

UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA  
 CAMPUS DE JI-PARANÁ  
 DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL


UNIR

DEA  
 Departamento de Engenharia Ambiental

# Climatologia

Prof.<sup>a</sup> Renata Gonçalves Aguiar

## Artigo - Umidade do Ar e Chuva



Fonte: climasambamba.wordpress.com

Fonte: noscunhos.com

### Artigo para a aula de hoje

REVIEW

doi:10.1038/nature10717

#### The Amazon basin in transition

Eric A. Davidson<sup>1</sup>, Alessandro C. de Araújo<sup>2,3</sup>, Paulo Artaxo<sup>4</sup>, Jennifer K. Bakst<sup>1,5</sup>, I. Foster Brown<sup>1,6</sup>, Mercedes M. C. Bustamante<sup>7</sup>, Michael T. Coe<sup>8</sup>, Ruth S. DeFries<sup>9</sup>, Michael Keller<sup>9,10</sup>, Marcos Longo<sup>11</sup>, J. William Munger<sup>11</sup>, Wilfrid Schroeder<sup>12</sup>, Britaldo S. Soares-Filho<sup>13</sup>, Carlos M. Souza Jr<sup>14</sup> & Steven C. Wofsy<sup>15</sup>

Fonte: agroneos.pt

## 2.5 – Evapotranspiração

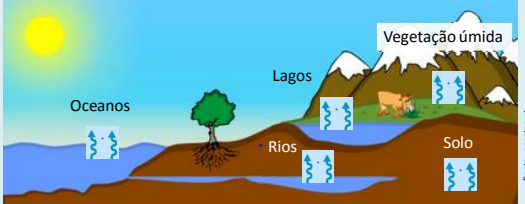


Por Aguiar, L. J. G.

### Definição de Evaporação

A evaporação é um processo físico de mudança de fase, passando do estado líquido para o estado gasoso.

Energia →  $LE = 2,45 \text{ MJ kg}^{-1}$  (a 20 °C)



Fonte: agroneos.pt

### Definição de Transpiração

A transpiração é um processo biofísico pelo qual a água que passou pela planta, fazendo parte de seu metabolismo, é transferida para a atmosfera preferencialmente pelos estômatos.



Fonte: climasambamba.com

### Definição de Evapotranspiração (ET)

Evaporação de superfícies de água livre (rios, lagos, represas, oceano, etc).

Evaporação dos solos e da vegetação úmida (que foi interceptada durante uma chuva).

Transpiração da vegetação.



Fonte: meioambiente.culturamix

### ET na Agricultura

Qual parcela da água doce é utilizada na agricultura no mundo?

8

### Reciclagem da Precipitação pela ET

Quanto é a fração da evapotranspiração anual comparada a precipitação anual?

9

### Reciclagem da Precipitação pela ET

A evapotranspiração anual é de aproximadamente 55% da precipitação anual, entretanto:

a maior contribuição para a precipitação média anual vem das chuvas da estação chuvosa.

10

### Reciclagem da Precipitação pela ET

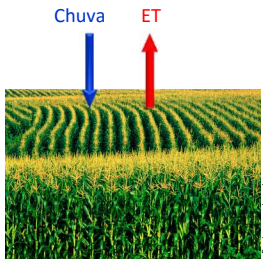
Na estação seca (ou menos chuvosa), em geral, a evapotranspiração é superior à precipitação, o que implica em exportação de vapor para outras regiões.

11

### Importância do Estudo da ET

O balanço entre a água que entra na cultura pela chuva e a que sai por ET, irá resultar na variação do armazenamento de água no solo.

Condicionará o quê?



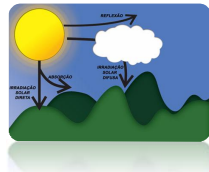
O crescimento, o desenvolvimento e o rendimento da cultura.

12

### Alguns Elementos que Interferem no Processo de Evaporação e Transpiração

#### Radiação Solar

A radiação solar é fonte energética necessária ao processo evaporativo.



13

### Alguns Elementos que Interferem no Processo de Evaporação e Transpiração

#### Temperatura e Umidade do Ar

O aumento da temperatura torna maior a quantidade de vapor d'água que pode estar presente no mesmo volume de ar.



Com maior temperatura e menor umidade relativa, maior é o poder de evapotranspiração.

14

### Curiosidade

Por que as pessoas em geral têm a impressão que em uma floresta o ambiente é mais fresco do que realmente é?

15

### Evapotranspiração

Com o intuito de padronizar a ET de comunidades vegetais, foram fixadas as condições nas quais sua medida deve ser feita.

16

### Evapotranspiração de Referência ( $ET_0$ )

É a quantidade de água que seria utilizada por uma extensa superfície vegetada por uma cultura de baixo porte (grama), verde, cobrindo totalmente o solo, de altura uniforme (8 a 15 cm) e sem restrição hídrica.



17

### Evapotranspiração de Referência ( $ET_0$ )

Condições realmente potenciais ocorrem um a dois dias após uma chuva generalizada, onde toda a região está umedecida.

Essa condição não ocorre em regiões áridas e semi-áridas, e também nos meses de estiagem em regiões com chuvas sazonais.

18


### Evapotranspiração Máxima de uma Cultura (ET<sub>c</sub>)

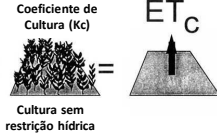
Foi desenvolvida após serem observadas as diferenças da interface cultura-atmosfera entre a grama e outras culturas.

19

### ET Máxima de uma Cultura (ET<sub>c</sub>)

É a quantidade de água utilizada por uma cultura, em qualquer fase de seu desenvolvimento, desde o plantio até a colheita, quando **não** houver restrição hídrica.




ET<sub>O</sub> x  = ET<sub>c</sub>

Kc é o coeficiente de cultura. Varia com as fases fenológicas, entre espécies e cultivares.

20

### Coeficiente de Cultura (Kc)

$$Kc = \frac{ET_c}{ET_o}$$


O Kc depende do tipo de cultivo e da idade do mesmo.

Milho: logo após a sua emergência, tem um Kc igual a 0,6. na fase de pendramento e formação de grãos o Kc atinge até 1,2. cae para 0,8 na fase final de maturação.

21

### Coeficiente de Cultura (Kc)

**Tabela 1. Características das culturas e dos equipamentos de irrigação simulados**

| Cultura  | Espaçamento (Lp x P) <sup>1</sup> (m) | Kc máx. | Tipo de Irrigação | Espaçamento (Ll x E) <sup>1</sup> (m) |
|----------|---------------------------------------|---------|-------------------|---------------------------------------|
| Abacaxi  | 0,9 x 0,3                             | 1,00    | Gotejamento       | 0,9 x 0,3                             |
| Banana   | 4,0 x 2,0                             | 1,20    | Microaspersão     | 8,0 x 2,0                             |
| Goiaba   | 6,0 x 6,0                             | 1,00    | Microaspersão     | 6,0 x 6,0                             |
| Limão    | 7,0 x 6,0                             | 0,90    | Microaspersão     | 7,0 x 6,0                             |
| Mamão    | 3,0 x 2,0                             | 1,20    | Microaspersão     | 3,0 x 2,0                             |
| Manga    | 8,0 x 5,0                             | 0,90    | Microaspersão     | 8,0 x 5,0                             |
| Maracujá | 4,0 x 5,0                             | 0,70    | Microaspersão     | 8,0 x 5,0                             |
| Melão    | 2,0 x 0,5                             | 1,05    | Gotejamento       | 2,0 x 0,5                             |
| Pinha    | 3,0 x 4,0                             | 0,90    | Microaspersão     | 3,0 x 4,0                             |
| Uva      | 3,0 x 2,0                             | 0,70    | Microaspersão     | 3,0 x 2,0                             |

<sup>1</sup>Lp - linhas de plantio; P - plantas; Ll - linhas laterais; E - emissores

Fonte: Moraes et al. (2009).

22

### Coeficiente de Cultura (Kc)

Gramado Kc = 1

Se tivermos Kc > 1 o que significa?

Que a cultura é mais eficiente na utilização da energia do ambiente do que um gramado.

23

### Coeficiente de cultura

**Tabela 1 - Valores do coeficiente de cultura (Kc) para a gramínea Brachiaria brizantha no período de maio de 2008 a abril de 2009.**

| Meses     | Kc    |
|-----------|-------|
| Maio      | 0,91  |
| Junho     | 0,79  |
| Julho     | 0,44  |
| Agosto    | 0,14  |
| Setembro  | 0,25  |
| Outubro   | 0,63  |
| Novembro  | 0,57  |
| Dezembro  | 0,75* |
| Janeiro   | 0,93  |
| Fevereiro | 1,05  |
| Março     | 1,01  |
| Abril     | 1,06  |

\* valor estimado através da média entre o mês anterior e posterior.

24

### Coeficiente de Cultura (Kc)

No caso de culturas perenes ou árvores, os valores de Kc também irão variar de acordo com o IAF e o tipo de cultura. Um exemplo é a seringueira, que perde as folhas no outono.

Kc  
↓  
Área foliar

**Cafeeiro Adulto (>2 anos)**

Kc

Mês

25

### Evapotranspiração Real (ETr)

Quando a ET da cultura não ocorre sob as condições ideais descritas, ela é denominada ET real da cultura.

ETr é a evapotranspiração nas mesmas condições de contorno de ETC, porém, **com ou sem restrição hídrica**.

$ETr \leq ETC$

$ETr = ETo * Kc * Ks$

Ks é o coeficiente de umidade no solo.

26

### Método Direto de Estimativa da ET

Método de covariância de vórtices turbulentos (*eddy correlation*).

Uso de lisímetros.

Custo elevado

27

### Método Eddy Correlation

$$LE = \rho \lambda \overline{w'q'}$$

LE - fluxo de calor latente ( $W m^{-2}$ )  
 ρ - densidade específica do ar  
 λ - calor latente de vaporização ( $J kg^{-1}$ )  
 w' - componente turbulenta da velocidade vertical do vento  
 q' - componente turbulenta da umidade específica do ar ( $kg kg^{-1}$ )

Figura 1 - Sistema Eddy Correlation. (a) Anemômetro sônico tridimensional e (b) analisador de gás por infravermelho. Fonte: Santos, 2010.

28

### Método Eddy Correlation

Figura 2 - Precipitação e evapotranspiração real medida pelo método de vórtices turbulentos na FNS, de maio de 2008 a abril de 2009. Fonte: Santos, 2010.

Figura 3 - Precipitação e evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman-Monteith para a FNS, de maio de 2008 a abril de 2009. Fonte: Santos, 2010.

29

### Método Eddy Correlation

Figura 4 - Ciclo médio mensal da evapotranspiração real e de referência na FNS, de maio de 2008 a abril de 2009. Fonte: Santos, 2010.

30

## Despertando o(a) Engenheiro(a) Ambiental



31

## Despertando

**Instituições protestam  
contra medida que susta  
11 Unidades de  
Conservação em  
Rondônia**



Fonte: Jornal da Ciência

## Campo Rebio Jaru



Climatologia - UNIR

33

## Campo Rebio Jaru

Qual o objetivo?



Climatologia - UNIR

34

## Campo Rebio Jaru

Ler

Regulamento de visitação da Rebio Jaru



Climatologia - UNIR

35

## Campo Rebio Jaru

Ler

Acordo de convivência da Rebio Jaru



Climatologia - UNIR

36

## Campo Rebio Jaru

### Garantido

Micro-ônibus com o diesel - UNIR  
 Diárias do motorista – Prof.<sup>a</sup>  
 Gasolina dos barcos - ICMBio  
 Barqueiros - ICMBio  
 Gás - ICMBio

37

## Campo Rebio Jaru

### Conseguir

Cozinheiras – duas ou três  
 Alimentação

38

## Campo Rebio Jaru

### Voluntário(a)

Ver sobre o seguro de vida – Wesley R. D. M.

39

## Campo Rebio Jaru

### Levar

Perneira (tem 20 pares)  
 Capa de chuva  
 Roupas de cama, travesseiro, colcha (friagem)  
 Colchonete, rede (têm 21 colchões)

40

## Campo Rebio Jaru

### Levar

Blusa de manga longa  
 Calça comprida  
 Sapato fechado  
 Chapéu  
 Protetor solar

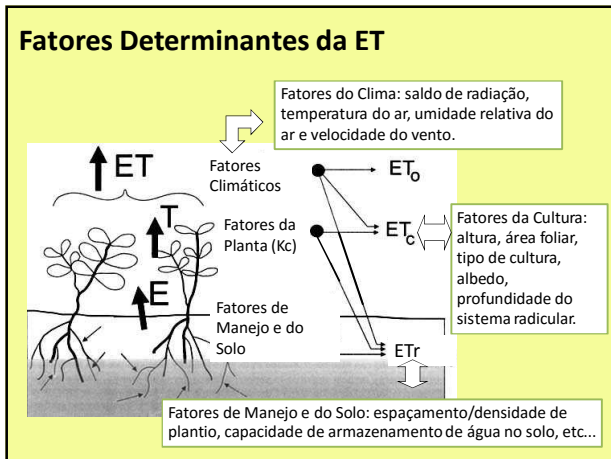
41

## Campo Rebio Jaru

### Levar

Remédio  
 Repelente  
 Caderno e caneta  
 Recipiente para levar água para o campo  
 Lanterna e pilhas

42



### Métodos Empíricos de Estimativa da ET

Foram derivados por meio de regressões estatísticas na comparação do valor de  $ET_0$  com as variáveis estudadas e nas observações individuais de cada autor.

- Tanque Classe A
- Método de Thornthwaite → Usa apenas temperatura do ar
- Método de Camargo
- Método de Priestley-Taylor
- Método da Radiação Solar
- Método de Hargreaves-Samani
- Método de Penman-Monteith → Precisão dos resultados

44

### Método de Hargreaves-Samani

Método desenvolvido em 1985 para as condições semi-áridas da Califórnia, a partir de ET obtida por método direto cultivado com grama.

$$ET_0 = 0,0023R_o(T_{máx} - T_{mín})^{0,5}(T_{méd} + 17,8)$$

**ET<sub>0</sub>** - evapotranspiração de referência (mm d<sup>-1</sup>)  
**R<sub>o</sub>** - irradiância solar extraterrestre (mm d<sup>-1</sup>)  
**T<sub>máx</sub>** - temperatura máxima (°C)  
**T<sub>mín</sub>** - temperatura mínima (°C)  
**T<sub>méd</sub>** - temperatura média (°C)

45

### Método Penman-Monteith (Padrão FAO – 1998)

O método de **PENMAN-MONTEITH** tem uma relativa precisão, aproximação e consistência em sua performance nos dois tipos de clima (árido e úmido).

Método indicado pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), método padrão.

A  $ET_0$  pode ser calculada em dados diários, semanais, decenais e mensais.

### Método Penman-Monteith (Padrão FAO – 1998)

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \frac{\gamma 900 U_2 (e_s - e_a)}{T + 273}}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)}$$

**ET<sub>0</sub>** - evapotranspiração de referência (mm d<sup>-1</sup>)  
**Δ** - declividade da curva de pressão de vapor (kPa °C<sup>-1</sup>)  
**R<sub>n</sub>** - saldo de radiação (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>)  
**G** - fluxo de calor no solo (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>)  
**γ** - constante psicrométrica (kPa °C<sup>-1</sup>)  
**U<sub>2</sub>** - velocidade do vento medido a 2 m de altura (m s<sup>-1</sup>)  
**e<sub>s</sub>** - pressão de saturação de vapor (kPa)  
**e<sub>a</sub>** - pressão atual de vapor (kPa)  
**T** - temperatura média do ar (°C)

### Critério para Escolha de um Método de Estimativa da ET

A escolha dependerá de vários fatores:

a) da disponibilidade de dados meteorológicos;

48



### Critério para Escolha de um Método de Estimativa da ET

A escolha dependerá de vários fatores:

- b) da escala de tempo requerida. Thornthwaite e de Camargo, estimam bem a ET na escala mensal.
- Métodos que envolvem o saldo de radiação apresentam boas estimativas também na escala diária.

49

### Critério para Escolha de um Método de Estimativa da ET

A escolha dependerá de vários fatores:

- c) é necessário conhecer as condições climáticas, pois não são de aplicação universal.

50

### Critério para Escolha de um Método de Estimativa da ET

Métodos de Thornthwaite e de Camargo → Clima úmido

Hargreaves-Samani → Clima seco

Método mais utilizado: Penman-Monteith

51

### TCC sobre ET

EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA ESTIMADA POR MÉTODOS EMPÍRICOS EM DOIS DIFERENTES ECOSISTEMAS NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA

Euler Noiman Gonçalves

52

### TCC sobre ET

#### Objetivo

Avaliar quatro métodos empíricos que requerem menor número de variáveis para a estimativa da evapotranspiração de referência, sendo esses, Camargo, Hargreaves-Samani, Priestley-Taylor e Jensen-Haise, e comparar seus desempenhos com o método padrão de Penman-Monteith, verificando assim, qual o método que melhor adapta-se às condições climáticas de uma área de pastagem e outra de floresta no sudoeste da Amazônia.

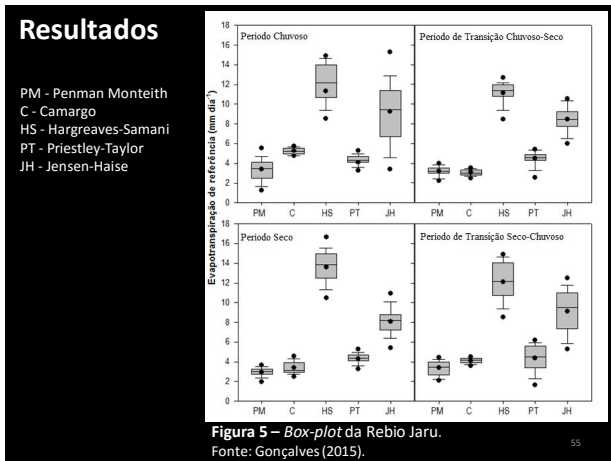
53

### TCC sobre ET

Quadro 1 - Variáveis utilizadas para calcular a evapotranspiração nos métodos empíricos.

| Método Empírico   | Variáveis utilizadas  |
|-------------------|---|
| Penman Monteith   | Radiação solar líquida<br>Fluxo de calor no solo<br>Constante psicrométrica<br>Velocidade do vento<br>Pressão de saturação de vapor e Pressão atual<br>Temperatura do ar<br>Declividade da curva de pressão |
| Camargo           | Radiação solar extraterrestre<br>Temperatura do ar  |
| Hargreaves-Samani | Radiação solar extraterrestre<br>Temperatura do ar  |
| Priestley-Taylor  | Temperatura do ar<br>Fluxo de calor no solo<br>Declividade da curva de pressão de vapor<br>Pressão local  |
| Jensen-Haise      | Radiação solar líquida<br>Temperatura do ar   |

54



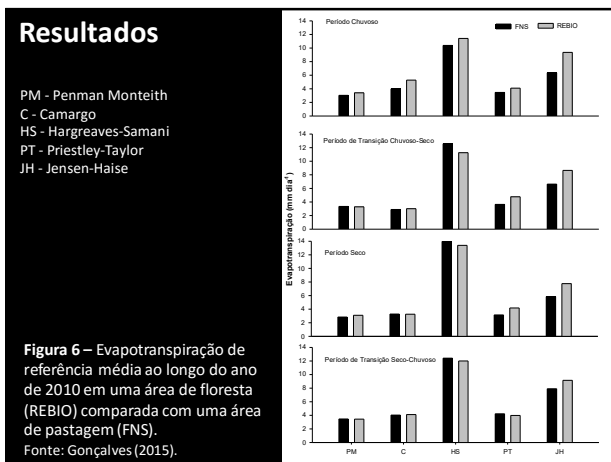
### Resultados

Tabela 2 - Desempenho dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária no período seco (julho-setembro) para a Rebio Jaru.

| Métodos           | r    | d    | c    | Desempenho | RMSE  | MAE   |
|-------------------|------|------|------|------------|-------|-------|
| Camargo           | 0,43 | 0,99 | 0,43 | Mau        | 0,78  | 0,63  |
| Hargreaves-Samani | 0,56 | 0,58 | 0,33 | Péssimo    | 10,78 | 10,64 |
| Priestley-Taylor  | 0,89 | 0,94 | 0,85 | Muito Bom  | 1,38  | 1,35  |
| Jensen-Haise      | 0,94 | 0,78 | 0,74 | Bom        | 5,2   | 5,1   |

Nota: r é o coeficiente de correlação; d é o coeficiente de Willmott; c é o índice de Camargo e Sentelhas; RMSE é o erro médio quadrático e MAE é o erro absoluto médio.

Fonte: Gonçalves (2015).



### TCC sobre ET

#### Conclusão

De acordo com a disponibilidade de dados na região

- 1º FAO56 Penman-Monteith
- 2º Priestley-Taylor
- 3º Camargo

### Referências

AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 2003.

FISCHER, G. R. **Notas de aula de Climatologia**, 2011.

GONÇALVES, E. N. **Evapotranspiração de Referência Estimada por Métodos Empíricos em Dois Diferentes Ecossistemas no Sudoeste da Amazônia**. Ji-Paraná: UNIR, 2014. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental), Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Rondônia - *Campus* de Ji-Paraná, 2014.

### Referências

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Ed. Oficina de Textos, 2007.

MORAES, M. J.; OLIVEIRA FILHO, D.; VIEIRA, G. H.S.; SCARCELLI, R. O. C. Gerenciamento do lado da demanda no bombeamento de água para perímetro irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** [online], Campina Grande, v. 15, n. 9, p. 875-882, set. 2011.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981.

## Referências

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações**. Guaíba: Agropecuária, 2002.

SANTOS, D. J. **Determinação e Validação do Coeficiente de Cultura e Estimativa da Evapotranspiração para gramínea *Brachiaria brizantha* no Estado de Rondônia**. Ji-Paraná, UNIR, 2010. Monografia (Licenciatura Plena em Matemática) Departamento de Matemática e Estatística, Universidade Federal de Rondônia, *Campus* de Ji-Paraná, 2010.

61

## Referências

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e climatologia**. Versão digital 2, Recife, 2006.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia Básica e Aplicações**. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2012.

62