

**UNIVERSIDADE DE ÉVORA**  
**DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS**

# **A ÁGUA NO SISTEMA CLIMÁTICO**

**(Apontamentos para aulas de MICROCLIMATOLOGIA DOS  
HABITATS)**

**José Alexandre Andrade**

**ÉVORA, 2011**

## ÍNDICE

|                                                                                                                |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Índice.....</b>                                                                                             | <b>i</b>   |
| <b>Lista de Símbolos.....</b>                                                                                  | <b>iii</b> |
| <b>1. Propriedades da água.....</b>                                                                            | <b>1</b>   |
| <b>2- A água no sistema climático .....</b>                                                                    | <b>1</b>   |
| <b>3-O ciclo da água.....</b>                                                                                  | <b>4</b>   |
| <b>4. Precipitação e intercepção.....</b>                                                                      | <b>7</b>   |
| 4.1. Formas e tipos de precipitação.....                                                                       | 7          |
| 4.2. Precipitação ponderada numa bacia hidrográfica.....                                                       | 9          |
| 4.3. Medidas pluviométricas.....                                                                               | 10         |
| 4.4. Intercepção.....                                                                                          | 12         |
| 4.5. Exercícios propostos.....                                                                                 | 14         |
| <b>5. Evaporação e evapotranspiração.....</b>                                                                  | <b>15</b>  |
| 5.1. Considerações gerais.....                                                                                 | 15         |
| 5.2. Factores de que depende a evapotranspiração.....                                                          | 17         |
| 5.3. Medição e estimativa da evapotranspiração.....                                                            | 17         |
| 5.3.1. Aspectos gerais.....                                                                                    | 17         |
| 5.3.2. Equação de Penman-FAO24.....                                                                            | 20         |
| 5.3.3. Método de Thornthwaite.....                                                                             | 23         |
| 5.3.4. Método de Penman-Monteith.....                                                                          | 25         |
| 5.3.5. Método aerodinâmico baseado em resistências.....                                                        | 26         |
| 5.3.6. Relação Razão de Bowen-Balanço energético.....                                                          | 26         |
| 5.4. Exercícios propostos.....                                                                                 | 27         |
| <b>6. Infiltração.....</b>                                                                                     | <b>27</b>  |
| <b>7. Escoamento.....</b>                                                                                      | <b>29</b>  |
| <b>8. Balanço Hídrico.....</b>                                                                                 | <b>32</b>  |
| 8.1. Generalidades.....                                                                                        | 32         |
| 8.2. Balanço hídrico da atmosfera.....                                                                         | 33         |
| 8.3. Balanço Hídrico do solo.....                                                                              | 34         |
| 8.4. Exercícios propostos.....                                                                                 | 40         |
| <b>Bibliografia recomendada.....</b>                                                                           | <b>41</b>  |
| <b>ANEXO A – Propriedades físicas da água líquida .....</b>                                                    | <b>44</b>  |
| <b>ANEXO B – Cálculo da evapotranspiração potencial (método de Penman)</b>                                     |            |
| ANEXO B1 – Determinação de ETP pelo método de Penman (Impresso).....                                           | 45         |
| ANEXO B2 – Tensão de saturação de vapor de água em função da<br>temperatura média do ar.....                   | 46         |
| ANEXO BF3 – Conversão da velocidade do vento para uma altura de 2<br>metros acima da superfície terrestre..... | 47         |
| ANEXO B4 – Valores de $f(V)$ para a altura de 2 m acima da superfície terrestre...                             | 48         |
| ANEXO B5 – Valores do factor W para diferentes temperaturas e<br>altitudes.....                                | 49         |
| ANEXO B6 – Valores médios da Insolação Máxima em horas.....                                                    | 50         |
| ANEXO B7 – Conversão de valores de nebulosidade em valores de insolação.....                                   | 51         |

|                                                                                                                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ANEXO B8 - Radiação solar no topo da atmosfera expressa no equivalente em mm dia <sup>-1</sup> .....                                                                                                         | 52 |
| ANEXO B9 - Factor de conversão da radiação solar no topo da atmosfera em balanço da radiação de pequeno comprimento de onda para o albedo de 0,20 e para diferentes valores de percentagem de insolação..... | 53 |
| ANEXO B10 – Efeitos da temperatura do ar, da tensão de vapor e da percentagem de insolação no balanço de radiação de grande comprimento de onda.....                                                         | 54 |
| ANEXO B11 - Factor de ajustamento (c).....                                                                                                                                                                   | 55 |

## **ANEXO C - Cálculo da Evapotranspiração potencial (método de Thornthwaite)**

|                                                                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ANEXO C1- Determinação de ETP pelo método de Thornthwaite e do Balanço Hídrico pelo método de Thornthwaite-Mather (Impresso) .....               | 56  |
| ANEXO C2 – Índice calórico.....                                                                                                                  | 57. |
| ANEXO C3 Valores diários da evapotranspiração potencial não ajustada para diferentes temperaturas médias e valores do índice calórico anual..... | 58  |
| ANEXO C4 - Valores diários da evapotranspiração potencial não ajustada para temperaturas médias superiores a 26,5°C.....                         | 66  |
| ANEXO C5 – Duração média possível expressa em unidades de 12 horas.....                                                                          | 67  |

## **ANEXO D – Cálculo do Balanço Hídrico (método de Thornthwaite-Mather)**

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| ANEXO D1 – Tábua dos logaritmos naturais dos inversos..... | 69 |
|------------------------------------------------------------|----|

## **ANEXO E – Normal climatológica de Évora (1951-1980).....**

71

## LISTA DE SÍMBOLOS

|            |                                                                                                                                                                                     |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| a          | constante empírica (método de Penman)                                                                                                                                               |
| $a_i$      | parâmetro dependente do índice calórico (método de Thornthwaite)                                                                                                                    |
| A          | (a) armazenamento de água no solo (balanço hídrico pelo método de T-Mather)<br>(mm)<br><br>(b) área ( $m^2$ , $Km^2$ )                                                              |
| ACS        | água cedida ao solo (balanço hídrico pelo método de T-Mather) (mm)                                                                                                                  |
| ARS        | água restituída ao solo (balanço hídrico pelo método de T- Mather) (mm)                                                                                                             |
| b          | constante empírica (método de Penman)                                                                                                                                               |
| B          | matéria seca produzida ( $Kg\ ha^{-1}$ )                                                                                                                                            |
| c          | factor de ajustamento (método de Penman)                                                                                                                                            |
| $c_p$      | calor específico a pressão constante ( $J\ kg^{-1}\ ^\circ C^{-1}$ ),                                                                                                               |
| $c_{p(d)}$ | calor específico do ar seco a pressão constante ( $1005\ J\ kg^{-1}\ ^\circ C^{-1}$ )                                                                                               |
| C          | intercepção pelas copas (mm)                                                                                                                                                        |
| d          | altura do desfasamento para o plano zero (Método de Penman-Monteith) (m)                                                                                                            |
| D          | (1) drenagem ou escoamento subsuperficial (mm)<br>(2) défice mensal (balanço hídrico pelo método de T-Mather) (mm)<br>(3) deposição de hidrometeoros (Eq. Geral de Balanço hídrico) |
| DS         | defícite de saturação (Pa, $g\ m^{-3}$ ou %)                                                                                                                                        |
| E          | evaporação de água ( $g\ m^2\ s^{-1}$ ou mm)                                                                                                                                        |
| $e_a$      | tensão (ou pressão) de vapor actual (kPa)                                                                                                                                           |
| $e_s$      | tensão máxima de vapor de água (kPa)                                                                                                                                                |
| $E_s$      | escoamento superficial (mm)                                                                                                                                                         |
| ET         | evapotranspiração (mm)                                                                                                                                                              |
| $ET_0$     | evapotranspiração de referência (mm)                                                                                                                                                |
| ETP        | evapotranspiração potencial (mm)                                                                                                                                                    |
| ETR        | evapotranspiração real (balanço hídrico pelo método de T- Mather) (mm)                                                                                                              |
| f          | factor de ajustamento da evapotranspiração potencial (método de Thornthwaite)                                                                                                       |
| $F_j$      | densidade de fluxo de massa da substância $j$ ( $g\ m^{-2}\ s^{-1}$ )                                                                                                               |

|          |                                                                                                                                                                                                   |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| g        | aceleração da gravidade ( $9,8 \text{ m s}^{-2}$ )                                                                                                                                                |
| G        | fluxo de energia trocado entre uma superfície e o meio subjacente (solo por ex.) ( $\text{W m}^{-2}$ )                                                                                            |
| H        | fluxo de energia entre a superfície e o ar ( $\text{W m}^{-2}$ )                                                                                                                                  |
| HR       | humidade relativa (%)                                                                                                                                                                             |
| i        | (1) índice calórico mensal<br>(2) valor instantâneo da capacidade de infiltração ( $\text{mm hora}^{-1}$ )                                                                                        |
| $i_0$    | valor inicial da capacidade de infiltração ( $\text{mm hora}^{-1}$ )                                                                                                                              |
| $i_c$    | valor constante ao fim de um longo tempo de chuvada                                                                                                                                               |
| I        | (a) intensidade média de precipitação (mm)<br>(b) índice calórico anual                                                                                                                           |
| Ir       | irrigação (mm)                                                                                                                                                                                    |
| J        | intercepção (mm)                                                                                                                                                                                  |
| K        | constante dependente da cultura ( $\text{Kg kPa ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ).                                                                                                                      |
| k        | constante de von Karman ( $\cong 0,41$ )                                                                                                                                                          |
| <b>k</b> | constante característica do solo (infiltração de água no solo)                                                                                                                                    |
| Kc       | coeficiente cultural (método de Penman)                                                                                                                                                           |
| l        | perda de água potencial mensal (balanço hídrico pelo método de T- Mather)                                                                                                                         |
| L        | (1) intercepção pela manta morta (mm)<br>(b) perda de água potencial acumulada (balanço hídrico pelo método de T- Mather)                                                                         |
| LE       | calor latente ( $\text{W m}^{-2}$ )                                                                                                                                                               |
| $L_t$    | índice de ar foliar ( $\text{m}^2$ )                                                                                                                                                              |
| $l_i$    | insolação astronómica (em horas) (método de Thornthwaite)                                                                                                                                         |
| n        | insolação real (horas)                                                                                                                                                                            |
| N        | (1) insolação astronómica (horas)<br>(2) nº de dias do mês (método de Thornthwaite)<br>(3) soma dos valores mensais negativos de R-ETP (balanço hídrico pelo método de T- Mather)<br>(4) nevoeiro |
| P        | soma dos valores mensais positivos de R-ETP (balanço hídrico pelo método de T- Mather)                                                                                                            |

|          |                                                                                                                                                                                                  |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|          | (2) pressão atmosférica (kPa ou mmHg)                                                                                                                                                            |
| Q        | caudal ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ )                                                                                                                                                            |
| Q*       | fluxo líquido resultante do transporte de vapor de água horizontal (associado à circulação geral atmosférica),                                                                                   |
| q        | (1) humidade específica ( $\text{kg kg}^{-1}$ )<br>(2) coeficiente de transparência da atmosfera                                                                                                 |
| r        | escoamento na secção final do troço de água                                                                                                                                                      |
| $r_C$    | resistência do coberto vegetal ao fluxo de vapor de água ( $\text{s m}^{-1}$ )                                                                                                                   |
| $r_H$    | resistência da camada-limite (aerodinâmica) ao fluxo de entalpia ( $\text{s m}^{-1}$ )                                                                                                           |
| $r_i$    | quantidade de água infiltrada (BH)                                                                                                                                                               |
| $r_u$    | quantidade de água escoada no subsolo (BH)                                                                                                                                                       |
| $r_{va}$ | resistência da camada-limite (aerodinâmica) ao vapor de água ( $\text{s m}^{-1}$ )                                                                                                               |
| $r_s$    | (1) resistência dos estomas da cultura ao fluxo de vapor de água ( $\text{s m}^{-1}$ )<br>(2) quantidade de água escoada à superfície (BH)                                                       |
| R        | precipitação (mm)                                                                                                                                                                                |
| $R_{ef}$ | precipitação eficaz                                                                                                                                                                              |
| $R_n$    | radiação líquida ( $\text{W m}^{-2}$ )                                                                                                                                                           |
| $R_{nl}$ | balanço de radiação de grande comprimento de onda ( $\text{W m}^{-2}$ )                                                                                                                          |
| $R_{ns}$ | balanço de radiação de pequeno comprimento de onda ( $\text{W m}^{-2}$ )                                                                                                                         |
| S        | (1) constante solar ( $1353 \text{ W m}^{-2}$ )<br>(2) escoamento pelos troncos<br><br>(3) superavit mensal (mm) (balanço hídrico pelo método de T-Mather)                                       |
| t        | (1) tempo (s, horas)                                                                                                                                                                             |
| $S_g$    | radiação global ( $\text{W m}^{-2}$ )                                                                                                                                                            |
| T        | (1) tempo de retorno (anos)<br>(2) transpiração das plantas ( $\text{g m}^2 \text{s}^{-1}$ ou mm)<br>(3) temperatura absoluta do corpo (K)<br><br>(4) penetração da chuva através do copado (mm) |
| $T_a$    | temperatura do fluido (ar) ( $^{\circ}\text{C}$ )                                                                                                                                                |
| $T_o$    | temperatura do ponto de orvalho ( $^{\circ}\text{C}$ )                                                                                                                                           |

|              |                                                                                                                                                                                                                     |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $T_s$        | temperatura da superfície de um corpo ( $^{\circ}\text{C}$ )                                                                                                                                                        |
| $T_v$        | temperatura virtual ( $^{\circ}\text{C}$ )                                                                                                                                                                          |
| $U$          | (1) velocidade do fluido ( $\text{m s}^{-1}$ ),<br>(2) ganho hídrico do solo por ascensão capilar (mm)                                                                                                              |
| $u_\lambda$  | massa seccional de uma camada de atmosfera ( $\text{kg m}^{-2}$ )                                                                                                                                                   |
| $V$          | (1) velocidade do vento ( $\text{m s}^{-1}$ )<br>(2) volume ( $\text{m}^3$ )                                                                                                                                        |
| $V_z$        | velocidade do vento ( $\text{m s}^{-1}$ ) à altura $z$                                                                                                                                                              |
| $W$          | (1) velocidade vertical do ar ( $\text{m s}^{-1}$ )<br>(2) factor de ponderação (Método de Penman)<br>(3) valor reduzido (adimensional) do armazenamento de água no solo (balanço hídrico pelo método de T- Mather) |
| $W_h$        | quantidades de água retirada de um sistema pelo homem (BH)                                                                                                                                                          |
| $z$          | altura ou altitude acima do nível médio das águas do mar (m, K)                                                                                                                                                     |
| $z_M$        | coeficiente de rugosidade para a transferência do momento (m),                                                                                                                                                      |
| $z_v$        | coeficiente de rugosidade para o vapor de água (m)                                                                                                                                                                  |
| $\beta$      | razão de Bowen                                                                                                                                                                                                      |
| $\chi$       | humidade absoluta ( $\text{g m}^{-3}$ )                                                                                                                                                                             |
| $\chi_a$     | concentração de humidade no ar ( $\text{g m}^{-3}$ )                                                                                                                                                                |
| $\chi_s$     | (1) concentração de humidade à superfície ( $\text{g m}^{-3}$ )<br>(2) humidade absoluta máxima ( $\text{g m}^{-3}$ )                                                                                               |
| $\gamma$     | constante psicrométrica ( $0,65 \text{ mb } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ )                                                                                                                                                |
| $\phi$       | latitude do lugar ( $^{\circ}$ )                                                                                                                                                                                    |
| $(\Phi)$     | densidade de fluxo radiante ( $\text{W m}^{-2}$ )                                                                                                                                                                   |
| $\lambda$    | (1) calor latente de vaporização ( $\text{J g}^{-1}$ )<br>(2) valor reduzido (adimensional) da perda de água potencial (balanço hídrico pelo método de T- Mather)                                                   |
| $\nu$        | frequência ( $\text{s}^{-1}$ )                                                                                                                                                                                      |
| $\rho$       | (1) densidade do ar ( $\text{kg m}^{-3}$ )<br>(2) albedo                                                                                                                                                            |
| $\rho'$      | densidade do ar seco ( $\text{g m}^{-3}$ )                                                                                                                                                                          |
| $\rho_{j,s}$ | concentração de uma substância numa superfície ( $\text{g m}^{-3}$ )                                                                                                                                                |

|              |                                                                                                                         |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\rho_{j,a}$ | concentração de uma substância no fluido não perturbado pela superfície ( $\text{g m}^{-3}$ )                           |
| $\sigma$     | constante de Stefan-Boltzman ( $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ ).                        |
| $\theta$     | temperatura potencial (K)                                                                                               |
| $\Delta$     | taxa de variação da tensão máxima de vapor de água em função da temperatura do ar ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ) |
| $\Delta A$   | variação do armazenamento de água no solo (balanço hídrico pelo método de T-Mather) (mm)                                |
| $\Delta S$   | variações das quantidades de água armazenada (mm)                                                                       |
| $\Delta V$   | incremento de água incorporado na biomassa (mm)                                                                         |
| $\Delta W$   | variação do teor de água armazenado (no solo,...)                                                                       |



## 1- PROPRIEDADES DA ÁGUA

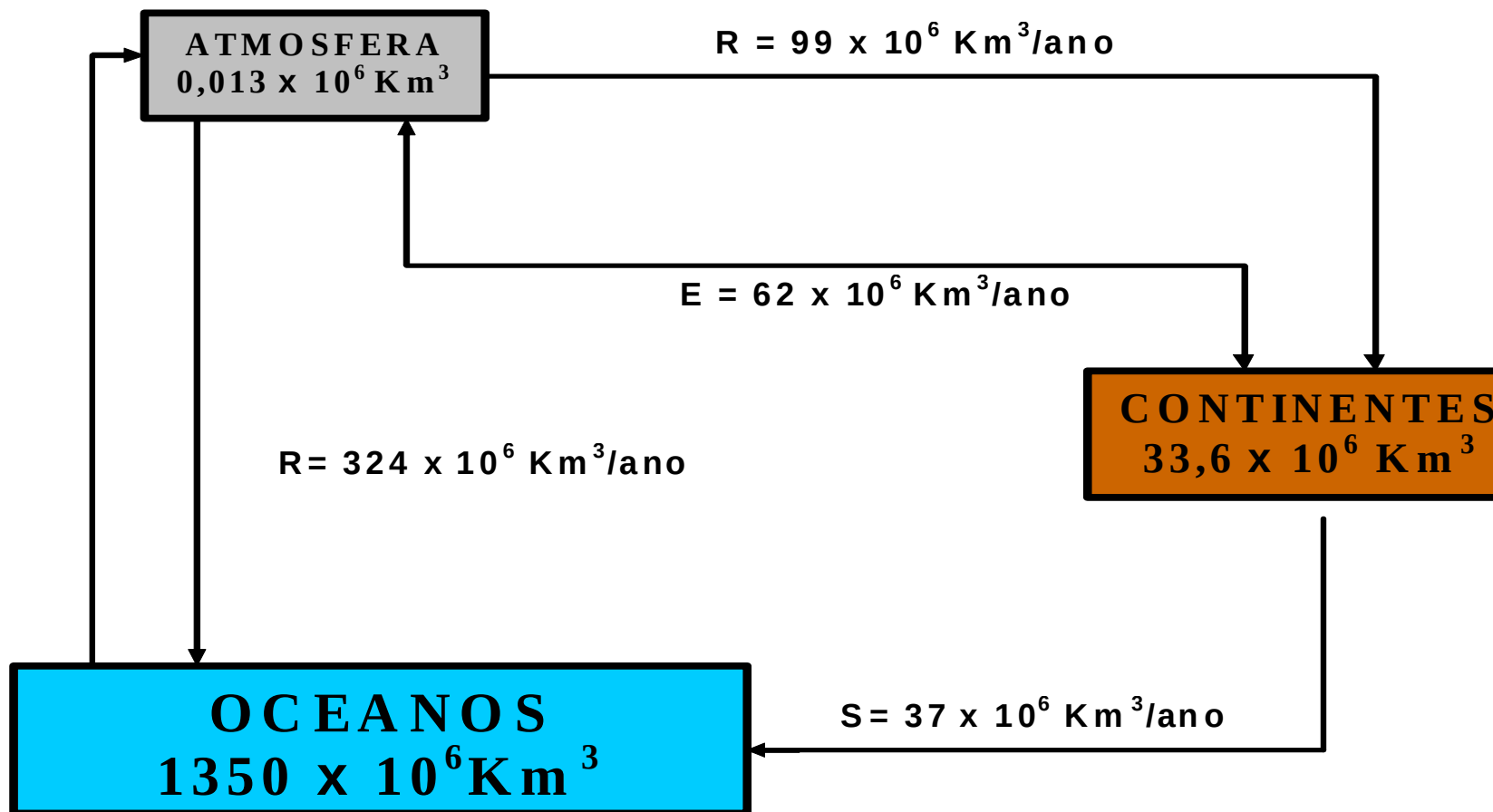
A água é essencial à vida. A disponibilidade da água é factor determinante no crescimento e desenvolvimento de plantas e animais. As actividades humanas dependem em larga escala da água (agricultura, indústria, transporte, produção de energia, ambiente, etc...). A água é um factor determinante na distribuição dos climas à superfície da Terra. Embora seja um recurso relativamente abundante, grande parte da água não é facilmente utilizável nem se distribui no globo de um modo uniforme. A sua gestão é por isso um problema crucial da humanidade.

A água é um composto que resulta da combinação entre um átomo de oxigénio e dois átomos de hidrogénio. Esta substância, aparentemente simples, possui propriedades singulares que a tornam vital para a vida na Terra e lhe reservam um papel central na fenomenologia atmosférica. Apesar de ser composta por dois gases e de ter um peso molecular relativamente baixo (18,015), a água é um líquido a temperaturas normais. Além disso, quando comparada com outros líquidos, a água tem pontos de congelação e ebulição, calores de fusão e vaporização, capacidade calorífica, constante dieléctrica e tensão superficial anormalmente elevados. A elevada capacidade calorífica da água torna-a uma boa armazenadora de energia. A elevada constante dieléctrica da água líquida torna-a um dissolvente por excelência. Devido ao elevado calor latente de vaporização/condensação que apresenta, a água actua como amortecedor das variações térmicas (por ex., do solo, das zonas litorais...). A tensão superficial influi de um modo determinante no movimento da água em solo não-saturado. O ANEXO A apresenta valores de diferentes propriedades físicas da água.

## 2- A ÁGUA NO SISTEMA CLIMÁTICO

A quantidade total de água é considerada constante no **Sistema Climático** (Fig. 2.1). A água é comum a todos os seus sub-sistemas, sendo a única substância que se apresenta no sistema globo-atmosfera nas três fases, sólida, líquida e gasosa, em simultâneo.

Na **Hidrosfera** a água encontra-se na fase líquida (oceanos, lagos, rios, águas subterrâneas, ...). A quantidade de água existente na Hidrosfera é de  $1440 \times 10^6 \text{ Km}^3$ ,



2.1. Distribuição e circulação da água no sistema climático  
[R - Precipitação; E - Evaporação; S - Escoamento]

cabendo aos oceanos cerca de  $1350 \times 10^6 \text{ Km}^3$ , o que representa cerca de 97% do total da água existente na Terra. A água existente nos lagos e nos rios é de cerca de  $0,2 \times 10^6 \text{ Km}^3$ , enquanto que as águas subterrâneas correspondem a cerca de  $18,4 \times 10^6 \text{ Km}^3$ . Os oceanos, que constituem um enorme reservatório de energia e que têm por isso grande inércia mecânica e térmica, são a grande fonte de humidade do ciclo hidrológico, através da evaporação; além disso, intervêm no balanço químico do sistema climático pela permuta de dióxido de carbono, sais e outras substâncias com a atmosfera. Os lagos, os rios e as águas subterrâneas são componentes essenciais do ciclo hidrológico (ramo terrestre) e constituem factores climáticos determinantes às escalas global, regional e local.

Na **Atmosfera** a água existe predominantemente na fase vapor, constituindo a humidade atmosférica, e também nas fases líquida e sólida, constituindo as gotículas e os cristais de gelo que formam as nuvens. A quantidade de água armazenada na atmosfera é da ordem de  $0,013 \times 10^6 \text{ Km}^3$ , cerca de 100000 vezes menos que a água existente nos oceanos. A **humidade do ar** resulta da evaporação das superfícies aquáticas e do solo, da transpiração dos seres vivos e das combustões; é medida por higrómetros e depende, entre outros factores, da disponibilidade em água à superfície, da velocidade do vento (factor aerodinâmico), da temperatura do ar e da pressão atmosférica (factores termodinâmicos). A humidade do ar é a origem de todos os hidrometeoros, desempenha um importante papel nas transformações energéticas da atmosfera devido ao seu efeito na absorção da radiação infravermelha, influi na intensidade da evaporação e da transpiração das plantas, na nebulosidade e no aquecimento/arrefecimento das superfícies; além disso, representa um factor importante no conforto humano.

Na **Criosfera** a água apresenta-se na fase sólida (glaciares, calotes polares, neves continentais). A quantidade de água existente na Criosfera é de  $29 \times 10^6 \text{ Km}^3$ , o que representa cerca de 2,13 % de toda a água existente na Terra. Desta quantidade, cerca de  $25 \times 10^6 \text{ Km}^3$  estão retidos nas calotes polares. O tempo de residência de gelos e glaciares pode ultrapassar 10000 anos. Apenas as neves continentais apresentam variações estacionais intimamente ligadas à circulação geral da atmosfera.

Na **Litosfera** a água existe sobretudo na fase líquida, constituindo depósitos de águas subterrâneas e a água do solo (humidade do solo). As águas subterrâneas correspondem a cerca de  $18,4 \times 10^6 \text{ Km}^3$ . A água dos solos é de apenas cerca de  $0,066 \times 10^6 \text{ Km}^3$  da existente no Sistema Climático. Contudo, é de grande importância na

climatologia e na microclimatologia. A humidade do solo tem enorme influência nos balanços energéticos à superfície pois afecta a repartição da energia líquida à superfície entre os fluxos radiativo, condutivo e convectivo. Por exemplo, a humidade do solo altera o albedo da superfície, as propriedades térmicas do solo e é factor de maior importância nos processos de evaporação e evapotranspiração (a evaporação é um termo comum nas equações de balanço de energia e de água).

Na **Biosfera** a água existe nos tecidos animais e vegetais. A quantidade de água existente na biosfera corresponde a cerca de  $0,0006 \times 10^6 \text{ Km}^3$ . A água da biosfera influencia o clima através do ciclo hidrológico (evaporação e transpiração), do ciclo do carbono e da fotossíntese.

Os recursos de água podem considerar-se renováveis e não renováveis. Os renováveis têm tempos de circulação e de residência relativamente curtos; os não renováveis têm tempo de circulação e de residência da ordem das décadas, de séculos ou mesmo de milénios. Os primeiros fazem parte activa da circulação do ciclo hidrológico numa escala temporal relativamente pequena, tendo por isso enorme importância nas variações microclimáticas de uma dada região.

O tempo de residência da água nos diferentes sub-sistemas do Sistema Climático é muito variável: pode variar entre algumas horas ou alguns dias como no caso da água atmosférica, da camada superficial dos oceanos, da água do solo, até séculos ou milénios como é o caso dos grandes depósitos de gelo e das águas profundas dos oceanos. Nos continentes, o tempo de residência pode variar entre semanas e milénios, consoante se trate de caudais de rios, água do solo, lagos, pântanos, ou de glaciares, gelos polares ou águas subterrâneas.

### 3- O CICLO DA ÁGUA

O **ciclo hidrológico** é uma sequência fechada de diversos fenómenos naturais responsáveis pela transferência de água no interior do Sistema Climático (Peixoto, 1989):

1 - Transferência de água na fase vapor do globo para a atmosfera, seja por evaporação da água dos mares, lagos, rios, geleiras ou áreas cobertas de neve, seja por evaporação da água existente nos solos, seja ainda através da transpiração das plantas;

2 - Condensação parcial do vapor de água da atmosfera em partículas líquidas e sólidas que ficam em suspensão no ar, em estado coloidal, formando aerossóis, que constituem as nuvens e o nevoeiro;

3 – Deslocação das nuvens (transporte de água nas fases vapor, sólida ou líquida) pelas circulações locais ou regionais dos ventos e pela circulação geral da atmosfera;

4 – Transferência de água nas fases líquida e sólida da atmosfera para o globo por precipitação e por deposição de hidrometeoros, como orvalho e geada, na superfície e nos corpos nela existentes;

5 - Retenção na superfície, escoamento e infiltração no subsolo da água no estado líquido, com absorção parcial pelo sistema radicular das plantas, e depósito em águas subterrâneas

Destes fenómenos físicos resultam quatro componentes fundamentais do ciclo hidrológico à escala global: **precipitação, infiltração de água no solo, evaporação/evapotranspiração e escoamento** (Fig. 3.1). Em zonas cobertas por vegetação outro componente do ciclo deve ser acrescentado - a **intercepção** de água da chuva.

O ciclo hidrológico é formado por dois ramos distintos: o RAMO ATMOSFÉRICO onde predomina o fluxo de água no estado de vapor e o RAMO TERRESTRE onde predomina o fluxo na fase líquida e também na fase sólida (glaciares, etc...). A energia que permite a circulação de água provém do Sol (energia solar). Considerando qualquer dos fluxos como percentagem da precipitação média anual global (1040 mm), 20% da precipitação cai sobre os continentes e 80% sobre os oceanos; da precipitação caída sobre os continentes, 14% evapora-se para a atmosfera e 6% escoa até aos oceanos; daqui, 86% (80% + 6%) da água é evaporada para a atmosfera, onde, por circulação atmosférica das massas de ar, 6% da água contida nas nuvens desloca-se, em termos líquidos, na direcção inversa ao escoamento (Chow, 1975).

As causas que geram, mantêm e modelam o ciclo hidrológico (factores hidrológicos) são a radiação, as formas de energia diversas actuantes no ciclo (energia potencial, cinética,...), a estrutura e a dinâmica da atmosfera, a circulação geral da atmosfera, a natureza dos solos, as formas de relevo, a cobertura vegetal, etc... O controle do ciclo hidrológico, sinónimo de conservação da água, depende da determinação objectiva das necessidades humanas em água (alimentação, usos domésticos, indústria, agricultura,...). Controlar o ciclo da água é resolver problemas da disponibilidade, da abundância e da distribuição da água (EXISTÊNCIAS), assim como das suas taxas de produção e consumo (FLUXOS). É também controlar a sua qualidade.

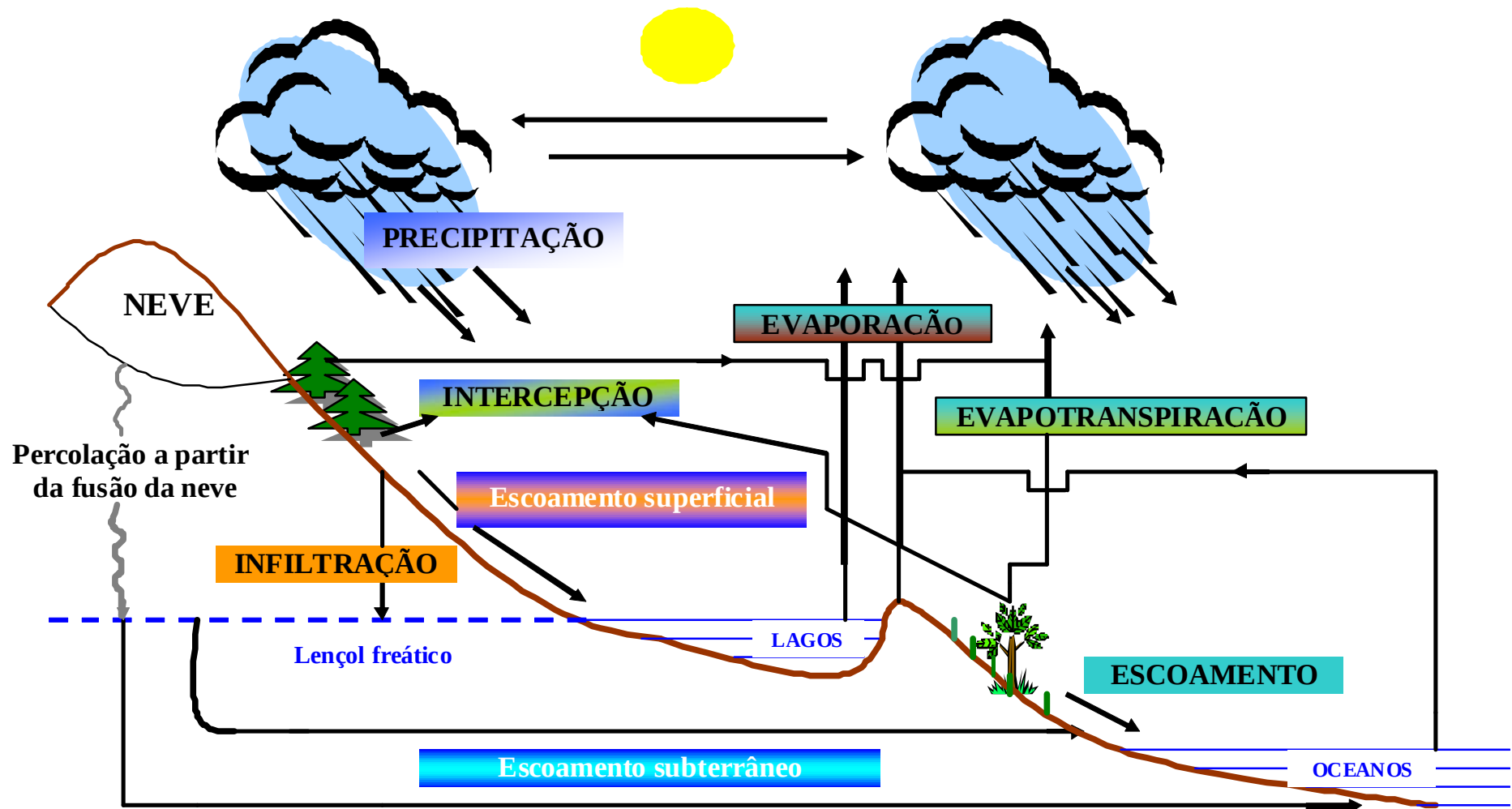


Fig. 3.1 - CICLO HIDROLÓGICO

São 3 os princípios gerais para o controle do ciclo da água (Peixoto, 1979):

- 1- Minimizar tanto quanto possível a evaporação de água doce das superfícies dos continentes e dos aquíferos subterrâneos;
- 2- Acelerar ao máximo a evaporação das águas dos oceanos (aceleração do ciclo);
- 3- Aumentar o trabalho realizado pela água antes de se evaporar ou de se escoar nos oceanos.

A precipitação artificial, a formação de orvalho e a intersecção das gotículas de nevoeiro são exemplos de medidas de controle do ramo atmosférico do ciclo da água. A dessalinização, a construção de barragens (reduzem perdas de água, recuperam solos, produzem energia, apesar de acelerarem a evaporação), a inundação de depressões, a correção torrencial, a florestação, etc..., são exemplos de controle do ramo terrestre.

A gestão da água inclui o controle do ciclo da água. O conhecimento deste é condição necessária para a avaliação da acção do homem no ambiente.

## **4. PRECIPITAÇÃO E INTERCEPÇÃO**

### **4.1. Formas e tipos de precipitação**

**Precipitação** é qualquer partícula de água, sólida ou líquida, que cai da atmosfera e atinge o solo, proveniente das nuvens. A condensação (ou a sublimação) do vapor de água atmosférico em torno de núcleos de condensação (ou de sublimação) é condição necessária para haver precipitação. A precipitação ocorre quando a velocidade de queda das gotas de água da nuvem supera a velocidade das correntes ascendentes que existem no interior da nuvem (i.e., rompe-se a estabilidade coloidal da nuvem). O efeito combinado da colisão e fusão de gotículas e do processo de crescimento de cristais de gelo assegura o aumento da dimensão das gotículas até caírem por efeito da gravidade. Os pluviómetros ou udómetros são instrumentos meteorológicos que servem para medir a precipitação. Na instalação de qualquer udómetro deve-se evitar a proximidade de qualquer obstáculo vizinho e o dispositivo de protecção deve ser constituído por um cone invertido, para evitar a influência do vento. Os udógrafos permitem medir a intensidade da precipitação.

Há uma grande variedade de formas de precipitação: chuvisco, chuva, neve, neve molhada, granizo, saraiva, aguaceiros, neve gelada. A ocorrência de uma ou outra

forma depende das dimensões, do estado físico, da velocidade de queda e do grau de estabilidade das partículas de água, das condições genéticas da formação e da temperatura da camada de ar que as partículas vão atravessar até atingirem a superfície.

A classificação da precipitação baseia-se nas condições que produzem o movimento vertical que origina o arrefecimento (adiabático) que leva à condensação e consequente formação de nuvens. Assim, as precipitações podem ser de convecção, orográficas, de convergência e frontais.

**Precipitações de convecção** – resultam da convecção livre provocada pelo aquecimento do ar em contacto com a superfície. O arrefecimento adiabático conduz à formação de nuvens de desenvolvimento vertical (cúmulos e cumulonimbos). A estas precipitações associam-se aguaceiros de chuva ou de granizo.

**Precipitações orográficas** - Resultam da convecção forçada de massas de ar húmido ao longo de encostas ou de grandes linhas de montanha. As nuvens que lhes dão origem são de desenvolvimento vertical, às quais se associam tipos de precipitação variados.

**Precipitações de convergência** – Resultam da convergência horizontal do ar na camada da atmosfera junto ao solo; o nível de condensação é ultrapassado se a ascensão do ar decorrer de uma convergência horizontal suficientemente forte. As nuvens são de desenvolvimento vertical. O tipo de precipitação é variado (sobretudo aguaceiros).

**Precipitações frontais** - Resultam da ascensão de ar mais quente sobre ar mais frio associada a uma frente fria ou a uma frente quente. As nuvens são estratiformes quando associadas à frente quente e de desenvolvimento vertical quando associadas à frente fria. Chuva e chuveiro ocorrem associados à frente quente; aguaceiros, por vezes de chuva ou granizo, ocorrem associados à frente fria.

A distribuição da precipitação à superfície da Terra é condicionada em larga medida pela circulação geral da atmosfera, e também pela altitude, pela inclinação e orientação das vertentes montanhosas e pela proximidade do mar. A precipitação média cresce com a altitude. O limite para o crescimento (2000 a 3000 m) é tanto maior quanto mais afastado do litoral se encontrar o cume mais elevado. A precipitação é maior nas vertentes viradas ao vento (barlavento) que nas vertentes protegidas do vento (sotavento). Em igualdade de outros factores, a precipitação é maior junto a zonas próximas do mar que nas zonas do interior.



## 4.2. Precipitação ponderada numa bacia hidrográfica

A distribuição espacial da precipitação não é, em regra, uniforme em bacias hidrográficas mais ou menos extensas. Em muitos estudos hidrológicos são necessários valores de precipitação ponderados sobre uma bacia hidrográfica. Esta ponderação é feita normalmente por três métodos: média aritmética, método de Thiessen e método das isoietas (linhas que unem pontos de igual precipitação):

**a) média aritmética.** Determina-se a média aritmética simples entre as quantidades medidas na área. A estimativa apenas será boa se os aparelhos forem distribuídos uniformemente e a área for plana ou de relevo suave. Além disso, o desvio-padrão deve ser pequeno.

**b) método de Thiessen** (Fig. 4.1a). Atribui-se um factor de peso aos totais precipitados em cada aparelho, proporcionais à área de influência de cada um. O peso de cada área é determinado em mapas da bacia que contém as estações, unindo-se os postos adjacentes por linhas rectas e, em seguida, traçando-se as mediatrizes destas rectas formando polígonos. Os lados dos polígonos são os limites das áreas de influência de cada estação. A precipitação média ( $R_{méd}$ ) é calculada pela média ponderada, entre a precipitação  $R_i$  de cada estação e o peso a ela atribuído  $A_i$ , que é a área de influência de  $R_i$ :

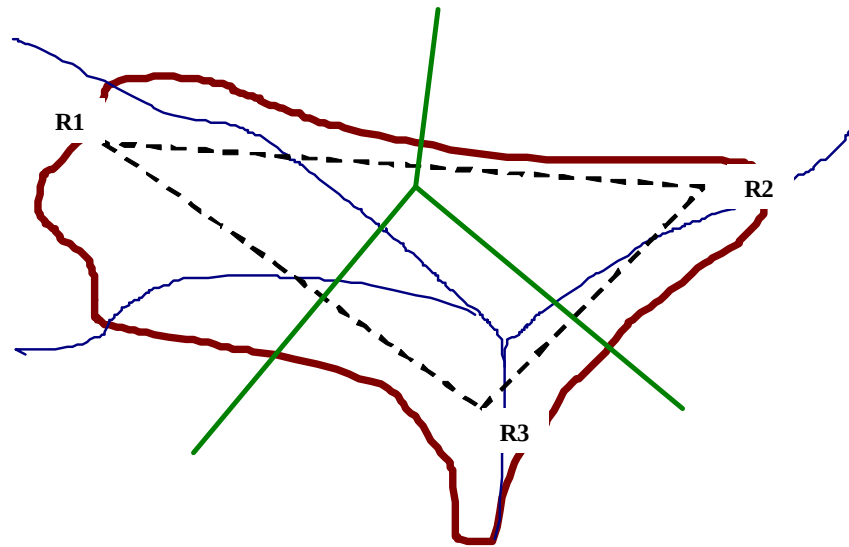
$$R_{méd} = \frac{\sum R_i A_i}{\sum A_i} \quad (4.1)$$

Este método não considera as influências orográficas.

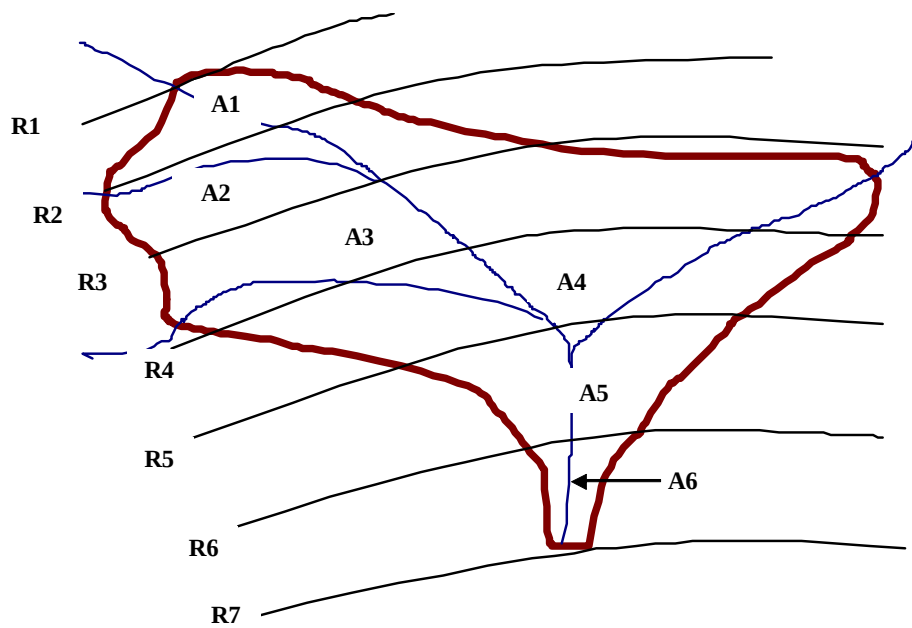
**c) método das isoietas** (Fig. 4.1b). A precipitação média sobre uma área é calculada ponderando-se a precipitação média entre isoietas sucessivas (normalmente fazendo a média dos valores de 2 isoietas,  $R_i$  e  $R_{i+1}$ ) pela área entre as isoietas ( $A_i$ ), totalizando-se esse produto e dividindo-se pela área total ( $A$ ):

$$R_{méd} = \frac{\sum \left[ \frac{R_i + R_{i+1}}{2} \right] A_i}{A} \quad (4.2)$$

Este método é considerado mais preciso que dois anteriormente referidos.



(a)



(b)

**Fig. 4.1 - Precipitação ponderada numa bacia hidrográfica:**  
**(a) Método de Thiessen; (b) Método das isoietas**

### 4.3. Medidas pluviométricas

A precipitação caracteriza-se pela sua quantidade ou altura, intensidade, duração e frequência.

A **altura pluviométrica (R)** é a quantidade de precipitação caída num dado local (mede-se em milímetros). Num dado intervalo de tempo é a grandeza  $R = V/S$ , em que V é o volume de água recolhida num udómetro de secção S. Exprime-se em litros por metro quadrado ou em milímetros, referentes ao dia, ao mês ou ao ano.

A **duração da precipitação ( $\Delta t$ )** é o período de tempo contado entre o início e o fim da chuvada (mede-se em horas, minutos ou dias)

A **intensidade média de precipitação (I)** é uma medida de precipitação relativa a um intervalo de tempo (hora, dia, 15 minutos, ...). É a relação entre a altura pluviométrica (R) e a duração ( $\Delta t$ ) da precipitação e exprime-se geralmente em mm/hora ou mm/dia.

$$I = R / \Delta t \quad (4.3)$$

A **frequência** é o número de ocorrências por ano para uma determinada chuvada ou, o número de anos necessários para a ocorrência de uma determinada chuvada.

O **período de retorno (ou intervalo de recorrência) (T)** é o intervalo de tempo (medido em anos) entre dois eventos consecutivos com igual probabilidade de ocorrerem ou o período de tempo até que determinado evento ocorra de novo:

$$T = \frac{1}{F(x)} = \frac{1}{1 - G(x)} \quad (4.4)$$

onde F(x) é a probabilidade de o valor x da variável aleatória X não ser ultrapassado num dado ano (sendo G(x) a probabilidade de o ser).

O efeito das chuvadas é o resultado conjugado das diferentes medidas pluviométricas que as caracterizam (intensidade – duração - frequência). Por esta razão é necessário estudar estes parâmetros de uma forma conjunta. Para cada local é possível elaborar curvas de possibilidade udométrica, das quais se destacam pela sua importância as curvas de intensidade - duração e de intensidade – duração - frequência.

As curvas características de intensidade-duração relacionam a intensidade de chuvadas de muito curta duração com a intensidade da chuvada horária de igual frequência (isto é, para uma determinada intensidade horária, mostram a intensidade esperada para diferentes durações da chuvada) (Fig. 4.3).

As curvas de intensidade-duração-frequência indicam combinações possíveis intensidade-duração para uma dada frequência ou combinações possíveis intensidade-

frequência para diferentes durações da chuvada. Por exemplo, uma vez que o período de recorrência aumenta com a intensidade da precipitação, para cada frequência a intensidade é tanto maior quanto menor for a duração.

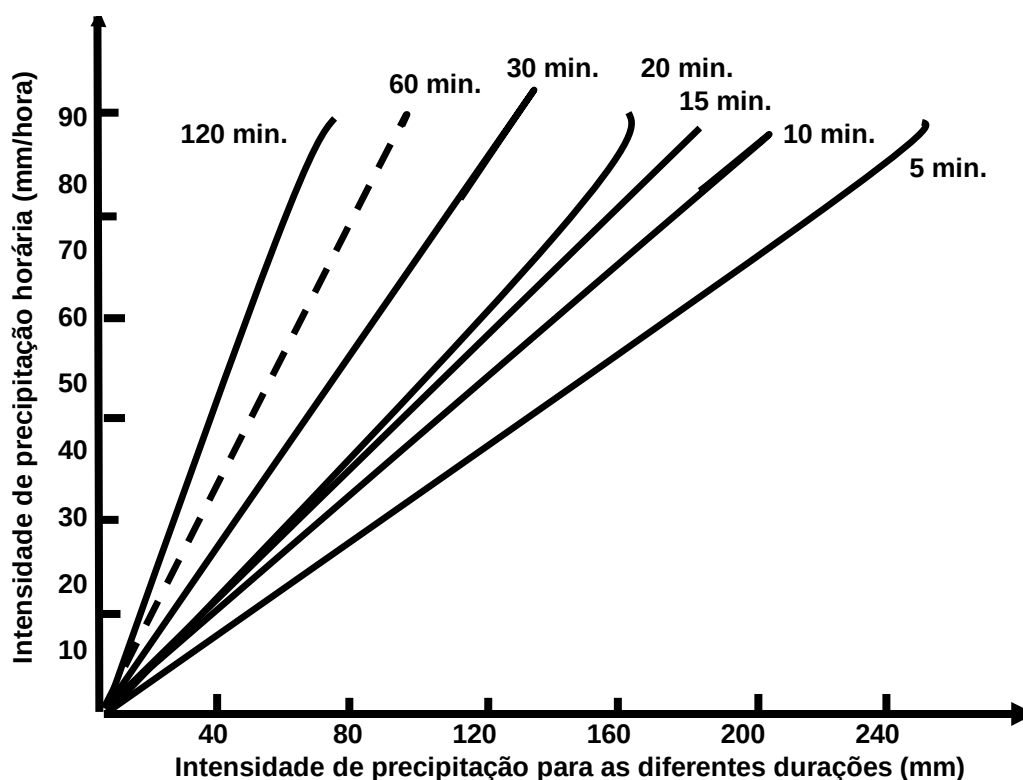
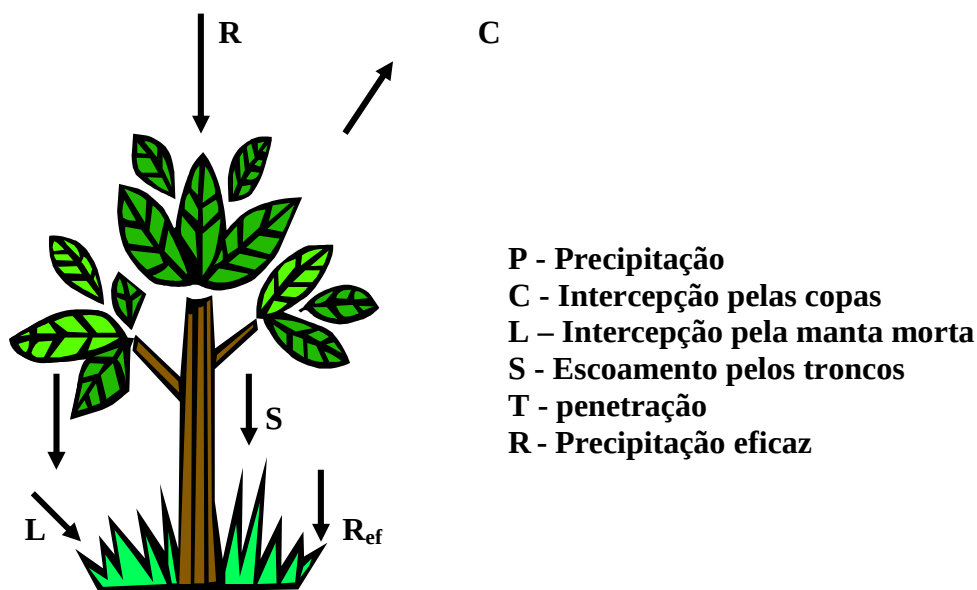


Fig. 4.3 - Curvas características de intensidade-duração (Fonte: Rouse, 1950)

#### 4.4. Intercepção

A **intercepção** ( $J$ ) é a parcela da precipitação que é impedida de atingir o solo (Fig. 4.4). Se a precipitação cai numa zona coberta por vegetação, uma parte é interceptada pelas copas das árvores (folhas, ramos e troncos) –  $C$ , outra parte é interceptada pela manta morta vegetal ( $L$ ), se existir. Uma e outra parte são componentes da intercepção:  $J=C+L$ . A parte da precipitação que atravessa as copas (penetração,  $T$ ), pode também ser interceptada pela manta morta, fazendo parte de  $L$ . Uma parte da precipitação que fica retida nas folhas não se evapora mas escoar-se nos troncos ( $S$ ); esta parcela tanto pode fazer parte da intercepção (retida na manta morta e evaporada), como pode atingir o solo.  $T$  é, para as resinosas ou para as folhosas, mais importante que  $S$ . A parte que atinge o solo é a **precipitação eficaz** ( $R$ ). Logo,  $P - R = J$ .

A interceptação não se mede directamente. A sua avaliação inclui a medição da precipitação (R) realizada por udómetros colocados fora ou acima da zona de influência



**Fig. 4.4. Componentes da Interceptação**

das copas das árvores; da penetração (T), por udómetros colocados sob a copa das árvores; do escoamento pelos troncos (S) com colares em torno dos troncos das árvores, que recolhem e desviam a água para recipientes apropriados; da variação do teor de humidade na manta morta. Assim, a interceptação J pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$J = P - (T + S - L) \quad (4.5)$$

A quantidade de água interceptada pelo coberto vegetal é pouco significativa durante as grandes chuvadas. Todavia o feito da interceptação na conservação do solo é bastante importante uma vez que diminui a acção erosiva da precipitação (sobretudo das chuvadas intensas de grande duração), devido à redução da energia cinética das gotas de chuva antes de atingirem o solo.

A quantidade de água interceptada depende das características da precipitação, da cobertura vegetal e do poder evaporante da atmosfera. A interceptação diminui com o aumento da intensidade da precipitação (Fig. 4.5), sendo maior quando o chuveiro é a forma de precipitação ocorrida. As florestas de resinosas interceptam mais precipitação que as de folhosas (Fig. 4.5); Molchanov (1971) refere uma interceptação de 30% para as primeiras e de 19% e 15% para as segundas, consoante a folha é persistente ou caduca, respectivamente. A superfície de retenção nas agulhas das resinosas é maior que nas

folhas largas das folhosas. As herbáceas podem interceptar tanta precipitação como as árvores mas, devido às mudanças sazonais do estágio de desenvolvimento destas plantas, a interceptação total anual é normalmente menor que nas florestas. Entre as herbáceas, a luzerna (22-36%) intercepta mais que o milho (3-16%), a soja (9-15%) e a

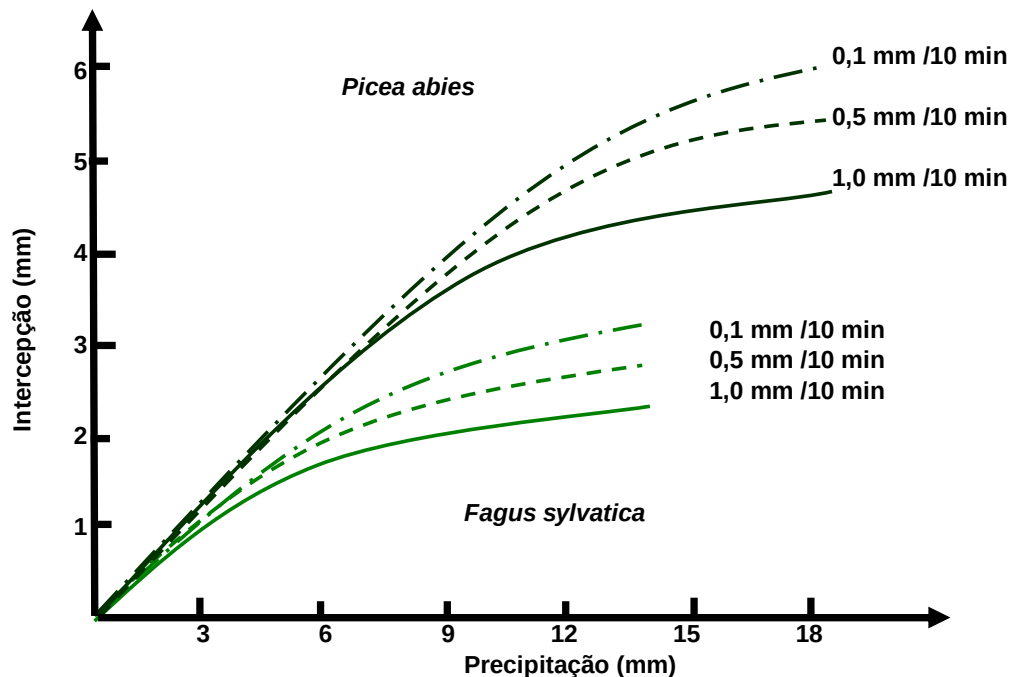


Fig. 4.5. Interceptação em função da intensidade de precipitação e tipo de floresta

aveia (3-7%) (Molchanov, 1971). Outros autores apresentam valores para o trigo de primavera que oscilam entre 10 e 35% e, para a aveia, entre 16 a 23% (Dunne & Leopold, 1978). Do estado de desenvolvimento das culturas depende o grau de cobertura do solo e com ele varia a área foliar. Logo, a interceptação é maior durante a época de maior desenvolvimento vegetativo. As técnicas culturais também influenciam a interceptação, nomeadamente através da densidade do povoamento no caso das espécies florestais. Quanto maior for o **poder evaporante da atmosfera** maior é a interceptação.

#### 4.5. Exercícios propostos

1. (a) Calcular a média, a mediana, a moda, os decis, o desvio quadrático médio (desvio-padrão), a variância e o coeficiente de variação de um conjunto de valores (médios ou não) anuais de precipitação relativos a uma estação meteorológica do território nacional.

(b) Determinar as precipitações correspondentes as secas severas e sérias. Qual o período de retorno de cada uma destas situações?

2 - A área da Bacia Hidrográfica de um dado rio é de  $12500 \text{ Km}^2$ . Nessa área situam-se cinco estações meteorológicas cujos dados de precipitação referentes a 30 anos consecutivos de observações são os seguintes:

Estação A -1200mm; Estação B - 1100mm; Estação C - 970mm; Estação D - 1450 mm; Estação E - 950mm

Calcular a precipitação média da bacia hidrográfica utilizando:

a) o método de Thiessen.

(A área de influência de cada estação meteorológica é a seguinte: A- 15%; B- 20%; C- 35%; D-25%; E-5%)

b) o método das isoietas

As isoietas traçadas foram as seguintes: 1500 mm, 1350 mm; 1200 mm; 1050 mm; 900 mm. As áreas medidas entre cada foram, pela ordem mostrada,  $2300 \text{ Km}^2$ ,  $2500 \text{ Km}^2$ ,  $1800 \text{ Km}^2$  e  $5900 \text{ Km}^2$ .

c) Que método lhe parece mais rigoroso? Justifique.

3- Foram feitas diversas medições ao longo do mês de Janeiro num bosque de faias: udômetros colocados acima da zona de influência das copas das árvores registaram uma precipitação média de 130 mm relativos ao período referido; paralelamente, udômetros colocados sob as copas das árvores recolheram em média, 95 mm de água enquanto que colares em torno do tronco das árvores recolheram, em média, 12 mm de água; a altura de água equivalente ao teor de humidade da manta morta foi, para idêntico período, de 5 mm. Determine, para o intervalo de tempo citado:

a) a precipitação eficaz

b) a importância relativa da penetração e do escoamento ao longo dos troncos.

c) a intercepção verificada

## 5. EVAPORAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO

### 5.1. Considerações gerais

A **evaporação** é o processo físico pelo qual uma substância transita do estado líquido para o estado gasoso. Esta transição de fase ocorre sobretudo à superfície do globo, através dos oceanos, dos mares interiores, dos lagos, dos rios e dos solos. A **transpiração** é um processo físico pelo qual a água líquida que os seres vivos contêm é

transformada em vapor de água no ar em seu redor. A evaporação e a transpiração exprimem-se em **mm** ou em **g m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>**.

A **evapotranspiração (ET)** é o processo combinado de evaporação a partir da superfície do solo e dos seres vivos (nomeadamente as plantas) e de transpiração através da superfície dos seres vivos. As unidades são as da evaporação e da transpiração. A **evapotranspiração potencial (ETP)** é a evapotranspiração que ocorre sempre que a taxa de perda de água não é influenciada pelo teor de água disponível à superfície do solo e das plantas, isto é, sempre que a disponibilidade em água não constitui factor limitante. Por esta razão a evapotranspiração potencial é sinónimo de **necessidade em água**, a que permitiria ao solo manter permanentemente um grau óptimo de humidade correspondente à quantidade necessária para o bom desenvolvimento das plantas no solo. A **evapotranspiração real (ETR)** é a evapotranspiração que ocorre em condições reais, isto é, de acordo com as características reais do solo e das plantas. A **evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>)** representa, na ausência de qualquer défice hídrico, a taxa de evaporação de uma superfície extensa de uma cultura verde de 8 a 15 cm de altura, em crescimento activo e que ensombra completamente o solo. A Evapotranspiração Potencial num dado período resulta da multiplicação de ET<sub>0</sub> por um **coeficiente cultural (Kc)**, empírico, que varia com a cultura em questão, o seu estágio de desenvolvimento e, nalguma extensão, com a velocidade do vento e humidade do ar:  $ETP = Kc \times ET_0$ .

A evaporação e a evapotranspiração são processos que ligam a Hidrosfera, a Litosfera e a Biosfera à Atmosfera e condicionam marcadamente o ritmo do Ciclo Hidrológico. A evapotranspiração é ainda um parâmetro central no balanço hídrico do solo, influencia a energética da atmosfera e altera as características da massa de ar.

O **calor latente (LE)**, associado à evapotranspiração, é um parâmetro do Balanço Energético de uma superfície (solo, folha,...) e resulta da multiplicação aritmética da água evapotranspirada (ET) pelo respectivo calor latente de vaporização ( $\lambda$ ) e, por isso, exprime-se em **W m<sup>-2</sup>**.

A produtividade de muitas culturas está relacionada com a quantidade de água consumida (isto é, com a evapotranspiração):

$$\frac{B}{T} = \frac{K}{DS} \quad (5.1)$$



onde B é a quantidade de matéria seca produzida ( $\text{Kg ha}^{-1}$ ), T é a quantidade de água transpirada (mm), DS é o déficit de saturação do ar (kPa) e K é uma constante dependente da cultura em questão ( $\text{Kg kPa ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ ).

O conceito de evapotranspiração tem grande uso em diversas áreas, nomeadamente na programação da rega, no desenho de sistemas de rega, na regulação de albufeiras, na planificação de recursos hídricos e usos do território, nas bacias hidrográficas e nas produções agrícola e florestal.

## 5.2. Factores de que depende a evapotranspiração

Três tipos de factores influenciam a evapotranspiração: disponibilidade em água, factores ligados às plantas e factores meteorológicos. A **disponibilidade em água** depende sobretudo do estado hídrico do solo e do coberto vegetal ou ainda do orvalho, da água interceptada pelo coberto e da irrigação em certas áreas. Entre os **factores ligados às plantas** salientam-se a resistência interna da planta ao fluxo de água (que depende por sua vez do potencial de água e da temperatura da folha, da altura do dia, da radiação fotossinteticamente activa, do estado de desenvolvimento e do tipo de planta), o índice de área foliar (que depende do estado de desenvolvimento e tipo de planta), o tipo de coberto vegetal (que depende da rugosidade da cultura e altura) e também os caracteres morfológicos da planta (que dependem do tamanho, da pubescência e da cor da folha). Os **factores meteorológicos** mais importantes são a radiação líquida (que depende da altura do dia, da altura do ano e da nebulosidade), a advecção de calor sensível (global, regional ou local), o vento (dependente da circulação geral da atmosfera e da pressão), a humidade (da qual depende o déficit de saturação e a abertura estomática) e a temperatura (da qual depende, por sua vez, da tensão de saturação do ar, do calor latente de vaporização e da abertura estomática).

## 5.3. Medição e estimativa da evapotranspiração

### 5.3.1. Aspectos gerais

#### a) medição

A evaporação é medida por **evaporímetros** (evaporímetro de Piche, evaporímetro de  $250 \text{ cm}^2$  de boca e tina de evaporação de classe A); para medir a evapotranspiração usam-se **lisímetros** (evapotranspirómetros, lisímetros flutuantes e lisímetros de peso) (Tabela 5.1).

Tabela 5.1. Medição da evaporação e da evapotranspiração

| Evaporímetros (Evaporação)             |   |                                             |   |                                                                                                       |
|----------------------------------------|---|---------------------------------------------|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Propriedade física medida              |   | Tipos de evaporímetros                      |   | ALGUMAS CARACTERÍSTICAS                                                                               |
| Nível de água na Tina                  | ↑ | Evaporímetro de Piche                       | ↑ | Tubo de vidro (invertido) com cerca de 1 cm de diâmetro; instalado em abrigos meteorológicos (padrão) |
| (variações)                            | ↑ | Tina de Classe A                            | ↑ | Evaporímetro (diâmetro interno de 120 cm e altura de 25,5 cm); assente sobre estrado de madeira       |
| Peso do conjunto tina/água (variações) | ↑ | Evaporímetro de 250 cm <sup>2</sup> de boca | ↑ | Tina de 250 cm <sup>2</sup> de boca; assente sobre o prato de uma balança                             |

| Lisímetros (Evapotranspiração)                    |   |                                                |   |                                                                                                                                                                                                                              |   |                                           |
|---------------------------------------------------|---|------------------------------------------------|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|-------------------------------------------|
| Propriedade física medida                         |   | Tipos de lisímetros                            |   | ALGUMAS CARACTERÍSTICAS                                                                                                                                                                                                      |   |                                           |
| Água drenada e precipitação                       | ↑ | Evapotranspirómetros ou lisímetros de drenagem | ↑ | A água é adicionada ao sistema para que o teor de água no solo permaneça constante; ET é a diferença entre a água aplicada e a soma da água drenada com a precipitação entretanto caída                                      | ↑ | Medem a ETP (Evapotranspiração potencial) |
| Peso do conjunto solo/água (variações)            | ↑ | Lisímetros de peso                             | ↑ | O contentor com o solo é pesado periodicamente (a pesagem pode implicar remoção do contentor ou o uso de sensores eléctricos); o peso é convertido em valores de ETR                                                         | ↑ | Medem a ETR                               |
| Altura (nível) do fluido onde assenta o lisímetro | ↑ | Lisímetros flutuantes                          | ↑ | Flutuam sobre líquidos como a água, óleo ou líquidos pesados (por ex., cloreto de zinco); o deslocamento do fluido devido ao lisímetro é medido com um manómetro e o seu peso é determinado usando o princípio de Arquimedes | ↑ | (Evapotranspiração real)                  |

## b) estimativa

A evapotranspiração (ou a evaporação) pode ser estimada a partir de métodos climatológicos, de métodos micrometeorológicos ou a partir do método hidrológico.

É possível estimar a ET pelo método do balanço hídrico (ou **método hidrológico**) se forem conhecidos os valores (medidos) de precipitação (R), da irrigação (Ir) se for caso disso, da variação do teor de água no solo ( $\Delta W$ ) e do escoamento (superficial – Es, e subsuperficial - D):

$$ET = R + Ir + \Delta W \pm Es \pm D \quad (5.2)$$

onde o sinal (+) usado antes de R pode significar entrada de água por escoamento de áreas a montante e, usado antes de D, pode referir-se à ascensão capilar no solo e/ou a partir de lençóis freáticas existentes. Este método é aplicado em qualquer escala (zonas litorais e interiores, pequenas áreas e até plantas individuais).

Os **métodos climatológicos** baseiam-se apenas no efeito do clima (ou das condições meteorológicas) sobre a evapotranspiração e são usados mediante fórmulas mais ou menos empíricas: umas baseiam-se na temperatura do ar como a de Thornthwaite [ $ET = f(T_a, n.)$ ], de Blaney-Criddle [ $ET = f(T_a, HR, \phi)$ ] e de Linacre [ $ET = f(T_a, T_o, Alt., \phi)$ ]; outras baseiam-se na radiação solar como as de Jansen-Haise [ $ET = f(Rad, T_a)$ ] e da Radiação – FAO24 [ $ET = f(S_{atm}, Neb/n, T_a, V, HR, Alt.)$ ]. As fórmulas baseadas na combinação do balanço energético e do transporte turbulento de vapor constituem os métodos combinados, entre os quais se destaca a equação de Penman adaptada pela FAO – Penman-FAO 24 [ $ET = f(T_a, HR, V, S_{atm}, Neb/n/Sg, \phi, Alt.)$ ]. Neb., Alt., Rad, V significam, respectivamente, a nebulosidade, a altitude, a radiação solar, o vento,  $T_a$ , HR, n,  $T_o$ ,  $S_{atm}$ , G, Sg e  $\phi$  têm o significado habitual. Dos mais utilizados em Agrometeorologia salientam-se o **método de Penman** (equação de Penman-FAO24), o **método de Thornthwaite** (ver parágrafos seguintes).

Entre os **métodos micrometeorológicos** destacam-se os de transporte de massa [ $E = f(T_a, HR)$ ], mais rigorosos para o cálculo da evaporação que da evapotranspiração, os métodos de cálculo a partir do balanço energético, sejam os baseados na relação de Bowen [ $LE = f(R_n, G, H)$ ], sejam os que se baseiam na temperatura do coberto vegetal [ $H = f(T_s, T_a, r_H)$ ] ou ainda na determinação do fluxo de calor sensível pela correlação por turbulência [ $H = f(w, T)$ ], os métodos aerodinâmicos, com [ $E = f(T_a, HR, r_{va}, r_s, \rho_a)$ ] ou sem recurso ao cálculo das resistências da camada-limite [ $E = f(q, V)$ ], os baseados na correlação por turbulência (eddy correlation)” [ $E = f(e_a, P, \epsilon, \rho_a, w)$ ] e ainda o de

Penman-Monteith [ $LE = f(R_n, G, T_a, HR, V, r_a, r_c, \phi, Alt.)$ ].  $R_n$ ,  $H$ ,  $q$ ,  $e_a$ ,  $w$ ,  $T_s$ ,  $P$  e  $\varepsilon$  significam, respectivamente, a radiação líquida à superfície, o fluxo de entalpia entre a superfície e a baixa atmosfera, a humidade específica do ar, a tensão de vapor actual, a velocidade vertical do vento e a temperatura da superfície evaporante, a pressão atmosférica e a razão entre os pesos moleculares do vapor de água e do ar;  $r_{va}$  e  $r_H$  são as resistências da camada-limite ao vapor de água e ao fluxo de entalpia, respectivamente,  $r_s$  é a resistência dos estomas da cultura ao fluxo de vapor de água e  $r_c$  é a resistência do coberto vegetal ao fluxo de vapor de água.  $T$ ,  $T_a$ ,  $HR$ ,  $G$ ,  $T_s$ ,  $V$ ,  $\phi$  e  $Alt$  têm o significado habitual.

O método da Razão de Bowen/Balanço energético, o método aerodinâmico baseado na avaliação das resistências da camada-limite (ver parágrafos seguintes) e os baseados na correlação por turbulência são dos mais utilizados em Micrometeorologia. Em Agrometeorologia destaca-se o **método de Penman-Monteith** (ver parágrafos seguintes).

### 5.3.2. Equação de Penman-FAO24

Para a determinação da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) pelo método de Penman são necessários dados climáticos de **temperatura** ( $T$ , em  $^{\circ}C$ ), de **humidade relativa** ( $HR$ , em %), da **velocidade do vento** ( $V$ , em  $Km\ dia^{-1}$  a 2 metros de altura) e da **insolação real** ( $n$ , em horas  $dia^{-1}$ ) ou da **radiação solar global** ( $S_g$ , em  $W\ m^{-2}$ ). Os dados utilizados para o cálculo de ETP são valores diários médios e representam, normalmente, a média de dados mensais ou relativos a períodos de 10 dias (décadas).

A **Equação de Penman-FAO24** é uma forma da equação de Penman para a estimativa da evapotranspiração potencial

$$ETP = c [W.R_n + (1-W).f(V). (e_s - e_a)] \quad (mm\ dia^{-1}) \quad (5.3)$$

onde **ETP** é a evapotranspiração potencial em  $mm\ dia^{-1}$ , **1-W** é um factor de ponderação que tem em conta o efeito conjunto do vento e da humidade sobre a ETP, enquanto que **W** é um factor que tem em conta o efeito da radiação na ETP,  **$R_n$**  é a radiação líquida ou balanço de radiação,  **$f(V)$**  é uma função empírica do vento,  **$e_s - e_a$**  é o défice de saturação de vapor do ar atmosférico (em mb), em que  **$e_s$**  é a tensão máxima de saturação do vapor de água e  **$e_a$**  é a tensão actual (ou real) do vapor de água e **c** é um factor de ajustamento que permite compensar o efeito das características climáticas dos períodos diurno e nocturno nas condições climáticas regionais.

**W.Rn** é o parâmetro radiativo e **Ea**  $[(1-W).f(V).(e_s-e_a)]$  o parâmetro aerodinâmico. Em seguida descrevem-se as diferentes variáveis e os respectivos métodos de cálculo. Os valores obtidos podem ser transcritos no impresso que se apresenta no ANEXO B1.

a) **défice de saturação (=  $e_s-e_a$ )**

A humidade do ar influencia a ETP (ver parágrafo 4.2). Na equação de Penman a humidade do ar exprime-se através do défice de saturação do ar (DS, em mb), que é a diferença entre a tensão de vapor de água saturante ( $e_s$ ) e a tensão de vapor de água actual ( $e_a$ ). A tensão de saturação depende da temperatura (ANEXO B2). A tensão de vapor de água actual obtém-se a partir de  $e_s$  e dos valores da Humidade Relativa (HR, em %), medidos ou calculados a partir das temperaturas do ar ( $T_a$ ) e da temperatura do termómetro molhado ( $T_w$ , em °C) ou da temperatura do ponto de orvalho ( $T_o$ , em °C):

$$HR (\%) = (e_a/e_s) \times 100 \quad (5.4)$$

Toma-se o valor de HR referente às 9 horas ou, em alternativa, a média dos valores relativos às três (ou duas) horas para as quais há registos. Se os valores de  $e_a$  forem expressos em mmHg, para que sejam convertidos em milibares devem ser multiplicados por 1,33 (= 1013/766).

b) **função da velocidade do vento [ $f(v)$ ]**

O efeito do vento sobre a ETP é contabilizado na equação de Penman através da seguinte expressão:

$$f(v) = 0,27 \left(1 + \frac{v_2}{100}\right) \quad (5.5)$$

onde o  $v_2$  é o percurso médio do vento durante em 24 horas (em km dia<sup>-1</sup>) medido à altura de 2 metros acima do terreno. Quando a medição do vento não é efectuada a 2 metros, é necessário fazer a conversão para esta altura multiplicando os valores medidos por factores de conversão diários ou mensais (ANEXO B3);  $f(v)$  também poder ser determinado através da tabela constante do ANEXO B4.

c) **factores (1-W) e W**

$W [= \Delta/(\Delta + \gamma)]$  é um factor de ponderação que depende da temperatura e da altitude a que se reportam os dados climáticos obtidos:  $\Delta$  é a taxa de variação da tensão máxima de vapor de água em função da temperatura do ar (ou a tangente à curva das tensões máximas em função da temperatura do ar) e  $\gamma$  é a constante psicrométrica (0,65 mb °C<sup>-1</sup>). (1-W) afecta a parcela aerodinâmica (ou parâmetro aerodinâmico) da equação de Penman-FAO24, tendo em conta o efeito conjunto do vento e da humidade sobre a

ETP, enquanto que  $W$  afecta a parcela radiativa (ou parâmetro radiativo), tendo em conta o efeito da radiação sobre a ETP. Os valores de  $W$  podem ser obtidos a partir da tabela do ANEXO B5.

**d) radiação líquida ou balanço de radiação ( $R_n$ )**

A **radiação líquida** é a diferença entre os balanços de radiação de curto comprimento de onda ( $R_{ns}$ ) e de grande comprimento de onda ( $R_{nl}$ ):

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \text{ (mm dia}^{-1}\text{)} \quad (5.6)$$

$R_n$  pode ser medida por um pirradiómetro. Contudo, é frequente não haver valores médios medidos à disposição, pelo que é necessário determinar este parâmetro a partir de valores de radiação solar e/ou de insolação, de temperatura e de humidade do ar.

**d<sub>1</sub>) determinação de  $R_{ns}$**

$R_{ns}$  depende da **radiação solar global** ( $S_g$ ) e do **albedo** ( $\rho$ ) da superfície em questão:

$$R_{ns} = (1-\rho)S_g \quad (\text{cal mm}^{-2} \text{ dia}^{-1}) \quad (5.7)$$

A radiação solar global pode ser medida ou estimada. Em qualquer caso, pode utilizar-se o valor de 20% para o albedo da superfície para a qual se pretende estimar a ETP (superfície cultivada com espécie de pequeno porte) se não for possível medi-lo directamente.

Para valores de  $S_g$  medidos (por um piranómetro, por exemplo),  $R_{ns}$  virá:

$$R_{ns} = 0,0136 S_g \quad (\text{mm dia}^{-1}) \quad (5.8)$$

Esta forma compreende a conversão das unidades de  $S_g$  (de  $\text{cal cm}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  em  $\text{mm dia}^{-1}$ ) para um valor do albedo ( $\rho$ ) de 0,2, atendendo a que  $\lambda$  (calor latente de vaporização) tem o valor aproximado de  $590 \text{ cal g}^{-1}$  ou  $59 \text{ cal cm}^{-2}$ , equivalente a 1 mm de água evaporada.

Sempre que não for possível dispor de medições de  $S_g$ , utiliza-se uma expressão empírica que determina  $S_g$  em função da **percentagem de insolação** ( $n/N$ ) e da **radiação incidente no topo da atmosfera** ( $S_{atm}$ ):

$$S_g = \left(a + b \frac{n}{N}\right) S_{atm} \quad (\text{mm dia}^{-1}) \quad (5.9)$$

onde  $n$  é a insolação real,  $N$  é a insolação máxima possível (insolação astronómica) e  $a$  e  $b$  são constantes empíricas para cada local (para Portugal Continental  $a = 0,18$  e  $b = 0,62$ ). A insolação real é um dado climático normalmente medido,

enquanto que cada valor mensal de  $N$  é constante para uma dada latitude (ANEXO B6). Se não houver dados disponíveis da insolação real ou actual, é possível determinar o parâmetro  $n$  a partir de dados de nebulosidade, obtidos em décimos ou em oitavos (ANEXO B7).

Os valores de  $S_{atm}$  variam com a latitude e, em cada lugar, com a altura do ano (ANEXO B8). Para  $p=0,2$   $R_{ns}$  virá finalmente:

$$R_{ns} = 0,8(0,18 + 0,62 \frac{n}{N}) S_{atm} \quad (\text{mm dia}^{-1}) \quad (5.10)$$

Para simplificação de cálculos, o factor  $a$  afectar  $S_{atm}$ ,  $[0,8 (a + b n/N)]$ , pode ser obtido através de uma tabela (ANEXO B9).

O valor de  $R_{ns}$  também pode ser obtido a partir da seguinte expressão:

$$R_{ns} = (1-p) \cdot q \cdot S_{atm} \quad (\text{mm dia}^{-1}) \quad (5.11)$$

onde  $q$  o **coeficiente de transparência da atmosfera** e  $S_{atm}$  tem o significado habitual.

## **d<sub>2</sub>) determinação de $R_{nl}$**

O **balanço de radiação de grande comprimento de onda ( $R_{nl}$ )** é determinado em função **da** temperatura do ar ( $T_a$ ), **da** tensão actual de vapor ( $e_a$ ) e **da** percentagem de insolação ( $n/N$ ):

$$R_{nl} = f(t_a) f(e_a) f(n/N) \quad (\text{mm dia}^{-1}) \quad (5.12)$$

onde  $f(t_a) = \sigma T^4$  ( $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ )

$$f(e_a) = 0,56 - 0,08 e_a^{\frac{1}{2}}$$

$$f(n/N) = 0,10 + 0,90 n/N$$

As tabelas do ANEXO B10 apresentam os valores de  $f(t_a)$ ,  $f(e_a)$  e  $f(n/N)$ .

## **e) factor de ajustamento (c)**

A estimativa da ETP a partir da soma aritmética das parcelas aerodinâmica e radiativa ( $WR_n + E_a$ ) tem sido aplicada com sucesso em regiões que, em termos climáticos, se caracterizam por valores elevados de radiação ( $S_g$ ), por valores médios ou elevados de humidade relativa máxima do ar ( $HR_{m\acute{a}x} \cong 70\%$ ) e por uma velocidade do vento moderada, sem que os valores diurnos ( $V_{dia}$ ) ultrapassem, aproximadamente, o dobro dos valores médios nocturnos ( $V_{noite}$ ). Contudo, estas condições nem sempre se verificam: por exemplo, em regiões onde, em termos médios,  $V_{dia}$  excede apreciavelmente  $V_{noite}$ , em que  $HR_{m\acute{a}x}$  se aproxima dos 100% e a  $S_g$  é elevada, esta aplicação pode conduzir a erros por defeito dos valores de ETP da ordem de 15-30%; também em regiões onde a velocidade do vento é moderada a forte (por ex., superior a 4

m s<sup>-1</sup>), a Sg elevada e a HR<sub>máx</sub> inferior a 70% durante o período nocturno, a equação sobrestima os valores de ETP, que aumentam com a diminuição da razão V<sub>dia</sub>/V<sub>noite</sub>.

Por isso, em múltiplas condições torna-se necessário aplicar um factor de ajustamento (**factor c**). O ANEXO B11 mostra valores de **c** para diferentes condições de HR<sub>máx</sub>, Sg, V<sub>dia</sub> e V<sub>dia</sub>/V<sub>noite</sub>.

### 5.3.3. Método de Thornthwaite

Thornthwaite (1948) estabeleceu uma equação para o cálculo da evapotranspiração potencial (ETP) a partir de dados de temperatura do ar (T<sub>a</sub>). Para uma determinada latitude, a ETP mensal vem:

$$ETP = \left(\frac{I_i}{12}\right) \left(\frac{N}{30}\right) \left(\frac{10T_a}{l}\right) a_i \quad (5.13)$$

onde **ETP** é a evapotranspiração Potencial (em mm), **I<sub>i</sub>** é a insolação astronómica (em horas), **N** é o número de dias do mês, **T<sub>a</sub>** é a temperatura média mensal (em °C) e **a<sub>i</sub>** é um parâmetro definido por:

$$a_i = 6,75 \times 10^{-7} I^3 - 7,71 \times 10^{-5} I^2 + 1,79 \times 10^{-2} I + 0,49 \quad (5.14)$$

onde **I** é o **índice calórico anual**, obtido pela soma aritmética dos índices calóricos mensais (*i*):

$$i = \left(\frac{T_a}{5}\right)^{1,514} \quad (5.15)$$

Esta expressão é empírica (baseada em resultados obtidos em evapotranspirómetros) e não tem em conta o tipo de ocupação do solo.

A aplicação da fórmula de Thornthwaite é muito morosa. O valor aproximado ao que matematicamente é obtido pela aplicação da fórmula pode ser obtido através de tabelas ou de ábacos. O uso das tabelas do ANEXO C permite ordenar o processo de cálculo da seguinte forma:

**1º** - Cálculo do **índice calórico mensal (i)** em função da temperatura (ANEXO C2)

**2º** - Cálculo do **índice calórico anual (I)** resultante do somatório dos índices calóricos mensais (*i*).

**3º** - Cálculo da **ETP<sub>não ajustada</sub>** em função dos valores de I e da temperatura do ar (os valores de ETP obtidos pelo ANEXOS C3 e C4 são valores diários, tendo como pressuposto, apenas verdadeiro no equador, que em qualquer dia do ano a insolação real é de 12 horas).



4º - Determinação, para cada mês, do factor de ajustamento (**f**) da ETP não ajustada em função da latitude do lugar (ANEXO C5).

5º - Cálculo da ETP<sub>ajustada</sub> (produto entre a ETP não ajustada e o factor de ajustamento f).

Esta execução permite o preenchimento das primeiras cinco linhas do impresso que se apresenta no ANEXO C1.

Os valores de ETP obtidos pelo método de Thornthwaite têm sido aplicados com sucesso em muitas zonas do mundo. Contudo, tem-se verificado que os valores tendem a sobrestimar os valores reais nas zonas húmidas e a subestimá-los nas zonas mais secas.

#### 5.3.4. Método de Penman-Monteith

A equação combinada de Penman foi adaptada por Monteith com o objectivo de estimar a evapotranspiração real das plantas. O calor latente (LE) associado à evapotranspiração vem:

$$LE = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho C_p \frac{e_s - e_a}{r_H}}{\Delta + \gamma^*} \quad (\text{W m}^{-2}) \quad (5.16)$$

onde LE é o fluxo de calor latente ( $\text{W m}^{-2}$ ),  $R_n$  a radiação líquida ( $\text{W m}^{-2}$ ),  $G$  o fluxo de energia no solo ( $\text{W m}^{-2}$ ),  $\rho$  a densidade do ar ( $\text{Kg m}^{-3}$ ),  $C_p$  o calor específico do ar ( $\text{J kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ) a pressão constante,  $(e_s - e_a)$  o défice de tensão de vapor da atmosfera (kPa),  $r_H$  a resistência aerodinâmica ao fluxo de calor sensível ( $\text{s m}^{-1}$ ),  $\Delta$  a taxa de variação da tensão máxima de vapor de água em função da temperatura do ar (ou a tangente à curva das tensões máximas em função da temperatura do ar) e  $\gamma^*$  a constante psicrométrica ( $0,65 \text{ mb } ^\circ\text{C}^{-1}$ ) dada, por sua vez, por:

$$\gamma^* = \gamma \left[ 1 + \frac{r_C}{r_H} \right] \quad (5.17)$$

onde  $r_C$  é a resistência do coberto vegetal. A  $r_C$  estima-se a partir da resistência estomática ( $r_s$ ) e do índice de ar foliar ( $L_t$ ), segundo uma relação proposta por Allen *et al.*, (1989):

$$r_C = 2 \frac{r_s}{L_t} \quad (5.18)$$

A  $r_H$  pode ser avaliada através da seguinte expressão:

$$r_H = \frac{\ln\left[\frac{z-d}{z_M}\right] \ln\left[\frac{z-d}{z_h}\right]}{k^2 V_z} \quad (5.19)$$

onde  $z$  é a altura a que se mede a velocidade do vento (m),  $d$  é a altura do desfasamento para o plano zero (m),  $z_M$  é o coeficiente de rugosidade para a transferência do momento (m),  $z_h$  é o coeficiente de rugosidade para o vapor de água e estima-se em  $0,2z_M$ ,  $k$  é a constante de von Karman para a difusão turbulenta ( $=0,41$ ) e  $V_z$  é a velocidade do vento à altura  $z$  em  $\text{ms}^{-1}$ .

Este método tem tido resultados satisfatórios quando usado para estimar a **evapotranspiração de referência** diária e mensal. Contudo, o seu uso tem-se limitado sobretudo a trabalhos de investigação, uma vez que requer dados de resistências, raramente disponíveis.

### 5.3.5. Método aerodinâmico baseado em resistências

A quantidade de água **evaporada** (ou **evapotranspirada**) ( $E$ ) depende do gradiente de humidade entre a superfície e o ar e da difusividade ao vapor de água da camada de ar envolvente (camada-limite). Segundo este método, o transporte de vapor de água entre uma superfície e o meio ambiente depende das características aerodinâmicas da camada-limite. A equação que define o transporte de vapor de água através de camada-limite sobre uma superfície singular é, por analogia com a lei de Ohm, a seguinte:

$$E = \frac{\chi_s - \chi_a}{r_{va} + r_s} \quad (5.20)$$

onde  $E$  é a água evaporada (ou evapotranspirada) a partir da superfície ( $\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ),  $\chi_s$  e  $\chi_a$  representam as concentrações de humidade, respectivamente à superfície e no ar ( $\text{g m}^{-3}$ ) e  $r_{va}$  é a resistência da camada-limite à transferência de vapor de água ( $\text{s m}^{-1}$ ) e  $r_s$  é a resistência estomática à dita transferência ( $\text{s m}^{-1}$ ). A resistência da camada-limite pode ser avaliada a partir da dimensão característica da superfície em causa e de números adimensionais ( $n^\circ$  de Sherwood,  $n^\circ$  de Nusselt e  $n^\circ$  de Lewis).

### 5.3.6. Relação Razão de Bowen - Balanço energético

A **razão de Bowen** ( $\beta$ ) obtém-se dividindo o fluxo de entalpia entre a superfície e a baixa atmosfera ( $H$ ) e o calor latente associado aos fenómenos de evaporação/evapotranspiração ( $LE$ ), isto é,  $\beta = H/LE$ . Esta relação pode ser expressa da seguinte forma:

$$\beta = \gamma \frac{(T_s - T_a)}{(e_s - e_a)} \quad (5.21)$$

onde  $T_s$  e  $e_s$  são, respectivamente, a temperatura e a tensão de vapor na superfície evaporante,  $T_a$  e  $e_a$  são, respectivamente, a temperatura e a tensão de vapor do ar e  $\gamma$  constante psicrométrica ( $0,65 \text{ mb } ^\circ\text{C}^{-1}$ ). Considerando a equação do balanço energético à superfície do solo,  $LE$  ( $\text{W m}^{-2}$ ) virá da seguinte forma.

$$LE = \frac{R_n - G}{1 + \beta} \quad (5.22)$$

onde  $R_n$  e  $G$  têm o significado habitual.  $R_n$  pode ser medida por um radiómetro de balanço, a temperatura do ar (a duas alturas) com termopares ou termistores, a tensão de vapor (a duas alturas) com um higrómetro, o fluxo de energia no solo com placas de fluxo de calor e/ou a temperatura do solo com termopares ou termistores.

#### 5.4. Exercícios propostos

1) Estimar a Evapotranspiração Potencial (ETP) para os diferentes meses do ano a partir dos dados climáticos (normais) obtidos na Estação Meteorológica de Évora, utilizando:

- a) o método de Penman
- b) o método de Thorthwaite

2) Comparar os valores de ETP obtidos pelos dois métodos

### 6. INFILTRAÇÃO

A **infiltração** é o movimento de água para dentro do solo, marcado pela acção da gravidade e pelo potencial capilar. Envolve **3 processos interdependentes**: entrada de água através da superfície, armazenamento no solo e movimento no solo (percolação e drenagem). Quanto mais água se infiltrar no solo, em igualdade de outros factores, menos água escoará superficialmente, diminuindo em maior ou menor grau os riscos de erosão dos solos.

A **taxa de infiltração** é o volume de água que flui ao longo do perfil de um solo por unidade de área e por unidade de tempo. Tem por isso as unidades da velocidade, sendo por esta razão também referida como velocidade de infiltração.

A **capacidade de infiltração do solo** é o valor máximo da intensidade da chuva que o solo pode absorver sem que se inicie o escoamento superficial, ou seja, a máxima taxa de infiltração que um solo permite. Mede-se em  $\text{mm hora}^{-1}$  e é usualmente medida por infiltrómetros. Depende das características do solo (teor de humidade inicial do solo, textura, estrutura, ...), da intensidade de precipitação e da cobertura vegetal.

A capacidade de infiltração é relativamente elevada nas primeiras fases do processo de infiltração, sobretudo quando o solo está ainda muito seco, tendendo a decrescer de um modo exponencial até um valor mais ou menos constante a que frequentemente se denomina *capacidade de infiltração final* (Horton, 1940):

$$i = i_c + (i_0 - i_c) e^{-kt} \quad (6.1)$$

onde  $i$  é o valor instantâneo da capacidade de infiltração,  $i_0$  o seu valor inicial,  $i_c$  o valor constante ao fim de um longo tempo de chuvada, ou seja o valor mínimo da capacidade de infiltração,  $k$  uma constante característica do solo e  $t$  o tempo desde o início da chuvada.

Inicialmente, o movimento faz-se sob a acção da gravidade, por fendas largas e outros espaços intersticiais grandes (porosidade não capilar), ficando a água retida em torno dos pontos de contacto com as partículas sólidas. O gradiente de tensão de humidade no movimento de água no solo ganha importância em poros de pequena dimensão (porosidade capilar) ou à medida que os poros maiores se enchem. Nesta fase o movimento é mais lento (Fig. 6.1).

Texturas grosseiras favorecem taxas de infiltração elevadas, assim como agregações do tipo granuloso ou grumoso, de classes médias a grosseiras. A compactação devido a homens e animais (por ex., campos de jogos, estradas de terra, pastagens muito utilizadas, ...) reduz a capacidade de infiltração. A cobertura vegetal favorece a infiltração, uma vez que melhora a estrutura dos solos, além de proteger o terreno da compactação provocada pela chuva. Segundo quadro citado por Lencastre e Franco (2003), solos cobertos com pastos permanentes ( $> 13 \text{ mm/hora}$ ) apresentam taxas de infiltração superiores a solos cobertos de cereais ( $9\text{-}10 \text{ mm/hora}$ ) ou apenas lavrados ( $7 \text{ mm/hora}$ ).

Para a conservação do solo, o que implica necessariamente uma diminuição do escoamento, interessa que a capacidade total do solo para a água seja grande e que a taxa de infiltração do solo não seja inferior à intensidade de precipitação (caso contrário, há escoamento, mesmo que a capacidade de infiltração do solo não seja atingida)

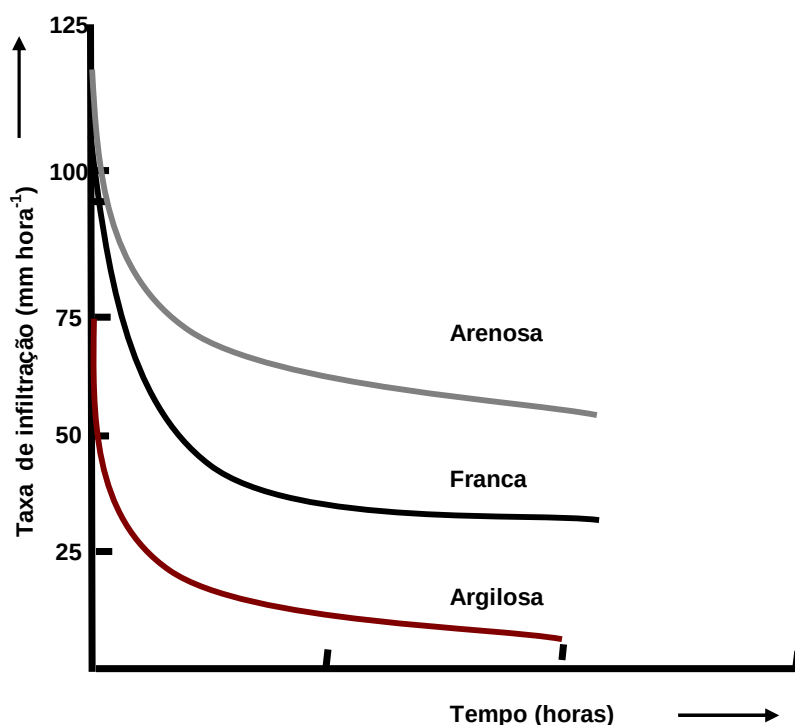


Fig. 6.1 – Curvas de infiltração de alguns solos

## 7. ESCOAMENTO

Sempre que a intensidade de precipitação excede as capacidades máximas de evaporação, infiltração do solo e de retenção à superfície, a água em excesso escorre superficialmente sob a acção da gravidade, até à linha de água mais próxima. A este movimento de água líquida chamamos **escoamento superficial**. O fluxo de água líquida à superfície é apenas uma parte do **escoamento total**. A outra parcela, movimento de água em profundidade, corresponde ao **escoamento subterrâneo**, parâmetro hidrológico que é estudado com o devido detalhe no domínio da Hidrogeologia. Do escoamento superficial depende a acção erosiva da água sobre os solos.

Há **cheias** se, em casos de chuvadas particularmente intensas e/ou prolongadas, o escoamento superficial excede a capacidade de vazão das linhas de água e transborda do seu leito habitual. A ausência de escoamento superficial é normalmente sinónima de estação seca ou de seca mais ou menos prolongada.

O **caudal (Q)** indica o volume de água ( $\Delta V$ ) que passa numa secção de um curso de água por unidade de tempo ( $\Delta t$ ) e tem as dimensões  $L^3 T^{-1}$ :

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (\text{m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ ou l s}^{-1}) \quad (7.1)$$

O escoamento superficial é composto pelo escoamento de base, pelo escoamento directo e ainda pelo escoamento intermédio e pelo resultante da precipitação sobre a rede hidrográfica (Fig. 7.1).

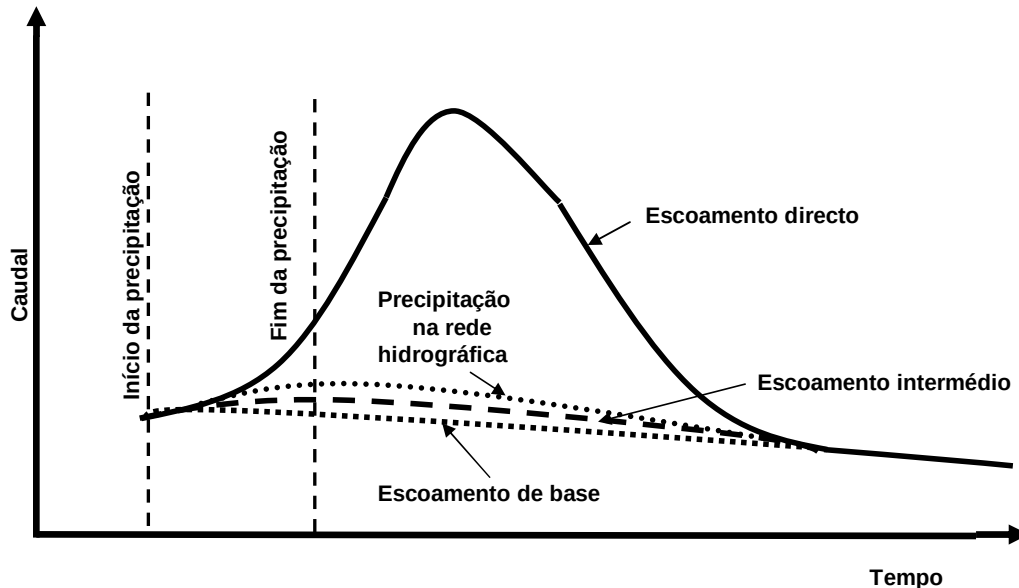
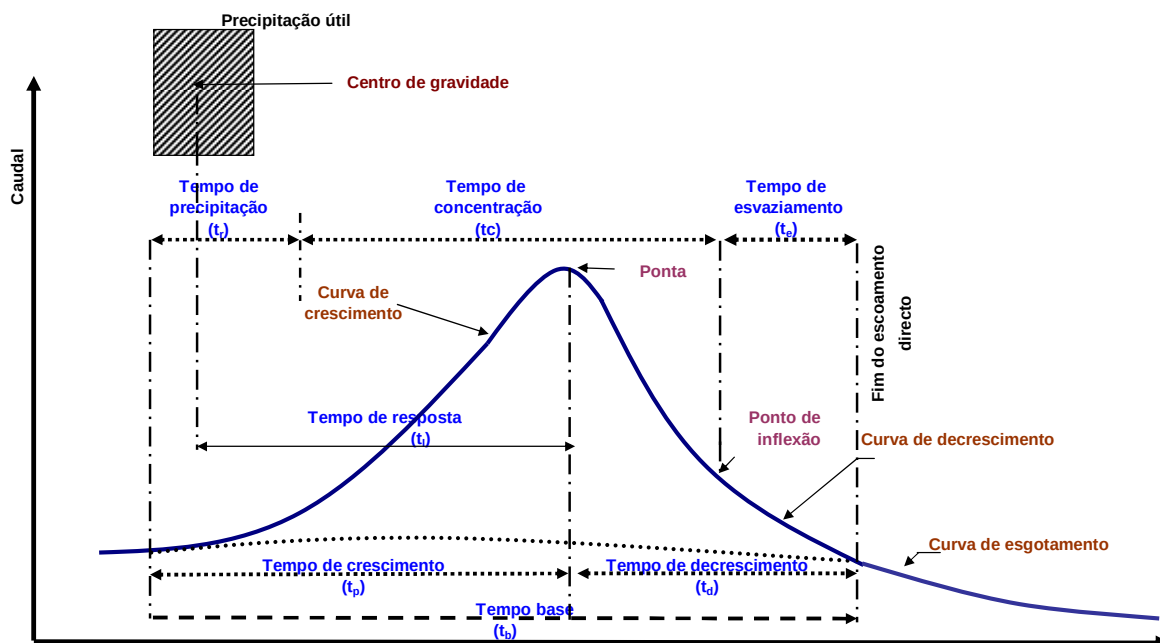


Fig. 7.1. Componentes de um hidrograma

O **escoamento base** resulta da fracção da precipitação que foi sujeita a processos de infiltração profunda, representando por isso a contribuição das reservas hídricas subterrâneas acumuladas nas formações geológicas por onde a água passa. Em períodos de chuva intensa tem uma importância relativa diminuta. O **escoamento directo** corresponde à precipitação útil, isto é, à fracção da precipitação que chega à rede hidrográfica após satisfeitos os processos de evaporação, infiltração e retenção superficial. Tem importância considerável durante períodos de chuva intensa, diminuindo após o fim da chuvada. O **escoamento intermédio** resulta da fracção da precipitação que se infiltra e que, devida à existência de camadas pouco ou nada permeáveis, se escoam a pouca profundidade, chegando aos cursos de água ligeiramente após o escoamento directo. Por fim, considera-se ainda o **escoamento resultante da precipitação sobre a rede hidrográfica**, cuja importância depende da densidade da rede e também, em menor escala, da duração da precipitação total.

Um **hidrograma** é uma representação gráfica da evolução de um caudal desde o início da precipitação, isto é, representa o escoamento e os seus diferentes componentes.

Num **hidrograma-tipo** consideram-se quatro partes distintas (Fig. 7.2): a **curva de crescimento**, correspondente ao aumento de caudal devido ao incremento do



**Fig. 7.2. Características do hidrograma-tipo**

escoamento que ocorre durante o **tempo de crescimento** ( $t_p$ ); a **ponta** do hidrograma, correspondente ao caudal máximo; a **curva de decrescimento**, correspondente à diminuição progressiva do escoamento directo, que ocorre durante o **tempo de decrescimento** ( $t_d$ ); por fim, a **curva de esgotamento**, correspondente ao decaimento exponencial do escoamento base, depois de cessadas as contribuições dos restantes componentes do escoamento superficial. O **tempo de resposta da bacia** ( $t_t$ ) é o período de tempo entre o momento correspondente ao centro de gravidade da precipitação útil e a ponta do hidrograma. O **tempo de precipitação** ( $t_r$ ), é o tempo em que ocorre a parte útil da chuvada que origina o escoamento directo do hidrograma. O **tempo de concentração de uma bacia** ( $t_c$ ) é o tempo necessário para que uma gota de água caída num ponto hidraulicamente mais afastado da bacia chegue à secção de saída ou de referência. O **tempo de esvaziamento** ( $t_e$ ) da rede hidrográfica é o período de tempo entre o ponto de inflexão na curva de decrescimento e o fim do escoamento directo. O **tempo base** do hidrograma ( $t_b$ ) corresponde à passagem do escoamento directo na secção. Sempre que a precipitação útil for distribuída uniformemente sobre uma

determinada bacia hidrográfica, o escoamento directo começa imediatamente após o início da precipitação útil e termina quando passar pela secção de saída todo o volume de água armazenado na própria rede durante a chuvada. O **tempo base** do hidrograma é a soma dos tempos de crescimento e decrescimento ( $t_b = t_p + t_d$ ).

A **forma do hidrograma** depende das características da precipitação (intensidade, duração, tipo, distribuição espacial e direcção do movimento das chuvadas), das características topográficas (área e forma da bacia, rede de drenagem natural, declives dos terrenos da bacia e do curso de água, factores associados à retenção de água) e geológicas da bacia hidrográfica e também da vegetação existente. Enquanto as primeiras influenciam sobretudo a curva de crescimento, as seguintes influenciam principalmente a curva de decrescimento.

## 8. BALANÇO HÍDRICO

### 8.1. Generalidades

Um **balanço hídrico** é o resultado das perdas e dos ganhos de água relativamente a uma superfície (por ex., superfície terrestre) ou a um dado volume (por ex., sistema globo-atmosfera, atmosfera, solo). Em qualquer caso os parâmetros de um balanço hídrico são parte ou a totalidade dos componentes do ciclo hidrológico (precipitação, evaporação/evapotranspiração, infiltração, escoamento,...). Os balanços diferem entre si pela escala espacial (sistema globo-atmosfera, região mais ou menos extensa, solo, urbanização, organismo animal,...) e pela escala temporal (anual, mensal, semanal, diária). No âmbito da Microclimatologia interessa considerar, sobretudo, balanços hídricos referentes à interacção superfície/atmosfera durante períodos de tempo relativamente pequenos. Um balanço hídrico baseia-se na lei da conservação da massa, isto é, presume-se constante o teor de água total do sistema de referência.

A equação de balanço hídrico de uma superfície relvada pode ser expressa da seguinte forma:

$$R = ET + I + S \quad (8.1)$$

onde R é a precipitação, ET a evapotranspiração, I a infiltração e S o escoamento líquido ao longo da superfície. Em zonas urbanizadas e impermeabilizadas, a expressão anterior não inclui, naturalmente, o termo I.

Para um determinado volume (região, local, etc...) a equação geral de balanço hídrico vem da seguinte forma:



$$R + N + D + Ir = \Delta S_p + \Delta S + \Delta S_u + r_i + r_s + r_u + W_h + ET \quad (8.2)$$

onde R, N, D e Ir representam a quantidade de água recebida na região por precipitação, por intersecção do nevoeiro, por deposição de outros hidrometeoros (orvalho, geada,...) e transportada pelo homem, respectivamente;  $\Delta S_p$ ,  $\Delta S$  e  $\Delta S_u$  representam as variações das quantidades de água armazenada à superfície, no solo e nas águas subterrâneas, respectivamente;  $r_i$ ,  $r_s$ ,  $r_u$  e  $W_h$  são as quantidades de água que se infiltram, que se escoam, à superfície e no subsolo, e a que é retirada pelo homem, respectivamente; ET é a água evaporada/evapotranspirada. A importância relativa de cada parâmetro depende do habitat em estudo e, para cada habitat, da escala temporal adoptada.

Na maior parte dos casos, os termos mais importantes são a precipitação, a variação de água armazenada no solo e à superfície, a água escoada e a evaporação/evapotranspiração (E/ET), pelo que a equação se reduz a:

$$R = \Delta S + \Delta S_u + r_s + r_u + ET \quad (8.3)$$

Se considerarmos uma região extensa e um intervalo de tempo bastante longo, a equação reduz-se ainda mais:

$$R - r = E \quad (8.4)$$

onde r representa o escoamento na secção final do troço de água ( $= r_s + r_u$ ).

No sistema globo-atmosfera e numa base anual, a equação do balanço hídrico resume-se a:

$$R = E \quad (8.5)$$

## 8.2. Balanço hídrico na atmosfera

A equação de balanço hídrico de uma coluna de ar, de secção unitária, entre a superfície e o topo da atmosfera, é dada por:

$$ET - (R + Q^*) = \Delta W \quad (8.6)$$

onde ET é a água que entra na atmosfera sob a forma de vapor de água e que é resultante da evaporação/evapotranspiração de superfícies aquáticas, dos solos e/ou da transpiração das plantas,  $Q^*$  é o fluxo líquido resultante do transporte de vapor de água horizontal (associado à circulação geral atmosférica), R é a perda de água por precipitação e  $\Delta W$  representa o aumento ou a diminuição do vapor de água armazenado na coluna (água *precipitável*) e de água e gelo das nuvens.

Para valores anuais, o valor de  $\Delta W$  pode ser considerado nulo reduzindo-se a equação (8.6) a:

$$Q^* = ET - R \quad (8.7)$$

Isto é, o saldo entre a entrada e a saída de vapor de água na coluna é numericamente igual à diferença entre a evaporação/evapotranspiração e a precipitação. Se compararmos entre si as equações (8.4) e (8.7) verificamos que, em regime estacionário, o escoamento da água dos continentes para os oceanos é compensado no sentido inverso pelo fluxo de vapor de água (Fig. 3.1).

### 8.3. Balanço Hídrico do solo

O balanço hídrico do solo exprime as variações do teor de água no solo num dado intervalo de tempo, as quais dependem, em larga medida, das diferenças entre a precipitação ocorrida e a água evaporada à superfície, assim como das propriedades do solo que governam o movimento de água no seu interior (capacidade de retenção do solo para a água, condutividade hidráulica,...). Para uma camada de solo estendida a uma profundidade onde não existam variações verticais significativas ( $I \rightarrow 0$ ), o seu balanço hídrico, durante um dado período de tempo ( $\Delta t$ ), pode ser descrito na forma (Hillel, 1998):

$$\Delta A + \Delta V = (R + I + U) - (E_s + D + E + T) \quad (8.8)$$

onde, por unidade de área e durante  $\Delta t$ ,  $\Delta A$  é a variação do armazenamento de água na camada,  $\Delta V$  o incremento de água incorporado na biomassa,  $R$  a precipitação,  $I$  a rega,  $U$  é o ganho hídrico por ascensão capilar,  $E_s$  é o escoamento,  $D$  a drenagem,  $E$  a evaporação de água directamente da superfície e  $T$  é a transpiração das plantas. A deposição de orvalho ( $D$ ) pode ter relevância em certas zonas e, por ser uma transferência convectiva do ar para a superfície pode ser descrito por  $-E$  (ou  $-ET$ ).

Se considerarmos a evaporação e a transpiração em conjunto (**evapotranspiração**  $ET = E+T$ ), o **excesso ou superavit** como a soma entre o escoamento e a drenagem ou escoamento subsuperficial ( $S = E_s + D$ ), o balanço hídrico de um perfil não irrigado ( $U = I = 0$ ) durante um período de tempo  $\Delta t$  relativamente curto ( $\Delta V$  é desprezável) virá:

$$\Delta A = R - S - ET \quad (8.9)$$

A determinação do balanço hídrico de um solo tem numerosas aplicações como sejam a definição das necessidades de rega, o cálculo de recarga de albufeiras, a construção de aproveitamentos hidráulicos, a modificação do revestimento vegetal, obras de regularização fluvial, a instalação de captações de águas subterrâneas, etc...

O cálculo do balanço hídrico pelo **método de Thornthwaite-Mather** requer dados de temperatura e de precipitação. A partir da estimativa da ETP (que tem em conta os dados de temperatura e a latitude do lugar, se ETP for calculada pelo método de Thornthwaite) e dos valores de precipitação caída num dado local e durante um determinado período é possível estimar o **armazenamento de água no solo (A)**, a **evapotranspiração real (ETR)**, o **excesso de água no solo (S)** e o **défice de água (D)**; a partir de uma sequência de valores mensais de Evapotranspiração e Precipitação é possível identificar os meses em que se verifica excesso ou deficiência de água no solo, estimar as **quantidades de água cedida pelo solo** ou de **água restituída ao solo ( $\Delta A$ )**, assim como o défice e o excesso anuais. Os valores médios anuais estimados de D, de S e de ETP permitem uma classificação climática - **Classificação Racional dos Climas de Thornthwaite** (ver capítulo 6). Todos os parâmetros estimados se exprimem em **milímetros (mm)**.

O impresso constante do ANEXO C1 pode ser utilizado para o cálculo do Balanço Hídrico pelo método de Thornthwaite-Mather (que inclui o cálculo da ETP).

#### **1ª etapa: Cálculo da Evapotranspiração Potencial (ETP).**

O cálculo da ETP pode ser feito a partir do Método de Thornthwaite (como originalmente foi proposto) ou partir de qualquer outro método (por exemplo, o método de Penman). O capítulo anterior (cap. 4) apresenta o procedimento para o cálculo da ETP segundo os métodos referidos.

#### **2ª etapa: Cálculo do Armazenamento de água no solo (A)**

Um solo retém água naturalmente. A capacidade de campo é o teor de água retido pelo solo em condições naturais. Porém, nem toda a água naturalmente retida pelo solo é utilizável pelas plantas. A que está efectivamente disponível para as plantas é a **capacidade utilizável (C)**, variável de solo para solo. Segundo o modelo de Thornthwaite-Mather, o armazenamento máximo de água no solo corresponde à capacidade utilizável (C) do solo (unid.: mm). A reserva de água útil, para efeitos de caracterização climática, varia entre 0 mm e **100 mm**.

A forma de cálculo da quantidade de água armazenada em cada mês depende do balanço entre a precipitação caída (R) e a evapotranspiração esperada (ETP): quando R é superior a ETP (meses húmidos) o teor de água do solo tende a aumentar até atingir a capacidade utilizável; quando R é inferior a ETP (meses secos), o solo tende a perder

água. O aumento do teor de humidade do solo depende somente do excedente da precipitação relativamente à evapotranspiração potencial (R-ETP) enquanto que o decréscimo depende da ETP e do teor de humidade do solo. Assim:

a) nos meses húmidos (**R-ETP $\geq$ 0**) o armazenamento mensal resulta da adição entre o armazenamento do mês anterior e o acréscimo de R relativamente a ETP [ $A_{\text{mensal}} = A_{\text{mês anterior}} + (R-ETP)$ ]. Quando **R-ETP=0**, não há, naturalmente, qualquer alteração no armazenamento de água relativamente ao valor do mês anterior.

b) durante a estação seca (**R-ETP<0**) o armazenamento mensal ( $A_n$ ) diminui exponencialmente (a taxa da perda real de água no solo é função crescente do volume armazenado):

$$A_n = A_{n-1} e^{-l/C} \quad (8.10)$$

onde  $A_{n-1}$  é o armazenamento de água do mês anterior,  $l$  é a perda de água potencial no mês considerado ( $l = R-ETP$ ) e  $C$  a capacidade utilizável.

Seja  $L$  a perda de água potencial acumulada no intervalo de tempo  $T$  a soma entre o valor de  $L$  do mês anterior e o valor de  $l$  do mês em questão. Então, o valor do armazenamento ( $A$ ) para qualquer um dos meses secos virá:

$$A = C e^{-\frac{L}{C}} \quad (8.11)$$

Se  $\alpha = A/C$  e  $\lambda = L/C$ , então:

$$\alpha = e^{-\lambda} \quad (8.12)$$

Esta simplificação permite decompor o cálculo do armazenamento de água no solo em diferentes etapas: cálculos de  $L$  ( $= L_{\text{mês anterior}} + l$ ), de  $\lambda$  ( $= L/C$ ), de  $\alpha$  ( $= e^{-\lambda}$ , obtido directamente ou através de uma Tabela dos Logaritmos Naturais dos Inverso) (ANEXO D1) e, finalmente, de  $A$  ( $= \alpha \times C$ ).

Em condições climáticas semelhantes às que caracterizam o território nacional, a precipitação caída durante a estação húmida ( $R-ETP > 0$ ) é suficiente para, no fim desta e em termos médios, elevar o teor de água do solo ao nível da Capacidade de Campo. Contudo, em regiões diferentes ou para balanços hídricos elaborados a partir de elementos climáticos anuais é possível encontrar valores de armazenamento ( $A$ ) inferiores à Capacidade Utilizável ( $C$ ) no último mês da estação húmida.

Neste caso, é necessário calcular o armazenamento máximo no fim da época húmida ( $x$ ), Se  $N$  e  $P$  forem as somas dos valores mensais, respectivamente, negativos e positivos das diferenças entre precipitação ( $R$ ) e evapotranspiração potencial (ETP):

$$\left| \begin{array}{l} N = \sum_{\text{neg}} (R-ETP) \\ P = \sum_{\text{pos}} (R-ETP) \end{array} \right. \quad (8.13);$$

se  $n$  e  $p$  forem os respectivos valores reduzidos:

$$\left| \begin{array}{l} n = N/C \\ p = P/U \end{array} \right. \quad (8.14)$$

e, se  $x$  for o valor  $X$  de  $L$  correspondente ao último mês do período húmido depois de reduzido ( $x = X/U$ ), para que o armazenamento retome nesse mês o valor do ano anterior (para fechar o ciclo) devem ser atendidas as seguintes condições:

$$\left| \begin{array}{ll} \lambda = x & \longrightarrow \alpha = y + p, \\ \lambda = x - n & \longrightarrow \alpha = y \end{array} \right. \quad (8.15)$$

isto é, atendendo a (5.5),

$$\left| \begin{array}{l} y + p = e^{-x} \\ y = e^{-x+n} \end{array} \right. \quad (8.16)$$

virá finalmente:

$$x = -\log \frac{p}{1-e^n} \quad (8.17)$$

Apenas faz sentido efectuar este cálculo quando  $P < C$ .

**3ª etapa:** Cálculo da evapotranspiração real (ETR), do défice (D) e do excesso ou superavit (S) de água no solo.

a) **evapotranspiração real** (ETR)

A evapotranspiração real (ETR) depende da precipitação (R) e da água armazenada no solo (A). Sempre que a água disponível é suficiente para suprir as necessidades determinadas pela temperatura (isto é, a evapotranspiração potencial), ETR e ETP são numericamente iguais. Estas condições ocorrem nos meses em que:

- i)  $R - ETP > 0$ , (estação húmida),
- ii)  $R - ETP < 0$ , desde que esta diferença seja compensada na totalidade por água cedida pelo solo (isto é, nos meses em que  $|R - ETP| = \Delta A$ )

Sempre que em qualquer mês a precipitação (R) e a água cedida pelo solo ( $\Delta A$ ) não sejam, conjuntamente, suficientes para que os valores da evapotranspiração potencial sejam atingidos, então  $ETR < ETP$ . Esta situação ocorre na estação seca (meses onde  $R - ETP < 0$ ), excepto nas condições referidas em ii). Em qualquer caso, o cálculo da ETR para cada mês virá então:

$$ETR = R + \Delta A \quad (8.18)$$

**b) défice de água (D)**

O défice de água, segundo Thornthwaite, contabiliza a quantidade de água em falta para que a evapotranspiração potencial seja atingida, isto é, mede a quantidade de água que falta para que não se torne um factor limitante para a evapotranspiração. Em qualquer caso, D virá :

$$D = ETP - ETR \quad (8.19)$$

Na estação húmida o défice de água é nulo. Na estação seca é positivo, excepto nas condições referidas em ii).

**c) excesso de água no solo (S)**

Há excesso de água quando a precipitação mensal for suficiente para, em simultâneo, satisfazer as necessidades em evapotranspiração e suprir eventuais défices de água no solo (teores de água no solo inferiores a C). Existe excesso de água ( $S > 0$ ) na estação húmida sempre que  $[(R - ETP) + \Delta A] > C$ ; não existe excesso de água ( $S = 0$ ) sempre que o armazenamento de água no solo for inferior ao limite superior da Capacidade Utilizável, ou seja, pelo menos durante a estação seca.

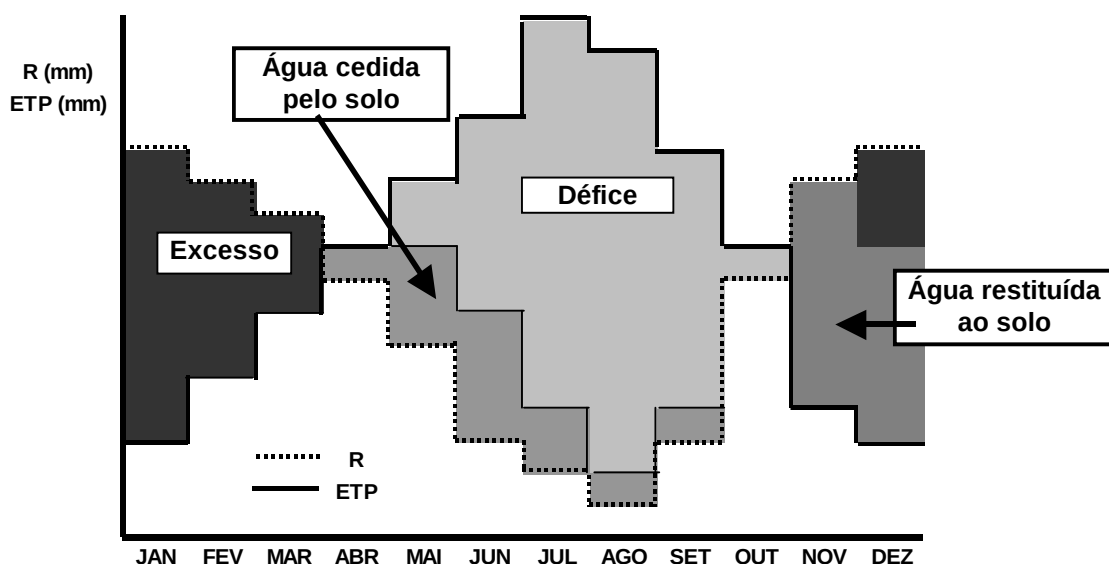
Com base nos resultados obtidos é possível elaborar um **gráfico** para o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather. Trata-se de um diagrama rectangular onde são representadas (usualmente através de barras) as variações da evapotranspiração potencial e da precipitação ao longo do ano (Fig.8.1). Entre cada par de valores mensais de R e de ETP são também representados:

i. valores correspondentes à soma da precipitação (R) com a água cedida pelo solo ( $\Delta A$ ), se o mês for seco ( $R-ETP < 0$ );

ii. valores correspondentes à soma entre a água restituída ao solo ( $\Delta A$ ) e a evapotranspiração potencial (ETP), se o mês for húmido ( $R-ETP > 0$ ).

No primeiro caso, as barras adicionadas correspondem à evapotranspiração real estimada; o espaço acima dos valores de ETR (mas abaixo dos de ETP) corresponde ao défice de água (D), enquanto que o espaço subjacente (abaixo de ETR mas acima de R) corresponde à quantidade de água cedida pelo solo ( $\Delta A$ ).

Os valores representados em ii. subdividem o espaço relativo a  $R-ETP$ , correspondendo ao excesso de água o que se situa na parte superior do intervalo e à água restituída ao solo o que se situa na parte inferior respectiva.



**Fig. 8.1 – Gráfico do balanço hídrico (a partir de valores hipotéticos de ETP e R)**

## 8.4. Exercícios propostos

1. Elaboração de um balanço hídrico pelo método de Thornthwaite-Mather.  
Utilize os dados de temperatura e de precipitação para a cidade de Évora, constantes da NORMAL CLIMATOLÓGICA respectiva para o período de 1951-1980 (ANEXO E):

- utilize os valores de ETP estimados pelo método de Thornthwaite;
- utilize os valores de ETP estimados pelo método de Penman-FAO 24;
- discuta os resultados (mensais e anuais) obtidos a partir dos cálculos efectuados em a) e de b).

2. Elaboração de um gráfico (ou dois gráficos) para o(s) balanço(s) hídrico(s) com base nos resultados obtidos em 1.

3. Os dados do Quadro I referem-se a valores médios observados durante um período de 9 anos, na estação meteorológica do Gerês. Pelo método de Thornthwaite-Mather preencha o 2º Quadro a partir dos dados constantes do primeiro. Para a elaboração do balanço hídrico, considera-se uma capacidade utilizável de 180 mm.

**QUADRO I**

| Meses →      | MAI  | JUN  | JUL   | AGO  | SET  | OUT  |
|--------------|------|------|-------|------|------|------|
| Parâmetros ↓ |      |      |       |      |      |      |
| (ETP) (mm)   | 2,2  | 2,5  | 3,2   | 3,3  | 2,7  | 2,1  |
| f            | 37,8 | 38,1 | 38,4  | 35,7 | 31,2 | 28,5 |
| R(mm)        | 160  | 103  | 50    | 93   | 140  | 269  |
| $\alpha$     |      |      | 0,666 | 0,58 |      |      |
| $\Delta A$   |      | 0    | 60    |      |      |      |

**QUADRO II**

| Meses →      | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Parâmetros ↓ |     |     |     |     |     |     |
| A            | 180 |     | 120 |     |     | 180 |
| ETR          |     |     |     |     |     |     |
| D            |     |     |     |     |     |     |
| S            |     |     |     |     |     |     |
| ACS          |     |     |     |     |     |     |
| ARS          |     |     |     |     |     |     |

### Legenda:

(ETP)<sub>não ajust</sub> – Evapotranspiração potencial diária não ajustada (mm)



f - Duração média mensal possível expressa em unidades de 12 horas

R – precipitação média mensal (mm)

A – valor adimensional de A (armazenamento) (mm)

$\Delta A$  – Variação do armazenamento (mm)

A – Armazenamento mensal (mm)

ETR – Evapotranspiração real mensal (mm)

D – Défice mensal (mm)

S – Superavit mensal (mm)

ACS – Água cedida pelo solo (mm)

ARS – Água restituída ao solo (mm)

4. Seja um solo com uma capacidade utilizável de 100 mm: o armazenamento de água (A) atingiu 40 mm no fim do mês de Outubro, tendo aumentado ( $\Delta A$ ) durante este mês 25 mm; a precipitação (R) no mês de Setembro, último mês seco, foi de 8 mm, mas o armazenamento em água no solo diminuiu ( $\Delta A$ ) em 2 mm; a precipitação (R) em Novembro foi de 88 mm enquanto a evapotranspiração potencial (ETP) calculada foi de 23 mm; a evapotranspiração potencial (ETP) em Outubro foi de 33 mm.

Calcule:

- a) o excesso de água no mês de Novembro
- b) a quantidade de água restituída ao solo em Novembro
- c) a evapotranspiração real em Setembro
- d) a precipitação ocorrida em Outubro
- e) o déficit de água em Outubro

## **BIBLIOGRAFIA CONSULTADA**

**Allen, R.G., Jensen, M.E., Wright, J.L. e Burman, R.D. 1989.** Operational Estimates of reference Evapotranspiration. *Agron. J.* **81**:650-662

**Bettencourt, M.L. 1978.** *Noções elementares de Estatística aplicada à Climatologia.* ISA, Lisboa

- Chow, V.T. 1975.** Hydrologic cycle. *Encyclopaedia Britannica*, 15<sup>th</sup> ed., 9, 102-125
- Dunne, T & Leopold, L.B. 1978.** Water in Environmental Planning. San Francisco, W.H. freeman and Company
- FAO. 1979.** *Les besoins en eau des cultures*. 24, FAO, Rome
- Hillel, D.. 1998.** *Environmental soil physics*, Academic Press, San Diego
- Horton, 1940.** An approach toward a physical interpretation of infiltration capacity. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 5, 399-417
- Molchanov, A.A. 1971.** Hidrologia Florestal. FCG. Lisboa
- Oke, T.R. 1978.** *Boundary layer climates*. Methuen & Co LTD, London
- Peixoto, J.P. 1987. 1979.** O ciclo da água em escala global. Secretaria de Estado do Ambiente e dos Recursos Naturais, Lisboa
- Peixoto, J.P. 1989.** A Água no Ambiente. Ministério do Planeamento e da Administração do Território. Lisboa
- Peixoto, J.P. 1987.** *Sistema Climático e as bases físicas do clima (O Homem, o Clima e o Ambiente – I)*. Secretaria de Estado do Ambiente e dos Recursos Naturais, Lisboa
- Peixoto, J.P. & Oort, A.H. 1992.** *Physics of climate*. American Institute of Physics, New York
- Rosemberg, N., Blad, B. L. & Verma, S. B. 1983.** *Microclimate. The biological environmental* (2<sup>a</sup>ed.), John Willey & Sons, New York
- Thornthwaite, C.W. 1948.** An approach toward a rational classification of climate, *Geogr. Rev.*, 38: 55-94
- Thornthwaite, C.W. & Mather, J.R. 1955.** The water balance, *Publ. Clim. Drexel Inst. Technol.* 8 (1)
- Thornthwaite, C.W. & Mather, J.R. 1957.** Instructions and tables for computing Potential Evapotranspiration and the Water Balance. In “*Climatology X:3*”, Orexal, Institute of Technology, Canterton, New Jersey
- Varenes & Mendonça, P. 1958.** Sobre o novo método de balanço hidrológico do solo de Thornthwaite-Mather. *Anais do Instituto superior de Agronomia*, Vol XXII, pp. 271-282

**ANEXOS**

## ANEXO A. Propriedades físicas da água líquida

| Temperatura<br>(°C) | Densidade<br>(Kg/m <sup>3</sup> ) | Calor<br>específico<br>(J/kg. °C) | Calor latente<br>de vaporização<br>(J/Kg) | Tensão<br>superficial<br>(Kg/seg <sup>2</sup> ) | Condutividade<br>térmica<br>(J/m seg °C) | Viscosidade<br>dinâmica<br>(Kg/m seg) | Viscosidade<br>cinemática<br>(m <sup>2</sup> /seg) |
|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------|
| -10                 | 0,99794x10 <sup>3</sup>           | 4,27 x 10 <sup>3</sup>            | 2,53 x 10 <sup>6</sup>                    | -                                               | -                                        | -                                     | -                                                  |
| -5                  | 0,99918x10 <sup>3</sup>           | 4,23 x 10 <sup>3</sup>            | 2,51 x 10 <sup>6</sup>                    | 7,64 x 10 <sup>-2</sup>                         | -                                        | -                                     | -                                                  |
| 0                   | 0,99987x10 <sup>3</sup>           | 4,22 x 10 <sup>3</sup>            | 2,50 x 10 <sup>6</sup>                    | 7,56 x 10 <sup>-2</sup>                         | 0,561                                    | 0,1787 x 10 <sup>-2</sup>             | 1,79 x 10 <sup>-6</sup>                            |
| 4                   | 1,00000x10 <sup>3</sup>           | 4,21 x 10 <sup>3</sup>            | 2,49 x 10 <sup>6</sup>                    | 7,5 x 10 <sup>-2</sup>                          | 0,570                                    | 0,1567 x 10 <sup>-2</sup>             | 1,57 x 10 <sup>-6</sup>                            |
| 5                   | 0,99999x10 <sup>3</sup>           | 4,207 x 10 <sup>3</sup>           | 2,49 x 10 <sup>6</sup>                    | 7,48 x 10 <sup>-2</sup>                         | 0,574                                    | 0,1519 x 10 <sup>-2</sup>             | 1,52 x 10 <sup>-6</sup>                            |
| 10                  | 0,99973x10 <sup>3</sup>           | 4,194 x 10 <sup>3</sup>           | 2,48 x 10 <sup>6</sup>                    | 7,42 x 10 <sup>-2</sup>                         | 0,587                                    | 0,1307 x 10 <sup>-2</sup>             | 1,31 x 10 <sup>-6</sup>                            |
| 15                  | 0,99913x10 <sup>3</sup>           | 4,19 x 10 <sup>3</sup>            | 2,47 x 10 <sup>6</sup>                    | 7,34 x 10 <sup>-2</sup>                         | 0,595                                    | 0,1139 x 10 <sup>-2</sup>             | 1,14 x 10 <sup>-6</sup>                            |
| 20                  | 0,99823x10 <sup>3</sup>           | 4,186 x 10 <sup>3</sup>           | 2,46 x 10 <sup>6</sup>                    | 7,27 x 10 <sup>-2</sup>                         | 0,603                                    | 0,1002 x 10 <sup>-2</sup>             | 1,007 x 10 <sup>-6</sup>                           |
| 25                  | 0,99708x10 <sup>3</sup>           | 4,18 x 10 <sup>3</sup>            | 2,44 x 10 <sup>6</sup>                    | 7,19 x 10 <sup>-2</sup>                         | 0,612                                    | 0,0890 x 10 <sup>-2</sup>             | 0,897 x 10 <sup>-6</sup>                           |
| 30                  | 0,99568x10 <sup>3</sup>           | 4,18 x 10 <sup>3</sup>            | 2,43 x 10 <sup>6</sup>                    | 7,11 x 10 <sup>-2</sup>                         | 0,62                                     | 0,0798 x 10 <sup>-2</sup>             | 0,804 x 10 <sup>-6</sup>                           |
| 35                  | 0,99406x10 <sup>3</sup>           | 4,18 x 10 <sup>3</sup>            | 2,42 x 10 <sup>6</sup>                    | 7,03 x 10 <sup>-2</sup>                         | 0,629                                    | 0,0719 x 10 <sup>-2</sup>             | 0,733 x 10 <sup>-6</sup>                           |
| 40                  | 0,99225x10 <sup>3</sup>           | 4,18 x 10 <sup>3</sup>            | 2,41 x 10 <sup>6</sup>                    | 6,95 x 10 <sup>-2</sup>                         | 0,633                                    | 0,0653 x 10 <sup>-2</sup>             | 0,661 x 10 <sup>-6</sup>                           |
| 45                  | 0,99024x10 <sup>3</sup>           | 4,18 x 10 <sup>3</sup>            | 2,40 x 10 <sup>6</sup>                    | 6,87 x 10 <sup>-2</sup>                         | 0,641                                    | 0,0596 x 10 <sup>-2</sup>             | 0,609 x 10 <sup>-6</sup>                           |
| 50                  | 0,98807x10 <sup>3</sup>           | 4,186 x 10 <sup>3</sup>           | 2,38 x 10 <sup>6</sup>                    | 6,79 x 10 <sup>-2</sup>                         | 0,645                                    | 0,0547 x 10 <sup>-2</sup>             | 0,556 x 10 <sup>-6</sup>                           |

## ANEXO B1- CÁLCULO DA ETP PELO MÉTODO DE PENMAN (IMPRESSO)

# EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL

## (Método de Penman)

Local: \_\_\_\_\_ Latitude: \_\_\_\_\_ Longitude: \_\_\_\_\_

Período: \_\_\_\_\_ Altitude: \_\_\_\_\_ Altura do anemómetro: \_\_\_\_\_

| Parâmetros |                                      | Unidades                    | Jan                  | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | ANO |
|------------|--------------------------------------|-----------------------------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1          | T                                    | dados                       | °C                   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 2          | HR                                   | dados                       | %                    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 3          | n                                    | dados                       | horas                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 4          | N                                    | Tab 1                       | horas                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 5          | n/N                                  | [3/4]                       |                      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 6          | e <sub>s</sub>                       | Tab 2                       | mb                   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 7          | e <sub>a</sub>                       | [6 x 2/100]                 | mb                   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 8          | e <sub>s</sub> -e <sub>a</sub>       | [6 - 7]                     | mb                   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 9          | v                                    | dados                       | km h <sup>-1</sup>   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 10         | v <sub>2</sub>                       | Tab 3                       | km dia <sup>-1</sup> |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 11         | f(v)                                 | Tab 4                       |                      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 12         | W                                    | Tab 5                       |                      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 13         | 1-W                                  | [1-12]                      |                      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 14         | Ea (Aerod.)                          | [8 x 11 x 13]               | mm dia <sup>-1</sup> |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 15         | S <sub>atm</sub>                     | Tab 6                       | mm dia <sup>-1</sup> |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 15a        | Sg                                   | *1                          | *2                   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 15b        | asg                                  | *3                          | mm dia <sup>-1</sup> |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 16         | R <sub>ns</sub>                      | *4                          | mm dia <sup>-1</sup> |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 17         | f(t)                                 | Tab 8a                      |                      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 18         | f(e)                                 | Tab 8b                      |                      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 19         | f(n/N)                               | Tab 8c                      |                      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 20         | R <sub>nl</sub>                      | [17 x 18 x 19]              | mm dia <sup>-1</sup> |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 21         | R <sub>n</sub>                       | [16 - 20]                   | mm dia <sup>-1</sup> |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 22         | W.Rn (Radiativa)                     | [12 x 21]                   | mm dia <sup>-1</sup> |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 23         | ETP <sub>naj</sub>                   | [14 + 22]                   | mm dia <sup>-1</sup> |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 24         | HR <sub>max</sub>                    | dados                       | %                    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 25         | v <sub>dia</sub>                     | dados                       | m s <sup>-1</sup>    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 26         | v <sub>najie</sub>                   | dados                       | m s <sup>-1</sup>    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 27         | v <sub>dia</sub> /v <sub>najie</sub> | [25/26]                     | m s <sup>-1</sup>    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 28         | Sg                                   | [15a]                       | mm dia <sup>-1</sup> |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 29         | C                                    | Tab 10                      |                      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 30         | ETP                                  | [23x29].n <sub>t</sub> (*5) | mm mês <sup>-1</sup> |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |

**Notas:**\*1 - Medida ou calculada a partir da expressão  $[0,18+0,62 \times 5][15]$ \*2 - mm dia<sup>-1</sup> para valores calculados de Sg; cal cm<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> para valores medidos de Sg\*3 - Para valores calculados de Sg:  $Sg = [0,2 \times 15a]$ \*4 - Tab 7 se forem apenas considerados os valores de S<sub>atm</sub>:

→ 0,0136 x Sg se forem considerados os valores de Sg medidos;

15a - 15b se os valores de Sg forem estimados a partir dos dados de insolação/nebulosidade

**Rns medido**

\*5 - nd é o nº de dias de cada mês

**Nota final: o significado dos símbolos encontra-se descrito no texto**

**ANEXO B - CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL  
PELO MÉTODO DE PENMAM**

**2- Tensão de saturação de vapor de água ( $e_s$ , em mb),  
em função da temperatura média do ar (T, em °C)**

| T (°C) | 0,0   | 0,1   | 0,2   | 0,3   | 0,4   | 0,5   | 0,6   | 0,7   | 0,8   | 0,9   |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0      | 6,1   | 6,2   | 6,2   | 6,2   | 6,3   | 6,3   | 6,4   | 6,4   | 6,5   | 6,5   |
| 1      | 6,6   | 6,6   | 6,7   | 6,7   | 6,8   | 6,8   | 6,9   | 6,9   | 7,0   | 7,0   |
| 2      | 7,1   | 7,1   | 7,2   | 7,2   | 7,3   | 7,3   | 7,4   | 7,4   | 7,5   | 7,5   |
| 3      | 7,6   | 7,6   | 7,7   | 7,7   | 7,8   | 7,8   | 7,9   | 8,0   | 8,0   | 8,1   |
| 4      | 8,1   | 8,2   | 8,2   | 8,3   | 8,4   | 8,4   | 8,5   | 8,5   | 8,6   | 8,7   |
| 5      | 8,7   | 8,8   | 8,8   | 8,9   | 9,0   | 9,0   | 9,1   | 9,1   | 9,2   | 9,3   |
| 6      | 9,3   | 9,4   | 9,5   | 9,5   | 9,6   | 9,7   | 9,7   | 9,8   | 9,9   | 9,9   |
| 7      | 10,0  | 10,1  | 10,2  | 10,2  | 10,3  | 10,4  | 10,4  | 10,5  | 10,6  | 10,7  |
| 8      | 10,7  | 10,8  | 10,9  | 10,9  | 11,0  | 11,1  | 11,2  | 11,2  | 11,3  | 11,4  |
| 9      | 11,5  | 11,6  | 11,6  | 11,7  | 11,8  | 11,9  | 12,0  | 12,0  | 12,1  | 12,2  |
| 10     | 12,3  | 12,4  | 12,4  | 12,5  | 12,6  | 12,7  | 12,8  | 12,9  | 13,0  | 13,0  |
| 11     | 13,1  | 13,2  | 13,3  | 13,4  | 13,5  | 13,6  | 13,7  | 13,7  | 13,8  | 13,9  |
| 12     | 14,0  | 14,1  | 14,2  | 14,3  | 14,4  | 14,5  | 14,6  | 14,7  | 14,8  | 14,9  |
| 13     | 15,0  | 15,1  | 15,2  | 15,3  | 15,4  | 15,5  | 15,6  | 15,7  | 15,8  | 15,9  |
| 14     | 16,0  | 16,1  | 16,2  | 16,3  | 16,4  | 16,5  | 16,6  | 16,7  | 16,8  | 16,9  |
| 15     | 17,0  | 17,2  | 17,3  | 17,4  | 17,5  | 17,6  | 17,7  | 17,8  | 17,9  | 18,1  |
| 16     | 18,2  | 18,3  | 18,4  | 18,5  | 18,6  | 18,8  | 18,9  | 19,0  | 19,1  | 19,2  |
| 17     | 19,4  | 19,5  | 19,6  | 19,7  | 19,9  | 20,0  | 20,1  | 20,2  | 20,4  | 20,5  |
| 18     | 20,6  | 20,8  | 20,9  | 21,0  | 21,2  | 21,3  | 21,2  | 21,6  | 21,7  | 21,8  |
| 19     | 22,0  | 22,1  | 22,2  | 22,4  | 22,5  | 22,7  | 22,8  | 22,9  | 23,1  | 23,2  |
| 20     | 23,4  | 23,5  | 23,7  | 23,8  | 24,0  | 24,1  | 24,3  | 24,4  | 24,6  | 24,7  |
| 21     | 24,9  | 25,0  | 25,2  | 25,3  | 25,5  | 25,6  | 25,8  | 26,0  | 26,1  | 26,3  |
| 22     | 26,4  | 26,6  | 26,8  | 26,9  | 27,1  | 27,3  | 27,4  | 27,6  | 27,8  | 27,9  |
| 23     | 28,1  | 28,3  | 28,4  | 28,6  | 28,8  | 29,0  | 29,1  | 29,3  | 29,5  | 29,7  |
| 24     | 29,8  | 30,0  | 30,2  | 30,4  | 30,6  | 30,7  | 30,9  | 31,1  | 31,3  | 31,5  |
| 25     | 31,7  | 31,9  | 32,1  | 32,2  | 32,4  | 32,6  | 32,8  | 33,0  | 33,2  | 33,4  |
| 26     | 33,6  | 33,8  | 34,0  | 34,2  | 34,4  | 34,6  | 34,8  | 35,0  | 35,2  | 35,4  |
| 27     | 35,7  | 35,9  | 36,1  | 36,3  | 36,5  | 36,7  | 36,9  | 37,1  | 37,4  | 37,6  |
| 28     | 37,8  | 38,0  | 38,2  | 38,5  | 38,7  | 38,9  | 39,1  | 39,4  | 39,6  | 39,8  |
| 29     | 40,1  | 40,3  | 40,5  | 40,8  | 41,0  | 41,2  | 41,5  | 41,7  | 42,0  | 42,2  |
| 30     | 42,4  | 42,7  | 42,9  | 43,2  | 43,4  | 43,7  | 43,9  | 44,2  | 44,4  | 44,7  |
| 31     | 44,9  | 45,2  | 45,4  | 45,7  | 46,0  | 46,2  | 46,5  | 46,8  | 47,0  | 47,3  |
| 32     | 47,6  | 47,8  | 48,1  | 48,4  | 48,6  | 48,9  | 49,2  | 49,5  | 49,7  | 50,0  |
| 33     | 50,3  | 50,6  | 50,9  | 51,2  | 51,5  | 51,7  | 52,0  | 52,3  | 52,6  | 52,9  |
| 34     | 53,2  | 53,5  | 53,8  | 54,1  | 54,4  | 54,7  | 55,0  | 55,3  | 55,6  | 55,9  |
| 35     | 56,2  | 56,6  | 56,9  | 57,2  | 57,5  | 57,8  | 58,1  | 58,5  | 58,8  | 59,1  |
| 36     | 59,4  | 59,8  | 60,1  | 60,4  | 60,7  | 61,1  | 61,4  | 61,7  | 62,1  | 62,4  |
| 37     | 62,8  | 63,1  | 63,5  | 63,8  | 64,1  | 64,5  | 64,8  | 65,2  | 65,6  | 65,9  |
| 38     | 66,3  | 66,6  | 67,0  | 67,4  | 67,7  | 68,1  | 68,5  | 68,8  | 69,2  | 69,6  |
| 39     | 69,9  | 70,3  | 70,7  | 71,1  | 71,5  | 71,8  | 72,2  | 72,6  | 73,0  | 73,4  |
| 40     | 73,8  | 74,2  | 74,6  | 75,0  | 75,4  | 75,8  | 76,2  | 76,6  | 77,0  | 77,4  |
| 41     | 77,8  | 78,2  | 78,6  | 79,1  | 79,5  | 79,9  | 80,3  | 80,7  | 81,2  | 81,6  |
| 42     | 82,0  | 82,5  | 82,9  | 83,3  | 83,8  | 84,2  | 84,6  | 85,1  | 85,5  | 86,0  |
| 43     | 86,4  | 86,9  | 87,3  | 87,8  | 88,2  | 88,7  | 89,2  | 89,6  | 90,1  | 90,6  |
| 44     | 91,0  | 91,5  | 92,0  | 92,5  | 92,9  | 93,4  | 93,9  | 94,4  | 94,9  | 95,4  |
| 45     | 95,9  | 96,3  | 96,8  | 97,3  | 97,8  | 98,3  | 98,9  | 99,4  | 99,9  | 100,4 |
| 46     | 100,9 | 101,4 | 101,9 | 102,4 | 103,0 | 103,5 | 104,0 | 104,6 | 105,1 | 105,6 |
| 47     | 106,2 | 106,7 | 107,2 | 107,8 | 108,3 | 108,9 | 109,4 | 110,0 | 110,5 | 111,1 |
| 48     | 111,7 | 112,2 | 112,8 | 113,4 | 113,9 | 114,5 | 115,1 | 115,7 | 116,2 | 116,8 |
| 49     | 117,4 | 118,0 | 118,6 | 119,2 | 119,8 | 120,4 | 121,0 | 121,7 | 122,2 | 122,8 |

**ANEXO B - CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL  
PELO MÉTODO DE PENMAM**

**3 - Conversão da velocidade do vento para uma altura de 2 metros acima  
da superfície terrestre**

| Altura da Medição | FACTOR DE CORRECÇÃO       |                             |
|-------------------|---------------------------|-----------------------------|
|                   | (v → Km h <sup>-1</sup> ) | (v → Km dia <sup>-1</sup> ) |
| 0,5               | 1,35                      | 32,4                        |
| 1,0               | 1,15                      | 27,4                        |
| 1,5               | 1,06                      | 25,4                        |
| 2,0               | 1,00                      | 24,0                        |
| 3,0               | 0,93                      | 22,3                        |
| 4,0               | 0,85                      | 21,1                        |
| 5,0               | 0,88                      | 20,4                        |
| 6,0               | 0,83                      | 19,9                        |
| 7,0               | 0,82                      | 19,7                        |
| 8,0               | 0,81                      | 19,4                        |
| 9,0               | 0,81                      | 19,4                        |
| 10,0              | 0,8                       | 19,2                        |





**ANEXO B - CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL  
PELO MÉTODO DE PENMAN**

**5 - Valores do factor W para diferentes temperaturas e altitudes**

| Temperatura<br>(°C) | Altitude (m) |      |      |      |      |      |
|---------------------|--------------|------|------|------|------|------|
|                     | 0            | 500  | 1000 | 2000 | 3000 | 4000 |
| 2                   | 0,43         | 0,44 | 0,46 | 0,49 | 0,52 | 0,54 |
| 4                   | 0,46         | 0,48 | 0,49 | 0,52 | 0,55 | 0,58 |
| 6                   | 0,49         | 0,51 | 0,52 | 0,55 | 0,58 | 0,61 |
| 8                   | 0,52         | 0,54 | 0,55 | 0,58 | 0,61 | 0,64 |
| 10                  | 0,55         | 0,57 | 0,58 | 0,61 | 0,64 | 0,66 |
| 12                  | 0,58         | 0,60 | 0,61 | 0,64 | 0,66 | 0,69 |
| 14                  | 0,61         | 0,62 | 0,64 | 0,66 | 0,69 | 0,71 |
| 16                  | 0,64         | 0,65 | 0,66 | 0,69 | 0,71 | 0,73 |
| 18                  | 0,66         | 0,67 | 0,69 | 0,71 | 0,73 | 0,75 |
| 20                  | 0,69         | 0,70 | 0,71 | 0,73 | 0,75 | 0,77 |
| 22                  | 0,71         | 0,72 | 0,73 | 0,75 | 0,77 | 0,79 |
| 24                  | 0,73         | 0,74 | 0,75 | 0,77 | 0,79 | 0,81 |
| 26                  | 0,75         | 0,76 | 0,77 | 0,79 | 0,81 | 0,82 |
| 28                  | 0,77         | 0,78 | 0,79 | 0,81 | 0,82 | 0,84 |
| 30                  | 0,78         | 0,79 | 0,80 | 0,82 | 0,84 | 0,85 |
| 32                  | 0,80         | 0,81 | 0,82 | 0,84 | 0,85 | 0,86 |
| 34                  | 0,82         | 0,82 | 0,83 | 0,85 | 0,86 | 0,87 |
| 36                  | 0,83         | 0,84 | 0,85 | 0,86 | 0,87 | 0,89 |
| 38                  | 0,84         | 0,85 | 0,86 | 0,87 | 0,88 | 0,90 |
| 40                  | 0,85         | 0,86 | 0,87 | 0,88 | 0,89 | 0,90 |

## ANEXO B - CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL PELO MÉTODO DE PENMAM

**6- Valores médios da insolação máxima (ou astronómica) em horas (N)**

[illegible]

**ANEXO B - CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL  
PELO MÉTODO DE PENMAM**

**7- Conversão da valores de nebulosidade em valores de insolação**

| <b>Nebulosidade<br/>(em décimos)</b> | <b>0</b> | <b>0,2</b> | <b>0,4</b> | <b>0,6</b> | <b>0,8</b> |
|--------------------------------------|----------|------------|------------|------------|------------|
| 0                                    | 0,95     | 0,9        | 0,9        | 0,9        | 0,9        |
| 1                                    | 0,85     | 0,85       | 0,85       | 0,85       | 0,8        |
| 2                                    | 0,8      | 0,8        | 0,8        | 0,75       | 0,75       |
| 3                                    | 0,75     | 0,7        | 0,7        | 0,7        | 0,65       |
| 4                                    | 0,65     | 0,65       | 0,6        | 0,6        | 0,6        |
| 5                                    | 0,55     | 0,55       | 0,5        | 0,5        | 0,5        |
| 6                                    | 0,5      | 0,45       | 0,45       | 0,4        | 0,4        |
| 7                                    | 0,4      | 0,35       | 0,35       | 0,3        | 0,3        |
| 8                                    | 0,3      | 0,25       | 0,25       | 0,2        | 0,2        |
| 9                                    | 0,15     | 0,15       | 0,15       | -          | -          |
| 10                                   | -        | -          | -          | -          | -          |

| <b>Nebulosidade<br/>(em oitavos)</b> | <b>0</b> | <b>0,2</b> | <b>0,4</b> | <b>0,6</b> | <b>0,8</b> |
|--------------------------------------|----------|------------|------------|------------|------------|
| 0                                    | 0,95     | 0,9        | 0,9        | 0,85       | 0,85       |
| 1                                    | 0,85     | 0,85       | 0,8        | 0,8        | 0,8        |
| 2                                    | 0,75     | 0,75       | 0,75       | 0,7        | 0,7        |
| 3                                    | 0,65     | 0,65       | 0,65       | 0,6        | 0,6        |
| 4                                    | 0,55     | 0,55       | 0,5        | 0,5        | 0,45       |
| 5                                    | 0,45     | 0,4        | 0,4        | 0,35       | 0,35       |
| 6                                    | 0,3      | 0,3        | 0,25       | 0,25       | 0,2        |
| 7                                    | 0,15     | 0,15       | -          | -          | -          |
| 8                                    | -        | -          | -          | -          | -          |

## ANEXO B - CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL PELO MÉTODO DE PENMAM

8 - Radiação Solar no topo da atmosfera ( $S_{atm}$ ) expressa no equivalente em  $mm\ dia^{-1}$

| Hemisfério Norte |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | Lat. | Hemisfério Sul |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| JAN              | FEV  | MAR  | ABR  | MAI  | JUN  | JUL  | AGO  | SET  | OUT  | NOV  | DEZ  | (°)  | JAN            | FEV  | MAR  | ABR  | MAI  | JUN  | JUL  | AGO  | SET  | OUT  | NOV  | DEZ  |
| 3,8              | 6,1  | 9,4  | 12,7 | 15,8 | 17,1 | 16,4 | 14,1 | 10,9 | 7,4  | 4,5  | 3,2  | 50   | 17,5           | 14,7 | 10,9 | 7,0  | 4,2  | 3,1  | 3,5  | 5,5  | 8,9  | 12,9 | 16,5 | 18,2 |
| 4,3              | 6,6  | 9,8  | 13,0 | 15,9 | 17,2 | 16,5 | 14,3 | 11,2 | 7,8  | 5,0  | 3,7  | 48   | 17,6           | 14,9 | 11,2 | 7,5  | 4,7  | 3,5  | 4,0  | 6,0  | 9,3  | 13,2 | 16,6 | 18,2 |
| 4,9              | 7,1  | 10,2 | 13,3 | 16,0 | 17,2 | 16,6 | 14,5 | 11,5 | 8,3  | 5,5  | 4,3  | 46   | 17,7           | 15,1 | 11,5 | 7,9  | 5,2  | 4,0  | 4,4  | 6,5  | 9,7  | 13,4 | 16,7 | 18,3 |
| 5,3              | 7,6  | 10,6 | 13,7 | 16,1 | 17,2 | 16,6 | 14,7 | 11,9 | 8,7  | 6,0  | 4,7  | 44   | 17,8           | 15,3 | 11,9 | 8,4  | 5,7  | 4,4  | 4,9  | 6,9  | 10,2 | 13,7 | 16,7 | 18,3 |
| 5,9              | 8,1  | 11,0 | 14,0 | 16,2 | 17,3 | 16,7 | 15,0 | 12,2 | 9,1  | 6,5  | 5,2  | 42   | 17,8           | 15,5 | 12,2 | 8,8  | 6,1  | 4,9  | 5,4  | 7,4  | 10,6 | 14,0 | 16,8 | 18,3 |
| 6,4              | 8,6  | 11,4 | 14,3 | 16,4 | 17,3 | 16,7 | 15,2 | 12,5 | 9,6  | 7,0  | 5,7  | 40   | 17,9           | 15,7 | 12,5 | 9,2  | 6,6  | 5,3  | 5,9  | 7,9  | 11,0 | 14,2 | 16,9 | 18,3 |
| 6,9              | 9,0  | 11,8 | 14,5 | 16,4 | 17,2 | 16,7 | 15,3 | 12,8 | 10,0 | 7,5  | 6,1  | 38   | 17,9           | 15,8 | 12,8 | 9,6  | 7,1  | 5,8  | 6,3  | 8,3  | 11,4 | 14,4 | 17,0 | 18,3 |
| 7,4              | 9,4  | 12,1 | 14,7 | 16,4 | 17,2 | 16,7 | 15,4 | 13,1 | 10,6 | 8,0  | 6,6  | 36   | 17,9           | 16,0 | 13,2 | 10,1 | 7,5  | 6,3  | 6,8  | 8,8  | 11,7 | 14,6 | 17,0 | 18,2 |
| 7,9              | 9,8  | 12,4 | 14,8 | 16,5 | 17,1 | 16,8 | 15,5 | 13,4 | 10,8 | 8,5  | 7,2  | 34   | 17,8           | 16,1 | 13,5 | 10,5 | 8,0  | 6,8  | 7,2  | 9,2  | 12,0 | 14,9 | 17,1 | 18,2 |
| 8,3              | 10,2 | 12,8 | 15,0 | 16,5 | 17,0 | 16,8 | 15,6 | 13,6 | 11,2 | 9,0  | 7,8  | 32   | 17,8           | 16,2 | 13,8 | 10,9 | 8,5  | 7,3  | 7,7  | 9,6  | 12,4 | 15,1 | 17,2 | 18,1 |
| 8,8              | 10,7 | 13,1 | 15,2 | 16,5 | 17,0 | 16,8 | 15,7 | 13,9 | 11,6 | 9,5  | 8,3  | 30   | 17,8           | 16,4 | 14,0 | 11,3 | 8,9  | 7,8  | 8,1  | 10,1 | 12,7 | 15,3 | 17,3 | 18,1 |
| 9,3              | 11,1 | 13,4 | 15,3 | 16,5 | 16,8 | 16,7 | 15,7 | 14,1 | 12,0 | 9,9  | 8,8  | 28   | 17,7           | 16,4 | 14,3 | 11,6 | 9,3  | 8,2  | 8,6  | 10,4 | 13,0 | 15,4 | 17,2 | 17,9 |
| 9,8              | 11,5 | 13,7 | 15,3 | 16,4 | 16,7 | 16,6 | 15,7 | 14,3 | 12,3 | 10,3 | 9,3  | 26   | 17,6           | 16,4 | 14,4 | 12,0 | 9,7  | 8,7  | 9,1  | 10,9 | 13,2 | 15,5 | 17,2 | 17,8 |
| 10,2             | 11,9 | 13,9 | 15,4 | 16,4 | 16,6 | 16,5 | 15,8 | 14,5 | 12,6 | 10,7 | 9,7  | 24   | 17,5           | 16,5 | 14,6 | 12,3 | 10,2 | 9,1  | 9,5  | 11,2 | 13,4 | 15,6 | 17,1 | 17,7 |
| 10,7             | 12,3 | 14,2 | 15,5 | 16,3 | 16,4 | 16,4 | 15,8 | 14,6 | 13,0 | 11,1 | 10,2 | 22   | 17,4           | 16,5 | 14,8 | 12,6 | 10,6 | 9,6  | 10,0 | 11,6 | 13,7 | 15,7 | 17,0 | 17,5 |
| 11,2             | 12,7 | 14,4 | 15,6 | 16,3 | 16,4 | 16,3 | 15,9 | 14,8 | 13,3 | 11,6 | 10,7 | 20   | 17,3           | 16,5 | 15,0 | 13,0 | 11,0 | 10,0 | 10,4 | 12,0 | 13,9 | 15,8 | 17,0 | 17,4 |
| 11,6             | 13,0 | 14,6 | 15,6 | 16,1 | 16,1 | 16,1 | 15,8 | 14,9 | 13,6 | 12,0 | 11,1 | 18   | 17,1           | 16,5 | 15,1 | 13,2 | 11,4 | 10,4 | 10,8 | 12,3 | 14,1 | 15,8 | 16,8 | 17,1 |
| 12,0             | 13,3 | 14,7 | 15,6 | 16,0 | 15,9 | 15,9 | 15,7 | 15,0 | 13,9 | 12,4 | 11,6 | 16   | 16,9           | 16,4 | 15,2 | 13,5 | 11,7 | 10,8 | 11,2 | 12,6 | 14,3 | 15,8 | 16,7 | 16,8 |
| 12,4             | 13,6 | 14,9 | 15,7 | 15,8 | 15,7 | 15,7 | 15,7 | 15,1 | 14,1 | 12,8 | 12,0 | 14   | 16,7           | 16,4 | 15,3 | 13,7 | 12,1 | 11,2 | 11,6 | 12,9 | 14,5 | 15,8 | 16,5 | 16,6 |
| 12,8             | 13,9 | 15,1 | 15,7 | 15,7 | 15,5 | 15,5 | 15,6 | 15,2 | 14,4 | 13,3 | 12,5 | 12   | 16,6           | 16,3 | 15,4 | 14,0 | 12,5 | 11,6 | 12,0 | 13,2 | 14,7 | 15,8 | 16,4 | 16,5 |
| 13,2             | 14,2 | 15,3 | 15,7 | 15,5 | 15,3 | 15,3 | 15,5 | 15,3 | 14,7 | 13,6 | 12,9 | 10   | 16,4           | 16,3 | 15,5 | 14,2 | 12,8 | 12,0 | 12,4 | 13,5 | 14,8 | 15,9 | 16,2 | 16,2 |
| 13,6             | 14,5 | 15,3 | 15,6 | 15,3 | 15,0 | 15,1 | 15,4 | 15,3 | 14,8 | 13,9 | 13,3 | 8    | 16,1           | 16,1 | 15,5 | 14,4 | 13,1 | 12,4 | 12,7 | 13,7 | 14,9 | 15,8 | 16,0 | 16,0 |
| 13,9             | 14,8 | 15,4 | 15,4 | 15,1 | 14,7 | 14,9 | 15,2 | 15,3 | 15,0 | 14,2 | 13,7 | 6    | 15,8           | 16,0 | 15,6 | 14,7 | 13,4 | 12,8 | 13,1 | 14,0 | 15,0 | 15,7 | 15,8 | 15,7 |
| 14,3             | 15,0 | 15,5 | 15,5 | 14,9 | 14,4 | 14,6 | 15,1 | 15,3 | 15,1 | 14,5 | 14,1 | 4    | 15,5           | 15,8 | 15,6 | 14,9 | 13,8 | 13,2 | 13,4 | 14,3 | 15,1 | 15,6 | 15,5 | 15,4 |
| 14,7             | 15,3 | 15,6 | 15,3 | 14,6 | 14,2 | 14,3 | 14,9 | 15,3 | 15,3 | 14,8 | 14,4 | 2    | 15,3           | 15,7 | 15,7 | 15,1 | 14,1 | 13,5 | 13,7 | 14,5 | 15,2 | 15,5 | 15,3 | 15,1 |
| 15,0             | 15,5 | 15,7 | 15,3 | 14,4 | 13,9 | 14,1 | 14,8 | 15,3 | 15,4 | 15,1 | 14,8 | 0    | 15,0           | 15,5 | 15,7 | 15,3 | 14,4 | 13,9 | 14,1 | 14,8 | 15,3 | 15,4 | 15,1 | 14,8 |

## ANEXO B- CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL PELO MÉTODO DE PENMAM

9 - Factor de conversão da radiação solar no topo da atmosfera ( $S_{atm}$ )  
em balanço da radiação de pequeno comprimento de onda ( $R_{ns}$ ) para o  
albedo ( $\Xi$ ) de 0,20 e para diferentes valores da percentagem da insolação ( $n/N$ )

| (n/N) | $(1-\Xi)(0,18 + 0,62 n/N)$ |
|-------|----------------------------|
| 0,00  | 0,144                      |
| 0,05  | 0,169                      |
| 0,10  | 0,189                      |
| 0,15  | 0,218                      |
| 0,20  | 0,243                      |
| 0,25  | 0,268                      |
| 0,30  | 0,293                      |
| 0,35  | 0,318                      |
| 0,40  | 0,342                      |
| 0,45  | 0,367                      |
| 0,50  | 0,392                      |
| 0,55  | 0,417                      |
| 0,60  | 0,442                      |
| 0,65  | 0,466                      |
| 0,70  | 0,491                      |
| 0,75  | 0,516                      |
| 0,80  | 0,541                      |
| 0,85  | 0,566                      |
| 0,90  | 0,590                      |
| 0,95  | 0,615                      |
| 1,00  | 0,640                      |

**ANEXO B - CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL  
PELO MÉTODO DE PENMAN**

10 - Efeitos da (a) temperatura do ar ( $T_a$ , em °C), da (b) tensão de vapor (e, em mb)  
e da (c) percentagem de insolação (n/N) no balanço de radiação  
de grande comprimento de onda

(8a)

| $T_a$<br>(°C) | $f(T) = \Sigma T_a^4$ |
|---------------|-----------------------|
| 0             | 11                    |
| 2             | 11,4                  |
| 4             | 11,7                  |
| 6             | 12                    |
| 8             | 12,4                  |
| 10            | 12,7                  |
| 12            | 13,1                  |
| 14            | 13,5                  |
| 16            | 13,8                  |
| 18            | 14,2                  |
| 20            | 14,6                  |
| 22            | 15                    |
| 24            | 15,4                  |
| 26            | 15,9                  |
| 28            | 16,3                  |
| 30            | 16,7                  |
| 32            | 17,2                  |
| 34            | 17,7                  |
| 36            | 18,1                  |

(8b)

| e<br>(mb) | $f(e) =$<br>$= 0,56 - 0,08(e_a)^{1/2}$ |
|-----------|----------------------------------------|
| 6         | 0,36                                   |
| 8         | 0,33                                   |
| 10        | 0,31                                   |
| 12        | 0,28                                   |
| 14        | 0,26                                   |
| 16        | 0,24                                   |
| 18        | 0,22                                   |
| 20        | 0,2                                    |
| 22        | 0,18                                   |
| 24        | 0,17                                   |
| 26        | 0,15                                   |
| 28        | 0,14                                   |
| 30        | 0,12                                   |
| 32        | 0,11                                   |
| 34        | 0,09                                   |
| 36        | 0,08                                   |
| 38        | 0,07                                   |
| 40        | 0,05                                   |

(8c)

| n/N  | $f(n/N) =$<br>$= 0,1 + 0,9n/N$ |
|------|--------------------------------|
| 0    | 0,10                           |
| 0,05 | 0,15                           |
| 0,10 | 0,19                           |
| 0,15 | 0,24                           |
| 0,20 | 0,28                           |
| 0,25 | 0,33                           |
| 0,30 | 0,37                           |
| 0,35 | 0,42                           |
| 0,40 | 0,46                           |
| 0,45 | 0,51                           |
| 0,50 | 0,55                           |
| 0,55 | 0,6                            |
| 0,60 | 0,64                           |
| 0,65 | 0,69                           |
| 0,70 | 0,73                           |
| 0,75 | 0,78                           |
| 0,80 | 0,82                           |
| 0,85 | 0,87                           |
| 0,90 | 0,91                           |
| 0,95 | 0,96                           |
| 1,00 | 1,00                           |

## ANEXO B - CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL PELO MÉTODO DE PENMAM

### 11 - Factor de Ajustamento

|                                       | HR <sub>máx</sub> = 30%                    |      |      |      | HR <sub>máx</sub> = 60% |      |      |      | HR <sub>máx</sub> = 90% |      |      |      |
|---------------------------------------|--------------------------------------------|------|------|------|-------------------------|------|------|------|-------------------------|------|------|------|
| Sg (mm dia <sup>-1</sup> )            | 3                                          | 6    | 9    | 12   | 3                       | 6    | 9    | 12   | 3                       | 6    | 9    | 12   |
| v <sub>dia</sub> (m s <sup>-1</sup> ) | v <sub>dia</sub> /v <sub>noite</sub> = 4,0 |      |      |      |                         |      |      |      |                         |      |      |      |
| 0                                     | 0,86                                       | 0,90 | 1,00 | 1,00 | 0,96                    | 0,98 | 1,05 | 1,05 | 1,02                    | 1,06 | 1,10 | 1,10 |
| 3                                     | 0,79                                       | 0,81 | 0,92 | 0,97 | 0,92                    | 1,00 | 1,11 | 1,19 | 0,99                    | 1,10 | 1,27 | 1,32 |
| 6                                     | 0,68                                       | 0,77 | 0,87 | 0,93 | 0,85                    | 0,96 | 1,11 | 1,19 | 0,94                    | 1,10 | 1,26 | 1,33 |
| 9                                     | 0,55                                       | 0,65 | 0,78 | 0,90 | 0,76                    | 0,88 | 1,02 | 1,14 | 0,88                    | 1,01 | 1,16 | 1,27 |
|                                       | v <sub>dia</sub> /v <sub>noite</sub> = 3,0 |      |      |      |                         |      |      |      |                         |      |      |      |
| 0                                     | 0,86                                       | 0,90 | 1,00 | 1,00 | 0,96                    | 0,98 | 1,05 | 1,05 | 1,02                    | 1,06 | 1,10 | 1,10 |
| 3                                     | 0,76                                       | 0,81 | 0,88 | 0,94 | 0,87                    | 0,96 | 1,06 | 1,12 | 0,94                    | 1,04 | 1,18 | 1,28 |
| 6                                     | 0,61                                       | 0,66 | 0,81 | 0,88 | 0,77                    | 0,88 | 1,02 | 1,10 | 0,86                    | 1,01 | 1,15 | 1,22 |
| 9                                     | 0,46                                       | 0,56 | 0,72 | 0,82 | 0,67                    | 0,79 | 0,88 | 1,05 | 0,78                    | 0,92 | 1,06 | 1,18 |
|                                       | v <sub>dia</sub> /v <sub>noite</sub> = 2,0 |      |      |      |                         |      |      |      |                         |      |      |      |
| 0                                     | 0,86                                       | 0,90 | 1,00 | 1,00 | 0,96                    | 0,98 | 1,05 | 1,05 | 1,02                    | 1,06 | 1,10 | 1,10 |
| 3                                     | 0,69                                       | 0,76 | 0,85 | 0,92 | 0,83                    | 0,91 | 0,99 | 1,05 | 0,89                    | 0,98 | 1,10 | 1,14 |
| 6                                     | 0,53                                       | 0,61 | 0,74 | 0,84 | 0,70                    | 0,80 | 0,94 | 1,02 | 0,79                    | 0,92 | 1,05 | 1,12 |
| 9                                     | 0,37                                       | 0,48 | 0,65 | 0,76 | 0,59                    | 0,70 | 0,84 | 0,95 | 0,71                    | 0,81 | 0,96 | 1,06 |
|                                       | v <sub>dia</sub> /v <sub>noite</sub> = 1,0 |      |      |      |                         |      |      |      |                         |      |      |      |
| 0                                     | 0,86                                       | 0,90 | 1,00 | 1,00 | 0,96                    | 0,98 | 1,05 | 1,05 | 1,02                    | 1,06 | 1,10 | 1,10 |
| 3                                     | 0,64                                       | 0,71 | 0,82 | 0,89 | 0,78                    | 0,86 | 0,94 | 0,99 | 0,85                    | 0,92 | 1,01 | 1,05 |
| 6                                     | 0,43                                       | 0,53 | 0,68 | 0,79 | 0,62                    | 0,70 | 0,84 | 0,93 | 0,72                    | 0,82 | 0,95 | 1,10 |
| 9                                     | 0,27                                       | 0,41 | 0,59 | 0,70 | 0,50                    | 0,60 | 0,75 | 0,87 | 0,62                    | 0,72 | 0,87 | 0,96 |

## ANEXO C - CÁLCULO DO BALANÇO HÍDRICO PELO MÉTODO DE THORNTHWAITE-MATHER

### 1 - Balanço Hídrico (Método Thornthwaite-Mather)

Local \_\_\_\_\_

Latitude \_\_\_\_\_

Longitude \_\_\_\_\_

Período \_\_\_\_\_

Altitude \_\_\_\_\_

Capacidade Utilizável:

| Parâmetros |                    |        |  | Unidades | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Ano |
|------------|--------------------|--------|--|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1          | T                  | dados  |  | °C       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 2          | I                  | tabela |  | °C       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 3          | ETP <sub>naj</sub> | tabela |  | mm       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 4          | f                  | tabela |  | 12 horas |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 5          | EPT <sub>aj</sub>  |        |  | mm       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 6          | R                  | dados  |  | mm       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 7          | R-ETP              |        |  | mm       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 8          | L                  |        |  | mm       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 9          | □                  |        |  |          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 10         | □                  | tabela |  |          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 11         | A                  |        |  | mm       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 12         | □A                 |        |  | mm       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 13         | ETR                |        |  | mm       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 14         | D                  |        |  | mm       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 15         | S                  |        |  | mm       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |

Nota final: o significado dos símbolos encontra-se descrito no texto



**ANEXO C - CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL  
PELO MÉTODO DE THORNTHWAITE**

**2 - Índice calórico**

| Valores mensais de "i" correspondentes a temperaturas médias mensais (°C) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| T°C                                                                       | 0     | 0,1   | 0,2   | 0,3   | 0,4   | 0,5   | 0,6   | 0,7   | 0,8   | 0,9   |
| 0                                                                         | 0,00  | 0,00  | 0,01  | 0,01  | 0,02  | 0,03  | 0,04  | 0,05  | 0,06  | 0,07  |
| 1                                                                         | 0,09  | 0,10  | 0,12  | 0,13  | 0,15  | 0,16  | 0,18  | 0,20  | 0,21  | 0,23  |
| 2                                                                         | 0,25  | 0,27  | 0,29  | 0,31  | 0,33  | 0,35  | 0,37  | 0,39  | 0,42  | 0,44  |
| 3                                                                         | 0,46  | 0,48  | 0,51  | 0,53  | 0,56  | 0,58  | 0,61  | 0,63  | 0,66  | 0,69  |
| 4                                                                         | 0,71  | 0,74  | 0,77  | 0,80  | 0,82  | 0,85  | 0,88  | 0,91  | 0,94  | 0,97  |
| 5                                                                         | 1,00  | 1,03  | 1,06  | 1,09  | 1,12  | 1,16  | 1,19  | 1,22  | 1,25  | 1,28  |
| 6                                                                         | 1,32  | 1,35  | 1,38  | 1,42  | 1,45  | 1,49  | 1,52  | 1,56  | 1,59  | 1,63  |
| 7                                                                         | 1,66  | 1,70  | 1,74  | 1,77  | 1,81  | 1,85  | 1,88  | 1,92  | 1,96  | 2,00  |
| 8                                                                         | 2,04  | 2,08  | 2,11  | 2,15  | 2,19  | 2,23  | 2,27  | 2,31  | 2,35  | 2,39  |
| 9                                                                         | 2,43  | 2,48  | 2,52  | 2,56  | 2,60  | 2,64  | 2,68  | 2,73  | 2,77  | 2,81  |
| 10                                                                        | 2,86  | 2,90  | 2,94  | 2,99  | 3,03  | 3,07  | 3,12  | 3,16  | 3,21  | 3,25  |
| 11                                                                        | 3,30  | 3,34  | 3,39  | 3,44  | 3,48  | 3,53  | 3,58  | 3,62  | 3,67  | 3,72  |
| 12                                                                        | 3,76  | 3,81  | 3,86  | 3,91  | 3,96  | 4,00  | 4,05  | 4,10  | 4,15  | 4,20  |
| 13                                                                        | 4,25  | 4,30  | 4,35  | 4,40  | 4,45  | 4,50  | 4,55  | 4,60  | 4,65  | 4,70  |
| 14                                                                        | 4,75  | 4,80  | 4,86  | 4,91  | 4,96  | 5,01  | 5,07  | 5,12  | 5,17  | 5,22  |
| 15                                                                        | 5,28  | 5,33  | 5,38  | 5,44  | 5,49  | 5,55  | 5,60  | 5,65  | 5,71  | 5,76  |
| 16                                                                        | 5,82  | 5,87  | 5,93  | 5,98  | 6,04  | 6,10  | 6,15  | 6,21  | 6,26  | 6,32  |
| 17                                                                        | 6,38  | 6,43  | 6,49  | 6,55  | 6,61  | 6,66  | 6,72  | 6,78  | 6,84  | 6,90  |
| 18                                                                        | 6,95  | 7,01  | 7,07  | 7,13  | 7,19  | 7,25  | 7,31  | 7,37  | 7,43  | 7,49  |
| 19                                                                        | 7,55  | 7,61  | 7,67  | 7,73  | 7,79  | 7,85  | 7,91  | 7,97  | 8,03  | 8,10  |
| 20                                                                        | 8,16  | 8,22  | 8,28  | 8,34  | 8,41  | 8,47  | 8,53  | 8,59  | 8,66  | 8,72  |
| 21                                                                        | 8,78  | 8,85  | 8,91  | 8,97  | 9,04  | 9,10  | 9,16  | 9,23  | 9,29  | 9,36  |
| 22                                                                        | 9,42  | 9,49  | 9,55  | 9,62  | 9,68  | 9,75  | 9,81  | 9,88  | 9,95  | 10,01 |
| 23                                                                        | 10,08 | 10,15 | 10,21 | 10,28 | 10,35 | 10,41 | 10,48 | 10,55 | 10,61 | 10,68 |
| 24                                                                        | 10,75 | 10,82 | 10,89 | 10,95 | 11,02 | 11,09 | 11,16 | 11,23 | 11,30 | 11,37 |
| 25                                                                        | 11,44 | 11,50 | 11,57 | 11,64 | 11,71 | 11,78 | 11,85 | 11,92 | 11,99 | 12,06 |
| 26                                                                        | 12,13 | 12,21 | 12,28 | 12,35 | 12,42 | 12,49 | 12,56 | 12,63 | 12,70 | 12,78 |
| 27                                                                        | 12,85 | 12,92 | 12,99 | 13,07 | 13,14 | 13,21 | 13,28 | 13,36 | 13,43 | 13,50 |
| 28                                                                        | 13,58 | 13,65 | 13,72 | 13,80 | 13,87 | 13,94 | 14,02 | 14,09 | 14,17 | 14,24 |
| 29                                                                        | 14,32 | 14,39 | 14,47 | 14,54 | 14,62 | 14,69 | 14,77 | 14,84 | 14,92 | 14,99 |
| 30                                                                        | 15,07 | 15,15 | 15,22 | 15,30 | 15,38 | 15,45 | 15,53 | 15,61 | 15,68 | 15,76 |
| 31                                                                        | 15,84 | 15,91 | 15,99 | 16,07 | 16,15 | 16,23 | 16,30 | 16,38 | 16,46 | 16,54 |
| 32                                                                        | 16,62 | 16,70 | 16,77 | 16,85 | 16,93 | 17,01 | 17,09 | 17,17 | 17,25 | 17,33 |
| 33                                                                        | 17,41 | 17,49 | 17,57 | 17,65 | 17,73 | 17,81 | 17,89 | 17,97 | 18,05 | 18,13 |
| 34                                                                        | 18,21 | 18,30 | 18,38 | 18,46 | 18,54 | 18,62 | 18,70 | 18,79 | 18,87 | 18,95 |
| 35                                                                        | 19,03 | 19,11 | 19,20 | 19,28 | 19,36 | 19,44 | 19,53 | 19,61 | 19,69 | 19,78 |
| 36                                                                        | 19,86 | 19,94 | 20,03 | 20,11 | 20,20 | 20,28 | 20,36 | 20,45 | 20,53 | 20,62 |
| 37                                                                        | 20,70 | 20,79 | 20,87 | 20,96 | 21,04 | 21,13 | 21,21 | 21,30 | 21,38 | 21,47 |
| 38                                                                        | 21,56 | 21,64 | 21,73 | 21,81 | 21,90 | 21,99 | 22,07 | 22,16 | 22,25 | 22,33 |
| 39                                                                        | 22,42 | 22,51 | 22,59 | 22,68 | 22,77 | 22,86 | 22,94 | 23,03 | 23,12 | 23,21 |
| 40                                                                        | 23,30 | 23,38 | 23,47 | 23,56 | 23,65 | 23,74 | 23,83 | 23,92 | 24,00 | 24,09 |
| 41                                                                        | 24,18 | 24,27 | 24,36 | 24,45 | 24,54 | 24,63 | 24,72 | 24,81 | 24,90 | 24,99 |
| 42                                                                        | 25,08 | 25,17 | 25,26 | 25,35 | 25,44 | 25,54 | 25,63 | 25,72 | 25,81 | 25,90 |
| 43                                                                        | 25,99 | 26,08 | 26,17 | 26,27 | 26,36 | 26,45 | 26,54 | 26,63 | 26,73 | 26,82 |
| 44                                                                        | 26,91 | 27,00 | 27,10 | 27,19 | 27,28 | 27,38 | 27,47 | 27,56 | 27,66 | 27,75 |
| 45                                                                        | 27,84 | 27,94 | 28,03 | 28,12 | 28,22 | 28,31 | 28,41 | 28,50 | 28,60 | 28,69 |
| 46                                                                        | 28,79 | 28,88 | 28,98 | 29,07 | 29,17 | 29,26 | 29,36 | 29,45 | 29,55 | 29,64 |
| 47                                                                        | 29,74 | 29,83 | 29,93 | 30,03 | 30,12 | 30,22 | 30,31 | 30,41 | 30,51 | 30,60 |
| 48                                                                        | 30,70 | 30,80 | 30,90 | 30,99 | 31,09 | 31,19 | 31,28 | 31,38 | 31,48 | 31,58 |
| 49                                                                        | 31,67 | 31,77 | 31,87 | 31,97 | 32,07 | 32,17 | 32,26 | 32,36 | 32,46 | 32,56 |

## ANEXO C - CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL PELO MÉTODO DETHORNTHWAITE

**3- Valores diários da Evapotranspiração Potencial não ajustada (mm)  
para diferentes temperaturas médias (°C) e valores de "I" (índice calórico)**

| T°C / I | 25  | 27,5 | 30  | 32,5 | 35  | 37,5 | 40  | 42,5 | 45  | 47,5 | 50  | 52,5 |
|---------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|
| 0,00    | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  |
| 0,25    | 0,1 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  |
| 0,50    | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  |
| 0,75    | 0,2 | 0,2  | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0,0 | 0,0  |
| 1,00    | 0,2 | 0,2  | 0,2 | 0,2  | 0,2 | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1  |
| 1,25    | 0,3 | 0,3  | 0,2 | 0,2  | 0,2 | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1  |
| 1,50    | 0,3 | 0,3  | 0,2 | 0,2  | 0,2 | 0,2  | 0,2 | 0,2  | 0,2 | 0,1  | 0,1 | 0,1  |
| 1,75    | 0,4 | 0,4  | 0,3 | 0,3  | 0,3 | 0,2  | 0,2 | 0,2  | 0,2 | 0,2  | 0,2 | 0,1  |
| 2,00    | 0,4 | 0,4  | 0,3 | 0,3  | 0,3 | 0,2  | 0,2 | 0,2  | 0,2 | 0,2  | 0,2 | 0,2  |
| 2,25    | 0,5 | 0,5  | 0,4 | 0,3  | 0,3 | 0,3  | 0,3 | 0,3  | 0,3 | 0,2  | 0,2 | 0,2  |
| 2,50    | 0,5 | 0,5  | 0,4 | 0,4  | 0,4 | 0,3  | 0,3 | 0,3  | 0,3 | 0,3  | 0,3 | 0,2  |
| 2,75    | 0,6 | 0,6  | 0,5 | 0,4  | 0,4 | 0,4  | 0,4 | 0,4  | 0,3 | 0,3  | 0,3 | 0,3  |
| 3,00    | 0,6 | 0,6  | 0,5 | 0,5  | 0,5 | 0,4  | 0,4 | 0,4  | 0,4 | 0,3  | 0,3 | 0,3  |
| 3,25    | 0,7 | 0,7  | 0,6 | 0,5  | 0,5 | 0,5  | 0,4 | 0,4  | 0,4 | 0,4  | 0,4 | 0,3  |
| 3,50    | 0,7 | 0,7  | 0,6 | 0,6  | 0,5 | 0,5  | 0,5 | 0,5  | 0,4 | 0,4  | 0,4 | 0,4  |
| 3,75    | 0,8 | 0,7  | 0,6 | 0,6  | 0,6 | 0,5  | 0,5 | 0,5  | 0,5 | 0,4  | 0,4 | 0,4  |
| 4,00    | 0,8 | 0,8  | 0,7 | 0,6  | 0,6 | 0,6  | 0,5 | 0,5  | 0,5 | 0,5  | 0,4 | 0,4  |
| 4,25    | 0,9 | 0,8  | 0,7 | 0,7  | 0,6 | 0,6  | 0,6 | 0,6  | 0,5 | 0,5  | 0,5 | 0,4  |
| 4,50    | 0,9 | 0,9  | 0,8 | 0,7  | 0,7 | 0,6  | 0,6 | 0,6  | 0,6 | 0,5  | 0,5 | 0,5  |
| 4,75    | 1,0 | 0,9  | 0,8 | 0,8  | 0,7 | 0,7  | 0,6 | 0,6  | 0,6 | 0,5  | 0,5 | 0,5  |
| 5,00    | 1,0 | 1,0  | 0,9 | 0,8  | 0,8 | 0,7  | 0,7 | 0,7  | 0,6 | 0,6  | 0,6 | 0,5  |
| 5,25    | 1,1 | 1,0  | 0,9 | 0,9  | 0,8 | 0,8  | 0,7 | 0,7  | 0,7 | 0,6  | 0,6 | 0,6  |
| 5,50    | 1,1 | 1,1  | 1,0 | 0,9  | 0,9 | 0,8  | 0,8 | 0,7  | 0,7 | 0,6  | 0,6 | 0,6  |
| 5,75    | 1,2 | 1,1  | 1,0 | 1,0  | 0,9 | 0,9  | 0,8 | 0,8  | 0,7 | 0,7  | 0,7 | 0,6  |
| 6,00    | 1,2 | 1,1  | 1,1 | 1,0  | 0,9 | 0,9  | 0,9 | 0,8  | 0,8 | 0,7  | 0,7 | 0,7  |
| 6,25    | 1,2 | 1,2  | 1,1 | 1,0  | 1,0 | 0,9  | 0,9 | 0,8  | 0,8 | 0,7  | 0,7 | 0,7  |
| 6,50    | 1,3 | 1,2  | 1,1 | 1,1  | 1,0 | 1,0  | 0,9 | 0,9  | 0,8 | 0,8  | 0,8 | 0,7  |
| 6,75    | 1,3 | 1,3  | 1,2 | 1,1  | 1,0 | 1,0  | 1,0 | 0,9  | 0,9 | 0,8  | 0,8 | 0,8  |
| 7,00    | 1,4 | 1,3  | 1,2 | 1,1  | 1,1 | 1,0  | 1,0 | 1,0  | 0,9 | 0,9  | 0,8 | 0,8  |
| 7,25    | 1,4 | 1,4  | 1,3 | 1,2  | 1,1 | 1,1  | 1,0 | 1,0  | 1,0 | 0,9  | 0,9 | 0,8  |
| 7,50    | 1,5 | 1,4  | 1,3 | 1,2  | 1,2 | 1,1  | 1,1 | 1,0  | 1,0 | 0,9  | 0,9 | 0,9  |
| 7,75    | 1,5 | 1,4  | 1,4 | 1,3  | 1,2 | 1,2  | 1,1 | 1,1  | 1,0 | 1,0  | 1,0 | 0,9  |
| 8,00    | 1,6 | 1,5  | 1,4 | 1,3  | 1,3 | 1,2  | 1,2 | 1,1  | 1,1 | 1,0  | 1,0 | 1,0  |
| 8,25    | 1,6 | 1,5  | 1,4 | 1,4  | 1,3 | 1,3  | 1,2 | 1,2  | 1,1 | 1,1  | 1,1 | 1,0  |
| 8,50    | 1,6 | 1,6  | 1,5 | 1,4  | 1,4 | 1,3  | 1,3 | 1,2  | 1,2 | 1,1  | 1,1 | 1,0  |
| 8,75    | 1,7 | 1,6  | 1,5 | 1,5  | 1,4 | 1,3  | 1,3 | 1,2  | 1,2 | 1,1  | 1,1 | 1,1  |
| 9,00    | 1,7 | 1,6  | 1,5 | 1,5  | 1,4 | 1,4  | 1,3 | 1,3  | 1,2 | 1,2  | 1,2 | 1,1  |
| 9,25    | 1,7 | 1,7  | 1,6 | 1,5  | 1,5 | 1,4  | 1,4 | 1,3  | 1,3 | 1,2  | 1,2 | 1,1  |
| 9,50    | 1,8 | 1,7  | 1,6 | 1,6  | 1,5 | 1,5  | 1,4 | 1,4  | 1,3 | 1,3  | 1,2 | 1,2  |
| 9,75    | 1,8 | 1,8  | 1,7 | 1,6  | 1,6 | 1,5  | 1,5 | 1,4  | 1,4 | 1,3  | 1,3 | 1,2  |
| 10,00   | 1,9 | 1,8  | 1,7 | 1,7  | 1,6 | 1,6  | 1,5 | 1,4  | 1,4 | 1,4  | 1,3 | 1,3  |
| 10,25   | 1,9 | 1,9  | 1,8 | 1,7  | 1,7 | 1,6  | 1,5 | 1,5  | 1,4 | 1,4  | 1,4 | 1,3  |
| 10,50   | 2,0 | 1,9  | 1,8 | 1,8  | 1,7 | 1,7  | 1,6 | 1,5  | 1,5 | 1,4  | 1,4 | 1,4  |
| 10,75   | 2,0 | 2,0  | 1,9 | 1,8  | 1,8 | 1,7  | 1,6 | 1,6  | 1,5 | 1,5  | 1,5 | 1,4  |
| 11,00   | 2,1 | 2,0  | 1,9 | 1,8  | 1,8 | 1,7  | 1,7 | 1,6  | 1,6 | 1,5  | 1,5 | 1,4  |
| 11,25   | 2,1 | 2,0  | 1,9 | 1,9  | 1,8 | 1,8  | 1,7 | 1,6  | 1,6 | 1,5  | 1,5 | 1,5  |
| 11,50   | 2,1 | 2,1  | 2,0 | 1,9  | 1,9 | 1,8  | 1,7 | 1,7  | 1,6 | 1,6  | 1,6 | 1,5  |
| 11,75   | 2,2 | 2,1  | 2,0 | 1,9  | 1,9 | 1,8  | 1,8 | 1,7  | 1,7 | 1,6  | 1,6 | 1,5  |
| 12,00   | 2,2 | 2,2  | 2,1 | 2,0  | 1,9 | 1,9  | 1,8 | 1,8  | 1,7 | 1,7  | 1,7 | 1,6  |
| 12,25   | 2,3 | 2,2  | 2,1 | 2,0  | 2,0 | 1,9  | 1,9 | 1,8  | 1,8 | 1,7  | 1,7 | 1,6  |
| 12,50   | 2,3 | 2,3  | 2,2 | 2,1  | 2,0 | 2,0  | 1,9 | 1,9  | 1,8 | 1,8  | 1,8 | 1,7  |
| 12,75   | 2,3 | 2,3  | 2,2 | 2,1  | 2,1 | 2,0  | 2,0 | 1,9  | 1,9 | 1,8  | 1,8 | 1,7  |
| 13,00   | 2,4 | 2,3  | 2,3 | 2,2  | 2,1 | 2,1  | 2,0 | 2,0  | 1,9 | 1,9  | 1,9 | 1,8  |

**Valores diários da Evapotranspiração Potencial não ajustada (mm para diferentes temperaturas médias (°C) e valores de "I" (cont.)**

| T°C / l | 25  | 27,5 | 30  | 32,5 | 35  | 37,5 | 40  | 42,5 | 45  | 47,5 | 50  | 52,5 |
|---------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|
| 13,25   | 2,4 | 2,4  | 2,3 | 2,2  | 2,2 | 2,1  | 2,1 | 2,0  | 2,0 | 1,9  | 1,9 | 1,8  |
| 13,50   | 2,5 | 2,4  | 2,3 | 2,3  | 2,2 | 2,2  | 2,1 | 2,1  | 2,0 | 2,0  | 2,0 | 1,9  |
| 13,75   | 2,5 | 2,4  | 2,4 | 2,3  | 2,3 | 2,2  | 2,1 | 2,1  | 2,0 | 2,0  | 2,0 | 1,9  |
| 14,00   | 2,5 | 2,5  | 2,4 | 2,3  | 2,3 | 2,2  | 2,2 | 2,2  | 2,1 | 2,0  | 2,0 | 1,9  |
| 14,25   | 2,6 | 2,5  | 2,4 | 2,4  | 2,3 | 2,3  | 2,2 | 2,2  | 2,1 | 2,1  | 2,1 | 2,0  |
| 14,50   | 2,6 | 2,5  | 2,5 | 2,4  | 2,4 | 2,3  | 2,3 | 2,3  | 2,2 | 2,1  | 2,1 | 2,0  |
| 14,75   | 2,7 | 2,6  | 2,5 | 2,5  | 2,4 | 2,4  | 2,3 | 2,3  | 2,2 | 2,2  | 2,2 | 2,1  |
| 15,00   | 2,7 | 2,6  | 2,6 | 2,5  | 2,5 | 2,4  | 2,4 | 2,3  | 2,3 | 2,2  | 2,2 | 2,1  |
| 15,25   | 2,8 | 2,7  | 2,6 | 2,6  | 2,5 | 2,5  | 2,4 | 2,4  | 2,3 | 2,3  | 2,3 | 2,2  |
| 15,50   | 2,8 | 2,7  | 2,7 | 2,6  | 2,6 | 2,5  | 2,5 | 2,4  | 2,4 | 2,3  | 2,3 | 2,2  |
| 15,75   | 2,9 | 2,8  | 2,7 | 2,7  | 2,6 | 2,6  | 2,5 | 2,5  | 2,4 | 2,4  | 2,4 | 2,3  |
| 16,00   | 2,9 | 2,8  | 2,8 | 2,7  | 2,7 | 2,6  | 2,5 | 2,5  | 2,5 | 2,4  | 2,4 | 2,3  |
| 16,25   | 2,9 | 2,8  | 2,8 | 2,7  | 2,7 | 2,6  | 2,6 | 2,5  | 2,5 | 2,4  | 2,4 | 2,4  |
| 16,50   | 3,0 | 2,9  | 2,8 | 2,8  | 2,7 | 2,7  | 2,6 | 2,6  | 2,5 | 2,5  | 2,5 | 2,4  |
| 16,75   | 3,0 | 2,9  | 2,9 | 2,8  | 2,8 | 2,7  | 2,7 | 2,6  | 2,6 | 2,5  | 2,5 | 2,5  |
| 17,00   | 3,0 | 3,0  | 2,9 | 2,9  | 2,8 | 2,8  | 2,7 | 2,7  | 2,6 | 2,6  | 2,6 | 2,5  |
| 17,25   | 3,1 | 3,0  | 2,9 | 2,9  | 2,9 | 2,8  | 2,8 | 2,7  | 2,7 | 2,6  | 2,6 | 2,6  |
| 17,50   | 3,1 | 3,0  | 3,0 | 3,0  | 2,9 | 2,9  | 2,8 | 2,8  | 2,7 | 2,7  | 2,7 | 2,6  |
| 17,75   | 3,2 | 3,1  | 3,0 | 3,0  | 3,0 | 2,9  | 2,9 | 2,8  | 2,8 | 2,8  | 2,7 | 2,7  |
| 18,00   | 3,2 | 3,1  | 3,1 | 3,1  | 3,0 | 3,0  | 2,9 | 2,9  | 2,9 | 2,8  | 2,8 | 2,7  |
| 18,25   | 3,2 | 3,2  | 3,1 | 3,1  | 3,1 | 3,0  | 3,0 | 2,9  | 2,9 | 2,9  | 2,8 | 2,8  |
| 18,50   | 3,3 | 3,2  | 3,2 | 3,1  | 3,1 | 3,1  | 3,0 | 3,0  | 3,0 | 2,9  | 2,9 | 2,8  |
| 18,75   | 3,3 | 3,2  | 3,2 | 3,2  | 3,1 | 3,1  | 3,0 | 3,0  | 3,0 | 2,9  | 2,9 | 2,9  |
| 19,00   | 3,3 | 3,3  | 3,2 | 3,2  | 3,2 | 3,1  | 3,1 | 3,0  | 3,0 | 3,0  | 3,0 | 2,9  |
| 19,25   | 3,4 | 3,3  | 3,3 | 3,2  | 3,2 | 3,2  | 3,1 | 3,1  | 3,1 | 3,0  | 3,0 | 3,0  |
| 19,50   | 3,4 | 3,4  | 3,3 | 3,3  | 3,3 | 3,2  | 3,2 | 3,1  | 3,1 | 3,1  | 3,1 | 3,0  |
| 19,75   | 3,5 | 3,4  | 3,4 | 3,3  | 3,3 | 3,3  | 3,2 | 3,2  | 3,2 | 3,1  | 3,1 | 3,1  |
| 20,00   | 3,5 | 3,5  | 3,4 | 3,4  | 3,4 | 3,3  | 3,3 | 3,2  | 3,2 | 3,2  | 3,2 | 3,1  |
| 20,25   | 3,6 | 3,5  | 3,5 | 3,4  | 3,4 | 3,4  | 3,3 | 3,3  | 3,3 | 3,2  | 3,2 | 3,2  |
| 20,50   | 3,6 | 3,5  | 3,5 | 3,5  | 3,5 | 3,4  | 3,4 | 3,3  | 3,3 | 3,3  | 3,3 | 3,2  |
| 20,75   | 3,7 | 3,6  | 3,5 | 3,5  | 3,5 | 3,5  | 3,4 | 3,4  | 3,4 | 3,3  | 3,3 | 3,3  |
| 21,00   | 3,7 | 3,6  | 3,6 | 3,6  | 3,5 | 3,5  | 3,5 | 3,4  | 3,4 | 3,4  | 3,4 | 3,3  |
| 21,25   | 3,7 | 3,6  | 3,6 | 3,6  | 3,6 | 3,5  | 3,5 | 3,4  | 3,4 | 3,4  | 3,4 | 3,4  |
| 21,50   | 3,8 | 3,7  | 3,6 | 3,6  | 3,6 | 3,6  | 3,5 | 3,5  | 3,5 | 3,5  | 3,5 | 3,4  |
| 21,75   | 3,8 | 3,7  | 3,7 | 3,7  | 3,6 | 3,6  | 3,6 | 3,5  | 3,5 | 3,5  | 3,5 | 3,5  |
| 22,00   | 3,8 | 3,8  | 3,7 | 3,7  | 3,7 | 3,7  | 3,6 | 3,6  | 3,6 | 3,6  | 3,6 | 3,5  |
| 22,25   | 3,9 | 3,8  | 3,8 | 3,8  | 3,7 | 3,7  | 3,7 | 3,7  | 3,6 | 3,6  | 3,6 | 3,6  |
| 22,50   | 3,9 | 3,8  | 3,8 | 3,8  | 3,8 | 3,8  | 3,7 | 3,7  | 3,7 | 3,7  | 3,7 | 3,6  |
| 22,75   | 4,0 | 3,9  | 3,9 | 3,8  | 3,8 | 3,8  | 3,8 | 3,8  | 3,7 | 3,7  | 3,7 | 3,7  |
| 23,00   | 4,0 | 3,9  | 3,9 | 3,9  | 3,9 | 3,9  | 3,8 | 3,8  | 3,8 | 3,8  | 3,8 | 3,8  |
| 23,25   | 4,1 | 4,0  | 4,0 | 3,9  | 3,9 | 3,9  | 3,9 | 3,9  | 3,8 | 3,8  | 3,8 | 3,8  |
| 23,50   | 4,1 | 4,0  | 4,0 | 4,0  | 4,0 | 4,0  | 3,9 | 3,9  | 3,9 | 3,9  | 3,9 | 3,9  |
| 23,75   | 4,1 | 4,0  | 4,0 | 4,0  | 4,0 | 4,0  | 4,0 | 3,9  | 3,9 | 3,9  | 3,9 | 3,9  |
| 24,00   | 4,2 | 4,1  | 4,1 | 4,0  | 4,0 | 4,0  | 4,0 | 4,0  | 4,0 | 4,0  | 4,0 | 3,9  |
| 24,25   | 4,2 | 4,1  | 4,1 | 4,1  | 4,1 | 4,1  | 4,1 | 4,0  | 4,0 | 4,0  | 4,0 | 4,0  |
| 24,50   | 4,2 | 4,1  | 4,1 | 4,1  | 4,1 | 4,1  | 4,1 | 4,1  | 4,1 | 4,1  | 4,1 | 4,1  |
| 24,75   | 4,3 | 4,2  | 4,2 | 4,2  | 4,2 | 4,2  | 4,2 | 4,1  | 4,1 | 4,1  | 4,1 | 4,1  |
| 25,00   | 4,3 | 4,2  | 4,2 | 4,2  | 4,2 | 4,2  | 4,2 | 4,2  | 4,2 | 4,2  | 4,2 | 4,2  |
| 25,25   | 4,3 | 4,3  | 4,3 | 4,3  | 4,3 | 4,3  | 4,3 | 4,2  | 4,2 | 4,2  | 4,2 | 4,2  |
| 25,50   | 4,4 | 4,3  | 4,3 | 4,3  | 4,3 | 4,3  | 4,3 | 4,3  | 4,3 | 4,3  | 4,3 | 4,3  |
| 25,75   | 4,4 | 4,4  | 4,4 | 4,4  | 4,4 | 4,4  | 4,4 | 4,4  | 4,4 | 4,4  | 4,4 | 4,4  |
| 26,00   | 4,5 | 4,4  | 4,4 | 4,4  | 4,4 | 4,4  | 4,4 | 4,4  | 4,4 | 4,4  | 4,4 | 4,4  |
| 26,25   | 4,5 | 4,5  | 4,5 | 4,5  | 4,5 | 4,5  | 4,5 | 4,5  | 4,5 | 4,5  | 4,5 | 4,5  |
| 26,50   | 4,5 | 4,5  | 4,5 | 4,5  | 4,5 | 4,5  | 4,5 | 4,5  | 4,5 | 4,5  | 4,5 | 4,5  |

**Valores diários da Evapotranspiração Potencial não ajustada (mm)  
para diferentes temperaturas médias (°C) e valores de "I" (índice calórico)**

| T°C / I | 55  | 57,5 | 60  | 62,5 | 65  | 67,5 | 70  | 72,5 | 75  | 77,5 | 80  | 82,5 |
|---------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|
| 0,00    | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  |
| 0,25    | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  |
| 0,50    | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  |
| 0,75    | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  |
| 1,00    | 0,1 | 0,1  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  |
| 1,25    | 0,1 | 0,1  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  |
| 1,50    | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  |
| 1,75    | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  |
| 2,00    | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  |
| 2,25    | 0,2 | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,0  |
| 2,50    | 0,2 | 0,2  | 0,2 | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1  |
| 2,75    | 0,2 | 0,2  | 0,2 | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1  |
| 3,00    | 0,3 | 0,2  | 0,2 | 0,2  | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1  |
| 3,25    | 0,3 | 0,3  | 0,2 | 0,2  | 0,2 | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1  |
| 3,50    | 0,3 | 0,3  | 0,3 | 0,2  | 0,2 | 0,2  | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1  |
| 3,75    | 0,3 | 0,3  | 0,3 | 0,2  | 0,2 | 0,2  | 0,2 | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1  |
| 4,00    | 0,4 | 0,3  | 0,3 | 0,3  | 0,2 | 0,2  | 0,2 | 0,2  | 0,2 | 0,2  | 0,1 | 0,1  |
| 4,25    | 0,4 | 0,4  | 0,3 | 0,3  | 0,3 | 0,2  | 0,2 | 0,2  | 0,2 | 0,2  | 0,2 | 0,1  |
| 4,50    | 0,4 | 0,4  | 0,4 | 0,3  | 0,3 | 0,3  | 0,2 | 0,2  | 0,2 | 0,2  | 0,2 | 0,2  |
| 4,75    | 0,4 | 0,4  | 0,4 | 0,3  | 0,3 | 0,3  | 0,3 | 0,2  | 0,2 | 0,2  | 0,2 | 0,2  |
| 5,00    | 0,5 | 0,4  | 0,4 | 0,4  | 0,3 | 0,3  | 0,3 | 0,3  | 0,3 | 0,3  | 0,2 | 0,2  |
| 5,25    | 0,5 | 0,5  | 0,4 | 0,4  | 0,4 | 0,3  | 0,3 | 0,3  | 0,3 | 0,3  | 0,2 | 0,2  |
| 5,50    | 0,5 | 0,5  | 0,5 | 0,4  | 0,4 | 0,4  | 0,3 | 0,3  | 0,3 | 0,3  | 0,3 | 0,3  |
| 5,75    | 0,6 | 0,5  | 0,5 | 0,5  | 0,4 | 0,4  | 0,4 | 0,3  | 0,3 | 0,3  | 0,3 | 0,3  |
| 6,00    | 0,6 | 0,6  | 0,5 | 0,5  | 0,5 | 0,4  | 0,4 | 0,4  | 0,4 | 0,3  | 0,3 | 0,3  |
| 6,25    | 0,6 | 0,6  | 0,6 | 0,5  | 0,5 | 0,4  | 0,4 | 0,4  | 0,4 | 0,4  | 0,3 | 0,3  |
| 6,50    | 0,7 | 0,6  | 0,6 | 0,6  | 0,5 | 0,5  | 0,4 | 0,4  | 0,4 | 0,4  | 0,4 | 0,4  |
| 6,75    | 0,7 | 0,7  | 0,6 | 0,6  | 0,6 | 0,5  | 0,5 | 0,4  | 0,4 | 0,4  | 0,4 | 0,4  |
| 7,00    | 0,7 | 0,7  | 0,7 | 0,6  | 0,6 | 0,5  | 0,5 | 0,5  | 0,5 | 0,4  | 0,4 | 0,4  |
| 7,25    | 0,8 | 0,7  | 0,7 | 0,7  | 0,6 | 0,6  | 0,5 | 0,5  | 0,5 | 0,5  | 0,5 | 0,4  |
| 7,50    | 0,8 | 0,8  | 0,7 | 0,7  | 0,7 | 0,6  | 0,6 | 0,5  | 0,5 | 0,5  | 0,5 | 0,4  |
| 7,75    | 0,9 | 0,8  | 0,8 | 0,7  | 0,7 | 0,6  | 0,6 | 0,6  | 0,6 | 0,5  | 0,5 | 0,5  |
| 8,00    | 0,9 | 0,9  | 0,8 | 0,8  | 0,7 | 0,7  | 0,6 | 0,6  | 0,6 | 0,6  | 0,5 | 0,5  |
| 8,25    | 0,9 | 0,9  | 0,8 | 0,8  | 0,8 | 0,7  | 0,7 | 0,6  | 0,6 | 0,6  | 0,6 | 0,5  |
| 8,50    | 1,0 | 0,9  | 0,9 | 0,8  | 0,8 | 0,8  | 0,7 | 0,7  | 0,7 | 0,6  | 0,6 | 0,6  |
| 8,75    | 1,0 | 1,0  | 0,9 | 0,9  | 0,8 | 0,8  | 0,7 | 0,7  | 0,7 | 0,7  | 0,6 | 0,6  |
| 9,00    | 1,0 | 1,0  | 0,9 | 0,9  | 0,9 | 0,8  | 0,8 | 0,7  | 0,7 | 0,7  | 0,7 | 0,6  |
| 9,25    | 1,1 | 1,0  | 1,0 | 0,9  | 0,9 | 0,9  | 0,8 | 0,8  | 0,8 | 0,7  | 0,7 | 0,7  |
| 9,50    | 1,1 | 1,1  | 1,0 | 1,0  | 0,9 | 0,9  | 0,9 | 0,8  | 0,8 | 0,8  | 0,7 | 0,7  |
| 9,75    | 1,2 | 1,1  | 1,1 | 1,0  | 1,0 | 0,9  | 0,9 | 0,8  | 0,8 | 0,8  | 0,8 | 0,7  |
| 10,00   | 1,2 | 1,2  | 1,1 | 1,1  | 1,0 | 1,0  | 0,9 | 0,9  | 0,9 | 0,8  | 0,8 | 0,8  |
| 10,25   | 1,3 | 1,2  | 1,2 | 1,1  | 1,1 | 1,0  | 1,0 | 0,9  | 0,9 | 0,9  | 0,8 | 0,8  |
| 10,50   | 1,3 | 1,2  | 1,2 | 1,2  | 1,1 | 1,1  | 1,0 | 1,0  | 1,0 | 0,9  | 0,9 | 0,8  |
| 10,75   | 1,3 | 1,3  | 1,2 | 1,2  | 1,2 | 1,1  | 1,1 | 1,0  | 1,0 | 0,9  | 0,9 | 0,9  |
| 11,00   | 1,4 | 1,3  | 1,3 | 1,3  | 1,2 | 1,1  | 1,1 | 1,0  | 1,0 | 1,0  | 1,0 | 0,9  |
| 11,25   | 1,4 | 1,3  | 1,3 | 1,3  | 1,2 | 1,2  | 1,1 | 1,1  | 1,1 | 1,0  | 1,0 | 0,9  |
| 11,50   | 1,4 | 1,4  | 1,3 | 1,3  | 1,3 | 1,2  | 1,2 | 1,1  | 1,1 | 1,0  | 1,0 | 1,0  |
| 11,75   | 1,5 | 1,4  | 1,4 | 1,4  | 1,3 | 1,3  | 1,2 | 1,1  | 1,1 | 1,1  | 1,1 | 1,0  |
| 12,00   | 1,5 | 1,5  | 1,4 | 1,4  | 1,4 | 1,3  | 1,3 | 1,2  | 1,2 | 1,1  | 1,1 | 1,0  |
| 12,25   | 1,6 | 1,5  | 1,5 | 1,5  | 1,4 | 1,4  | 1,3 | 1,2  | 1,2 | 1,2  | 1,2 | 1,1  |
| 12,50   | 1,6 | 1,6  | 1,5 | 1,5  | 1,5 | 1,4  | 1,4 | 1,3  | 1,3 | 1,2  | 1,2 | 1,2  |
| 12,75   | 1,7 | 1,6  | 1,6 | 1,5  | 1,5 | 1,5  | 1,4 | 1,4  | 1,3 | 1,3  | 1,2 | 1,2  |
| 13,00   | 1,7 | 1,7  | 1,6 | 1,6  | 1,5 | 1,5  | 1,5 | 1,5  | 1,3 | 1,3  | 1,3 | 1,2  |

Valores diários da Evapotranspiração Potencial não ajustada (mm)  
para diferentes temperaturas médias (°C) e valores de "I" (cont.)

[illegible]

**Valores diários da Evapotranspiração Potencial não ajustada (mm)  
para diferentes temperaturas médias (°C) e valores de "I" (cont.)**

| T°C / I | 85  | 87,5 | 90  | 92,5 | 95  | 97,5 | 100 | 102,5 | 105 | 107,5 | 110 | 112,5 |
|---------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|
| 0,00    | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   |
| 0,25    | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   |
| 0,50    | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   |
| 0,75    | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   |
| 1,00    | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   |
| 1,25    | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   |
| 1,50    | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   |
| 1,75    | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   |
| 2,00    | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   |
| 2,25    | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   |
| 2,50    | 0,1 | 0,1  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   |
| 2,75    | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   |
| 3,00    | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0,0 | 0,0  | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   |
| 3,25    | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   |
| 3,50    | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   |
| 3,75    | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   |
| 4,00    | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   |
| 4,25    | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   |
| 4,50    | 0,2 | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   |
| 4,75    | 0,2 | 0,2  | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   |
| 5,00    | 0,2 | 0,2  | 0,2 | 0,1  | 0,1 | 0,1  | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   |
| 5,25    | 0,2 | 0,2  | 0,2 | 0,2  | 0,2 | 0,1  | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   |
| 5,50    | 0,2 | 0,2  | 0,2 | 0,2  | 0,2 | 0,2  | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   |
| 5,75    | 0,3 | 0,2  | 0,2 | 0,2  | 0,2 | 0,2  | 0,2 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   |
| 6,00    | 0,3 | 0,3  | 0,2 | 0,2  | 0,2 | 0,2  | 0,2 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   |
| 6,25    | 0,3 | 0,3  | 0,2 | 0,2  | 0,2 | 0,2  | 0,2 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   |
| 6,50    | 0,3 | 0,3  | 0,3 | 0,3  | 0,2 | 0,2  | 0,2 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   |
| 6,75    | 0,3 | 0,3  | 0,3 | 0,3  | 0,3 | 0,3  | 0,2 | 0,2   | 0,2 | 0,2   | 0,2 | 0,1   |
| 7,00    | 0,4 | 0,3  | 0,3 | 0,3  | 0,3 | 0,3  | 0,2 | 0,2   | 0,2 | 0,2   | 0,2 | 0,2   |
| 7,25    | 0,4 | 0,4  | 0,3 | 0,3  | 0,3 | 0,3  | 0,3 | 0,2   | 0,2 | 0,2   | 0,2 | 0,2   |
| 7,50    | 0,4 | 0,4  | 0,4 | 0,4  | 0,3 | 0,3  | 0,3 | 0,3   | 0,2 | 0,2   | 0,2 | 0,2   |
| 7,75    | 0,5 | 0,4  | 0,4 | 0,4  | 0,3 | 0,3  | 0,3 | 0,3   | 0,3 | 0,2   | 0,2 | 0,2   |
| 8,00    | 0,5 | 0,5  | 0,4 | 0,4  | 0,4 | 0,3  | 0,3 | 0,3   | 0,3 | 0,3   | 0,3 | 0,2   |
| 8,25    | 0,5 | 0,5  | 0,5 | 0,4  | 0,4 | 0,4  | 0,4 | 0,3   | 0,3 | 0,3   | 0,3 | 0,3   |
| 8,50    | 0,6 | 0,5  | 0,5 | 0,5  | 0,4 | 0,4  | 0,4 | 0,3   | 0,3 | 0,3   | 0,3 | 0,3   |
| 8,75    | 0,6 | 0,5  | 0,5 | 0,5  | 0,4 | 0,4  | 0,4 | 0,4   | 0,4 | 0,3   | 0,3 | 0,3   |
| 9,00    | 0,6 | 0,6  | 0,5 | 0,5  | 0,5 | 0,4  | 0,4 | 0,4   | 0,4 | 0,4   | 0,3 | 0,3   |
| 9,25    | 0,6 | 0,6  | 0,6 | 0,5  | 0,5 | 0,5  | 0,5 | 0,4   | 0,4 | 0,4   | 0,4 | 0,3   |
| 9,50    | 0,7 | 0,6  | 0,6 | 0,6  | 0,5 | 0,5  | 0,5 | 0,4   | 0,4 | 0,4   | 0,4 | 0,4   |
| 9,75    | 0,7 | 0,7  | 0,6 | 0,6  | 0,6 | 0,5  | 0,5 | 0,5   | 0,5 | 0,4   | 0,4 | 0,4   |
| 10,00   | 0,7 | 0,7  | 0,7 | 0,6  | 0,6 | 0,6  | 0,5 | 0,5   | 0,5 | 0,4   | 0,4 | 0,4   |
| 10,25   | 0,8 | 0,7  | 0,7 | 0,7  | 0,6 | 0,6  | 0,6 | 0,5   | 0,5 | 0,5   | 0,5 | 0,4   |
| 10,50   | 0,8 | 0,8  | 0,7 | 0,7  | 0,7 | 0,7  | 0,6 | 0,6   | 0,5 | 0,5   | 0,5 | 0,5   |
| 10,75   | 0,8 | 0,8  | 0,8 | 0,8  | 0,7 | 0,7  | 0,6 | 0,6   | 0,6 | 0,5   | 0,5 | 0,5   |
| 11,00   | 0,9 | 0,8  | 0,8 | 0,8  | 0,7 | 0,7  | 0,7 | 0,6   | 0,6 | 0,6   | 0,6 | 0,5   |
| 11,25   | 0,9 | 0,9  | 0,8 | 0,8  | 0,8 | 0,7  | 0,7 | 0,6   | 0,6 | 0,6   | 0,6 | 0,5   |
| 11,50   | 0,9 | 0,9  | 0,9 | 0,9  | 0,8 | 0,8  | 0,7 | 0,7   | 0,7 | 0,6   | 0,6 | 0,6   |
| 11,75   | 1,0 | 0,9  | 0,9 | 0,9  | 0,8 | 0,8  | 0,8 | 0,7   | 0,7 | 0,7   | 0,6 | 0,6   |
| 12,00   | 1,0 | 1,0  | 0,9 | 0,9  | 0,9 | 0,8  | 0,8 | 0,7   | 0,7 | 0,7   | 0,7 | 0,6   |
| 12,25   | 1,1 | 1,0  | 1,0 | 1,0  | 0,9 | 0,9  | 0,8 | 0,8   | 0,8 | 0,8   | 0,7 | 0,7   |
| 12,50   | 1,1 | 1,1  | 1,0 | 1,0  | 0,9 | 0,9  | 0,9 | 0,8   | 0,8 | 0,8   | 0,7 | 0,7   |
| 12,75   | 1,2 | 1,1  | 1,1 | 1,1  | 1,0 | 1,0  | 0,9 | 0,9   | 0,8 | 0,8   | 0,8 | 0,7   |
| 13,00   | 1,2 | 1,2  | 1,1 | 1,1  | 1,0 | 1,0  | 1,0 | 0,9   | 0,9 | 0,9   | 0,8 | 0,8   |

**Valores diários da Evapotranspiração Potencial não ajustada (mm para diferentes temperaturas médias (°C) e valores de "I" (cont.)**

| °C / l | 85  | 87,5 | 90  | 92,5 | 95  | 97,5 | 100 | 102,5 | 105 | 107,5 | 110 | 112,5 |
|--------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|
| 13,25  | 1,2 | 1,2  | 1,2 | 1,1  | 1,1 | 1,0  | 1,0 | 1,0   | 0,9 | 0,9   | 0,9 | 0,8   |
| 13,50  | 1,3 | 1,2  | 1,2 | 1,2  | 1,1 | 1,1  | 1,0 | 1,0   | 1,0 | 0,9   | 0,9 | 0,9   |
| 13,75  | 1,3 | 1,3  | 1,2 | 1,2  | 1,1 | 1,1  | 1,1 | 1,1   | 1,0 | 1,0   | 0,9 | 0,9   |
| 14,00  | 1,4 | 1,3  | 1,3 | 1,2  | 1,2 | 1,1  | 1,1 | 1,1   | 1,0 | 1,0   | 1,0 | 0,9   |
| 14,25  | 1,4 | 1,3  | 1,3 | 1,3  | 1,2 | 1,2  | 1,2 | 1,1   | 1,1 | 1,0   | 1,0 | 1,0   |
| 14,50  | 1,5 | 1,4  | 1,4 | 1,3  | 1,3 | 1,2  | 1,2 | 1,2   | 1,1 | 1,1   | 1,0 | 1,0   |
| 14,75  | 1,5 | 1,4  | 1,4 | 1,3  | 1,3 | 1,3  | 1,3 | 1,2   | 1,1 | 1,1   | 1,1 | 1,1   |
| 15,00  | 1,6 | 1,5  | 1,5 | 1,4  | 1,4 | 1,3  | 1,3 | 1,3   | 1,2 | 1,1   | 1,1 | 1,1   |
| 15,25  | 1,6 | 1,6  | 1,5 | 1,5  | 1,5 | 1,4  | 1,4 | 1,3   | 1,2 | 1,2   | 1,2 | 1,2   |
| 15,50  | 1,7 | 1,6  | 1,6 | 1,6  | 1,5 | 1,5  | 1,4 | 1,4   | 1,3 | 1,3   | 1,3 | 1,2   |
| 15,75  | 1,7 | 1,7  | 1,7 | 1,6  | 1,6 | 1,5  | 1,5 | 1,4   | 1,3 | 1,3   | 1,3 | 1,3   |
| 16,00  | 1,8 | 1,7  | 1,7 | 1,7  | 1,6 | 1,6  | 1,5 | 1,5   | 1,4 | 1,4   | 1,4 | 1,3   |
| 16,25  | 1,8 | 1,8  | 1,8 | 1,7  | 1,7 | 1,6  | 1,6 | 1,5   | 1,4 | 1,4   | 1,4 | 1,4   |
| 16,50  | 1,9 | 1,8  | 1,8 | 1,7  | 1,7 | 1,7  | 1,6 | 1,6   | 1,5 | 1,5   | 1,5 | 1,4   |
| 16,75  | 1,9 | 1,9  | 1,9 | 1,8  | 1,8 | 1,7  | 1,7 | 1,6   | 1,6 | 1,5   | 1,5 | 1,5   |
| 17,00  | 2,0 | 1,9  | 1,9 | 1,8  | 1,8 | 1,8  | 1,7 | 1,7   | 1,7 | 1,6   | 1,6 | 1,5   |
| 17,25  | 2,1 | 2,0  | 2,0 | 1,9  | 1,9 | 1,8  | 1,8 | 1,7   | 1,7 | 1,6   | 1,6 | 1,6   |
| 17,50  | 2,1 | 2,0  | 2,0 | 2,0  | 1,9 | 1,9  | 1,8 | 1,8   | 1,7 | 1,7   | 1,7 | 1,6   |
| 17,75  | 2,2 | 2,1  | 2,1 | 2,0  | 2,0 | 1,9  | 1,9 | 1,8   | 1,8 | 1,8   | 1,8 | 1,7   |
| 18,00  | 2,3 | 2,2  | 2,1 | 2,1  | 2,1 | 2,0  | 2,0 | 1,9   | 1,9 | 1,8   | 1,8 | 1,8   |
| 18,25  | 2,3 | 2,2  | 2,2 | 2,2  | 2,2 | 2,1  | 2,1 | 2,0   | 1,9 | 1,9   | 1,9 | 1,8   |
| 18,50  | 2,4 | 2,3  | 2,2 | 2,2  | 2,2 | 2,2  | 2,2 | 2,0   | 2,0 | 1,9   | 1,9 | 1,9   |
| 18,75  | 2,4 | 2,3  | 2,3 | 2,3  | 2,3 | 2,2  | 2,2 | 2,1   | 2,0 | 2,0   | 2,0 | 2,0   |
| 19,00  | 2,5 | 2,4  | 2,4 | 2,3  | 2,3 | 2,3  | 2,3 | 2,1   | 2,1 | 2,0   | 2,0 | 2,0   |
| 19,25  | 2,5 | 2,4  | 2,4 | 2,4  | 2,4 | 2,3  | 2,3 | 2,2   | 2,1 | 2,1   | 2,1 | 2,1   |
| 19,50  | 2,6 | 2,5  | 2,5 | 2,4  | 2,4 | 2,4  | 2,4 | 2,2   | 2,2 | 2,2   | 2,2 | 2,1   |
| 19,75  | 2,6 | 2,5  | 2,5 | 2,5  | 2,5 | 2,4  | 2,4 | 2,3   | 2,2 | 2,2   | 2,2 | 2,2   |
| 20,00  | 2,7 | 2,6  | 2,6 | 2,6  | 2,5 | 2,5  | 2,5 | 2,4   | 2,3 | 2,3   | 2,3 | 2,3   |
| 20,25  | 2,8 | 2,7  | 2,7 | 2,6  | 2,6 | 2,6  | 2,6 | 2,5   | 2,4 | 2,4   | 2,4 | 2,4   |
| 20,50  | 2,8 | 2,8  | 2,8 | 2,7  | 2,7 | 2,7  | 2,6 | 2,5   | 2,5 | 2,5   | 2,5 | 2,5   |
| 20,75  | 2,9 | 2,8  | 2,8 | 2,8  | 2,8 | 2,7  | 2,7 | 2,6   | 2,6 | 2,6   | 2,6 | 2,6   |
| 21,00  | 3,0 | 2,9  | 2,9 | 2,9  | 2,8 | 2,8  | 2,8 | 2,7   | 2,7 | 2,7   | 2,7 | 2,6   |
| 21,25  | 3,0 | 2,9  | 2,9 | 2,9  | 2,9 | 2,9  | 2,8 | 2,8   | 2,7 | 2,7   | 2,7 | 2,7   |
| 21,50  | 3,1 | 3,0  | 3,0 | 2,9  | 2,9 | 2,9  | 3,9 | 2,8   | 2,8 | 2,8   | 2,8 | 2,7   |
| 21,75  | 3,2 | 3,1  | 3,1 | 3,0  | 3,0 | 3,0  | 3,0 | 2,9   | 2,9 | 2,9   | 2,9 | 2,8   |
| 22,00  | 3,2 | 3,1  | 3,1 | 3,1  | 3,1 | 3,1  | 3,1 | 3,0   | 3,0 | 3,0   | 3,0 | 2,9   |
| 22,25  | 3,3 | 3,2  | 3,2 | 3,2  | 3,2 | 3,2  | 3,2 | 3,1   | 3,0 | 3,0   | 3,0 | 3,0   |
| 22,50  | 3,4 | 3,3  | 3,3 | 3,2  | 3,2 | 3,2  | 3,2 | 3,1   | 3,1 | 3,1   | 3,1 | 3,1   |
| 22,75  | 3,5 | 3,4  | 3,4 | 3,3  | 3,3 | 3,3  | 3,3 | 3,2   | 3,2 | 3,2   | 3,2 | 3,2   |
| 23,00  | 3,6 | 3,5  | 3,5 | 3,4  | 3,4 | 3,4  | 3,4 | 3,3   | 3,3 | 3,3   | 3,3 | 3,3   |
| 23,25  | 3,6 | 3,5  | 3,5 | 3,5  | 3,5 | 3,5  | 3,5 | 3,4   | 3,3 | 3,3   | 3,3 | 3,3   |
| 23,50  | 3,7 | 3,6  | 3,6 | 3,6  | 3,6 | 3,6  | 3,5 | 3,5   | 3,4 | 3,4   | 3,4 | 3,4   |
| 23,75  | 3,7 | 3,7  | 3,7 | 3,6  | 3,6 | 3,6  | 3,6 | 3,6   | 3,5 | 3,5   | 3,5 | 3,4   |
| 24,00  | 3,8 | 3,7  | 3,7 | 3,7  | 3,7 | 3,7  | 3,6 | 3,6   | 3,5 | 3,5   | 3,5 | 3,5   |
| 24,25  | 3,9 | 3,8  | 3,8 | 3,8  | 3,8 | 3,8  | 3,7 | 3,7   | 3,6 | 3,6   | 3,6 | 3,6   |
| 24,50  | 3,9 | 3,8  | 3,8 | 3,8  | 3,8 | 3,8  | 3,8 | 3,8   | 3,7 | 3,7   | 3,7 | 3,7   |
| 24,75  | 4,0 | 3,9  | 3,9 | 3,9  | 3,9 | 3,9  | 3,9 | 3,9   | 3,8 | 3,8   | 3,8 | 3,8   |
| 25,00  | 4,0 | 4,0  | 4,0 | 4,0  | 4,0 | 4,0  | 4,0 | 4,0   | 3,9 | 3,9   | 3,9 | 3,9   |
| 25,25  | 4,1 | 4,1  | 4,1 | 4,1  | 4,1 | 4,1  | 4,1 | 4,1   | 4,0 | 4,0   | 4,0 | 4,0   |
| 25,50  | 4,2 | 4,2  | 4,2 | 4,2  | 4,2 | 4,2  | 4,2 | 4,2   | 4,1 | 4,1   | 4,1 | 4,1   |
| 25,75  | 4,3 | 4,3  | 4,3 | 4,3  | 4,3 | 4,3  | 4,3 | 4,3   | 4,2 | 4,2   | 4,2 | 4,2   |
| 26,00  | 4,4 | 4,4  | 4,4 | 4,4  | 4,4 | 4,4  | 4,4 | 4,4   | 4,3 | 4,3   | 4,3 | 4,3   |
| 26,25  | 4,5 | 4,5  | 4,5 | 4,5  | 4,5 | 4,5  | 4,5 | 4,5   | 4,4 | 4,4   | 4,4 | 4,4   |
| 26,50  | 4,5 | 4,5  | 4,5 | 4,5  | 4,5 | 4,5  | 4,5 | 4,5   | 4,5 | 4,5   | 4,5 | 4,5   |

**Valores diários da Evapotranspiração Potencial não ajustada (mm)  
para diferentes temperaturas médias (°C) e valores de "I" (cont.)**

| T°C / I | 115 | 117,5 | 120 | 122,5 | 125 | 127,5 | 130 | 132,5 | 135 | 137,5 | 140 |
|---------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
| 0,00    | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 |
| 0,25    | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 |
| 0,50    | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 |
| 0,75    | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 |
| 1,00    | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 |
| 1,25    | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 |
| 1,50    | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 |
| 1,75    | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 |
| 2,00    | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 |
| 2,25    | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 |
| 2,50    | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 |
| 2,75    | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 |
| 3,00    | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 |
| 3,25    | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 |
| 3,50    | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 |
| 3,75    | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 |
| 4,00    | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 |
| 4,25    | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 |
| 4,50    | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 |
| 4,75    | 0,1 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 |
| 5,00    | 0,1 | 0,1   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 |
| 5,25    | 0,1 | 0,1   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 |
| 5,50    | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 |
| 5,75    | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,0 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 |
| 6,00    | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,0   | 0,0 | 0,0   | 0,0 |
| 6,25    | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,0 | 0,0   | 0,0 |
| 6,50    | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,0 | 0,0   | 0,0 |
| 6,75    | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,0 |
| 7,00    | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,0 |
| 7,25    | 0,2 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,1 |
| 7,50    | 0,2 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,1 |
| 7,75    | 0,2 | 0,2   | 0,2 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,1 |
| 8,00    | 0,2 | 0,2   | 0,2 | 0,2   | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,1 |
| 8,25    | 0,2 | 0,2   | 0,2 | 0,2   | 0,2 | 0,2   | 0,1 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,1 |
| 8,50    | 0,3 | 0,2   | 0,2 | 0,2   | 0,2 | 0,2   | 0,2 | 0,1   | 0,1 | 0,1   | 0,1 |
| 8,75    | 0,3 | 0,2   | 0,2 | 0,2   | 0,2 | 0,2   | 0,2 | 0,2   | 0,1 | 0,1   | 0,1 |
| 9,00    | 0,3 | 0,3   | 0,2 | 0,2   | 0,2 | 0,2   | 0,2 | 0,2   | 0,1 | 0,1   | 0,1 |
| 9,25    | 0,3 | 0,3   | 0,3 | 0,2   | 0,2 | 0,2   | 0,2 | 0,2   | 0,1 | 0,1   | 0,1 |
| 9,50    | 0,3 | 0,3   | 0,3 | 0,2   | 0,2 | 0,2   | 0,2 | 0,2   | 0,2 | 0,2   | 0,1 |
| 9,75    | 0,4 | 0,3   | 0,3 | 0,3   | 0,3 | 0,2   | 0,2 | 0,2   | 0,2 | 0,2   | 0,2 |
| 10,00   | 0,4 | 0,3   | 0,3 | 0,3   | 0,3 | 0,3   | 0,2 | 0,2   | 0,2 | 0,2   | 0,2 |
| 10,25   | 0,4 | 0,4   | 0,3 | 0,3   | 0,3 | 0,3   | 0,3 | 0,2   | 0,2 | 0,2   | 0,2 |
| 10,50   | 0,4 | 0,4   | 0,4 | 0,3   | 0,3 | 0,3   | 0,3 | 0,3   | 0,2 | 0,2   | 0,2 |
| 10,75   | 0,5 | 0,4   | 0,4 | 0,4   | 0,4 | 0,4   | 0,3 | 0,3   | 0,2 | 0,2   | 0,2 |
| 11,00   | 0,5 | 0,5   | 0,4 | 0,4   | 0,4 | 0,4   | 0,3 | 0,3   | 0,3 | 0,2   | 0,2 |
| 11,25   | 0,5 | 0,5   | 0,4 | 0,4   | 0,4 | 0,4   | 0,4 | 0,3   | 0,3 | 0,3   | 0,3 |
| 11,50   | 0,5 | 0,5   | 0,5 | 0,4   | 0,4 | 0,4   | 0,4 | 0,3   | 0,3 | 0,3   | 0,3 |
| 11,75   | 0,6 | 0,5   | 0,5 | 0,4   | 0,4 | 0,4   | 0,4 | 0,4   | 0,3 | 0,3   | 0,3 |
| 12,00   | 0,6 | 0,5   | 0,5 | 0,5   | 0,5 | 0,5   | 0,4 | 0,4   | 0,3 | 0,3   | 0,3 |
| 12,25   | 0,6 | 0,6   | 0,6 | 0,5   | 0,5 | 0,5   | 0,5 | 0,4   | 0,4 | 0,3   | 0,3 |
| 12,50   | 0,7 | 0,6   | 0,6 | 0,5   | 0,5 | 0,5   | 0,5 | 0,5   | 0,4 | 0,4   | 0,4 |
| 12,75   | 0,7 | 0,6   | 0,6 | 0,6   | 0,6 | 0,6   | 0,5 | 0,5   | 0,4 | 0,4   | 0,4 |
| 13,00   | 0,7 | 0,7   | 0,7 | 0,6   | 0,6 | 0,6   | 0,6 | 0,5   | 0,5 | 0,4   | 0,4 |



**Valores diários da Evapotranspiração Potencial não ajustada (mm)  
para diferentes temperaturas médias (°C) e valores de "I" (cont.)**

| °C / l | 115 | 117,5 | 120 | 122,5 | 125 | 127,5 | 130 | 132,5 | 135 | 137,5 | 140 |
|--------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
| 13,25  | 0,7 | 0,7   | 0,7 | 0,6   | 0,6 | 0,6   | 0,6 | 0,6   | 0,5 | 0,5   | 0,5 |
| 13,50  | 0,8 | 0,8   | 0,7 | 0,7   | 0,7 | 0,6   | 0,6 | 0,6   | 0,5 | 0,5   | 0,5 |
| 13,75  | 0,8 | 0,8   | 0,8 | 0,7   | 0,7 | 0,7   | 0,6 | 0,6   | 0,6 | 0,5   | 0,5 |
| 14,00  | 0,8 | 0,8   | 0,8 | 0,7   | 0,7 | 0,7   | 0,7 | 0,6   | 0,6 | 0,5   | 0,5 |
| 14,25  | 0,9 | 0,9   | 0,8 | 0,8   | 0,8 | 0,7   | 0,7 | 0,7   | 0,6 | 0,5   | 0,5 |
| 14,50  | 0,9 | 0,9   | 0,9 | 0,8   | 0,8 | 0,8   | 0,7 | 0,7   | 0,6 | 0,6   | 0,6 |
| 14,75  | 1,0 | 1,0   | 0,9 | 0,9   | 0,8 | 0,8   | 0,8 | 0,7   | 0,7 | 0,6   | 0,6 |
| 15,00  | 1,0 | 1,0   | 1,0 | 0,9   | 0,9 | 0,9   | 0,8 | 0,8   | 0,7 | 0,7   | 0,7 |
| 15,25  | 1,1 | 1,1   | 1,0 | 1,0   | 0,9 | 0,9   | 0,9 | 0,8   | 0,8 | 0,7   | 0,7 |
| 15,50  | 1,2 | 1,1   | 1,1 | 1,0   | 1,0 | 1,0   | 0,9 | 0,9   | 0,8 | 0,8   | 0,8 |
| 15,75  | 1,2 | 1,1   | 1,1 | 1,1   | 1,1 | 1,0   | 1,0 | 0,9   | 0,9 | 0,8   | 0,8 |
| 16,00  | 1,3 | 1,2   | 1,2 | 1,1   | 1,1 | 1,1   | 1,0 | 1,0   | 0,9 | 0,9   | 0,9 |
| 16,25  | 1,3 | 1,2   | 1,2 | 1,2   | 1,1 | 1,1   | 1,1 | 1,0   | 1,0 | 0,9   | 0,9 |
| 16,50  | 1,4 | 1,3   | 1,2 | 1,2   | 1,2 | 1,1   | 1,1 | 1,1   | 1,0 | 0,9   | 0,9 |
| 16,75  | 1,4 | 1,3   | 1,3 | 1,2   | 1,2 | 1,2   | 1,2 | 1,1   | 1,0 | 1,0   | 1,0 |
| 17,00  | 1,5 | 1,4   | 1,3 | 1,3   | 1,3 | 1,3   | 1,2 | 1,2   | 1,1 | 1,0   | 1,0 |
| 17,25  | 1,6 | 1,5   | 1,4 | 1,3   | 1,3 | 1,3   | 1,3 | 1,2   | 1,2 | 1,1   | 1,1 |
| 17,50  | 1,6 | 1,5   | 1,5 | 1,4   | 1,4 | 1,4   | 1,3 | 1,3   | 1,2 | 1,2   | 1,2 |
| 17,75  | 1,7 | 1,6   | 1,5 | 1,5   | 1,5 | 1,4   | 1,4 | 1,4   | 1,3 | 1,2   | 1,2 |
| 18,00  | 1,8 | 1,7   | 1,6 | 1,5   | 1,5 | 1,5   | 1,5 | 1,5   | 1,4 | 1,3   | 1,3 |
| 18,25  | 1,8 | 1,7   | 1,6 | 1,6   | 1,6 | 1,6   | 1,5 | 1,5   | 1,4 | 1,4   | 1,4 |
| 18,50  | 1,9 | 1,8   | 1,7 | 1,6   | 1,6 | 1,6   | 1,6 | 1,6   | 1,5 | 1,4   | 1,4 |
| 18,75  | 1,9 | 1,8   | 1,8 | 1,7   | 1,7 | 1,7   | 1,6 | 1,6   | 1,5 | 1,5   | 1,5 |
| 19,00  | 1,9 | 1,8   | 1,8 | 1,7   | 1,7 | 1,7   | 1,7 | 1,7   | 1,6 | 1,5   | 1,5 |
| 19,25  | 2,0 | 1,9   | 1,9 | 1,8   | 1,8 | 1,8   | 1,7 | 1,7   | 1,7 | 1,6   | 1,6 |
| 19,50  | 2,1 | 2,0   | 1,9 | 1,9   | 1,9 | 1,9   | 1,8 | 1,8   | 1,7 | 1,7   | 1,6 |
| 19,75  | 2,2 | 2,0   | 2,0 | 1,9   | 1,9 | 1,9   | 1,9 | 1,9   | 1,8 | 1,8   | 1,7 |
| 20,00  | 2,2 | 2,1   | 2,1 | 2,0   | 2,0 | 2,0   | 2,0 | 2,0   | 1,9 | 1,9   | 1,8 |
| 20,25  | 2,3 | 2,2   | 2,2 | 2,1   | 2,1 | 2,1   | 2,1 | 2,1   | 2,0 | 2,0   | 1,9 |
| 20,50  | 2,4 | 2,3   | 2,3 | 2,2   | 2,2 | 2,2   | 2,2 | 2,2   | 2,1 | 2,1   | 2,0 |
| 20,75  | 2,5 | 2,4   | 2,3 | 2,3   | 2,3 | 2,3   | 2,3 | 2,2   | 2,2 | 2,1   | 2,1 |
| 21,00  | 2,6 | 2,5   | 2,4 | 2,4   | 2,3 | 2,3   | 2,3 | 2,3   | 2,2 | 2,2   | 2,2 |
| 21,25  | 2,7 | 2,6   | 2,5 | 2,4   | 2,4 | 2,4   | 2,4 | 2,3   | 2,3 | 2,3   | 2,3 |
| 21,50  | 2,7 | 2,6   | 2,5 | 2,5   | 2,4 | 2,4   | 2,4 | 2,4   | 2,3 | 2,3   | 2,3 |
| 21,75  | 2,8 | 2,7   | 2,6 | 2,5   | 2,5 | 2,5   | 2,5 | 2,5   | 2,4 | 2,4   | 2,4 |
| 22,00  | 2,9 | 2,8   | 2,7 | 2,6   | 2,6 | 2,6   | 2,6 | 2,6   | 2,6 | 2,5   | 2,5 |
| 22,25  | 3,0 | 2,9   | 2,8 | 2,7   | 2,7 | 2,7   | 2,7 | 2,7   | 2,7 | 2,6   | 2,6 |
| 22,50  | 3,1 | 3,0   | 2,9 | 2,8   | 2,8 | 2,8   | 2,8 | 2,8   | 2,8 | 2,7   | 2,7 |
| 22,75  | 3,2 | 3,1   | 3,0 | 2,9   | 2,9 | 2,9   | 2,9 | 2,9   | 2,9 | 2,8   | 2,8 |
| 23,00  | 3,3 | 3,2   | 3,1 | 3,0   | 3,0 | 3,0   | 3,0 | 3,0   | 3,0 | 2,9   | 2,9 |
| 23,25  | 3,3 | 3,3   | 3,2 | 3,1   | 3,1 | 3,1   | 3,1 | 3,1   | 3,1 | 3,0   | 3,0 |
| 23,50  | 3,4 | 3,4   | 3,3 | 3,2   | 3,2 | 3,2   | 3,2 | 3,2   | 3,2 | 3,1   | 3,1 |
| 23,75  | 3,5 | 3,5   | 3,4 | 3,3   | 3,3 | 3,3   | 3,3 | 3,3   | 3,2 | 3,2   | 3,1 |
| 24,00  | 3,5 | 3,5   | 3,4 | 3,3   | 3,3 | 3,3   | 3,3 | 3,3   | 3,3 | 3,3   | 3,2 |
| 24,25  | 3,6 | 3,6   | 3,5 | 3,4   | 3,4 | 3,4   | 3,4 | 3,4   | 3,4 | 3,4   | 3,3 |
| 24,50  | 3,7 | 3,7   | 3,6 | 3,5   | 3,5 | 3,5   | 3,5 | 3,5   | 3,5 | 3,5   | 3,4 |
| 24,75  | 3,8 | 3,8   | 3,7 | 3,6   | 3,6 | 3,6   | 3,6 | 3,6   | 3,6 | 3,6   | 3,5 |
| 25,00  | 3,9 | 3,9   | 3,8 | 3,8   | 3,8 | 3,8   | 3,8 | 3,8   | 3,8 | 3,8   | 3,7 |
| 25,25  | 4,0 | 4,0   | 3,9 | 3,9   | 3,9 | 3,9   | 3,9 | 3,9   | 3,9 | 3,9   | 3,8 |
| 25,50  | 4,1 | 4,1   | 4,0 | 4,0   | 4,0 | 4,0   | 4,0 | 4,0   | 4,0 | 4,0   | 3,9 |
| 25,75  | 4,2 | 4,2   | 4,2 | 4,2   | 4,2 | 4,2   | 4,2 | 4,2   | 4,2 | 4,2   | 4,1 |
| 26,00  | 4,3 | 4,3   | 4,3 | 4,3   | 4,3 | 4,3   | 4,3 | 4,3   | 4,3 | 4,3   | 4,2 |
| 26,25  | 4,4 | 4,4   | 4,4 | 4,4   | 4,4 | 4,4   | 4,4 | 4,4   | 4,4 | 4,4   | 4,3 |
| 26,50  | 4,5 | 4,5   | 4,5 | 4,5   | 4,5 | 4,5   | 4,5 | 4,5   | 4,5 | 4,5   | 4,4 |

## ANEXO C- CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL PELO MÉTODO DETHORNTHWAITE

**4 - Valores diários da Evapotranspiração Potencial não ajustada para  
temperaturas médias superiores a 26,5°C**

|    | 0   | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 26 |     |     |     |     |     | 4,5 | 4,5 | 4,6 | 4,6 | 4,6 |
| 27 | 4,6 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 4,8 | 4,8 | 4,8 | 4,8 | 4,9 | 4,9 |
| 28 | 4,9 | 5   | 5   | 5   | 5   | 5,1 | 5,1 | 5,1 | 5,1 | 5,2 |
| 29 | 5,2 | 5,2 | 5,2 | 5,2 | 5,3 | 5,3 | 5,3 | 5,3 | 5,4 | 5,4 |
| 30 | 5,4 | 5,4 | 5,4 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,6 | 5,6 |
| 31 | 5,6 | 5,6 | 5,6 | 5,6 | 5,7 | 5,7 | 5,7 | 5,7 | 5,7 | 5,8 |
| 32 | 5,8 | 5,8 | 5,8 | 5,8 | 5,8 | 5,8 | 5,9 | 5,9 | 5,9 | 5,9 |
| 33 | 5,9 | 5,9 | 5,9 | 5,9 | 6   | 6   | 6   | 6   | 6   | 6   |
| 34 | 6   | 6   | 6   | 6   | 6,1 | 6,1 | 6,1 | 6,1 | 6,1 | 6,1 |
| 35 | 6,1 | 6,1 | 6,1 | 6,1 | 6,1 | 6,1 | 6,1 | 6,1 | 6,1 | 6,1 |
| 36 | 6,1 | 6,1 | 6,2 | 6,2 | 6,2 | 6,2 | 6,2 | 6,2 | 6,2 | 6,2 |
| 37 | 6,2 | 6,2 | 6,2 | 6,2 | 6,2 | 6,2 | 6,2 | 6,2 | 6,2 | 6,2 |
| 38 | 6,2 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |

**FONTE: C.W. Thornthwaite e Mather (1957)**

**ANEXO C - CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL  
PELO MÉTODO DE TTHORNTHWAITE**

**5 - Duração média possível expressa em unidades de 12 horas  
(Hemisfério Norte)**

| LAT/MESES | JAN  | FEV  | MAR  | ABR  | MAI  | JUN  | JUL  | AGO  | SET  | OUT  | NOV  | DEZ  |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0         | 31,2 | 28,2 | 31,2 | 30,3 | 31,2 | 30,3 | 31,2 | 31,2 | 30,3 | 31,2 | 30,3 | 31,2 |
| 1         | 31,2 | 28,2 | 31,2 | 30,3 | 31,2 | 30,3 | 31,2 | 31,2 | 30,3 | 31,2 | 30,3 | 31,2 |
| 2         | 31,2 | 28,2 | 31,2 | 30,3 | 31,5 | 30,6 | 31,2 | 31,2 | 30,3 | 31,2 | 30,0 | 30,9 |
| 3         | 30,9 | 28,2 | 30,9 | 30,3 | 31,5 | 30,6 | 31,5 | 31,2 | 30,3 | 31,2 | 30,0 | 30,9 |
| 4         | 30,9 | 27,9 | 30,9 | 30,6 | 31,8 | 30,9 | 31,5 | 31,5 | 30,3 | 30,9 | 30,0 | 30,6 |
| 5         | 30,6 | 27,9 | 30,9 | 30,6 | 31,8 | 30,9 | 31,8 | 31,5 | 30,3 | 30,9 | 29,7 | 30,6 |
| 6         | 30,6 | 27,9 | 30,9 | 30,6 | 31,8 | 31,2 | 31,8 | 31,5 | 30,3 | 30,9 | 29,7 | 30,3 |
| 7         | 30,3 | 27,6 | 30,9 | 30,6 | 32,1 | 31,2 | 32,1 | 31,8 | 30,3 | 30,9 | 29,7 | 30,3 |
| 8         | 30,3 | 27,6 | 30,9 | 30,9 | 32,1 | 31,5 | 32,1 | 31,8 | 30,6 | 30,6 | 29,4 | 30,0 |
| 9         | 30,0 | 27,6 | 30,9 | 30,9 | 32,4 | 31,5 | 32,4 | 31,8 | 30,6 | 30,6 | 29,4 | 30,0 |
| 10        | 30,0 | 27,3 | 30,9 | 30,9 | 32,4 | 31,8 | 32,4 | 32,1 | 30,6 | 30,6 | 29,4 | 29,7 |
| 11        | 29,7 | 27,3 | 30,9 | 30,9 | 32,7 | 31,8 | 32,7 | 32,1 | 30,6 | 30,6 | 29,1 | 29,7 |
| 12        | 29,7 | 27,3 | 30,9 | 31,2 | 32,7 | 32,1 | 33,0 | 32,1 | 30,6 | 30,3 | 29,1 | 29,4 |
| 13        | 29,4 | 27,3 | 30,9 | 31,2 | 33,0 | 32,1 | 33,0 | 32,4 | 30,6 | 30,3 | 28,8 | 29,4 |
| 14        | 29,4 | 27,3 | 30,9 | 31,2 | 33,0 | 32,4 | 33,3 | 32,4 | 30,6 | 30,3 | 28,8 | 29,1 |
| 15        | 29,1 | 27,3 | 30,9 | 31,2 | 33,3 | 32,4 | 33,6 | 32,4 | 30,6 | 30,3 | 28,5 | 29,1 |
| 16        | 29,1 | 27,3 | 30,9 | 31,2 | 33,3 | 32,7 | 33,6 | 32,7 | 30,6 | 30,3 | 28,5 | 28,8 |
| 17        | 28,8 | 27,3 | 30,9 | 31,5 | 33,6 | 32,7 | 33,9 | 32,7 | 30,6 | 30,0 | 28,2 | 28,8 |
| 18        | 28,8 | 27,0 | 30,9 | 31,5 | 33,6 | 33,0 | 33,9 | 33,0 | 30,6 | 30,0 | 28,2 | 28,5 |
| 19        | 28,5 | 27,0 | 30,9 | 31,5 | 33,9 | 33,0 | 34,2 | 33,0 | 30,6 | 30,0 | 27,9 | 28,5 |
| 20        | 28,5 | 27,0 | 30,9 | 31,5 | 33,9 | 33,3 | 34,2 | 33,3 | 30,6 | 30,0 | 27,9 | 28,2 |
| 21        | 28,2 | 27,0 | 30,9 | 31,5 | 33,9 | 33,3 | 34,5 | 33,3 | 30,6 | 30,0 | 27,6 | 28,2 |
| 22        | 28,2 | 26,7 | 30,9 | 31,8 | 34,2 | 33,6 | 34,5 | 33,3 | 30,6 | 29,7 | 27,6 | 27,9 |
| 23        | 27,9 | 26,7 | 30,9 | 31,8 | 34,2 | 33,9 | 34,8 | 33,6 | 30,6 | 29,7 | 27,6 | 27,6 |
| 24        | 27,9 | 26,7 | 30,9 | 31,8 | 34,5 | 34,2 | 34,8 | 33,6 | 30,6 | 29,7 | 27,3 | 27,6 |
| 25        | 27,9 | 26,7 | 30,9 | 31,8 | 34,5 | 34,2 | 35,1 | 33,6 | 30,6 | 29,7 | 27,3 | 27,3 |
| 26        | 27,6 | 26,4 | 30,9 | 32,1 | 34,8 | 34,5 | 35,1 | 33,6 | 30,6 | 29,7 | 27,3 | 27,3 |
| 27        | 27,6 | 26,4 | 30,9 | 32,1 | 34,8 | 34,5 | 35,4 | 33,9 | 30,6 | 29,7 | 27,0 | 27,0 |
| 28        | 27,3 | 26,4 | 30,9 | 32,1 | 35,1 | 34,8 | 35,4 | 33,9 | 30,9 | 29,4 | 27,0 | 27,0 |
| 29        | 27,3 | 26,1 | 30,9 | 32,1 | 35,1 | 34,8 | 35,7 | 33,9 | 30,9 | 29,4 | 26,7 | 26,7 |
| 30        | 27,0 | 26,1 | 30,9 | 32,4 | 35,4 | 35,1 | 36,0 | 34,2 | 30,9 | 29,4 | 26,7 | 26,4 |
| 31        | 27,0 | 26,1 | 30,9 | 32,4 | 35,4 | 35,1 | 36,0 | 34,2 | 30,9 | 29,4 | 26,4 | 26,4 |
| 32        | 26,7 | 25,8 | 30,9 | 32,4 | 35,7 | 35,4 | 36,3 | 34,5 | 30,9 | 29,4 | 26,4 | 26,1 |
| 33        | 26,4 | 25,8 | 30,9 | 32,7 | 35,7 | 35,7 | 36,3 | 34,5 | 30,9 | 29,1 | 26,1 | 25,8 |
| 34        | 26,4 | 25,8 | 30,9 | 32,7 | 36,0 | 36,0 | 36,6 | 34,8 | 30,9 | 29,1 | 26,1 | 25,8 |
| 35        | 26,1 | 25,5 | 30,9 | 32,7 | 36,3 | 36,3 | 36,9 | 34,8 | 30,9 | 29,1 | 25,8 | 25,5 |
| 36        | 26,1 | 25,5 | 30,9 | 33,0 | 36,3 | 36,6 | 37,2 | 34,8 | 30,9 | 29,1 | 25,8 | 25,2 |
| 37        | 25,8 | 25,5 | 30,9 | 33,0 | 36,6 | 36,9 | 37,5 | 35,1 | 30,9 | 29,1 | 25,5 | 24,9 |
| 38        | 25,5 | 25,2 | 30,9 | 33,0 | 36,9 | 37,2 | 37,5 | 35,1 | 31,2 | 28,8 | 25,2 | 24,9 |
| 39        | 25,5 | 25,2 | 30,9 | 33,3 | 36,9 | 37,2 | 37,8 | 35,4 | 31,2 | 28,8 | 25,2 | 24,6 |
| 40        | 25,2 | 24,9 | 30,9 | 33,3 | 37,2 | 37,5 | 38,1 | 35,4 | 31,2 | 28,8 | 24,9 | 24,3 |
| 41        | 24,9 | 24,9 | 30,9 | 33,3 | 37,5 | 37,8 | 38,1 | 35,7 | 31,2 | 28,8 | 24,6 | 24,0 |
| 42        | 24,6 | 24,6 | 30,9 | 33,6 | 37,8 | 38,1 | 38,4 | 35,7 | 31,2 | 28,5 | 24,6 | 23,7 |
| 43        | 24,3 | 24,6 | 30,6 | 33,6 | 37,8 | 38,4 | 38,7 | 36,0 | 31,2 | 28,5 | 24,3 | 23,1 |
| 44        | 24,3 | 24,3 | 30,6 | 33,6 | 38,1 | 38,7 | 39,0 | 36,0 | 31,2 | 28,5 | 24,0 | 22,8 |
| 45        | 24,0 | 24,3 | 30,6 | 33,9 | 38,4 | 38,7 | 39,3 | 36,3 | 31,2 | 28,2 | 23,7 | 22,5 |
| 46        | 23,7 | 24,0 | 30,6 | 33,9 | 38,7 | 39,0 | 39,6 | 36,6 | 31,2 | 28,2 | 23,7 | 22,2 |
| 47        | 23,1 | 24,0 | 30,6 | 34,2 | 39,0 | 39,6 | 39,9 | 36,6 | 31,5 | 27,9 | 23,4 | 21,9 |
| 48        | 22,8 | 23,7 | 30,6 | 34,2 | 39,3 | 39,9 | 40,2 | 36,9 | 31,5 | 27,9 | 23,1 | 21,6 |
| 49        | 22,5 | 23,7 | 30,6 | 34,5 | 39,6 | 40,2 | 40,5 | 37,2 | 31,5 | 27,6 | 22,8 | 21,3 |
| 50        | 22,2 | 23,4 | 30,6 | 34,5 | 39,9 | 40,8 | 41,1 | 37,5 | 31,8 | 27,6 | 22,8 | 21,0 |

**6 - Duração média possível expressa em unidades de 12 horas  
(Hemisfério Sul)**

| <b>LAT/MESES</b> | <b>JAN</b> | <b>FEV</b> | <b>MAR</b> | <b>ABR</b> | <b>MAI</b> | <b>JUN</b> | <b>JUL</b> | <b>AGO</b> | <b>SET</b> | <b>OUT</b> | <b>NOV</b> | <b>DEZ</b> |
|------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>0</b>         | 31,2       | 28,2       | 31,2       | 30,3       | 31,2       | 30,3       | 31,2       | 31,2       | 30,3       | 31,2       | 30,3       | 31,2       |
| <b>1</b>         | 31,2       | 28,2       | 31,2       | 30,3       | 31,2       | 30,3       | 31,2       | 31,2       | 30,3       | 31,2       | 30,3       | 31,2       |
| <b>2</b>         | 31,5       | 28,2       | 31,2       | 30,3       | 30,9       | 30,0       | 31,2       | 31,2       | 30,3       | 31,2       | 30,6       | 31,5       |
| <b>3</b>         | 31,5       | 28,5       | 31,2       | 30,0       | 30,9       | 30,0       | 30,9       | 31,2       | 33,0       | 31,2       | 30,6       | 31,5       |
| <b>4</b>         | 31,8       | 28,5       | 31,2       | 30,0       | 30,9       | 29,7       | 30,9       | 30,9       | 33,0       | 31,5       | 30,6       | 31,8       |
| <b>5</b>         | 31,8       | 28,5       | 31,2       | 30,0       | 30,6       | 29,7       | 30,6       | 30,9       | 33,0       | 31,5       | 30,9       | 31,8       |
| <b>6</b>         | 31,8       | 28,5       | 31,2       | 30,0       | 30,6       | 29,4       | 30,6       | 30,9       | 33,0       | 31,5       | 30,9       | 32,1       |
| <b>7</b>         | 32,1       | 28,8       | 31,2       | 30,0       | 30,6       | 29,4       | 30,3       | 30,6       | 33,0       | 31,5       | 30,9       | 32,4       |
| <b>8</b>         | 32,1       | 28,8       | 31,5       | 29,7       | 30,3       | 29,1       | 30,3       | 30,6       | 33,0       | 31,8       | 31,2       | 32,4       |
| <b>9</b>         | 32,4       | 29,1       | 31,5       | 29,7       | 30,3       | 29,1       | 30,0       | 30,6       | 33,0       | 31,8       | 31,2       | 32,7       |
| <b>10</b>        | 32,4       | 29,1       | 31,5       | 29,7       | 30,3       | 28,8       | 30,0       | 30,3       | 33,0       | 31,8       | 31,5       | 33,0       |
| <b>11</b>        | 32,7       | 29,1       | 31,5       | 29,7       | 30,0       | 28,8       | 29,7       | 30,3       | 33,0       | 31,8       | 31,5       | 33,0       |
| <b>12</b>        | 32,7       | 29,1       | 31,5       | 29,7       | 30,0       | 28,5       | 29,7       | 30,3       | 33,0       | 31,8       | 31,8       | 33,3       |
| <b>13</b>        | 33,0       | 29,4       | 31,5       | 29,4       | 29,7       | 28,5       | 29,4       | 30,0       | 33,0       | 32,1       | 31,8       | 33,3       |
| <b>14</b>        | 33,3       | 29,4       | 31,5       | 29,4       | 29,7       | 28,2       | 29,4       | 30,0       | 33,0       | 32,1       | 32,1       | 33,6       |
| <b>15</b>        | 33,6       | 29,4       | 31,5       | 29,4       | 29,4       | 28,2       | 29,1       | 30,0       | 33,0       | 32,1       | 32,1       | 33,6       |
| <b>16</b>        | 33,6       | 29,7       | 31,5       | 29,4       | 29,4       | 27,9       | 29,1       | 29,7       | 33,0       | 32,1       | 32,1       | 33,9       |
| <b>17</b>        | 33,9       | 29,7       | 31,5       | 29,4       | 29,1       | 27,9       | 28,8       | 29,7       | 33,0       | 32,1       | 32,4       | 33,9       |
| <b>18</b>        | 33,9       | 29,7       | 31,5       | 29,1       | 29,1       | 27,6       | 28,8       | 29,7       | 33,0       | 32,4       | 32,4       | 34,2       |
| <b>19</b>        | 34,2       | 30,0       | 31,5       | 29,1       | 28,8       | 27,6       | 28,5       | 29,7       | 33,0       | 32,4       | 32,7       | 34,2       |
| <b>20</b>        | 34,2       | 30,0       | 31,5       | 29,1       | 28,8       | 27,3       | 28,5       | 29,7       | 33,0       | 32,4       | 32,7       | 34,5       |
| <b>21</b>        | 34,5       | 30,0       | 31,5       | 29,1       | 28,8       | 27,3       | 28,2       | 29,7       | 33,0       | 32,4       | 32,7       | 34,5       |
| <b>22</b>        | 34,5       | 30,0       | 31,5       | 29,1       | 28,5       | 27,0       | 28,2       | 29,4       | 33,0       | 32,7       | 33,0       | 34,8       |
| <b>23</b>        | 34,8       | 30,3       | 31,5       | 28,8       | 28,5       | 26,7       | 27,9       | 29,4       | 33,0       | 32,7       | 33,0       | 35,1       |
| <b>24</b>        | 35,1       | 30,3       | 31,5       | 28,8       | 28,2       | 26,7       | 27,9       | 29,4       | 33,0       | 32,7       | 33,3       | 35,1       |
| <b>25</b>        | 35,1       | 30,3       | 31,5       | 28,8       | 28,2       | 26,4       | 27,9       | 29,4       | 33,0       | 33,0       | 33,3       | 35,4       |
| <b>26</b>        | 35,4       | 30,6       | 31,5       | 28,8       | 28,2       | 26,4       | 27,6       | 29,1       | 33,0       | 33,0       | 33,6       | 35,4       |
| <b>27</b>        | 35,4       | 30,6       | 31,5       | 28,8       | 27,9       | 26,1       | 27,6       | 29,1       | 33,0       | 33,3       | 33,6       | 35,7       |
| <b>28</b>        | 35,7       | 30,6       | 31,8       | 28,5       | 27,9       | 25,8       | 27,3       | 29,1       | 33,0       | 33,3       | 33,9       | 36,0       |
| <b>29</b>        | 35,7       | 30,9       | 31,8       | 28,5       | 27,6       | 25,8       | 27,3       | 28,8       | 33,0       | 33,3       | 33,9       | 36,0       |
| <b>30</b>        | 36,0       | 30,9       | 31,8       | 28,5       | 27,6       | 25,5       | 27,0       | 28,8       | 33,0       | 33,6       | 34,2       | 36,3       |
| <b>31</b>        | 36,3       | 30,9       | 31,8       | 28,5       | 27,3       | 25,2       | 27,0       | 28,8       | 33,0       | 33,6       | 34,5       | 36,6       |
| <b>32</b>        | 36,3       | 30,9       | 31,8       | 28,5       | 27,3       | 25,2       | 26,7       | 28,5       | 33,0       | 33,6       | 34,5       | 36,9       |
| <b>33</b>        | 36,6       | 31,2       | 31,8       | 28,2       | 27,0       | 24,9       | 26,4       | 28,5       | 33,0       | 33,9       | 34,8       | 36,9       |
| <b>34</b>        | 36,6       | 31,2       | 31,8       | 28,2       | 27,0       | 24,9       | 26,4       | 28,5       | 33,0       | 33,9       | 34,8       | 37,2       |
| <b>35</b>        | 36,9       | 31,2       | 31,8       | 28,2       | 26,7       | 24,6       | 26,1       | 28,2       | 33,0       | 33,9       | 35,1       | 37,5       |
| <b>36</b>        | 37,2       | 31,5       | 31,8       | 28,2       | 26,7       | 24,3       | 25,8       | 28,2       | 33,0       | 34,2       | 35,4       | 37,5       |
| <b>37</b>        | 37,5       | 31,5       | 31,8       | 28,2       | 26,4       | 24,0       | 25,5       | 27,9       | 33,0       | 34,2       | 35,7       | 38,1       |
| <b>38</b>        | 37,5       | 31,5       | 32,1       | 27,9       | 26,1       | 24,0       | 25,5       | 27,9       | 33,0       | 34,2       | 35,7       | 38,1       |
| <b>39</b>        | 37,8       | 31,8       | 32,1       | 27,9       | 26,1       | 23,7       | 25,2       | 27,9       | 33,0       | 34,5       | 36,0       | 38,4       |
| <b>40</b>        | 38,1       | 31,8       | 32,1       | 27,9       | 25,8       | 23,4       | 25,2       | 27,6       | 33,0       | 34,5       | 36,0       | 38,7       |
| <b>41</b>        | 38,1       | 32,1       | 32,1       | 27,9       | 25,8       | 23,1       | 24,9       | 27,6       | 33,0       | 34,5       | 36,3       | 39,0       |
| <b>42</b>        | 38,4       | 32,1       | 32,1       | 27,6       | 25,5       | 22,8       | 24,6       | 27,6       | 33,0       | 34,8       | 36,6       | 39,3       |
| <b>43</b>        | 38,7       | 32,4       | 32,1       | 27,6       | 25,2       | 22,5       | 24,6       | 27,3       | 33,0       | 34,8       | 36,6       | 39,6       |
| <b>44</b>        | 39,0       | 32,4       | 32,1       | 27,6       | 24,9       | 22,2       | 24,3       | 27,3       | 29,7       | 34,8       | 36,9       | 39,9       |
| <b>45</b>        | 39,3       | 32,7       | 32,1       | 27,6       | 24,9       | 21,9       | 24,0       | 27,3       | 29,7       | 35,1       | 37,2       | 40,2       |
| <b>46</b>        | 39,6       | 32,7       | 32,1       | 27,3       | 24,6       | 21,6       | 23,7       | 27,0       | 29,7       | 35,1       | 37,5       | 40,5       |
| <b>47</b>        | 39,9       | 33,0       | 32,1       | 27,3       | 24,3       | 21,3       | 23,4       | 27,0       | 29,7       | 35,1       | 37,8       | 40,5       |
| <b>48</b>        | 40,2       | 33,0       | 32,4       | 27,0       | 24,0       | 21,0       | 22,8       | 26,7       | 29,7       | 35,4       | 38,1       | 41,1       |
| <b>49</b>        | 40,5       | 33,3       | 32,4       | 27,0       | 23,7       | 20,7       | 22,5       | 26,7       | 29,7       | 35,4       | 38,4       | 41,1       |
| <b>50</b>        | 41,1       | 33,6       | 32,4       | 26,7       | 23,1       | 20,1       | 22,2       | 26,4       | 29,7       | 35,7       | 38,7       | 42,3       |

## ANEXO D - CÁLCULO DO BALANÇO HÍDRICO PELO MÉTODO DE THORNTHWAITE-MATHER

**1 - Tábua dos logaritmos naturais dos inversos**

|      | 0,000 | 0,001 | 0,002 | 0,003 | 0,004 | 0,005 | 0,006 | 0,007 | 0,008 | 0,009 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,00 |       | 6,908 | 6,215 | 5,809 | 5,521 | 5,298 | 5,116 | 4,962 | 4,828 | 4,711 |
| 0,01 | 4,605 | 4,510 | 4,423 | 4,343 | 4,269 | 4,200 | 4,135 | 4,075 | 4,017 | 3,963 |
| 0,02 | 3,912 | 3,863 | 3,817 | 3,772 | 3,730 | 3,689 | 3,650 | 3,612 | 3,576 | 3,540 |
| 0,03 | 3,507 | 3,474 | 3,442 | 3,411 | 3,381 | 3,352 | 3,324 | 3,297 | 3,270 | 3,244 |
| 0,04 | 3,219 | 3,194 | 3,170 | 3,147 | 3,124 | 3,101 | 3,079 | 3,058 | 3,037 | 3,016 |
| 0,05 | 2,996 | 2,976 | 2,957 | 2,937 | 2,919 | 2,900 | 2,882 | 2,865 | 2,847 | 2,830 |
| 0,06 | 2,813 | 2,797 | 2,781 | 2,765 | 2,749 | 2,733 | 2,718 | 2,703 | 2,688 | 2,674 |
| 0,07 | 2,659 | 2,645 | 2,631 | 2,617 | 2,604 | 2,590 | 2,577 | 2,564 | 2,551 | 2,538 |
| 0,08 | 2,526 | 2,513 | 2,501 | 2,489 | 2,477 | 2,465 | 2,453 | 2,442 | 2,430 | 2,419 |
| 0,09 | 2,408 | 2,397 | 2,386 | 2,375 | 2,364 | 2,354 | 2,343 | 2,333 | 2,323 | 2,313 |
| 0,10 | 2,303 | 2,293 | 2,283 | 2,273 | 2,263 | 2,254 | 2,244 | 2,235 | 2,226 | 2,216 |
| 0,11 | 2,207 | 2,198 | 2,189 | 2,180 | 2,172 | 2,163 | 2,154 | 2,146 | 2,137 | 2,129 |
| 0,12 | 2,120 | 2,112 | 2,104 | 2,096 | 2,087 | 2,079 | 2,071 | 2,064 | 2,056 | 2,048 |
| 0,13 | 2,040 | 2,033 | 2,025 | 2,017 | 2,010 | 2,002 | 1,995 | 1,988 | 1,981 | 1,973 |
| 0,14 | 1,966 | 1,959 | 1,952 | 1,945 | 1,938 | 1,931 | 1,924 | 1,917 | 1,911 | 1,904 |
| 0,15 | 1,897 | 1,890 | 1,884 | 1,877 | 1,871 | 1,864 | 1,858 | 1,852 | 1,845 | 1,839 |
| 0,16 | 1,833 | 1,826 | 1,820 | 1,814 | 1,808 | 1,802 | 1,796 | 1,790 | 1,784 | 1,778 |
| 0,17 | 1,772 | 1,766 | 1,760 | 1,754 | 1,749 | 1,743 | 1,737 | 1,732 | 1,726 | 1,720 |
| 0,18 | 1,715 | 1,709 | 1,704 | 1,698 | 1,693 | 1,687 | 1,682 | 1,677 | 1,671 | 1,666 |
| 0,19 | 1,661 | 1,655 | 1,650 | 1,645 | 1,640 | 1,635 | 1,630 | 1,625 | 1,619 | 1,614 |
| 0,20 | 1,609 | 1,604 | 1,599 | 1,595 | 1,590 | 1,585 | 1,580 | 1,575 | 1,570 | 1,565 |
| 0,21 | 1,561 | 1,556 | 1,551 | 1,546 | 1,542 | 1,537 | 1,532 | 1,528 | 1,523 | 1,519 |
| 0,22 | 1,514 | 1,510 | 1,505 | 1,501 | 1,496 | 1,492 | 1,487 | 1,483 | 1,478 | 1,474 |
| 0,23 | 1,470 | 1,465 | 1,461 | 1,457 | 1,452 | 1,448 | 1,444 | 1,440 | 1,435 | 1,431 |
| 0,24 | 1,427 | 1,423 | 1,419 | 1,415 | 1,411 | 1,406 | 1,402 | 1,398 | 1,394 | 1,390 |
| 0,25 | 1,386 | 1,382 | 1,378 | 1,374 | 1,370 | 1,366 | 1,363 | 1,359 | 1,355 | 1,351 |
| 0,26 | 1,347 | 1,343 | 1,339 | 1,336 | 1,332 | 1,328 | 1,324 | 1,321 | 1,317 | 1,313 |
| 0,27 | 1,309 | 1,306 | 1,302 | 1,298 | 1,295 | 1,291 | 1,287 | 1,284 | 1,280 | 1,277 |
| 0,28 | 1,273 | 1,269 | 1,266 | 1,262 | 1,259 | 1,255 | 1,252 | 1,248 | 1,245 | 1,241 |
| 0,29 | 1,238 | 1,234 | 1,231 | 1,228 | 1,224 | 1,221 | 1,217 | 1,214 | 1,211 | 1,207 |
| 0,30 | 1,204 | 1,201 | 1,197 | 1,194 | 1,191 | 1,187 | 1,184 | 1,181 | 1,178 | 1,174 |
| 0,31 | 1,171 | 1,168 | 1,165 | 1,162 | 1,158 | 1,155 | 1,152 | 1,149 | 1,146 | 1,143 |
| 0,32 | 1,139 | 1,136 | 1,133 | 1,130 | 1,127 | 1,124 | 1,121 | 1,118 | 1,115 | 1,112 |
| 0,33 | 1,109 | 1,106 | 1,103 | 1,100 | 1,097 | 1,094 | 1,091 | 1,088 | 1,085 | 1,082 |
| 0,34 | 1,079 | 1,076 | 1,073 | 1,070 | 1,067 | 1,064 | 1,061 | 1,058 | 1,056 | 1,053 |
| 0,35 | 1,050 | 1,047 | 1,044 | 1,041 | 1,038 | 1,036 | 1,033 | 1,030 | 1,027 | 1,024 |
| 0,36 | 1,022 | 1,019 | 1,016 | 1,013 | 1,011 | 1,008 | 1,005 | 1,002 | 1,000 | 0,997 |
| 0,37 | 0,994 | 0,992 | 0,989 | 0,986 | 0,983 | 0,981 | 0,978 | 0,976 | 0,973 | 0,970 |
| 0,38 | 0,968 | 0,965 | 0,962 | 0,960 | 0,957 | 0,955 | 0,952 | 0,949 | 0,947 | 0,944 |
| 0,39 | 0,942 | 0,939 | 0,936 | 0,934 | 0,931 | 0,929 | 0,926 | 0,924 | 0,921 | 0,919 |
| 0,40 | 0,916 | 0,914 | 0,911 | 0,909 | 0,906 | 0,904 | 0,901 | 0,899 | 0,896 | 0,894 |
| 0,41 | 0,892 | 0,889 | 0,887 | 0,884 | 0,882 | 0,879 | 0,877 | 0,875 | 0,872 | 0,870 |
| 0,42 | 0,868 | 0,865 | 0,863 | 0,860 | 0,858 | 0,856 | 0,853 | 0,851 | 0,849 | 0,846 |
| 0,43 | 0,844 | 0,842 | 0,839 | 0,837 | 0,835 | 0,832 | 0,830 | 0,828 | 0,826 | 0,823 |
| 0,44 | 0,821 | 0,819 | 0,816 | 0,814 | 0,812 | 0,810 | 0,807 | 0,805 | 0,803 | 0,801 |
| 0,45 | 0,799 | 0,796 | 0,794 | 0,792 | 0,790 | 0,787 | 0,785 | 0,783 | 0,781 | 0,779 |
| 0,46 | 0,777 | 0,774 | 0,772 | 0,770 | 0,768 | 0,766 | 0,764 | 0,761 | 0,759 | 0,757 |
| 0,47 | 0,755 | 0,753 | 0,751 | 0,749 | 0,747 | 0,744 | 0,742 | 0,740 | 0,738 | 0,736 |
| 0,48 | 0,734 | 0,732 | 0,730 | 0,728 | 0,726 | 0,724 | 0,722 | 0,719 | 0,717 | 0,715 |
| 0,49 | 0,713 | 0,711 | 0,709 | 0,707 | 0,705 | 0,703 | 0,701 | 0,699 | 0,697 | 0,695 |

