

## MÉTODO DE MAKKINK: ESTIMATIVA DA $ET_0$ E COMPARAÇÃO COM O MÉTODO DE PENMAN-MONTEITH FAO 56

**Glaucio L. Araujo<sup>1</sup>, Leonardo C. Lacerda<sup>2</sup>, Camila Aparecida da S. Martins<sup>3</sup>, Rogério R. Rodrigues<sup>1</sup>, Aline A. Nazário<sup>3</sup>, Venilton Santos<sup>3</sup>, Edvaldo F. dos Reis<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal do Espírito Santo /Departamento de Engenharia Rural, Alto Universitário Centro 29500-000 - Alegre, ES - Brasil – Caixa Postal: 16, glaucio\_araujo@yahoo.com.br; rogeriorr7@hotmail.com; edreis@cca.ufes.br

<sup>2</sup>Universidade Federal do Espírito Santo/Centro de Ciências Agrárias/Departamento de Engenharia Florestal, Alto Universitário Centro 29500-000 - Alegre, ES - Brasil – Caixa Postal: 16, leocassani@hotmail.com

<sup>3</sup>Universidade Federal do Espírito Santo/Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Alto Universitário s/nº, Alegre-ES, CEP: 29.500-000, Caixa Postal 16, camila.cca@hotmail.com; aline.a.n@hotmail.com; vsantos50@gmail.com

**Resumo-** A evapotranspiração pode ser definida como a quantidade de água evaporada e transpirada de uma superfície vegetada durante determinado período de tempo. A evapotranspiração de referência pode ser estimada por vários métodos, sendo o método de Penman-Monteith-FAO 56, considerado o método padrão de referência. Portanto, este trabalho teve o objetivo de comparar o desempenho do método Makkink em relação ao método padrão proposto pela FAO, Penman-Monteith-FAO 56, em intervalos de um (1), três (3), cinco (5), sete (7) e dez (10) dias, nas condições climáticas do Município de Alegre-ES. O método de Makkink subestimou a  $ET_0$  em 2,43; 2,41; 2,41; 2,39 e 2,41% para os intervalos de 1, 3, 5, 7 e 10 dias, respectivamente.

**Palavras-chave:** Evapotranspiração de referência, Irrigação, Manejo da irrigação.

**Área do Conhecimento:** Ciências Agrárias

### Introdução

A evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) pode ser definida como a quantidade de água utilizada por uma extensa superfície vegetada com grama, com altura entre 8 e 15 cm, em crescimento ativo, cobrindo totalmente a superfície do solo e sem restrição hídrica (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002), que normalmente é utilizada para estimar a evapotranspiração potencial da cultura, visando a determinação das necessidades hídricas da cultura durante o manejo da irrigação (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

Segundo Lima et al. (2009) a  $ET_0$  pode ser determinada por meio de medidas diretas ou por métodos empíricos. As medidas diretas exigem estruturas apropriadas e normalmente são utilizadas em condições de pesquisa. Além disso, existem diversos métodos empíricos que são classificados de acordo com os princípios envolvidos em seu desenvolvimento em: aerodinâmicos, balanço de energia, combinados, entre outros.

Para regiões com disponibilidade suficiente de dados climáticos, a estimativa da  $ET_0$  pelo método padrão de referência, Penman-Monteith FAO 56 (ALLEN et al., 1998), que pondere as diferentes variáveis climáticas, é recomendado. Mas, em

condições de manejo da irrigação em áreas distantes de estações meteorológicas completas, a utilização de métodos simplificados baseados em dados de radiação solar e a temperatura do ar, justifica-se devido a sua fácil utilização e interpretação dos resultados. Neste sentido, em condições que se dispõe de dados de radiação solar em combinação com um fator de ponderação dependente da temperatura de bulbo úmido, frequentemente se utiliza o método de Makkink (MAKKINK, 1957).

Portanto, este trabalho teve o objetivo de estimar a evapotranspiração de referência pelo método de Makkink e comparar os resultados com o método padrão de referência para a estimativa da  $ET_0$ , método de Penman-Monteith FAO 56, em intervalos de 1, 3, 5, 7 e 10 dias nas condições climáticas do Município de Alegre-ES.

### Metodologia

Os elementos meteorológicos utilizados para os cálculos da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) pelos métodos de Makkink (MAKKINK, 1957) e Penman-Monteith FAO 56 (ALLEN et al., 1998) foram coletados durante o período de 15 de março de 2009 a 14 de março de 2010, por meio de uma estação meteorológica automática pertencente ao

ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada na área experimental do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo situada no Município de Alegre, localizado na região Sul do Estado do Espírito Santo, latitude 20°45'1,16" Sul, longitude 41°29'20,04" Oeste e altitude de 138,0 m. O clima da região é do tipo "Aw" com estação seca no inverno, de acordo com a classificação de Köppen. Os elementos climatológicos coletados a cada hora foram: temperatura do ar: máxima e mínima, umidade relativa do ar: máxima e mínima, radiação solar, precipitação e velocidade do vento a 2 m.

A  $ET_0$  foi estimada por meio dos métodos de Penman-Monteith FAO 56 (ALLEN et al., 1998), que é considerado o padrão de referência e pelo método de Makkink (MAKKINK, 1957). O método de Penman-Monteith FAO 56 foi utilizado para testar a estimativa de  $ET_0$  obtida pelo método de Makkink, conforme proposto por Allen et al. (1998). De acordo com Reis et al. (2007) o método padrão apresenta boa estimativa da evapotranspiração para a região em estudo. Os valores de  $ET_0$  foram calculados com uso do aplicativo computacional REF-ET (ALLEN, 2000).

A análise do desempenho do método em estudo foi realizada por meio da comparação dos valores de evapotranspiração obtidos com o método de Makkink, com os estimados pelo método de Penman-Monteith-FAO 56. A metodologia adotada para comparação dos resultados foi proposta por Allen et al. (1998), e se fundamenta na estimativa do erro-padrão (EEP), calculada pela equação 1.

$$EEP = \left( \frac{\sum (y - \hat{y})^2}{n - 1} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

onde:

- EEP - estimativa do erro-padrão, mm d<sup>-1</sup>;
- y - evapotranspiração de referência, mm d<sup>-1</sup>;
- $\hat{y}$  - evapotranspiração de referência estimada pelo método a ser testado, mm d<sup>-1</sup>; e
- n - número de observações.

A exatidão está relacionada com a aproximação dos valores estimados em relação aos valores observados. A aproximação dos valores de  $ET_0$  estimados pelo método em estudo, em relação aos valores obtidos com o uso do método padrão, foi obtida por meio de um índice designado concordância ou ajuste, representado pela letra "d" (WILLMOTT; CKLESON; DAVIS, 1985), cujos valores variam de zero, onde não existe concordância, a 1, para a concordância

perfeita. O índice de aproximação é calculado com a equação 2.

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N \left[ \left( |P_i - \bar{O}| \right) + \left( |O_i - \bar{O}| \right) \right]^2} \quad (2)$$

onde:

- d - índice de concordância ou ajuste;
- $P_i$  - evapotranspiração de referência obtida pelo método a ser testado, mm d<sup>-1</sup>;
- $O_i$  - evapotranspiração de referência obtida pelo método-padrão, mm d<sup>-1</sup>;
- $\bar{O}$  - média dos valores obtidos pelo método-padrão, mm d<sup>-1</sup>; e
- N - número de observações.

A precisão foi dada pelo coeficiente de determinação ( $r^2$ ) que indica o grau em que a regressão explica a soma do quadrado total. Na análise de regressão linear o coeficiente  $\beta_1$  representa a razão entre a estimativa da evapotranspiração obtida no método em estudo e a evapotranspiração de referência obtida pelo método padrão, quando o  $\beta_0$  é anulado. O  $\beta_1$  pode ser calculado de acordo com a equação 3, quando  $\beta_0$  for igual a zero.

$$\beta_1 = \frac{\sum ET_0 ET_m}{\sum ET_0^2} \quad (3)$$

onde:

- $\beta_1$  - coeficiente angular da reta de regressão linear;
- $ET_0$  - evapotranspiração de referência obtida pelo método padrão, mm d<sup>-1</sup>;
- $ET_m$  - evapotranspiração de referência obtida pelo método a ser testado, mm d<sup>-1</sup>.

A hierarquização das estimativas da evapotranspiração foi feita com base nos valores de estimativa do erro padrão (EEP), do coeficiente de determinação ( $r^2$ ), dos coeficientes  $\beta_1$ , e dos coeficientes de concordância de Willmott; Ckleson; Davis (1985) (d). Sendo que a melhor alternativa foi aquela que apresentou maior  $r^2$ , menor EEP,  $\beta_1$  próximo da unidade e d mais próximo de 1.

## Resultados

Nas Figuras 1 e 2 são apresentadas as variações médias mensais dos principais elementos meteorológicos utilizados para a estimativa  $ET_0$ , durante o período de condução do experimento.

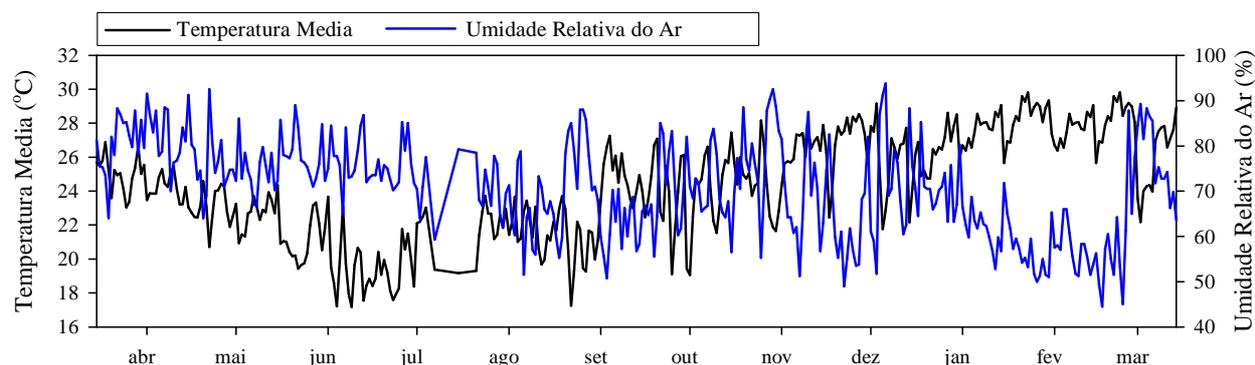


Figura 1 - Variações médias mensais dos elementos meteorológicos, Temperatura média do ar (°C) e Umidade Relativa do ar (%), para o período de março de 2009 a março de 2010.

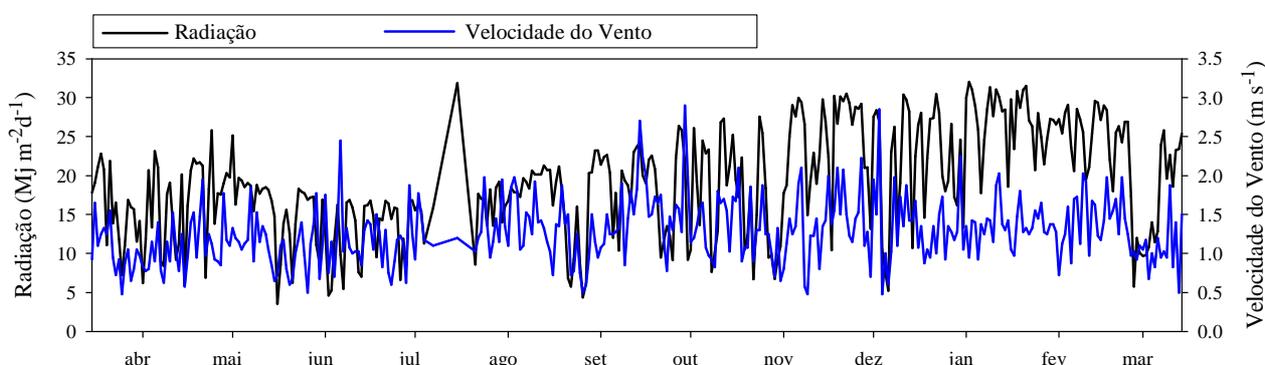


Figura 2 - Variações médias mensais dos elementos meteorológicos, Radiação (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) e Velocidade do Vento (m s<sup>-1</sup>), para o período de março de 2009 a março de 2010.

Na Tabela 1 se encontram os valores dos coeficientes  $\beta_1$ , erro-padrão da estimativa, índice de concordância de Willmott; Ckleson; Davis (1985), coeficiente de determinação, obtidos das correlações entre os valores de  $ET_0$  do método em estudo com os valores de  $ET_0$  de Penman-Monteith-FAO 56, e valores de evapotranspiração, em mm d<sup>-1</sup>, em intervalos de 1, 3, 5, 7 e 10 dias.

Tabela 1 - Valores dos coeficientes  $\beta_1$ , erro-padrão da estimativa (EEP), índice de concordância de Willmott (d), coeficiente de determinação ( $r^2$ ), obtidos das correlações entre os valores de  $ET_0$  do método de Makkink com os valores de  $ET_0$  de Penman-Monteith-FAO 56 e os valores de evapotranspiração ( $ET_0$ ) mm d<sup>-1</sup> para os intervalos de 1, 3, 5, 7 e 10 dias

Intervalos	$\beta_1$	EEP	d	$r^2$	$ET_0$ MK*	$ET_0$ PM*
1 dia	0,968	0,391	0,990	0,924	3,457	3,544
3 dias	0,964	0,340	0,999	0,938	3,458	3,543
5 dias	0,962	0,318	0,999	0,949	3,456	3,541
7 dias	0,961	0,308	0,999	0,955	3,450	3,535
10 dias	0,960	0,297	0,999	0,965	3,456	3,541

\*MK: Método de Makkink; \*PM: Método de Penman-Monteith FAO 56.

Nas Figuras 3, 4, 5, 6 e 7 são apresentados os gráficos das regressões lineares entre valores diários de evapotranspiração de referência estimados pelo método de Makkink em função do método de referência Penman-Monteith-FAO 56.

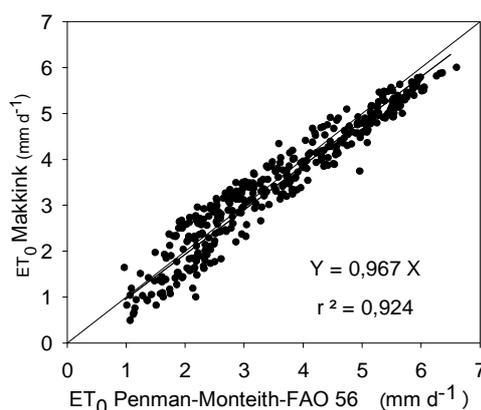


Figura 3 - Regressão linear com  $\beta_0$  passando pela origem para o método de Makkink em função do método de Penman-Monteith-FAO 56 com sua equação e coeficiente de determinação ( $r^2$ ), para intervalos diários.

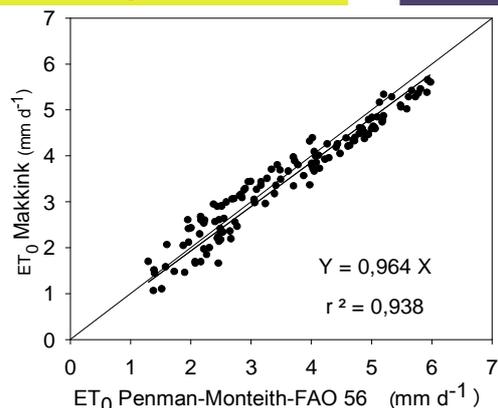


Figura 4 - Regressão linear com  $\beta_0$  passando pela origem para o método de Makkink em função do método de Penman-Monteith-FAO 56 com sua equação e coeficiente de determinação ( $r^2$ ), para o intervalo de 3 dias.

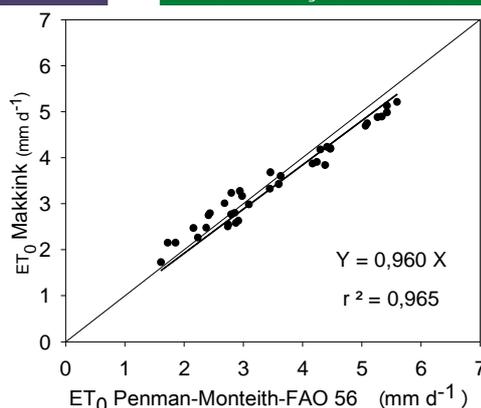


Figura 7 - Regressões lineares com  $\beta_0$  passando pela origem para o método de Makkink em função do método de Penman-Monteith-FAO 56 com sua equação e coeficiente de determinação ( $r^2$ ), para o intervalo de 10 dias.

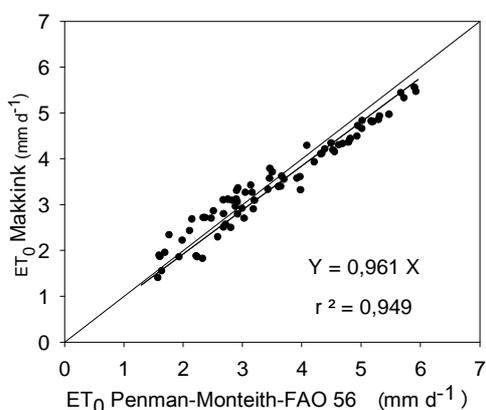


Figura 5 - Regressão linear com  $\beta_0$  passando pela origem para o método de Makkink em função do método de Penman-Monteith-FAO 56 com sua equação e coeficiente de determinação ( $r^2$ ), para o intervalo de 5 dias.

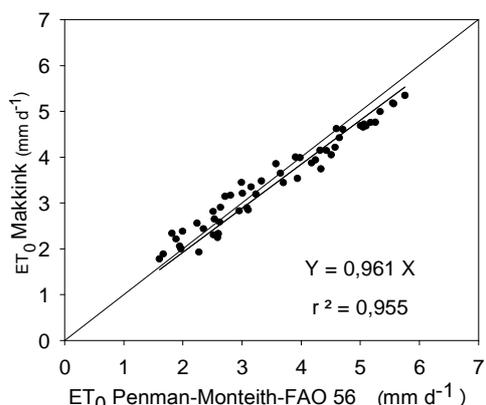


Figura 6 - Regressão linear com  $\beta_0$  passando pela origem para o método de Makkink em função do método de Penman-Monteith-FAO 56 com sua equação e coeficiente de determinação ( $r^2$ ), para o intervalo de 7 dias.

### Discussão

Os elementos meteorológicos apresentados nas Figuras 1 e 2 são os de maior influência na estimativa de evapotranspiração de referência, além de serem essenciais para o uso do método de Penman-Monteith-FAO 56.

O método de Makkink utiliza dados da radiação solar em combinação com um fator de ponderação dependente da temperatura de bulbo úmido (PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997).

Pela Tabela 1, nota-se que o método apresentou valores abaixo de 1 para o coeficiente  $\beta_1$  indicando a ocorrência de subestimativa dos valores de  $ET_0$ , independentemente do intervalo estudado. O coeficiente  $\beta_1$  diminui com a ampliação do intervalo para a estimativa da evapotranspiração de referência.

O método de Makkink apresentou 2,43% de subestimativa da  $ET_0$  em comparação ao método de Penman-Monteith FAO 56 no intervalo diário. Nos intervalos de 3, 5, 7 e 10 dias o método apresentou 2,41; 2,41; 2,39 e 2,41% de subestimativa da evapotranspiração de referência, respectivamente.

O método apresentou valores reduzidos para estimativa do erro padrão, sendo que a estimativa do erro diminuiu com a ampliação do intervalo para a estimativa da evapotranspiração de referência.

O método de Makkink apresentou elevados valores para índice de concordância. Além disso, este método apresentou valores elevados para os coeficientes de determinação sendo que o valor do coeficiente aumenta com a ampliação do intervalo para a estimativa da evapotranspiração de referência.

Pelas Figuras 3, 4, 5, 6 e 7 verifica-se que não ocorreu elevada dispersão dos dados de evapotranspiração de referência, indicando boa

precisão do método. Além da boa exatidão para estimativa da  $ET_0$ , devido a inexistência de uma considerável distância entre a reta estimada e a reta de calibração (reta 1:1) da  $ET_0$  pelo método de Makkink em função do método de Penman-Monteith FAO 56 nos intervalos em estudo.

Vescove e Turco (2005) trabalhando em Araraquara-SP, encontraram valores subestimados para a evapotranspiração de referência com a utilização do método de Makkink.

Almeida et al. (2010) encontrou 18% de subestimativa da  $ET_0$  utilizando o método de Makkink nas condições climáticas do Município de Fortaleza-CE. A ocorrência de subestimativa da  $ET_0$  pelo método de Makkink, também foi encontrada por Turco (2002), isto pode ser explicado pelo fato de que este método foi desenvolvido em regiões frias, ocasionando subestimativa quando usado em regiões quentes.

### Conclusão

O método de Makkink apresentou pequena subestimativa da evapotranspiração de referência nas condições climáticas do Município de Alegre-ES, independentemente do intervalo em estudo. O método pode ser indicado para o manejo da água na agricultura irrigada nas condições avaliadas.

### Referências

- ALLEN, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. **Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper, 56.** Rome: FAO, 1998. 310p.
- ALLEN, R. G. **REF-ET: Reference evapotranspiration calculator, Version 2.1.** Idaho: Idaho University, 2000. 82p.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação.** 8. Ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 265p.
- ALMEIDA, B. M.; ARAÚJO, E. M.; CAVALCANTE JUNIOR, E. G.; OLIVEIRA J. B.; ARAÚJO, E. M.; NOGUEIRA, B. R. C. comparação de métodos de estimativa da  $et_0$  na escala mensal em Fortaleza-CE. **Rev. Bras. Agric. Irrigada.** v.4, n.2, p.93-98 2010.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação.** 8. Ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 265p.
- LIMA, E. P.; SEDIYAMA, G. C.; ANDRADE, R. G.; DELGADO, R. C.; SOARES, V. P.; GLERIANI, J. M. Estimativa da evapotranspiração em áreas irrigadas utilizando imagem do Landsat 5 - TM. In:

XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 25-30 abril 2009, INPE, Natal. **Anais...**, p.247-254.

- MAKKINK, G. F. Ekzamento de la formulo de Penman. **Netherlands Journal of Agricultural Science.** Wageningen, v.5, p.290-305, 1957.
- PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G. **Evapo(transpi)ração.** Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.
- PEREIRA, A. R., ANGELOCCI, L. R., SENTELHAS, P. C.: **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas.** Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.
- REIS, E. F.; BRAGANÇA, R.; GARCIA, G. O.; PEZZOPANE, J. E. M.; TAGLIAFERRE, C. Estudo comparativo da estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades do estado do espírito santo no período seco. **IDESIA,** v.25, n.3, p.75-84, 2007.
- TURCO, J. E. P. **Influência da acurácia de instrumentos de medidas na comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>).** 2002. 85 f. Livre-Docência (Eletrificação Rural) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.
- VESCOVE, H. V.; TURCO, J. E. P. Comparação de três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Araraquara – SP. **Eng. Agríc.,** Jaboticabal, v.25, n.3, p.713-721, 2005.
- WILLMOTT, C. J.; CKLESON, S. G.; DAVIS, R. E. Statistics for evaluation and comparisons of models. **Journal of Geophysical Research,** Ottawa, v.90, n.C5. p.8995-9005, 1985.