

**UTILIZAÇÃO DO MODELO CROPGRO - dry bean NA ANÁLISE  
DE RISCO CLIMÁTICO DA CULTURA DO FEIJOEIRO (*Phaseolus  
vulgaris* L.) NA REGIÃO DE CERRADOS.**

**ELZA JACQUELINE LEITE MEIRELES**

Engenheira Agrícola

Orientador: Prof. Dr. **ANTONIO ROBERTO PEREIRA**

Tese apresentada à Escola Superior de  
Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade  
de São Paulo, para obtenção do título de  
Doutor em Agronomia, Área de  
Concentração: Irrigação e Drenagem.

**PIRACICABA**

**Estado de São Paulo - Brasil**

**Novembro – 2000**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - Campus "Luiz de Queiroz"/USP**

Meireles, Elza Jacqueline Leite

Utilização do modelo CROPGRO— dry bean na análise de risco climático da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) na região de cerrados / Elza Jacqueline Leite Meireles. - Piracicaba, 2000.

105 p.

Tese (doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2000.  
Bibliografia.

1. Análise de risco 2. Clima 3. Época de semeadura 4. Feijão irrigado 5. Feijão de sequeiro 6. Simulação I. Título

CDD 635.652

**"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"**

Ao meu esposo ANÍSIO  
e ao meu filho THIAGO

***Dedico***

Aos meus pais ELZA e  
MÁRIO (*in memorian*)

***Ofereço***

## SUMÁRIO

|  |     |
|--|-----|
| LISTA DE FIGURAS .....                             | iv  |
| LISTA DE TABELAS .....                             | vii |
| RESUMO.....  | ix  |
| SUMMARY .....                                      | xi  |
| 1 INTRODUÇÃO .....                                 | 1   |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA .....                      | 4   |
| 2.1 A cultura do feijoeiro.....                    | 4   |
| 2.1.1 Aspectos gerais da produção .....            | 4   |
| 2.1.2 Exigências climáticas do feijoeiro.....      | 6   |
| 2.1.2.1 Exigência térmica .....                    | 6   |
| 2.1.2.2 Exigência hídrica .....                    | 8   |
| 2.1.2.3 Radiação solar .....                       | 9   |
| 2.2 Modelos de simulação.....                      | 10  |
| 2.2.1 Classificação dos modelos de simulação.....  | 12  |
| 2.3 Sistema DSSAT .....                            | 15  |
| 2.4 Modelo CROPGRO .....                           | 17  |
| 2.5 Aplicação de modelos em agricultura.....       | 18  |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS .....                         | 22  |
| 3.1 Caracterização do clima.....                   | 22  |
| 3.2 Caracterização do solo.....                    | 27  |
| 3.2.1 Município de Santo Antônio de Goiás, GO..... | 27  |
| 3.2.2 Município de Planaltina, DF.....             | 28  |
| 3.3 Caracterização dos experimentos.....           | 30  |
| 3.3.1 Município de Santo Antônio de Goiás, GO..... | 30  |
| 3.3.2 Município de Planaltina, DF.....             | 32  |
| 3.4 Descrição do modelo CROPGRO-dry bean.....      | 33  |
| 3.4.1 Fenologia.....                               | 33  |
| 3.4.2 Matéria seca.....                            | 35  |



|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 5 CONCLUSÕES .....                 | 85 |
| 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... | 86 |
| ANEXOS .....                       | 99 |

## LISTA DE FIGURAS

|    |  |    |
|----|--|----|
| 1  | Extrato do balanço hídrico normal mensal, segundo Thornthwaite & Mather (1955), para CAD igual a 100 mm, em Santo Antônio de Goiás, GO.....  | 23 |
| 2  | Extrato do balanço hídrico normal mensal, segundo Thornthwaite & Mather (1955), para CAD igual a 100 mm, em Planaltina, Brasília, DF. ....   | 24 |
| 3  | Temperaturas máxima (a) e mínima (b) durante o experimento, em Santo Antônio de Goiás, GO, 1990. ....  | 24 |
| 4  | Radiação solar global estimada a partir da insolação ocorrida durante o experimento, em Santo Antônio de Goiás, GO, 1990. ....   | 25 |
| 5  | Temperaturas máxima (a) e mínima (b) durante os experimentos, em Planaltina, DF, em 1988 (I), 1990 (II) e 1991(III). ....  | 26 |
| 6  | Radiação solar global estimada a partir da insolação ocorrida durante os experimentos, em Planaltina, DF, em 1988 (I), 1990 (II) e 1991(III).....  | 27 |
| 7  | Fluxograma do modelo CROPGRO-dry bean. ....  | 34 |
| 8  | Fator de restrição do crescimento em função da temperatura do ar para a fase vegetativa do feijão comum. Fonte: Boote et al., 1998b. ....  | 35 |
| 9  | Matéria seca total observada e simulada, do cultivar Mineiro Precoce, espaçamento de 0,40 m, e adubação de 300 (a) e 500 kg.ha <sup>-1</sup> (b), em Santo Antônio de Goiás, GO. A amplitude das barras verticais representa o desvio padrão.....          | 49 |
| 10 | Matéria seca total observada e simulada, do cultivar Carioca, espaçamento de 0,60 m, e adubação de 300 (a) e 500 kg.ha <sup>-1</sup> (b), em Santo Antônio de Goiás, GO. A amplitude das barras verticais representa o desvio padrão.....                  | 50 |
| 11 | Índice de área foliar (IAF) observado e simulado, do cultivar Mineiro Precoce, espaçamento de 0,40 m, e adubação de 300 (a) e 500 kg.ha <sup>-1</sup> (b), em Santo Antônio de Goiás, GO. A amplitude das barras verticais representa o desvio padrão..... | 51 |

- 12 Índice de área foliar (IAF) observado e simulado, do cultivar Carioca, espaçamento de 0,60 m, e adubação de 300 (a) e 500 kg.ha<sup>-1</sup> (b), em Santo Antônio de Goiás, GO. A amplitude das barras verticais representa o desvio padrão..... 52
- 13 Matéria seca total observada e simulada, do cultivar Mineiro Precoce, espaçamento de 0,30 m, e adubação de 300 (a) e 500 kg.ha<sup>-1</sup> (b), em Santo Antônio de Goiás, GO. A amplitude das barras verticais representa o desvio padrão..... 56
- 14 Matéria seca total observada e simulada, do cultivar Mineiro Precoce, espaçamento de 0,50 m, e adubação de 300 (a) e 500 kg.ha<sup>-1</sup> (b), em Santo Antônio de Goiás, GO. A amplitude das barras verticais representa o desvio padrão..... 57
- 15 Matéria seca total observada e simulada, do cultivar Carioca, espaçamento de 0,40 m, e adubação de 300 (a) e 500 kg.ha<sup>-1</sup> (b), em Santo Antônio de Goiás, GO. A amplitude das barras verticais representa o desvio padrão. .... 58
- 16 Matéria seca total observada e simulada, do cultivar Carioca, espaçamento de 0,50 m, e adubação de 300 (a) e 500 kg.ha<sup>-1</sup> (b) em Santo Antônio de Goiás, GO A amplitude das barras verticais representa o desvio padrão..... 59
- 17 Índice de área foliar (IAF) observado e simulado, do cultivar Mineiro Precoce, espaçamento de 0,30 m, e adubação de 300 (a) e 500 kg.ha<sup>-1</sup> (b), em Santo Antônio de Goiás, GO. A amplitude das barras verticais representa o desvio padrão..... 60
- 18 Índice de área foliar observado e simulado, do cultivar Mineiro Precoce, espaçamento de 0,50 m, e adubação de 300 (a) e 500 kg.ha<sup>-1</sup> (b), em Santo Antônio de Goiás, GO. A amplitude das barras verticais representam o desvio padrão..... 60
- 19 Índice de área foliar observado e simulado, do cultivar Carioca, espaçamento de 0,40 m, e adubação de 300 (a) e 500 kg.ha<sup>-1</sup> (b), em

|   |    |
|---|----|
| Santo Antônio de Goiás, GO. A amplitude das barras verticais representa o desvio padrão.....  | 61 |
| 20 Índice de área foliar observado e simulado, do cultivar Carioca, espaçamento de 0,50 m, e adubação de 300 (a) e 500 kg.ha <sup>-1</sup> (b), em Santo Antônio de Goiás, GO. A amplitude das barras verticais representa o desvio padrão..... | 62 |
| 21 Produtividade média potencial simulada, para o cultivar Carioca, espaçamento de 0,60 m, em Santo Antônio de Goiás, GO.....   | 71 |
| 22 Variação mensal da temperatura média do ar, radiação solar global média, e precipitação mensal para Santo Antônio de Goiás, GO. ....   | 72 |
| 23 Freqüência relativa de produtividades potenciais simuladas para todas as datas de semeadura analisadas, para o cultivar Carioca, em Santo Antônio de Goiás, GO. ....   | 73 |
| 24 Produtividade real média simulada para o cultivar Carioca, espaçamento de 0,60 m, adubação de 500 kg.ha <sup>-1</sup> , em Santo Antônio de Goiás, GO.....   | 74 |
| 25 Extrato do balanço hídrico climatológico normal mensal, segundo Thornthwaite & Mather (1955), para CAD igual a 60 mm, em Santo Antônio de Goiás, GO. ....  | 77 |
| 26 Freqüência relativa de produtividades reais simuladas para todas as datas de semeadura analisadas, para o cultivar Carioca, adubação de 500 kg.ha <sup>-1</sup> , em Santo Antônio de Goiás, GO. ....  | 79 |
| 27 Variação anual da quebra relativa de produtividade média nas diferentes datas de semeadura, para o cultivar Carioca, simulada, em Santo Antônio de Goiás, GO. ....   | 80 |
| 28 Freqüências relativas da quebra relativa de produtividade simulada para todas as datas de semeadura analisadas para o cultivar carioca, em Santo Antônio de Goiás, GO.....   | 84 |

## LISTA DE TABELAS

|    |   |    |
|----|---|----|
| 1  | Características físicas e hídricas do solo da área experimental, em Santo Antônio de Goiás, GO. ....  | 28 |
| 2  | Características químicas do solo da área experimental, em Santo de Antônio de Goiás, GO. ....   | 28 |
| 3  | Características físicas e hídricas do solo da área experimental, em Planaltina, DF. ....  | 29 |
| 4  | Características químicas do solo da área experimental, em Planaltina, DF. ....  | 29 |
| 5  | Número médio de plantas por m <sup>2</sup> na semeadura e na emergência, para os cultivares Mineiro Precoce e Carioca, e duas doses de adubação. ....   | 31 |
| 6  | Elementos climáticos, parâmetros de solo, e manejo necessários para a simulação pelo modelo CROPGRO-dry bean. ....  | 40 |
| 7  | Coefficientes genéticos modificados para calibração do CROPGRO-dry bean, para o cultivar Mineiro Precoce, espaçamento de 0,40 m, e adubação de 300 e 500 kg.ha <sup>-1</sup> . ....   | 46 |
| 8  | Coefficientes genéticos modificados para calibração do CROPGRO-dry bean, para o cultivar Carioca, espaçamento de 0,60 m, e adubação de 300 e 500 kg.ha <sup>-1</sup> . ....   | 47 |
| 9  | Produtividade de grãos (kg.ha <sup>-1</sup> ) do feijoeiro, cultivares Mineiro Precoce e Carioca, nos espaçamentos de 0,40 e 0,60 m, com adubação de 300 e 500 kg.ha <sup>-1</sup> , observados e simulados pelo CROPGRO-dry bean, em Santo Antônio de Goiás, GO. ....      | 54 |
| 10 | Produtividade de grãos simulada e observada (kg.ha <sup>-1</sup> ) para o feijoeiro, cultivares Mineiro Precoce, espaçamentos de 0,30 e 0,50 m, e Carioca, espaçamentos de 0,40 e 0,50 m, e adubação de 300 e 500 kg.ha <sup>-1</sup> , em Santo Antônio de Goiás, GO. .... | 63 |
| 11 | Número de grãos por vagem observado e simulado para o feijoeiro, cultivares Mineiro Precoce, espaçamentos de 0,30 e 0,50 m, e Carioca,  |    |

|  |    |
|--|----|
| espaçamento de 0,40 e 0,50 m, e adubação de 300 e 500 kg.ha <sup>-1</sup> , em Santo Antônio de Goiás, GO.....   | 65 |
| 12 Massa de 100 grãos (M100) observada e simulada para o feijoeiro, cultivares Mineiro Precoce, espaçamentos de 0,30 e 0,50 m, e Carioca, espaçamento de 0,40 e 0,50 m, e adubação de 300 e 500 kg.ha <sup>-1</sup> , em Santo Antônio de Goiás, GO..... | 67 |
| 13 Produtividade de grãos simulada e observada (kg.ha <sup>-1</sup> ) para o feijoeiro, cultivar Carioca, tensões de água no solo de 33 e 100 kPa, durante 1988, 1990 e 1991, em Planaltina, DF.....   | 68 |
| 14 Produtividades potenciais médias, e respectivos desvios padrões (DP), coeficientes de variação (CV), para o cultivar Carioca, espaçamento de 0,60 m, em Santo Antônio de Goiás, GO.....   | 70 |
| 15 Produtividade real média, e respectivos desvios padrões (DP), coeficientes de variação (CV), para o cultivar Carioca, espaçamento de 0,60 m, adubação de 500 kg.ha <sup>-1</sup> , em Santo Antônio de Goiás, GO.....                                 | 76 |
| 16 Freqüência de quebra relativa de rendimento da cultura do feijoeiro, em %, para o cultivar Carioca, espaçamento de 0,60 m e adubação de 500 kg.ha <sup>-1</sup> , para Santo Antônio de Goiás, GO.....  | 83 |

# UTILIZAÇÃO DO MODELO CROPGRO - dry bean NA ANÁLISE DE RISCO CLIMÁTICO DA CULTURA DO FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* L.) NA REGIÃO DE CERRADOS.

Autora: **ELZA JACQUELINE LEITE MEIRELES**

Orientador: **Prof. Dr. ANTONIO ROBERTO PEREIRA**

## RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo determinar as épocas de semeadura com menores riscos para a cultura do feijoeiro, em condições de sequeiro e irrigada, em Santo Antônio de Goiás, GO, utilizando-se as produtividades potencial e real, e a quebra relativa de produtividade, simuladas pelo modelo CROPGRO-dry bean, do Sistema DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer).

Inicialmente, foi feita a calibração dos coeficientes genéticos para os cultivares Mineiro Precoce e Carioca, utilizando-se os espaçamentos de 0,40 e 0,60 m, respectivamente, e duas doses de adubação, 300 e 500 kg.ha<sup>-1</sup> da formulação 4-30-16, como também, os dados fenológicos, climáticos e de solo, medidos em Santo Antônio de Goiás. Posteriormente, o modelo calibrado foi testado em duas situações: a) Comparando dados observados e simulados de fenologia (datas de antese e de maturação fisiológica), índice de área foliar (IAF), matéria seca total, componentes de produção e produtividade, utilizando-se os espaçamentos, de 0,30 e 0,50 m, para o cultivar Mineiro Precoce, e de

0,40 e 0,50 m, para o Carioca, para as duas adubações, em Santo Antônio de Goiás; b) Comparando produtividades observadas a campo e simuladas, empregando-se dados experimentais do cultivar Carioca, e diferentes tensões de água no solo durante três anos, para Planaltina, DF.

Finalmente, utilizando-se uma série histórica de 21 anos de Santo Antônio de Goiás, analisou-se o risco de quebra relativa de produtividade, considerando-se as produtividades potencial e real simuladas, identificando-se as épocas de semeadura de menores riscos para o cultivo do feijoeiro. O modelo simulou satisfatoriamente a fenologia, a produtividade, e os componentes de produção, para os cultivares Mineiro Precoce e Carioca, nas duas doses de adubação e diferentes espaçamentos entre linhas. Embora o IAF e a produção de matéria seca total tenham apresentado correlações significativas entre valores observados e simulados, ocorreram subestimativas e superestimativas, ora no estágio vegetativo, ora no reprodutivo, para as diferentes situações. Constatou-se que alguns pontos simulados ficaram fora dos intervalos de confiança dos desvios padrões, indicando possíveis erros, sendo uma das limitações para se calibrar adequadamente um modelo de simulação. Tais erros podem estar relacionados à variabilidade espacial dos dados de solo, à coleta e amostragem de dados, e à incidência de pragas e doenças em algumas fases da cultura, fatores não considerados pelo modelo.

O modelo calibrado para Santo Antônio de Goiás poderá ser utilizado em outras regiões, pois simulou satisfatoriamente a produtividade para Planaltina, desde que não ocorra deficiência hídrica muito severa.

Sendo a cultura do feijoeiro de alto risco climático, é conveniente que se utilize irrigação suplementar nas semeaduras das “secas” e das “águas”, em Santo Antônio de Goiás, pois observou-se quebra de produtividade acima de 50% na semeadura das “secas”, e, em média, 34% na das “águas”. Na semeadura de “Inverno” é necessário a irrigação durante todo o ciclo da cultura, pois foram verificados riscos acima de 95% nas quebras de rendimento.



# **USING THE CROPGRO MODEL - dry bean - TO ANALYZE THE CLIMATE RISK OF DRY BEAN CROP (*PHASEOLUS VULGARIS* L.) AT THE CERRADOS REGION.**

Author: **ELZA JACQUELINE LEITE MEIRELES**

Adviser: Prof. PhD. **ANTONIO ROBERTO PEREIRA**

## **SUMMARY**

The objective of this study was to determine the sowing dates with the lowest risk for the dry bean crop, under rainfall and irrigation conditions, at Santo Antônio de Goiás, GO. Potential and actual yields and the relative yield decrease were simulated with the CROPGRO-dry bean model, of the DSSAT system (Decision Support System for Agrotechnology Transfer).

At first, a calibration of the genetic coefficients were done for the Mineiro Precoce and Carioca cultivars, sowed at 0.40 and 0.60 m between rows, respectively, and with two fertilization amounts, 300 and 500 kg.ha<sup>-1</sup> of 4-30-16 fertilizer, using phenology, climate and soil data of Santo Antônio de Goiás. Later, the calibrated model was tested in two situations: a) Comparing observed and simulated records of phenology (anthesis and maturity date), leaf area index (LAI), total dry matter, yield components and yield, using the Mineiro Precoce cultivar at 0.30 and 0.50 m between rows space, and the Carioca at 0.40 and 0.50 m, for two fertilization amounts at the Santo Antônio de Goiás; b) Comparing observed and simulated yields using experimental records for the Carioca cultivar with different soil water contents during three years, at Planaltina, DF.

Finally, a historic climate series of 21 years for Santo Antônio de Goiás, was used to analyze relative yield reduction, considering the potential and actual yields simulated by the calibrated model, identifying the sowing dates with the lowest climatic risk.

Satisfactory simulation of the phenology, grain yield, and yield components was obtained for the Mineiro Precoce and Carioca cultivars, at the two fertilization amounts and different rows space.

Although LAI and the total dry matter had significant correlations between observed and simulated values, under estimation and over estimation occurred, sometimes at the vegetative stage, sometimes at the reproductive stage for different situations. Some points fell out of the confidence interval of the standard deviation, conditioning possible errors, being a limitation for a good calibration of the model. Such errors were related to the spatial variability of soil data, to the register and sampling, and to diseases and pests at some stage of the crop, factors not considered by the model.

It seems that the calibrated model for the Santo Antônio de Goiás region, can be used for other regions, because a good yield simulation was obtained for Planaltina, if severe water deficits doesn't occur.

Because the dry bean is a crop high climatic risk, it is recommendable the use of irrigation at the sowing dates in the dry or humid season at the Santo Antônio de Goiás region. Relative yield reductions of more than 50% were observed at the dry seasons, and of 34% at the humid seasons. For the winter season, the irrigation is necessary during all the crop cycle, because risk of more than 95% of the yield reduction were verified.

## 1 INTRODUÇÃO

Na agricultura moderna, incrementos nos rendimentos e redução dos custos dependem cada vez mais do uso criterioso de recursos disponíveis. Neste processo, o agricultor deve tomar decisões em função dos fatores de produção disponíveis e dos níveis de risco envolvendo sua atividade, visando obter maior rentabilidade. Dentre todos os fatores envolvidos, o clima apresenta-se como praticamente, incontrolável. Não são poucos os exemplos de quebras de safras devido à ocorrência de adversidades climáticas, causando enormes prejuízos. Em vários anos, tem-se observado significativas quebras nos rendimentos devido a problemas com o clima, principalmente relacionados à ocorrência de secas.

Conhecer as características climáticas de uma região, serve de base para a definição de estratégias de manejos que minimizem o risco oriundo das variações na disponibilidade hídrica, de eventos climáticos extremos, como também de sua influência na incidência de pragas e doenças, contribuindo para a política agrícola e para a alocação de recursos.

Visando melhor conhecimento das respostas das culturas ao ambiente, modelos de simulação são utilizados como ferramenta de grande potencial na análise de sistemas cultivados, permitindo o estudo e o entendimento do sistema solo-planta-atmosfera, e estimando a performance da cultura em diferentes áreas e situações possíveis.

A modelagem no Brasil está sendo utilizada, principalmente, nos estudos de zoneamento de riscos climáticos para algumas culturas, tais como: arroz (Meireles et al., 1995; Silva et al., 1997; Thomé et al., 1997a), feijão (Meireles et al., 1996, 1997a, 1997b; Silva et al., 1999; Thomé et al., 1997b;

Wrege et al., 1997) , milho (Sans et al., 1997), soja (Farias et al., 1997) e em sistemas de monitoramento ambiental, como no Estado do Paraná (Faria, 1999).

A cultura do feijoeiro é de grande importância social na alimentação do povo brasileiro, e pode ser considerada uma cultura de alto risco, em virtude de sua extrema sensibilidade às variações climáticas, como também, o ataque de pragas e doenças. Assim, selecionou-se esta cultura para a aplicação de um modelo de simulação, visto que, conforme mostra a literatura, poucos são os modelos de simulação desenvolvidos para a mesma.

Segundo Chikoye et al. (1996), destacam-se os seguintes modelos: PHASIM (White<sup>1</sup>, 1981); BEAN (Leith<sup>2</sup>, 1982); 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, em que a produtividade e o desenvolvimento da cultura são calculados pelos balanços de água, de nitrogênio e de carbono. O sistema é eficiente para analisar os efeitos de época de semeadura, uso de irrigação, população de plantas, e adubação nitrogenada, sobre a produtividade. Simulações de longo período, utilizando séries históricas 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

---

<sup>1</sup> WHITE, J.W. A quantitative analysis of the growth and development of bean plants. Bekerley, 1981.138p. Ph.D. Dissertation. University of California.

<sup>2</sup> LEITH, J.H. Light interception, growth dynamics and dry matter partitioning in phytotron growth snap bean (*Phaseolus vulgaris*). Raleigh, 1982. 138p. Ph.D. Dissertation – University of North Carolina.

estimar os riscos envolvidos, assim como a sistemas de informação geográfica para sua espacialização.

Assim, propõe-se como objetivos desse trabalho:

- Calibrar o modelo CROPGRO-dry bean para os cultivares Mineiro Precoce e Carioca, em espaçamentos de 0,40 e 0,60 m entre linhas, respectivamente, e adubações de 300 e 500 kg.ha<sup>-1</sup>.

- Testar a performance do modelo calibrado para estimar a produtividade e o desenvolvimento do feijoeiro utilizando-se os espaçamentos de 0,30 e 0,50 m para o cultivar Mineiro Precoce, e de 0,40 e 0,50 m para o Carioca, para as duas doses de adubação, em Santo Antônio de Goiás, GO.

- Testar o modelo calibrado para a região de Planaltina, DF, utilizando-se o cultivar Carioca, para comparar as produtividades observadas a campo com aquelas simuladas.

- Aplicar o modelo calibrado para a determinação das épocas de semeadura com menores riscos, para as condições de sequeiro e irrigada, utilizando-se o cultivar Carioca e simulações de longo período na região de Santo Antônio de Goiás, GO.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 A cultura do feijoeiro**

#### **2.1.1 Aspectos gerais da produção**

O feijoeiro é uma das culturas mais importantes dentre as leguminosas na América Latina, em muitas regiões da África e em alguns países da Ásia. Esta cultura apresenta ampla faixa de adaptação e representa importante fonte de proteínas para a alimentação humana. O Brasil tem posição de destaque na produção mundial de feijão, contribuindo com mais de 20% da área total plantada no mundo, nos últimos anos. É tradicionalmente cultivado nas épocas das “águas” (semeado em Outubro/Novembro) e das “secas” (semeado em Janeiro/Fevereiro). Em algumas regiões, há uma terceira época, a de “Inverno” (cultivado de Maio a Setembro). A safra das “águas” apresenta um inconveniente, que é o risco de chuvas no período da colheita, que pode comprometer a produção. Na safra das “secas”, o risco de falta ou distribuição irregular de chuvas é maior, afetando sensivelmente o rendimento (Fiegenbaum et al., 1991). O feijão de “Inverno”, cultivado no período seco, sob irrigação, vem atraindo médios e grandes produtores, geralmente, usuários de melhor tecnologia.

Apesar da posição de destaque do Brasil, na produção mundial de feijão e de sua importância social como alimento básico da maioria da população, a produção total de feijão do país tem apresentado grande instabilidade ao longo do tempo, com produtividade extremamente baixa nos cultivos tradicionais. Ultimamente, o perfil da produção de feijão tem mudado com a introdução da

terceira safra, sob irrigação, em regiões que não apresentam restrições de baixa temperatura e onde a precipitação pluvial é insuficiente (Silveira et al., 1981). A exemplo, considerando-se a safra de 1994 das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, responsáveis por 74% da produção brasileira, a safra das “águas” representou 37% da área plantada e 42% da produção; a safra da “seca” foi responsável por 22% da área ocupada e por 23% da produção; e, na terceira safra, foram respectivamente de 6 e 11%.

A cultura do feijoeiro cultivada no inverno, proporciona altas produtividades, redução dos riscos, colocação do produto no mercado em épocas não convencionais, com a produção de sementes de melhor qualidade (Silva et al., 1989). Considerando-se que a região do cerrado praticamente não apresenta limitações quanto à temperatura e radiação solar ao cultivo do feijoeiro, ela pode ser explorada no período do Outono/Inverno (Abril a Setembro), sob irrigação. Naquela região, a irrigação proporciona, entre outras vantagens, a obtenção de até cinco safras a cada dois anos. Num esquema de rotação de culturas, pode-se ter até duas safras de feijão, intensificando o uso de máquinas, mão-de-obra e áreas cultivadas que, devido à distribuição irregular das chuvas, permanecem ociosas por períodos de até seis meses ao ano (EMBRAPA,1993).

Apenas em Goiás, o número de pivô central aumentou de 18, em 1985, para 966, em 1996. No mesmo período, a área irrigada passou de 559,5 ha para 71192 ha. Considerando-se duas safras irrigadas por ano, na segunda safra de 1995, o feijão ocupou 55% da área irrigada por pivô central com produtividade média de 2270 kg.ha<sup>-1</sup>. Em segundo lugar ficou o milho, com 23% da área e produtividade média de 7030 kg.ha<sup>-1</sup>, sendo a área restante ocupada por várias culturas como milho doce, tomate, soja, trigo, entre outras (Goiás, 1997).

O cultivo tecnificado de inverno (terceira época) é uma oportunidade viável para estabilizar a produção e o preço do produto ao consumidor. Esta é

uma alternativa para a ampliação da produção sem a expansão da área tradicional de lavoura com a cultura.

Não se pode desprezar o surgimento do novo tipo de agricultor, de alta tecnologia, capaz de produzir feijão de inverno com baixa incidência de pragas e doenças, atingindo rendimentos médios acima de 2000 kg.ha<sup>-1</sup>. Com a utilização de alta tecnologia, especialmente irrigação suplementar, a produção se transforma em atividade economicamente viável, inclusive para utilização de corretivos, adubação adequada, cultivares produtivos, controle de doenças, pragas e plantas daninhas. Sem irrigação, o cultivo pode ser considerado de alto risco. O cultivo de Inverno ocuparia as áreas de pousio para expansão da cultura no cerrado (Thung & Oliveira, 1998).

Stone & Pereira (1994a) relatam que o cultivo do feijoeiro irrigado ainda necessita de muitas informações básicas, uma vez que têm-se utilizado de tecnologias desenvolvidas para o cultivo de sequeiro, às vezes com pequenas adaptações. Assim, algumas modificações devem ser feitas, especialmente com relação ao cultivar, à adubação e à população de plantas.

## **2.1.2 Exigências climáticas do feijoeiro**

O clima é muito importante no desenvolvimento das plantas, uma vez que determina condições para a manutenção da dinâmica da vida. No caso do feijoeiro, os elementos que mais interferem no crescimento, desenvolvimento e produção são a temperatura, a radiação solar e a disponibilidade de água.

### **2.1.2.1 Exigência térmica**

Tanto altas como baixas temperaturas afetam o crescimento, os processos fisiológicos da planta e a produtividade. Para se conseguir produtividade ótima, a temperatura também deve ser ótima.



Fancelli e Dourado Neto (1999) consideram como ideal a temperatura média de 21°C, porém, são consideradas aptas aquelas regiões com valores médios entre 15 e 29 °C. Na América Latina, a temperatura média durante o ciclo da cultura, varia entre 17,5 e 25 °C, e normalmente, a época de semeadura busca a coincidência da floração com a temperatura de  $21 \pm 2$  °C, considerada ótima para essa etapa do desenvolvimento, desde que associada com adequada disponibilidade de água no solo (Mariot, 1989). A ocorrência de temperaturas acima ou abaixo da faixa ótima, dependendo da frequência e da duração, pode ocasionar sérios prejuízos ao estabelecimento, crescimento e desenvolvimento da cultura, resultando em baixo rendimento de grãos. Se as baixas temperaturas ocorrerem imediatamente após a semeadura, podem impedir, reduzir ou atrasar a germinação das plântulas, podendo resultar em baixa população de plantas e, conseqüentemente, baixa produtividade (Andrade, 1998). Durante o crescimento vegetativo, baixas temperaturas reduzem a altura da planta e o crescimento de ramos (Crookston et al., 1975), conduzindo à produção de pequeno número de vagens por planta (Farlow et al., 1979). No florescimento, a predominância de temperaturas baixas pode afetar o processo de fecundação das flores. A germinação do pólen do feijoeiro é reduzida por temperaturas inferiores a 10 °C, ao passo que temperaturas abaixo de 16,8 °C favorecem a redução do crescimento do tubo polínico interferindo no processo de fertilização (Farlow et al., 1979).

A ocorrência de baixas temperaturas é fator limitante à semeadura do feijão de Outono-Inverno e Inverno-Primavera nas regiões da Zona da Mata e sul do Estado de Minas Gerais. No sul de Minas, no cultivo do Inverno-Primavera (semeadura em Julho) quando as temperaturas são baixas, acarretaram em atraso na germinação e emergência (Von Pinho et al., 1991) e também no início do florescimento (Dias et al., 1992).

Alta temperatura talvez seja a variável climática que exerce maior influência sobre abortamento de flores, vingamento e retenção final de vagens no feijoeiro (Dickson & Boettger, 1984; Portes, 1996).

Temperatura noturna entre 22 e 24 °C pode ser relativamente favorável ao florescimento, devido ao incremento na atividade metabólica da planta, porém, quando ultrapassa 24 °C é extremamente danosa para a formação e retenção de vagens (Fischer & Weaver, 1974). Comumente, a taxa de abscisão dos órgãos reprodutivos no feijão atinge de 50 a 70% do total de flores abertas (Mariot, 1989), mas pode aumentar em temperaturas superiores a 30 °C, durante o dia, e 25 °C, durante a noite (Kay, 1979). Em temperaturas superiores a 35 °C não ocorre vingamento de vagens (Stobbe et al., 1966).

Temperatura superior a 30 °C, além de resultar no aumento da taxa respiratória, provoca redução no número de grãos por vagem (Dickson & Boettger, 1984), podem promover o incremento da concentração de etileno na planta, composto relacionada ao processo de abscisão ou queda de folhas, flores e vagens (Abeles & Gahagan, 1968).

É importante ressaltar que alta temperatura pode ser decisiva na ocorrência de diversas doenças que acometem a cultura do feijoeiro, principalmente se associadas à alta umidade relativa do ar.

### **2.1.2.2 Exigência hídrica**

A água constitui-se em outro fator limitante do rendimento da cultura, pois interfere diretamente na absorção e translocação de nutrientes, na fotossíntese e translocação de assimilados, na transpiração, na respiração e, no crescimento e na produção de grãos (Guimarães, 1988). O feijoeiro é afetado tanto pelo estresse hídrico, como pelo excesso de água no solo, sendo classificado como planta muito sensível ao déficit hídrico, devido à sua baixa capacidade de recuperação após o estresse e ao sistema radicular pouco desenvolvido.

Os danos ocasionados pela deficiência hídrica dependem da duração, da intensidade, da frequência e da época de sua ocorrência. Por falta de umidade suficiente, as sementes, ao invés de germinarem, deterioram-se ou, se

germinarem, as plântulas não rompem a crosta superficial do solo, resultando em estande deficiente da cultura. Durante a fase vegetativa, o déficit hídrico tem efeito indireto na produção de grãos, pela redução da área assimilatória. Se a estiagem ocorrer durante a floração, provoca aborto e queda de flores, com redução do número de vagens por planta; se ocorrer no enchimento de grãos, prejudica a formação dos mesmos ou reduz seu peso (Guimarães, 1996).

O início da fase reprodutiva é considerado como a etapa de desenvolvimento mais crítica quanto à falta de água (Magalhães et al., 1979; Hostalácio & Válio, 1984). O estresse hídrico nesse estágio, além de retrair bruscamente a emissão de novas folhas, em plantas de hábito de crescimento indeterminado, provoca perda de produção entre 15 e 30% (Fancelli & Dourado-Neto, 1999). Por ocasião da floração, período de déficit hídrico de uma semana, pode acarretar perdas de 48% no rendimento; quando a limitação hídrica ocorre no período efetivo de formação de vagens, a perda chega a 58% (Garrido et al., 1979).

Assim, a cultura do feijoeiro requer boa disponibilidade hídrica no solo durante todo o ciclo, principalmente nas etapas mais críticas de germinação/emergência, de floração, e de enchimento de grãos.

Para obtenção da máxima produtividade, as necessidades hídricas da cultura variam de 300 a 500 mm durante o seu ciclo fenológico, dependendo das condições climáticas (Doorenbos & Kassan, 1979).

### **2.1.2.3 Radiação solar**

A radiação solar é outro elemento climático de grande importância para o feijoeiro, principalmente, por causa de seu efeito nas taxas de fotossíntese. O valor de saturação de radiação solar varia com a idade e o tipo da planta. Laing et al. (1983) mencionam que de 150 a 250  $J.m^{-2}.s^{-1}$  (12,96 a 21,60  $MJ.m^{-2}.dia^{-1}$ ) são intensidades de saturação de radiação solar para o feijoeiro. Sendo o feijoeiro uma planta  $C_3$ , esta satura-se fotossinteticamente a intensidades de luz relativamente baixas. Para folhas isoladas, além de 40 klux (1 klux  $\cong$  10  $W.m^{-2}$ ,

para luz solar) não há aumento na taxa fotossintética (Tanaka & Fujita, 1979). Porém, trabalhando com planta inteira, Sale (1975) encontrou o ponto de saturação por luz entre 600 a 650  $W.m^{-2}$ ; valor muito superior, ao encontrado para folhas isoladas.

O efeito da baixa e alta luminosidade sobre área foliar, número de estômatos, comprimento de internódios e outros, são relacionados em alguns trabalhos. Magalhães & Montojos (1971) estudaram os cultivares Carioca e Pintado em condições de alta e baixa radiação solar. Os índices de área foliar foram menores quando as plantas foram submetidas à baixa luminosidade. Em condições de alta luminosidade a variedade Pintado alcançou valores mais altos de índice de área foliar do que o Carioca. Mas, devido à sua grande eficiência fotossintética, o Carioca apresentou maiores produções de grãos sob ambos os regimes de radiação solar.

Analisando o desempenho de quatro cultivares de feijoeiro (Gordo, Rico 23, Iguazu e Carioca) em condições de luz plena e de sombreamento artificial (30% da luz plena), Portes et al. (1980) observaram que todos os cultivares apresentaram reduções do índice de área foliar, exceto o Rico 23, que apresentou um leve aumento. Possivelmente, por este fato, o Rico 23 teve a menor queda de rendimento sob sombreamento. Os índices fenológicos, como dias para emergência (abertura das folhas primárias), floração e maturação, não foram afetados pelo sombreamento. Houve alongamento dos entrenós para todas as variedades. O número de entrenós da variedade Gordo (tipo determinado arbustivo) foi reduzido, permanecendo constante para as demais.

## **2.2 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 estudo e entendimento do conjunto, estimando a performance da cultura em diferentes áreas e situações.

Visando o 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.

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 (Monteith, 1996). Modelos 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 (Gedanken, 1998).

De acordo com Boote et al. (1996), os principais motivos para o desenvolvimento de modelos: (i) são ferramentas importantes para resumir o conhecimento científico; (ii) auxiliam na tomada de decisão agrícola; (iii) são

úteis no planejamento. Costa (1997) acrescenta mais dois itens: (iv) grande potencial didático do desenvolvimento de modelos; e (v) orientação e racionalização do uso de experimentos convencionais.

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, pode-se avaliar complexas estratégias de manejo interagindo com diversas decisões como irrigação, fertilização, datas de semeadura, dentre outras (Booges & Ritchie, 1988).

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

### **2.2.1 Classificação dos modelos de simulação**

Devido ao avanço do desenvolvimento e utilização dos modelos, tornou-se necessário classificá-los a fim de se obter uma descrição mais simples. Desenvolveram-se vários sistemas de classificação, considerando-se principalmente a arquitetura e a filosofia dos modelos.

Dentre os vários modelos existentes, destacam-se os que apresentam maior importância em estudos de simulação do desenvolvimento de culturas: mecânicos, empíricos, dinâmicos, determinísticos e estocásticos. A seguir, são descritas algumas características principais de cada um deles.

Modelos mecânicos são aqueles que têm sua estrutura baseada na descrição do processo que ocorre no sistema real considerado, isto é, existe a

tentativa de se considerar os princípios físicos e biológicos que ocorrem no sistema. Esse modelos procuram entender o que ocorre no nível  $i$  baseado nos processos que ocorrem no nível  $i-1$  (Costa, 1997). São mais complexos que os modelos empíricos e seu desenvolvimento requer um entendimento completo do sistema a ser modelado, evidenciando assim, áreas com deficiência de conhecimento.

Modelos empíricos são constituídos de funções que são escolhidas arbitrariamente com o objetivo apenas de promover bons ajustes entre os dados observados e simulados (Monteith, 1996). Segundo Costa (1997), modelos empíricos não consideram o entendimento científico do sistema, e apresentam restrições quanto à extrapolação de seus resultados, mas, têm grande potencial na previsão de produtividade de culturas, dentro da região em que foi desenvolvido.

Os modelos determinísticos fornecem resultados sem nenhum grau de probabilidade associado aos mesmos. Modelos estocásticos são aqueles que apresentam um grau de probabilidade associado à sua resposta (Costa, 1997; Gedanken, 1998).

Os modelos dinâmicos consideram as variações temporais que ocorrem no sistema a ser modelado. Wisiol (1987) acrescenta os modelos estáticos, os quais são representados por equações algébricas que não consideraram a variável tempo, e portanto, o estado inicial do sistema.

Apesar das vantagens dos modelos mecanísticos em relação aos empíricos, a complexidade dos fenômenos biológicos envolvidos faz com que os modelos apresentem combinação de ambos, sendo esta combinação amplamente utilizada nos modelos existentes.

## 2.2.2 Vantagens dos modelos de simulação

O uso de modelos bem elaborados traz inúmeras vantagens pois resumem convenientemente uma série de informações, permitem avanços no conhecimento da planta e suas respostas ao ambiente, e podem ajudar a esclarecer pontos em que o conhecimento seja limitado. Além disso, podem estimular o trabalho em equipe, facilitar o planejamento e indicar prioridades na pesquisa.

Segundo Boote et al. (1996), modelos simples são de fácil compreensão, utilização e aplicabilidade, e freqüentemente necessitam de poucos dados de entrada. Modelos sofisticados ou mecanísticos são mais hábeis em modelar as diferenças entre os genótipos e o ambiente, visando incluir os mecanismos de “feedback” intrínsecos, e manipular as várias condições de manejo da cultura.

Segundo Pereira (1987), pode-se mencionar que: a) a tentativa de construir um modelo ajuda a detectar áreas onde o conhecimento e dados são escassos; b) a modelagem estimula novas idéias; c) comparados com métodos tradicionais, os modelos fazem, geralmente, melhor uso de dados que estão se tornando mais caros; d) modelos permitem interpolação e previsão; e) um modelo resume convenientemente grande quantidade de informações; f) um bom modelo pode ser usado para sugerir prioridades de recursos na pesquisa; g) a base matemática para as hipóteses adotadas permite compreender quantitativamente, a natureza das interações ambiente-planta e discernir entre hipóteses alternativas. Thornley (1976) acrescenta que a elaboração de modelos matemáticos de previsão de rendimento de uma cultura, é vantajoso, na exploração de estratégias para o gerenciamento e diminuição dos riscos na agricultura.



### **2.2.3 Limitações dos modelos de simulação**

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 incompatível 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 mecánísticas. Deve-se tomar precaução com as extrapolações das relações empíricas realizadas talvez, além das condições que 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.

## **2.3 Sistema DSSAT**

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

Network for Agrotechnology Transfer), (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 modelos para as culturas de arroz (CERES-rice), feijão (BEANGRO), sorgo (CERES-sorghum) e milheto (CERES-millet). A cultura de cevada (CERES-barley) foi adicionada ao sistema na versão 3.0, enquanto que a mandioca (CROPSIM-cassava) e a batata o foram na versão 3.1.

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, sendo que anteriormente, eles funcionavam isoladamente (Tsuji et al., 1994).

A versão 3.1 do DSSAT inclui CERES-generic, para as culturas de milho, trigo, cevada, milheto e sorgo; CERES-rice, para a cultura do arroz; CROPGRO, para as culturas da soja, feijão, amendoim, grão de bico, tomate, cana de açúcar e pastagem; OILCROP-sun, para a cultura do girassol; SUBSTOR-potato, para a cultura da batata e CROPSIM-cassava, para a cultura da mandioca.

A última versão do DSSAT (v3.5) 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, sendo que todos 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 e) avaliar diferentes práticas de manejo em um determinado local. Simulações são realizadas para diferentes tipos de culturas, solos, densidades de plantas e épocas de semeadura. Posteriormente, pode-se selecionar a cultura, o cultivar, a época de semeadura, as práticas culturais, o manejo de água e nutrientes que proporcionará os menores riscos.

A importância do DSSAT na tomada de decisão está na sua habilidade de analisar diferentes estratégias de manejo em função das condições de solo, clima e cultivar. O DSSAT é uma ferramenta de gerenciamento que pode melhorar a qualidade e diminuir o tempo nas tomadas de decisões pelos agentes tomadores de decisões (Jame & Cutforth, 1996).

## **2.4 Modelo CROPGRO**

Poucos modelos de simulação têm sido desenvolvidos para o feijoeiro. Segundo Chikoye et al. (1996), destacam-se os seguintes modelos: PHASIM (White, 1981), BEAN (Leith, 1982), 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".

O modelo CROPGRO simula os estágios de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo, acúmulo de biomassa durante as fases de crescimento e o rendimento de grãos para um cultivar específico, associados às condições de clima, de solo e de manejo da cultura. Os cultivares são representados por um grupo de coeficientes genéticos, sendo derivados de uma calibração com dados de experimentos em campo. Esses coeficientes descrevem as características de um dado 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 modelo CROPGRO define 13 estádios, e cada um ocorre quando uma determinada soma térmica é alcançada. Essa técnica é numericamente igual ao somatório de graus-dias (Jones et al., 1998). Os

valores limites desses índices térmicos são estabelecidos nos coeficientes genéticos. A biomassa é dividida entre diferentes órgãos da planta e seu acúmulo é regido pelo processo de fotossíntese, o qual depende da interceptação da luz, fotoperíodo, temperatura, estresses hídrico e de nitrogênio (Faria et al., 1997b).

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 por 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 chuva ou irrigação, o escoamento superficial, a absorção de água pelas raízes, a drenagem na zona radicular e a evapotranspiração (Ritchie, 1985, 1998).

## 2.5 Aplicação de modelos em agricultura

Considerando-se a utilização do modelo BEANGRO pode-se citar as seguintes aplicações: impacto global da mudança climática na produção do feijoeiro (Curry et al., 1990); efeito de tolerância e os mecanismos de adaptação do feijoeiro à seca (Hoogenboom et al.<sup>3</sup> (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).

Klosowski (1994) calibrou o modelo de simulação do crescimento e desenvolvimento da soja (SOYGRO) para oito cultivares plantados em Londrina, PR. Verificou-se, pela análise de sensibilidade, que o modelo é

---

<sup>3</sup> HOOGENBOOM, G.; JONES, J.W.; WHITE, J.W. Use of models in studies of drought tolerance. In: WHITE, J.W. et al. (Eds.) **Research on drought tolerance in common bean**. Cali, Bean Program, CIAT, Working Doc. 41, p.192-230, 1988.

sensível à variação dos coeficientes genéticos e pouco ou nada sensível à variação dos parâmetros de solo e de manejo da cultura. O desempenho do modelo foi mais adequado para estimar produtividade média dos cultivares BR-16, Bossier, BR-30 e Paraná do que para estimar a produtividade média dos cultivares BR-23, BR-24, OCEPAR-4 e Santa Rosa. Usando-se os valores médios de coeficientes genéticos e de produtividade média dos cultivares citados acima, o modelo mostrou-se viável para simular a duração do ciclo e estimar a produtividade da soja para a região de Londrina, PR.

Lima (1995) avaliou o modelo de milho (CERES-maize) em condições tropicais do Brasil, utilizando-se da calibração, da validação e do teste de sensibilidade dos principais parâmetros envolvidos para três cultivares XL-520, XL-380 e XL-6781. O índice de área foliar máximo e a biomassa dos três híbridos foram subestimados pelo modelo, com erros variando de 14 a 17%. Quanto ao rendimento de grãos, os ajustes foram satisfatórios, com erros inferiores a 7%.

Faria et al. (1997b) estudaram os benefícios econômicos de diferentes estratégias de manejo de irrigação utilizando-se 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. (1997a) calibraram o modelo de feijão (BEANGRO) para as 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 culturas de feijão em condições de sequeiro e irrigadas na região.

Gedanken (1998) utilizou o modelo CERES-maize a fim de estudar o consumo de água e a rentabilidade da cultura do milho, em três épocas de plantio, para as localidades de Sete Lagoas e Janaúba, ambas no Estado de Minas Gerais, estabelecendo e avaliando a base de dados necessária para sua utilização. Observou-se que a produção de milho verde irrigado, apesar do maior custo de produção, apresentou maior rentabilidade, quando comparada à produção de grãos.

Bastos (1999) adaptou o modelo CROPGRO para a simulação do crescimento da cultura do caupi (CROPGRO-cowpea), calibrou, avaliou a capacidade do modelo em simular a fenologia, produtividade de grãos e componentes da produção sob diferentes práticas de manejo para o Piauí, e aplicou o modelo em diferentes locais e condições hídricas, de modo a fornecer ao agricultor informações sobre o manejo de irrigação que proporcione a maior renda líquida. Verificou-se que o modelo CROPGRO-cowpea simulou satisfatoriamente os eventos fenológicos, bem como os componentes da produção e produtividade de grãos da cultura do caupi, para as condições edafoclimáticas dos municípios de Parnaíba e Teresina, Piauí.

Soler (2000) simulou o crescimento e desenvolvimento do milho "safrinha" utilizando-se o modelo CERES-maize, sob condições de sequeiro e irrigado, em duas regiões do Estado de São Paulo, com o objetivo de se conhecer as características genéticas desejáveis dos cultivares e as épocas de semeadura que proporcionem melhor performance da cultura durante o período da entressafra. Verificou-se que com o uso de irrigação e fertilizantes, nas duas regiões, o modelo simulou rendimentos mais elevados e maiores evapotranspirações durante o ciclo da cultura para os genótipos de ciclo longo e

com maior número de grãos por espiga. Além disso, nas duas regiões, tanto sob condições de sequeiro como sob irrigação, os maiores rendimentos foram simulados para a primeira época de semeadura (15 de Janeiro). Constatou-se que à medida em que se atrasou a semeadura, os rendimentos decresceram. E, a análise econômica realizada evidenciou que tanto para as culturas de sequeiro como sob irrigação, a região de Manduri apresentou as melhores condições para a cultura do milho “safrinha”.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

A calibração e o teste da performance do modelo CROPGRO-dry bean foram realizadas 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 da Embrapa – Cerrado, 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).

#### 3.1 Caracterização do clima

O clima das regiões de Santo Antônio de Goiás, GO, e Planaltina, DF, segundo a classificação de Köppen, é tipo Aw, ou seja, tropical de savana, megatérmico. As temperaturas médias anuais são 23°C para Santo Antônio de Goiás, e 22°C para Planaltina. Para a primeira localidade, Junho e Julho apresentam as menores médias de temperaturas mínimas (13,5°C), e Setembro apresenta a maior média de temperaturas máximas (31°C). Para a segunda localidade, a menor média de temperaturas mínimas (13°C) ocorre em Julho, e a maior média de temperaturas máximas (29,6°C), se dá em Setembro. Os regimes pluviométricos da regiões são bem definidos, com período chuvoso de Outubro a Abril, e período seco de Maio a Setembro, conforme mostram os extratos dos balanços hídricos (Figuras 1 e 2). As precipitações médias anuais somam 1491 mm em Santo Antônio de Goiás, e 1457 mm, em Planaltina. A



umidade relativa média anual é em torno de 70% para as duas regiões. Agosto apresenta a menor umidade relativa média com 52% em Santo Antônio de Goiás, e 57% em Planaltina; enquanto que a maior umidade relativa média verifica-se em Março (82%) para Santo Antônio de Goiás, e em Dezembro (77%) para Planaltina.

As Figuras 3 e 4, 5 e 6, apresentam os valores de temperaturas do ar, máximas e mínimas, e a radiação solar global ocorridas durante as fases experimentais, respectivamente, em Santo Antônio de Goiás, GO, e Planaltina, DF.

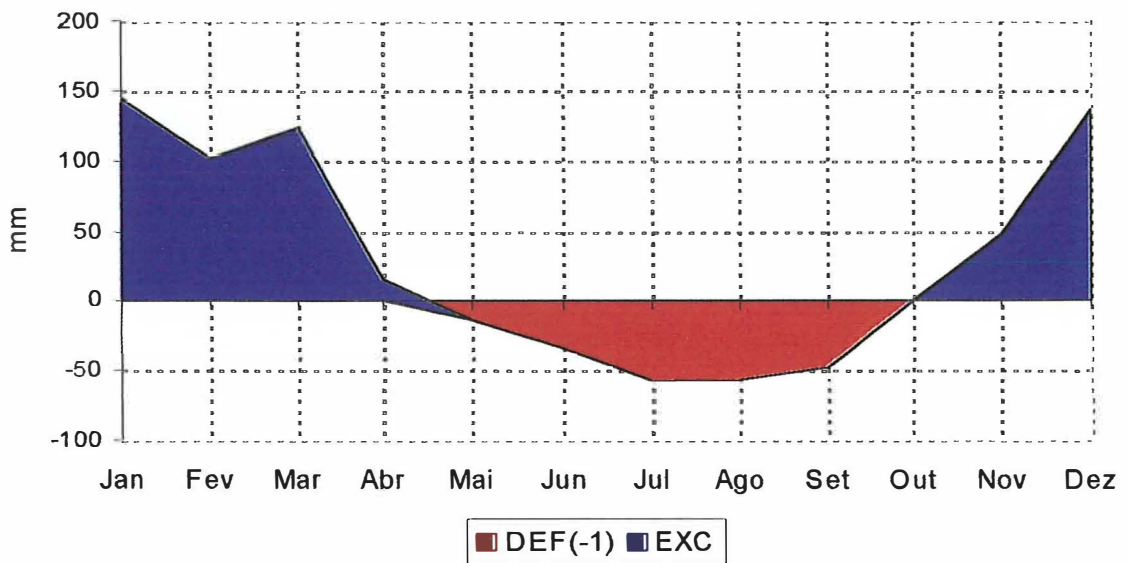


Figura 1. Extrato do balanço hídrico normal mensal, segundo Thornthwaite & Mather (1955), para CAD igual a 100 mm, em Santo Antônio de Goiás, GO.

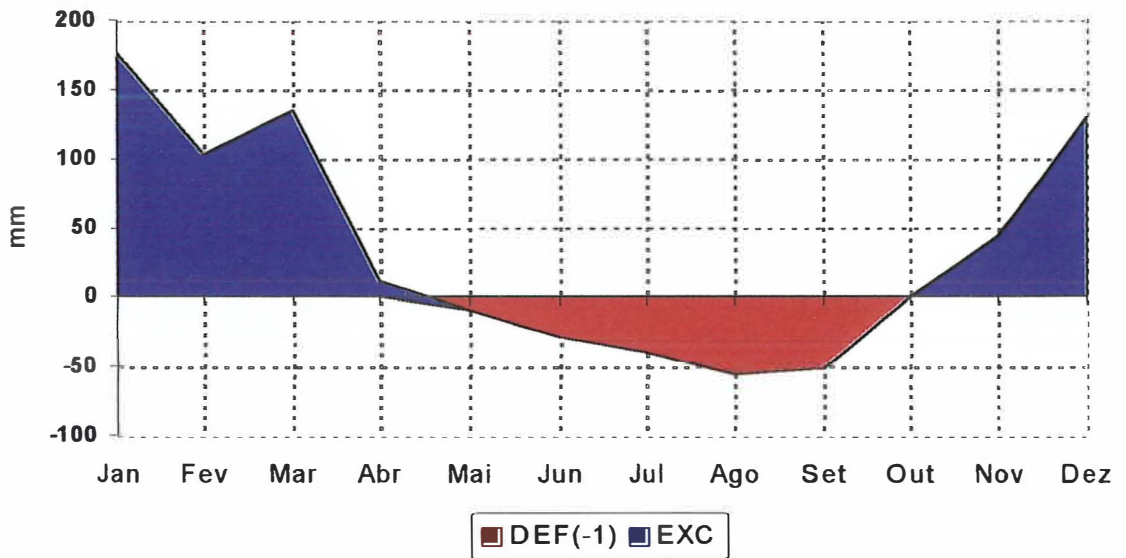


Figura 2. Extrato do balanço hídrico normal mensal, segundo Thornthwaite & Mather (1955), para CAD igual a 100 mm, em Planaltina, Brasília, DF.

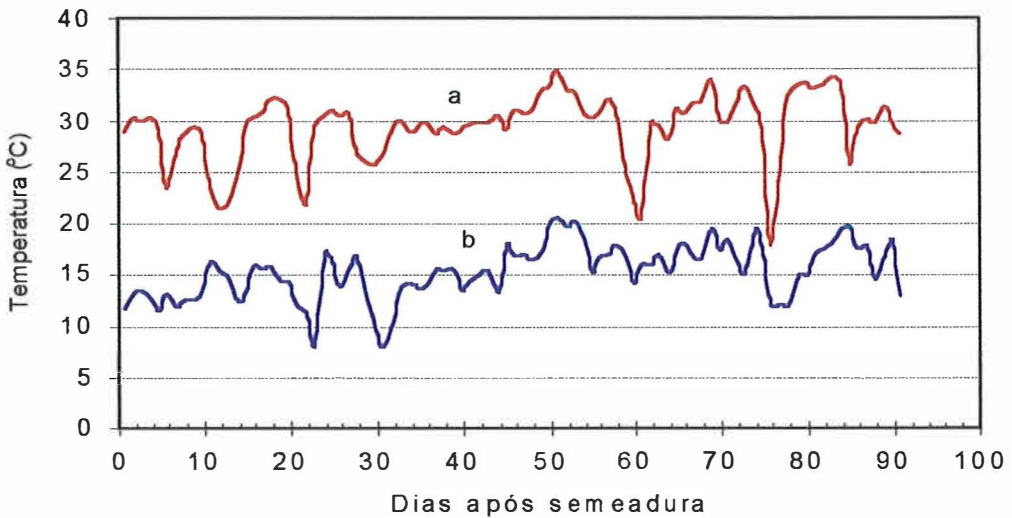


Figura 3. Temperaturas máxima (a) e mínima (b) durante o experimento, em Santo Antônio de Goiás, GO, 1990.

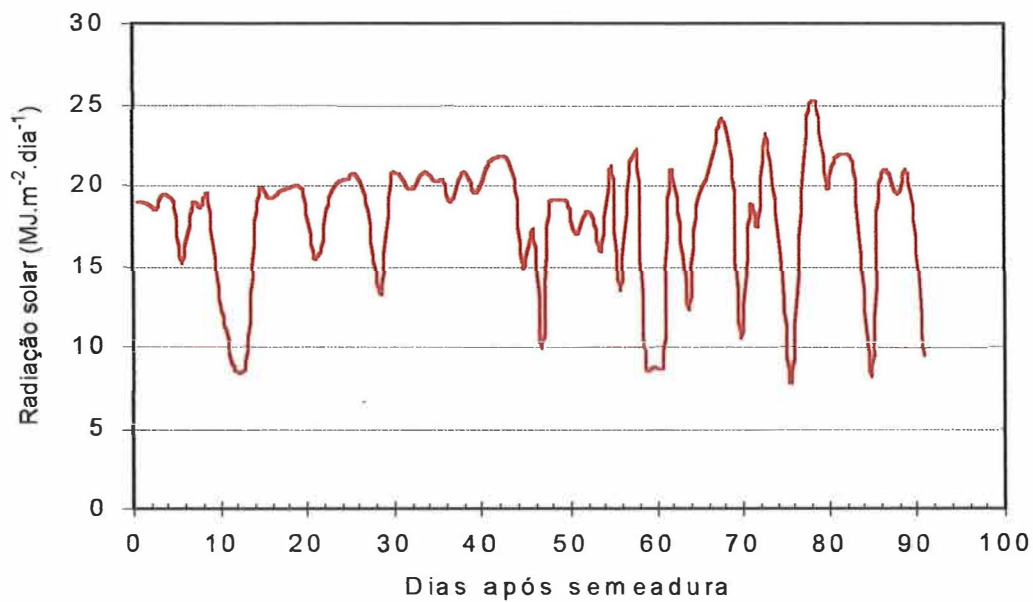


Figura 4. Radiação solar global estimada a partir da insolação ocorrida durante o experimento, em Santo Antônio de Goiás, GO, 1990.

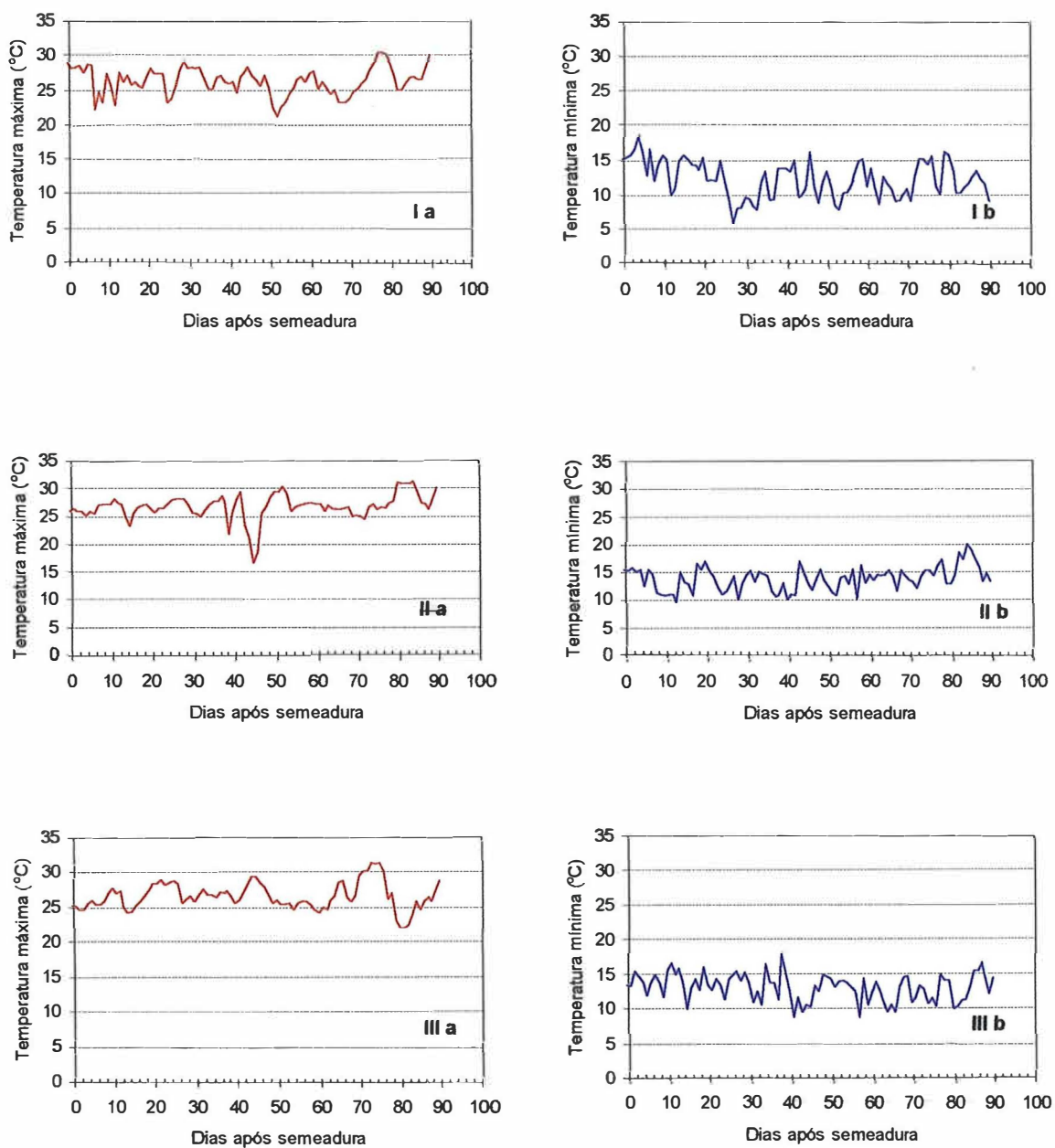


Figura 5. Temperaturas máxima (a) e mínima (b) durante os experimentos, em Planaltina, DF, em 1988 (I), 1990 (II) e 1991(III).

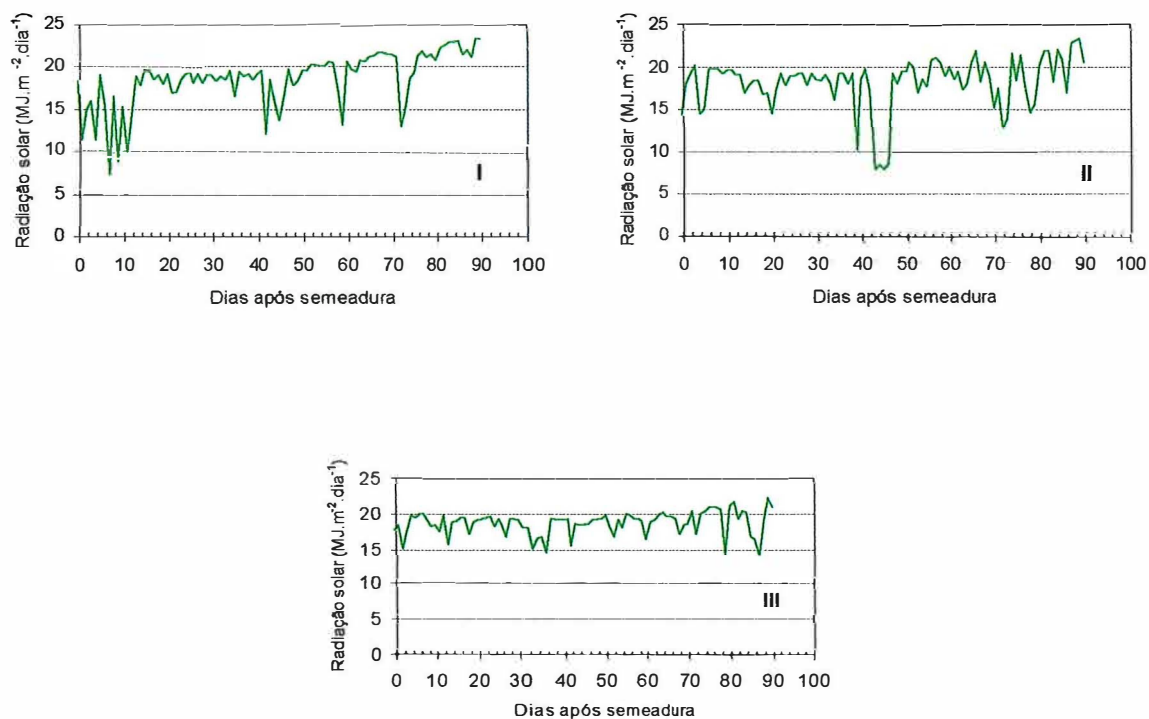


Figura 6. Radiação solar global estimada a partir da insolação ocorrida durante os experimentos, em Planaltina, DF, em 1988 (I), 1990 (II) e 1991(III).

## 3.2 Caracterização do solo

### 3.2.1 Município de Santo Antônio de Goiás, GO

O solo da área experimental é um Latossolo Vermelho perférrico. O resumo das características físicas, químicas e hídricas desse solo é apresentado nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Características físicas e hídricas do solo da área experimental, em Santo Antônio de Goiás, GO.

| Profundidade<br>(m) | Granulometria (%) |       |        | Massa<br>Específica<br>(10 <sup>3</sup> kg. m <sup>-3</sup> ) | Umidade (m <sup>3</sup> . m <sup>-3</sup> ) |               |                |
|---------------------|-------------------|-------|--------|---|---|---------------|----------------|
|                     | Areia             | Silte | Argila |   | $\Theta_{SAT}$                              | $\Theta_{CC}$ | $\Theta_{PMP}$ |
| 0,0 – 0,2           | 40                | 20    | 40     | 1,53  | 0,473                                       | 0,340         | 0,265          |
| 0,2 – 0,4           | 40                | 20    | 40     | 1,52  | 0,485                                       | 0,304         | 0,248          |

Fonte: Laboratório de Física de Solos da Embrapa – CNPAF.

Tabela 2. Características químicas do solo da área experimental, em Santo Antônio de Goiás, GO.

| Profundidade<br>(m) | pH em<br>água | P<br>ME/100ml | K <sup>+</sup> | Al <sup>3+</sup> | Ca <sup>2+</sup><br>ppm | Mg <sup>2+</sup> |
|---------------------|---------------|---------------|----------------|------------------|-------------------------|------------------|
| 0,0 – 0,2           | 5,1           | 5,6           | 34,0           | 0,5              | 1,0                     | 0,6              |
| 0,2 – 0,4           | 5,3           | 1,3           | 50,3           | 0,3              | 0,8                     | 0,5              |

Fonte: Laboratório de Fertilidade de Solos da Embrapa – CNPAF.

### 3.2.2 Município de Planaltina, DF

O solo da área experimental é um Latossolo Vermelho, cujas características físicas, químicas e hídricas estão apresentadas nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3. Características físicas e hídricas do solo da área experimental, em Planaltina, DF.

| Profundidade<br>(m) | Granulometria (%) |       |        | Massa<br>Específica<br>(10 <sup>3</sup> kg. m <sup>-3</sup> ) | Umidade (m <sup>3</sup> . m <sup>-3</sup> ) |                 |                  |
|---------------------|-------------------|-------|--------|---|---|-----------------|------------------|
|                     | Areia             | Silte | Argila |   | Θ <sub>SAT</sub>                            | Θ <sub>CC</sub> | Θ <sub>PMP</sub> |
| 0,00 – 0,15         | 41                | 8     | 51     | 1,07  | 0,383                                       | 0,304           | 0,236            |
| 0,15 – 0,30         | 42                | 9     | 49     | 1,30  | 0,354                                       | 0,304           | 0,253            |
| 0,30 – 0,45         | 41                | 9     | 50     | 1,11  | 0,394                                       | 0,326           | 0,248            |

Fonte: Laboratório de físico-hídrica de solos da Embrapa - CPAC, Planaltina, DF.

Tabela 4. Características químicas do solo da área experimental, em Planaltina, DF.

| Ano  | Profundidade<br>(m) | pH<br>(H <sub>2</sub> O) |                                  |       |            |        | Mat.Org.<br>(%) |
|------|---------------------|--------------------------|----------------------------------|-------|------------|--------|-----------------|
|      |                     |                          | AL<br>(meq.100ml <sup>-1</sup> ) | Ca+Mg | P<br>(ppm) | K      |                 |
| 1988 | 0,00-0,15           | 5,50                     | 0,00                             | 3,98  | 18,40      | 0,23   | 2,71            |
|      | 0,15-0,30           | 5,70                     | 0,00                             | 3,60  | 3,50       | 0,15   | 2,07            |
| 1990 | 0,00-0,15           | 6,50                     | 0,02                             | 5,49  | 12,00      | 63,00  | 2,66            |
|      | 0,15-0,30           | 6,30                     | 0,00                             | 3,41  | 5,40       | 36,00  | 2,56            |
| 1991 | 0,00-0,15           | 6,40                     | 0,02                             | 6,18  | 40,30      | 49,00  | 2,98            |
|      | 0,15-0,30           | 6,20                     | 0,02                             | 4,73  | 10,30      | 103,00 | 2,42            |

Fonte: Laboratório de Fertilidade do Solo da Embrapa- CPAC, Planaltina, DF.

### 3.3 Caracterização dos experimentos

#### 3.3.1 Município de Santo Antônio de Goiás, GO

Os dados experimentais utilizados foram obtidos de um delineamento inteiramente casualizado, em parcelas subdivididas, com seis repetições, considerando-se a adubação da cultura anterior (arroz) como parcela, a adubação como subparcela, e os demais fatores como fatorial nas subsubparcelas de 125 m<sup>2</sup> (10x12,5 m). As repetições foram feitas em áreas de 6 m<sup>2</sup> (3x2 m), dentro das subparcelas. Os tratamentos consistiram da combinação de quatro cultivares/linhagens (i.e., EMGOPA 201 – Ouro, Carioca, TC-1558-1 e Mineiro Precoce), três espaçamentos entre linhas (0,30, 0,40 e 0,50 m), duas adubações (300 e 500 kg.ha<sup>-1</sup> da fórmula 4-30-16) e três adubações aplicadas à cultura anterior (250, 400 e 550 kg.ha<sup>-1</sup> da fórmula 4-30-16). Para o cultivar Carioca, utilizou-se o espaçamento de 0,60 m entre linhas em substituição ao de 0,30 m (Stone e Pereira, 1994a e 1994b). Entretanto, aqui considerou-se apenas os cultivares Carioca e Mineiro Precoce, desprezando o efeito das três adubações aplicadas à cultura anterior.

A Tabela 5 apresenta as populações médias de plantas na semeadura (01/07/1990) e na emergência (08/07/1990) para os cultivares Mineiro Precoce e Carioca, nas duas doses de adubação. O cultivar Carioca é do tipo III, com crescimento indeterminado e plantas prostradas, ciclo normal de 90 dias. O cultivar Mineiro Precoce é do tipo I, crescimento determinado e plantas eretas, com ciclo precoce de 80 dias.

A irrigação por aspersão, via pivô central, foi conduzida 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).

Para a análise de crescimento foram feitas 10 amostragens semanais de plantas, com 2 repetições, começando no 14<sup>o</sup> dia após a emergência,



coletando-se três plantas por tratamento. A área foliar foi determinada utilizando-se um medidor de área marca LI-COR, modelo LI-3000. Após a secagem das plantas em estufa a 75 °C, determinou-se a massa seca. O índice de área foliar foi obtido pela multiplicação da área foliar média de uma planta, em m<sup>2</sup>, pelo número de plantas por m<sup>2</sup>.

Tabela 5. Número médio de plantas por m<sup>2</sup> na semeadura e na emergência, para os cultivares Mineiro Precoce e Carioca, e duas doses de adubação.

| Cultivar               | Semeadura                           |       | Emergência                          |       |
|------------------------|-------------------------------------|-------|-------------------------------------|-------|
|                        | (número de plantas/m <sup>2</sup> ) |       | (número de plantas/m <sup>2</sup> ) |       |
|                        | 300*                                | 500*  | 300*                                | 500*  |
| <b>Mineiro Precoce</b> |                                     |       |                                     |       |
| 0,30 m                 | 70,00                               | 62,51 | 58,33                               | 52,09 |
| 0,40 m                 | 48,37                               | 54,00 | 40,31                               | 45,00 |
| 0,50 m                 | 42,30                               | 36,30 | 35,25                               | 30,25 |
| <b>Carioca</b>         |                                     |       |                                     |       |
| 0,60 m                 | 38,79                               | 32,51 | 27,71                               | 27,09 |
| 0,40 m                 | 58,51                               | 46,88 | 48,76                               | 39,07 |
| 0,50 m                 | 36,60                               | 34,50 | 30,50                               | 28,75 |

\*doses de adubação em kg.ha<sup>-1</sup>.

Foram coletados, dados referentes à floração média (50% das plantas com flores), população final de plantas por m<sup>2</sup>, número médio de vagens por planta, número médio de grãos por vagem, peso médio de 100 grãos, produtividade média de grãos (kg.ha<sup>-1</sup>).

### 3.3.2 Município de Planaltina, DF

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições, sendo cada uma composta de seis tratamentos, com parcelas de 3,5 m x 6,0 m, onde foram testados seis níveis de tensão da água no solo, previamente estabelecidos em 33, 50, 70, 100, 500 e 1000 kPa. As fileiras de plantas foram dispostas no sentido do maior comprimento da parcela. Nos três anos, o experimento foi repetido na mesma área, porém, com sorteio das parcelas em cada ano.

Foi utilizado o cultivar Carioca, com ciclo aproximado de 90 dias. As semeaduras manuais em sulcos espaçados de 0,50 m, com densidade de plantio de 12 plantas por metro linear foram sempre em Maio (24/05/88, 29/05/90, e 28/05/91). A adubação foi com 130 kg de  $P_2O_5$ .ha<sup>-1</sup> (termofosfato Yorin), 108 kg de  $K_2O$ .ha<sup>-1</sup> (cloreto de potássio), 97 kg de  $Mg$ .ha<sup>-1</sup> (magnésio) e 40 kg.ha<sup>-1</sup> de FTE BR-12. O nitrogênio foi suprido integralmente na semeadura, inoculando-se as sementes. No período chuvoso de cada ano, antes da instalação do experimento, em toda a área experimental foi semeado milho para verificação da uniformidade de fertilidade sendo incorporados os restos culturais após a colheita.

A irrigação foi por aspersão através de um tubo perfurado, ligado a uma caixa de cimento amianto de 1000 litros, instalada a 6 m de altura, ao lado do experimento. O controle da irrigação foi mediante tensiômetros para monitorar as tensões de 33, 50 e 70 kPa, e blocos de gesso para as demais tensões da água no solo, ambos instalados a 0,10 m de profundidade.

Mais detalhes deste experimento podem ser encontrados em Figuerêdo (1998).

### 3.4 Descrição do modelo CROPGRO-dry bean

O modelo CROPGRO-dry bean é mecanístico e determinístico para a simulação de crescimento e desenvolvimento da cultura do feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.). Este modelo (antigo BEANGRO) 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 vegetativos e reprodutivos, acúmulo de biomassa e produção de grãos para um cultivar específico, em função de diferentes tipos de solo, condições climáticas e práticas de manejo (Hoogenboom et al., 1994).

A fenologia simulada considera os diversos estádios de desenvolvimento definidos quando uma determinada soma térmica é alcançada. Os valores limites desses índices térmicos são estabelecidos nos coeficientes genéticos. Para estimativa da biomassa, o modelo considera o processo de fotossíntese que depende da interceptação da luz, fotoperíodo, temperatura, estresses hídrico e de nitrogênio (Faria et al., 1997b). Na Figura 7 é apresentado o fluxograma do modelo.

#### 3.4.1 Fenologia

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

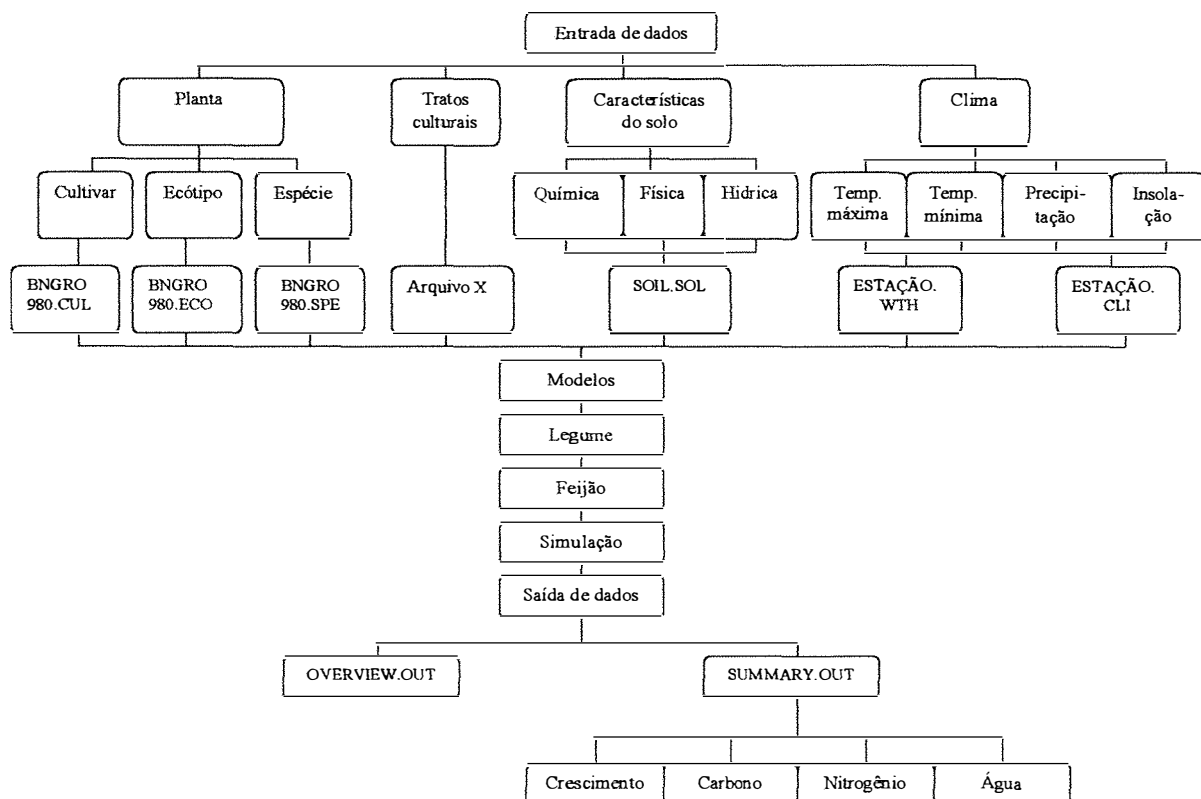


Figura 7. Fluxograma do modelo CROPGRO-dry bean.

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

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, 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, geralmente  $DF \leq \text{Dia}$ .

A Figura 8 mostra como é estimado o fator de restrição do crescimento devido à temperatura do ar na fase vegetativa do feijoeiro comum. A equação é definida a partir dos valores da temperatura basal ( $T_b=4^\circ\text{C}$ ), temperaturas ótimas ( $T_{o1}=27^\circ\text{C}$  e  $T_{o2}=35^\circ\text{C}$ ) e temperatura limite ( $T_l=45^\circ\text{C}$ ).

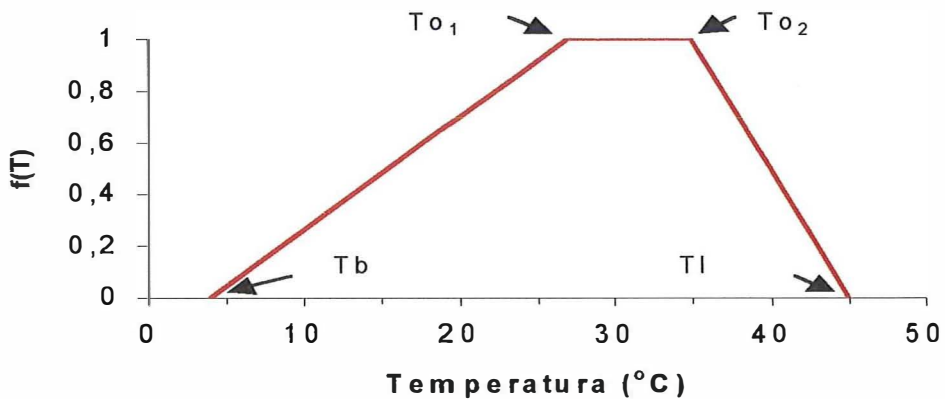


Figura 8. Fator de restrição do crescimento em função da temperatura do ar para a fase vegetativa do feijão comum. Fonte: Boote et al., 1998b.

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

### 3.4.2 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:

$$\frac{dW}{dt} = W^+ - S_L - S_S - S_R - S_{SH} - C_T \quad (2)$$

$\frac{dW}{dt}$  = taxa de variação da massa de matéria seca total ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$ );

$S_L$ ,  $S_S$ ,  $S_R$  e  $S_{SH}$  correspondem, respectivamente, às taxas de abscisão de folhas, ramos, raízes e casca de vagem; CT é o total de carboidratos mobilizados;  $W^+$  significa novo crescimento e é função da fotossíntese total (FT), respiração de manutenção (Rm) e da eficiência de conversão (E) de  $\text{CH}_2\text{O}$  em matéria seca, sendo definido por:

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

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.

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

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

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

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

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

$X_L$ ,  $X_S$ ,  $X_R$ ,  $X_{SH}$  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.

### 3.4.3 Fotossíntese

O 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 que 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 por temperatura média diária, IAF, conteúdo de N nas folhas, área foliar específica, déficit hídrico na planta, e espaçamentos entre linhas e entre plantas (Hoogenboom et al., 1992).

### 3.4.4 Partição de fotoassimilados

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

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

$W_i^+$  = 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;

$Rm$  = 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.

### 3.4.5 Balanço 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 e drenagem, e estima a evapotranspiração potencial, a evaporação 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 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 do solo. A transpiração é proporcional à energia interceptada pelo dossel e a evaporação 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 pelas raízes é reduzida, e conseqüentemente, a transpiração diminui. O estresse hídrico determina redução na fotossíntese e no crescimento em expansão, e aumento da partição da biomassa para as raízes (Faria et al., 1997b).



### 3.4.6 Balanço de Nitrogênio

O balanço de nitrogênio no solo é o mesmo utilizado no modelo CERES do DSSAT, e detalhado em Goodwin & Jones<sup>4</sup> (1991), citados por Boote et al. (1998b). As absorções de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  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, valores esses definidos no arquivo de espécie.

### 3.4.7 Dados necessários para a execução do CROPGRO-dry bean

Para execução do modelo CROPGRO-dry bean é necessário conhecer-se os parâmetros genéticos do cultivar, do solo, de manejo, e dos elementos climáticos. São três arquivos que caracterizam os dados de entrada referentes à planta, conforme a seguinte descrição:

- Arquivo.ECO, que caracteriza o ecótipo, contendo atributos genéticos, que diferenciam cultivares de crescimento determinado e indeterminado.

- Arquivo.SPE, que caracteriza a espécie, contendo coeficientes que definem a composição básica dos tecidos e descrevem os processos de fotossíntese, respiração, assimilação de nitrogênio, partição de fotoassimilados, senescência, fenologia e crescimento.

- Arquivo.CUL, que contém informações do cultivar, tais como, sensibilidade ao fotoperíodo, características fenológicas, taxa de fotossíntese, área foliar específica, peso máximo por semente, área máxima de um trifólio, entre outras.

---

<sup>4</sup> GOODWIN, D.C. & JONES, C.A. Nitrogen dynamics in soil-plant-systems. In: HANKS, J. & RITCHIE, J.T. (Eds.) **Modeling soil and plant systems**. Madison: American Society of Agronomy, ASAE monograph 31, p.287-321, 1991.

Um resumo dos elementos climáticos, dos parâmetros de solo, e de manejo necessários para executar o modelo são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Elementos climáticos, parâmetros de solo, e manejo necessários para a simulação pelo modelo CROPGRO-dry bean.

| <b>Clima</b>   |
|--|
| Precipitação diária (mm.dia <sup>-1</sup> )                              |
| Temperatura máxima diária (°C)   |
| Temperatura mínima diária (°C)   |
| Radiação solar global diária (MJ.m <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup> )    |
| <b>Solo</b>  |
| Profundidade de solo (m)   |
| Número de camadas do perfil  |
| Espessura de cada camada (m)   |
| Textura  |
| Albedo do solo   |
| Densidade do solo (kg.m <sup>-3</sup> )                                  |
| Umidade de saturação (m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> )                  |
| Umidade à capacidade de campo (m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> )         |
| Umidade no ponto de murcha permanente (m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> ) |
| Coefficiente de evaporação do solo na camada superficial (mm)            |
| Coefficiente da taxa de drenagem no perfil do solo (dia <sup>-1</sup> )  |
| 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 (%)   |
| pH em água   |
| <b>Manejo</b>  |
| Cultivar   |
| Dados da área de plantio   |
| Análise de solo  |
| Dados sobre o plantio  |
| Irrigação  |
| Fertilizantes  |
| Informações sobre a incorporação de resíduos e rotação de culturas       |

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.

### **3.5 Calibração**

A calibração de um modelo consiste em ajustar alguns parâmetros de tal forma que se reproduza o conjunto de dados do mundo real (Penning de Vries, 1987). A calibração nada mais é do que modificar alguns parâmetros do modelo visando obter os melhores ajustes possíveis entre os dados simulados e os observados (Jones et al., 1987). Aqui, a calibração do modelo foi feita seguindo-se a metodologia proposta por Boote (1994). Primeiramente, ajustou-se as datas de florescimento e maturação fisiológica, efetuando-se alterações nos coeficientes genéticos relacionados à fenologia da cultura. Posteriormente, sucederam-se os ajustes do índice de área foliar, produção de matéria seca, peso unitário de grãos, número de grãos por vagem, número de sementes por m<sup>2</sup>, e produtividade de grãos. Nesta etapa, foram atribuídos valores aos parâmetros da planta e o modelo foi executado várias vezes até que os valores simulados de fenologia, componentes de produção e produtividade de grãos estivessem bem próximos dos observados. Para tanto, foram utilizados arquivos contendo as características do solo e do clima de Santo Antônio de Goiás, GO.

Realizou-se duas calibrações considerando-se as adubações de 300 e 500 kg.ha<sup>-1</sup> de 4-30-16, os cultivares Mineiro Precoce e Carioca, e os respectivos espaçamentos de 0,40 e 0,60 m entre linhas.

### **3.6 Teste do CROPGRO-dry bean**

Testar modelo, consiste em comparar dados simulados com aqueles medidos, mas que não tenham sido utilizados para a calibração do modelo. Hoogenboom et al. (1992) e Jones et al. (1987) relatam que nessa fase os parâmetros ajustados do modelo não podem ser modificados.

#### **3.6.1 Município de Santo Antônio de Goiás, GO**

Para o teste utilizou-se os espaçamentos de 0,30 e 0,50 m, para o cultivar Mineiro Precoce, e 0,40 e 0,50 m, para o Carioca, com as adubações de 300 e 500 kg.ha<sup>-1</sup> de 4-30-16 comparando-se datas de antese e maturação fisiológica, índice de área foliar, matéria seca total, componentes de produção, e produtividade para os dois cultivares.

#### **3.6.2 Município de Planaltina, DF**

O modelo previamente calibrado foi testado para Planaltina, DF, empregando-se os dados de um experimento em que se utilizou o cultivar Carioca e diferentes níveis de tensões de água no solo, durante três anos (1988, 1990 e 1991), comparando-se as produtividades observadas a campo com aquelas simuladas.

### **3.7 Aferição do modelo**

A aferição da performance do modelo foi efetuada utilizando-se o método gráfico, plotando-se os valores observados e simulados do índice de área foliar

e matéria seca total versus tempo, utilizando-se o coeficiente de determinação ( $r^2$ ) como critério estatístico. Para os dados de produtividade de grãos e componentes de produção do feijão determinou-se a diferença percentual entre os valores observados e simulados.

### 3.8 Aplicação do modelo

A aplicação do CROPGRO-dry bean consistiu na análise de risco de quebra relativa de produtividade da cultura do feijoeiro, utilizando-se uma série histórica climatológica (1978 a 1998) de temperaturas máxima e mínima, precipitação e número de horas de insolação, a fim de se verificar quais as melhores épocas de semeadura para Santo Antônio de Goiás, GO, estabelecendo-se assim, os períodos do ano em que a redução do rendimento pode ser minimizada.

Inicialmente, foram realizadas simulações de longo período utilizando-se o módulo "SEASONAL" do sistema DSSAT 3.5.

Dois experimentos foram simulados para a região, considerando-se as produtividades potencial e real da cultura do feijoeiro. Utilizou-se trinta e seis épocas anuais de semeaduras, sempre no primeiro dia de cada decêndio, por exemplo: 01/01; 11/01; 21/01; 01/02, e assim sucessivamente, até 21/12. As condições iniciais adotadas foram comuns em todas as datas de semeadura. Selecionou-se o cultivar Carioca, espaçamento de 0,60 m, com uma densidade populacional de 32,5 plantas.m<sup>-2</sup>, a uma profundidade de semeadura de 0,05 m, e dose de adubação de 500 kg.ha<sup>-1</sup> da fórmula 4-30-16.

Para os cálculos da produtividade potencial considerou-se que as condições de água e nutrientes não eram limitantes para o desenvolvimento e crescimento da cultura. Para os cálculos da produtividade real, o suprimento de água foi somente pela chuva, dependendo, portanto, das condições climáticas da região. Assumiu-se aplicações de 20 kg de N.ha<sup>-1</sup>, 150 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.ha<sup>-1</sup> e 80

kg de  $K_2O \cdot ha^{-1}$  na semeadura, seguidas de 30 kg de  $N \cdot ha^{-1}$  em cobertura aos 30 dias após a semeadura.

A análise das simulações foi efetuada por médias, desvios padrões e coeficientes de variação, nas diferentes datas de semeaduras nos anos considerados.

Finalmente, foram determinadas as quebras de rendimento ( $Q$ , em %), dada pela equação 10, para cada uma das trinta e seis épocas de semeadura simuladas nos anos avaliados, sendo convertidas em frequência relativa para análise dos resultados,

$$Q = \left(1 - \frac{Y_r}{Y_o}\right) \cdot 100 \quad (10)$$

em que,

$Y_r$  = produtividade real simulada ( $kg \cdot ha^{-1}$ );

$Y_p$  = produtividade potencial simulada ( $kg \cdot ha^{-1}$ ).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Calibração do modelo

Para calibração do modelo é necessário atribuir coeficientes genéticos específicos para cada cultivar. Trata-se de um processo de tentativa e erro, ou seja, atribui-se valores a cada coeficiente e verifica-se se o modelo gera resultados próximos aos medidos em condições de campo. Inicialmente, procurou-se minimizar a diferença entre as datas de ocorrência da antese e da maturação fisiológica dos grãos. Depois, procurou-se ajustar a produção de matéria seca e o índice de área foliar. As Tabelas 7 e 8 apresentam as relações dos coeficientes genéticos característicos da fenologia e morfologia da planta dos cultivares Mineiro Precoce e Carioca que foram modificados para a calibração do modelo.

Verifica-se que os coeficientes são bem diferentes para os dois cultivares (Mineiro Precoce e Carioca). Para um mesmo cultivar, houve variação dos coeficientes quando se variou a dose de adubação. Por exemplo, a área foliar específica aumentou com a dose de adubação, mostrando que houve adaptação morfológica em função do maior aumento da área foliar do que da matéria seca. No caso da massa máxima de um grão e do número médio de grãos por vagem, verifica-se que houve uma certa compensação, ou seja, enquanto um aumentou o outro diminuiu, porém, mantendo praticamente constante seu produto. Para o Mineiro Precoce, a adubação maior resultou em grãos mais pesados, mas em vagens com menor número de grãos. Para o

Carioca, a situação se inverteu. Esta é uma das dificuldades com esse tipo de modelo, impondo-se a necessidade de sua calibração prévia.

Tabela 7. Coeficientes genéticos modificados para calibração do CROPGRO-dry bean, para o cultivar Mineiro Precoce, espaçamento de 0,40 m, e adubação de 300 e 500 kg.ha<sup>-1</sup>.

| Coeficientes genéticos   | Valores utilizados      |                         |
|--|-------------------------|-------------------------|
|  | Adubação                |                         |
|  | 300 kg.ha <sup>-1</sup> | 500 kg.ha <sup>-1</sup> |
| Período entre a emergência e 1ª flor (DF <sup>1/</sup> )                                       | 20,5 <sup>2/</sup>      | 20,5                    |
| Período entre 1ª flor e 1ª vagem (DF)  | 8 <sup>3/</sup>         | 8                       |
| Período entre 1ª flor e 1º grão (DF)   | 12 <sup>3/</sup>        | 12                      |
| Período entre 1º grão e maturidade fisiológica (DF)  | 21,5 <sup>3/</sup>      | 21,5                    |
| Período entre 1ª flor e o fim da expansão foliar (DF)  | 28 <sup>3/</sup>        | 28                      |
| Taxa fotossintética máxima (mgCO <sub>2</sub> .m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> )              | 1,0 <sup>4/</sup>       | 1,2                     |
| Área foliar específica em condições normais de crescimento (cm <sup>2</sup> .g <sup>-1</sup> ) | 290 <sup>4/</sup>       | 350                     |
| Área máxima de um trifólio (cm <sup>2</sup> )  | 133 <sup>4/</sup>       | 133                     |
| Massa máxima de um grão (g)  | 0,485 <sup>2/</sup>     | 0,520                   |
| Número médio de grãos por vagem  | 3,38 <sup>2/</sup>      | 3,16                    |

<sup>1/</sup> Dias fisiológicos (DF) – corresponde ao dia do calendário quando há condições ótimas de desenvolvimento para a planta.

<sup>2/</sup> Valores obtidos de experimentos em Santo Antônio de Goiás, GO (Embrapa Arroz e Feijão)

<sup>3/</sup> Portes, T. A. Comunicação pessoal. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 1999.

<sup>4/</sup> Arquivo de coeficientes genéticos "gcrules.fle" do DSSAT 3.5.



Tabela 8. Coeficientes genéticos modificados para calibração do CROPGRO-dry bean, para o cultivar Carioca, espaçamento de 0,60 m, e adubação de 300 e 500 kg.ha<sup>-1</sup>.

| Coeficientes genéticos   | Valores utilizados      |                         |
|--|-------------------------|-------------------------|
|  | Adubação                |                         |
|  | 300 kg.ha <sup>-1</sup> | 500 kg.ha <sup>-1</sup> |
| Período entre a emergência e 1ª flor (DF <sup>1/</sup> )                                       | 30 <sup>2/</sup>        | 30                      |
| Período entre 1ª flor e 1ª vagem (DF)  | 9 <sup>3/</sup>         | 9                       |
| Período entre 1ª flor e 1º grão (DF)   | 13 <sup>3/</sup>        | 13                      |
| Período entre 1º grão e maturidade fisiológica (DF)  | 23 <sup>3/</sup>        | 23                      |
| Período entre 1ª flor e o fim da expansão foliar (DF)  | 55 <sup>3/</sup>        | 55                      |
| Taxa fotossintética máxima (mgCO <sub>2</sub> .m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> )              | 1,0 <sup>4/</sup>       | 1,1                     |
| Área foliar específica em condições normais de crescimento (cm <sup>2</sup> .g <sup>-1</sup> ) | 290 <sup>4/</sup>       | 370                     |
| Área máxima de um trifólio (cm <sup>2</sup> )  | 100 <sup>2/</sup>       | 100                     |
| Massa máxima de um grão (g)  | 0,273 <sup>2/</sup>     | 0,251                   |
| Número médio de grãos por vagem  | 4,9 <sup>2/</sup>       | 5,1                     |

<sup>1/</sup> Dias fisiológicos (DF) – corresponde ao dia do calendário quando há condições ótimas de desenvolvimento para a planta.

<sup>2/</sup> Valores obtidos de experimentos em Santo Antônio de Goiás, GO (Embrapa Arroz e Feijão).

<sup>3/</sup> Portes, T. A. Comunicação pessoal. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 1999.

<sup>4/</sup> Arquivo de coeficientes genéticos "gcrules.fle" do DSSAT 3.5.

#### 4.1.1 Fenologia

Na fase de calibração, verificou-se que não ocorreram diferenças entre as datas da antese e da maturação fisiológica simuladas e observadas para as duas doses de adubação.

O cultivar Mineiro Precoce, com ciclo precoce, apresentou períodos de aparecimento da primeira flor (32 DAS) e da maturação fisiológica (68 DAS)

menores que o Carioca, (44 e 82 DAS), com ciclo normal. Esses períodos são governados pelas características genéticas e afetados pelas condições de temperatura, porém a adubação não exerceu qualquer efeito. Os efeitos da carga genética e da temperatura ficam evidentes quando se contrasta material com ciclos diferentes cultivados em épocas ou locais diferentes. Por exemplo, Cruz (1992) verificou que os cultivares precoces (ESAL 665, ESAL 666 e Preto-60 dias) atingiram a antese aproximadamente aos 46,7 DAS; os de ciclo intermediário (ESAL 506 e Roxo-PV) aos 57,5 DAS e os de ciclo normal (Milionário, ESAL 589, ESAL 647, Ouro e Carioca) aos 63,2 DAS, quando efetuou-se a semeadura no período de Outono/Inverno, na região de Lavras, MG. A maturação fisiológica foi alcançada, em média, aos 77 DAS, para os cultivares precoces; aos 97 DAS, para os de ciclo intermediário; e aos 105 DAS para os de ciclo normal. Na mesma localidade, Martins et al. (1994) verificaram também que o cultivar Carioca necessitou de 64 dias para atingir o início da floração e 104 dias para a maturação fisiológica, no plantio de Outono-Inverno. Houve um alongamento do ciclo da cultura devido à ocorrência de temperaturas mais amenas no período em relação a Santo Antônio de Goiás.

#### **4.1.2 Matéria seca total**

Uma comparação entre os valores observados e simulados de matéria seca total (MST), e os desvios padrões correspondentes podem ser vistos nas Figuras 9 e 10.

As análises de regressão linear efetuadas entre a MST estimada e observada em campo, para os dois cultivares são apresentadas nos Anexos 1 e 2. Nota-se que o modelo simulou satisfatoriamente a MST com correlações significativas.

Para o Mineiro Precoce, durante o período vegetativo (até os 30 DAS), os valores estimados de MST foram satisfatórios para as duas doses de adubação (Figuras 9a e 9b). Entretanto, durante o período reprodutivo,

ocorreram diferenças maiores entre os valores simulados e observados. Nesse estágio, com o aparecimento das flores, vagens e grãos, torna-se mais difícil sua representação com exatidão, pois a distribuição dos assimilados, antes direcionada para folhas, caules, e raízes, tem de ser alocada também às flores e vagens, aumentando-se a possibilidade de erros. Situação semelhante foi descrita por Lima (1995) para o milho, e por Bastos (1999) para o feijão caupi.

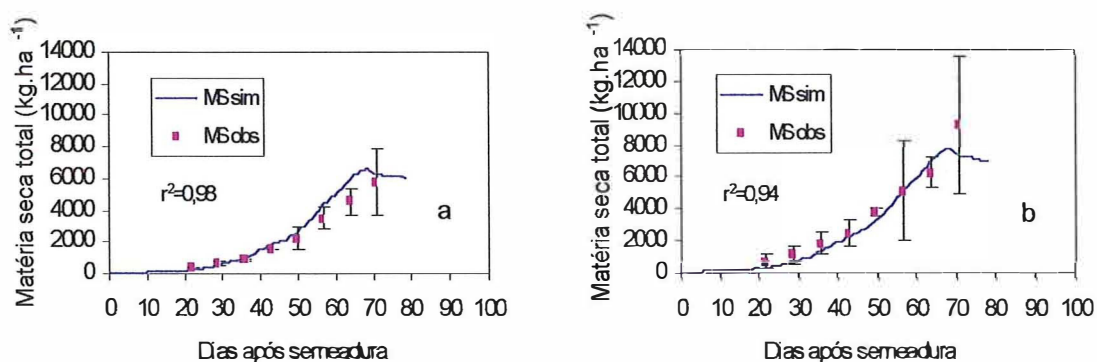


Figura 9. Matéria seca total observada e simulada, do cultivar Mineiro Precoce, espaçamento de 0,40 m, e adubação de 300 (a) e 500 kg.ha<sup>-1</sup> (b), em Santo Antônio de Goiás, GO. A amplitude das barras verticais representa o desvio padrão.

Para o cultivar Carioca, houve melhor ajuste dos valores estimados de MST para a adubação de 300 kg.ha<sup>-1</sup> (Figura 10a), durante praticamente todo o ciclo. Para a adubação de 500 kg.ha<sup>-1</sup> (Figura 10b), houve subestimativa até a maturação fisiológica (70 DAS), e superestimativas após. Situação semelhante foi descrita por White et al. (1995), com o modelo BEANGRO, aplicada ao cultivar Carioca, obtendo superestimativa durante o período de enchimento de grãos.

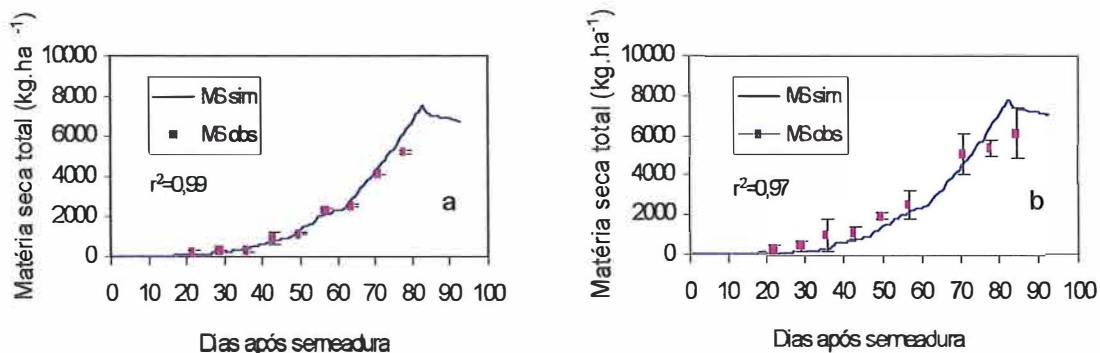


Figura 10. Matéria seca total observada e simulada, do cultivar Carioca, espaçamento de 0,60 m, e adubação de 300 (a) e 500  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (b), em Santo Antônio de Goiás, GO. A amplitude das barras verticais representa o desvio padrão.

Os coeficientes de determinação relacionados à MST, encontrados para a adubação de 300  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , para os dois cultivares, foram superiores àqueles correspondentes à adubação de 500  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , mas o modelo simulou satisfatoriamente a MST para os dois cultivares e doses de adubação.

#### 4.1.3 Índice de área foliar

As Figuras 11 e 12 apresentam uma comparação entre os índices de área foliar (IAF) estimados e observados, e os desvios padrões correspondentes. Para o cultivar Mineiro Precoce, os ajustes do IAF diferiram pouco entre as duas adubações (Figura 11), com coeficientes de determinação praticamente iguais, isto é, 0,90 para 300  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ; e 0,95 para 500  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (Anexo 3). O modelo subestimou o IAF até aproximadamente 35 DAS, abrangendo o início da floração, com posterior superestimativas. As superestimativas podem estar relacionadas à ocorrência de pragas e doenças na cultura real, um fato que o modelo não considera. Houve defasagem de 6

dias entre o IAF máximo estimado ( $3,14 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$  aos 51 DAS) e o observado ( $2,72 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$  aos 57 DAS) para a adubação de  $300 \text{ kg}.\text{ha}^{-1}$ . Para a adubação de  $500 \text{ kg}.\text{ha}^{-1}$ , o IAF máximo observado e simulado foram iguais a  $4,46 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ , com atraso de apenas um dia entre eles.

Para o cultivar Carioca os ajustes também foram satisfatórios (Figura 12). Os coeficientes de determinação foram iguais a 0,89 para a adubação de  $300 \text{ kg}.\text{ha}^{-1}$ , e a 0,84 para  $500 \text{ kg}.\text{ha}^{-1}$  (Anexo 4). Novamente, o modelo subestimou o IAF até aproximadamente 43 DAS (período vegetativo) para as duas doses de adubação, mas após o florescimento, a simulação foi satisfatória (Figuras 12 a e 12b).

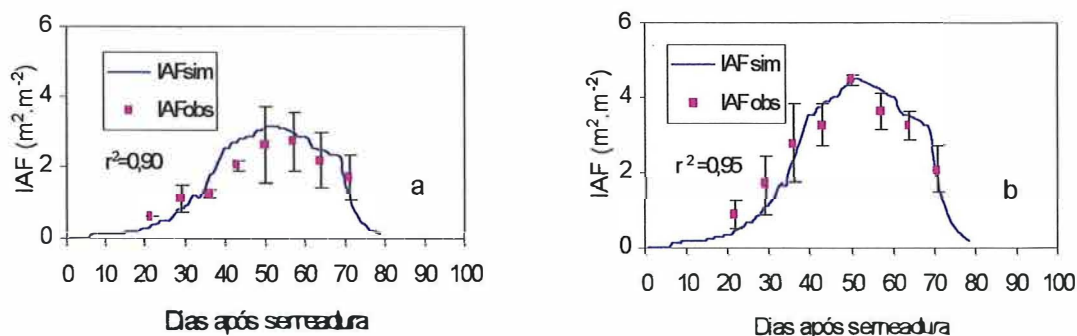


Figura 11. Índice de área foliar (IAF) observado e simulado, do cultivar Mineiro Precoce, espaçamento de  $0,40 \text{ m}$ , e adubação de  $300$  (a) e  $500 \text{ kg}.\text{ha}^{-1}$  (b), em Santo Antônio de Goiás, GO. A amplitude das barras verticais representa o desvio padrão.

Considerando-se a adubação de  $300 \text{ kg}.\text{ha}^{-1}$  (Figura 12a), o IAF máximo simulado ( $3,94 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ ) foi 6% maior que o observado ( $\text{IAF} = 3,72 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ ). Entretanto, para o nível de adubação de  $500 \text{ kg}.\text{ha}^{-1}$  (Figura 12b), o IAF máximo observado ( $5,59 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ ) foi 7% mais elevado que o simulado ( $\text{IAF} = 5,19 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ ). As condições favoráveis de água e energia solar podem ter ocasionado um crescimento vegetativo intenso da cultura, proporcionando

elevados índices de área foliar. Constatou-se um atraso de 3 dias entre o IAF máximo simulado (60 dias) e o observado (57 DAS) para a adubação de 300 kg. ha<sup>-1</sup>, e uma antecipação de 4 dias (simulado = 60 DAS; observado = 64 DAS), para a adubação de 500 kg. ha<sup>-1</sup>.

Elevados valores de IAF máximo também foram obtidos por Urchei (1996), para o cultivar Aporé, em sistemas de plantio direto (IAF=5,13 m<sup>2</sup>.m<sup>-2</sup>) e convencional (4,19 m<sup>2</sup>.m<sup>-2</sup>), em torno dos 58 dias após a emergência, no estágio de florescimento, na região de Senador Canedo, GO. Nascimento (1998) também obteve valores de IAF máximos extremamente elevados, acima de 8 m<sup>2</sup>.m<sup>-2</sup> para o cultivar Aporé, e 6 m<sup>2</sup>.m<sup>-2</sup> para o cultivar Safira, em sistemas de plantio direto e convencional, sob irrigação durante o estágio de desenvolvimento vegetativo, na região Centro-Oeste.

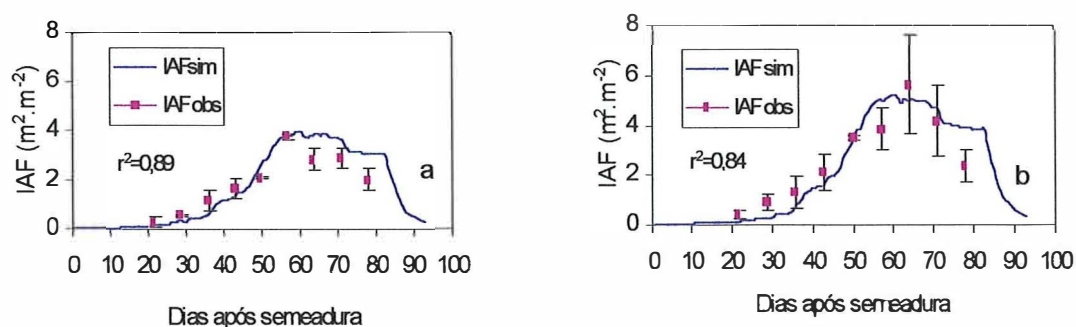


Figura 12. Índice de área foliar (IAF) observado e simulado, do cultivar Carioca, espaçamento de 0,60 m, e adubação de 300 (a) e 500 kg.ha<sup>-1</sup> (b), em Santo Antônio de Goiás, GO. A amplitude das barras verticais representa o desvio padrão.

#### 4.1.4 Produtividade de grãos

Outro índice utilizado para a calibração do modelo foi a produtividade de grãos, ou seja, a parte da cultura com valor econômico. A Tabela 9 apresenta as produtividades de grãos referentes aos cultivares, espaçamentos e adubação estudados. De modo geral, houve simulação satisfatória da produtividade de grãos para os dois cultivares. As pequenas diferenças simuladas, podem estar relacionadas à variabilidade espacial dos dados experimentais, atribuídas a possíveis erros de medições.

O cultivar Carioca apresentou maiores rendimentos que o Mineiro Precoce nas duas adubações. Isto pode estar relacionado ao hábito de crescimento do feijoeiro. O cultivar Mineiro Precoce é do tipo I, com hábito de crescimento determinado, arbustivo, e período curto de floração (Fageria, 1989), menor número de vagens/planta (Vilhordo & Müller<sup>5</sup>, 1981, citado por Vilhordo et al., 1996), com rendimento de grãos menor. Entretanto, o cultivar Carioca é do tipo III, com hábito de crescimento indeterminado, semi-prostrado, período de florescimento mais longo, e maior número de vagens/planta (Vilhordo & Müller, 1981, citado por Vilhordo et al., 1996), e conseqüentemente, maior rendimento de grãos.

Os maiores rendimentos de grãos foram obtidos para os dois cultivares, quando se utilizou a maior dose de adubação. Em sistemas de plantio direto e convencional, na região de Senador Canedo, GO, Urchei (1996) verificou produtividades de 2377 e 1535 kg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para o cultivar Aporé, quando considerou-se o espaçamento de 0,50 m. Martins et al. (1994) verificaram uma produtividade de 2020 kg.ha<sup>-1</sup> para o cultivar Carioca, no plantio de "Outono-Inverno", na região de Lavras, MG, sendo em torno de 15% menor do que a obtida em condições de campo em Santo Antônio de Goiás,

---

<sup>5</sup> VILHORDO, B.W. & MÜLLER, L. **Correlação entre caracterização botânica e classificação comercial em cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Porto Alegre: IPAGRO, 1981. 62p. (Boletim Técnico, 8).

GO. Entretanto, o mesmo não foi verificado por Rocha (1991), uma vez que o cultivar Carioca apresentou menor produtividade ( $1439 \text{ kg.ha}^{-1}$ ) para uma população de  $300 \text{ mil plantas.ha}^{-1}$ , espaçamento de  $0,50 \text{ m}$ , em relação ao cultivar Goiano Precoce, cuja produtividade foi de  $1907 \text{ kg.ha}^{-1}$ , para uma população de  $400 \text{ mil plantas.ha}^{-1}$  e espaçamento de  $0,40 \text{ m}$ .

Tabela 9. Produtividade de grãos ( $\text{kg.ha}^{-1}$ ) do feijoeiro, cultivares Mineiro Precoce e Carioca, nos espaçamentos de  $0,40$  e  $0,60 \text{ m}$ , com adubação de  $300$  e  $500 \text{ kg.ha}^{-1}$ , observados e simulados pelo CROPGRO-dry bean, em Santo Antônio de Goiás, GO.

| Cultivar        | Adubação ( $\text{kg.ha}^{-1}$ ) |           |                       |          |           |         |
|-----------------|----------------------------------|-----------|-----------------------|----------|-----------|---------|
|                 | 300                              |           |                       | 500      |           |         |
|                 | Simulado                         | Observado | Dif (%) <sup>1/</sup> | Simulado | Observado | Dif (%) |
| Mineiro Precoce | 2101                             | 2075      | 1,3                   | 2273     | 2206      | 3,0     |
| Carioca         | 2377                             | 2218      | 7,2                   | 2463     | 2321      | 6,1     |

<sup>1/</sup> Diferença (%) =  $[(\text{Simulado} - \text{Observado}) / \text{Observado}] \cdot 100$

#### 4.1.5 Componentes de produção

Além da produção de grãos, é importante conhecer como o modelo simula seus componentes, e neste aspecto conseguiu-se uma calibração que produziu uma simulação perfeita do número de grãos por vagem, nos dois cultivares e adubações. O cultivar Carioca apresentou maior número de grãos por vagem para as duas adubações quando comparado ao Mineiro Precoce. Para o primeiro cultivar, observou-se um aumento do número de grãos por vagem conforme aumentou-se a adubação, ou seja, obteve-se  $4,9$  grãos por vagem para a menor adubação e  $5,1$  grãos por vagem para a maior. Tal fato,



também foi descrito por Garrido (1998), o que obteve 4,9 grãos por vagem para a dose de 120 kg.ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, e de 4,2 grãos por vagem para o tratamento sem adubo nitrogenado. Entretanto, o mesmo não foi verificado para o Mineiro Precoce, pois a menor dose de adubação apresentou 3,38 grãos por vagem, enquanto que a maior foi de 3,16 grãos por vagem.

A massa de 100 grãos (M100) foi outro componente de produção simulado pelo modelo. Verificou-se boa performance do CROPGRO-dry bean ao simular a M100, pois não ocorreram diferenças entre os valores simulados e observados para ambos os cultivares. A M100 apresenta variações de acordo com o cultivar. O Mineiro Precoce apresentou maior M100, 39,3 e 41,4 g, respectivamente, para a adubação de 300 e 500 kg.ha<sup>-1</sup>, em relação ao Carioca, que foi de 23 e 20,9 g, para a menor e maior dose de adubação. Isto ocorreu, porque o Mineiro Precoce possui grão maior que o Carioca, embora apresente menor número de grãos por vagem.

Rocha (1991), obteve a M100 de 34,3 g para o espaçamento de 0,40 m e população de 400 mil plantas.ha<sup>-1</sup> para o cultivar Goiano Precoce, enquanto que, para o cultivar Carioca a população foi de 300 mil plantas.ha<sup>-1</sup>, espaçamento de 0,50 m, e M100 de 20,3 g.

Para a semeadura realizada no período de Outono/Inverno, a M100 foi, em média, de 17,24 g para os cultivares de ciclo normal; de 27,15 g para os de ciclo intermediário; e de 32,71 g para os de ciclo precoce Cruz (1992).

## **4.2 Teste do modelo**

### **4.2.1 Município de Santo Antônio de Goiás, GO**

#### **4.2.1.1 Fenologia**

Para o cultivar Mineiro Precoce verificou-se que não houve diferenças entre as datas da antese (32 DAS) e da maturação fisiológica (68 DAS), simuladas e observadas, quando foram considerados os espaçamentos de 0,3

e 0,5 m, e as duas adubações. Para o Carioca, as datas de antese (44 DAS) simuladas e observadas foram idênticas para os espaçamentos de 0,40 e 0,50 m, e as duas adubações. O mesmo não ocorreu para as datas de maturação fisiológica, sendo que a simulada (81 DAS) defasou um dia em relação à observada (82 DAS), para os menores espaçamento e adubação. Apesar disso, esses resultados mostram o bom desempenho do CROPGRO-dry bean ao simular a fenologia da planta.

#### 4.2.1.2 Matéria seca total

Os valores observados e simulados da MST e os desvios padrões correspondentes para os cultivares Mineiro Precoce, espaçamentos de 0,30 e 0,50 m, e Carioca, espaçamentos de 0,40 e 0,50 m, para as adubações de 300 e 500 kg.ha<sup>-1</sup>, são apresentados nas Figuras 13 a 16. As análises de regressão linear entre MST estimada e observada a campo, para os dois cultivares são apresentadas nos Anexos 5 a 8.

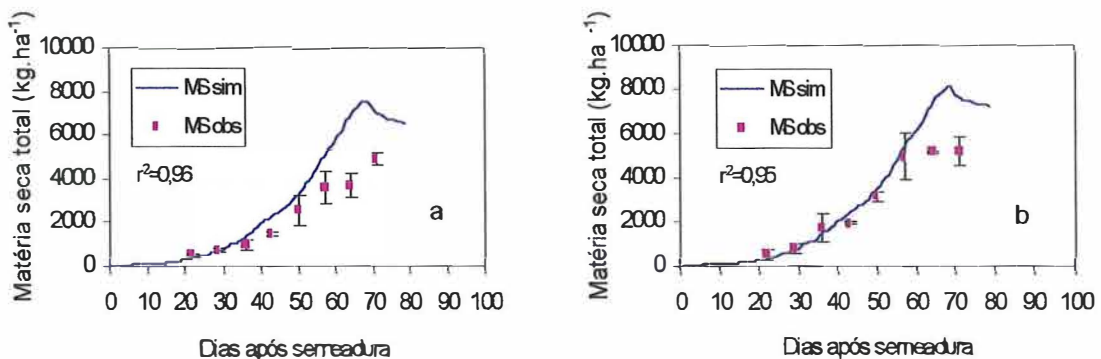


Figura 13. Matéria seca total observada e simulada, do cultivar Mineiro Precoce, espaçamento de 0,30 m, e adubação de 300 (a) e 500 kg.ha<sup>-1</sup> (b), em Santo Antônio de Goiás, GO. A amplitude das barras verticais representa o desvio padrão.

Na Figura 13a observa-se que para o cultivar Mineiro Precoce, espaçamento de 0,30 m e adubação de 300 kg.ha<sup>-1</sup>, excetuando-se o período vegetativo, que vai desde a sementeira até os 30 DAS, houve superestimativa a partir desta data até a maturação fisiológica (68 DAS). O mesmo não ocorreu para a adubação de 500 kg.ha<sup>-1</sup> (Figura 13b), em que houve ajuste muito bom até 60 DAS.

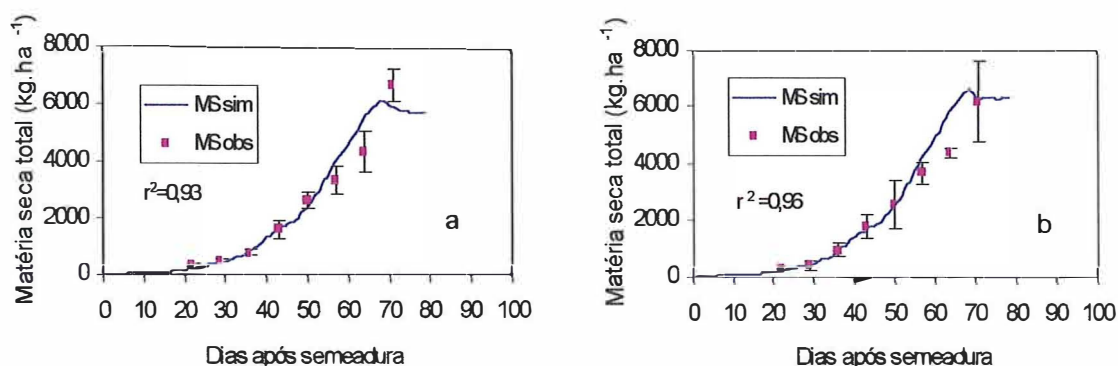


Figura 14. Matéria seca total observada e simulada, do cultivar Mineiro Precoce, espaçamento de 0,50 m, e adubação de 300 (a) e 500 kg.ha<sup>-1</sup> (b), em Santo Antônio de Goiás, GO. A amplitude das barras verticais representa o desvio padrão.

As estimativas da MST, para as duas doses de adubação, apresentaram a mesma tendência, durante todo o ciclo, para o cultivar Mineiro Precoce, e o espaçamento de 0,50 m (Figuras 14a e 14b). Os coeficientes de determinação, para ambos espaçamentos e adubações, variaram de 0,93 a 0,96, indicando ajuste satisfatório do modelo CROPGRO-dry bean para estimar a MST, embora tenham ocorrido superestimativas após 30 DAS, para o espaçamento de 0,30 m, e 55 DAS, para o de 0,50 m.

As Figuras 15 e 16 mostram que a produção de MST foi subestimada durante todo o ciclo, considerando-se o cultivar Carioca, espaçamentos de 0,40

e 0,50 m e adubação de 300 e 500 kg.ha<sup>-1</sup>. Tal fato, pode ser atribuído à ocorrência de temperaturas máximas acima de 30 °C (Figura 3), o que pode ter ocasionado abortamento de flores, conforme constatado por Abeles & Gahagan (1968) e Kay (1979). 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.

Apesar das subestimativas da MST pelo CROPGRO-dry bean, os coeficientes de determinação foram satisfatórios, variando de 0,91 a 0,97.

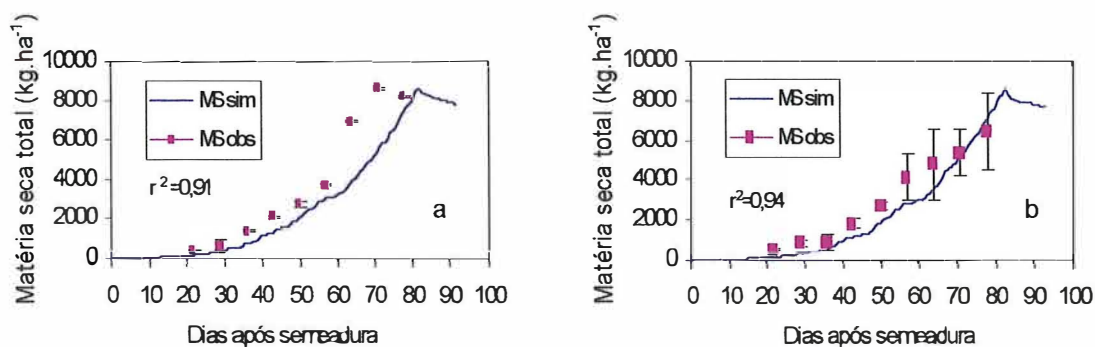


Figura 15. Matéria seca total observada e simulada, do cultivar Carioca, espaçamento de 0,40 m, e adubação de 300 (a) e 500 kg.ha<sup>-1</sup> (b), em Santo Antônio de Goiás, GO. A amplitude das barras verticais representa o desvio padrão.

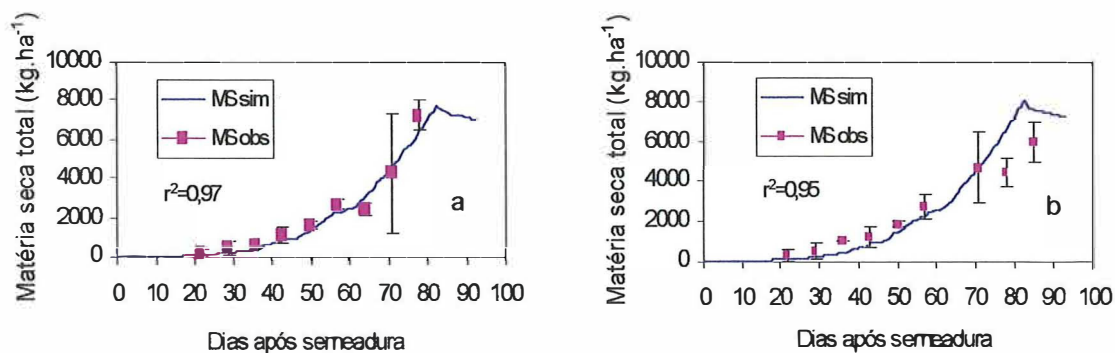


Figura 16. Matéria seca total observada e simulada, do cultivar Carioca, espaçamento de 0,50 m, e adubação de 300 (a) e 500  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  (b) em Santo Antônio de Goiás, GO A amplitude das barras verticais representa o desvio padrão.

#### 4.2.1.3 Índice de área foliar

Os valores do IAF simulados e observados e os desvios padrões correspondentes dos cultivares Mineiro Precoce, espaçamentos de 0,30 e 0,50 m, e Carioca, espaçamentos de 0,40 e 0,50 m, para as adubações de 300 e 500  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , são apresentados nas Figuras 17 a 20. As análises de regressão entre o IAF estimado e observado, para os dois cultivares, são apresentadas nos Anexos 9 a 12.

As Figuras 17a e 17b mostram que a partir do início do período vegetativo até aproximadamente 30 DAS o modelo subestimou o IAF considerando-se o cultivar Mineiro Precoce e o espaçamento de 0,30 m. Porém, o oposto ocorreu após esta data, ou seja, o modelo superestimou o IAF até o final do ciclo, para as duas adubações. O mesmo foi verificado para o espaçamento de 0,50 m e as duas doses de adubação (Figuras 18a e 18b), porém a partir de 36 DAS. Os coeficientes de determinação do IAF para o cultivar Mineiro Precoce foram, respectivamente, de 0,78 e de 0,90 para os espaçamentos de 0,30 e 0,50 m, quando aplicou-se a adubação de 300  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Para adubação de 500  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , eles foram um pouco melhores, sendo de 0,83

para o espaçamento de 0,30 m e de 0,92 para o de 0,50 m. Essas diferenças encontradas podem estar relacionadas à ocorrência de pragas e doenças que o modelo não considera, como também à variabilidade espacial dos dados experimentais.

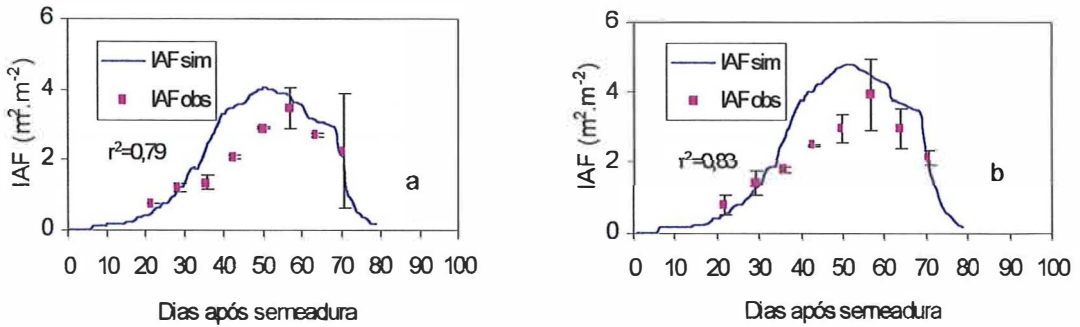


Figura 17. Índice de área foliar (IAF) observado e simulado, do cultivar Mineiro Precoce, espaçamento de 0,30 m, e adubação de 300 (a) e 500  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (b), em Santo Antônio de Goiás, GO. A amplitude das barras verticais representa o desvio padrão.

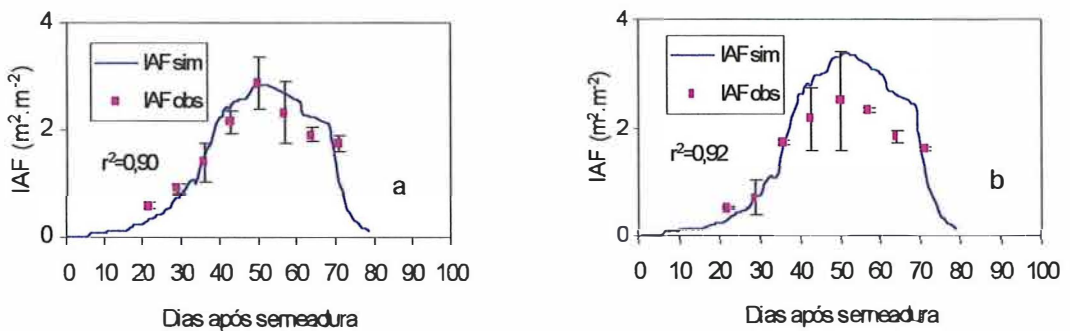


Figura 18. Índice de área foliar observado e simulado, do cultivar Mineiro Precoce, espaçamento de 0,50 m, e adubação de 300 (a) e 500  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (b), em Santo Antônio de Goiás, GO. A amplitude das barras verticais representam o desvio padrão.



Analisando-se a Figura 19a, nota-se que o IAF foi subestimado, praticamente, durante todo o ciclo, para o cultivar Carioca, espaçamento de 0,40 m e adubação de 300 kg.ha<sup>-1</sup>. Para a adubação de 500 kg.ha<sup>-1</sup> (Figura 19b), o modelo subestimou o IAF até 55 DAS, abrangendo o período de floração, superestimando-o posteriormente, até o final do ciclo.

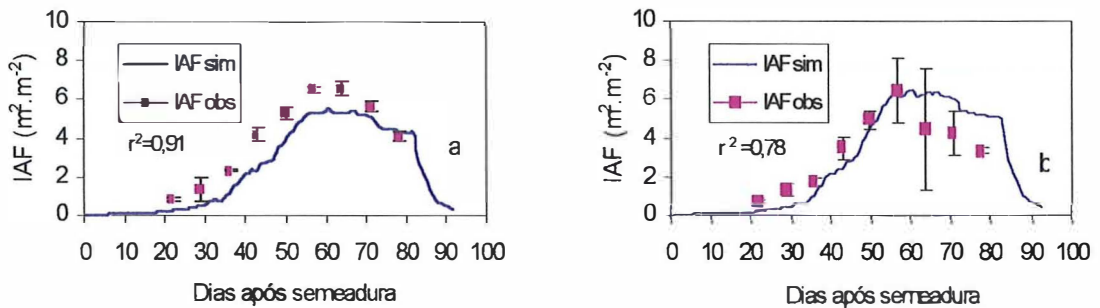


Figura 19. Índice de área foliar observado e simulado, do cultivar Carioca, espaçamento de 0,40 m, e adubação de 300 (a) e 500 kg.ha<sup>-1</sup> (b), em Santo Antônio de Goiás, GO. A amplitude das barras verticais representa o desvio padrão.

Encontrando-se o feijoeiro cultivado no espaçamento de 0,50 m e com o menor nível de adubação (Figura 20a), percebe-se que o modelo subestimou o IAF, até aproximadamente 50 DAS, compreendendo o período vegetativo e parte da floração, enquanto que, para a maior adubação (Figura 20b) esse período foi reduzido até o início da floração (44 DAS). Superestimativas do IAF simulado foram observadas após os períodos mencionados anteriormente, para as duas doses de adubação. Superestimativas do IAF também foram verificadas por White et al. (1995), utilizando-se o modelo BEANGRO e o cultivar Carioca em condições tropicais.

Os coeficientes de determinação para as estimativas do IAF foram respectivamente, de 0,91 e de 0,93 para os espaçamentos de 0,40 e 0,50 m e

adubação de 300 kg.ha<sup>-1</sup>. Para o maior nível de adubação, os coeficientes de determinação corresponderam aos valores de 0,78 para o espaçamento de 0,40 m, e de 0,88 para o de 0,50 m.

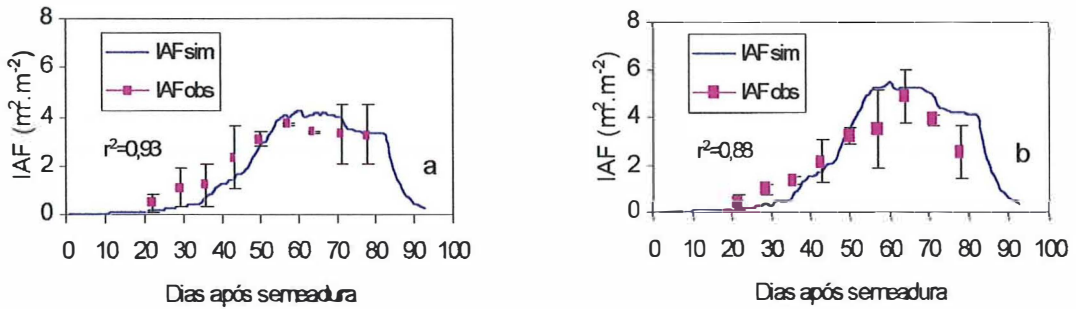


Figura 20. Índice de área foliar observado e simulado, do cultivar Carioca, espaçamento de 0,50 m, e adubação de 300 (a) e 500 kg.ha<sup>-1</sup> (b), em Santo Antônio de Goiás, GO. A amplitude das barras verticais representa o desvio padrão.

#### 4.2.1.4 Produtividade de grãos

Conforme mostra a Tabela 10, o cultivar Mineiro Precoce, apresentou maiores produtividades em condições experimentais para o nível de adubação de 300 kg.ha<sup>-1</sup>. Entretanto, para o espaçamento de 0,50 m, as produtividades do feijoeiro em condições de campo foram superiores ao de 0,30 m, quando comparou-se as duas doses de adubação. Tal fato pode ser atribuído aos menores IAF alcançados pelo cultivar no espaçamento de 0,50 m durante o ciclo, em relação ao de 0,30 m, havendo então, maior eficiência das folhas na captura de radiação solar, e conseqüentemente, maior produtividade da cultura, além de reduzir a competição das plantas quanto à disponibilidade hídrica, devido à menor densidade populacional de plantas.



Tabela 10. Produtividade de grãos simulada e observada ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) para o feijoeiro, cultivares Mineiro Precoce, espaçamentos de 0,30 e 0,50 m, e Carioca, espaçamentos de 0,40 e 0,50 m, e adubação de 300 e 500  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , em Santo Antônio de Goiás, GO.

| Cultivar               | Adubação ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) |           |                        |          |           |         |
|------------------------|---|-----------|------------------------|----------|-----------|---------|
|                        | 300   |           |                        | 500      |           |         |
|                        | Simulado                                    | Observado | Dif (%) <sup>1/2</sup> | Simulado | Observado | Dif (%) |
| <b>Mineiro Precoce</b> |   |           |                        |          |           |         |
| Espaçamento 0,30 m     | 2157  | 1858      | 16,1                   | 2238     | 1740      | 28,6    |
| Espaçamento 0,50 m     | 1987  | 1914      | 3,8                    | 2180     | 1900      | 14,7    |
| <b>Carioca</b>         |   |           |                        |          |           |         |
| Espaçamento 0,40 m     | 2684  | 2378      | 12,9                   | 2603     | 2256      | 15,4    |
| Espaçamento 0,50 m     | 2470  | 2153      | 14,7                   | 2525     | 2278      | 10,8    |

<sup>1/2</sup> Diferença(%)=[(Simulado-Observado)/Observado].100

As estimativas das produtividades de grãos para o cultivar Mineiro Precoce variaram de 3,8%, para o espaçamento de 0,50 m, e de 16,1% para o de 0,30 m, quando utilizou-se a adubação de 300  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Para a outra adubação, as diferenças foram de 28,6% para o espaçamento de 0,30 m e 14,7%, para o de 0,50 m. Em resumo, o espaçamento de 0,30 m apresentou maior variabilidade da produtividade de grãos em relação ao de 0,50 m, para as duas adubações.

Quanto ao cultivar Carioca, verificou-se que, para a adubação de 300  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , a produtividade de grãos em condições de campo obtida no espaçamento de 0,40 m, foi superior à de 0,50 m. Considerando-se a maior

adubação, pode-se notar que para o espaçamento de 0,50 m, a produtividade de grãos foi mais elevada (2278 kg.ha<sup>-1</sup>) em relação ao outro espaçamento.

As produtividades de grãos simuladas foram superiores às observadas em todas as condições. Foram observadas diferenças de 12,9% para as produtividades de grãos obtidas pelo cultivar Carioca, espaçamento de 0,40 m, e de 14,7% para o de 0,50 m, quando utilizou-se a adubação de 300 kg.ha<sup>-1</sup>. Para a adubação de 500 kg.ha<sup>-1</sup>, verificou-se que a menor diferença de produtividade de grãos (10,8%) foi alcançada pelo Carioca no espaçamento de 0,50 m, ao passo que para o de 0,40 m, foi de 15,4%.

Resultados semelhantes foram obtidos por White et al. (1995) em que o cultivar Carioca, com a menor densidade de plantio (10 plantas.m<sup>-2</sup>) atingiu a produtividade em condições de campo em torno de 2000 kg.ha<sup>-1</sup> e a simulada, 2500 kg.ha<sup>-1</sup>. A maior densidade de plantas (35 plantas.m<sup>-2</sup>), alcançou a produtividade observada em torno de 2300 kg.ha<sup>-1</sup> e a simulada, aproximadamente, 2650 kg.ha<sup>-1</sup>.

Rocha (1991) obteve a produtividade de grãos para o cultivar Goiano Precoces em torno de 2051 e 1991 kg.ha<sup>-1</sup>, para os espaçamentos de 0,33 e 0,50 m, respectivamente, considerando-se uma população de 500 mil plantas.ha<sup>-1</sup>. Reduzindo-se a densidade de plantio para 300 mil plantas.ha<sup>-1</sup>, verificou-se que as produtividades de grãos foram de 2136 kg.ha<sup>-1</sup> para o espaçamento de 0,33 m, e 1720 kg.ha<sup>-1</sup> para 0,50 m. Para o cultivar Carioca, a produtividade foi de 2042 kg.ha<sup>-1</sup>, no espaçamento de 0,33 m, e de 1439 kg.ha<sup>-1</sup>, no de 0,50 m, considerando-se uma população de plantas de 300 mil plantas.ha<sup>-1</sup>. Aumento da população para 500 mil plantas.ha<sup>-1</sup>, permitiu elevação da produtividade de grãos em torno de 4,3 e 8,3%, respectivamente, para os espaçamentos de 0,33 e 0,50 m.

#### 4.2.1.5 Componentes de produção

Pequenas variações ocorreram entre o número de grãos por vagem observados e simulados, para os dois cultivares, espaçamentos e adubações (Tabela 11). A maior diferença (13,8%) ocorreu para o cultivar Mineiro Precoce, espaçamento de 0,30 m e adubação de 300 kg.ha<sup>-1</sup>, enquanto que não houve diferença para o Carioca, espaçamento de 0,50 m e mesma dose de adubação considerada anteriormente. Como verificado na fase de calibração, o cultivar Carioca apresentou maior número de grãos por vagem que o Mineiro Precoce, para os diferentes espaçamentos e doses de adubação.

Tabela 11. Número de grãos por vagem observado e simulado para o feijoeiro, cultivares Mineiro Precoce, espaçamentos de 0,30 e 0,50 m, e Carioca, espaçamento de 0,40 e 0,50 m, e adubação de 300 e 500 kg.ha<sup>-1</sup>, em Santo Antônio de Goiás, GO.

| Cultivar               | Adubação (kg.ha <sup>-1</sup> ) |           |                       |          |           |         |
|------------------------|---------------------------------|-----------|-----------------------|----------|-----------|---------|
|                        | 300                             |           |                       | 500      |           |         |
|                        | Simulado                        | Observado | Dif (%) <sup>1/</sup> | Simulado | Observado | Dif (%) |
| <b>Mineiro Precoce</b> |                                 |           |                       |          |           |         |
| Espaçamento 30 cm      | 3,38                            | 2,97      | 13,8                  | 3,16     | 3,00      | 5,32    |
| Espaçamento 50 cm      | 3,38                            | 3,21      | 5,3                   | 3,16     | 3,13      | 0,96    |
| <b>Carioca</b>         |                                 |           |                       |          |           |         |
| Espaçamento 40 cm      | 4,90                            | 4,97      | -1,4                  | 5,10     | 5,05      | 1,0     |
| Espaçamento 50 cm      | 4,90                            | 4,90      | 0                     | 5,10     | 4,85      | 5,2     |

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

Para o cultivar Goiano Precoce, Rocha (1991) verificou 3,2 grãos por vagem para o espaçamento de 0,33 m, e 3,5 grãos por vagem para o de 0,50 m, quando utilizou-se uma população de 300 mil plantas.ha<sup>-1</sup>. Para 500 mil plantas. ha<sup>-1</sup>, observou-se que para o menor espaçamento a relação foi de 3,2 grãos por vagem, e para o maior, foi de 3,3 grãos por vagem.

Valério (1998) verificou que o número de grãos por vagem pouco variou em função dos espaçamentos e populações, nos ensaios conduzidos no período das “águas”, da “seca” e de “Inverno/Primavera”, na região de Lavras, MG, confirmando a hipótese de que se trata de um componente do rendimento menos afetado pelo ambiente (Diniz, 1995).

O cultivar Carioca apresentou menor M100 para os diferentes espaçamentos e níveis de adubação, em relação ao cultivar Mineiro Precoce (Tabela 12). Verificou-se algumas diferenças entre os valores simulados e observados da M100, sendo que para o cultivar Mineiro Precoce ocorreram as maiores, variando de 12,9 a 13,4%, para a maior adubação, enquanto que para o Carioca, as diferenças foram menores, em torno de 2,9%, para a mesma adubação.

Rocha (1991) observou que para uma menor densidade de plantas (300 mil plantas.ha<sup>-1</sup>), do cultivar Goiano Precoce, a M100 foi maior (36,8 g) para o espaçamento de 0,33 m, em relação ao de 0,50 m (34,4 g). Para 500 mil plantas.ha<sup>-1</sup>, a M100 obtida para o espaçamento de 0,33 m foi de 36,3 g, enquanto que para o de 0,50 m foi de 34,2 g.

Para o cultivar Carioca verificou-se que a M100 variou muito pouco entre as populações de plantas e espaçamentos utilizados. Sendo que para 300 mil plantas.ha<sup>-1</sup> a M100 foi de 21,4 e 20,3 g, respectivamente, para os espaçamentos de 0,33 e 0,50 m, ao passo que, para 500 mil plantas.ha<sup>-1</sup>, a M100 foi de 20,6 g para o espaçamento de 0,33 m, e de 20,9 g para o de 0,50 m. Assim, pode-se dizer que a densidade de plantas influencia pouco na M100.

Tabela 12. Massa de 100 grãos (M100) observada e simulada para o feijoeiro, cultivares Mineiro Precoce, espaçamentos de 0,30 e 0,50 m, e Carioca, espaçamento de 0,40 e 0,50 m, e adubação de 300 e 500 kg.ha<sup>-1</sup>, em Santo Antônio de Goiás, GO.

| Cultivar               | Adubação (kg.ha <sup>-1</sup> ) |           |                       |          |           |         |
|------------------------|---------------------------------|-----------|-----------------------|----------|-----------|---------|
|                        | 300                             |           |                       | 500      |           |         |
|                        | Simulado                        | Observado | Dif (%) <sup>1/</sup> | Simulado | Observado | Dif (%) |
| <b>Mineiro Precoce</b> |                                 |           |                       |          |           |         |
| Espaçamento 0,30 m     | 38,1                            | 36,5      | 4,4                   | 41,2     | 36,5      | 12,9    |
| Espaçamento 0,50 m     | 39,5                            | 41,2      | -4,1                  | 42,2     | 37,2      | 13,4    |
| <b>Carioca</b>         |                                 |           |                       |          |           |         |
| Espaçamento 0,40 m     | 23,0                            | 21,4      | 7,5                   | 21,3     | 20,7      | 2,9     |
| Espaçamento 0,50 m     | 23,1                            | 21,3      | 8,5                   | 21,1     | 20,5      | 2,9     |

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

Teixeira (1998) observou que a maior massa média de 100 grãos foi obtida na safra das “águas”, e a menor na safra da “seca”. Normalmente, o que ocorre na safra da “seca” é que as chuvas cessam antes do completo enchimento de grãos, provocando grãos de menor tamanho, em relação aos obtidos nas safras das “águas” e “Inverno/Primavera” (Silveira & Stone, 1994; Calvache et al., 1995).

De maneira geral, o modelo simulou satisfatoriamente os componentes de produção.

#### 4.2.2 Município de Planaltina, DF

A Tabela 13 apresenta as produtividades de grãos simuladas pelo CROPGRO-dry bean previamente calibrado para Santo Antônio de Goiás, GO, e observadas a 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.

Tabela 13. Produtividade de grãos simulada e observada ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) para o feijoeiro, cultivar Carioca, tensões de água no solo de 33 e 100 kPa, durante 1988, 1990 e 1991, em Planaltina, DF.

| Tensão<br>(kPa) | Produtividade ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) |                |                          |               |                |            |               |                |            |
|-----------------|--|----------------|--------------------------|---------------|----------------|------------|---------------|----------------|------------|
|                 | 1988   |                |                          | 1990          |                |            | 1991          |                |            |
|                 | Simu-<br>lado                                    | Obser-<br>vado | Dif<br>(%) <sup>4/</sup> | Simu-<br>lado | Obser-<br>vado | Dif<br>(%) | Simu-<br>lado | Obser-<br>vado | Dif<br>(%) |
| 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       |

<sup>4/</sup>Diferença(%)=[(Simulado-Observado)/Observado].100

Para a tensão de água no solo de 33 kPa, o CROPGRO-dry bean superestimou a produtividade nos três anos de experimento, com variações em torno de 14,26% em 1988, 15,92% em 1990, e 16,02% em 1991. Porém, para a tensão de água no solo de 100 kPa, as produtividades foram subestimadas em 1988 (-13,82%) e 1990 (-21,17%).

Essas flutuações na produtividade podem estar relacionadas à ocorrência de doenças e ao ataque de pragas não consideradas no modelo, como também à variabilidade espacial dos dados experimentais.

O modelo simulou satisfatoriamente a produtividade de grãos para tensões de água mantidas próximas à capacidade de campo. Entretanto, a partir do momento em que se aumenta a tensão de água no solo, ou seja, quando 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 poderá ser utilizado em outra região, uma vez que o mesmo simulou satisfatoriamente a produtividade de grãos para Planaltina.

### **4.3 Aplicação do modelo**

#### **4.3.1 Produtividade potencial**

Produtividade potencial é aquela determinada apenas pelas condições de radiação solar e temperatura, não havendo restrição hídrica.

A Tabela 14 e a Figura 21 apresentam as produtividades médias potenciais e os desvios padrões médios simulados pelo CROPGRO-dry bean durante os 21 anos da série climatológica histórica, e os coeficientes de variação, para o cultivar Carioca, espaçamento de 0,60 m, em Santo Antônio de Goiás, GO.

As produtividades médias potenciais simuladas ficaram entre 2788 e 3752 kg.ha<sup>-1</sup> (Tabela 14). A maior produtividade potencial foi alcançada para a semeadura efetuada no primeiro decêndio de maio (01/05), cuja maturação fisiológica será atingida aos 83 DAS, ou seja, em torno de 23/07, período seco, em que não ocorre praticamente nenhuma precipitação pluvial na região. Durante o período de maio a julho a temperatura média mensal foi de 22,2 °C, a precipitação total foi de 54,3 mm e a radiação solar global foi de 17,5 MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup> (Figura 22), e esses valores se enquadram nas condições de aptidão para o cultivo do feijoeiro, conforme discutido no item 2.1.2.

Tabela 14. Produtividades potenciais médias, e respectivos desvios padrões (DP), coeficientes de variação (CV), para o cultivar Carioca, espaçamento de 0,60 m, em Santo Antônio de Goiás, GO.

| Produção Potencial |                                 |                              |           |       |                                 |                              |           |
|--------------------|---------------------------------|------------------------------|-----------|-------|---------------------------------|------------------------------|-----------|
| Sem.               | Média<br>(kg.ha <sup>-1</sup> ) | DP<br>(kg.ha <sup>-1</sup> ) | CV<br>(%) | Sem.  | Média<br>(kg.ha <sup>-1</sup> ) | DP<br>(kg.ha <sup>-1</sup> ) | CV<br>(%) |
| 01/01              | 3270,10                         | 279,55                       | 8,55      | 01/07 | 3358,00                         | 261,68                       | 7,79      |
| 11/01              | 3293,43                         | 271,43                       | 8,24      | 11/07 | 3341,29                         | 264,61                       | 7,92      |
| 21/01              | 3232,43                         | 262,14                       | 8,11      | 21/07 | 3392,81                         | 263,29                       | 7,76      |
| 01/02              | 3318,86                         | 250,09                       | 7,54      | 01/08 | 3167,24                         | 302,09                       | 9,54      |
| 11/02              | 3348,24                         | 285,18                       | 8,52      | 11/08 | 3103,90                         | 221,18                       | 7,13      |
| 21/02              | 3256,14                         | 255,00                       | 7,83      | 21/08 | 3032,86                         | 261,54                       | 8,62      |
| 01/03              | 3302,52                         | 268,64                       | 8,13      | 01/09 | 2984,14                         | 224,49                       | 7,52      |
| 11/03              | 3287,05                         | 312,88                       | 9,52      | 11/09 | 2870,52                         | 256,40                       | 8,93      |
| 21/03              | 3481,05                         | 267,17                       | 7,67      | 21/09 | 2888,38                         | 269,79                       | 9,34      |
| 01/04              | 3541,29                         | 304,32                       | 8,59      | 01/10 | 2896,52                         | 235,66                       | 8,14      |
| 11/04              | 3693,62                         | 258,14                       | 6,99      | 11/10 | 2787,52                         | 203,81                       | 7,31      |
| 21/04              | 3723,10                         | 206,83                       | 5,56      | 21/10 | 2849,19                         | 259,78                       | 9,12      |
| 01/05              | 3752,00                         | 278,68                       | 7,43      | 01/11 | 2954,86                         | 276,44                       | 9,36      |
| 11/05              | 3690,00                         | 231,03                       | 6,26      | 11/11 | 2871,62                         | 228,99                       | 7,97      |
| 21/05              | 3606,52                         | 309,32                       | 8,58      | 21/11 | 2938,19                         | 253,71                       | 8,63      |
| 01/06              | 3603,24                         | 353,78                       | 9,82      | 01/12 | 3072,19                         | 284,75                       | 9,27      |
| 11/06              | 3360,67                         | 254,34                       | 7,57      | 11/12 | 3076,52                         | 255,90                       | 8,32      |
| 21/06              | 3324,14                         | 297,29                       | 8,94      | 21/12 | 3034,62                         | 267,88                       | 8,83      |



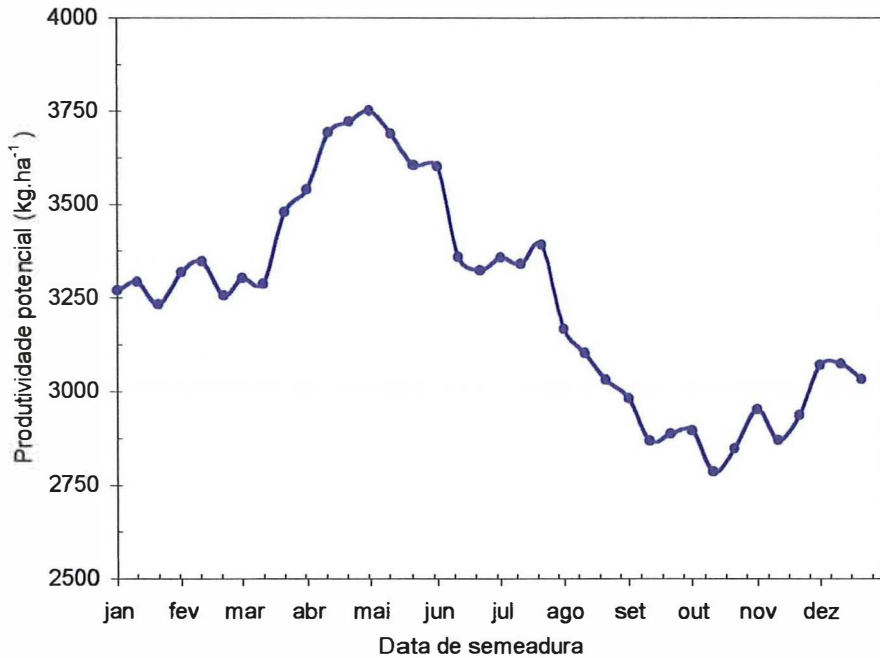


Figura 21. Produtividade média potencial simulada, para o cultivar Carioca, espaçamento de 0,60 m, em Santo Antônio de Goiás, GO.

Produtividades médias abaixo de 3000 kg.ha<sup>-1</sup> foram simuladas para as semeaduras entre o primeiro decêndio de Setembro e o terceiro decêndio de Novembro. A menor delas ocorreu para a semeadura de 11 de Outubro, atingindo a maturação fisiológica, aproximadamente aos 76 DAS (26/12), coincidindo com o período chuvoso na região (Figura 22), o que pode ter provocado a queda da produção de grãos, devido à ocorrência de chuvas no período da colheita.

Vale ressaltar que na determinação da produtividade potencial de uma cultura, parte-se do pressuposto que as condições de água e nutrientes se encontram nos níveis ótimos para o desenvolvimento e crescimento da planta. Assim sendo, pode-se dizer que as produtividades médias potenciais simuladas se enquadram no intervalo de 4000 a 6000 kg.ha<sup>-1</sup> encontrado por White & Isquierdo (1991). Segundo esses autores, altos rendimentos são obtidos em parcelas experimentais e em condições ambientais favoráveis ao

desenvolvimento da cultura (solo fértil, alta radiação, temperatura noturna amena de 10 a 13 °C, e pequenos problemas com pragas e doenças). Fageria<sup>5</sup> (1999) também verificou que é possível encontrar valores de produtividade em torno de 4000 kg.ha<sup>-1</sup>, em sistema de plantio direto, na região dos cerrados.

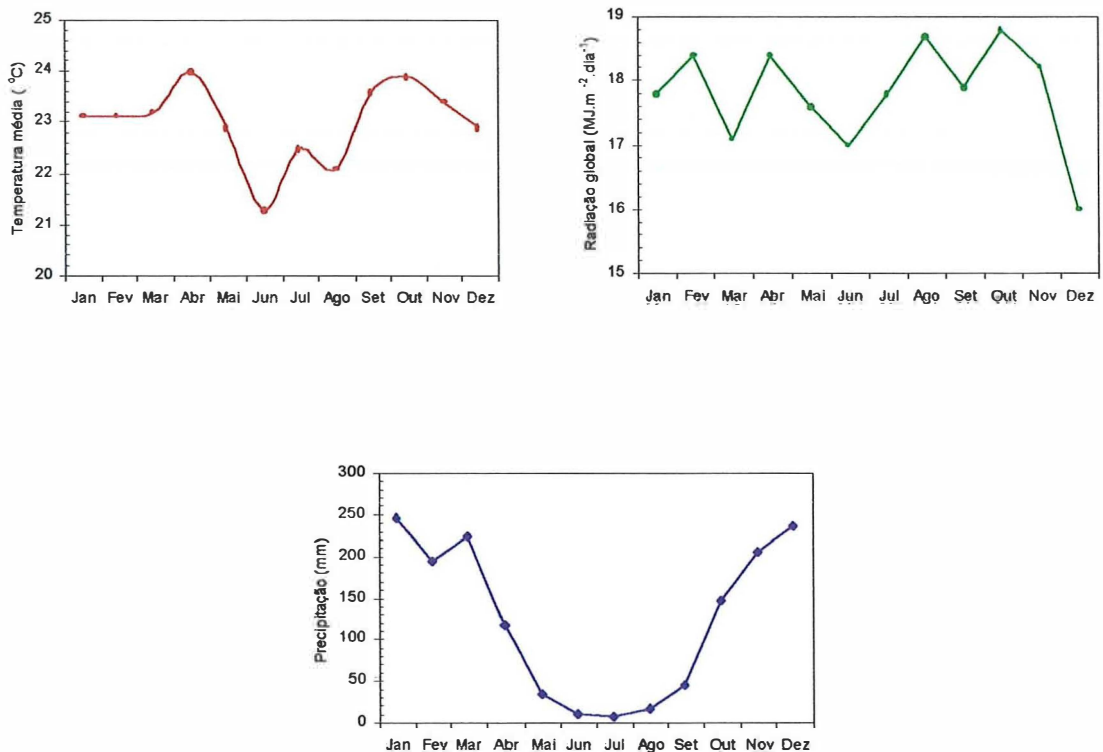


Figura 22. Variação mensal da temperatura média do ar, radiação solar global média, e precipitação mensal para Santo Antônio de Goiás, GO.

O menor desvio padrão médio de produtividade potencial verificado foi em torno de 203,81 kg.ha<sup>-1</sup> para semeadura em 11 de Outubro, enquanto que o maior foi cerca de 353,78 kg.ha<sup>-1</sup> para semeadura em 1º de Junho. Os

<sup>5</sup> FAGERIA, N.K. Relatório do subprojeto 04.1999.077-02: Manejo da fertilidade do solo em sistema de plantio direto na região dos cerrados. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. (não publicado)

coeficientes de variação foram todos abaixo de 10%, indicando baixa variação das produtividades médias potenciais simuladas.

As épocas de semeadura recomendadas para a cultura do feijoeiro no Estado de Goiás concentram-se em três períodos: “águas” ou “primeira época”, de Outubro a Novembro; “secas” ou de “segunda época”, de Janeiro a Fevereiro; e “inverno” ou “terceira época” de Maio a Junho ( Embrapa, 1994). As maiores produtividades médias potenciais, se concentraram nas semeaduras entre o terceiro decêndio de Março ao primeiro decêndio de Junho. O máximo de  $3752 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  foi atingido em 1º de Maio.

Analisando-se a Figura 23, que apresenta as freqüências da produtividade potencial da cultura do feijoeiro, relativas à todas simulações, nota-se que os valores de maior freqüência ocorreram, entre 2500 e 4000  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , para Santo Antônio de Goiás.

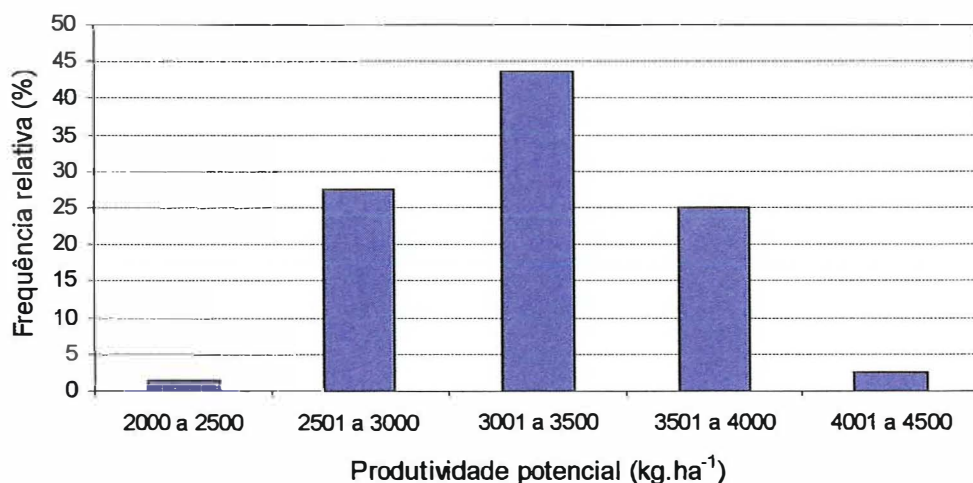


Figura 23. Frequência relativa de produtividades potenciais simuladas para todas as datas de semeadura analisadas, para o cultivar Carioca, em Santo Antônio de Goiás, GO.

### 4.3.2 Produtividade real

A produtividade real média, os desvios padrões médios em plantios simulados, considerando-se 21 anos da série climatológica, e os coeficientes de variação, para o cultivar Carioca, espaçamento de 0,60 m, e o nível de adubação de 500 kg.ha<sup>-1</sup>, em Santo Antônio de Goiás, GO, são apresentados na Figura 24 e na Tabela 15.

Para sementeiras no período entre o primeiro decêndio de Janeiro ao terceiro de Fevereiro, correspondente ao plantio das "secas", as produtividades reais médias decresceram gradativamente de 1590 para 958 kg.ha<sup>-1</sup> à medida em que se atrasou a sementeira (Figura 24). Isto, também foi constatado por Ramalho et al. (1993) quando efetuou a sementeira em Fevereiro na região de Lavras, MG, obtendo produtividade média de 1950 kg.ha<sup>-1</sup>, sendo 21,5% superior à obtida em Março. De uma forma geral, pode-se dizer que o rendimento decresce com o atraso da sementeira, condicionado pelo regime térmico e hídrico da região.

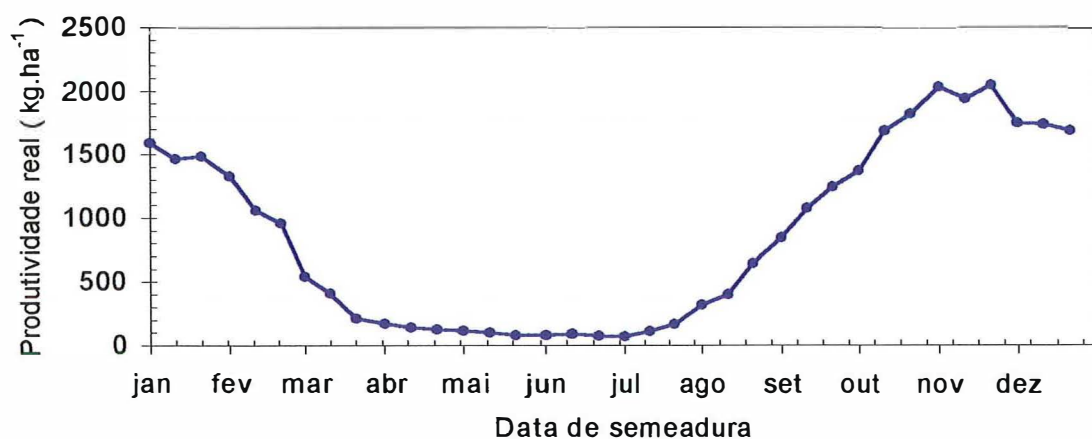


Figura 24. Produtividade real média simulada para o cultivar Carioca, espaçamento de 0,60 m, adubação de 500 kg.ha<sup>-1</sup>, em Santo Antônio de Goiás, GO.

As produtividades reais médias simuladas para Santo Antônio de Goiás são bem acima da média obtida na safra das "secas", em condições de campo, no Estado de Goiás, que é  $746 \text{ kg.ha}^{-1}$  (Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística, 1999).

Considerando-se a época de semeadura de "Inverno", período compreendido entre 1º de Maio e 21 de Junho, nota-se que é inviável o cultivo do feijoeiro sem irrigação, uma vez que não ocorre praticamente chuvas no período, havendo déficit hídrico durante todo o ciclo da cultura, (Figura 25), atingindo a produtividade real, em média,  $92 \text{ kg.ha}^{-1}$ .

Ramalho et al. (1993), utilizando irrigação por aspersão, verificou que a semeadura de "Inverno", na região de Lavras, MG, quando efetuada em Julho, pode atingir produtividade média de grãos de  $1881 \text{ kg.ha}^{-1}$ , sendo 36,7% superior à da semeadura realizada em Agosto. Nesse último caso, aumenta-se a probabilidade da colheita coincidir com o período das chuvas, o que dificulta o trabalho de colheita e deprecia o produto colhido. Assim, no caso da safra de "Inverno", a semeadura deverá ser efetuada em Julho, apesar da germinação e emergência serem mais demoradas, mas as condições, da colheita, são mais favoráveis.

Tabela 15. Produtividade real média, e respectivos desvios padrões (DP), coeficientes de variação (CV), para o cultivar Carioca, espaçamento de 0,60 m, adubação de 500 kg.ha<sup>-1</sup>, em Santo Antônio de Goiás, GO.

| Produtividade Real |                                 |                              |           |       |                                 |                              |           |
|--------------------|---------------------------------|------------------------------|-----------|-------|---------------------------------|------------------------------|-----------|
| Sem.               | Média<br>(kg.ha <sup>-1</sup> ) | DP<br>(kg.ha <sup>-1</sup> ) | CV<br>(%) | Sem.  | Média<br>(kg.ha <sup>-1</sup> ) | DP<br>(kg.ha <sup>-1</sup> ) | CV<br>(%) |
| 01/01              | 1590,48                         | 535,36                       | 33,66     | 01/07 | 71,86                           | 57,02                        | 79,35     |
| 11/01              | 1464,67                         | 395,80                       | 27,02     | 11/07 | 110,71                          | 78,20                        | 70,63     |
| 21/01              | 1487,57                         | 370,90                       | 24,93     | 21/07 | 166,62                          | 103,51                       | 62,12     |
| 01/02              | 1327,29                         | 344,53                       | 25,96     | 01/08 | 319,76                          | 296,96                       | 92,87     |
| 11/02              | 1059,57                         | 450,96                       | 42,56     | 11/08 | 401,14                          | 237,57                       | 59,22     |
| 21/02              | 957,71                          | 455,39                       | 47,55     | 21/08 | 646,14                          | 348,81                       | 53,98     |
| 01/03              | 541,48                          | 236,40                       | 43,66     | 01/09 | 842,38                          | 400,52                       | 47,55     |
| 11/03              | 408,90                          | 206,44                       | 50,49     | 11/09 | 1074,62                         | 335,78                       | 31,25     |
| 21/03              | 214,86                          | 76,17                        | 35,45     | 21/09 | 1244,33                         | 297,97                       | 23,95     |
| 01/04              | 174,10                          | 62,96                        | 36,16     | 01/10 | 1368,67                         | 251,43                       | 18,37     |
| 11/04              | 142,67                          | 32,78                        | 22,98     | 11/10 | 1684,52                         | 424,71                       | 25,21     |
| 21/04              | 127,05                          | 30,41                        | 23,94     | 21/10 | 1814,43                         | 414,94                       | 22,87     |
| 01/05              | 118,57                          | 52,45                        | 44,24     | 01/11 | 2030,81                         | 462,01                       | 22,75     |
| 11/05              | 101,10                          | 27,79                        | 27,49     | 11/11 | 1937,33                         | 470,79                       | 24,30     |
| 21/05              | 83,67                           | 43,77                        | 52,31     | 21/11 | 2041,67                         | 462,57                       | 22,66     |
| 01/06              | 80,71                           | 48,45                        | 60,03     | 01/12 | 1743,48                         | 423,52                       | 24,29     |
| 11/06              | 93,00                           | 67,88                        | 72,99     | 11/12 | 1732,43                         | 462,77                       | 26,71     |
| 21/06              | 75,81                           | 50,46                        | 66,56     | 21/12 | 1685,00                         | 447,25                       | 26,54     |

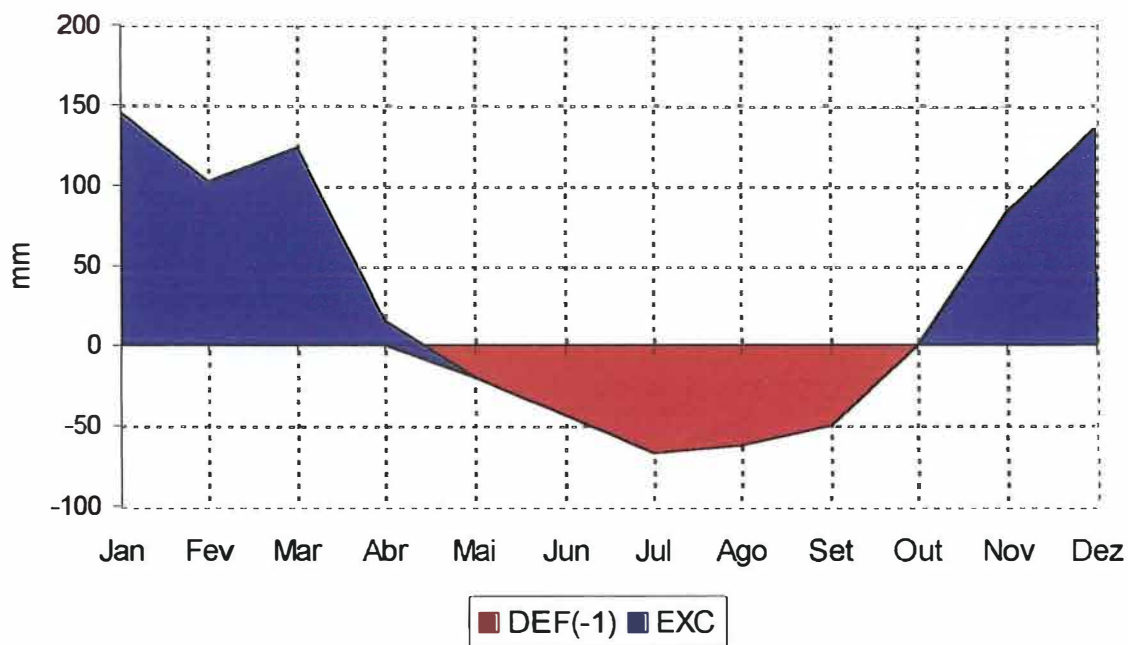


Figura 25. Extrato do balanço hídrico climatológico normal mensal, segundo Thornthwaite & Mather (1955), para CAD igual a 60 mm, em Santo Antônio de Goiás, GO.

Teixeira (1998) e Valério (1998) também verificaram que para a semeadura de “Inverno/Primavera”, na região de Lavras, MG, as produtividades foram respectivamente, de 1655 e 1410  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , situando-se um pouco abaixo da média mineira de 1747  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  na mesma safra (Moura et al., 1994).

No Estado de Goiás, quando a cultura de feijoeiro é plantada sob condições de irrigação, no período de “Outono/Inverno”, é possível obter-se produtividades acima de 2400  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (safra 98/99) conforme Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (1999). Semeaduras na época das “águas”, ou seja, de Outubro a Novembro, as produtividades reais atingiram em média 1813  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , representando um aumento em torno de cinco vezes mais do que aquela obtida na semeadura de “Inverno”.

As produtividades reais médias simuladas foram superiores ao rendimento médio (1667 kg.ha<sup>-1</sup>), obtido na safra das “águas” (1998/99), no Estado de Goiás, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (1999).

Para a região de Lavras, Teixeira (1998) e Valério (1998) verificaram que os ensaios conduzidos na época das águas, as produtividades alcançaram cerca de 1978 e 1585 kg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente, superando as médias mineira (520 kg.ha<sup>-1</sup>, safra 1992/93), de acordo com Moura et al. (1994) e a brasileira (616 kg.ha<sup>-1</sup>, média das três safras, segundo Agroanalysis, 1995). O cultivar mais produtivo foi o Aporé (1938 kg.ha<sup>-1</sup>), e o menos produtivo o Carioca (1302 kg.ha<sup>-1</sup>), segundo Teixeira (1998).

Caso a semeadura sofresse um atraso, e fosse efetuada em Dezembro, as produtividades reais simuladas seriam, em média, cerca de 1720 kg.ha<sup>-1</sup>. Porém, o ciclo da cultura abrangeria Dezembro, Janeiro, Fevereiro, até meados de Março, conforme as datas de semeadura (01/12, 11/12 e 21/12), uma vez que nesse período concentram-se cerca de 60% da precipitação pluvial anual, o que poderia comprometer a produtividade, seja por doenças ou até mesmo pelo apodrecimento dos grãos no campo.

Segundo registros da FNP – Consultoria & Comércio (1996), nos últimos anos no Brasil ocorreram aumentos na produtividade de feijão, citando a produtividade de 1000 kg.ha<sup>-1</sup> como baixa, de 1600 kg.ha<sup>-1</sup> como média, e de 2300 kg.ha<sup>-1</sup> como alta produtividade. Assim sendo, de uma forma geral pode-se classificar as produtividades reais obtidas na semeadura das “águas” como média-alta, e aquelas correspondentes às semeaduras das “secas” e de “Inverno”, como baixas e muito baixas, respectivamente.

Os desvios padrões médios oscilaram entre 28 kg.ha<sup>-1</sup> para a semeadura efetuada em 11 de Maio e 535 kg.ha<sup>-1</sup> para aquela realizada em 1º de Janeiro, indicando a dispersão da produtividade real em relação à média.

Pela Tabela 15 pode-se verificar a grande variabilidade das produtividades reais estimadas, nas diferentes datas de semeadura, mostrando



sua sensibilidade às condições ambientais. Essa sensibilidade do modelo pode ser confirmada pelos coeficientes de variação classificados entre médios a muito altos, indicando variabilidade nas estimativas nos diferentes anos.

Os coeficientes de variação obtidos para a semeadura das “secas” e de “Inverno” indicaram variações altas a muito altas nas produtividades reais. Entretanto, para a semeadura das “águas”, as variações das produtividades reais foram médias a altas. Essas variações podem ser atribuídas à distribuição irregular das precipitações pluviais.

Pela distribuição das freqüências de produtividade real de grãos simulados para Santo Antônio de Goiás, observa-se que os valores freqüentes ocorreram entre 0 a 600 kg.ha<sup>-1</sup>, e 1201 a 1800 kg.ha<sup>-1</sup> (Figura 26).

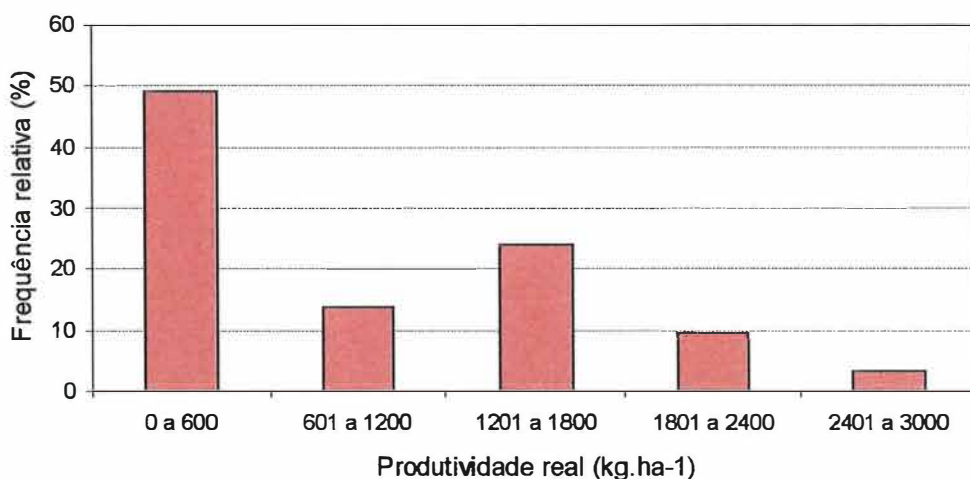


Figura 26. Freqüência relativa de produtividades reais simuladas para todas as datas de semeadura analisadas, para o cultivar Carioca, adubação de 500 kg.ha<sup>-1</sup>, em Santo Antônio de Goiás, GO.

#### 4.3.3 Análise de risco de quebra de produtividade

Variações de quebra relativa de produtividade simulada para diferentes datas de semeaduras, em Santo Antônio de Goiás, GO, são apresentadas na Figura 27. Considerando-se a época das “secas”, percebe-se alto risco de

quebra de produtividade já no primeiro decêndio de Janeiro, ultrapassando 50%, sendo que o risco de quebra vai aumentando gradativamente até o terceiro decêndio de Fevereiro, quando então atinge 71%. Alto risco de quebra de produtividade está relacionado à ocorrência de “veranicos”, períodos de estiagem prolongada, variando de 7 a 20 dias, muito comuns nessa época do ano, e que causam a deficiência hídrica. As taxas de quebra de rendimento aumentam consideravelmente, à medida em que se atrasa a semeadura, atingindo riscos muito altos, acima de 95%, principalmente na semeadura de “Inverno” (01/05 a 21/06). Isso, mostra a necessidade de se utilizar a irrigação na semeadura de “Inverno”, em decorrência da deficiência hídrica nesse período de estiagem.

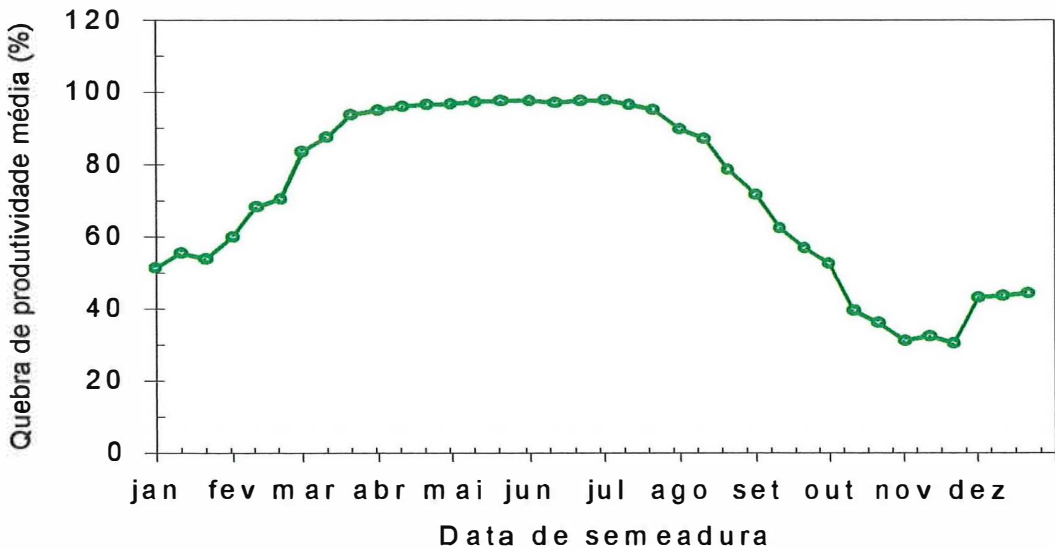


Figura 27. Variação anual da quebra relativa de produtividade média nas diferentes datas de semeadura, para o cultivar Carioca, simulada, em Santo Antônio de Goiás, GO.

A maior quebra de rendimento (98%) é alcançada no primeiro decêndio de Julho, ocorrendo, posteriormente, um declínio acentuado até o primeiro decêndio de Outubro, em torno de 53%. No período de semeadura compreendido entre 11 de Outubro e 21 de Novembro, semeadura das “águas”,

verifica-se os menores riscos de quebra de produtividade, sendo em média de 34%, correspondendo a um médio risco climático.

Pode-se dizer que, sendo o feijoeiro uma cultura de alto risco climático, é conveniente que se faça irrigação suplementar nas sementeiras das “secas” e das “águas”, e durante todo o ciclo, na sementeira de “Inverno”, na região de Santo Antônio de Goiás.

Estudos realizados por Meireles et al. (1997b) utilizando modelo de balanço hídrico (BIPZON) e sistema de Informações Geográficas (SIG) verificaram que para um cultivar de feijão de ciclo de 90 dias, e solo de baixa capacidade de armazenamento (30 mm), para sementeira realizada entre 6 e 10 de janeiro, as regiões situadas ao norte, noroeste e sudoeste do Estado de Goiás apresentaram condições de baixo risco climático. Entretanto, a partir do período de 16 a 20 de Janeiro, praticamente não houve regiões de baixo risco climático em todo o Estado.

Aumentando-se a capacidade de armazenamento de água no solo (50 mm), verificou-se aumento expressivo de áreas de baixo risco climático, no período compreendido entre 6 e 30 de Janeiro, comparando-se às situações anteriormente analisadas. Situações de alto risco climático foram caracterizadas a partir de 6 e 10 de Fevereiro.

Considerando-se um cultivar de ciclo de 90 dias e um solo com capacidade de água de 50 mm, pode-se mencionar que para a região de Santo Antônio de Goiás, o feijão das “secas”, com sementeiras efetuadas entre 1º e 20 de Janeiro, apresentou-se como sendo de baixo risco climático, ou seja, favorável ao seu cultivo. Porém, a partir do terceiro decêndio de Janeiro, o risco passou de baixo para médio, e posteriormente ao primeiro decêndio de Fevereiro, tornou-se uma região de alto risco climático, conforme os estudos de Silva et al. (1999).

Analisando-se a Tabela 16, observa-se as Freqüências de ocorrência de quebra relativa de rendimento, para cada época de sementeira, na região de Santo Antônio de Goiás. Verifica-se que apenas as sementeiras compreendidas

entre 1º e 11 de Novembro apresentaram quedas de rendimento inferiores a 20%, ocorrendo em 38% dos casos. Porém, em 48% dos casos foram verificadas quedas de rendimento entre 21 e 40% para a semeadura efetuada no terceiro decêndio de Novembro.

Para a faixa de quebra relativa de rendimento entre 41 e 60%, observa-se que, em média, 52% dos casos se concentram entre o período de semeadura entre 11 de Janeiro e 1º de Fevereiro, e, que para o primeiro decêndio de Outubro, ocorrem 81% dos casos.

As quebras de rendimento superiores a 80% ocorrem em 100% dos casos para as semeaduras realizadas desde o terceiro decêndio de Março até o terceiro decêndio de Julho, coincidindo com a redução das precipitações e, conseqüentemente, da água disponível no solo.

Analisando-se a Figura 28, que apresenta as Freqüências de quebra relativa de produtividade da cultura do feijoeiro, referentes a todos os os dados simulados, nota-se que em apenas 5% dos casos, a quebra relativa de produtividade foi abaixo de 20%. Em 49% dos casos ocorreram quebras de produtividade acima de 80%, mostrando a sensibilidade do CROPGRO-dry bean à deficiência hídrica.

Tabela 16. Frequência de quebra relativa de rendimento da cultura do feijoeiro, em %, para o cultivar Carioca, espaçamento de 0,60 m e adubação de 500 kg.ha<sup>-1</sup>, para Santo Antônio de Goiás, GO.

| Semeadura    | Faixas de quebra relativa de rendimento (%) |             |              |              |              |
|--------------|---|-------------|--------------|--------------|--------------|
|              | 0 a 20                                      | 21 a 40     | 41 a 60      | 61 a 80      | 81 a 100     |
| 01/01        | 9,52  | 14,28       | 38,10        | 38,10        | 0,00         |
| 11/01        | 0,00  | 14,28       | 42,86        | 42,86        | 0,00         |
| 21/01        | 0,00  | 9,52        | 61,91        | 28,57        | 0,00         |
| 01/02        | 0,00  | 4,76        | 52,38        | 38,10        | 4,76         |
| 11/02        | 0,00  | 4,76        | 23,81        | 52,38        | 19,05        |
| 21/02        | 0,00  | 0,00        | 23,81        | 52,38        | 23,81        |
| 01/03        | 0,00  | 0,00        | 4,76         | 19,05        | 76,19        |
| 11/03        | 0,00  | 0,00        | 0,00         | 19,05        | 80,95        |
| 21/03        | 0,00  | 0,00        | 0,00         | 0,00         | 100,00       |
| 01/04        | 0,00  | 0,00        | 0,00         | 0,00         | 100,00       |
| 11/04        | 0,00  | 0,00        | 0,00         | 0,00         | 100,00       |
| 21/04        | 0,00  | 0,00        | 0,00         | 0,00         | 100,00       |
| 01/05        | 0,00  | 0,00        | 0,00         | 0,00         | 100,00       |
| 11/05        | 0,00  | 0,00        | 0,00         | 0,00         | 100,00       |
| 21/05        | 0,00  | 0,00        | 0,00         | 0,00         | 100,00       |
| 01/06        | 0,00  | 0,00        | 0,00         | 0,00         | 100,00       |
| 11/06        | 0,00  | 0,00        | 0,00         | 0,00         | 100,00       |
| 21/06        | 0,00  | 0,00        | 0,00         | 0,00         | 100,00       |
| 01/07        | 0,00  | 0,00        | 0,00         | 0,00         | 100,00       |
| 11/07        | 0,00  | 0,00        | 0,00         | 0,00         | 100,00       |
| 21/07        | 0,00  | 0,00        | 0,00         | 0,00         | 100,00       |
| 01/08        | 0,00  | 0,00        | 0,00         | 9,52         | 90,48        |
| 11/08        | 0,00  | 0,00        | 4,76         | 4,76         | 90,48        |
| 21/08        | 0,00  | 0,00        | 9,52         | 47,62        | 42,86        |
| 01/09        | 0,00  | 0,00        | 28,57        | 33,33        | 38,10        |
| 11/09        | 0,00  | 0,00        | 47,62        | 47,62        | 4,76         |
| 21/09        | 0,00  | 4,76        | 57,15        | 33,33        | 4,76         |
| 01/10        | 0,00  | 4,76        | 80,95        | 14,29        | 0,00         |
| 11/10        | 14,28                                       | 38,10       | 42,86        | 4,76         | 0,00         |
| 21/10        | 23,81                                       | 28,57       | 47,62        | 0,00         | 0,00         |
| 01/11        | 38,10                                       | 23,80       | 38,10        | 0,00         | 0,00         |
| 11/11        | 38,10                                       | 19,04       | 38,10        | 4,76         | 0,00         |
| 21/11        | 28,57                                       | 47,62       | 23,81        | 0,00         | 0,00         |
| 01/12        | 9,52  | 38,10       | 38,10        | 14,28        | 0,00         |
| 11/12        | 19,04                                       | 23,81       | 42,86        | 14,29        | 0,00         |
| 21/12        | 4,76  | 33,33       | 42,86        | 19,05        | 0,00         |
| <b>Média</b> | <b>5,16</b>                                 | <b>8,62</b> | <b>21,96</b> | <b>14,95</b> | <b>49,34</b> |

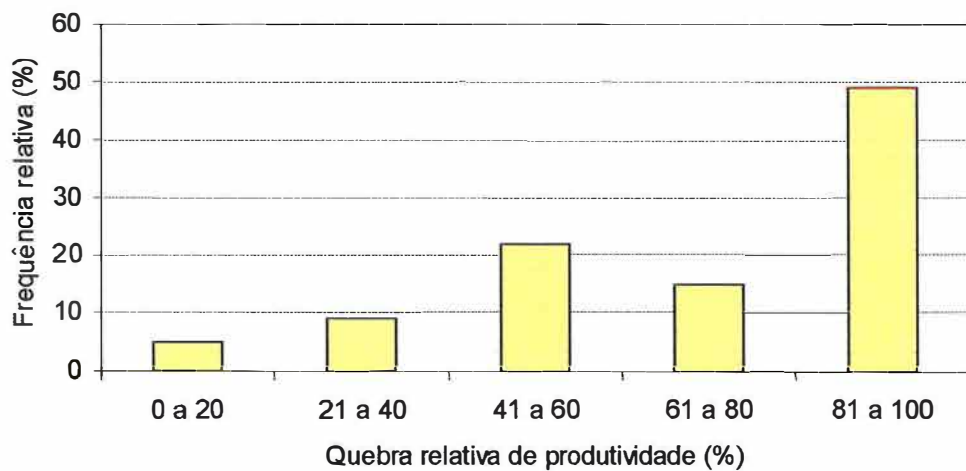


Figura 28. Frequências relativas da quebra relativa de produtividade simulada para todas as datas de semeadura analisadas para o cultivar carioca, em Santo Antônio de Goiás, GO.

## 5 CONCLUSÕES

Verificou-se que o modelo CROPGRO-dry bean simulou satisfatoriamente a fenologia, a produtividade de grãos, e os componentes de produção, para os cultivares Mineiro Precoce e Carioca, nos dois níveis de adubação e diferentes espaçamentos entre linhas, tanto na fase de calibração como na de teste para a região de Santo Antônio de Goiás, GO.

Embora, o IAF e a produção de matéria seca total tenham apresentado correlações significativas entre os valores observados e simulados, ocorreram subestimativas e superestimativas, ora no estágio vegetativo, ora no reprodutivo, para as diferentes situações. Pelo intervalo de confiança dos desvios padrões, constatou-se que alguns pontos ficaram fora dos mesmos, condicionando possíveis erros, constituindo-se assim, numa das limitações para se calibrar adequadamente o modelo de simulação da cultura. Esses erros podem estar relacionados à variabilidade espacial dos dados de solo, à coleta, e amostragem de dados, e à incidência de pragas e doenças em algumas fases do ciclo da cultura, fatores não incluídos no modelo.

O modelo CROPGRO-dry bean previamente calibrado para Santo Antônio de Goiás poderá ser utilizado em outra região, uma vez que o mesmo simulou satisfatoriamente a produtividade de grãos para Planaltina, DF, desde que não esteja ocorrendo deficiência hídrica muito severa.

Foi possível detectar que é conveniente utilizar irrigação suplementar nas semeaduras das “secas” e das “águas” na região de Santo Antônio de Goiás, GO, uma vez que se observou quebra de produtividade acima de 50% na semeadura das “secas”, e, em média, 34% na das “águas”. Na semeadura de “Inverno”, é necessário a irrigação é mandatória durante todo o ciclo da cultura, pois foram verificados riscos muito elevados, acima de 95%, nas quebras de rendimento de grãos.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABELES, F.B.; GAHAGAN, H.E. Abscission; the role of ethylene, ethylene analogues, carbon dioxide and oxygen. **Plant Physiology**, v.43, p.1255-1258, 1968.
- AGROANALYSIS. Rio de Janeiro: FGV, v.15, n.4, 1995.
- ANDRADE, M.J.B. de. Clima e solo. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T.J. de; BORÉM, A. (Ed.) **Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas**. Viçosa, UFV, 1998. p.83-97.
- BASTOS, E.A. Adaptação do modelo CROPGRO para simulação do crescimento e desenvolvimento do feijão caupi *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Sob diferentes condições hídricas, no Estado do Piauí. Piracicaba, 1999. 91p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- BOOGESS, W.G.; RITCHIE, J.T. Economic and risk analysis of irrigation decisions in humid regions. **Journal Production Agricultural**, v.1, n.2, p.116-122, 1998.
- BOOTE, K.J. Concepts for calibrating crop growth models. **Crop simulation course**, 1994, 13p.
- 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.; PICKERING, N.B. Potential uses and limitations of crop models. **Agronomy Journal**, v.88, p.707-716, 1996.
- BOOTE, K.J.; JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G. et al. The CROPGRO model for grain legumes. In: TSUJI, G.Y.; HOOGENBOOM, G.; THORNTON, P.K. (Ed.) **Understanding options for agricultural production**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1998b, p.99-128.
- BOWEN, H.D.; COLWICK, R.F.; BATCHELDER, D.G. Computer simulation of crop production: potential and hazards. **Agricultural Engineering**, v.54, n.10, p.42-45, 1973.
- CALVACHE, M.; REICHARDT, K., SILVA, J.C.A. et al.. Adubação nitrogenada do feijão sob estresse de água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, 1995. **Resumos expandidos**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. p.649-651.
- 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**, v.44, p.545-554, 1996.
- COSTA, L.C. Modelagem e simulação em agrometeorologia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., Piracicaba, 1997. **Suplemento dos anais**. Piracicaba: SBA, 1997. p.3-6.
- CROOKSTON, R.K.; TREHARNE, K.J.; LUDFOR, P. et al. Response of beans of shading. **Crop Science**, v.15, p.412-416, 1975.
- CRUZ, J.L. Produção de acúmulo de matéria seca nos grãos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e sua relação com o rendimento. Lavras, 1992. 94p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura de Lavras.
- CURRY, R.B.; PEART, R.M.; JONES, J.W. et al. Simulation as a tool for analyzing crop response to climate change. **Transactions of the ASAE**, v.33, p.981-990, 1990.

- DE WIT, C.T. Simulation of living systems. In: PENNING DE VRIES, F.W.T.; VAN LAAR, H.H. (Ed.) **Simulation of plant growth and crop production**. Wageningen: Pudoc, 1982. p.3-8.
- DIAS, D.A.; SANTOS, J.B.; RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A.F.B. Seleção de progênies de feijoeiro adaptadas ao cultivo no inverno do sul de Minas Gerais, na população Rio Tibagi x Carioca 300 V. **Ciência e Prática**, v.16, p.68-73, 1992.
- DICKSON, M.K.; BOETTGER, M.A. Effect of high and low temperatures on pollen germination and seed set in snap beans. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.109, n.3, p.372-374, 1984.
- DINIZ, A.R. Resposta da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) à aplicação de nitrogênio (semeadura e cobertura) e de molibdênio foliar. Lavras, 1995. 60p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193p. (Irrigation and Drainage. Paper, 33).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão. **O cultivo do feijão: recomendações técnicas**. Brasília: Embrapa, SPI, 1994. 83p. (Embrapa. CNPAF. Documentos, 48).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço de Produção de Informação. **Recomendações técnicas para o cultivo do feijão: zonas 61 e 83**. Brasília, 1993. 93p.
- FAGERIA, N.K. Ecofisiologia da cultura do feijão. In: FAGERIA, N.K. **Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas**. Brasília: EMBRAPA, DPU, 1989. p.297-321. (EMBRAPA. CNPAF. Documentos, 18).
- FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. Estresses de água e temperatura na cultura de feijão. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. (Ed.) **Feijão irrigado: estratégias básicas de manejo**. Piracicaba: Publique, 1999. p.155-169.

- FARIA, R.T. Utilização de modelos de simulação como ferramenta para zoneamento agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11., Florianópolis, 1999. **Anais**. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1999. p.32-37.
- 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., Piracicaba, 1997. **Anais**. Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, p.140-142, 1997a.
- FARIA, R.T. de; FOLEGATTI, M.V.; FRIZZONE, J.A. et al. Determination of a long-term optimal irrigation strategy for dry beans in Parana state, Brazil. **Scientia Agricola**, v.54, n. especial, p.155-164, 1997b.
- FARIAS, J.R.B.; ASSAD, E.D.; ALMEIDA, I.R. de et al. Identificação de regiões com riscos de déficit hídrico à cultura da soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., Piracicaba, 1997. **Anais**. Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997. p.345-347.
- FARLOW, P.J.; BYTH, D.E.; KRUGER, N.S. Effect of temperature on seed set and in vitro pollen germination in french beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, v.19, p.725-731, 1979.
- FIEGENBAUM, V. SANTOS, D.S.B. dos; MELLO, V.D.C. et al. Influência do déficit hídrico sobre os componentes e rendimento de três cultivares de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.26, p.275-280, 1991.
- FIGUERÊDO, S.F. Estabelecimento do momento de irrigação com base na tensão da água no solo para a cultura do feijoeiro. Piracicaba, 1998. 94p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- FISCHER, V.J.; WEAVER, C.K. Flowering, pod set, and pod retention of lima bean in response to high temperature, humidity and soil moisture. **Journal of**

- the **American Society for Horticultural Science**, v.99, n.5, p.448-450, 1974.
- FNP – CONSULTORIA & COMÉRCIO. **AGRIANUAL - 1996**. São Paulo, 1996. p.228-229: Da roça ao prato, um novo perfil.
- GARRIDO, M.A.T. Respostas do feijoeiro às lâminas de água e adubação nitrogenada. Lavras, 1998. 205p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras.
- GARRIDO, M.A.T.; PURCINO, J.R.C.; LIMA, C.A.S. Efeitos de diferentes regimes de irrigação sobre o rendimento de feijoeiro na região Norte de Minas Gerais. In: Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais. **Projeto feijão**: relatório 77/78. Belo Horizonte, 1979. p.27-29.
- GEDANKEN, A. Utilização do modelo Ceres-Maize na avaliação de estratégias de irrigação na cultura do milho em duas regiões de Minas Gerais. Viçosa, 1998. 74p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.
- GOIÁS. **Diagnóstico da situação dos equipamentos tipo pivô central**. Goiânia: CELG/EMATER, 1997. 67p.
- GUIMARÃES, C.M. Efeitos fisiológicos do estresse hídrico. In: ZIMMERMANN, M.J.O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.) **Cultura do feijoeiro**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba, POTAFÓS, p.155-174, 1988.
- GUTIERREZ, A.P.; MARIOT, E.J.; CURE, J.R. et al. A model of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) growth types I-III: factors affecting yield. **Agricultural Systems**, n.44, p.35-63. 1994.
- HOOGENBOOM, G. DSSAT version 3.5 released, **ICASA NEWS**, 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**, 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. **Florida Agricultural Experiment Station Journal**, Gainesville, n. N-00379, 122p., 1991.
- HOOGENBOOM, G.; WHITE, J.M.; JONES, J.W. et al. CROPGRO – Dry Bean. In: **Crop models**. DSSAT version 3. IBSNAT, Hawaii, 1994.
- HOSTALÁCIO, S.; VÁLIO, I.F.M. Desenvolvimento de plantas de feijão cv. Goiano Precoce, em diferentes regimes de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.19, n.2, p.211-218, 1984.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Rio de Janeiro, v.12, n.12, 1999.
- JAME, Y.W.; CUTFORTH, H.W. Crop growth models for decision support systems. **Canadian Journal of Plant Science**, 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 Academic, 1993. p.459-471.
- JONES, J.W.; MISHOE, J.W.; BOOTE, K.J. **Introduction to simulation and modeling**. Gainesville, ASPAC – Food & Fertilizer Technology Center, 1987. 19p. (Technical Bulletin, 100)
- 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.; WHITE, J.; BOOTE, K. et al. Phenology Module. In: **CROPGRO 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).

KAY, D.E. **Food legumes**. London: Tropical Products Institute, 1979. 435p.

KLOSOWSKI, E.S. Utilização do modelo SOYGRO para estimar a produtividade da soja para a região de Londrina, Estado do Paraná. Piracicaba, 1994. 94p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

LAING, D.R.; KRETCHMER, P.J.; ZULUAGA, S. et al. Field bean. In: SYMPOSIUM ON POTENTIAL PRODUCTIVITY OF FIELD CROPS UNDER DIFFERENT ENVIRONMENTS, Los Baños, 1983. **Potential productivity of field crops under different environments**. Los Baños: IRRI, 1983. p.227-248.

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**, v.36, p.175-184. 1993.

LIMA, M.G. Calibração e validação do modelo Ceres-Maize em condições tropicais do Brasil. Piracicaba, 1995. 119p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

MAGALHÃES, A.C.; MONTOJOS, J.C. Effect of solar radiation on the growth parameters and yield of two varieties of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Turrialba**, v.21, n.2, p.165-168, 1971.

MAGALHÃES, A.C.; MILLAR, A.A.; CHOUDHURY, E.N. Efeito do déficit fenológico de água sobre a produção de feijão. **Turrialba**, v.29, n.4, p.269-273, 1979.

MARIOT, E.J. Ecofisiologia do feijoeiro. In: INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **O feijão no Paraná**. Londrina, 1989. p.25-42. (Circular Técnica, 23).

- MARTINS, L.A.; SOUSA, F.F. de; RAMALHO, M.A.P. et al. Variabilidade da taxa e da duração do período de acúmulo de amtería seca nos grãos do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Prática**, v.18, n.2, p.165-170, 1994.
- MEIRELES, E.J.L.; SILVA, S.C. da; ASSAD, E.D. Caracterização do risco climático do feijoeiro no Estado do Tocantins. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 5., Goiânia, 1996. **Anais**. Goiânia: Embrapa, CNPAF, APA, 1996. v.1, p. 27-29. (Embrapa. CNPAF. APA. Documentos, 69).
- MEIRELES, E.J.L.; SILVA, S.C. da; ASSAD, E.D. et al.. **Zoneamento agroclimático para o arroz de sequeiro no Estado do Tocantins**. Goiânia: Embrapa, CNPAF, APA, 1995. 72p. (Embrapa. CNPAF. Documentos, 58).
- MEIRELES, E.J.L.; SILVA, S.C. da; ASSAD, E.D. et al. Caracterização do risco climático na cultura do feijoeiro no Estado do Mato Grosso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., Piracicaba, 1997. **Anais**. Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997a. p.351-353.
- MEIRELES, E.J.L.; SILVA, S.C. da; ASSAD, E.D. et al. Estudo espaço-temporal do risco climático no feijoeiro, ciclo de 90 dias, em Goiás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., Piracicaba, 1997. **Anais**. Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997b, p.348-350.
- MONTEITH, J. The quest balance in crop modeling. **Agronomy Journal**, v.88, p.695-697, 1996.
- MOURA, P.A.M.; PAIVA, B.M.; RESENDE, L.M.A. Aspectos econômicos da cultura do feijão. **Informe Agropecuário**, v.17, n.178, p.67-72, 1994.
- NASCIMENTO, J.L. Resposta de duas cultivares de feijoeiro *Phaseolus vulgaris* L.) a cinco lâminas de irrigação aplicadas durante o estágio de

- desenvolvimento vegetativo nos sistemas de plantio convencional e direto. Goiânia: 1998. 138p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Goiás.
- PENNING de VRIES, F.W.T. Evaluation of simulation models in agriculture and biology conclusions of a workshop. **Agricultural Systems**, v.2, p-99-107, 1987.
- PEREIRA, A.R. Simulação do crescimento e da produtividade. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DE ÁGUA NA AGRICULTURA, Campinas, 1987. **Anais**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.200-209.
- PORTES, T.A. Ecofisiologia. In: ARAÚJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F. et al. (Ed.) **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: POTAFÓS, 1996. p.101-137.
- PORTES, T.A.; SILVEIRA, P.M. da; KLUTHCOUSKI, J. The effect of artificial shading on the growth and grain yield of beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, v.23, p.103, 1980.
- RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A. F.B.; RIGHETTO, G.U. Interação de cultivares de feijão por épocas de semeadura em diferentes localidades do Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.28, n.10, p.1183-1189, 1993.
- 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: NATO-ASI Ser., 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 Academic, 1998. p.41-54.
- RITCHIE, J.T.; GOODWIN, D.C.; SINGH, U. Soil and weather inputs for the IBSNAT crop models. INTERNATIONAL BENCHMARK SITES NETWORK FOR AGROTECHNOLOGY TRANSFER (IBSNAT) PROJECT. 1990. Proceedings of the IBSNAT Symposium: Decision Support System for



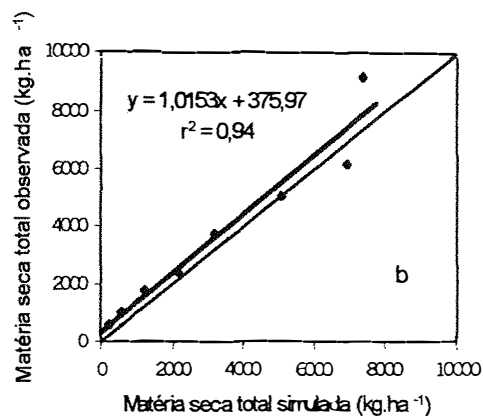
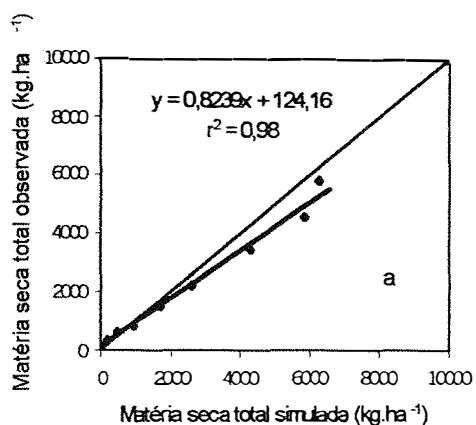
- Agrotechnology Transfer, Las Vegas, 1989. Part I: **Symposium Proceedings**. Honolulu: University of Hawaii, 1990, p.31-45. (Department of Agronomy and Soil Science, College of Tropical Agriculture and Human Resources)
- ROCHA, J.A.M. Produção do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivado em populações variáveis quanto ao número e ao arranjo de plantas. Piracicaba, 1991. 48p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- SALE, P.J.M. Productivity of vegetable crops in a region of high solar input. IV. Field chamber measurement on french beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and cabbages (*Brassica oleracea* L.). **Australian Journal of Plant Physiology**, v.2, p.461-470, 1975.
- SANS, L.M.A.; ASSAD, E.D.; AVELLAR, G. de et al. Riscos climáticos para a cultura do milho nos Estados de Minas Gerais, Goiás, Tocantins, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., Piracicaba, 1997. **Anais**. Piracicaba, Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997. p.357-359.
- SILVA, S.C. da; MEIRELES, E.J.L.; ASSAD, E.D. et al. **Caracterização do risco climático para a cultura do arroz de terras altas no Estado do Mato Grosso**. Goiânia: Embrapa, CNPAF, 1997. 72p. (Embrapa. CNPAF. Documentos, 76).
- SILVA, S.C. da; MEIRELES, E.J.L.; XAVIER, L. S. et al. **Zoneamento agroclimático para o cultivo do feijão da “seca” em Goiás**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 52p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 94).
- SILVEIRA, P.M. da; STONE, L.F. Irrigação do feijoeiro por aspersão. **Informe Agropecuário**, v.17, n.178, p.28-34, 1994.

- SILVEIRA, P.M. da; FONSECA, J.R.; GUIMARÃES, C.M. **Consumo de água pelo feijão de 3ª época irrigado por aspersão**. Goiânia: EMBRAPA, CNPAF, 1981. 5p. (EMBRAPA. CNPAF. Comunicado Técnico, 9).
- SOLER, C.T. Uso do modelo CERES-MAIZE para identificação de características genéticas desejáveis para milho “safrinha” e determinação de práticas adequadas de manejo em condições de risco climático. Piracicaba, 2000. 86p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- STAPLETON, H.N. Crop production system simulation. **Transactions of the ASAE**, v.13, n.1, p.110-113, 1970.
- STOBBE, E.H.; ORMROD, D.P.; WOOLEY, C.J. Blossoming and fruit set patterns in *Phaseolus vulgaris* L. as influenced by temperature. **Canadian Journal of Botany**, v.44, p.813-819, 1966.
- STONE, L.F.; PEREIRA, A.L. Sucessão arroz-feijão irrigados por aspersão: efeitos de espaçamento entre linhas, adubação e cultivares na produtividade e nutrição do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 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**, 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**, v.23, n.2, p.161-167, 1988.
- TANAKA, A.; FUJITA, K. Growth, photosynthesis and yield components in relation to grain yield of the field bean. **Journal of the Faculty of Agriculture of the Hokkaido University**, v.59, n.2, p.145-238, 1979.

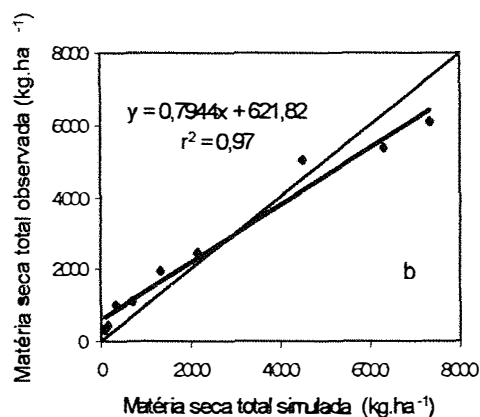
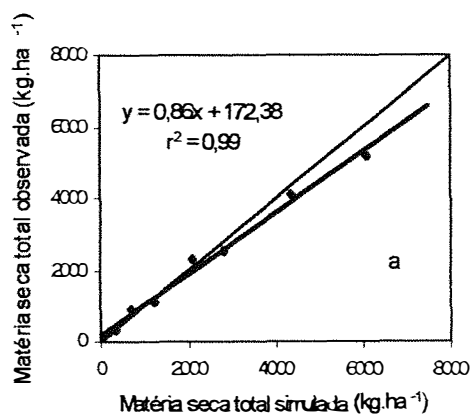
- TEIXEIRA, I.R. Comportamento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Pérola) submetido a diferentes densidades de semeadura e níveis de adubação nitrogenada. Lavras, 1998. 67p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras.
- THOMÉ, V.M.R.; ZAMPIERI, S.L.; BRAGA, H.J. et al. Zoneamento agrícola para a cultura do arroz irrigado em Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., Piracicaba, 1997. **Anais**. Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997a. p.327-329.
- THOMÉ, V.M.R., ZAMPIERI, S.L.; BRAGA, H.J. et al. Zoneamento agrícola para a cultura do feijão em Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., Piracicaba, 1997. **Anais**. Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997b. p.324-326.
- THORNLEY, J.H.M. **Mathematical models in plant physiology**: a quantitative approach to problems in plant and crop physiology. London: Academic Press, 1976. 318p.
- THUNG, M.D.T.; OLIVEIRA, I.P. de. **Problemas abióticos que afetam a produção do feijoeiro e seus métodos de controle**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA, CNPAF, 1998. 172p.
- TSUJI, G.Y.; JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G. et al. DSSAT V3: overview. In: TSUJI, G.Y.; UEHARA, G.; BALAS, S. (Ed.) **DSSAT version 3**: a decision support system for agrotechnology transfer. Honolulu: Library of Congress, 1994. v.1-1, 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. Botucatu, 1996. 131p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

- VALÉRIO, C.R. Comportamento de cultivares de feijão tipo Carioca em diferentes populações de plantas e espaçamentos entre linhas. Lavras, 1998. 69p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras.
- VILHORDO, B.W.; MIKUSINSKI, O.M.F.; BURIN, M.E.; GANDOLFI, V.H. Morfologia. In: ARAÚJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J.O. (Ed.) **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba, POTAFÓS, 1996. p.71-99.
- VON PINHO, R.G.; RAMALHO, M.A.P.; FRAGA, A.C.; SANTOS, J.B. Tolerância do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) a baixas temperaturas na fase de germinação e emergência. **Ciência e Prática**, v.15, p.412-419, 1991.
- WHITE, J.W. & IZQUIERDO, J. Physiology of yield potential and stress tolerance. In: SCHOONHOVEN, A. van; VOYSEST, O. **Common beans: research for crop improvement**. Cali: CIAT, 1991. p. 287-382.
- WHITE, J.W.; HOOGENBOOM, G.; JONES, J.W. et al. Evaluation of the dry bean model BEANGRO V1.01 for crop production research in a tropical environment. **Experimental Agriculture**, v.31, p.241-254, 1995.
- WISIOL, K. Choosing a basis for yield forecasts and estimates. In: WISIOL, K.; HESKETH, J.D. **Plant growth modeling for resource management**. Boca Raton: CRC Press, 1987, v.1, p.75-103.
- WREGGE, M.S.; CARAMORI, P.H.; GONÇALVES, S.L. et al. Regionalização e épocas de semeadura do feijoeiro safra outono/inverno no Estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEO-ROLOGIA, 10., Piracicaba, 1997. **Anais**. Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997. p.309-311.

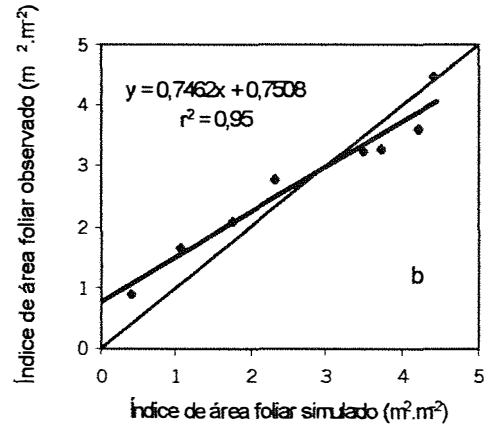
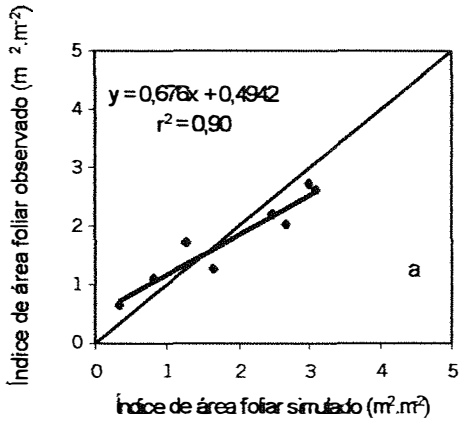
## **ANEXOS**



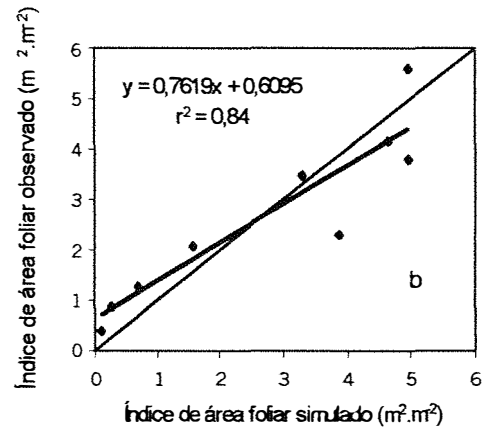
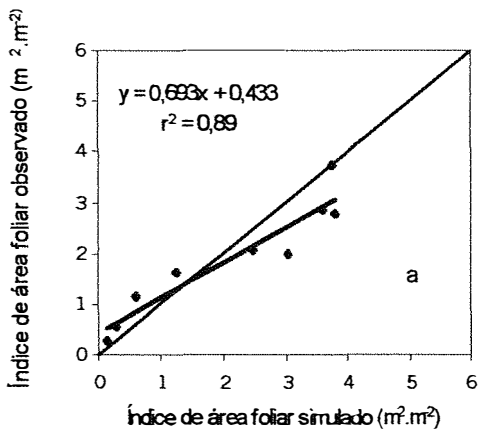
Anexo 1. Comparação entre matéria seca total observada e simulada para o cultivar Mineiro Precoce, espaçamento de 0,40 m, e adubação de 300 (a) e 500 kg.ha<sup>-1</sup> (b), em Santo Antônio de Goiás, GO.



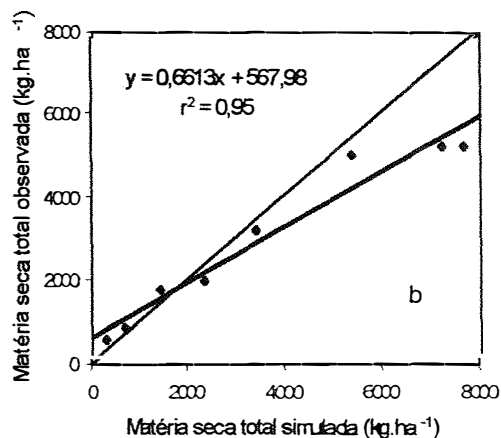
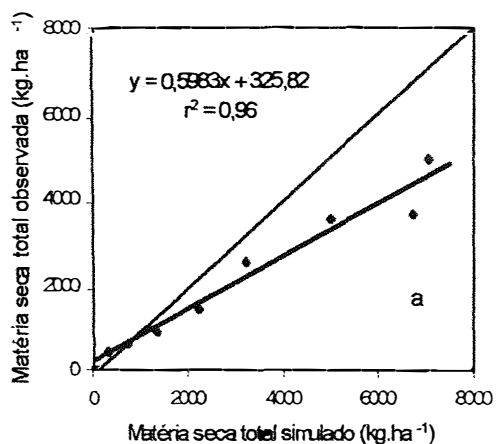
Anexo 2. Comparação entre matéria seca total observada e simulada para o cultivar Carioca, espaçamento de 0,60 m, e adubação de 300 (a) e 500 kg.ha<sup>-1</sup> (b), em Santo Antônio de Goiás, GO.



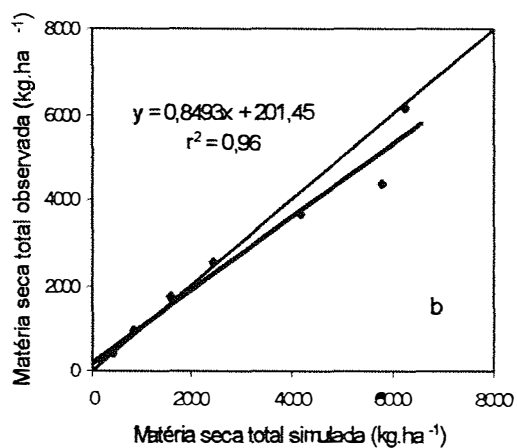
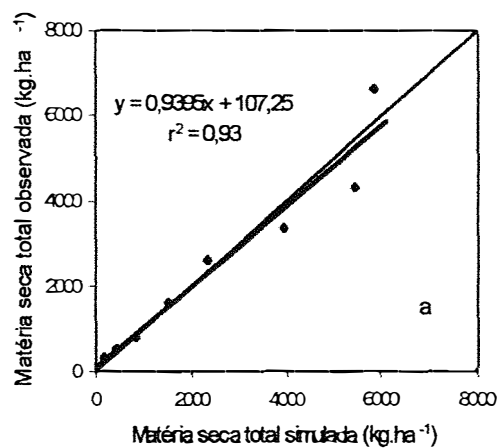
Anexo 3. Comparação entre índice de área foliar (IAF) observado e simulado do cultivar Mineiro Precoce, espaçamento de 0,40 m, e adubação de 300 (a) e 500  $kg \cdot ha^{-1}$  (b), em Santo Antônio de Goiás, GO.



Anexo 4. Comparação entre índice de área foliar (IAF) observado e simulado para o cultivar Carioca, espaçamento de 0,60 m, e adubação de 300 (a) e 500  $kg \cdot ha^{-1}$  (b), em Santo Antônio de Goiás, GO.

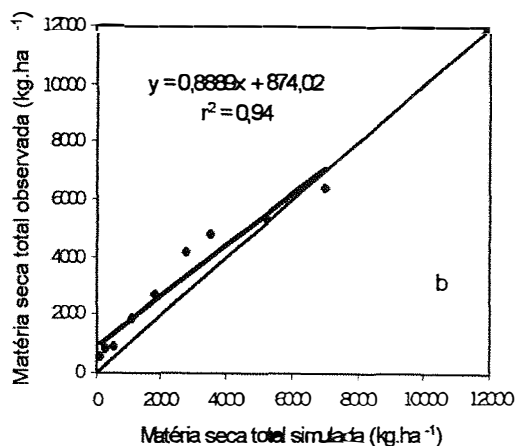
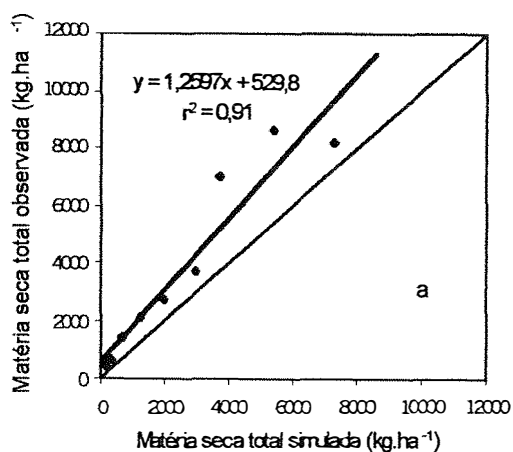


Anexo 5. Comparação entre matéria seca total observada e simulada para o cultivar Mineiro Precoce, espaçamento de 0,30 m, e adubação de 300 (a) e 500 kg.ha<sup>-1</sup> (b), em Santo Antônio de Goiás, GO.

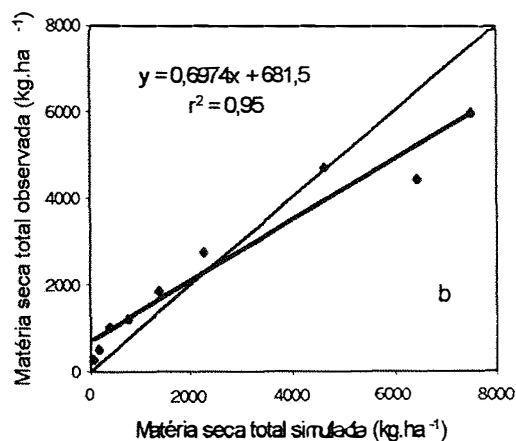
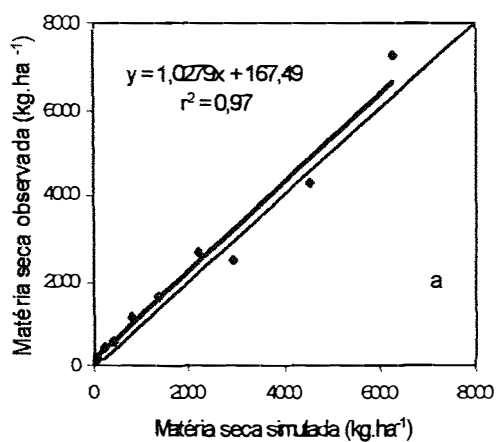


Anexo 6. Comparação entre matéria seca total observada e simulada para o cultivar Mineiro Precoce, espaçamento de 0,50 m, e adubação de 300 (a) e 500 kg.ha<sup>-1</sup> (b), em Santo Antônio de Goiás, GO.

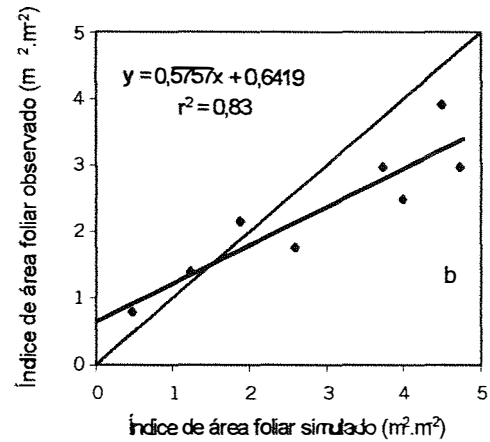
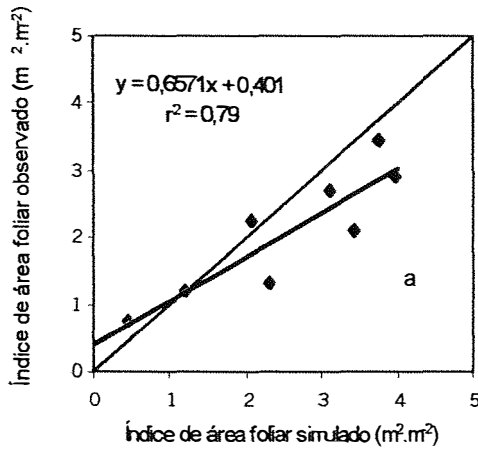




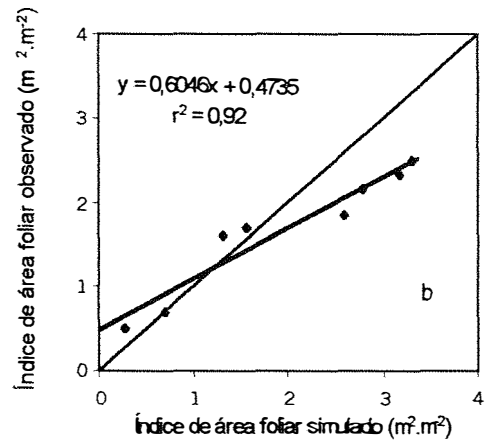
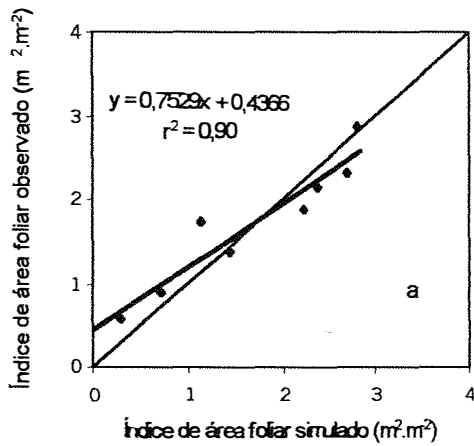
Anexo 7. Comparação entre matéria seca total observada e simulada para o cultivar Carioca, espaçamento de 0,40 m, e adubação de 300 (a) e 500 kg.ha<sup>-1</sup> (b), em Santo Antônio de Goiás, GO.



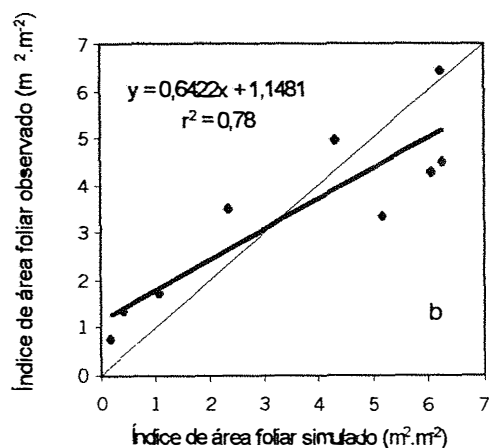
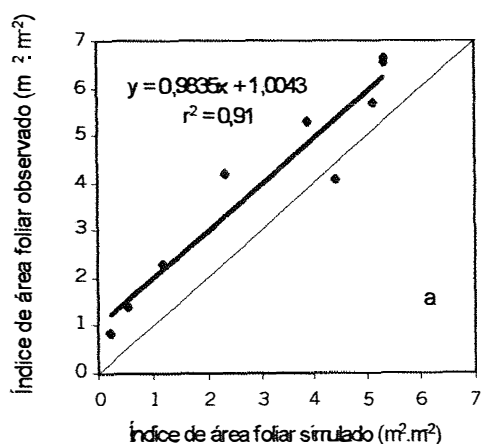
Anexo 8. Comparação entre matéria seca total observada e simulada para o cultivar Carioca, espaçamento de 0,50 m, e adubação de 300 (a) e 500 kg.ha<sup>-1</sup> (b), em Santo Antônio de Goiás, GO.



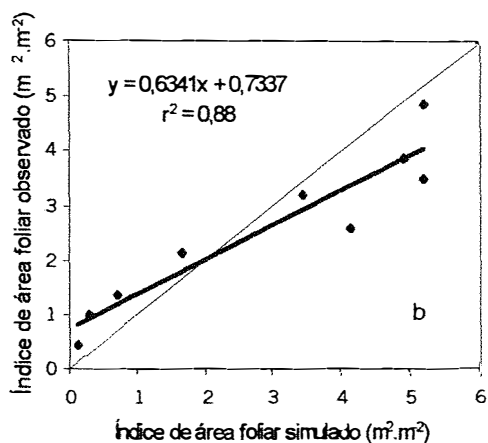
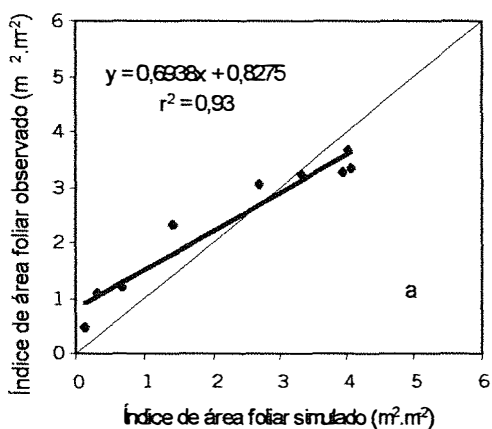
Anexo 9. Comparação entre índice de área foliar (IAF) observado e simulado para o cultivar Mineiro Precoce, espaçamento de 0,30 m, e adubação de 300 (a) e 500  $kg \cdot ha^{-1}$  (b), em Santo Antônio de Goiás – GO.



Anexo 10. Comparação entre índice de área foliar observado e simulado para o cultivar Mineiro Precoce, espaçamento de 0,50 m, e adubação de 300 (a) e 500  $kg \cdot ha^{-1}$  (b), em Santo Antônio de Goiás, GO.



Anexo 11. Comparação entre índice de área foliar observado e simulado para o cultivar Carioca, espaçamento de 0,40 m, e adubação de 300 (a) e 500  $kg \cdot ha^{-1}$  (b), em Santo Antônio de Goiás, GO.



Anexo 12. Comparação entre índice de área foliar observado e simulado para o cultivar Carioca, espaçamento de 0,50 m, e adubação de 300 (a) e 500  $kg \cdot ha^{-1}$  (b), em Santo Antônio de Goiás, GO.