

DETERMINAÇÃO DO FLUXO DE CALOR LATENTE A PARTIR DE UM MODELO FUZZY PARA O CULTIVO DE PEPINEIROS EM AMBIENTES PROTEGIDOS

O. T.L. SOUZA¹, J.A.CAGNON², E.GALVANI³

1 Físico, Prof. Doutor, Adjunto, Instituto Ciberespacial, Universidade Federal Rural da Amazônia, UFRA, Belém-Pa, Fone (0xx91) 32105113, orlando.souza@ufra.edu.br

2 Eng. Eletricista, Prof. Doutor, Livre Docente, Depto. Engenharia Elétrica, Universidade Estadual Paulista-Bauru-SP jacagnon@feb.unesp.br

3 Professor Doutor, Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo egalvani@usp.br

Apresentado no XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 02 a 05 de julho de 2007 – Aracaju-SE

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo a utilização de um modelo matemático, baseado na Teoria Fuzzy, para determinar o fluxo de calor latente em ambientes protegidos e, como decorrência, calcular a evapotranspiração da planta. O modelo adota três variáveis de entrada: o saldo da radiação, o fluxo de calor no solo e a temperatura do ar, cujos valores são medidos através de equipamentos instalados na área de plantio, tendo como variável de saída o fluxo de calor latente. Os valores do fluxo de calor latente, determinados por meio do modelo proposto, foram comparados com os valores calculados pelo método da razão de Bowen para o cultivo do pepino, dando uma correlação de 0,85 entre os dois métodos.

PALAVRAS-CHAVE: lógica fuzzy, irrigação, saldo da radiação.

THE LATENT HEAT'S STREAM DETERMINATION THROUGH A FUZZY MODEL FOR THE CULTIVATIONS OF THE CUCUMBERS PLANTATION IN A PROTECTED ENVIRONMENTS

SUMMARY: The aim of this work is the utilization of a mathematical model's, application, based on the Fuzzy Theory, for determines the latent heat's stream in a protected environment of cucumbers plantation and decurrent of this, calculate the plant's evapotranspiration. The model adopts three variables of entrance: the balance of the solar radiation, the heat's stream in the soil and the air's temperature, whose values are measured by the installed equipments on the plantation area, having the latent heat's stream as an exit variable. The values of latent heat's stream, determined through a model proposed were compared with the calculated values by the Bowen's reason to the cucumbers cultivation, having the 0,85 correlation of results between the two methods.

KEYWORDS: fuzzy logic, irrigation, solar radiation.

INTRODUÇÃO: Modelos matemáticos implantados em programas computacionais têm apresentado significativos resultados em sistemas não-lineares e complexos nas mais diversas áreas, são os chamados sistemas inteligentes, dentre os quais se destaca a Lógica Fuzzy. Segundo SIMÕES (1999), a Lógica Fuzzy é uma técnica que incorpora a forma humana de pensar em um sistema de controle. Um controlador fuzzy típico pode ser projetado para comportar-se conforme o raciocínio dedutivo, é o processo que as pessoas utilizam para inferir conclusões baseadas em informações que elas já conhecem. Este trabalho utiliza uma nova metodologia para o cálculo do fluxo de calor latente no cultivo de culturas em ambientes protegidos, através de um modelo matemático proposto por SOUZA (2004), com base na teoria da Lógica Fuzzy. Para a verificação da validade dos resultados apresentados pelo modelo, estes foram comparados com os encontrados pelo método da razão de Bowen. O método da razão de Bowen, baseado no balanço da energia, objetiva estimar o fluxo de calor latente. É considerado um processo racional de estimativa de evapotranspiração de uma superfície em que é medida a energia disponível em um sistema natural, através do qual

separam-se as frações da radiação usadas nos diferentes processos obtendo-se assim bons resultados (VILLA NOVA, 1973). Os fluxos físicos estão correlacionados com a evaporação e os biofísicos com a transpiração que conjuntamente explicam os processos evapotranspirativos da cultura.

MATERIAIS E MÉTODOS: Os dados utilizados foram obtidos através de ensaios conduzidos em estufa tipo arco não-climatizada, na área experimental do Departamento de Recursos Naturais da Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista, Campus de Botucatu, São Paulo (latitude 22°51'S; longitude 48°26'W e altitude de 786 m), durante o período de 13/05/1998 a 10/09/1998, para o cultivo do pepino (GALVANI e ESCOBEDO, 2001). Para determinar-se o fluxo de calor latente, que indica a evapotranspiração realizada por uma cultura, BOWEN (1926) utilizou o balanço da radiação, que é definido pela diferença entre o recebimento e as entradas e saídas de energia por uma superfície, através da Equação 1 onde Rn é o saldo da radiação sobre a superfície, H é o fluxo de calor sensível, LE o fluxo de calor latente e G o fluxo de calor no solo.

$$Rn = H + LE + G \quad (1)$$

Rn é medido em W/m^2 , através de um sensor de radiação e G , medido por um transdutor de fluxo de calor que, também, tem unidade dada em W/m^2 . Como a obtenção de LE e H , através de equipamentos torna-se bastante oneroso, é mais viável economicamente a utilização do método da razão de Bowen que estima a relação entre essas variáveis, em função da temperatura, dada em °C, medida através de termopares. Baseado no método de Bowen, SOUZA (2004) elaborou um modelo baseado na Teoria Fuzzy, que adota três variáveis de entrada: Rn , G e T tendo como variável de saída LE . Esta nova metodologia foi testada no cultivo da rúcula e no cultivo de pimentão (SOUZA, CAGNON e CUNHA, 2005) tendo-se obtido resultados significativos. A vantagem deste modelo é que ele funciona como um controlador que, em tempo real, analisa a quantidade de água que pode ser repostada à cultura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Os valores obtidos para o fluxo de calor latente e da evapotranspiração, determinados pelos dois métodos, estão plotados nos gráficos 1 e 2, respectivamente, onde podemos notar que ambos têm uma correlação muito próxima. Os valores de LE , encontrados em W/m^2 , foram convertidos para MJ/m^2 que define a quantidade de água a ser repostada através da irrigação, tendo em vista que a mudança de estado físico da água demanda 590 cal/g, ou 2,47 MJ/kg que é o valor que propicia a transformação da unidade de energia para evapotranspiração, sendo que cada MJ/m^2 , é equivalente a 2,47 mm de água. Assim, o fluxo de calor latente equivalente em mm de água pela evapotranspiração foi de 305,77 mm/ciclo para o método de Fuzzy e de 261,24 mm/ciclo para o método clássico de Bowen. A análise estatística comparativa dos resultados, para LE determinado pelo método de Bowen, segundo GALVANI e ESCOBEDO (2001) e LE pelo modelo fuzzy desenvolvido por SOUZA (2004), para o cultivo do pepino, apresentou o valor de 0,78 para o coeficiente de correlação, indicando que as diferenças encontradas não foram significativas para 0,01% de probabilidade de acordo com o teste t realizado, havendo 85% de probabilidade dos valores de LE estarem correlacionados para os dois métodos.

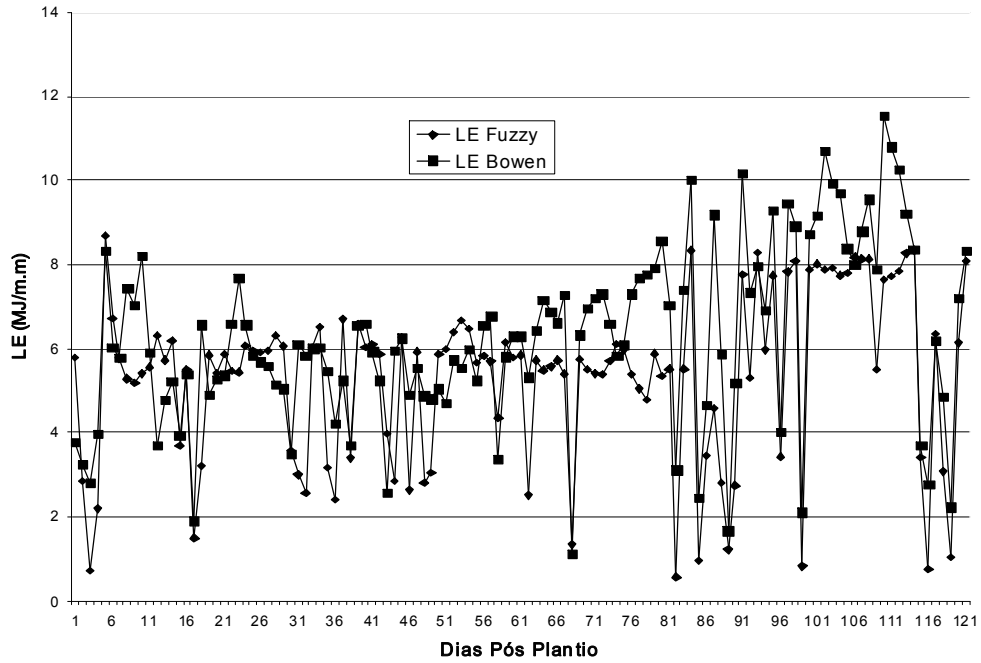


Figura 1 - Curvas de LE determinadas pelo Método de Bowen e pelo modelo fuzzy para o cultivo do pepino.

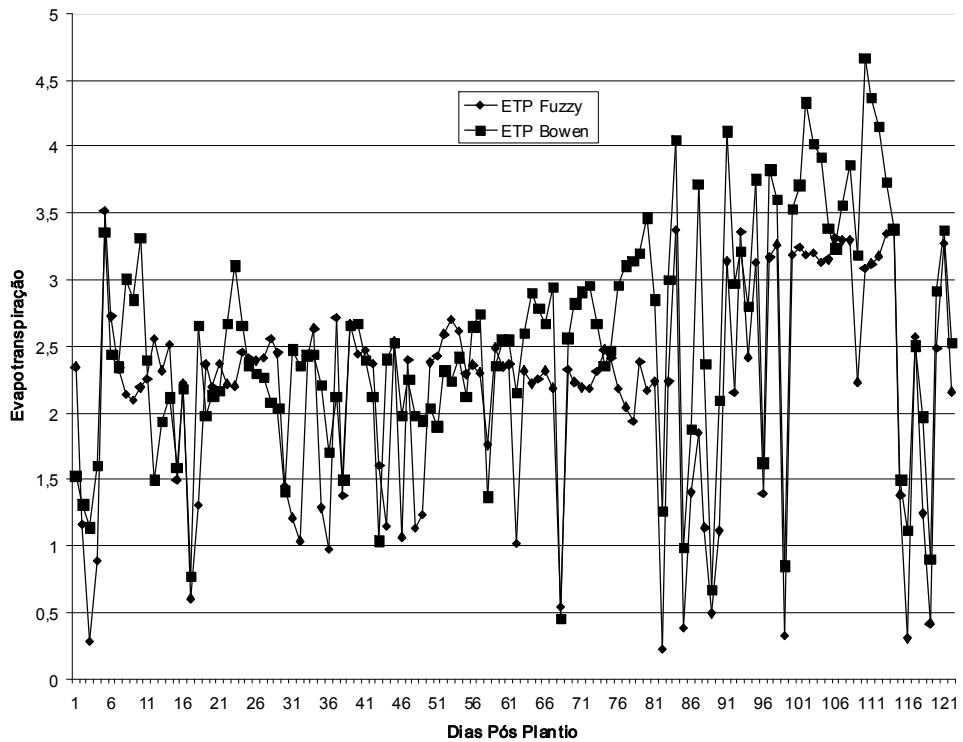


Figura 2 - Curvas de evapotranspiração determinadas pelo Método de Bowen e pelo modelo fuzzy para o cultivo do pepino

CONCLUSÕES: O objetivo deste trabalho foi a utilização de um modelo matemático, a partir da Teoria Fuzzy, que resultasse, através desta nova metodologia, na determinação do fluxo de calor latente e, como decorrência, estimar a quantidade de reposição hídrica diariamente, para o cultivo de pepineiros, em ambientes protegidos, o que foi atingido plenamente. Ao fluxo de calor latente converge a maior partição do saldo da radiação, já constatado ser um padrão de comportamento, com relação às demais variáveis pelo método de Bowen. Dos resultados obtidos chega-se à conclusão que as diferenças não foram significativas entre o método de Bowen e o método baseado no modelo fuzzy.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOWEN, I.S.. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. *Physical Review*, New York, v.27, p.779-787, 1926.
- GALVANI, E.; ESCOBEDO, J.F. Balanço de energia na cultura de pepineiro em ambiente natural e protegido. *Bragantia*, Campinas, v.60, n.2, p. 127-137, 2001.
- SIMÕES, M. G. *Controle e modelagem fuzzy*. São Paulo: Edgard Blücher, 1999. 165p.
- SOUZA, O. T.L. *Desenvolvimento de um modelo fuzzy para determinação do calor latente com aplicação em sistemas de irrigação*. 2004. 113f.Tese (Doutorado em Agronomia)- Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2004.
- SOUZA, O.T.L., CAGNON,J.A., CUNHA, A.R. *Determinação do fluxo de calor latente através de um modelo Fuzzy nos cultivos da rúcula e pimentão em ambientes protegidos*.In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 14, 2005. Campinas. **Anais...** Campinas: Unicamp, 2005.
- VILLA NOVA, N.A. *Estudos sobre o balanço de energia em cultura de arroz*. 1973. 89 f. Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agronomia “ Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1973.