

Aula 3- Balanço de radiação e energia em superfícies naturais

Prof. Fábio Marin

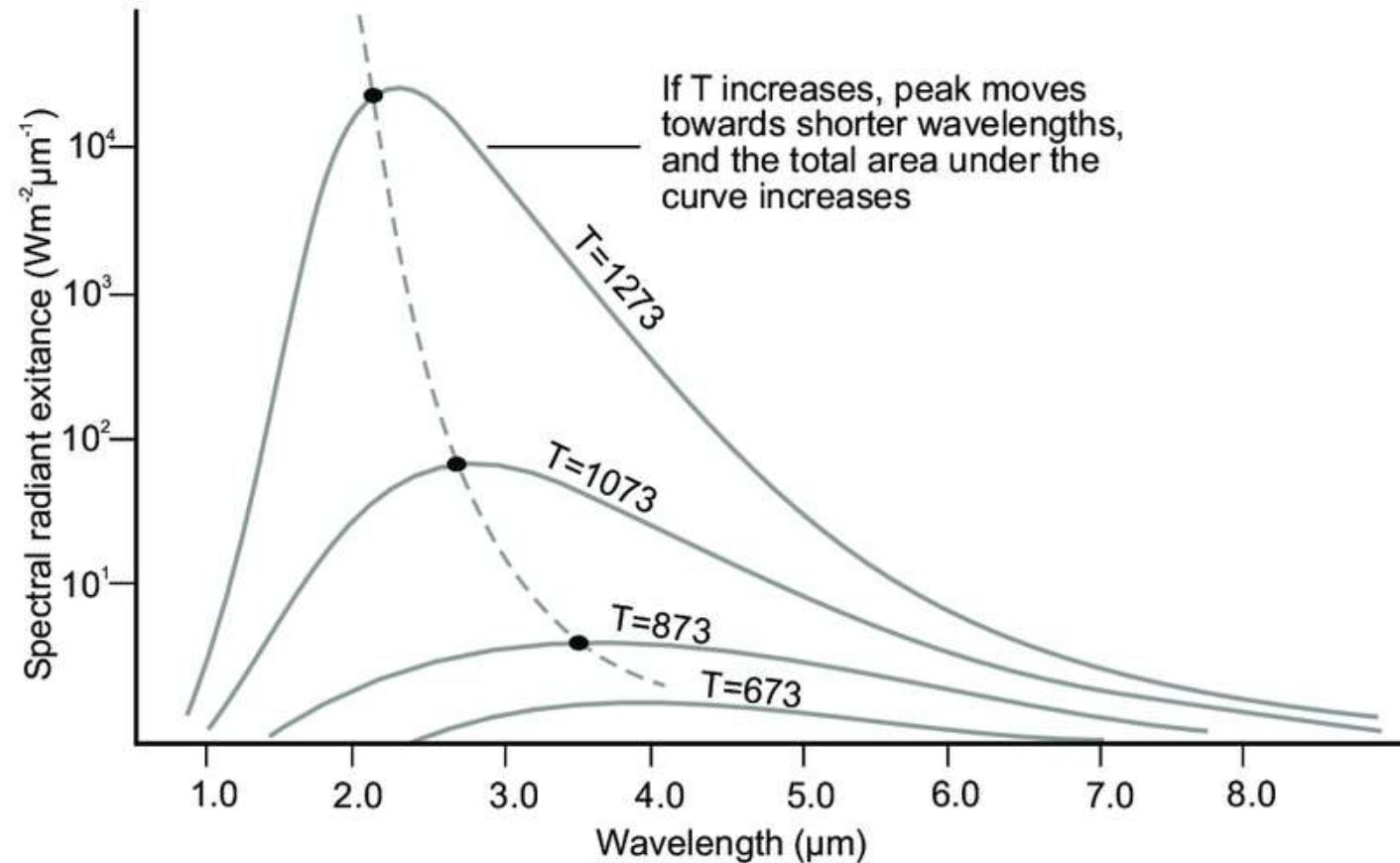
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"
Departamento de Engenharia de Biosistemas
LEB 306 – Meteorologia Agrícola



Revisão

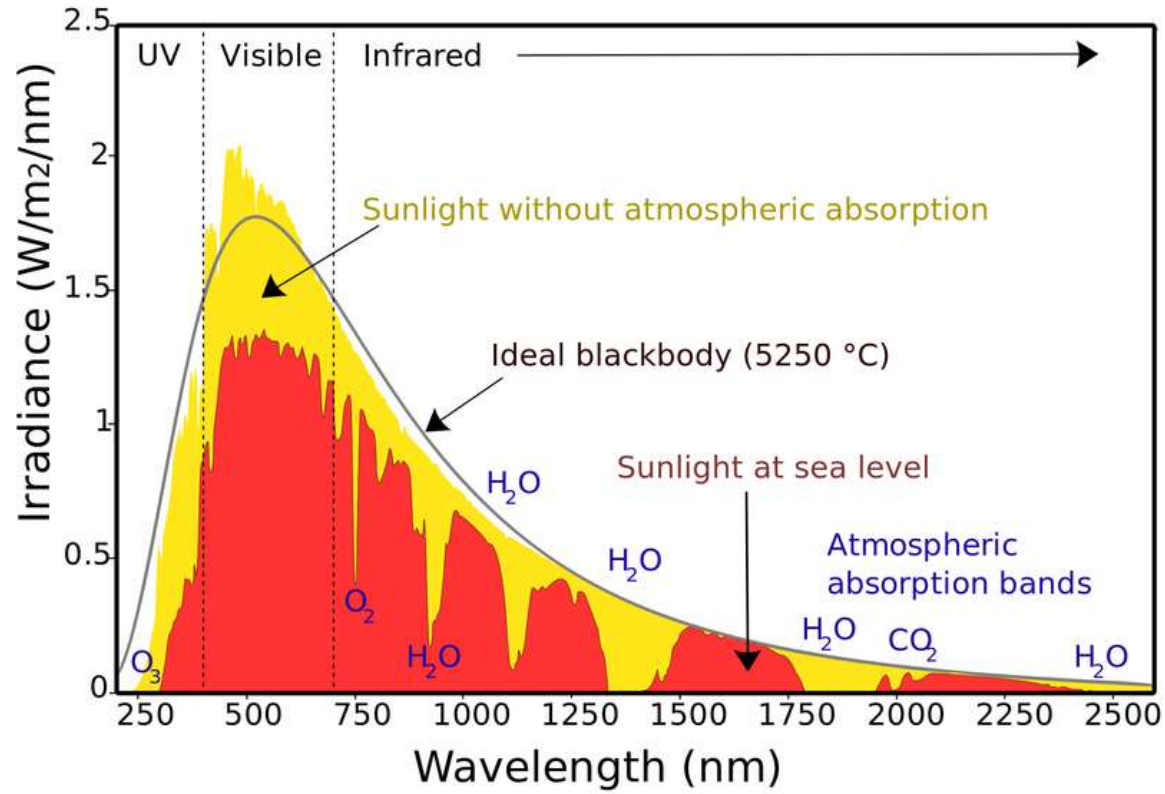
Lei de Stefan Boltzman (Quantidade)
Lei de Wien (Qualidade)

A temperatura de um corpo define a quantidade de energia e qualidade da radiação (comprimento de onda) emitida por ele. Aqui, estudamos a relação entre dois corpos com temperatura bastante diferente – o Sol (~6000k) e a Terra (~300k)



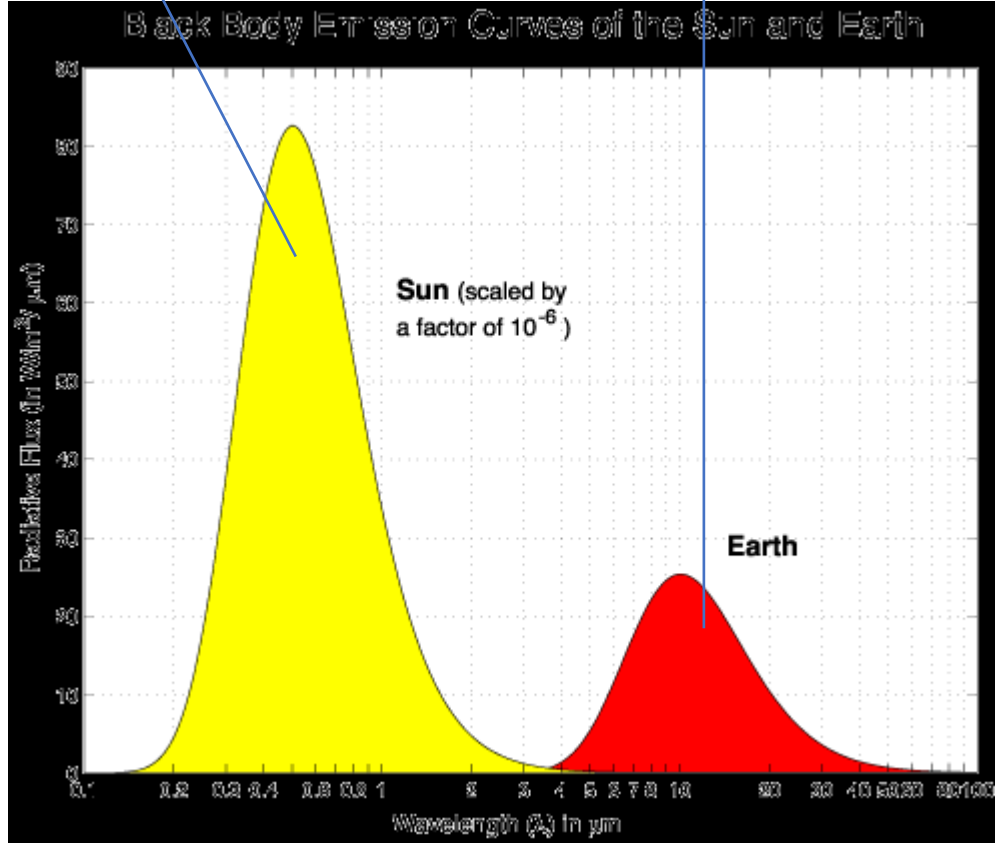
Revisão

Spectrum of Solar Radiation (Earth)



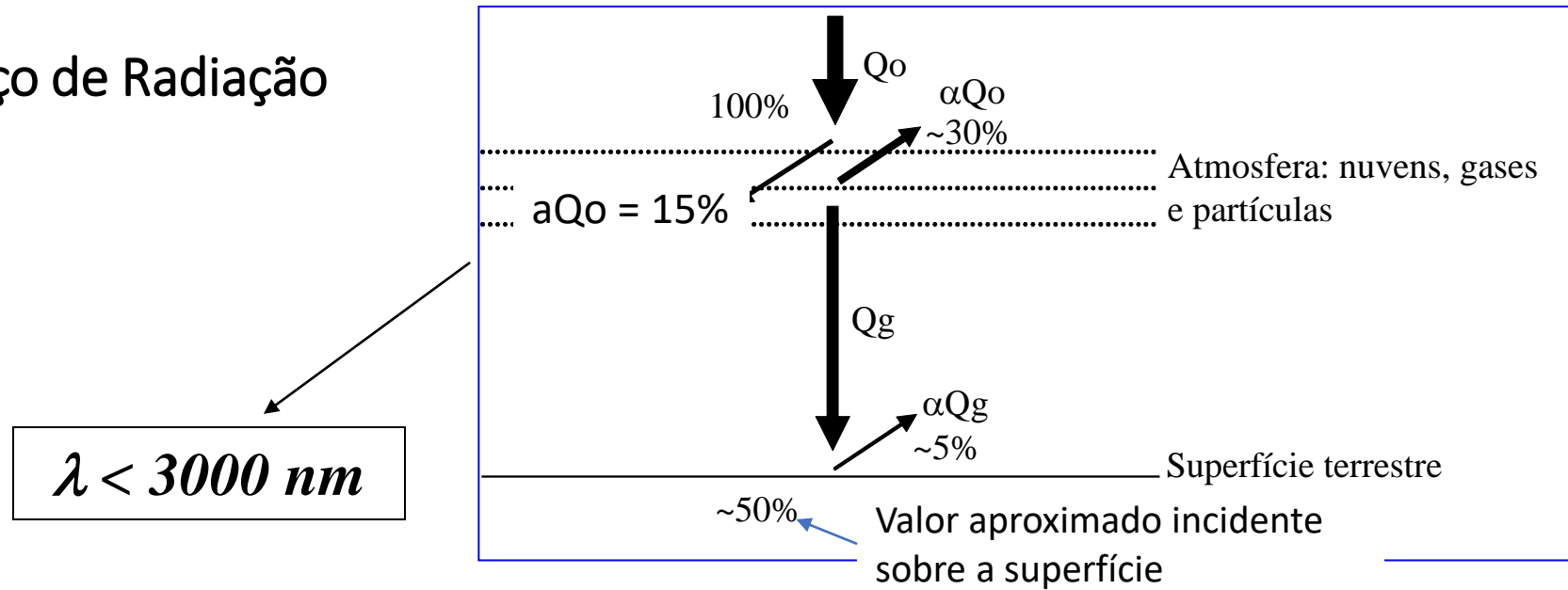
Onda curta

Onda longa



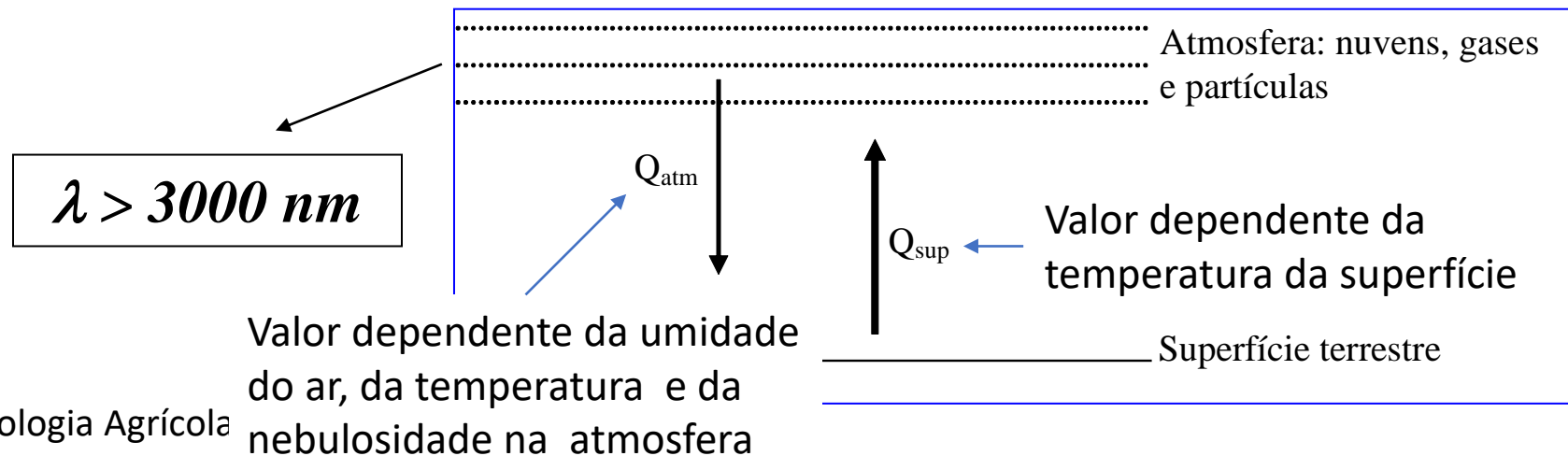
Balanco médio de ondas curtas:

Balanco de Radiação



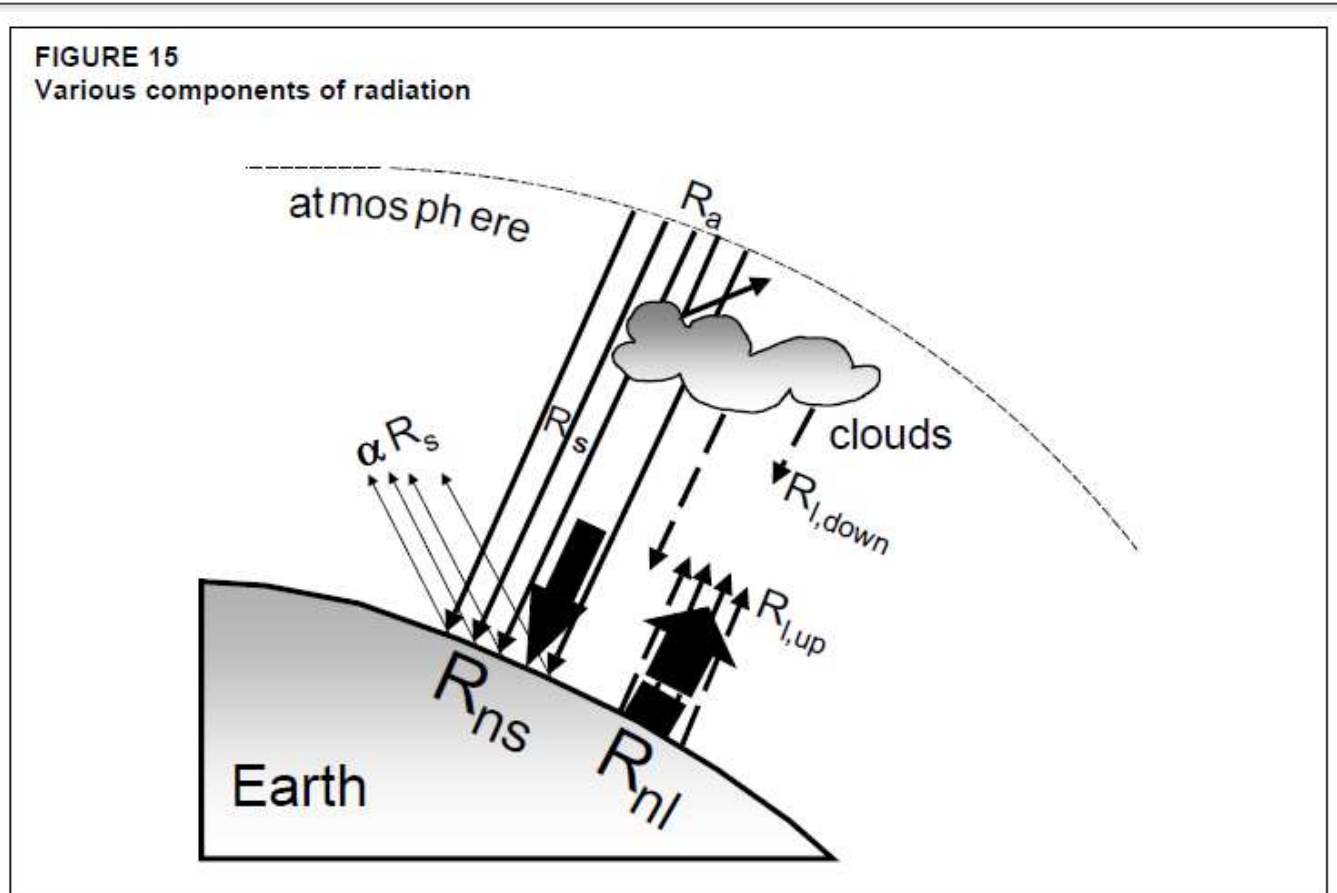
Nota: nesta figura, α (alfa) representa o coeficiente de reflexão (r)

Balanco médio de ondas longas:



Balanço de Radiação

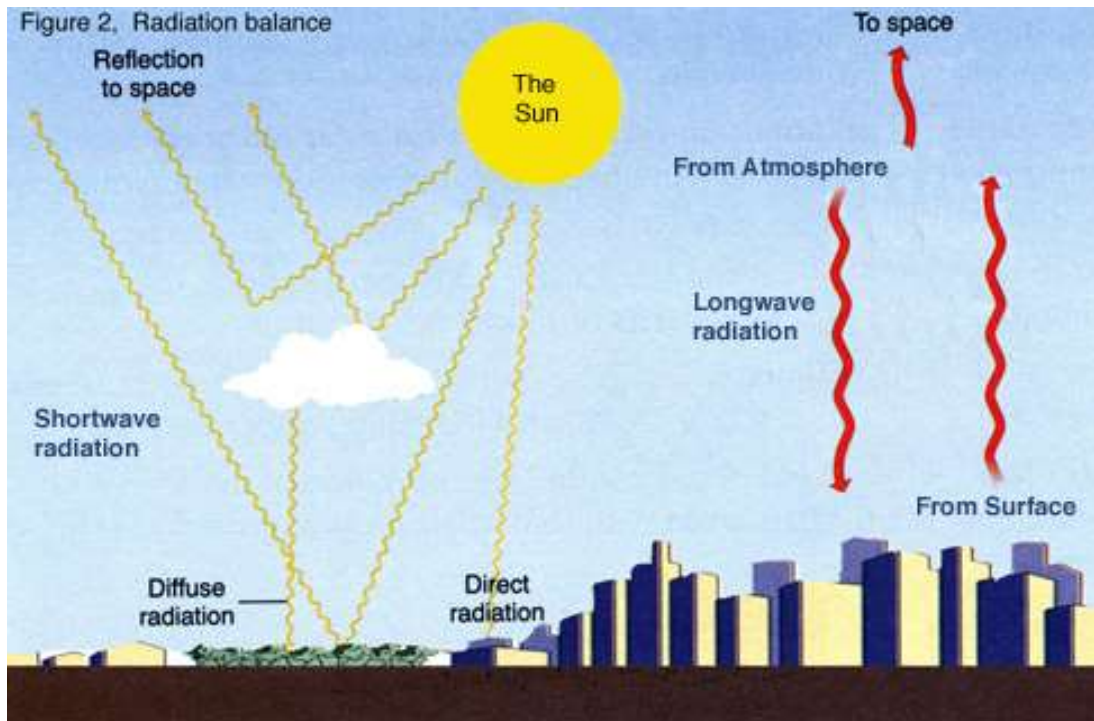
A Terra reflete a radiação (de ondas curtas) emitida pelo Sol, mas também emite sua própria radiação (de ondas longas). Atenção nisso: Qualquer corpo, ao emitir radiação, perde energia e por isso esfria. Essa é a razão da noite ser mais fria que o dia e a temperatura mínima ocorrer um pouco antes do nascer do Sol.



Fonte: Boletim FAO 56

Balanco de Radiação

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



$$BOC = Q_g - rQ_g$$

Dia: Positivo
Noite: negativo
Funciona no período diurno

$$BOL = Q_a - Q_s$$

Dia: negativo
Noite: negativo
(funciona por 24hs)

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

Dia: positivo
Noite: negativo

Balanço de ondas curtas - BOC

$$\text{BOC} = Q_g - rQ_g = Q_g (1 - r)$$

Balanço de ondas longas - BOL

$$\text{BOL} = Q_{atm} - Q_{sup}$$

Saldo de Radiação = BOC + BOL

$$R_n = \text{BOC} + \text{BOL} = Q_g - rQ_g + Q_{atm} - Q_{sup}$$

Lei de Stefan-Boltzmann

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

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

Tabela 10.1. Coeficientes de reflexão (r) para algumas superfícies. Adaptado de Rosenberg et al. (1983) e de Vianello & Alves (1991).

Superfície	Coef. de Reflexão (r, %)	Superfície	Coef. de Reflexão (r, %)
Água	5	Trigo	24
Areia seca	35 a 45	Feijão	24
Areia úmida	20 a 30	Tomate	23
Solo claro seco	25 a 45	Abacaxi	15
Solo cinza	10 a 20	Sorgo	20
Solo escuro	5 a 15	Videira	18
Gramado	20 a 30	Floresta	10 a 15
Algodão	20 a 22	Nuvens	50 a 90
Alface	22	Animal de pelo preto	10
Milho	16 a 23	Animal de pelo vermelho	18
Arroz	12	Animal de pelo amarelo	40
Batata	20	Animal de pelo branco	50

Medida do Saldo de Radiação

Saldo radiômetros

Medida separada dos balanços de ondas curtas e longas



Medida conjugada dos balanços de ondas curtas e longas



Balanço de Radiação

- Aproximação da equação de Brunt (1932) segundo Allen et al. (1998):

Admite-se que $T_{sup} \cong T_{atm}$, que $\epsilon_{sup} \cong 1$ e que $\epsilon_{atm} \propto$ umidade do ar (ea), tem-se que:

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

Kelvin

Pressão parcial de vapor, a ser estudado nas próximas aulas

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

Z é a altitude da estação (m)

Qg_{cs} é o valor teórico de Qg em um dia sem qualquer nebulosidade

- Estimativa do Saldo de radiação (SR) -

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

Unidades das Equações

BOL – (MJ m⁻² dia⁻¹)

σ (constante Stefan-Boltzmann) – (4,903 10⁻⁹ MJ K⁻⁴ m⁻² dia⁻¹
ou

5,67 10⁻⁸ W K⁻⁴ m⁻²)

Tmax – temperatura máxima diária (K = T°C + 273,16)

Tmin – temperatura mínima diária (K = T°C + 273,16)

ea – pressão atual de vapor (kPa)

Qg/Qg_{cs} radiação de onda curta relativa – (varia entre 0 e 1, adimensional)

Qg radiação solar medida ou estimada (métodos estudados) – (MJ m⁻² dia⁻¹)

Qg_{cs} radiação solar céu límpido (sem nuvens) - (MJ m⁻² dia⁻¹)

SR – saldo de radiação - (MJ m⁻² dia⁻¹ ou W m⁻²)

Exemplo de Exercício 1

- Estime o valor do saldo de radiação (SR) para as condições abaixo descritas. Use o método de Hargreaves & Samani para estimar Q_g (com $k=0,16$).

NDA	265
r (albedo)	0.23
Lat	-22.9 graus
ea	1.9 kPa
Tmax	32 oC
Tmin	16 oC
Altitude	700 m

Passos:

- 1) Calcular Q_o
- 2) Estimar Q_g
- 3) Estimar $Q_{g_{cs}}$
- 4) Estimar BOC
- 5) Estimar BOL
- 6) Estimar SR

Resposta: SR=**12.78** MJ/m².d

Exemplo de Exercício 2

- Estime o valor do saldo de radiação (SR) para as condições abaixo descritas. Use o método de Hargreaves & Samani para estimar Q_g (com $k=0,16$).

NDA	36
r (albedo)	0.19
Lat	-29.84 graus
ea	2.3 kPa
Tmax	33 oC
Tmin	14 oC
Altitude	500 m

Passos:

- 1) Calcular Q_o
- 2) Estimar Q_g
- 3) Estimar $Q_{g_{CS}}$
- 4) Estimar BOC
- 5) Estimar BOL
- 6) Estimar SR

Resposta: SR=**18.83** MJ/m².d

BALANÇO DE ENERGIA

Nos informa sobre quais processos consumiram a energia produzida pelo balanço de radiação

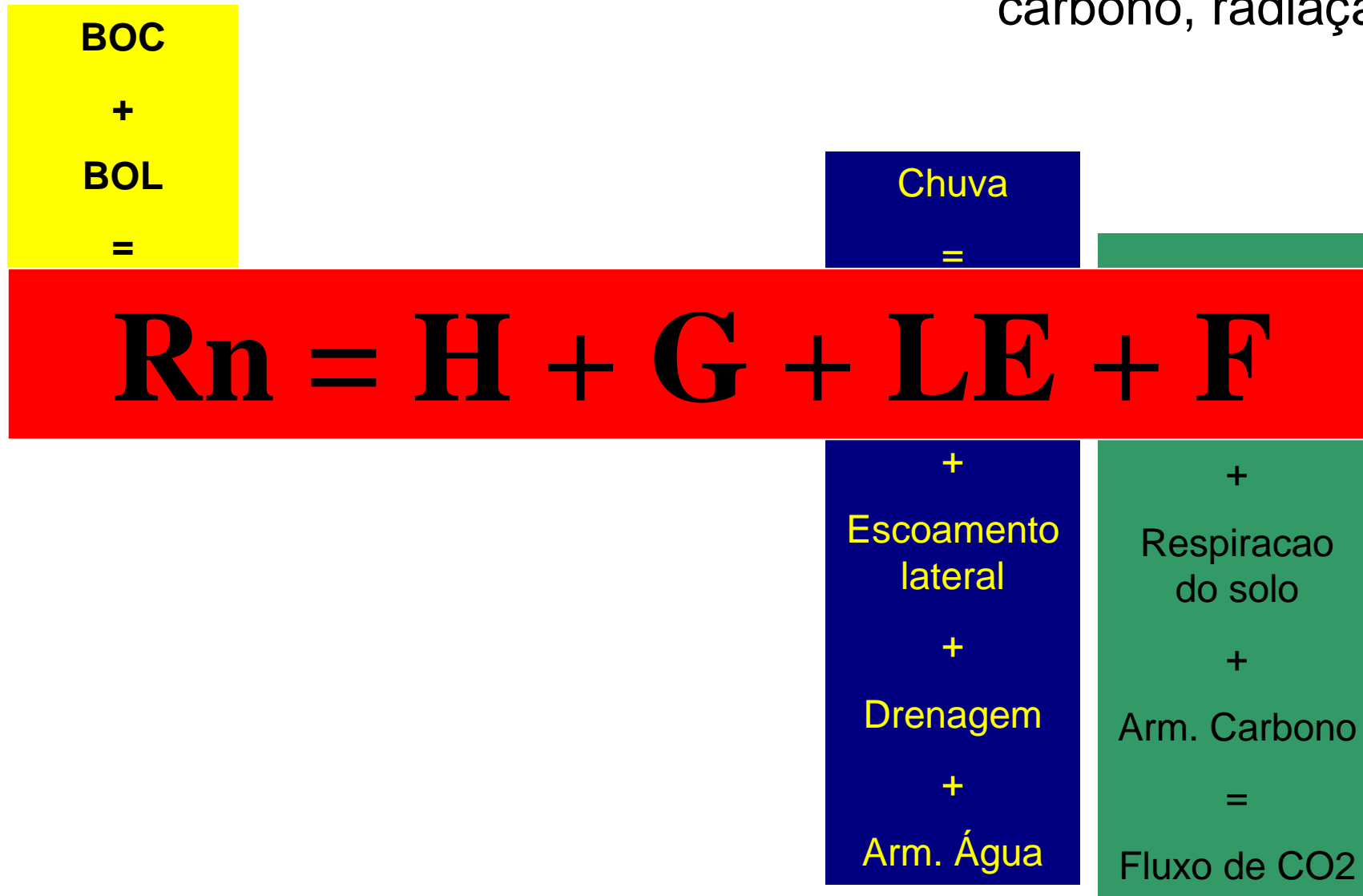
$$BOC + BOL = R_n$$

Balanço de Radiação

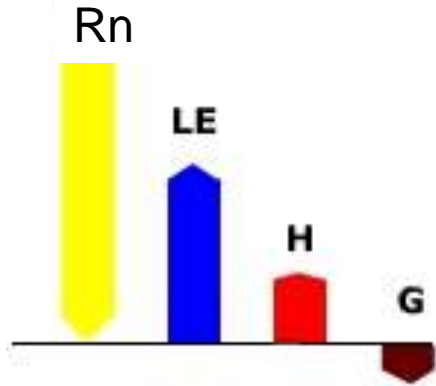
$$R_n = \text{Calor Sensível} + \text{Calor no Solo} + \text{Calor Latente} + \text{Fotossíntese}$$

Balanço de Energia

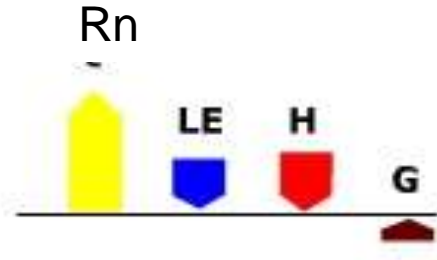
Representação esquemática dos fluxos de água, carbono, radiação e energia na biosfera.



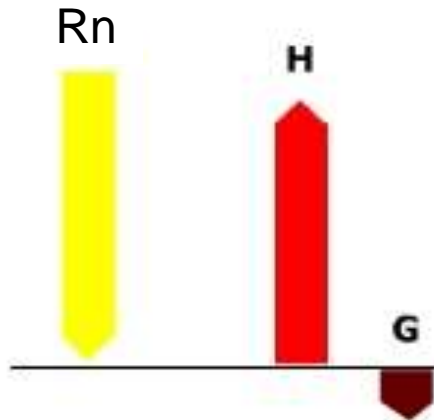
Superfície úmida - dia



Superfície úmida - noite



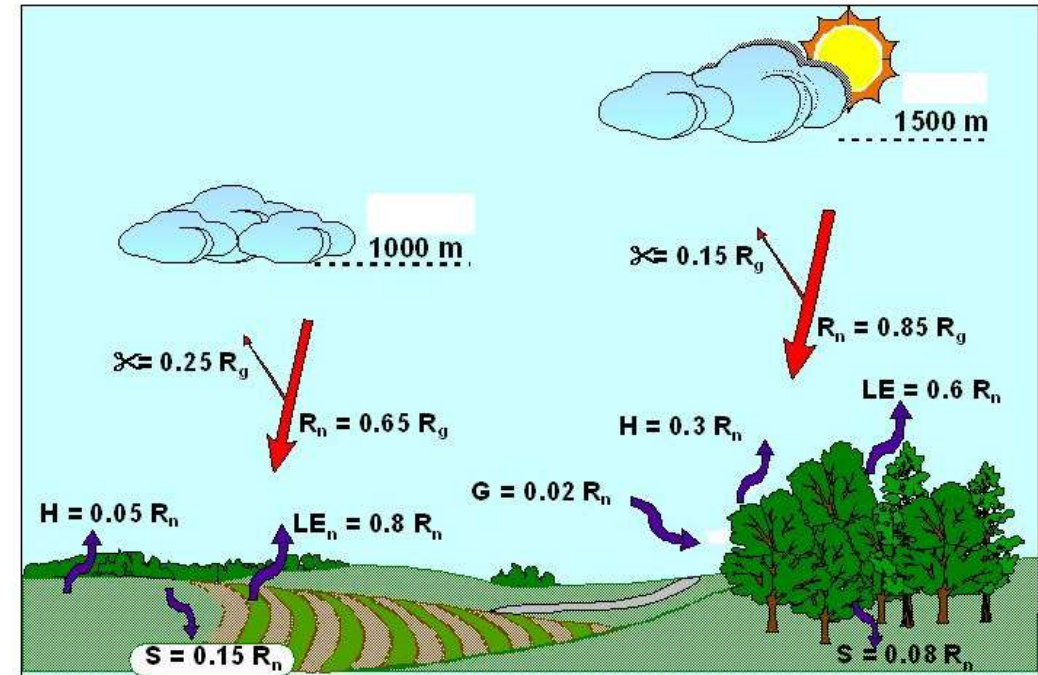
Superfície seca - dia



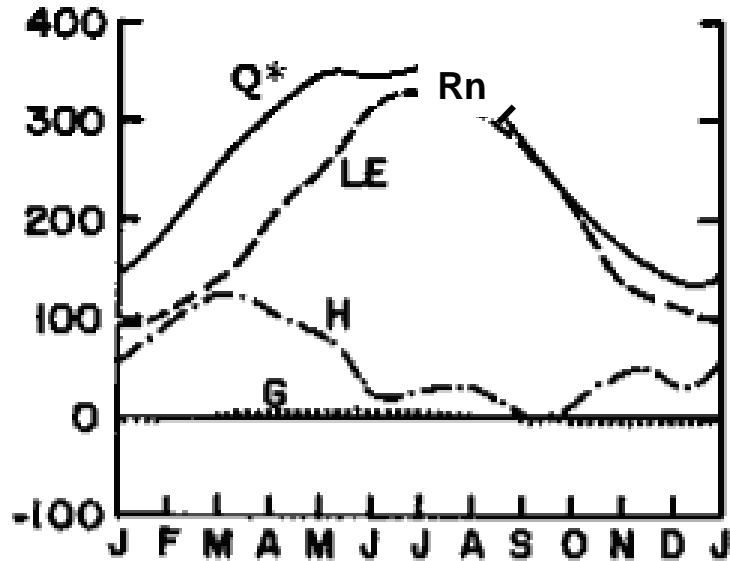
Normalmente, quando a superfície está úmida LE predomina, consumindo cerca de 70 a 80% de R_n

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

Efeito das culturas e florestas sobre o balanço de energia da superfície



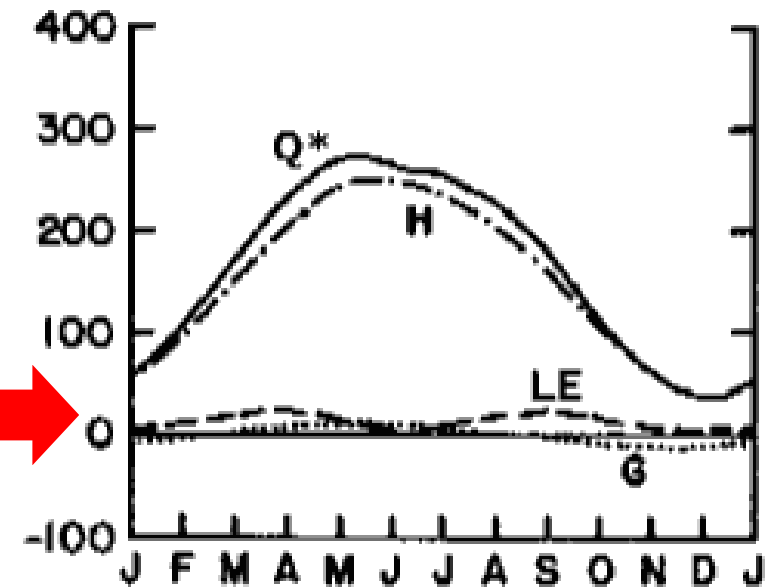
West Palm Beach, Florida (26.7°N)



$LE/R_n \approx 0,75$
 $H/R_n \approx 0,20$
 $G \approx 0,05$

Ambiente
Úmido

Yuma, Arizona (32.7°N)

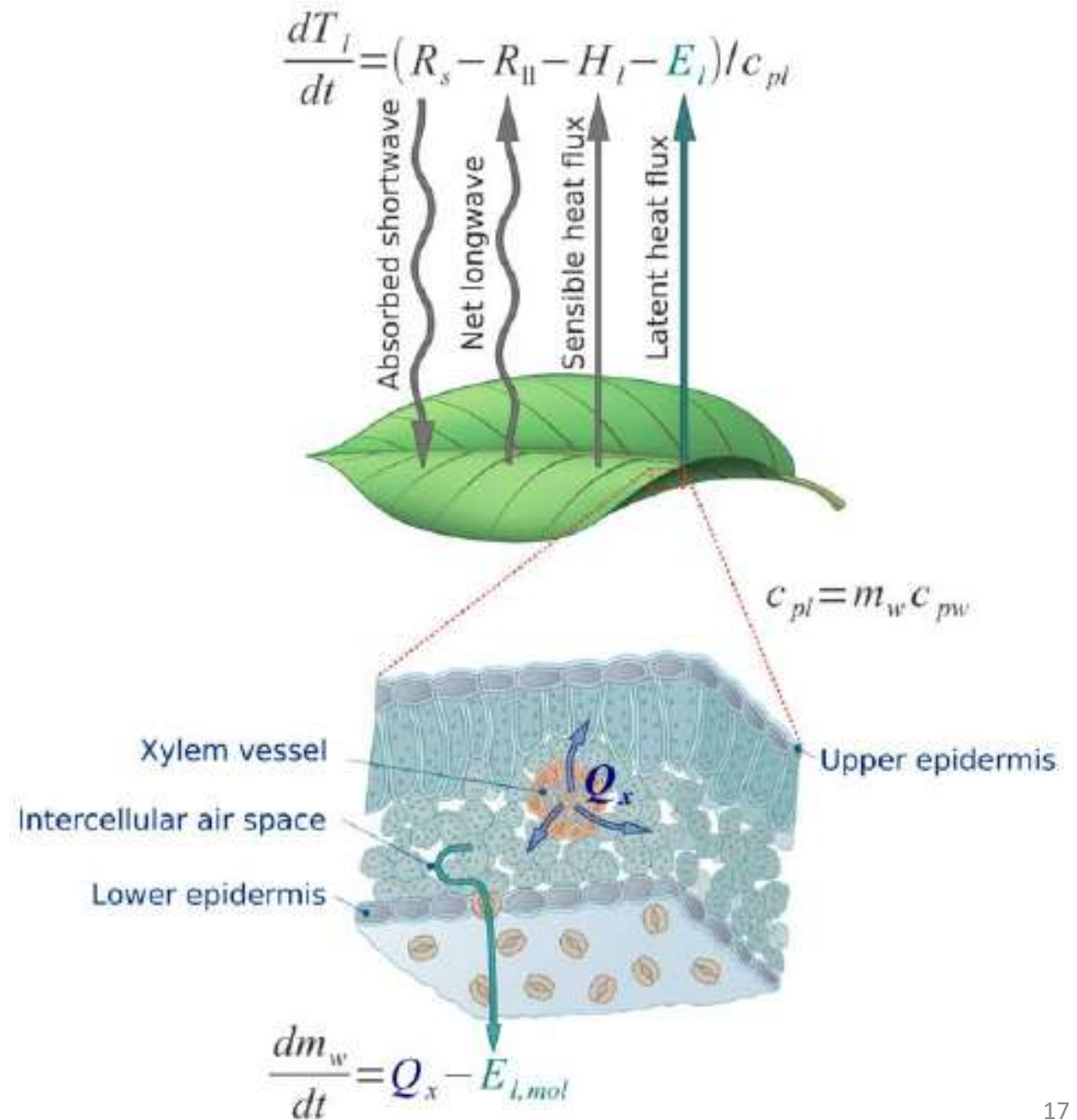


$LE/R_n \approx 0,10$
 $H/R_n \approx 0,85$
 $G \approx 0,05$

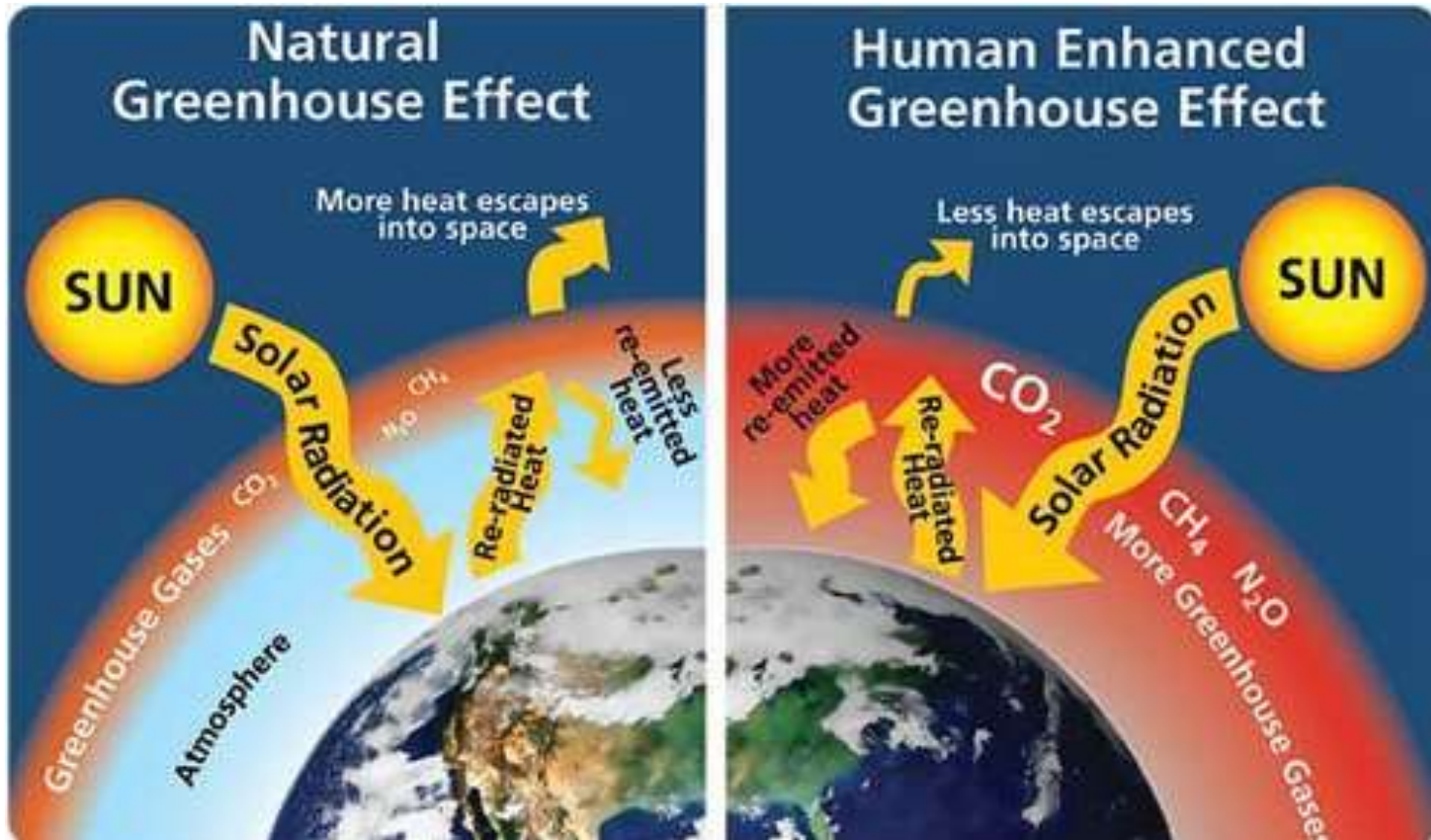


Ambiente
Seco

Balço de Radiao para uma Folha



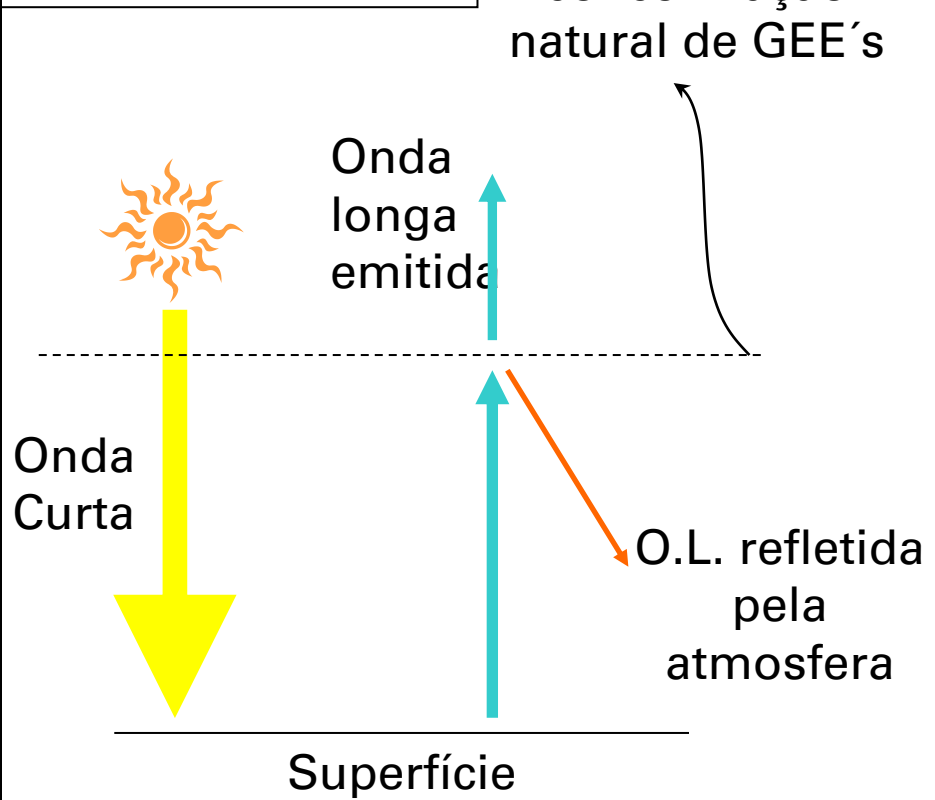
Mudanças Climáticas



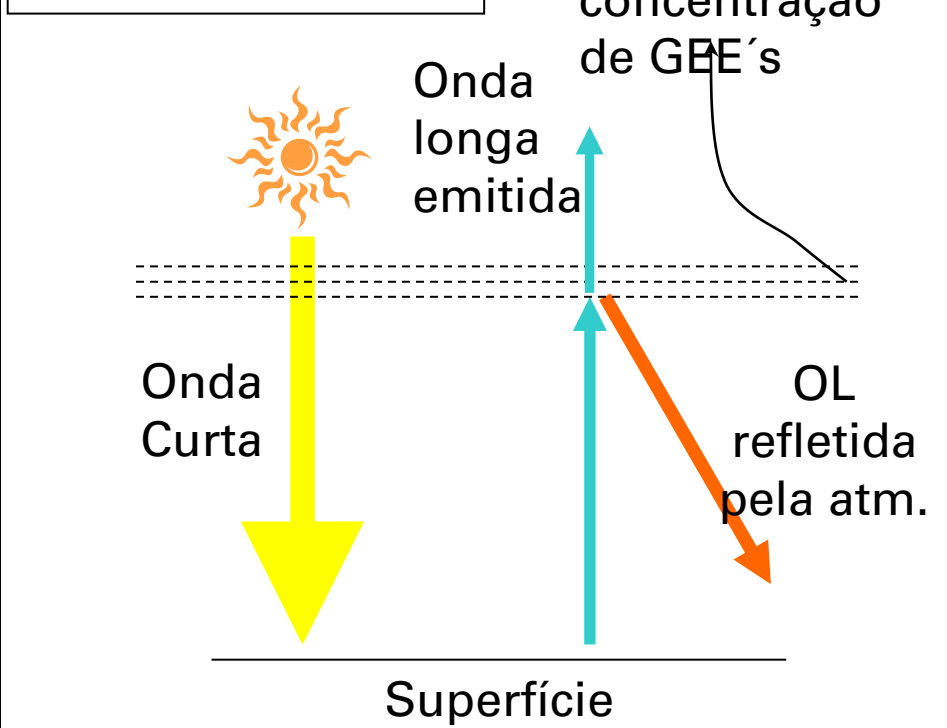
- GEE atuam como filtros para a OL emitida pela superfície – temperatura em torno dos 300 K;
- Ondas curtas emitidas pelo Sol (temperatura em torno dos 6000K) sofrem pouca interferência da atmosfera terrestre, causando desequilíbrio no balanço de radiação da Terra.

Efeito Estufa: bases físicas

Efeito Estufa em condições normais



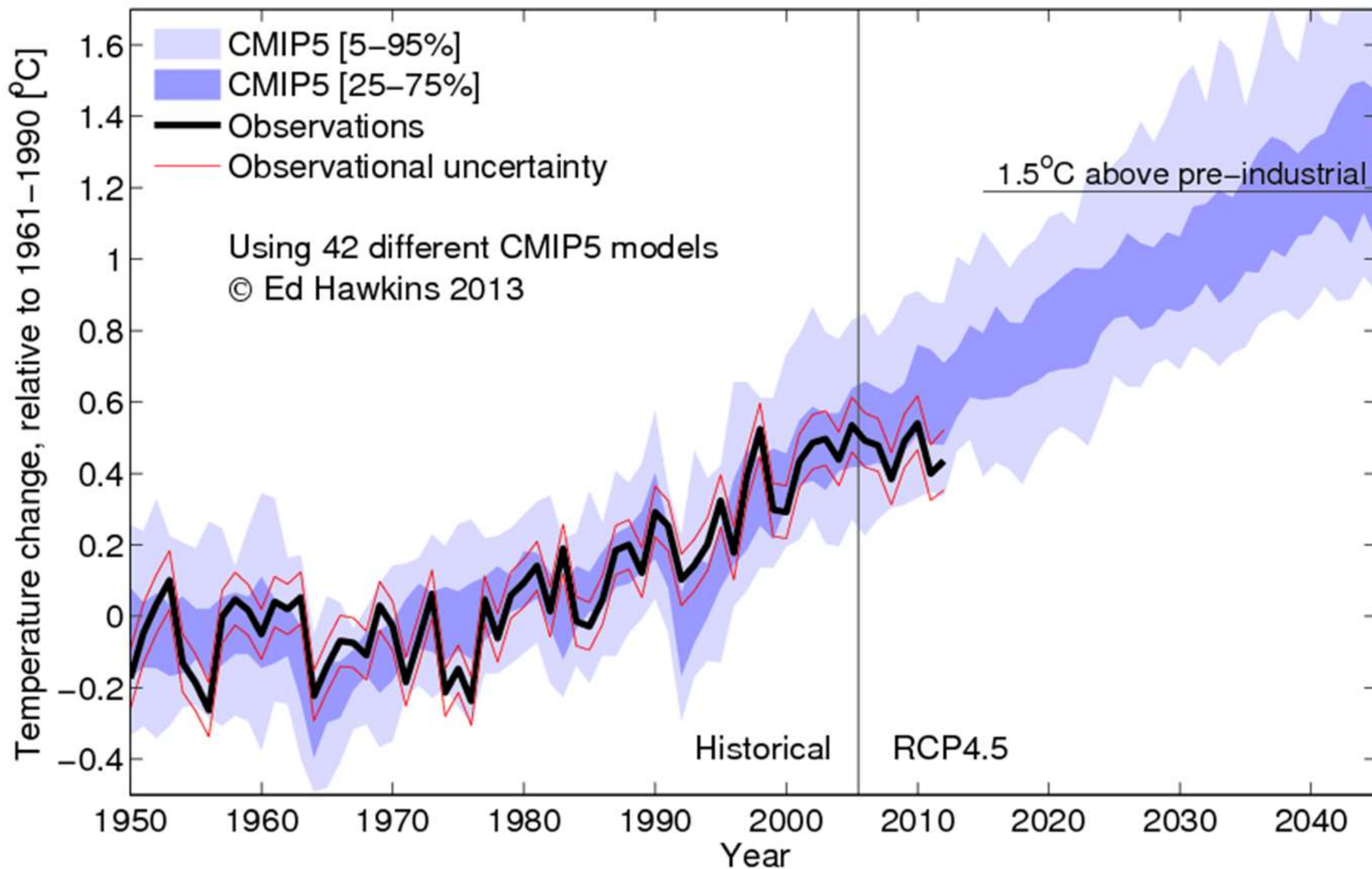
Efeito Estufa com atmosfera alterada



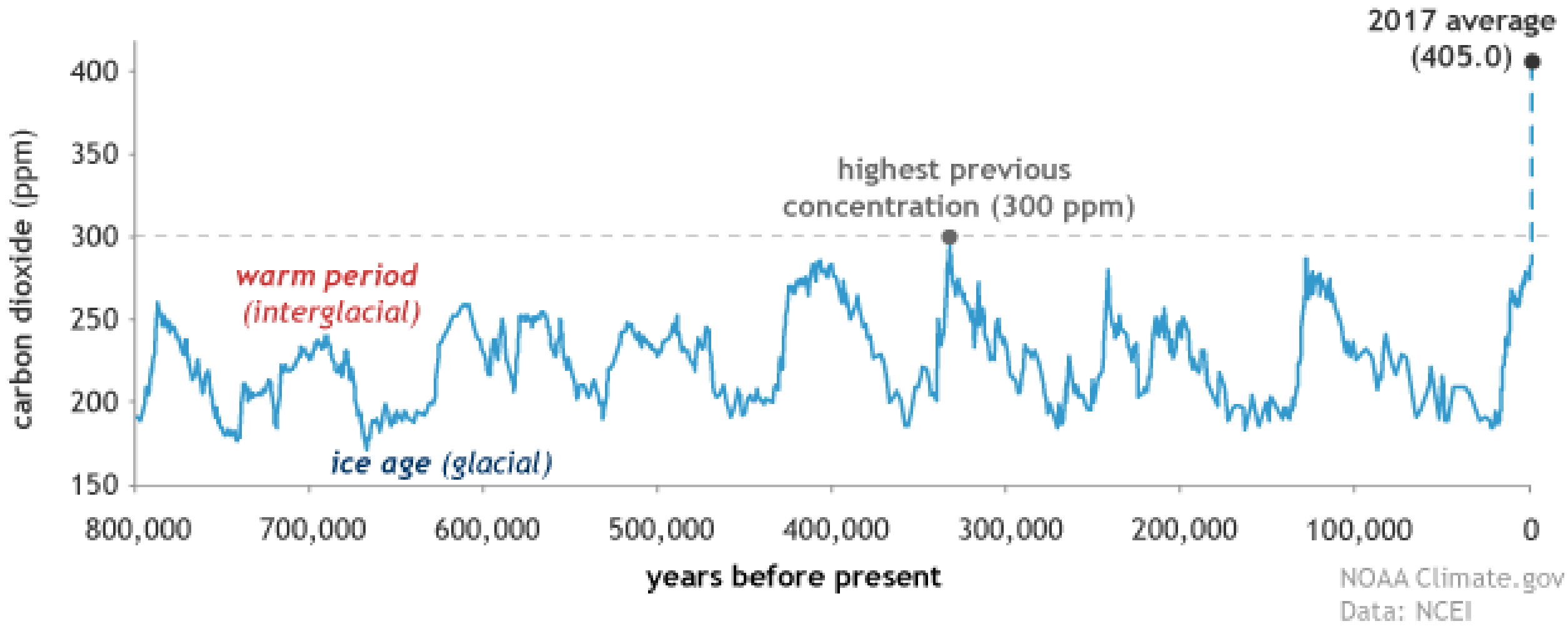
A quantidade de energia que chega ao sistema permanece o mesmo, mas uma parte da energia que era emitida ao espaço fica retida, aumentando sua temperatura.




GLOBAL TEMPERATURES: comparing CMIP5 & HadCRUT4



CO₂ during ice ages and warm periods for the past 800,000 years





Balanço de Radiação e Geada

- Do ponto de vista meteorológico, geada é quando há deposição de gelo sobre as superfícies expostas ao relento em noites de intenso resfriamento. Neste caso, temperatura de 0°C é o suficiente para provocar a geada.
- Do ponto de vista agrônômico, geada é um fenômeno atmosférico que provoca a morte das plantas ou de suas partes (folhas, ramos, frutos), devido à ocorrência de baixas temperaturas que acarretam o congelamento dos tecidos vegetais, havendo ou não a formação de gelo sobre as plantas.



Efeitos da Geada

- O congelamento do tecido gera extravasamento do conteúdo celular e ruptura da membrana plasmática.
- Os resultado desse fenômeno é a desidratação das células, com secamento das folhas, necrosamento dos vasos condutores necrosados e danos aos Nos frutos.

Cultura	Germinação	Florescimento	Frutificação
Trigo	-9	-2	-4
Aveia	-8	-2	-4
Feijão	-5	-3	-4
Girassol	-5	-3	-3
Soja	-3	-3	-3
Milho	-2	-2	-3
Sorgo	-2	-2	-3
Algodão	-1	-2	-3



Sensibilidade à Geada

- Cada espécie (as vezes cada variedade!) tem uma temperatura letal abaixo da qual há morte dos vegetais.
- Ela pode ser variável em função da fase fenológica, estado nutricional e fitossanitário.

Planejamento e Controle

A seleção de áreas e espécies/variedades

Regiões mais elevadas têm maiores riscos (macroescala);

Terrenos com face voltada para o Sul e áreas de vale podem ter “deposição” de ar frio com elevação do risco de geada (topoescala);

Uso de técnicas de consorciação, nebulização e cobertura de plântulas podem ser utilizadas para controlar as geadas (microescala).

Obrigatória:

Pereira, Angelocci, Sentelhas. Meteorologia Agrícola. Apostila. ESALQ. 2007.
Caps 10 e 19.

Disponível em

http://www.ler.esalq.usp.br/aulas/lce306/MeteorAgricola_Apostila2007.pdf

Leitura