

Balanço de Energia

Objetivos:

1. Apresentar o balanço de radiação numa superfície;
2. Descrever instrumentos de medição da radiação solar.

Desenvolvimento:

1. Generalidades
 2. Fluxos Radiativos
 - 2.1.1. Balanço de radiação de ondas curtas
 - 2.1.2. Balanço de radiação de ondas longas
 - 2.1.3. Radiação líquida
 3. Fluxos Não-Radiativos
 4. Representação Gráfica do Balanço de Radiação
 5. Instrumentos e Medição da Radiação Solar
 6. Conclusões
 7. Exercícios Propostos
 8. Bibliografia Citada e Recomendada
-

1. Generalidades

Fluxos radiativos e não-radiativos de energia na interface superfície terrestre-atmosfera caracterizam as trocas energéticas que determinam os regimes térmicos do solo, água, vegetação e ar atmosférico. Determinando-se (estimando ou medindo) a magnitude destes fluxos num dado intervalo de tempo e área, obtém-se o balanço de energia.

2. Fluxos Radiativos

2.1. Balanço de radiação de ondas curtas

$$R_{ns} = R_g - R_r \quad (1)$$

Exemplo Prático 1) Calcule o valor de R_{ns} para a área gramada do Exemplo Prático 8 (Capítulo IV) desta apostila.

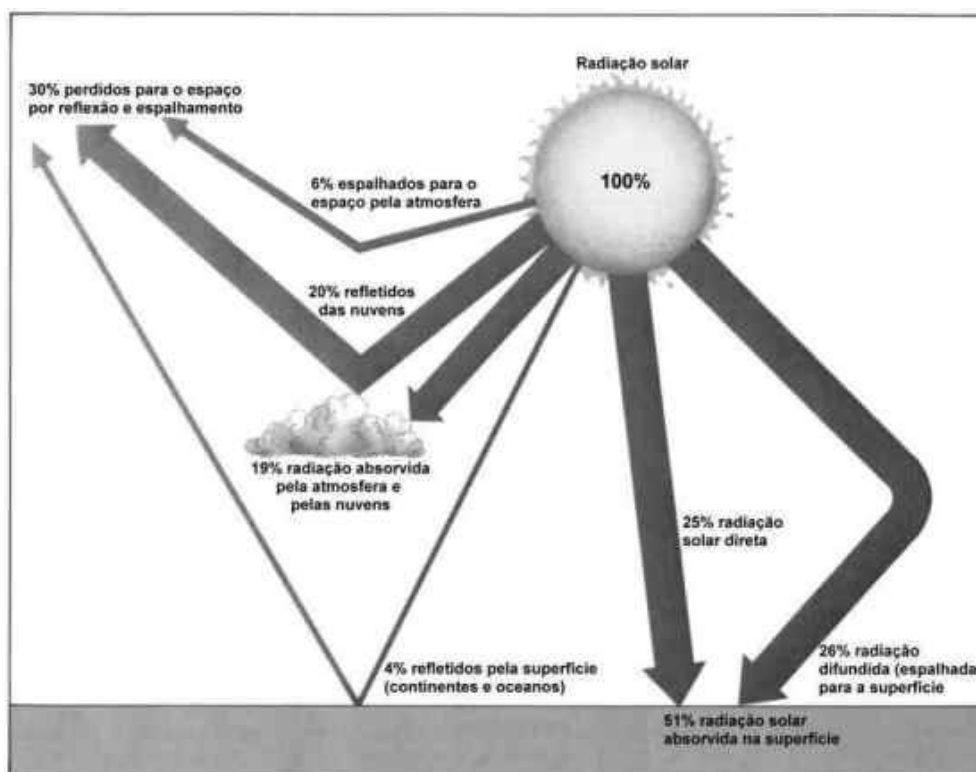


Figura 1. Representação esquemática do balanço de radiação de ondas curtas.

2.2. Balanço de radiação de ondas longas

$$R_{nl} = R_{solo} - R_{atm} = \sigma \cdot \left(\frac{T_x^4 + T_n^4}{2} \right) \cdot (0,34 - 0,14 \cdot \sqrt{e_a}) \cdot \left(1,35 \cdot \frac{R_g}{R_{go}} - 0,35 \right) \quad (2)$$

onde R_{nl} = radiação líquida de onda longa que deixa a superfície do solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); σ = constante de Stefan-Boltzmann ($4,03\text{E-}9 \text{ MJ K}^{-4} \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); T_x = temperatura máxima absoluta do ar num intervalo de 24 h (K, sendo $K = ^\circ\text{C} + 273,16$); T_n = temperatura mínima absoluta do ar num intervalo de 24 h (K); e_a = pressão atual de vapor d'água do ar atmosférico (kPa); R_g/R_{go} = razão de radiação de onda curta (≤ 1); R_g = medido ou estimado pela equação 2 ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e R_{go} = estimado pelas equações 3 ou 4 ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$).

- Significado do termo: $(0,34 - 0,14 \cdot \sqrt{e_a})$ (3)

- Significado do termo: $\left(1,35 \cdot \frac{R_g}{R_{go}} - 0,35 \right)$ (4)

Exemplo Prático 2) Determine R_{nl} para a área gramada do Exemplo Prático 1, considerando $T_x = 26^\circ\text{C}$, $T_n = 21^\circ\text{C}$ e $e_a = 2,34 \text{ kPa}$.

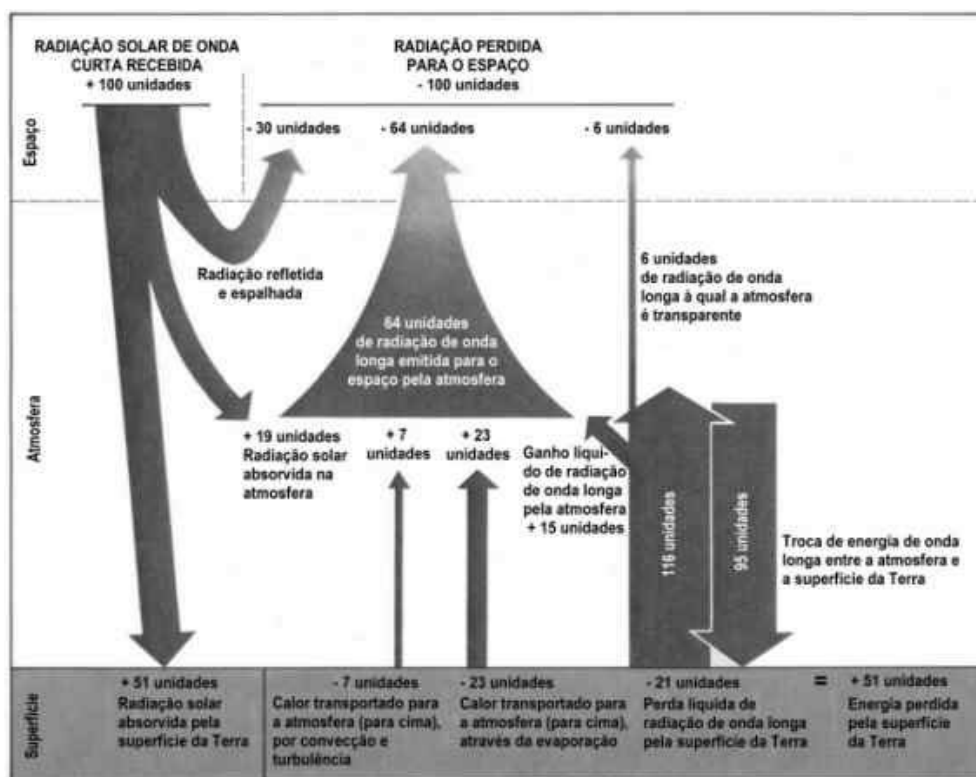


Figura 2. Esquema do balanço de radiação de ondas curtas e ondas longas no sistema Terra-Atmosfera.

2.3. Radiação líquida

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (5)$$

Exemplo Prático 3) Determine R_n para a área gramada do Exemplo Prático 2.

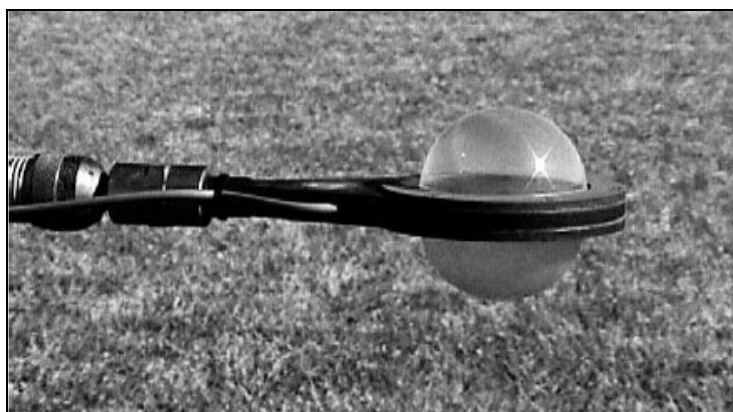


Figura 3. Radiômetro líquido, também chamado de saldo radiômetro.

3. Fluxos Não-Radiativos

- A radiação líquida R_n é a fonte básica de energia para aquecimento do ar (fluxo de calor sensível Q_H), aquecimento do solo (fluxo de calor sensível Q_G) e evaporação da água (fluxo de calor latente Q_E).

$$R_n = Q_E + Q_H + Q_G \quad (6)$$

onde Q_H , Q_E e Q_G representam fluxos não-radiativos de energia.

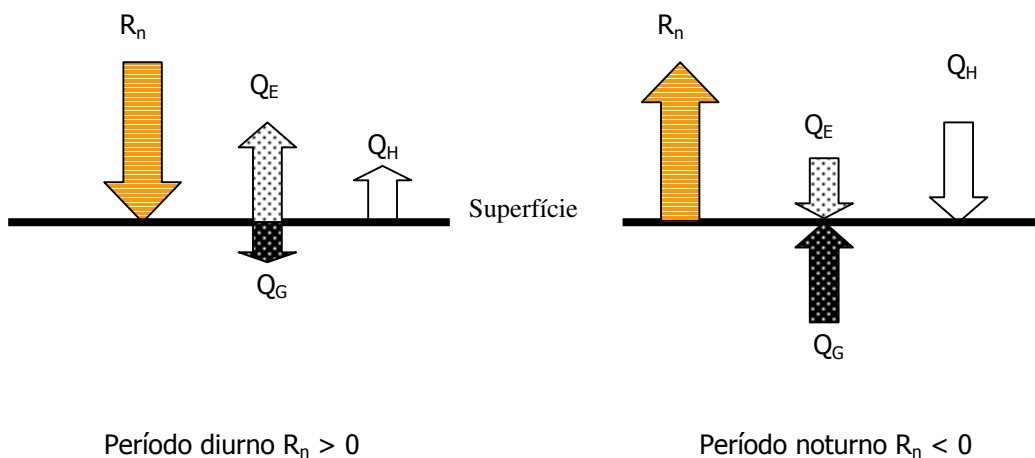


Figura 4. Componentes diurno e noturno do balanço de radiação numa dada superfície. (Fonte JURY et al, 1991).

Tabela 1. Valores representativos no período diurno dos componentes da equação 6 para uma área de solo seco e nu e para uma área de cultura sem deficiência de água e em fase de máximo desenvolvimento vegetativo (JURY et al., 1991)

Componente do balanço	Tipo de superfície	
	Solo seco e nu	Área vegetada
Q_H / R_n	0,45	0,30
Q_E / R_n	≈ 0	0,70
Q_G / R_n	0,55	≈ 0

- Segundo a equação 6 “Energia recebida = Energia perdida”, ou seja, $0 = R_n - [Q_H + Q_E + Q_G]$. Isso é válido quando a superfície é um plano, portanto sem massa. Quando se considera um volume, a exemplo do perfil do solo, deve-se levar em conta o armazenamento de energia no referido volume.

“Energia recebida – Energia perdida = Variação no Armazenamento de Energia”

$$\Delta Q = R_n - (Q_H + Q_E + Q_G) \quad (7)$$

Tem-se três situações:

- $E \text{ entra} > E \text{ sai} \rightarrow \Delta Q > 0 \rightarrow$ fluxo convergente, resulta em aquecimento do volume.
- $E \text{ entra} < E \text{ sai} \rightarrow \Delta Q < 0 \rightarrow$ fluxo divergente, resulta em resfriamento do volume.
- $E \text{ entra} = E \text{ sai} \rightarrow \Delta Q = 0$ e, portanto a temperatura do meio não muda.

3. Balanço de Energia numa Folha

- A importância relativa da reflexão, transmissão e absorção é governada pela estrutura interior da folha e propriedades radiativas dos principais pigmentos da planta (especialmente clorofila e carotenóides).

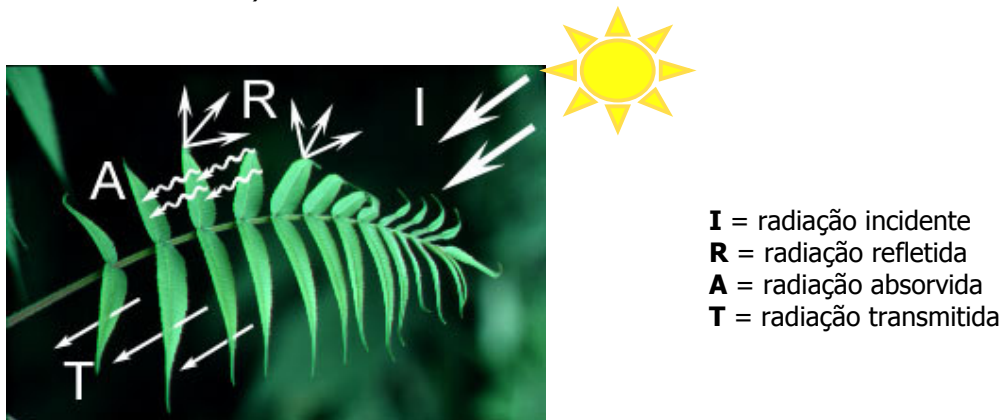


Figura 5. Esquema de partição da radiação solar incidente na superfície de uma folha isolada.

Tabela 2. Valores médios de coeficientes de reflexão, transmissão e absorção de folhas verdes para diferentes comprimentos de onda (OKE, 1995).

Fenômeno de interação	Regiões do espectro eletromagnético			
	RFA (0,38 – 0,71 μm)	IVP (0,71 - 4 μm)	Onda curta (0,35 – 3 μm)	Onda longa (3 - 100 μm)
Reflexão	0,09	0,51	0,30	0,05
Transmissão	0,06	0,34	0,20	0,00
Absorção	0,85	0,15	0,50	0,95

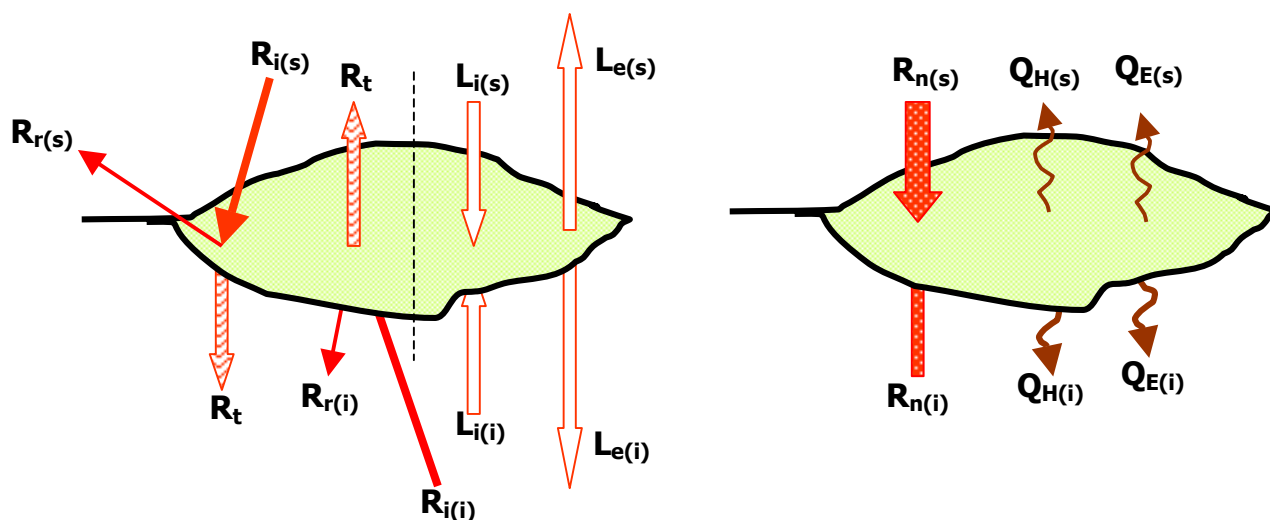


Figura 6. Esquema dos fluxos envolvidos no balanço de radiação (esquerda) e de energia (direita) de uma folha isolada. (OKE, 1995).

4. Conclusões

5. Exercícios Propostos

EP.01. Uma área cultivada com abacaxi no município de Cruz das Almas, Bahia (220 m, 12°41' S, 39°06' W) apresentou um poder refletor de 15% em torno de 60 dias após o plantio, correspondendo aquele ao dia 12 de setembro. Considere para aquele dia: insolação = 7,5 h, temperatura máxima do ar = 27°C, temperatura mínima do ar = 20°C e pressão atual de vapor d'água = 2,5 kPa. Determine a radiação líquida disponível ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) na área vegetada naquele dia.

EP.02. Uma área cultivada com tomate no município de Jaguaquara, Bahia (350 m, 13°44' S, 39°48' W) apresentou um poder refletor de 23% no oitavo dia (21 de julho) do estágio de frutificação. Considere para aquele mês: insolação total = 201,5 h, temperatura máxima do ar média = 25,5°C, temperatura mínima do ar média = 19°C e pressão atual de vapor d'água média = 15,94 mmHg. Determine a radiação líquida disponível média (mm dia⁻¹) na área cultivada naquele dia. OBS.: $R_o = 695,5 \text{ cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

6. Bibliografia Citada e Recomendada

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome, Italy. 1998. 300 p.

JURY, W. A.; GARDNER, W. R.; GARDNER, W. H. *Soil physics*. 5ed. New York: John Wiley & Sons, Inc. 1991. 328 p.

OKE, T. R. *Boundary layer climates*. Londres: Routledge. 1995. 435p.

TUBELIS, A. e NASCIMENTO, F. J. L. do. *Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras*. São Paulo: Nobel. 1984. 374 p.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. *Meteorologia básica e aplicações*. Viçosa: UFV – Imprensa Universitária. 1991. 449 p.