

## Modelo Christiansen-Hargreaves Ajustado para a Estimativa da Necessidade Hídrica do Feijão no Cerrado

Omar Cruz Rocha<sup>1</sup>  
Antônio Fernando Guerra<sup>2</sup>

Para os produtores irrigantes do Bioma Cerrado, é fundamental manejar a irrigação de forma adequada, no entanto, esse manejo tem sido a principal dificuldade do sistema de produção, devido à carência de métodos de manejo ajustados para a região. Por esse motivo, na maioria dos casos, a água vem sendo aplicada sem nenhum critério de monitoramento, resultando no uso inadequado dos recursos hídricos. Os critérios de manejo de água possíveis de serem utilizados são normalmente fundamentados em medidas no solo, na planta e na atmosfera. Os baseados em medidas no solo têm como referência a determinação direta do teor de água do solo ou indireta, a partir da leitura da tensão de água no solo. Os fundamentados em medidas na planta se restringem ao monitoramento do status hídrico vegetal. Embora ambos os métodos se mostrem eficientes, na prática, vêm comumente demonstrando limitações operacionais. Outra possibilidade são os métodos baseados em medidas climáticas que variam desde simples medidas de evaporação de uma superfície livre de água (Tanque Classe A) até equações complexas para estimativa da evapotranspiração. Essa alternativa tem-se mostrado viável para a

operacionalização do manejo de irrigação. Até então, a grande limitação dessas equações encontrava-se na precisão das estimativas que dependiam do uso de modelos desenvolvidos em condições climáticas e agronômicas muito diferentes daquelas que ocorrem no Cerrado. Segundo [Jensen et al. \(1989\)](#), não existe um método que utilize dados climáticos que possa ser globalmente adequado, sem que exista, também, algum tipo de calibração local ou regional.

Por essa razão, este trabalho teve o objetivo de disponibilizar aos produtores o modelo ajustado de Christiansen-Hargreaves com a finalidade de permitir estimar com maior segurança a necessidade hídrica do feijão-preto no período seco (maio a setembro) do Cerrado brasileiro.

As medidas dos parâmetros vegetativos e climáticos foram obtidas na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF - sobre feijão-preto (*Phaseolus vulgaris* L.), variedade Diamante Negro, cultivado em um Latossolo Vermelho, textura argilosa, no período de 23 de junho a 5 de setembro de 1999.

<sup>1</sup> Eng. Agrôn., M.Sc., Embrapa Cerrados, omar@cpac.embrapa.br

<sup>2</sup> Eng. Agríc., Ph.D., Embrapa Cerrados, guerra@cpac.embrapa.br

O ensaio foi instalado em uma área com aproximadamente 9 ha, dotada de um lisímetro de pesagem e irrigada por um equipamento de irrigação por aspersão, do tipo pivô central.

A curva de evapotranspiração real (Etr) do feijão em relação aos dias após plantio (DAP), é apresentada na Figura 1, na qual é observada uma demanda máxima diária de 7,2 mm. As irrigações iniciais foram feitas, aproximadamente, a cada três dias com lâminas em torno de 10 a 12 mm com o propósito de preencher o reservatório do solo e garantir a germinação das sementes. As irrigações seguintes foram realizadas com base nas leituras diárias de três baterias de tensiômetros instalados nas profundidades de 10, 20 e 30 cm na linha de plantio. O momento de irrigar foi determinado quando a leitura média dos tensiômetros instalados a 10 cm atingia 40 kPa. A partir da evapotranspiração real média obtida no lisímetro, para os intervalos de irrigação, e das leituras do tanque classe A, para os mesmos intervalos, determinaram-se os coeficientes de cultura com base na equação da Figura 2.

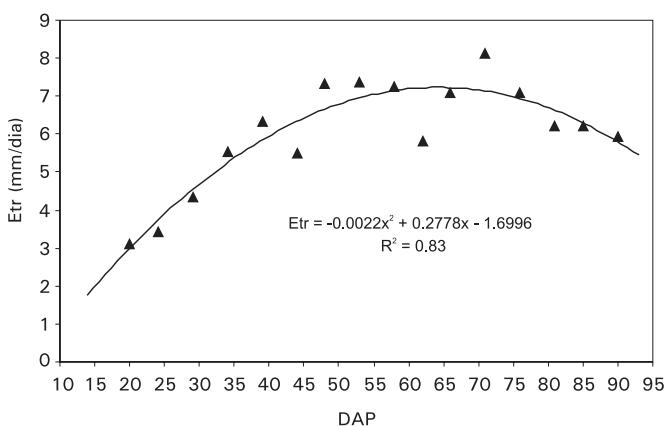


Figura 1. Evapotranspiração real do feijão-preto, variedade Diamante Negro, em relação aos dias após o plantio (DAP), em Planaltina, DF.

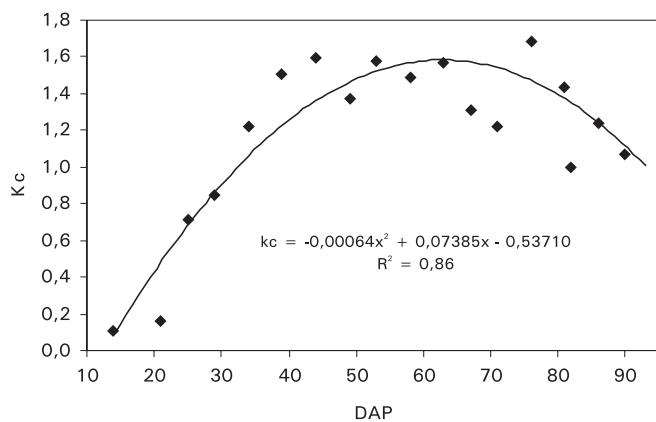


Figura 2. Coeficiente de cultura para o feijão-preto, variedade Diamante Negro, em relação aos dias após o plantio (DAP), em Planaltina, DF.

A comparação entre a evapotranspiração observada e a estimada envolveu dois procedimentos: o primeiro uma regressão linear quadrática dos resultados, analisando-se o comportamento da curva estimada em relação à observada, principalmente, no que diz respeito ao momento de máxima aplicação de água do modelo, o que foi obtido com base na derivada primeira da equação resultante; e o segundo, uma regressão linear simples analisando-se o erro médio da estimativa, a correlação entre as evapotranspirações e o teste F, proposto por [Graybill \(1976\)](#). Pela aplicação do teste F a 99% de probabilidade, analisou-se a hipótese de que a evapotranspiração estimada era similar à observada, perfazendo uma linha reta, passando pela origem e de declividade igual a 45 graus, ou seja  $\beta_0 = 0$  e  $\beta_1 = 1$ .

A evapotranspiração, segundo Christiansen e Hargreaves (1969), é determinada com seguinte equação:

$$Eto = 0,755E_v C_{T_2} C_{W_2} C_{H_2} C_{S_2}$$

Sendo:

$$C_{T_2} = 0,862 + 0,179\left(\frac{T_c}{T_{co}}\right) - 0,041\left(\frac{T_c}{T_{co}}\right)^2$$

$$C_{W_2} = 1,189 - 0,240\left(\frac{W}{W_o}\right) + 0,051\left(\frac{W}{W_o}\right)^2$$

$$C_{H_2} = 0,499 + 0,620\left(\frac{H_m}{H_{mo}}\right) - 0,119\left(\frac{H_m}{H_{mo}}\right)^2$$

$$C_{S_2} = 0,904 + 0,0080\left(\frac{S}{S_o}\right) + 0,088\left(\frac{S}{S_o}\right)^2$$

em que:

- $E_v$  é a evaporação do tanque classe A, em  $\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$ ;
- $C_{T_2}$  representa a contribuição da temperatura na evapotranspiração, sendo que  $T_c$  é a média da temperatura em  $^{\circ}\text{C}$  e  $T_{co} = 20$   $^{\circ}\text{C}$ , adimensional;
- $C_{W_2}$  representa a contribuição da velocidade do vento na evapotranspiração, em que  $W$  é a velocidade do vento a 2 m acima do nível do solo em  $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$  e  $W_o = 6,7 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ , adimensional;
- $C_{H_2}$  representa a contribuição da umidade relativa do ar na evapotranspiração, sendo  $H_m$  é a umidade relativa média, expressada em decimal, e  $H_{mo} = 0,60$ , adimensional;
- $C_{S_2}$  representa a contribuição dos parâmetros energéticos na evapotranspiração, onde  $S$  é a porcentagem de luz solar ocorrida no dia em relação à máxima possível ( $n/N$ ) expressa em decimal e  $S_o = 0,8$ , adimensional;

Testando o modelo de Christiansen-Hargreaves no seu formato original (Figura 3), constatou-se uma tendência do modelo em subestimar a Etr, uma vez que, mesmo com uma ótima precisão,  $R^2 = 0,95$ , teve sua exatidão prejudicada ( $\beta_0 = 0,3328$  e  $\beta_1 = 0,8272$ ). No entanto, após a comparação entre a evapotranspiração observada e a estimada (Figura 4), notou-se que o ponto de máxima evapotranspiração, ocorrido aos 63 DAP para ambas as curvas, qualificava positivamente o modelo para a estimativa da evapotranspiração. Dessa forma, com base em diversos testes interativos nos parâmetros da equação, tornou-se necessário um discreto ajuste no parâmetro energético do modelo ( $C_{S2}$ ) com objetivo de corrigir a subestimativa, o que foi possível com a redução no valor do parâmetro  $S_0$  de 0,8 para 0,5 (ROCHA, 2000). Esse ajuste proporcionou melhoria significativa no desempenho, como pode ser observado na Figura 5 e nas Tabelas 1 e 2 que mostram, respectivamente, redução no erro da estimativa e um F de Graybill não significativo, o que demonstrou não haver diferença entre a Etr medida e a estimada pelo modelo no seu formato ajustado. Pela Figura 6, que apresenta a comparação entre os dados médios de Etr medidos no lisímetro e estimados pelo modelo Chistiansen-Hargreaves ajustado (CH) testado com os coeficientes de cultura determinados nessa pesquisa (CHkcD), obtidos segundo a metodologia do FAO24 (CHkcF) e fornecidos pela Embrapa Arroz e Feijão (CHkcE), em relação a dias após plantio, verifica-se que o kcF desfavoreceu o desempenho do modelo CH, já que estimou um ponto de máxima evapotranspiração no momento da floração, aos 54 DAP, ao contrário do que foi observado no lisímetro, em que a maior demanda hídrica do feijoeiro ocorreu aos 63 DAP, no início do enchimento das vagens. Da mesma forma, percebe-se que o kcE limitou o desempenho do modelo CH, já que apresentou dados subestimados durante todo o ciclo da cultura e ponto de máxima evapotranspiração aos 78 DAP, aproximadamente no início da maturação fisiológica dos frutos, fato que compromete o desenvolvimento da cultura, prejudicando a produtividade e a qualidade dos grãos.

Deve-se levar em conta que o mau desempenho proporcionado pelos coeficientes propostos por Steinmetz (1984) e obtidos de Doorenbos e Pruitt (1977) comprova que os coeficientes de uma cultura não podem ser generalizados para diversas regiões e períodos, o que possibilita afirmar que existe grande possibilidade de que os coeficientes de cultura encontrados nesta pesquisa possam também limitar o desempenho do modelo nos demais períodos do ano na região do Cerrado.

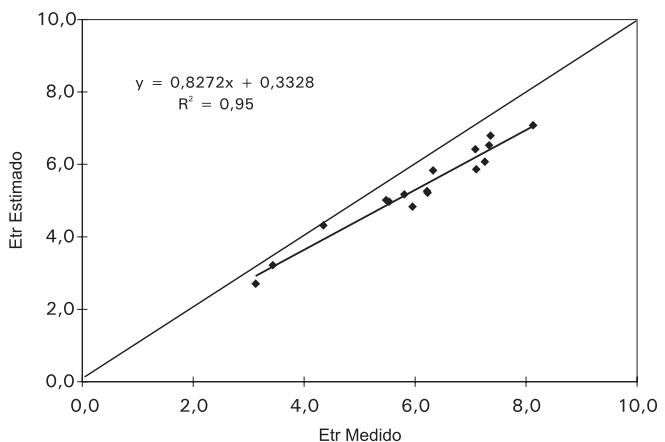


Figura 3. Relação entre a Etr estimada a partir do modelo Christiansen-Hargreaves e medida em lisímetro de pesagem, em Planaltina, DF, para o feijão-preto.

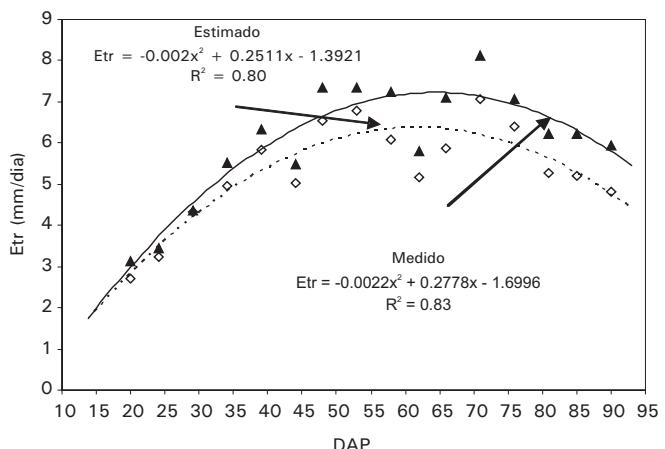


Figura 4. Comparação entre a Etr, estimada a partir do modelo Christiansen-Hargreaves e medida em lisímetro de pesagem, em relação aos dias após plantio (DAP), em Planaltina, DF, para o feijão-preto.

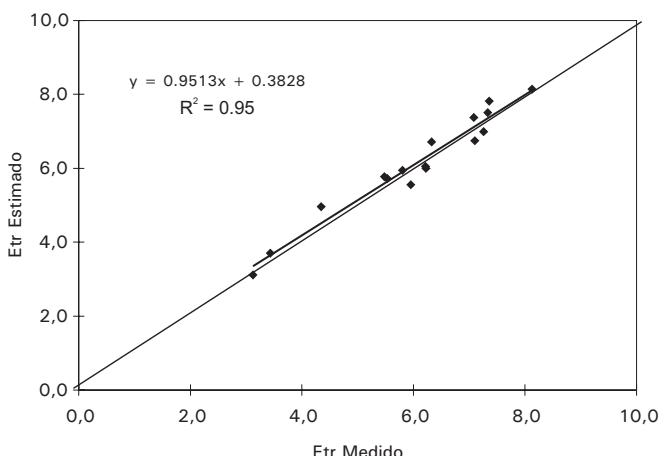


Figura 5. Relação entre a Etr, estimada a partir do modelo Christiansen-Hargreaves ajustado e medida em lisímetro de pesagem, em Planaltina, DF, para o feijão-preto.

**Tabela 1.** Erros médios na estimativa da Etr do feijoeiro obtidos com a aplicação do modelo Christiansen-Hargreaves e sua versão ajustada, em Planaltina, DF.

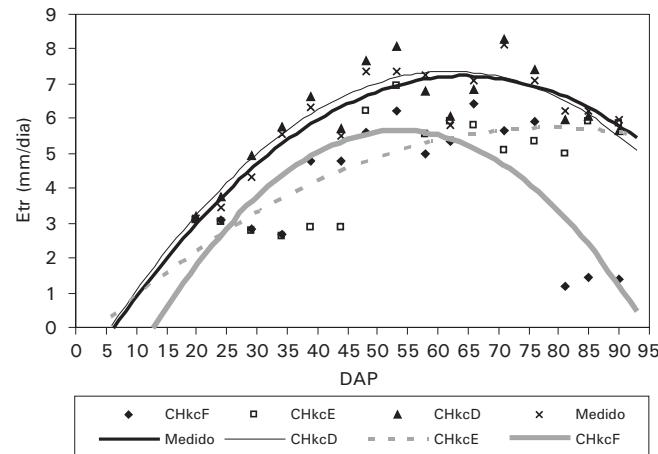
Modelo	Evapotranspiração real*		Erro médio da estimativa (%)
	Medida	Estimada	
Christiansen-Hargreaves	96,70	85,31	-11,78
Christiansen-Hargreaves (ajustado)	96,70	98,11	1,46

\*Etr resultante do somatório das médias diárias observadas por intervalo de irrigação.

**Tabela 2.** Valores da análise de regressão simples entre a Etr estimada pelo modelo Christiansen-Hargreaves e sua versão ajustada e a Etr do Feijão-preto medida em lisímetro de pesagem em Planaltina, DF.

Modelo	Coeficientes		F de Graybill
	$\beta_0$	$\beta_1$	
Christiansen-Hargreaves	0,3328	0,8272	0,95
Christiansen-Hargreaves (ajustado)	0,3828	0,9513	0,95 0,77

\*\*Significativo ao nível de 99% de probabilidade.



**Figura 6.** Comparação entre a Etr estimada a partir do modelo ajustado de Christiansen-Hargreaves calculada, com diferentes coeficientes de cultura, e medida em lisímetro de pesagem, em relação aos dias após plantio (DAP), em Planaltina, DF, para o feijão-preto.

Na prática, com o modelo Christiansen-Hargreaves ajustado para o Cerrado (ROCHA et al., 2003), a evapotranspiração da cultura do feijão-preto deve ser calculada da seguinte forma:

Dados:

1. Evaporação do tanque:  $4,6 \text{ mm.dia}^{-1}$
2. Temperatura média do dia =  $20,7^{\circ}\text{C}$
3. Velocidade do vento média a 2 metros de altura =  $7,3 \text{ Km.h}^{-1}$

4. Umidade relativa = 0,45 (decimal)
  5. Porcentagem de luz solar ( $n/N$ ) = 0,77 (decimal)
  6. Dias após emergência = 20
  7. Eficiência do sistema de irrigação = 85%
- Cálculo com a equação ajustada:

Se o intervalo de irrigação for de cinco dias, o cálculo deverá ser feito para cada dia, e o somatório das lâminas será a quantidade de água a ser aplicada.

$$C_{T_2} = 0,862 + 0,179 \left( \frac{20,7}{20} \right) - 0,041 \left( \frac{20,7}{20} \right)^2 = 1,003$$

$$C_{W_2} = 1,189 - 0,240 \left( \frac{7,3}{6,7} \right) + 0,051 \left( \frac{7,3}{6,7} \right)^2 = 0,99$$

$$C_{H2} = 0,499 + 0,620 \left( \frac{0,45}{0,60} \right) - 0,119 \left( \frac{0,45}{0,60} \right)^2 = 0,90$$

$$C_{S_2} = 0,904 + 0,0080 \left( \frac{0,77}{0,50} \right) + 0,088 \left( \frac{0,77}{0,50} \right)^2 = 1,12$$

$$Eto = 0,755 E_v C_{T_2} C_{W_2} C_{H2} C_2 = 0,755 \times 4,6 \times 1,003 \times 0,99 \times 0,90 \times 1,12 = 3,1 \text{ mm.dia}^{-1}$$

$$Kc = -0,00064 \times DAP^2 + 0,07385 \times DAP - 0,53710$$

$$Kc = -0,00064 \times 20^2 + 0,07385 \times 20 - 0,53710 = 0,7$$

$$Etc = (Eto \times Kc) / \text{eficiência} = (3,1 \times 0,7) / 0,85 = 2,6 \text{ mm.dia}^{-1}$$

## Referências

CHRISTIANSEN, J. E.; HARGREAVES, G. H. **Irrigation requirements from evaporation**. New York: Transactions of International Commission on Irrigation and Drainage, 1969. v. 3, p. 569-596.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 144 p. (FAO. Irrigation and Drainage, 24).

GRAYBILL, F. A. **Theory and application of the linear model**. Belmont: Duxbury, 1976. 704 p.

JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York: ASCE, 1989. p. 332. (Manuals and reports, 70).

ROCHA, O. C.; GUERRA, A. F.; AZEVEDO, H. M. de. Ajuste do modelo Christiansen-Hargreaves para a estimativa da evapotranspiração do feijão no Cerrado. **Revista Brasileira de Irrigação e Drenagem**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 263-268, 2003.

ROCHA, O. C. **Performance de modelos na estimativa da evapotranspiração do feijão-preto no Cerrado**. 2000. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

STEINMETZ, S. **Evapotranspiração máxima no cultivo do feijão de inverno**. Goiânia: Embrapa-CNPAF, 1984. p. 11. (Embrapa-CNPAF. Pesquisa em Andamento, 47).

# Christiansen-Hargreaves model adjustment for estimating evapotranspiration of bean crop in the Cerrado region

**Abstract** - Bean crop producers from the Brazilian Cerrado region have only one technology adjusted for the irrigation management: which consist in the measurement of soil-water tension through the use of tensiometers. Although this methodology has high potential of use, it has not been widely adopted by the producers due to problems in instrumentation maintenance. Thus, the utilization of models to estimate evapotranspiration estimate has shown to be applicable to the Cerrado region. So, this paper aims to evaluate the performance of the Christiansen-Hargreaves model to estimate evapotranspiration of black bean crop in the dry season of the Brazilian Cerrado region. It also aims to provide an the adjusted model to estimate evapotranspiration which permit an efficient management for the agricultural irrigated system of the Cerrado region. The black bean evapotranspiration was measured with the use of a weighing lysimeter. The experiment was carried in the Brazilian Agricultural Research Corporation (Embrapa Cerrados), located in Planaltina, DF, Brazil. When calculated with crop coefficient determined in the research and tested with adjusted energetic term ( $S_o = 0.5$ ), the Christiansen-Hargreaves model presented an excellent performance and may be used in irrigation management of black bean crop.

**Index terms:** *Phaseolus vulgaris*, weighting lysimeter, irrigation scheduling.

### Comunicado Técnico, 123

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento



Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:

Embrapa Cerrados

Endereço: BR 020 Km 18 Rod. Brasília/Fortaleza  
Caixa postal: 08223 CEP 73310-970

Fone: (61) 3388-9898

Fax: (61) 3388-9879

E-mail: sac@cpac.embrapa.br

Impresso no Serviço Gráfico da Embrapa Cerrados

1ª edição

1ª impressão (2005): 200 exemplares

### Comitê de Publicações

Presidente: José de Ribamar N. dos Anjos  
Secretária Executiva: Maria Edilva Nogueira

### Expediente

Supervisão editorial: Maria Helena Gonçalves Teixeira  
Revisão de texto: Maria Helena Gonçalves Teixeira  
Normalização bibliográfica: Hozana Alvares de Oliveira  
Editoração eletrônica: Leila Sandra Gomes Alencar  
Impressão e acabamento: Divino Batista de Souza  
Jaime Arbués Carneiro