 4).

Posteriormente, procedeu-se os ajustes do acúmulo de matéria seca, índice de área foliar, peso unitário de grãos, número de grãos por vagem, número de vagens por planta, duração do período de enchimento de grãos e, finalmente, a produtividade de grãos. Nesta fase, houve necessidade de se modificar alguns coeficientes de espécie (Tabela 5).

Durante a calibração foram atribuídos valores aos parâmetros da planta e o modelo foi executado várias vezes até que os valores simulados de biomassa, índice de área foliar, fenologia, componentes de produção e produtividade de grãos estivessem bem próximos dos observados.

Tabela 4. Parâmetros dos arquivos de cultivar e de ecótipo modificados para a calibração do modelo CROPGRO-cowpea.

Parâmetro	Valor utilizado ¹
a) Arquivo de cultivar	
Tempo requerido entre a emergência e 1ª flor (DF ²)	36
Tempo requerido entre 1ª flor e 1ª vagem (DF)	3
Tempo requerido entre 1ª flor e 1º grão (DF)	7
Tempo requerido entre 1º grão e maturidade fisiológica (DF)	17
Tempo requerido entre 1ª flor e o fim da expansão foliar (DF)	12
Área foliar específica em condições normais de crescimento (cm ² .g ⁻¹)	300
Área máxima de um trifólio (cm ²)	140
Peso máximo de um grão (g)	0,16
Duração do período de enchimento de grãos (DF)	13
Número médio de grãos por vagem	15,5
b) Arquivo de ecótipo	
Tempo requerido entre semeadura e emergência (DF)	3
Tempo requerido entre emergência e 1ª folha verdadeira (DF)	5
Tempo requerido entre maturidade fisiológica e colheita (DF)	5
Valor máximo da relação grão/vagem (%)	78

¹ Valores obtidos em experimentos conduzidos pela Embrapa Meio-Norte nos municípios de Parnaíba e Teresina, Piauí.

² Dias fisiológicos (DF): corresponde ao dia do calendário quando há condições ótimas de desenvolvimento para planta.

Tabela 5. Parâmetros de espécie modificados a partir dos parâmetros do feijão comum *Phaseolus vulgaris* L para calibração do modelo CROPGRO-cowpea.

Parâmetros	Valores		Fonte ¹
	Feijão comum	Feijão caupi	
a) Fotossíntese			
Coefficiente de extinção de luz (KCAN)	0,70	0,85	Wien (1982)
Coefficiente de temperatura (3) (FNPGT) ²	30	34	Arquivo da soja ³
Coefficiente de temperatura (4) (FNPGT) ²	40	45	Arquivo da soja ³
Peso específico da folha (g.cm ⁻²)(SLWREF)	0,0028	0,0033	Experimento local
Concentração de N na folha (LNREF)	3,14	3,10	Herridge & Pate (1977)
b) Composição de plantas			
Concentração de proteína na folha (PROLFG)	0,16	0,228	Nielsen et al. (1994)
Concentração de proteína no ramo (PROSTG)	0,100	0,09	Nielsen et al. (1994)
Concentração de proteína na semente (SDPROS)	0,235	0,291	Nielsen et al. (1994)
c) Crescimento de folhas			
Área foliar por trifólio (cm ²) (SIZREF)	133	140	Experimento local

¹ Fonte de onde foi retirado os valores dos coeficientes para o feijão caupi

² Corresponde a uma curva definida por quatro valores que descreve a assimilação do dossel da cultura em função da temperatura média do ar. Foram modificados apenas o terceiro e quarto valores, com base nos dados da soja

³ Corresponde ao arquivo de espécie da soja no modelo CROPGRO

4.2.1 Dados de entrada

Para calibrar o modelo CROPGRO-cowpea, foi necessário caracterizar os tratamentos culturais aplicados nos experimentos e fornecer os dados locais de solo e clima.

As informações relacionadas com os tratamentos culturais (manejo de irrigação e de fertilizantes), bem como data de semeadura, densidade de plantas e profundidade de plantio, aplicadas nos experimentos, foram armazenadas em arquivos do tipo X. Para cada experimento correspondeu um arquivo X, contendo informações diferenciadas de ano, local e manejo. Estes arquivos foram utilizados nas simulações das fases de calibração ou avaliação do modelo CROPGRO-cowpea.

Em relação ao solo, foram requeridos os seguintes parâmetros:

- Profundidade do solo (m);
- Número de camadas no perfil;
- Espessura de cada camada (m);
- Textura;
- Teor de argila (%);
- Teor de silte (%);
- Densidade do solo (g.cm^{-3});
- Umidade correspondente à saturação ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$);
- Umidade correspondente à capacidade de campo ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$);
- Umidade correspondente ao ponto de murcha permanente ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$);
- Taxa de drenagem no perfil do solo (dia^{-1});
- Número da curva de escoamento superficial;
- Fator de ponderação da distribuição das raízes (0 a 1);
- Fator de mineralização (0 a 1);
- Fator de fotossíntese (0 a 1);
- Carbono orgânico (%);
- Nitrogênio total (%); e
- pH em água.

Foram requeridos valores desses parâmetros para cada camada do perfil. O solo de Teresina (Aluvial Eutrófico) foi dividido em oito camadas: 0 a 0,15m; 0,15 a 0,30m; 0,30 a 0,45m; 0,45 a 0,80m; 0,80 a 1,0m; 1,0 a 1,25m; 1,25 a 1,50m e 1,5 a 2,0m. O solo de Parnaíba (Areia Quartzosa), que é mais raso, foi

caracterizado com as seguintes camadas: 0 a 0,20m; 0,20 a 0,40m; 0,40 a 0,60m; 0,60 a 0,80m; 0,80 a 1,0m e 1,0 a 1,2m. Ressalta-se que as informações sobre as características químicas, físicas e hídricas até 0,40m (Tabelas 1 e 2), foram obtidas por meio de análises de solo, realizadas no Laboratório de Solos da Embrapa Meio-Norte. Para as outras camadas, foram usados valores obtidos na descrição do perfil feita por Jacomine et al. 1986 (solo de Teresina) e Andrade et al. 1992 (solo de Parnaíba). Todas essas informações foram armazenadas num arquivo denominado SOIL.SOL.

Em relação ao clima, foram utilizados dados diários de temperaturas máxima e mínima (°C), precipitação pluviométrica (mm) e insolação (h) dos anos de 1997 e 1998, cujos valores foram armazenados em arquivos .WTH. Esses dados foram obtidos em postos meteorológicos, próximos aos campos experimentais.

5. Resultados obtidos com o modelo CROPGRO-cowpea

5.1 Estimativa dos eventos fenológicos

Os valores observados e simulados da fenologia da cv.BR 14 - Mulato, nas condições de solo e clima de Parnaíba e Teresina, encontram-se nas Tabelas 6 e 7. Verificou-se que as simulações da fenologia foram mais precisas em 1997. Nesse ano, a diferença máxima entre os valores observados e simulados foi de apenas dois dias em Parnaíba e um dia em Teresina (Tabelas 6 e 7).

No ano de 1998, em ambos os locais, os valores experimentais indicaram uma redução do ciclo da cultura de três a cinco dias em relação ao ano anterior, o que não foi caracterizado pelo modelo. Essa diminuição no ciclo provavelmente foi devida à ocorrência de temperaturas mais elevadas neste ano (Figura 2), fazendo com que as plantas atingissem mais cedo a soma calórica necessária ao florescimento.

Ressalta-se que, o valor observado de 63 dias para completar a maturidade fisiológica é atípico para Parnaíba, principalmente considerando-se que as temperaturas desse município foram inferiores às de Teresina (Figura 2), onde o ciclo da cultura foi maior em três dias (Tabela 7). Assim, é possível que tenha ocorrido algum erro de observação em relação a essa variável.

Tabela 6. Valores dos eventos fenológicos da cv. BR 14, Mulato, durante a calibração do modelo CROPGRO-cowpea para Parnaíba, PI, em dois anos de cultivo.

Evento fenológico	1997			1998		
	Simulado (dias)	Observado (dias)	Diferença	Simulado (dias)	Observado (dias)	Diferença
1ª flor	42	42	0	42	40	2
1ª vagem	45	45	0	45	43	2
1ª semente	49	49	0	49	47	2
Maturidade fisiológica	66	68	-2	66	63	3

Tabela 7. Valores dos eventos fenológicos da cv. BR 14, Mulato, durante a calibração do modelo CROPGRO-cowpea para Teresina, PI, em dois anos de cultivo.

Evento fenológico	1997			1998		
	Simulado (dias)	Observado (dias)	Diferença	Simulado (dias)	Observado (dias)	Diferença
1ª flor	43	43	0	43	41	2
1ª vagem	46	46	0	46	44	2
1ª semente	51	50	1	50	48	2
Maturidade fisiológica	68	68	0	68	66	2

5.2 Estimativa da matéria seca

Os dados observados de matéria seca (MS) do feijão caupi foram comparados com os valores estimados pelo modelo CROPGRO-cowpea em dois locais do Estado do Piauí (Figuras 3 e 4).

De um modo geral, observa-se que o modelo apresentou boas estimativas da biomassa, a julgar pelos elevados coeficientes de determinação (r^2), que variaram de 0,92 a 0,98 em Parnaíba (Figura 3), e de 0,91 a 0,96 em Teresina (Figura 4). Além disso, os valores do erro absoluto médio (EAM) foram relativamente baixos, variando de 204,3 a 325,6 kg.ha⁻¹ em Parnaíba (Figura 3) e de 358,6 a 484,2 kg.ha⁻¹ em Teresina (Figura 4).

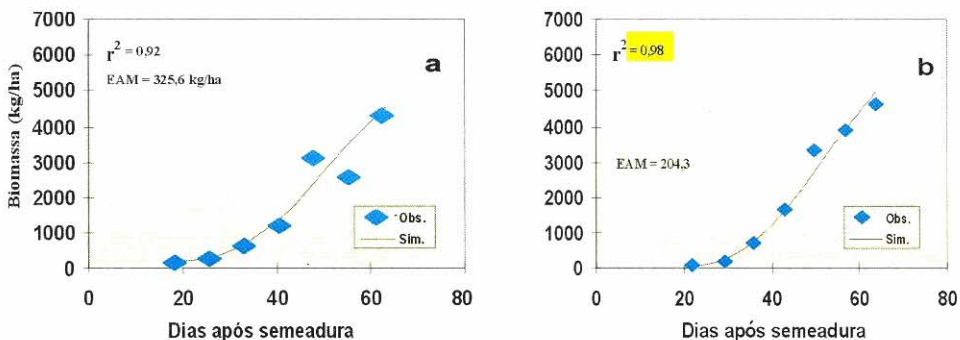


Figura 3 - Valores de biomassa da cv. BR 14 Mulato, na fase de calibração do modelo CROPGRO-cowpea para Parnaíba, PI, durante os anos de 1997 (a) e 1998 (b).

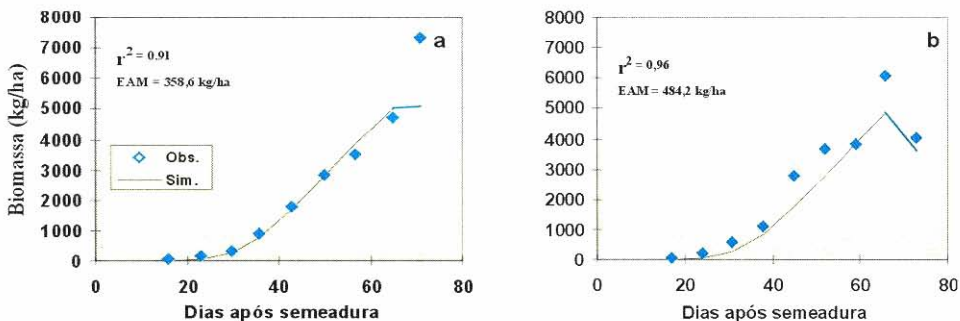


Figura 4 - Valores de biomassa da cv. BR 14 Mulato, na fase de calibração do modelo CROPGRO-cowpea para Teresina, PI, durante os anos de 1997 (a) e 1998 (b).

Durante a fase vegetativa, que se estende aproximadamente até os 40 dias após a semeadura, verifica-se que os valores estimados de matéria seca foram quase exatos para a maioria dos anos e locais estudados. No entanto, durante o período reprodutivo, as diferenças entre os valores observados e simulados foram maiores. Nessa fase, surgem as flores, vagens e sementes, o que torna o sistema mais complexo e mais difícil de ser representado com precisão pois, a partição dos fotoassimilados, antes direcionada apenas para raízes, folhas e colmos, tem de ser alocada também aos órgãos reprodutivos. Com isso, aumenta-se a possibilidade de erros.

Nas Figuras 3 e 4 pode-se constatar um acúmulo lento de biomassa durante a fase vegetativa e, posteriormente, uma evolução rápida devido principalmente à contribuição do peso de vagens. Em geral, o pico da produção de matéria seca foi atingido em torno de 65 dias após a semeadura. Estes resultados são concordantes com os obtidos por Castro et al. (1984), trabalhando com as cvs. Epace 1, Epace 6 e Epace 8 no Estado do Ceará e Sivakumar et al. (1996), com a cv. TVX 4659-03 E.

Percebe-se que o modelo apresentou o mesmo padrão de resposta dos dados experimentais, especialmente no município de Parnaíba, onde os valores de biomassa observados e simulados durante todo o ciclo da cultura foram bastante próximos (Figura 2).

Em Teresina, durante o ano de 1998, percebe-se que o modelo subestimou a produção de matéria seca na maior parte do ciclo da cultura (Figura 4b). Isso pode ser atribuído à ocorrência de temperaturas máximas muito elevadas nesse ano ($>38^{\circ}\text{C}$), Figura 2, o que pode ter ocasionado abortamento de flores, conforme constatado por vários pesquisadores (Huxley & Summerfield, 1976; Roberts et al., 1978; Summerfield et al., 1978; Wien & Summerfield, 1980; Shouse et al., 1981; Craufurd et al., 1998). Com a queda de flores, parte das vagens e grãos deixam de ser formados e, desde que haja condições favoráveis de água e luz, os fotoassimilados são direcionados à formação de novas folhas, elevando a produção de matéria seca no final do ciclo.

Outro aspecto que merece destaque é que a produção de biomassa, tanto observada como simulada foi maior no município de Teresina, sendo um indicativo da boa performance do modelo. Isso se deve a maior fertilidade do solo de Teresina (Aluvial Eutrófico) comparado ao solo de Parnaíba (Areia Quartzosa). Ressalta-se que o CROPGRO-cowpea considera um solo com maior ou menor fertilidade, em função do dado de entrada do teor de matéria orgânica, pois o modelo não leva em conta o balanço de fósforo e de potássio no solo. Stamford et al. (1990) também constataram que, no solo Aluvial

Eutrófico, a cultura do feijão caupi apresentou maior quantidade de matéria seca em relação ao solo Podzólico Amarelo, mais arenoso e menos fértil.

5.3 Estimativa do índice de área foliar

Os valores de índice de área foliar (IAF) observados e simulados da cv. BR 14 Mulato, nos municípios de Parnaíba e Teresina, estão apresentados nas Figuras 5 e 6. Em Parnaíba, o modelo mostrou uma excelente performance na estimativa do IAF, o que pode ser constatado pelos elevados valores de $r^2(0,97)$ e pelos baixos valores de EAM, que apresentaram variação de 0,16 a 0,28 (Figura 5).

Em Teresina, os melhores ajustes ($r^2 = 0,90$ e $EAM = 0,29$) ocorreram no ano de 1997 (Figura 6a). Em 1998, devido à ocorrência de elevadas temperaturas, o modelo subestimou os valores de IAF em quase todo o ciclo da cultura (Figura 6b). Esses resultados foram coerentes com os de biomassa, uma vez que essa variável foi subestimada em praticamente todo o ciclo, durante o ano de 1998 (Figura 4b).

Do ponto de vista fisiológico, as subestimativas do IAF podem ser devidas à ocorrência de elevadas temperaturas em Teresina durante a condução dos experimentos, especialmente no período reprodutivo. A baixa produtividade de grãos desse ano indica que houve abortamento de flores. Este fato, associado às condições favoráveis de água e luz, podem ter ocasionado um intenso crescimento vegetativo da cultura, elevando os valores de IAF das parcelas experimentais.

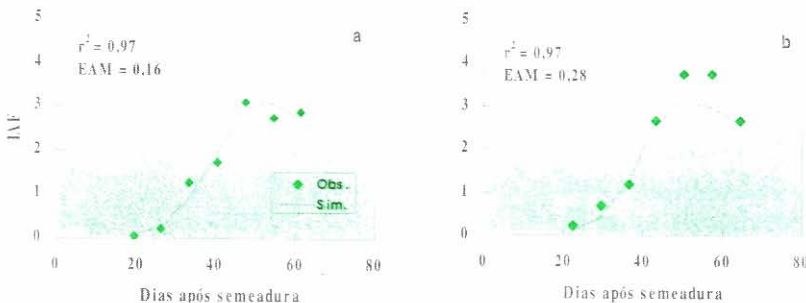


Figura 5 - Valores de índice de área foliar (IAF) da cv. BR 14 Mulato, na fase de calibração do modelo CROPGRO-cowpea para Parnaíba, PI, durante os anos de 1997 (a) e 1998 (b).

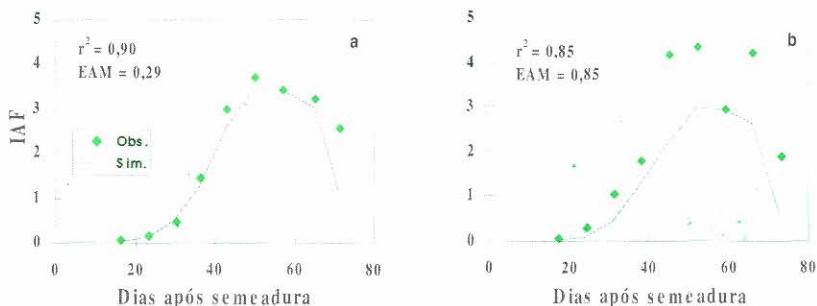


Figura 6 - Valores de índice de área foliar (IAF) da cv. BR 14 Multaio, na fase de calibração do modelo CROPGRO-cowpea para Teresina, PI, durante os anos de 1997 (a) e 1998 (b).

De um modo geral, pode-se perceber que para os dois locais, os IAFs (observados e simulados) foram muito pequenos ($<0,25$) até os 25 dias após a semeadura, indicando uma lenta taxa de crescimento da cultura nesta fase inicial. Essa característica é comum no feijão caupi, conforme observado por Littleton et al. (1979a); Castro et al. (1984), Phogat et al. (1984); Sivakumar et al. (1996).

Em seguida, percebe-se um crescimento vegetativo acelerado, com valores máximos de IAF (observados e simulados) variando entre 3 e 4,3 de acordo com o local e ano considerados. O número de dias para atingí-los variou de 45 a 60 dias, concordando com os resultados obtidos por Littleton et al. (1979a). Essas diferenças podem estar associadas às diferenças entre cultivares, épocas de semeadura e variação sazonal da temperatura do ar (Summerfield et al., 1983).

Os elevados IAFs (observados e simulados) indicam um crescimento vegetativo intenso devido, principalmente, ao fato de não ter ocorrido déficit hídrico em nenhuma fase do desenvolvimento da cultura. Segundo Phogat et al. (1984), o teor adequado de água no solo proporciona um aumento significativo do IAF em função do restabelecimento do potencial de água na folha e do aumento da fotossíntese líquida. Além disso, valores elevados de radiação solar ocorridos nos dois locais durante a fase experimental, podem ter contribuído para o bom desenvolvimento foliar do feijão caupi, o que está de acordo com Summerfield et al. (1983).

5.4 Estimativa dos componentes de produção

Os valores observados e simulados dos componentes de produção da cultura do feijão caupi nos dois anos e locais estudados encontram-se nas Tabelas 8, 9 e 10.

O peso de 100 grãos (P100) foi o componente de produção que apresentou os piores ajustes, especialmente em 1998. Nesse ano, em consequência das temperaturas mais elevadas, as diferenças entre os valores observados e simulados foram de 34,3% em Parnaíba e de 49,2% em Teresina (Tabela 8).

Segundo Shouse et al (1981), o P100 reflete a relação entre suprimento e demanda. Quando o P100 é reduzido, há um indicativo de que a produção foi limitada na fonte. Os autores observaram que esta redução é provocada pelo estresse hídrico sobre a fotossíntese, que prejudica a translocação dos fotoassimilados para os grãos.

No presente trabalho, como não houve restrição hídrica nas simulações, acredita-se que as subestimativas em relação ao P100, principalmente no ano de 1998, foram devidas ao estresse térmico, uma vez que, para o modelo, a taxa de crescimento reprodutivo, bem como a translocação de fotoassimilados, são bastante pequenas à temperaturas elevadas.

Tabela 8. Valores do peso de 100 grãos do feijão caupi (cv. BR 14 Mulato) na fase de calibração do modelo CROPGRO-cowpea para Parnaíba e Teresina, PI, em 1997 e 1998.

Município/Ano	Peso de 100 grãos (g)		
	Simulado	Observado	Diferença (%)
Parnaíba/1997	11,0	13,9	-20,9
Parnaíba/1998	8,6	13,1	-34,3
Média	9,8	13,5	-27,4¹
Teresina/1997	9,6	12,5	-23,2
Teresina/1998	6,8	13,4	-49,2
Média	8,2	12,9	-36,4¹

¹ Corresponde à diferença entre o valor médio simulado e o observado

Apesar das diferenças relativamente altas na estimativa do P100 em alguns experimentos, não houve comprometimento das simulações da produtividade de grãos. A explicação para esse fato é que, na maioria das vezes, a produção de grãos de caupi é pouco influenciada pelo peso de 100 grãos (Minchin et al, 1980) e está mais relacionada com o número de vagens por planta (NVP) (Littleton et al. 1979b; Minchin et al., 1980; Cardoso et al, 1995).

Em relação ao NVP (Tabela 9), pode-se verificar que o modelo apresentou ajustes satisfatórios nos dois municípios. Em Parnaíba, os erros de estimativa foram de 3,6% em 1997 e de 8,0% em 1998. Em Teresina, os resultados simulados do NVP indicaram um erro relativamente alto no primeiro ano, com uma superestimativa de 33%. Entretanto, o valor simulado de 18,5 vagens por planta está de acordo com o obtido por Cardoso et al. (1997) em estudos com a BR 14 - Mulato em condições semelhantes à do presente estudo.

Em relação ao número de grãos por vagem, NGV, (Tabela 10), observa-se que o modelo apresentou excelentes ajustes para os dois locais e anos estudados. Em Parnaíba e Teresina, os erros médios de estimativa dessa variável foram de 1,3 e 0,6%, respectivamente. Analisando-se os resultados observados e simulados do NGV, constatou-se que essa variável apresentou pequena variação ao longo dos anos, mesmo com o estresse térmico ocorrido em 1998. Dessa forma, pode-se inferir que o NGV é pouco afetado pela ocorrência de elevadas temperaturas do ar.

Tabela 9. Valores do número de vagens por planta¹ de feijão caupi (cv. BR 14 Mulato) na fase de calibração do modelo CROPGRO-cowpea para Parnaíba e Teresina, PI, em 1997 e 1998.

Município/Ano	Número de vagens por planta		
	Simulado	Observado	Diferença (%)
Parnaíba/1997	19,3	20,0	-3,6
Parnaíba/1998	16,2	14,9	8,0
Média	17,8	17,5	1,7²
Teresina/1997	18,5	12,4	33,0
Teresina/1998	12,2	12,0	1,6
Média	15,3	12,2	25,4²

¹ Calculado a partir do número de plantas/m² (dado de entrada) e dos valores simulados do número de grãos/m² e do número de grãos por vagem.

² Corresponde à diferença entre o valor médio simulado e o observado.

Tabela 10. Valores do número de grãos por vagem da (cv. BR 14 Mulato) na fase de calibração do modelo CROPGRO-cowpea para Teresina, PI, em 1997 e 1998.

Município/Ano	Número de grãos por vagem		
	Simulado	Observado	Diferença (%)
Parnaíba/1997	15,5	14,0	10,7
Parnaíba/1998	15,5	17,4	-10,9
Média	15,5	15,7	-1,3
Teresina/1997	15,5	16,0	-3,1
Teresina/1998	15,1	14,8	2,0
Média	15,3	15,4	-0,6

¹ Corresponde à diferença entre o valor médio simulado e o observado.

5.5 Estimativa da produtividade de grãos

Os valores das produtividades de grãos (PG) referentes aos dois locais e anos estudados encontram-se na Tabela 11. Em Parnaíba, no ano de 1997, foram obtidos os melhores ajustes em relação à PG, com subestimativas de apenas 2,0%. Em 1998, houve um atraso na semeadura (31/07/98) em relação ao ano anterior (20/06/97). Isto fez com que o florescimento (± 43 dias) do feijão caupi, cultivado naquele ano, coincidissem com um período de elevadas temperaturas do ar (35°C) (Figura 2), o que provavelmente contribuiu para que a PG experimental fosse reduzida de 2.189 para 1.924 kg.ha⁻¹ (12%). O modelo CROPGRO-cowpea apresentou a mesma tendência, porém com uma redução um pouco maior (19%) (Tabela 12).

A diminuição da produtividade de grãos devido às temperaturas muito elevadas (>33°C) é comum na cultura do feijão caupi (Huxley & Summerfield, 1976; Roberts et al., 1978; Summerfield et al., 1978; Wien & Summerfield, 1980; Doto & Whittington, 1981; Shouse et al., 1981; Sivakumar et al., 1996; Craufurd et al., 1998).

Tabela 11. Valores da produtividade de grãos de feijão caupi, (cv. BR 14 Mulato) na fase de calibração do modelo CROPGRO-cowpea para Parnaíba e Teresina, PI, em 1997 e 1998.

Município/Ano	Produtividade de grãos (kg.ha ⁻¹)		
	Simulado	Observado	Diferença (%)
Parnaíba/1997	2.144	2.189	-2,0
Parnaíba/1998	1.736	1.924	-9,8
Média	1.940	2.056	-5,6¹
Teresina/1997	1.787	1.301	37,3
Teresina/1998	614	979	-37,3
Média	1.200	1.140	5,3¹

¹ Corresponde à diferença entre o valor médio simulado e o observado.

Tabela 12. Diferença da produtividade de grãos da (cv. BR 14 - Mulato) entre os anos de 1997 e 1998, em Parnaíba e Teresina, PI.

Município	Diferença (%)	
	Experimento ¹	Modelo ²
Parnaíba	-12,0	-19,0
Teresina	-24,8	-65,6

¹ Cálculo com base nas produtividades experimentais.

² Cálculo com base nas produtividades simuladas.

Em relação aos experimentos de Teresina (Tabela 11), pode-se perceber que o modelo superestimou a PG em 1997 e subestimou-a em 1998. No primeiro ano, a máxima temperatura do ar atingiu 34 °C durante o florescimento que, para o modelo, não é um valor capaz de comprometer a PG. Assim, a PG simulada foi relativamente alta neste ano, (1.787 kg.ha⁻¹), a qual é perfeitamente

aceitável para as condições de Teresina. Cardoso et al. (1995; 1996a; 1997), trabalhando no mesmo solo e em condições climáticas semelhantes, obtiveram produtividade de grãos acima de 2.000 kg.ha⁻¹.

No entanto, as PG experimentais deste ano (1997) foram em torno de 1.300 kg.ha⁻¹, proporcionando, desta forma, uma superestimativa dessa variável de 37,3%. Estas diferenças são relativamente altas, mas comuns em modelagem, principalmente quando se procura calibrar o modelo com experimentos de diferentes localidades. Timsina et al. (1993) compararam os resultados simulados da PG de caupi com dados experimentais de diversos autores. Sob condições de irrigação, foram observadas subestimativas de 20,0 a 25,0% e superestimativas de 37,5%.

Em relação ao segundo ano (1998), a temperatura máxima durante a condução dos experimentos atingiu valores superiores à 38°C (Figura 2). No modelo CROPGRO-cowpea, a função de crescimento da cultura é quadrática, ou seja, cresce até um determinado ponto e decresce em seguida. Assim, o modelo assume que, à temperatura de 38°C a taxa de crescimento reprodutivo é muito pequena, o que concorreu para os baixos valores de PG simulados (614 kg.ha⁻¹), Tabela 11.

Analisando-se isoladamente os valores simulados de PG para o município de Teresina, percebe-se uma queda de 65,6% do ano de 1997 para 1998 (Tabela 12). Em relação aos dados experimentais, também observou-se esta queda, entretanto, em menores proporções (24,8%), o que comprova o efeito deletério de temperaturas muito elevadas.

Outros autores têm observado que uma mesma cultivar, sob condições semelhantes de fertilidade do solo, água e luz, pode ter grandes variações na PG de um ano para outro devido à mudanças da temperatura do ar (Shouse et al., 1981; Sivakumar et al., 1996). Craufurd et al. (1998) avaliaram a sensibilidade do feijão caupi ao calor e constataram que um período de 10 a 14 dias de elevadas temperaturas durante o florescimento (estádio mais sensível) reduziu em aproximadamente 95% a produção de vagens, comparado à testemunha.

Nesse contexto, mesmo com a grande diferença entre os valores observados e simulados de PG no ano de 1998, estes resultados podem ser úteis na identificação de épocas de semeadura mais adequadas para o cultivo irrigado do feijão caupi. Além disso, considerando-se o valor médio da PG dos dois anos, os erros de estimativa reduzem de 37,3 para 5,3%. (Tabela 11). Isto reforça a capacidade do modelo em estimar satisfatoriamente a PG, principalmente utilizando-se um maior número de repetições.

6. Aplicação do modelo CROPGRO-cowpea

6.1 Simulação dos experimentos

A aplicação do modelo CROPGRO-cowpea consistiu na avaliação econômica do manejo da irrigação para produção de grãos de feijão caupi. Os dados requeridos para esta avaliação, com os respectivos valores utilizados, foram:

- Preço de venda do grão ($\text{R}\$.t^{-1}$) = 1.000,00;
- Custo com adubo nitrogenado ($\text{R}\$.kg^{-1}$) = 0,30;
- Custo com aplicação de nitrogênio (mão-de-obra) (R\$) = 12,00;
- Custo com a irrigação ($\text{R}\$.mm^{-1}$) = 0,50;
- Custo com a aplicação da lâmina de irrigação (mão-de-obra) (R\$) = 12,00; e
- Custo básico de produção (desconsiderando água e N) ($\text{R}\$.ha^{-1}$): 600,00

Foram simulados 20 tratamentos, originados da combinação de cinco níveis da capacidade de água disponível do solo (30, 40, 50 e 60% da CAD e sem irrigação) com quatro épocas de semeadura (15/06; 15/07; 15/08 e 15/09). A relação entre a capacidade de água disponível (CAD) e o potencial matricial dos dois solos estudados, encontra-se na Figura 7.

Em função da disponibilidade de dados climáticos de 1990 a 1998, em Parnaíba, e de 1977 a 1998, em Teresina, foram aplicadas 9 e 22 repetições para os dois locais, respectivamente. Estas simulações foram realizadas no módulo “SEASONAL” do sistema DSSAT, que permite a utilização de séries históricas de dados.

A caracterização dos experimentos simulados foi feita em arquivos do tipo .SNX (no módulo SEASONAL). Neste arquivo o manejo da irrigação foi definido com as seguintes características:

- Profundidade de manejo da irrigação: 20 cm;
- Limite inferior da capacidade de água disponível (CAD): 30, 40, 50 ou 60%, conforme o tratamento utilizado;
- Limite superior da CAD: 100%;
- Método de irrigação: aspersão convencional;

- Lâmina de irrigação (pré-fixada): 10mm (Parnaíba) e 20mm (Teresina);
- Eficiência do sistema de irrigação: 0,75 (Parnaíba) e 0,80 (Teresina);
- Estádio da planta em que finalizou a irrigação: Plantas com 50% das vagens amareladas;

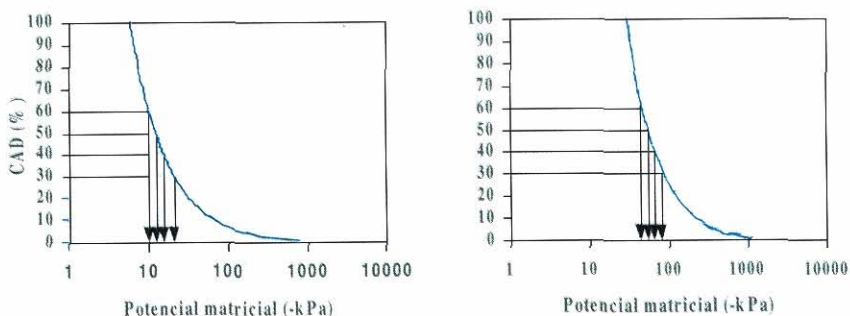


Figura 7 - Relação entre a capacidade de água disponível (CAD) e o potencial matricial dos solos de Parnaíba (a) e de Teresina (b).

A análise da estratégia ótima do manejo da irrigação para a produção de grãos do feijão caupi foi feita com base na dominância de Gini (“Mean-Gini Dominance”) (Thornton et al., 1994), comparando-se todos os tratamentos, dois a dois. De acordo com esse método, um tratamento (Tx) é mais eficiente que outro (Ty), se:

$$E(Tx) \geq E(Ty) \text{ e } E(Tx) - \Gamma(Tx) \geq E(Ty) - \Gamma(Ty)$$

Em que, no presente estudo:

$E(.)$ = Esperança de receita líquida média (R\$.ha⁻¹) do tratamento considerado e

$\Gamma(.)$ = coeficiente de distribuição de Gini do tratamento considerado (R\$.ha⁻¹).

O coeficiente de Gini (Γ) corresponde à metade do valor da “diferença média de Gini” (DMG), a qual é dada pela seguinte equação:

$$DMG = |A - B|$$

Em que, A e B correspondem a valores aleatórios atribuídos para cada

tratamento, considerando-se que a receita líquida segue uma distribuição triangular (Thornton & Hoogenboom, 1994).

6.2 Resultados obtidos com a aplicação do modelo CROPGRO-cowpea

Na Tabela 13, encontram-se os valores médios de produtividade de grãos e de receita líquida resultantes da simulação de tratamentos com diferentes níveis de irrigação e épocas de semeadura, para os municípios de Parnaíba e Teresina, Piauí.

Em Parnaíba, as receitas máximas por hectare (R\$ 1.088,00 e 1.076,00) foram obtidas com os tratamentos que indicam reiniciar a irrigação quando o solo estiver com 50 e 40% da capacidade de água disponível (CAD), respectivamente. Os respectivos potenciais matriciais (ψ_m) para esses valores de CAD são -12,4 e -15,8 kPa (Figura 7a), que estão coerentes em se tratando de um solo arenoso como o de Parnaíba, cuja umidade à capacidade de campo ($0,139 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$), se encontra aproximadamente a um ψ_m de -6 kPa.

Apesar dos resultados simulados terem demonstrado que a semeadura em 15/06 é a mais favorável para o feijão caupi sob irrigação do ponto de vista econômico, observou-se que a semeadura nos outros meses (julho, agosto e setembro) possibilita ao agricultor auferir receitas líquidas positivas com o cultivo irrigado: R\$ 925,00/ha (semeadura em 15/07); R\$ 831,00/ha (semeadura em 15/08) e R\$ 839,00/ha (semeadura em 15/09) (Tabela 13). Para a obtenção dessas receitas, o modelo também indica manter o teor de água no solo em níveis de até 50% da CAD.

Em Teresina, os resultados demonstraram que a estratégia ótima econômica é estabelecer o reinício da irrigação quando o solo atingir 30% da CAD, o que corresponde à uma depleção da água no solo de 70%. Ziska et al. (1985) obtiveram resultados semelhantes, constatando que o manejo da irrigação em caupi, efetuado quando o solo atingia 75% da água disponível, proporcionou elevada produtividade de sementes ($2,22 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$).

Nesse contexto, pode-se inferir que, em Teresina, o irrigante pode adotar um manejo de irrigação com menor frequência e maiores lâminas de água em relação à Parnaíba. Considerando-se as características físico-hídricas destes solos (Tabela 2) esses resultados estão coerentes, pois o solo Aluvial Eutrófico de Teresina, por possuir maior teor de argila e silte (Tabela 2), apresenta uma

maior capacidade de retenção de água e, dessa forma, suporta aplicações de água em quantidades maiores, quando comparado ao solo de Parnaíba (Areia Quartzosa).

Entretanto, o valor de 70% para ser usado como depleção de água no solo (30% da CAD) pode ser muito alto, especialmente se for considerada a ocorrência comum de elevadas temperaturas em Teresina, nessa época do ano (Figura 2). De acordo com Doorenbos & Kassam (1994), o fator de depleção ou de esgotamento de água no solo deve ser escolhido em função da cultura e da evapotranspiração máxima (ETM). No referido trabalho, não há recomendação para o feijão caupi, porém, para leguminosas como o feijão comum e o amendoim, um consumo de água até 70% da CAD só é indicado se a ETM, no local, for em torno de 3 mm.dia⁻¹.

Considerando-se que em Teresina os valores de ETM podem chegar até 6mm.dia⁻¹ (observações experimentais) e que a diferença da receita líquida entre os tratamentos foi pequena (Tabela 13), pode-se recomendar como estratégia de manejo, reiniciar a irrigação quando o solo atingir 50% da CAD, o que corresponde a um potencial matricial de -58 kPa (Figura 7b). Apesar de relativamente baixo, este valor é coerente para um solo Aluvial Eutrófico e está de acordo com o potencial crítico para o caupi, recomendado por Silva & Millar (1981); Bezerra & Saunders (1992) e Lima et al. (1999), cujos trabalhos foram conduzidos em solos de textura semelhante.

O fato de não se recomendar o tratamento indicado pelo modelo como o mais eficiente, não significa que houve erros de simulação. Thornton et al. (1994) alertam que deve-se ter cuidado ao se interpretar os resultados indicados pela “análise de estratégia” no módulo “seasonal” do DSSAT pois nem sempre, os resultados podem estar coerentes. Entretanto, constitui-se em uma importante ferramenta para orientar o pesquisador na escolha das opções de tratamentos que merecem ser investigadas posteriormente.

Ainda com relação a Teresina, percebe-se que os valores de receita líquida são negativos para os tratamentos que consideraram a época de semeadura em 15/08 e 15/09, em qualquer dos níveis de irrigação. Pode-se observar que nestes tratamentos a produtividade de grãos foi baixa, variando de 784 a 827 kg.ha⁻¹ (semeadura em 15/08) e de 840 a 893 kg.ha⁻¹ (semeadura em 15/09) (Tabela 13). Esta tendência foi constatada na fase de calibração do modelo

CROPGRO-cowpea (Tabela 11), o que reforça a boa performance do modelo em estimar a produtividade de grãos da cultura do feijão caupi nos locais considerados.

Os resultados das simulações para os dois municípios (Tabela 13) demonstraram que não é possível o cultivo do caupi no segundo semestre, sem o uso da irrigação. Isto é devido à baixa precipitação pluviométrica no período, que variou, em média, de 7,2 a 48 mm (média de 9 anos) em Parnaíba e de 23,9 a 77 mm (média de 22 anos) em Teresina.

De acordo com os resultados da evapotranspiração da cultura (ETC), da quantidade de água aplicada e da precipitação (Tabela 14), observa-se que os tratamentos que consideraram a manutenção do conteúdo de água no solo em níveis de até 50% da CAD, proporcionaram uma irrigação sem déficit hídrico nos dois municípios. Além disso, as lâminas de irrigação indicadas para este tratamento estão dentro da faixa recomendada para a cultura do feijão caupi, conforme Espínola et al. (1992); Andrade Júnior et al. (1998) e Lima et al. (1999). Considerando-se a coerência destes resultados, pode-se recomendar aos produtores de feijão caupi das duas localidades, um manejo da irrigação mantendo o teor de água no solo em níveis de até 50% da CAD.

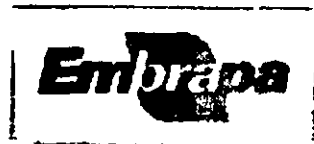


Tabela 13. Valores médios simulados da produtividade de grãos (PG) e da receita líquida (RL), resultantes da aplicação do modelo CROPGRO-cowpea para Parnaíba e Teresina, PI.

Tratamentos	Parnaíba		Teresina	
	PG (kg.ha ⁻¹)	RL (R\$.há ⁻¹)	PG (kg.ha ⁻¹)	RL (R\$.há ⁻¹)
15/06 + 60% CAD	2.083	1063,00	1579	574,00
15/06 + 50% CAD	2.059	1088,00	1556	626,00
15/06 + 40% CAD	1.997	1076,00	1537	651,00
15/06 + 30% CAD	1.946	1058,00	1515	664,00
Sem Irrigação	261	- 398,00	333	- 312,00
15/07 + 60% CAD	1.991	901,00	1064	12,00
15/07 +50% CAD	1.959	925,00	1045	71,00
15/07 + 40% CAD	1.904	923,00	1029	107,00
15/07 + 30% CAD	1.817	886,00	1010	128,00
Sem Irrigação	176	- 484,00	254	- 391,00
15/08 + 60% CAD	1.930	811,00	827	- 239,00
15/08 + 50% CAD	1.885	831,00	813	- 165,00
15/08 + 40% CAD	1.812	809,00	797	- 128,00
15/08 + 30% CAD	1.687	746,00	784	- 101,00
Sem Irrigação	175	- 484,00	212	- 433,00

continua...

Tabela 13 (continuação)

Tratamentos	Parnaíba		Teresina	
	PG (kg.ha ⁻¹)	RL (R\$.há ⁻¹)	PG (kg.ha ⁻¹)	RL (R\$.há ⁻¹)
15/09 + 60% CAD	1.900	810,00	893	- 123,00
15/09 + 50% CAD	1.863	839,00	875	- 56,00
15/09 + 40% CAD	1.769	800,00	858	- 26,00
15/09 + 30% CAD	1.647	726,00	840	- 6,00
Sem Irrigação	171	-489,00	301	- 343,00

¹ Os valores em negrito indicam as melhores estratégias de manejo de irrigação

Tabela 14. Precipitação (P) média e valores médios simulados da evapotranspiração da cultura (ETC) e da lâmina de irrigação (L) para Parnaíba e Teresina, Piauí.

Tratamentos	Parnaíba			Teresina		
	P ¹ (mm)	ETC (mm)	L (mm)	P ² (mm)	ETC (mm)	L (mm)
15/06 + 60% CAD	48,0	290	273	25,7	337	304
15/06 + 50% CAD	48,0	279	252	25,7	306	260
15/06 + 40% CAD	48,0	268	229	25,7	292	235
15/06 + 30% CAD	48,0	259	212	25,7	278	213
Sem Irrigação	48,0	120	0	25,7	133	0
15/07 + 60% CAD	15,7	313	327	23,9	373	345
15/07 + 50% CAD	15,7	297	303	23,9	340	302
15/07 + 40% CAD	15,7	285	282	23,9	319	271
15/07 + 30% CAD	15,7	270	256	23,9	302	246
Sem Irrigação	15,7	95,3	0	23,1	129	0

continua...

Tabela 14 (continuação)

Tratamentos	Parnaíba			Teresina		
	P ¹ (mm)	ETC (mm)	L (mm)	P ² (mm)	ETC (mm)	L (mm)
15/08 + 60% CAD	1,0	320	351	38,4	392	356
15/08 + 50% CAD	1,0	302	322	38,4	354	307
15/08 + 40% CAD	1,0	289	302	38,4	334	274
15/08 + 30% CAD	1,0	268	264	38,4	316	248
Sem Irrigação	1,0	85	0	35,4	141	0
15/09 + 60% CAD	7,2	304	323	77,0	370	312
15/09 + 50% CAD	7,2	286	298	77,0	337	263
15/09 + 40% CAD	7,2	271	273	77,0	317	234
15/09 + 30% CAD	7,2	251	242	77,0	302	208
Sem Irrigação	7,2	89	0	71,3	162	0

¹ Valores médios referentes ao período de 1990 a 1998.

² Valores médios referentes ao período de 1977 a 1998.

7. Considerações finais

Estudos para avaliar a variação da profundidade de manejo da irrigação sobre a produtividade econômica de grãos do feijão caupi podem ser uma outra aplicação do modelo CROPGRO-cowpea. Este modelo também pode ser calibrado para condições de sequeiro, tendo a possibilidade de ser aplicado para diversos objetivos, como identificação da melhor época de semeadura, influência da aplicação de adubos nitrogenados ou da incorporação de resíduos culturais sobre a PG, melhor densidade de plantio e outras opções de manejo.

É importante destacar que erros de estimativa de produção de cultura são inevitáveis, especialmente quando se deseja extrapolar os resultados para

outras localidades pois são inúmeras as variáveis que influenciam no processo produtivo. Além disso, existe uma grande variabilidade espacial e temporal dos parâmetros requeridos pelos modelos.

Dessa forma, considerando-se: *i*) a ampla faixa de variação das condições de solo e clima em que se realizaram a calibração e aplicação do CROPGRO-cowpea; *ii*) os bons resultados de estimativa obtidos no presente estudo e; *iii*) que o sistema DSSAT permite simulações de longo período, pode-se inferir que o CROPGRO-cowpea constitui-se em uma importante ferramenta, podendo ser utilizada por pesquisadores, técnicos e/ou produtores rurais, na busca de um sistema de produção agrícola adequado para a cultura do feijão caupi, no Estado do Piauí.

8. Referências bibliográficas

ANDRADE, C.L.T. de.; FREITAS, J.A.D.de; LUZ, L.R.Q.P.da. Características físico-hídricas de solos arenosos de tabuleiros litorâneos. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 9., Natal, 1991. **Anais**. Fortaleza: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 1992. p.1068-1096.

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; RODRIGUES, B. H. N.; CARDOSO, M. J.; ATHAYDE SOBRINHO, C.; MELO, F. B. Níveis de irrigação e produtividade de grãos secos de feijão caupi. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 12., Fortaleza, 1998. **Resumos expandidos**. Fortaleza: SBCC; UFCE, 1998. p.83-84.

BEZERRA, F. M. L.; SAUNDERS, L. C. U. Irrigação de dois cultivares de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) em três épocas de plantio sob dois níveis de irrigação no Vale do Curu. **Ciência Agrônômica**, v.23, n.1/2, p.39-44, 1992.

BOOTE, K.J. Concepts for calibrating crop growth models. **Crop simulation course**, 1994, 13 p.

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.; HOOGEBOOM, G.; THORNTON, P.K. (Ed.) **Understanding options for agricultural production**. Dordrecht: Kluwer, 1998b. p.99-128.

CARDOSO, M.J.; MELO, F.B.; ANDRADE JÚNIOR, A.S. Densidade de plantas de caupi em regime irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32, n.4, p.399-405, 1997.

CARDOSO, M.J.; ANDRADE JÚNIOR, A.S.; MELO, F.B.; FROTA, A.B. **Avaliação agroeconômica da produção de sementes de caupi sob irrigação**. Teresina: Embrapa-CPAMN, 1995. 6p. (Embrapa-CPAMN. Comunicado Técnico, 62).

CARDOSO, M.J., MELO, F.B.; BASTOS, E.A.; RIBEIRO, V.Q.; ATHAYDE SOBRINHO, C.; ANDRADE JÚNIOR, A.S. Doses de fósforo e densidades de plantas em caupi. II - Efeito sobre a produtividade de grãos e componentes de produção sob irrigação em solo Aluvial Eutrófico. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE CAUPI, 4., Teresina, 1996. **Resumos**. Teresina: Embrapa-CPAMN, 1996a. p.123-124.

CASTRO, P.R.C; BERGAMASCHI, H.; SILVEIRA, J.A.G.; MARTINS, P.F.S. Desenvolvimento comparado de três cultivares de caupi, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, v.41, n.2, p.555-584, 1984.

CRAUFURD, P.Q.; BOJANG, M.; WHELER, T.R.; SUMMERFIELD, R.J. Heat tolerance in cowpea: effect of timing and duration of heat stress. **Annals of Applied Biology**, v.133, p.257-267, 1998.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Trad. de H.R Gheyi, A.A. Sousa, F.A.V. Damasceno e J.F. Medeiros. Campina Grande: UFPB, 1994. cap. 3, p.42-53.

DOTO, A.L.; WHITTINGTON, W.J. Responses of cowpea (*Vigna unguiculata*) varieties and their hybrids to variation in day and night temperature regimes. **Annals of Applied Biology**, v.97, p.213-219, 1981.

ESPÍNOLA, F. C. S.; MEDINA, B. F.; MAIA NETO, J. M.; NOGUEIRA, F. C.; AMARO FILHO, J.; MEDEIROS FILHO, J. C. Resposta do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) a diferentes níveis de irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 9., Natal, 1992. **Anais**. Fortaleza: ABID, 1992. p.971-995.

GENG, S.; AUBURN, J.; BRANDSTETTER, E.; LI, B. A program to simulate meteorological variables: documentation to SIMMETEO. **Agronomy reporter**, n.204, UCLA, Davis, California.

HERRIDGE, D.F.; PATE, J.S. Utilization of net photosynthate for nitrogen fixation and protein production in an annual legume. **Plant Physiology**, v.60, p.759-764, 1977.

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**, v.35, n.6, p.2043-2055, 1992.

HUXLEY, P.A.; SUMMERFIELD, R.J. Effects of daylength and day/night temperatures on growth and seed yield of cowpea cv. K 2809 grown in controlled environments. **Annals of Applied Biology**, v.83, p.259-271, 1976.

JACOMINE, P.K.T.; CAVALCANTE, A.C.; PESSOA, S.C.P.; BURGOS, N.; MELO FILHO, F.R.de; LOPES, A.F.; MEDEIRO, L.A. **Levantamento exploratório - reconhecimento de solos do Estado do Piauí**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS; SUDENE-DRM, 1986. 782p. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim de Pesquisa, 36).

JONES, J.W.; HUNT, L.A.; HOOGENBOOM, G. et al. 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.; MISHOE, J.W.; BOOTE; K.J. **Introduction to simulation and modeling**. Taipei: Food and Fertilizer Technology Center for the Asian and Pacific Region, 1987. 19p. (FFTC. Technical Bulletin, 100).

JONES, J.W.; WHITE, J.; BOOTE, K.; HOOGENBOOM, G.; PORTER, C.H. Phenology Module. In: **CROPGRO v3.7 documentation and source code listing**. Gainesville: University of Florida, 1998. 21p. (University of Florida, Agricultural and Biological Engineering Department. Research Report, 98-502).

LIMA, G.P.B.; AGUIAR, J.V.; COSTA, R.N.; PAZ, V.P.S. Rendimento de cultivares de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) submetidas a diferentes lâminas de irrigação. **Irriga**, v.4, n.3, 1999.

LITTLETON, E.J.; DENNET, M.D.; ELSTON J.; MONTEITH, J.L. The growth and development of cowpeas (*Vigna unguiculata*) under tropical field conditions - 1. Leaf area. **Journal of Agricultural Science**, v.93, p.291-307, 1979a.

LITTLETON, E.J.; DENNET, M.D.; MONTEITH, J.L.; ELSTON, J. The growth and development of cowpeas (*Vigna unguiculata*) under tropical field conditions 2. Accumulation and partition of dry weight. **Journal of Agricultural Science**, v.93, p.309-320, 1979b.

MINCHIN, F.R.; SUMMERFIELD, R.J.; NEVES, C.P. Carbon metabolism, nitrogen assimilation, and seed yield of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) growth in an adverse temperature regime. **Journal of Experimental Botany**, v.31, n.24, p.1327-1345, 1980.

NIELSEN, S.S.; OSUALA, C.I.; BRANDT, W.E. Early leaf harvest reduces yield but not protein concentration of cowpea seeds. **Hort Science**, v.29, n.6, p.631-632, 1994.

PHOGAT, B.S.; SINGH, D.P.; SINGH, P. Responses of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) and Mung Bean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) to irrigation. II. Effects on CO₂ exchange, radiation characteristics and growth. **Irrigation Science**, v.5, p.61-72, 1984.

RICHARDSON, C.W. Weather simulation for crop management models. **ASAE paper**, n. 84-4541, 1985.

ROBERTS, E.H.; SUMMERFIELD, R.J.; MINCHIN, F.R.; STEWART, K.A.; NDUNGURU, B.J. Effects of air temperature on seed growth and maturation in cowpea (*Vigna unguiculata*). **Annals of Applied Biology**, v.90, p.437-446, 1978.

SHOUSE, P.; DASBERG, S.; JURY, W.A.; STOLZY, L.H. Water deficit effects on water potential, yield and water use of cowpeas. **Agronomy Journal**, v.73, p.333-336, 1981.

SILVA, M. A.; MILLAR, A. A. Evapotranspiração do feijão-de-corda. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-árido. **Pesquisa em irrigação no trópico Semi-Árido: solo, água, planta**. Petrolina, 1981. p.15-24. (Embrapa-CPATSA. Boletim de Pesquisa, 4).

SIVAKUMAR, M.V.K.; NTARE, B.R.; ROBERTS, J.M. Growth, yield and plant-water relations of four cowpea (*Vigna unguiculata*) cultivars in the Sahel. **Journal of Agricultural Science**, v.126, p.183-190, 1996.

STAMFORD, N.P.; SANTOS, D.R.; SILVA, V.M.; SANTOS, C.E.R.S.; MONTEIRO, M.C. Fixação do N₂ e matéria seca do caupi em dois solos do semi-árido brasileiro submetidos à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.283-290, 1990.

SUDENE. DPG - PRN - HME. **Dados Pluviométricos Mensais do Nordeste: Estado do Piauí**. Recife, 1990. 236p. (Brasil. SUDENE. Pluviometria, 2).

SUMMERFIELD, R.J.; MINCHIN, F.R.; ROBERTS, E.H.; HADLEY, P. Cowpea. In: SYMPOSIUM ON POTENTIAL PRODUCTIVITY OF FIELD CROPS UNDER DIFFERENT ENVIROMENTS, Los Baños, 1980. **Proceedings**. Los Baños: IRRI, 1983. p.249-280.

SUMMERFIELD, R.J.; MINCHIN, F.R.; STEWART, K.A.; NDUNGURU, B.J. Growth, reproductive development and yield of effectively nodulated cowpea plants in contrasting aerial environments. **Annals of Applied Biology**, v.90, p.277-291, 1978.

THORNTON, P.K.; HOOGENBOOM, G. A computer program to analyze single-season crop model outputs. **Agronomy Journal**, v.86, n.5, p.860-868, 1994.

THORNTON, P.K.; HOOGENBOOM, G.; WILKENS, P.W.; JONES, J.W. Analyzing seasonal analysis experiments. In: TSUJI, G.Y.; UEHARA, G.; BALAS, S. (Ed.) **DSSAT v3**. Honolulu: University of Hawaii, 1994. v.3, p.23-65.

TIMSINA, J.; GARRITY, D.P.; PENNING DE VRIES, F.W.T.; PANDEY, R.K. Yield stability of cowpea cultivars in rice-based cropping systems: experimentation and simulation. **Agricultural Systems**, v.42, p.359-381, 1993.

TSUJI, G.Y.; UEHARA, G.; BALAS, S. (Ed.) **DSSAT v3**. Honolulu: University of Hawaii, 1994a. 3v.

TSUJI, G.Y.; JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G.; HUNT, L.A.; THORNTON, P.K. Introduction. In: TSUJI, G.Y.; UEHARA, G.; BALAS, S. (Ed.) **DSSAT v3**. Honolulu: University of Hawaii, 1994b. v.1, p.1-11.

WIEN, H.C. Dry matter production, leaf area development, and light interception of cowpea lines with broad and narrow leaflet shape. **Crop Science**, v.22, p.733-737, 1982.

WIEN, H.C.; SUMMERFIELD, R.J. Adaptation of cowpeas in west Africa: effects of photoperiod and temperature responses in cultivars of diverse origin. In: SUMMERFIELD, R.J.; BUNTING, A.H. (Ed.) **Advances in legume science**. Kew: Royal Botanic Garden, 1980. p.405-417.

ZISKA, L. H.; HALL, A. E.; HOOVER, R. M. Irrigation management methods for reducing water use of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) and lima bean (*Phaseolus vulgaris* L.) while maintaining seed yield at maximum levels. **Irrigation Science**, v.6, p.223-239, 1985.



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro de Pesquisa Agropecuária do Meio-Norte**

Ministério da Agricultura e do Abastecimento

Av. Duque de Caxias, 5650. Caixa Postal 01,

CEP 64006-220 Teresina, PI.

Fone:(86)225-1141 Fax (86) 225-1142

**MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA E DO
ABASTECIMENTO**

**GOVERNO
FEDERAL**
Trabalhando em todo o Brasil