



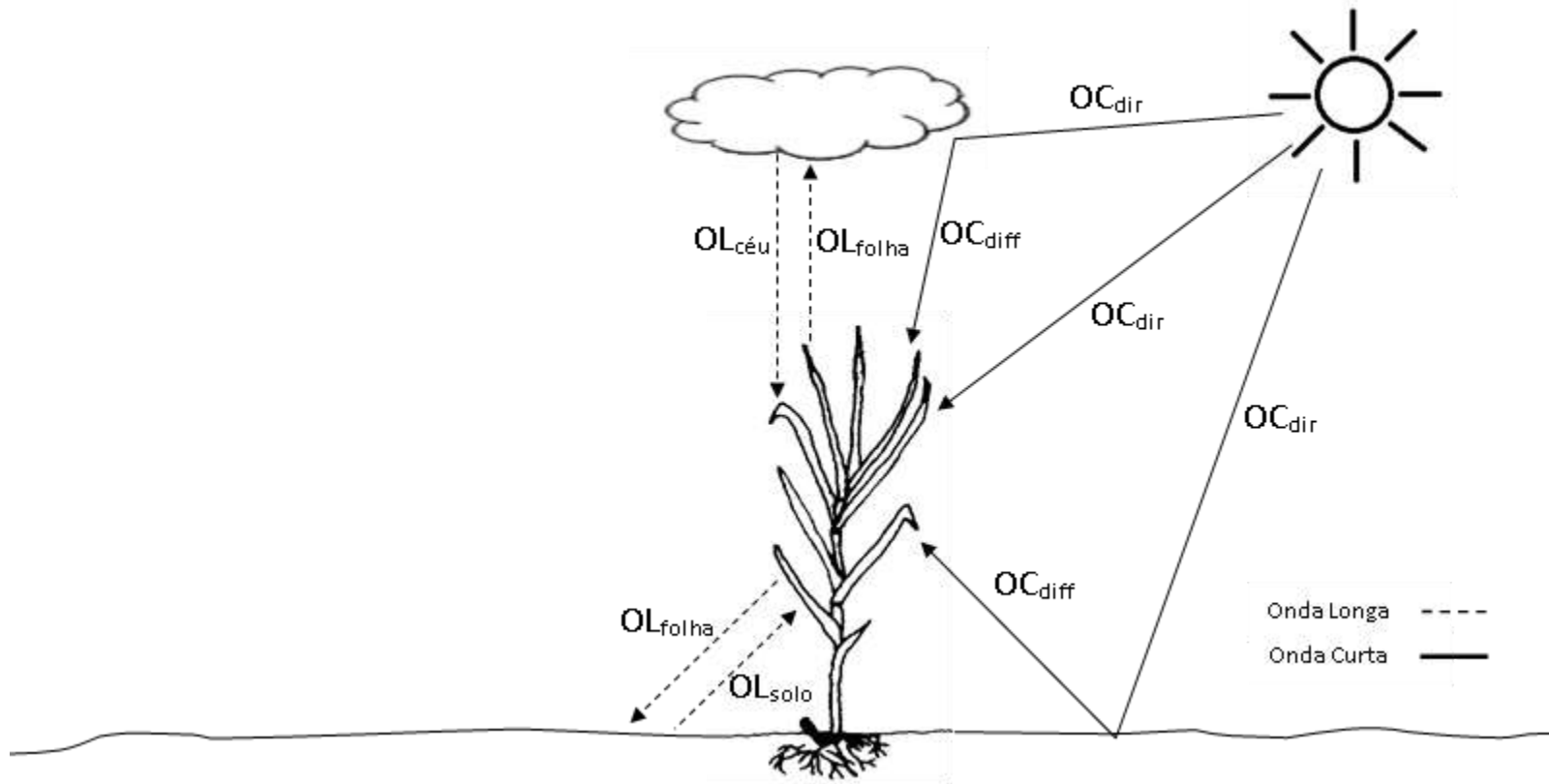
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE BIODISSISTEMAS  
LEB5036 Micrometeorologia de Sistemas Agrícolas



# Balanco de Radiação e Energia

Setembro de 2016

# Balanço de Radiação



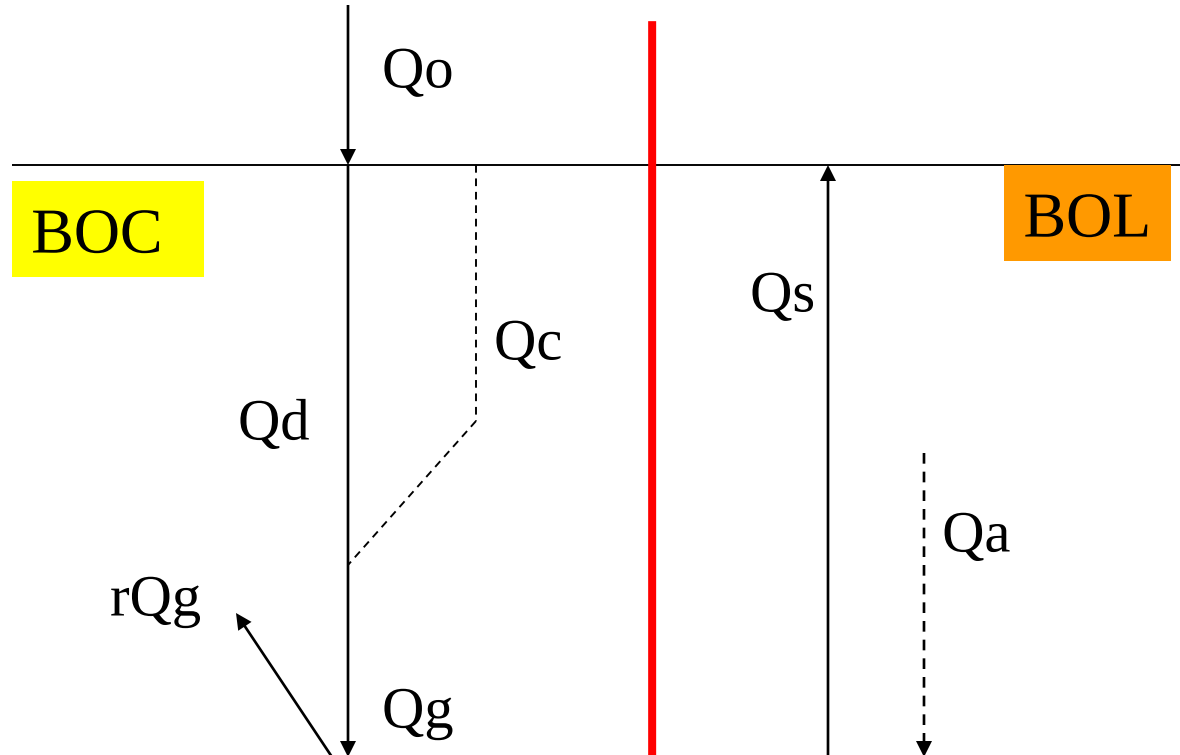
# Balanço de Radiação

- Saldo de radiação ( $R_n$ )

- $R_n = BOC + BOL$

$$\lambda < 3000 \text{ nm}$$

$$\lambda < 3000 \text{ nm}$$



# Balanço de Radiação

- Saldo de radiação (SR ou Rn)
- $SR = BOC + BOL$

$$BOC = Q_g - rQ_g$$

Dia: Positivo  
Noite: negativo

$$BOL = Q_a - Q_s$$

Dia: negativo  
Noite: negativo

$$SR = Q_g (1-r) + Q_a - Q_s$$

Dia: positivo  
Noite: negativo

# Balanço de Radiação

$$\text{BOL} = Q_a - Q_s$$

$$Q_{atm} = \varepsilon_{atm} \cdot \sigma \cdot T_{atm}^4$$

$$Q_{sup} = \varepsilon_{sup} \cdot \sigma \cdot T_{sup}^4$$

•Aproximação de Brunt (1932):

Admite-se que  $T_{sup} \cong T_{atm}$ , que  $\varepsilon_{sup} \cong 1$  e que

$\varepsilon_{atm} \propto$  umidade do ar (ea), tem-se que:

# Balanço de Radiação

- Estimativa do Saldo de radiação (SR) -

$$BOL = - \left[ 4,903 * 10^{-9} * \left[ \frac{T_{\max}^4 + T_{\min}^4}{2} \right] * (0,34 - 0,14 * \sqrt{e_a}) * \left( 1,35 \frac{Q_g}{Q_{cs}} - 0,35 \right) \right]$$

$$SR = Qg(1-r) - \left[ 4,903 * 10^{-9} * \left[ \frac{T_{\max}^4 + T_{\min}^4}{2} \right] * (0,34 - 0,14 * \sqrt{e_a}) * \left( 1,35 \frac{Q_g}{Q_{cs}} - 0,35 \right) \right]$$

$$Qg_{cs} = (0,75 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot z) \cdot Qo$$

# Relações empíricas para estimativa do saldo de radiação baseado na radiação solar global.

| Local                            | Superfície                                     | Equação                                                                                  | Unidade, R <sup>2</sup>                                                                  | Referência                    |
|----------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Mead, Nebraska, EUA <sup>1</sup> | Alfafa (dados integrados para 24 horas do dia) | $SR = -0,34 + 0,69 \cdot Q_g$                                                            | MJ·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup> , 0,96                                               | (Rosemberg, 1969)             |
| Tel Amara, Líbano <sup>1</sup>   | n.d <sup>2</sup> .                             | $SR = -0,38 + 0,73 \cdot Q_g$                                                            | MJ·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup> , 0,92                                               | Sarraf e Aboukhaled (1970)    |
| Israel <sup>1</sup>              | Diversos                                       | $SR = -98 + 0,85 \cdot Q_g$                                                              | W·m <sup>-2</sup> , 0,92                                                                 | Stanhill et al. (1966)        |
| Ames, Iowa, EUA <sup>1</sup>     | Gramado                                        | $SR = -0,88 + 0,75 \cdot Q_g$ <sup>3</sup><br>$SR = -0,35 + 0,87 \cdot Q_g$ <sup>4</sup> | MJ·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup> , 0,97<br>MJ·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup> , 0,98 | Shaw (1956)                   |
| Botucatu, SP                     | Alface em estufa                               | $SR = 0,593 \cdot Q_g$                                                                   | MJ·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup> , n.d <sup>2</sup> .                                 | Frisina e Escobedo (1999)     |
| Dourados, MS                     | Gramado                                        | $SR = 0,435 \cdot Q_g$                                                                   | MJ·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup> , 0,93                                               | Fietz e Fisch (2008)          |
| Piracicaba, SP                   | Gramado                                        | $SR = 0,48 \cdot Q_g$                                                                    | MJ·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup> , 0,92                                               | Sentelhas e Nascimento (2003) |
| Piracicaba, SP                   | Pomar de Lima Acida Tahiti                     | $SR = 0,61 \cdot Q_g$                                                                    | MJ·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup> , 0,89                                               | Marin et al. (2001)           |
| Piracicaba, SP                   | Cafezal                                        | $SR = 0,49 \cdot Q_g$                                                                    | MJ·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup> , 0,88                                               | Marin (2003)                  |
| Piracicaba, SP                   | Capim Tanzânia                                 | $SR = 0,528 \cdot Q_g$                                                                   | MJ·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup> , 0,93                                               | Silva et al. (2007)           |
| Piracicaba, SP                   | Gramado                                        | $SR = 0,541 \cdot Q_g$                                                                   | MJ·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup> , 0,84                                               | Silva et al. (2010)           |

# Balanço de Radiação

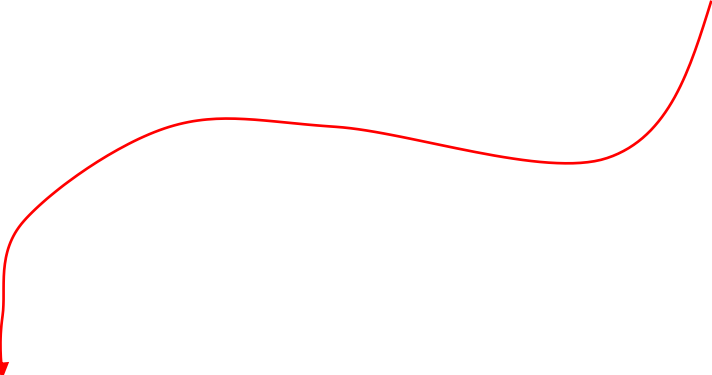
- Coeficiente de reflexão ou albedo

| Superfície  | Coef. Reflexão (r, %) |
|-------------|-----------------------|
| Água        | 5                     |
| Solo escuro | 5 a 15                |
| Solo claro  | 25 a 45               |
| Gramado     | 20 a 30               |
| Milho       | 16 a 23               |
| Floresta    | 10 a 15               |

$$\text{BOC} + \text{BOL} = \text{Rn}$$



**Balanço de Radiação**


$$\text{Rn} = \text{Calor Sensível} + \text{Calor no Solo} + \text{Calor Latente} + \text{Fotossíntese}$$



**Balanço de Energia**

# REPRESENTACAO ESQUEMÁTICA DOS FLUXOS DE ÁGUA, CARBONO, RADIAÇÃO E ENERGIA NA BIOSFERA.

BOC

+

BOL

=

Chuva

=

$$R_n = H + G + LE + F$$

+

Escoamento  
lateral

+

Drenagem

+

Arm. Água

+

Respiracao  
do solo

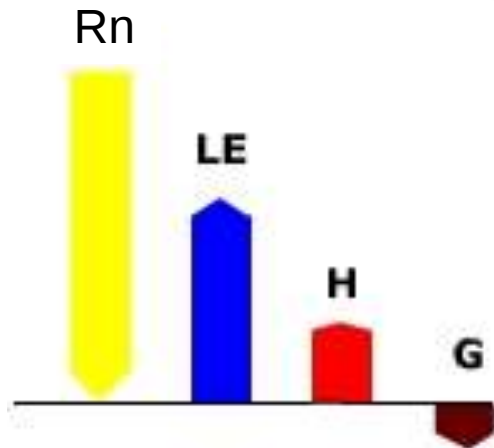
+

Arm.  
Carbono

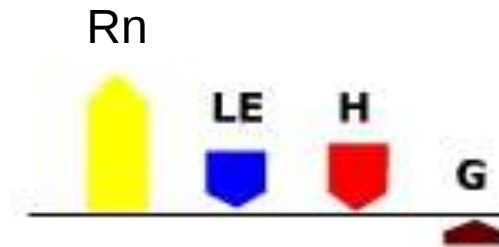
=

Fluxo de  
CO<sub>2</sub>

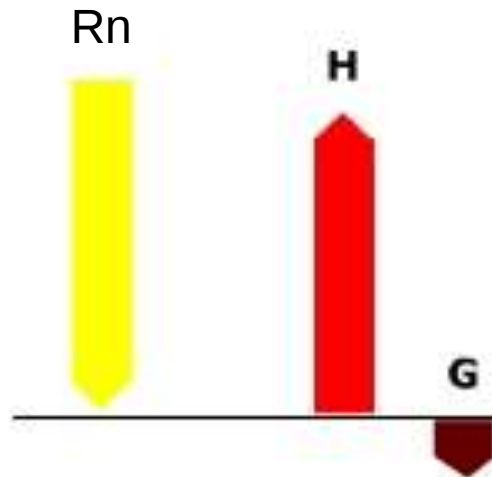
**Superfície úmida - dia**



**Superfície úmida - noite**



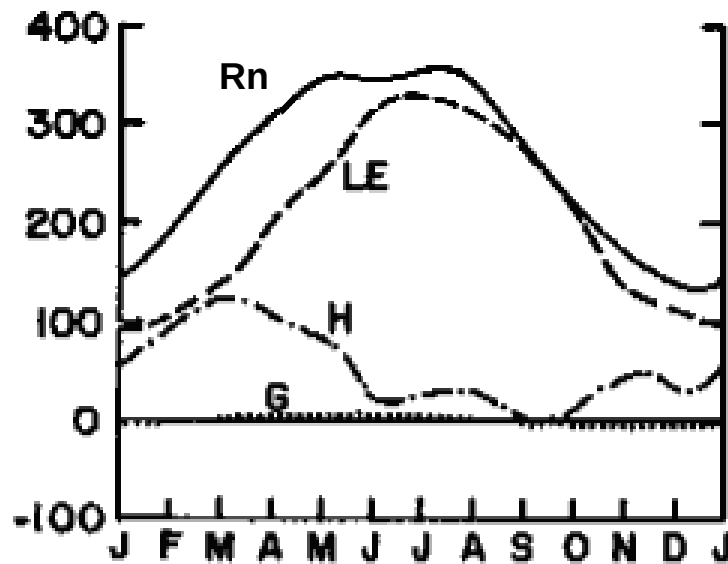
**Superfície seca - dia**



Normalmente, quando a superfície está úmida LE predomina, consumindo cerca de 70 a 80% de  $R_n$

Sob condição de superfície seca, o processo de aquecimento do ar predomina

West Palm Beach, Florida (26.7°N)



$LE/Rn \approx 0,75$

$H/Rn \approx 0,20$

$G \approx 0,05$

Ambiente  
Úmido

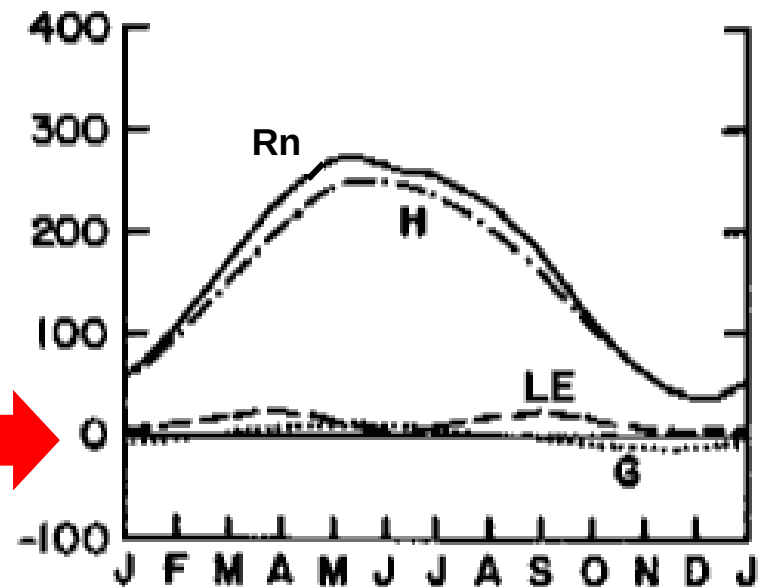
$LE/Rn \approx 0,10$

$H/Rn \approx 0,85$

$G \approx 0,05$

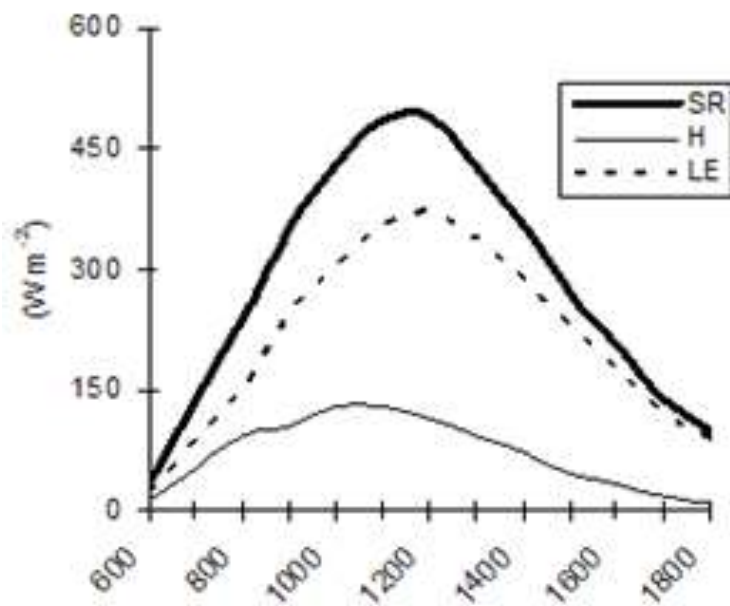
Ambiente  
Seco

Yuma, Arizona (32.7°N)

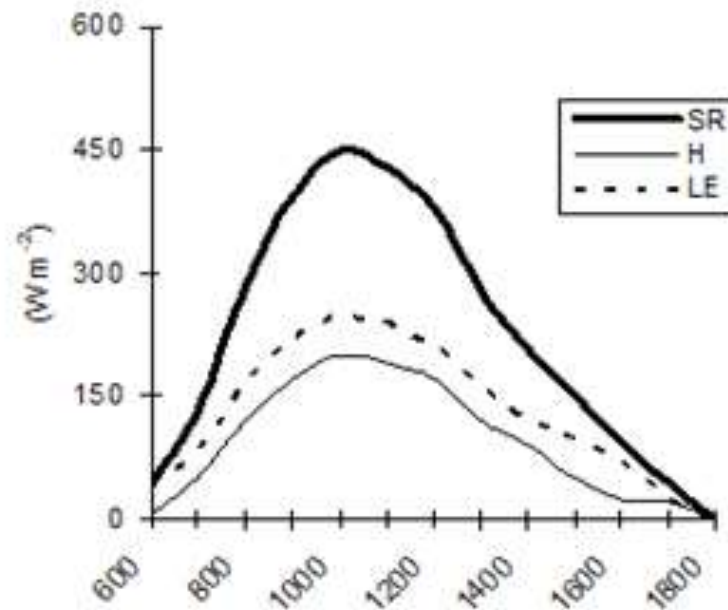


# Balanço de Energia em Pomar de Limão Tahiti

a) Época úmida

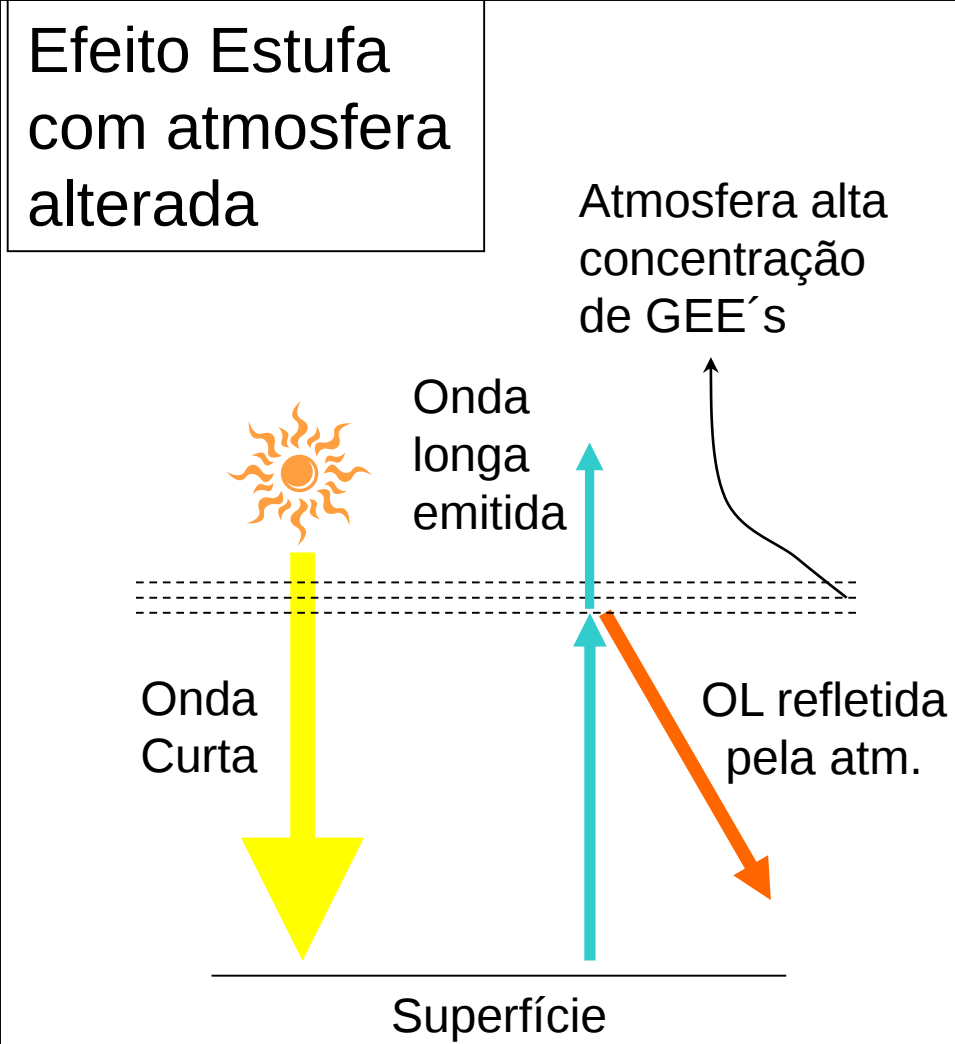
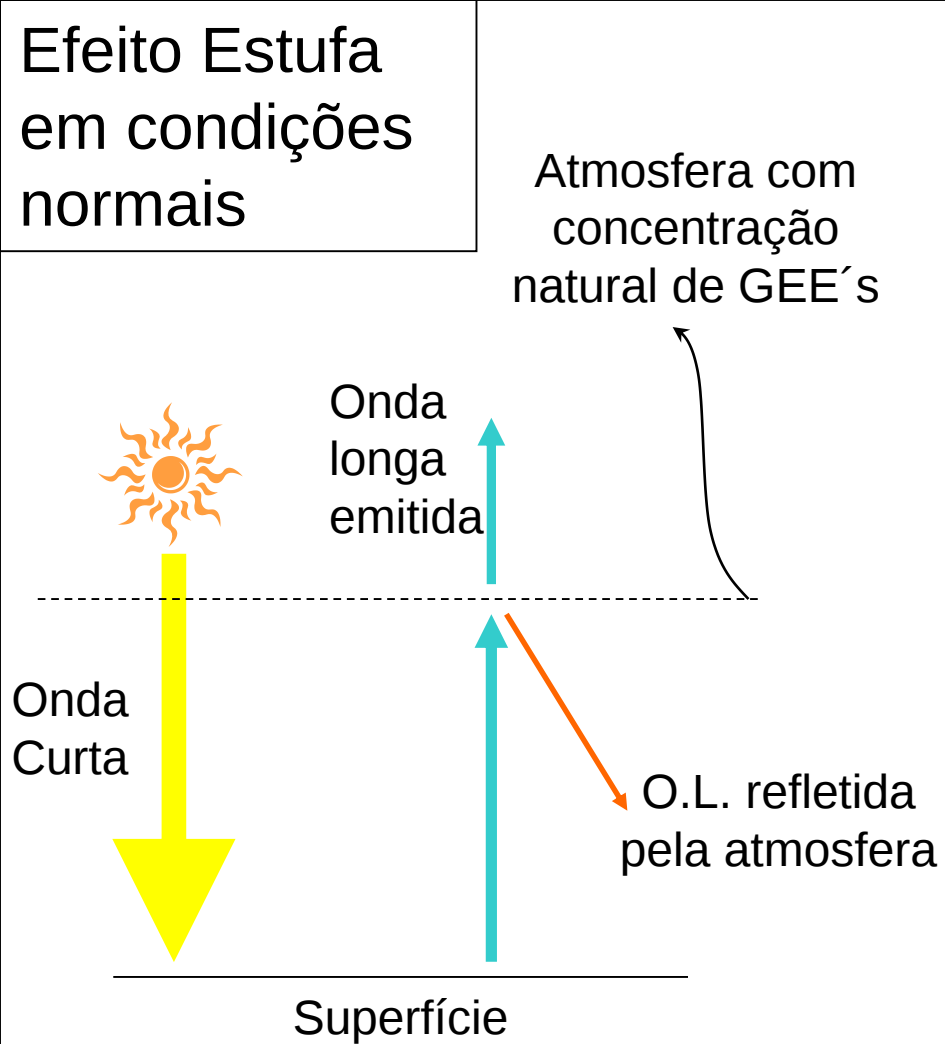


b) Época Seca



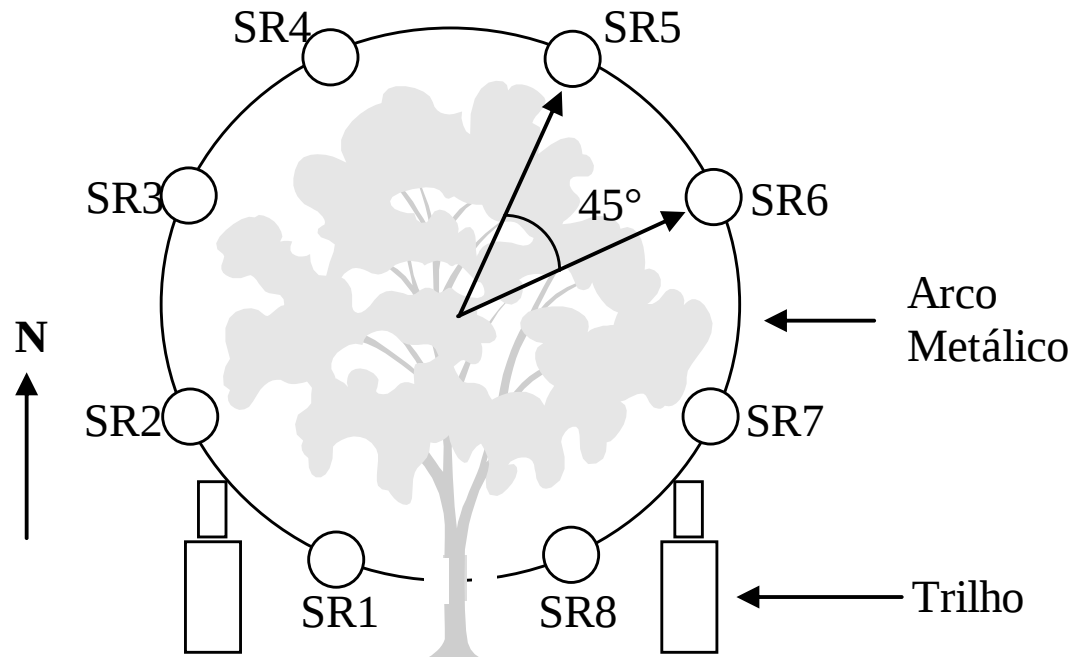
# Efeito Estufa: bases físicas

- GEE atuam como filtros para a OL emitida pela superfície – temperatura em torno dos 300 K;
- Ondas curtas emitidas pelo Sol (temperatura em torno dos 6000K) sofrem pouca interferência da atmosfera terrestre, causando desequilíbrio no balanço de radiação da Terra.

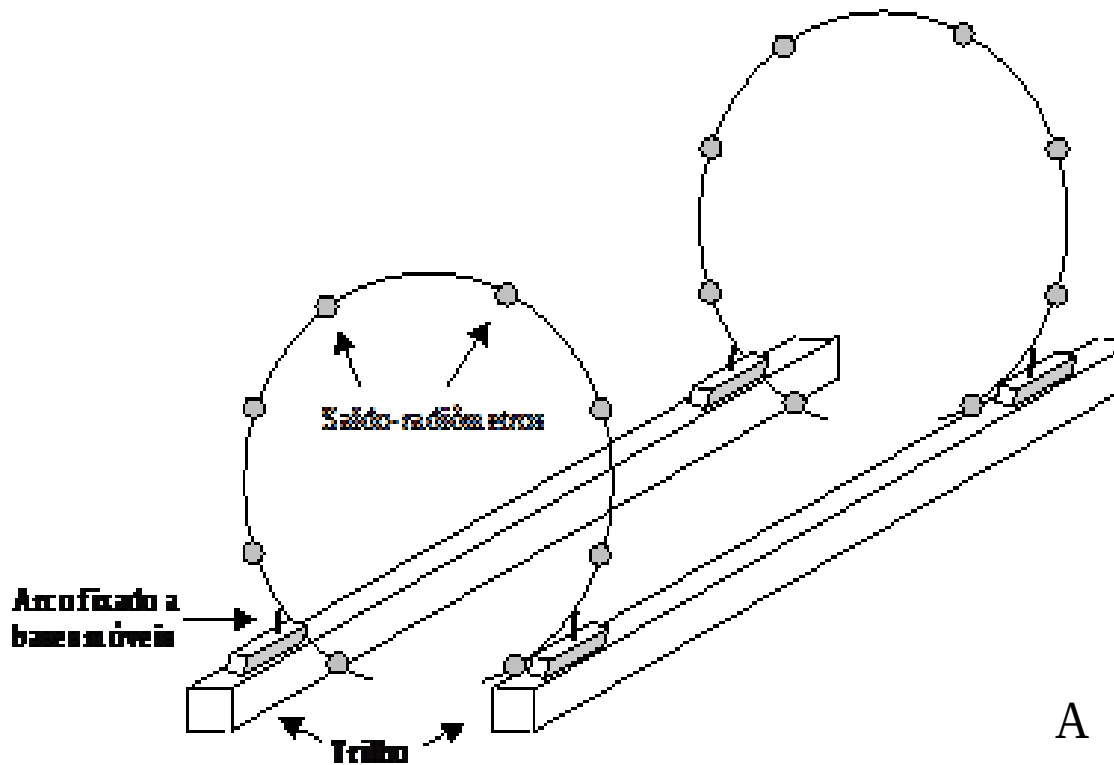


A quantidade de energia que chega ao sistema permanece o mesmo, mas uma parte da energia que era emitida ao espaço fica retida, aumentando sua temperatura.

# Saldo de Radiação em Culturas com Cobertura Esparsa



# Saldo de Radiação em Culturas com Cobertura Esparsa



# Saldo de Radiação em Culturas com Cobertura Esparsa

$$SR_{ef} = \left( \frac{1}{8} \cdot \sum_{i=8}^8 SR_i \right) d_h \cdot 2 \cdot \pi \cdot R$$

$$\frac{SR_c}{AF} = \frac{SR_{ac} \cdot (1 - e^{-k \cdot IAF})}{IAF}$$

# Saldo de Energia em Culturas com Cobertura Esparsa

