

Uso de séries temporais em análise de fluxo de seiva de mangabeira

Marcelo Sacardi Biudes¹, José Holanda Campelo Júnior²,
Mariano Martinez Espinosa³, José de Souza Nogueira¹

¹*Instituto de Física*, ²*Departamento de Solos*, ³*Departamento de Estatística*
Universidade Federal de Mato Grosso, MT
e-mail: marcelo@pgfa.ufmt.br

Resumo

As dificuldades encontradas em estudos de fluxo de seiva, quanto às freqüentes interrupções ocorridas, necessitam de um método que preencha as falhas ocorridas. As técnicas de séries temporais podem prever o valor futuro com informações anteriores. Assim, o objetivo deste trabalho foi ajustar alguns modelos de séries temporais aos valores de fluxo de seiva obtidos pelo método de balanço de calor no caule, em uma mangabeira sob irrigação e uma não irrigada. Para tanto, foram utilizados os modelos de média móvel, exponencial simples e exponencial duplo. O modelo exponencial simples apresentou melhor ajuste nas duas plantas, evidenciado pelos menores valores de erro médio absoluto e erro quadrático médio, seguido pelo modelo exponencial duplo e média móvel, respectivamente. Todos os modelos apresentaram melhor ajuste para a planta não irrigada, devido à menor variação errática dos valores de fluxo de seiva.

Palavras-chave: transpiração; irrigação; modelagem.

Abstract

The difficulties find in studies of sap flow, about the frequent interruptions occurred, need a method of gap filling. Time series techniques may provide the future value with previous information. The objective of this work was set some time series models to the values of the sap flow obtained by the method of heat balance in the stem in a mangabeira under irrigation and a not irrigated. For this, it used the moving average, simple exponential and double exponential models. The simple exponential model has better fit in the two plants, as evidenced by low values of mean absolute error and mean square error, followed by the double exponential model and moving average model, respectively. All models has better fit to the

plant not irrigated, due to less variation of the values of erratic sap flow.

Key words: transpiration; irrigation; modeling

Introdução

A mangabeira (*Hancornia speciosa* Gomes), planta de porte arbustivo, encontra-se vegetando espontaneamente em várias regiões do país, se adaptando a diferentes altitudes, desde os Tabuleiros Costeiros e Baixada Litorânea do Nordeste, onde é mais abundante, até áreas sob Cerrado na Região Centro-Oeste, havendo ainda ocorrência nas Regiões Norte e Sudeste.

Mesmo sendo uma região onde a mangabeira é nativa, o Centro-Oeste não utiliza sua fruta como uma de suas principais fonte de renda. Os maiores produtores estão nos estados de Minas Gerais e Bahia, mas a produção é ainda extrativista, o que a torna baixa se comparada com outras culturas, tornando sua demanda superior à capacidade de fornecimento por via extrativista (Leon, 1987).

O comportamento do clima do Cerrado implica em rígido controle estomático quando da ocorrência de elevada demanda evaporativa e escassez de água no solo, acarretando em diminuição nos ritmos de crescimento e desenvolvimento da mangabeira. O desenvolvimento vegetativo desta espécie ocorre durante os meses mais quentes do ano e a produção de frutos mais intensa ocorre de abril a maio.

Uma alternativa para aumentar o uso da mangabeira como fonte de renda é a instalação de um sistema de irrigação, por criar condições de manter ritmos biológicos de crescimento e desenvolvimento da planta (Cavichioli et al., 2006).

Em culturas perenes, em pomar com espaçamento de alguns metros entre as árvores, um dos problemas de planejamento e manejo da irrigação é determinar o volume de água a ser aplicado em cada planta. Portanto, há necessidade de conhecer a sazonalidade do consumo e a necessidade de água das mangabeira por meio da avaliação da transpiração em diferentes condições de água no solo.

A transpiração das plantas é regulada pelas características da espécie como a área foliar e a capacidade de realização da fotossíntese frente aos parâmetros ambientais como a radiação solar, a temperatura e a umidade do ar, a velocidade do vento e a quantidade de água no solo.

Alguns métodos de estimativa da transpiração de plantas lenhosas e de tamanhos relativamente grandes vem recebendo atenção por parte dos pesquisadores (Cermak et al., 2004). Entre eles, o método de balanço de calor caulinar possui princípios físicos de termodinâmica relativamente simples. O equipamento é de fácil confecção, podendo ser instalado direta-

mente no campo sem que haja mudanças microclimáticas ou nos fatores fisiológicos que alteram a transpiração das plantas estudadas (Marin, 2003).

Por meio deste método é possível estimar a variação diária e sazonal do consumo hídrico da planta, constituindo uma informação necessária em estudos sobre a fisiologia da mangabeira e a instalação de sistemas de irrigação em pomares desta espécie nativa do Cerrado. Entretanto, estimativas de transpiração por técnicas de fluxo de seiva tem elevado custo, além da dificuldade de instalação e necessitar calibração periódica. Assim, modelos matemáticos de simulação têm sido empregados com diversos fins (Hoogenboom, 2000). A técnica estatística de séries temporais pode prever o comportamento futuro da transpiração de uma planta, por meio do comportamento desta variável ocorrida no passado.

O desenvolvimento de técnicas de previsão e de processamento cada vez mais sofisticados tem elevado o número de pesquisas que utilizam os processos de previsão como ferramenta. No entanto, essas técnicas são, ainda, utilizadas com frequência somente em ciências sociais, políticas e econômicas, podendo ser utilizadas em outras áreas onde as observações são associadas ao tempo (Sáfadi, 2003).

O objetivo deste trabalho foi ajustar alguns modelos de séries temporais aos valores de fluxo de seiva obtidos pelo método de balanço de calor no caule, em uma mangabeira sob irrigação e uma não irrigada.

Séries temporais

Uma série temporal denomina-se como uma seqüência de dados distribuídos equiespaçadamente ou em intervalos regulares no tempo. Seu objetivo está na realização de inferências sobre as propriedades ou características básicas do mecanismo gerador do processo estocástico das observações da série e na representação simplificada da realidade por meio de modelos matemáticos obtidos da abstração de regularidades contidas nos fenômenos observáveis.

Uma série temporal pode ser decompostas em componentes tendências, sazonais, cíclicos e erro aleatório, procurando revelar a magnitude de cada um deles, separadamente, para que possa mostrar como o movimento dos componentes isolados se juntam, para formar o movimento das séries. Uma série temporal é representada pela equação (1).

$$Y_t = T_t + C_t + S_t + E_t \quad (1)$$

em que Y_t é o valor da variável em um tempo dado, T_t o valor da componente de tendência em um tempo dado, C_t o valor da componente

de ciclo em um tempo dado, S_t o valor da componente sazonal em um tempo dado e E_t é o erro ou a variação aleatória (Morettin & Toloí, 1987).

Os procedimentos para a decomposição de séries temporais foram desenvolvidos com o objetivo de isolar os componentes permitindo que o comportamento da série temporal seja mais bem compreendido, assim, tentando prognosticar valores futuros mais apropriados.

Os métodos de previsão do valor futuro da série temporal efetuam o alisamento das observações passadas das séries de interesse, identificando o padrão básico presente nos dados históricos e estabelecendo um modelo de previsão por meio de um método.

Entre os modelos mais simples destacam-se os de média móvel, o exponencial simples e o exponencial duplo.

Modelos de médias móveis

O método de alisamento de observações que apresentam uma variação em uma tendência linear em função do tempo é chamado de médias móveis. É um processo de médias sucessivas tomadas como representativas dos valores relativos ao ponto médio do intervalo do qual foram retiradas (equação 2).

$$x_t = \frac{x_{t-1} + x_{t-2} + \dots + x_{t-n}}{n} \quad (2)$$

em que n representa o número de observações incluídas na média x_t .

O termo média móvel é utilizado porque, a medida que a próxima observação se torna disponível, a média das observações é recalculada, incluindo essa observação no conjunto de observações e desprezando a observação mais antiga.

Se a série consistir de flutuações erráticas em torno de uma tendência, as médias móveis irão reduzir e suavizar essas flutuações. Isso poderá ocorrer, pois a média de um determinado número de termos cairá entre o maior e o menor deles. Quanto maior o número de termos utilizados para o cálculo da média móvel, mais suavizada será a série resultante. Entretanto, se houver pouca flutuação aleatória nos dados ou mudança significativa no padrão da série, um número menor de observações deve ser incluído no conjunto de valores empregados na determinação da média para que se possa reagir a essas alterações mais rapidamente (Morettin & Toloí, 1981).

Caso a série consista de movimentos periódicos em torno da tendência, as médias móveis relativas a intervalos iguais ao período do ciclo irão reduzir esses movimentos.

Havendo não linearidade da tendência, as médias móveis se mostrarão distorcidas quando comparadas à tendência original, pois esta não se mostrará aplicável no processo. Além disso, se o período e/ou a amplitude do ciclo não for constante, as médias móveis não removerão todos os elementos cíclicos presentes na série.

Modelos exponenciais simples

O modelo exponencial simples se assemelha ao da média móvel por extrair da série temporal o comportamento aleatório pelo alisamento dos dados históricos.

Este modelo se diferencia da média móvel por atribuir pesos diferentes a cada observação da série. Enquanto que na média móvel as observações usadas para encontrar a previsão do valor futuro contribuem em igual proporção para o cálculo dessa previsão, neste as informações mais recentes são evidenciadas pela aplicação de um fator que determina essa importância (equação 3) (Wheelwright & Makridakis, 1985).

$$F_{t+1} = \alpha x_t + (1 - \alpha)F_{t-1} \quad (3)$$

em que F_{t+1} representa a previsão no tempo $t+1$ e α é o peso atribuído à observação x_t , sendo $0 < \alpha < 1$.

O argumento para o tratamento diferenciado das observações da série temporal é fundamentado na suposição de que as últimas observações contêm mais informações sobre o futuro e, portanto, são mais relevantes para a precisão (Morettin & Tolo, 1987).

O valor assumido por α determina o ajuste aplicado aos dados. Quanto menor o valor da constante, mais estáveis serão as previsões, visto que a utilização de baixo valor de α implica na atribuição de peso maior às observações passadas e, conseqüentemente, qualquer flutuação aleatória no presente contribui com menor importância para a obtenção da previsão. Um dos critérios para definir o melhor valor ajustado de α ao modelo exponencial simples é o menor erro quadrático médio (Morettin & Tolo, 1987).

Modelos exponenciais duplos

Quando o modelo exponencial simples é aplicado na previsão de séries temporais que apresentam tendência entre as observações passadas, os valores prognosticados podem superestimar ou subestimar os valores reais. Desta forma, a acuidade das previsões fica prejudicada.

Para evitar esse erro sistemático, o modelo exponencial duplo foi desenvolvido procurando reconhecer a presença de tendência na série de

dados. O valor da previsão obtido por meio deste método é alcançado pela aplicação da equação (4).

$$F_{t+m}^+ = S_t + mT_t \quad (4)$$

em que corresponde à previsão no tempo t , conforme equação (5), representa a componente de tendência, obtida pela equação (6) e m é o horizonte de previsão.

$$S_t = \alpha x_t + (1 - \alpha)(S_{t-1} + T_{t-1}) \quad (5)$$

$$T_t = \gamma(S_t - S_{t-1}) + (1 - \gamma)T_{t-1} \quad (6)$$

em que α e γ são pesos atribuídos à observação, assumindo valores entre 0 e 1 (Wheelwright & Makridakis, 1985).

Os valores α e γ são obtidos separadamente, pois fornece maior flexibilidade pelo fato de permitir que a tendência seja alisada com parâmetro diferente ao utilizado para a série temporal original (Morettin & Toloí, 1987).

Material e métodos

Descrição da área experimental

O experimento foi realizado na Fazenda Experimental da Universidade Federal de Mato Grosso, com coordenadas geográficas de 15°47' de latitude sul e 56°04' longitude oeste e altura de 95,1 m acima do nível do mar, situada no município de Santo Antônio do Leverger – MT, distante 33 km de Cuiabá – MT. O clima da região é do tipo Aw (Clima de Cerrado), segundo classificação de Köppen.

Foram analisadas duas mangabeiras (*Hancornia speciosa* Gómes), uma sob irrigação por microaspersores e uma sem irrigação. As plantas das duas parcelas estavam sob espaçamento de 3x3 m. As medidas de fluxo de seiva da mangabeira sob irrigação foram realizadas entre 07/04/2005 e 18/11/2005 e da mangabeira não irrigada entre 11/03/2005 e 28/11/2005. Quinzenalmente foi realizada manutenção nos sensores de fluxo de seiva e limpeza do caule onde o sensor estava instalado.

Método de balanço de calor no caule

O esquema de funcionamento do sensor é visualizado na Figura 1, sendo possível observar as energias que entram e saem do sistema, juntamente com o posicionamento dos termopares utilizados para a medição das diferenças de temperatura envolvidas no cálculo de fluxo de seiva.

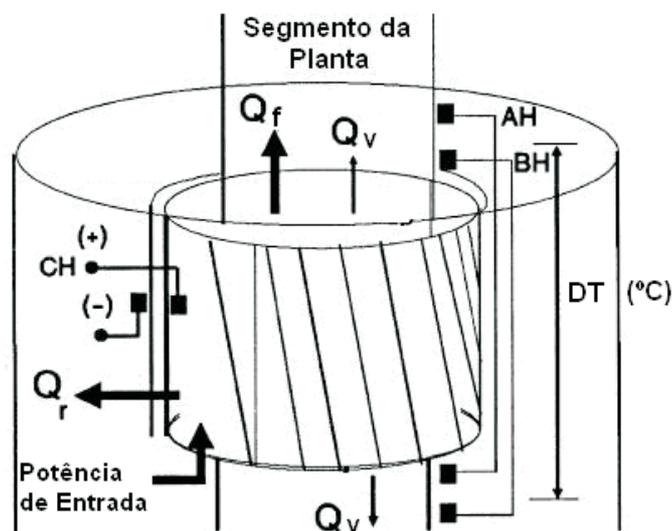


Figura 1. Representação esquemática da sonda utilizada e dos sinais analógicos correspondentes às leituras das diferenças de temperatura (AH , BH e CH).

O balanço de energia do segmento aquecido pode ser representado pela equação (7).

$$P_{in} = Q_v + Q_r + Q_f \quad (7)$$

em que P_{in} é o fluxo de calor aplicado no caule (W). Parte dessa potência dissipada é conduzida verticalmente (Q_v) e radialmente (Q_r) por condução e o restante (Q_f) é transportado verticalmente pela seiva que flui através da seção transversal do caule.

A subtração dos fluxos de calor e de resulta no calor transportado pela seiva através do caule aquecido (equação 8).

$$Q_f = \frac{V^2}{R} - \frac{K_{ST}A(BH - AH)}{dx(0,040)} - K_{SH}CH \quad (8)$$

em que V é a tensão (V) aplicada à resistência de aquecimento R (Ohms), K_{ST} é a condutividade térmica do caule $0,42$ ($W\ mK^{-1}$) (Steinberg et al., 1989), A é a área da seção transversal do caule (m^2), $0,040$ ($mV\ K^{-1}$) é um fator de conversão dos sinais analógicos AH e BH de mV para K - valor

do coeficiente de Seebeck para termopares de cobre-constantan - dx é a distância entre os termopares (0,01 m), K_{SH} ($\text{W}\cdot\text{mV}^{-1}$) é a condutividade térmica da jaqueta (cortiça + isolante), determinada experimentalmente, e CH (mV) a tensão medida pela termopilha circundante no caule.

A determinação do valor da constante K_{SH} foi realizada diariamente entre 04 e 06 h (hora local) (Gutiérrez et al., 1994). Assumindo-se que o fluxo de seiva nesse intervalo de tempo é nulo, a equação (7) foi transformada em $Q_r = P_m - Q_v$. Portanto, K_{SH} foi obtido pela equação (9).

$$K_{SH} = \frac{(P_m - Q_v)}{CH} \quad (9)$$

Para calcular a taxa de fluxo de seiva foi necessário conhecer a diferença de temperatura (DT) entre a seiva que entra e sai da porção aquecida do caule (equação 10).

$$DT = \frac{(AH + BH)}{2(0,040)} \quad (10)$$

A taxa de fluxo de seiva ($g \text{ s}^{-1}$) foi obtida pela equação (11).

$$F = \frac{Q_f}{C_p DT} \quad (11)$$

em que C_p é o calor específico da água ($4,186 \text{ J g}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$).

Análise estatística dos dados

O ajuste do fluxo de seiva das mangabeiras irrigada e a não irrigada estimado foi realizado por meio de técnicas de séries temporais utilizando os modelos de médias móveis, o exponencial simples e o exponencial duplo. Para tanto, as séries foram processadas utilizando o programa computacional MINITAB 14. Os parâmetros que melhor descrevem os modelos utilizados foram determinados em função dos menores valores de erro médio absoluto (EMA) e erro quadrático médio (EQM).

Resultados e discussão

O modelo de previsão do fluxo de seiva da mangabeira irrigada e não irrigada foi realizado inicialmente com o processo de média móvel. O EMA e EQM foram 1,738 e 5,136 para a planta irrigada e 0,771 e 1,178 para

a planta não irrigada, respectivamente, demonstrando que o modelo foi melhor ajustado ao fluxo de seiva da mangabeira não irrigada.

Para um melhor ajuste na estimativa, o fluxo de seiva por um modelo de séries temporais também foi estimado pelo modelo exponencial simples. Os valores observados e estimados de fluxo de seiva das plantas irrigada e não irrigada estão apresentadas nas Figuras 2 e 3, respectivamente.

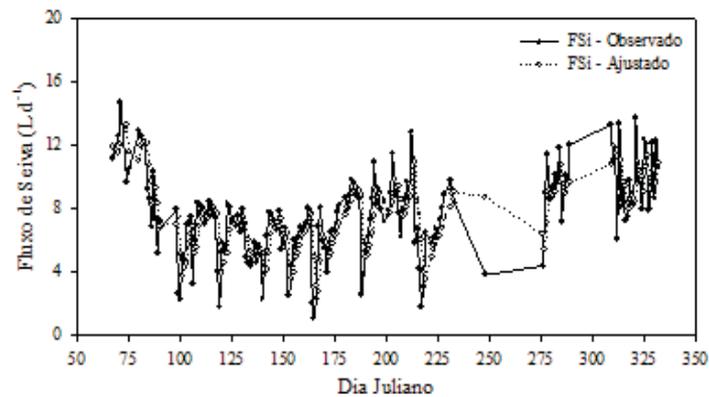


Figura 2. Fluxo de seiva (FS) observado de uma mangabeira irrigada e ajustado pelo modelo exponencial simples.

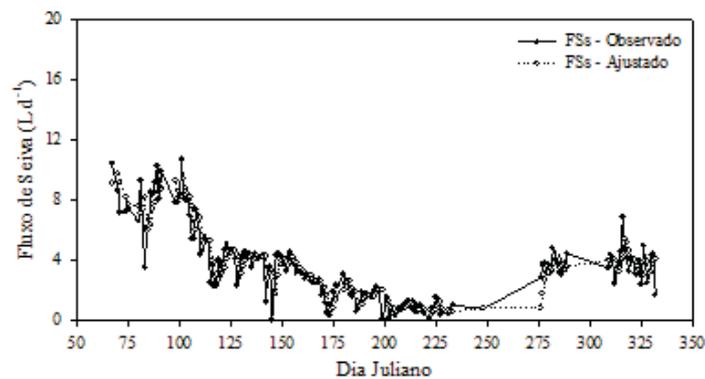


Figura 3. Fluxo de seiva (FS) observado de uma mangabeira não irrigada e ajustado pelo modelo exponencial simples.

As equações (12) e (13) foram ajustadas pelo modelo exponencial simples para estimar o fluxo de seiva das plantas irrigada e não irrigada, respectivamente.

$$F_{t+1}^+ = 0,478x_t + (1-0,478)F_t \quad (12)$$

$$F_{t+1}^+ = 0,485x_t + (1-0,485)F_t \quad (13)$$

O modelo exponencial simples foi mais bem adaptado aos dados de fluxo de seiva das duas mangabeiras que o modelo de médias móveis, verificado pela diminuição do EMA e do EQM (Tabela 1).

Tabela 1. Coeficientes α e γ ajustados aos modelos de média móvel, exponencial simples e duplo para o fluxo de seiva de uma mangabeira irrigada e uma não irrigada, erro médio absoluto (EMA) e erro quadrático médio (EQM).

Planta	Modelo	α	γ	EMA	EQM
Irigada	Média Móvel			1,738	5,136
	Exponencial Simples	0,478		1,611	4,496
	Exponencial Duplo	1,163	0,016	1,789	5,964
Não Irrigada	Média Móvel			0,771	1,178
	Exponencial Simples	0,485		0,741	1,097
	Exponencial Duplo	0,957	0,017	0,770	1,301

Houve diminuição do fluxo de seiva da mangabeira não irrigada durante o período seco. Isso ocorreu devido a uma estratégia da planta ao aumento do déficit hídrico em que ela se encontrou, diminuindo a área foliar dessa planta, chegando a perder todas as folhas. A interrupção nos valores de fluxo de seiva entre os dias julianos 235 a 280 foi ocasionada pela retirada do sensor da planta para limpeza.

Visando obter melhor nível de ajuste do fluxo de seiva das duas plantas pelo modelo de séries temporais, também utilizou-se o modelo exponencial duplo (Figuras 4 e 5).

Os valores de α e γ ajustados ao modelo exponencial duplo para o fluxo de seiva da mangabeira irrigada foram 1,163 e 0,016 e da não irrigada foram 0,957 e 0,017, respectivamente. O modelo exponencial duplos foi mais bem ajustado para a mangabeira não irrigada, devido aos menores va-

lores de EMA e EQM (Tabela 1). A causa de um valor menor de para a planta não irrigada se deve a esta apresentar menor variação de fluxo de seiva comparando com a planta irrigada.

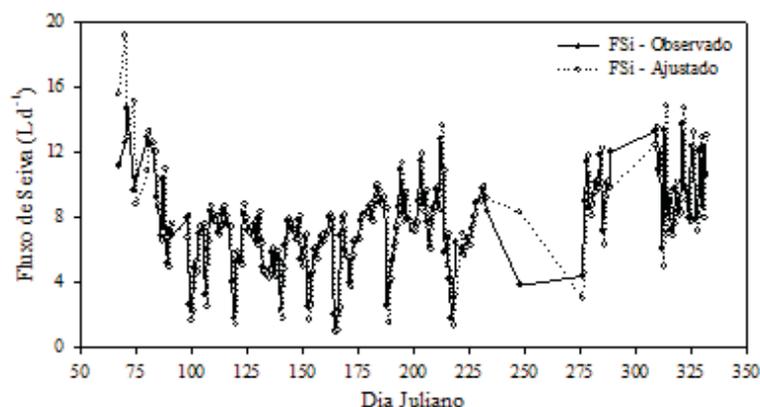


Figura 4. Fluxo de seiva (FS) observado de uma mangabeira irrigada e ajustado pelo modelo exponencial duplo.

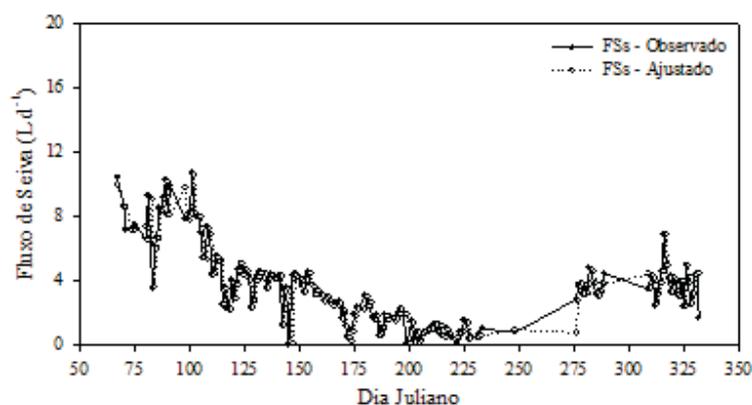


Figura 5. Fluxo de seiva (FS) observado de uma mangabeira não irrigada e ajustado pelo modelo exponencial duplo.

A estimativa do fluxo de seiva pelo modelo exponencial duplo não apresentou melhor ajuste, ao se comparar com o modelo exponencial simples, observado pelos maiores valores de EMA e EQM (Tabela 1). Podendo ser devido à introdução de uma segunda equação no modelo exponencial duplo.

Foi realizado o teste de normalidade dos resíduos e verificada a distribuição aleatória dos mesmos contra os valores de fluxo de seiva esti-

mados para ambas as plantas demonstrando que os modelos de previsão utilizados apresentaram-se adequados a estes pressupostos.

Conclusões

Houve maior variação dos valores de fluxo de seiva da mangabeira irrigada em comparação com a não irrigada, evidenciada pelo menor valor de α dos modelos utilizados.

Os modelos de média móvel, exponencial simples e duplo foram melhores adaptados ao fluxo de seiva da mangabeira não irrigada por apresentar menor variação aleatória que os valores de fluxo de seiva da planta irrigada.

Os valores de fluxo de seiva da mangabeira não irrigada apresentaram tendência negativa até o dia juliano 235, em seguida apresentaram uma tendência positiva até o fim do experimento, sendo possível ajuste dos modelos utilizados.

O modelo que apresentou melhor ajuste com os valores observados de fluxo de seiva de uma mangabeira irrigada e uma não irrigada em condições de cerrado foi o modelo exponencial simples, por apresentar menores valores de EMA e EQM.

Literatura citada

Cavichili, J. C., Ruggiero, C., Volpe, C. A., Paulo, E. M., Fagundes, J. L., Kasai, F. S. Florescimento e frutificação do maracujazeiro-amarelo submetido à iluminação artificial, irrigação e sombreamento. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 92-96, 2006.

Cermák, J., Kucera, J., Nadezhdina, N. Sap flow measurements with some thermodynamic methods, flow integration within trees and scaling up from sample trees to entire forest stands. *Trees*, v. 18, p. 529-546, 2004.

Gutiérrez, M. V., Harrinton, R. A., Meinzer, F. C., Fownes, J. C. The effect of environmentally induced stem temperature gradients on transpiration estimates from the heat balance method in two tropical woody species. *Tree Physiology*, v. 14, p. 179-190, 1994.

Hoogenboom, G. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its application. *Agricultural and Forest Meteorology*. Amsterdam, v. 103, n. 1-2, p. 137-157, 2000.

Leon, J. *Botánica de los cultivos tropicales*. Costa Rica: Editorial IICA, 1987. 445 p.

Marin, F. R., *Evapotranspiração e transpiração máxima em cafezal adensado*. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2003. 134 p. Tese Doutorado

Morettin, P. A., Toloi, C. M. de C. *Modelos para Previsão de Séries Temporais*. In : 13º Colóquio Brasileiro de Matemática. 1981, Rio de Janeiro.

Morettin, P. A., Toloi, C. M. de C. *Previsão de séries temporais*. In: Modelos para séries temporais. 2. ed. São Paulo: Anual, 1987. cap. 2, 16-31p.

Sáfadi, T. Uso de séries temporais na análise de vazão de água na represa de FURNAS, *Ciência Agrotécnica de Lavras*, Lavras, SP, v. 28, n. 1, p. 142-148, 2004.

Steinberg, S. L., Van Bavel, C. H. M., McFarland, M. J. A gauge to measure mass flow rate of sap in stems and trunks of woody plants. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v. 114, p. 466-472, 1989.

Wheelwright, S. C., Makridakis, S. *Forecasting Methods for Management*. 4.ed. New York: John Wiley & Sons Inc, 1985.

Submetido em: 17/11/2008

Aceito em: 19/05/2009

