

OBTENÇÃO DA CURVA DO COEFICIENTE DE CULTIVO DO FEIJÃO CAUPI UTILIZANDO O MÉTODO DA COVARIÂNCIA DOS FLUXOS TURBULENTOS

FERNANDO CÉSAR MOURA DE ANDRADE¹, YURI CASTRO PONCIANO LIMA² e
JOÃO BOSCO PASSOS ACCIOLY FILHO³

1 Msc. Geofísica, Pesquisador da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, Avenida Rui Barbosa 1246, 60115-221, Fortaleza, CE, Fone (0xx85) 31011123, andrade@funceme.br, 2 Mestre em Engenharia Agrícola, Bolsista da FUNCAP junto à Funceme, Fortaleza – CE, 3 Tecnólogo em Mecatrônica, Técnico em Eletrônica, Funceme, Fortaleza-CE.

Apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 18 a 21 de Julho de 2011
SESC Centro de Turismo de Guarapari, Guarapari – ES.

RESUMO: Neste trabalho apresentamos o resultado de um experimento realizado para a obtenção da curva do coeficiente de cultivo do feijão caupi, variedade paulistinha, em uma área cultivada no Distrito de Irrigação de Tabuleiro de Russas, no Ceará. A evapotranspiração real da cultura foi avaliada pelo método das covariâncias dos fluxos turbulentos. A evapotranspiração de referência foi obtida pelo método de Penman-Monteith utilizando dados de uma estação meteorológica automática. O experimento fez parte de um projeto mais amplo, denominado “Sistema de Informações Meteorológicas para Irrigação no Ceará – SIMIC” que teve como principal objetivo a otimização do uso da água na irrigação.

PALAVRAS-CHAVE: fluxos turbulentos, evapotranspiração, coeficiente de cultivo

ABSTRACT: This work presents the result of an experiment conducted for obtaining the crop coefficient curve of bean cowpea, variety paulistinha, in an area within the District of Irrigation of Tabuleiro de Russas, in Ceará. The actual evapotranspiration of the culture was evaluated by the eddy covariance method. The reference evapotranspiration was obtained using the Penman-Monteith method from data collected by an automatic weather station. The experiment was part of a more extensive project, called "Meteorological Information System for Irrigation in Ceará – SIMIC", which main goal was the optimization of water in irrigation systems.

KEYWORDS: eddy covariance method, evapotranspiration, crop coefficient.

INTRODUÇÃO: Uma das grandes metas dos governos atuais é o desenvolvimento de políticas que venham mitigar ou eliminar os efeitos da má gestão e degradação dos recursos hídricos com vistas ao aumento da oferta hídrica às suas populações. A busca por meios para otimizar o uso da água numa determinada região, e assim aumentar a sua disponibilidade, é uma constante preocupação dos gestores.

Dentro desta visão a FUNCEME instalou recentemente uma rede de 72 estações hidroclimatológicas automáticas, para prover meteorologistas, agrônomos, hidrólogos e etc, de informações que possam dar subsídios à uma melhor gestão dos recursos hídricos no Estado. Dentro desta linha a FUNCEME concebeu um projeto, o SIMIC - Sistema de Informações Meteorológicas para Irrigação no Ceará, que tem como objetivo gerar e difundir informações científicas e tecnológicas relativas à evapotranspiração de referência (ET_0), através da coleta de dados meteorológicos pela rede de estações automáticas, e de outras informações que possam subsidiar o manejo da irrigação.

Neste contexto, é importante ressaltar que o sucesso do SIMIC, depende, dentre outros, da

obtenção de informações sobre coeficientes de cultura (K_c), determinados nas nossas condições específicas e utilizando dados de ET_0 obtidos pela mesma metodologia utilizada na rede de estações e da disponibilização das mesmas aos irrigantes. Este trabalho mostra um destes experimentos.

MATERIAIS E MÉTODOS: O experimento foi realizado numa área plantada de 4 hectares de feijão *caupi*, variedade *paulistinha*, irrigado por gotejamento, com um espaçamento entre linhas de irrigação de 2m e espaçamento entre gotejadores de 50cm. Foram plantadas 12 plantas em volta de cada gotejador, fazendo um total de 120.000 plantas/hectare, perfazendo 480.000 plantas no total da área plantada.

O coeficiente de cultura K_c é definido como sendo a razão entre a evapotranspiração real (ET_R) ótima de uma cultura e a evapotranspiração de referência (ET_0). A evapotranspiração de referência se refere a um determinada superfície com características bem definidas, fazendo com que a metodologia de seu cálculo se utilize somente de variáveis climatológicas. A componente que depende da cultura em questão é incorporada ao cálculo da lâmina de irrigação necessária, através do coeficiente de cultivo.

Assim sendo, ao multiplicarmos o valor calculado da ET_0 pelo valor do K_c obtemos o valor da evapotranspiração real ótima da cultura, que deve ser repostada pela irrigação. O valor de K_c de uma determinada cultura varia com as fases do ciclo fenológico da mesma, formando assim uma “curva” de coeficiente de cultivo com diferentes valores para cada fase do ciclo da cultura.

Para calcularmos a curva do K_c , basta-nos então medir a evapotranspiração real de uma cultura com suas necessidades hídricas plenamente satisfeitas, estimarmos a ET_0 e fazermos a relação entre ambas para as diversas fases do ciclo fenológico.

Para obtenção dos valores diários de evapotranspiração real da cultura, foi utilizado o método das covariâncias dos fluxos turbulentos (ou método direto). O método, descrito em Swinbank (1951) e Dyer (1961), utiliza medições de alta frequência da umidade do ar e da componente vertical da velocidade do vento para obtenção da evapotranspiração real. O método pode também nos dar o fluxo de calor específico, se medições de alta frequência da temperatura também forem realizadas.

A taxa de evapotranspiração sobre uma superfície qualquer pode ser dada por:

$$ET_r = \overline{w' \rho'_v}, \quad (1)$$

onde w' é o desvio da velocidade do vento vertical instantânea em relação à média e ρ'_v é o desvio da densidade de vapor d'água instantânea em relação à média. A barra superior denota a média temporal. Assim, a quantidade calculada é a covariância entre a componente vertical da velocidade do vento e a densidade de vapor. O fluxo de calor latente é dado por: $LE = \lambda ET_R$, onde λ é o calor latente de vaporização da água. O fluxo de calor sensível é dado por:

$$H = \rho_a C_p \overline{w' T'}, \quad (2)$$

onde ρ_a é a densidade do ar, C_p é o calor específico do ar à pressão constante, T' é o desvio instantâneo da temperatura do ar e a quantidade sob a barra é a covariância entre a componente vertical da velocidade do vento e a temperatura.

O método foi utilizado, na prática, através de uma estação meteorológica automática adequada ao seu uso. A estação é composta dos seguintes componentes: higrômetro de Krypton KH20, anemômetro Sônico 3-D CSAT3, termômetro tipo finewire FW05, sensor de temperatura e umidade HMP45C-L, datalogger CR23X-4M, painel solar MSX64R, bateria de 12V, 75Ah e um tripé com kit de aterramento, para-raios e estais de sustentação.

Para que os valores medidos da evapotranspiração real e do fluxo de calor sensível sejam confiáveis, os dados devem ser coletados segundo alguns critérios que satisfaçam algumas características dos fluxos turbulentos. No experimento foram seguidas os três principais

critérios que devem ser seguidos segundo Brutsaert (1982).

Os dados dos sensores CSAT3, FW05 e KH-20 foram coletados numa frequência de 10 Hz, isto é, 10 vezes por segundo, para obedecer aos critérios de medições de uma estação de micro-meteorologia de fluxos turbulentos. Os dados foram armazenados a cada 15 minutos, período em que são feitos os cálculos das covariâncias dos fluxos turbulentos. Os dados de temperatura e umidade do sensor HMP45C-L foram também coletados a cada quinze minutos. A partir da instalação da estação, foram realizadas viagens semanais ao campo para coleta dos dados armazenados no datalogger da estação e limpeza do sensor de umidade. Os dados coletados eram analisados em escritório e novas viagens eram programadas para eventuais reparos. Logo na primeira semana foi detectado um defeito no painel solar que só foi corrigido na semana seguinte, acarretando uma perda de 13 dias de dados.

Durante o experimento, fizemos uma modificação na direção do sensor de vento com base nas análises dos dados colhidos até então. Foi modificada também a posição relativa do sensor de umidade, posicionando-o no sentido horizontal, evitando assim, o acúmulo de água e poeira, que havia acarretado falhas na coleta dos dados

O método mais aceito e mais preciso para a estimativa da evapotranspiração de referência é o método de Penman-Monteith/FAO (Allen *et al.*, 1998) por se tratar do que engloba um maior número de variáveis climáticas o que, por sua vez, o leva a ser o de mais complexa utilização. O método nos dá a evapotranspiração de uma superfície de referência definida como sendo a de uma superfície totalmente coberta por uma grama hipotética, com o requerimento de água plenamente atendido, com as seguintes características físicas: 12 cm de altura; resistência superficial de 70 sm^{-1} ; albedo de 0.23. A resistência superficial de 70 sm^{-1} implica em uma superfície do solo moderadamente seca resultado de uma frequência de irrigação semanal. Para o cálculo da evapotranspiração de referência o método de Penman-Monteith/FAO requer, primordialmente, dados de radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento.

A evapotranspiração de referência aqui utilizada foi obtida com dados meteorológicos coletados por uma estação automática instalada no município de Russas, no Distrito de Irrigação de Tabuleiro de Russas, distando aproximadamente 2.5 km da estação de *Eddy Covariance*. ($5^{\circ} 2' 30''$ Sul e $38^{\circ} 7' 8''$ Oeste). A estação coletou dados horários de temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar global, velocidade do vento a 10 m e pressão atmosférica.

A transmissividade atmosférica (ζ) utilizada foi estimada com base nos dados de radiação medidos pela estação e valores calculados de radiação incidente no topo da atmosfera. A metodologia utilizada se encontra em Andrade (2008). A diferença entre os dados aqui utilizados e os mostrados no artigo, é que aqui foi feita a estimativa da transmissividade a nível mensal já que para a estação de Russas temos quase três anos de dados coletados, que se mostraram suficientes para tal. Na tabela 1 mostramos os valores mensais de transmissividade atmosférica (ζ) utilizados:

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
ζ	0.69	0.72	0.74	0.76	0.78	0.78	0.78	0.76	0.75	0.72	0.70	0.69

Tabela 1 – Transmissividade atmosférica mensal para a estação de Russas

RESULTADOS E DISCUSSÃO: de posse dos dados de calor latente medidos a cada 15 minutos, foi feita a transformação para milímetros a cada 15 minutos pela multiplicação do valor do calor latente pela constante 0,000368852. Depois disto é feita uma soma ao longo das 24 horas de cada dia, obtendo assim a curva de evapotranspiração real diária (em mm)

mostrada na figura a seguir.

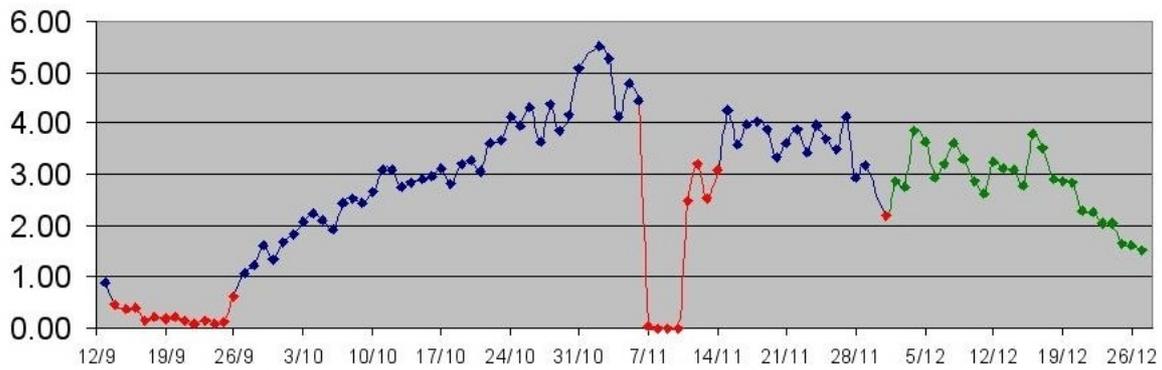


Figura 1 - Evapotranspiração real diária (mm)

Os dados pintados em vermelho foram obtidos em dias em que o sensor KH-20 apresentou defeito durante várias horas do dia, quando houve falha no painel solar no período inicial, e quando houve acúmulo de sujeira devido às chuvas. Os dados em verde foram obtidos após a primeira colheita.

A figura 2 mostra os dados de ET_0 , calculados pelo método de Penman-Monteith utilizando dados coletados pela estação meteorológica automática de Russas.

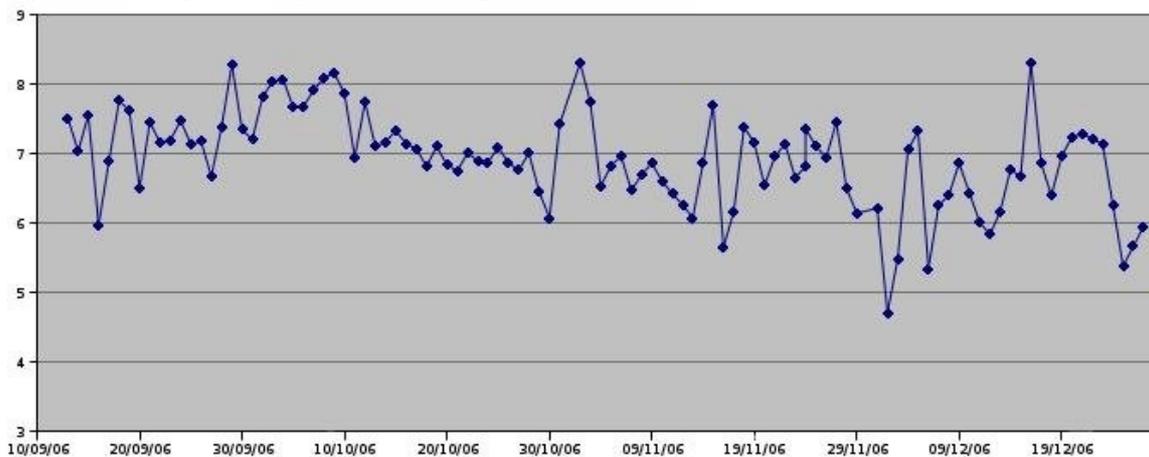


Figura 2 - Evapotranspiração de referência (mm) estimados pelo método Penman-Monteith.

Na obtenção do K_c para o caso de irrigação localizada, temos que levar em conta o fato de nem toda a área estar úmida e a evapotranspiração não corresponder à área total. Assim sendo, o coeficiente de cultivo K_c , deve levar em consideração o chamado fator de cobertura K_L , obtido como a relação entre a área molhada, ou coberta pela vegetação, e a área total de plantio.

$$K_c = \frac{ET_r}{ET_0 K_L} \quad (4)$$

Os valores de K_L foram estimados através das fotografias do plantio ao longo das 15 semanas. A tabela 2 mostra os valores de K_L de acordo com os diversos períodos em que se notou mudança em seus valores.

Período	13/09-10/10	11/10-24/10	25/10-31/10	1/11-7/11	8/11-14/11	15/11-21/11	22/11-26/12
K_L	0.3825	0.52	0.645	0.77	0.846	0.923	1.000

Tabela 2 – Valores de K_L para diversos períodos do plantio.

Na figura 3 mostramos o resultado final dos valores de K_c para a cultura do feijão caupi, variedade paulistinha. Também é mostrada a curva da média móvel ao longo do ciclo vegetativo. Nos períodos de falhas nos dados, a curva média foi calculado por interpolação.

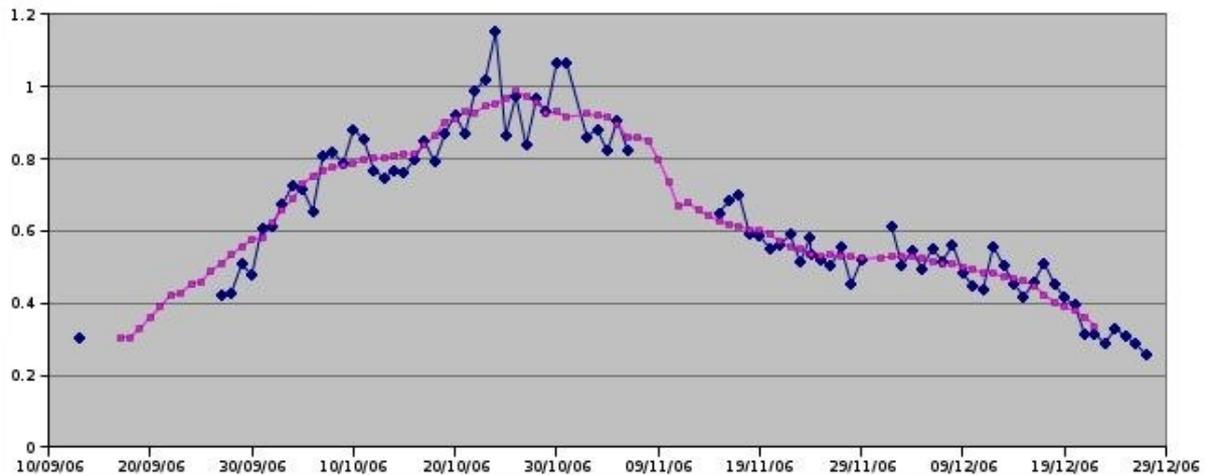


Figura 3 - Coeficientes de cultivo para a cultura do feijão caupi.

CONCLUSÕES: Durante o experimento pudemos observar que a estação micro-meteorológica de covariância dos fluxos turbulentos (Eddy-Covariance), apresentou uma série de limitações que requereram um acompanhamento cuidadoso durante todo o experimento, principalmente no sensor de umidade utilizado. O acúmulo de poeira e umidade nas lentes do higrômetro fizeram com que o mesmo apresentasse, com muita frequência, dados inconsistentes. Os dados de fluxo de calor sensível não puderam ser coletados, a não ser por um curto período de tempo, já que o sensor de temperatura de alta frequência (FW-05) se mostrou extremamente frágil, rompendo seus filetes sensores em um curto espaço de tempo, tornando quase que impossível a instalação de tais sensores em experimentos de campo. Felizmente, estes dados, apesar de importantes, são dispensáveis para os objetivos principais deste trabalho.

Os valores estimados dos coeficientes de cultivo da cultura do feijão caupi, variedade paulistinha, foram compatíveis com outros valores encontrados na literatura, bem como os tabelados pela FAO, tornando o método utilizado adequado à obtenção de curvas de K_c , desde que se mantenha um acompanhamento, se possível, diário, do experimento para avaliação e limpeza dos sensores da estação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements)**. Fao Irrigation and Drainage Paper 56. Roma: FAO, 1998.
- ANDRADE, F. C. M. Estimativa da Transmissividade Atmosférica para o Estado do Ceará. In: XV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2008, São Paulo. Anais... São Paulo: SBMET, 2008. CD-ROM.
- BRUTSAERT, W. **Evaporation into the Atmosphere – Theory, History, and Applications**. Dordrecht/Boston/Lancaster: Reidel 1982.
- DYER, A. J. Measurements of evaporation and heat transfer in the lower atmosphere by an automatic eddy-correlation technique. **Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.** 87, 401-412, 1961.
- SWINBANK, W. C. The measurement of vertical transfer of heat and water vapor by eddies in the lower atmosphere. **J. Meteorology.** 8, 135-145. 1951