

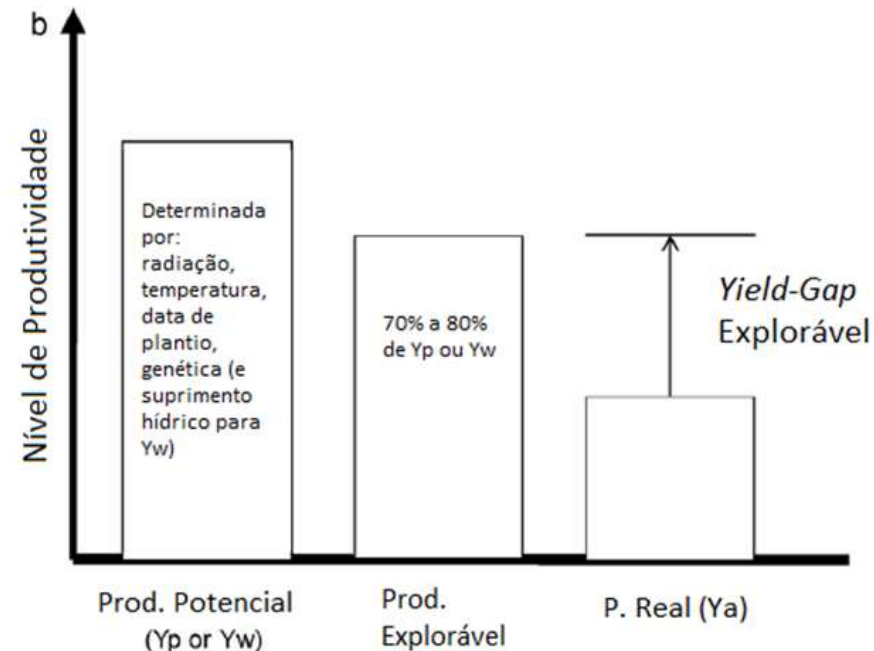
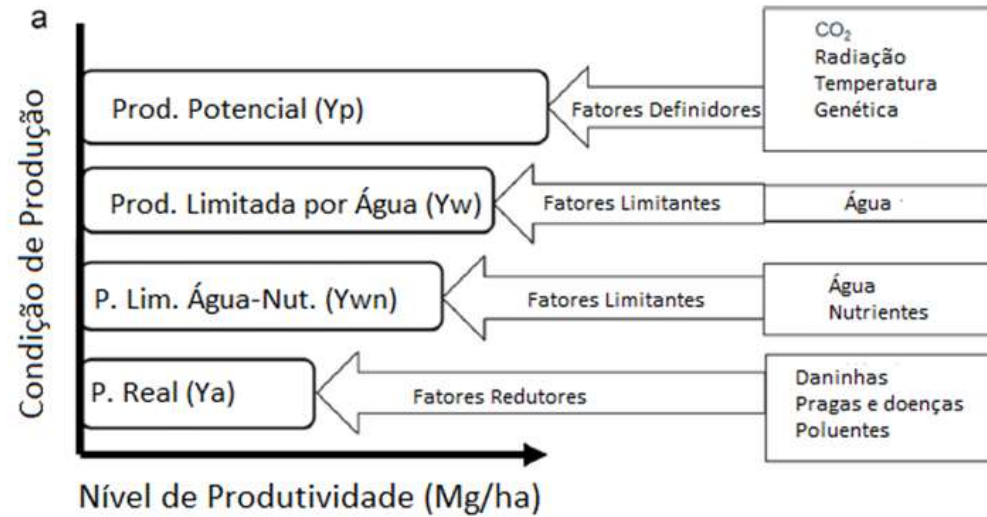
Tópico 4 - Revisão de Meteorologia Agrícola e Fisiologia Vegetal para interpretação dos efeitos da Mudança do Clima

Prof. Fábio Marin

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"
Departamento de Engenharia de Biosistemas
LEB 410 – Mudanças Climáticas e Agricultura



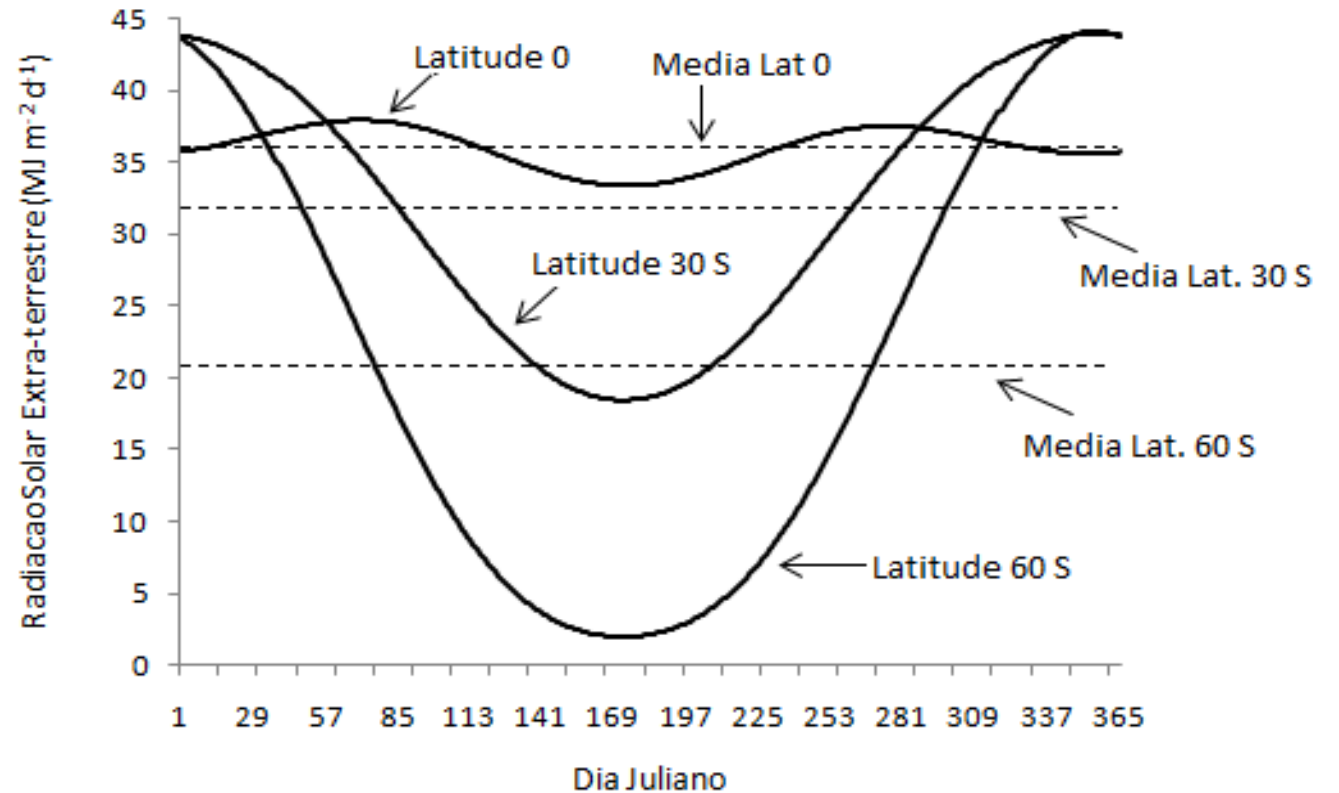
Níveis de produção e seus respectivos fatores determinantes/limitantes



Em resumos, os cenários climáticos futuros apontam para:

- Tendências mais consistentes apontam para:
 - Aumento da temperatura do ar
 - Com aumento mais pronunciado na temperatura noturna
 - Redução no risco de geadas
 - Manutenção dos níveis de radiação solar incidente
 - Aumento na concentração de CO₂
- Há ainda incerteza nas projeções de
 - Regime de chuva, mas já há relatos científicos de aumento na frequência de eventos extremos como a maior incidência de veranicos (e ondas de calor associadas) no centro-sul do Brasil, e maior ocorrência de chuvas intensas
 - Umidade e velocidade do vento

Observe a variação da radiação solar extra-terrestre (Q_0) para diferentes latitudes (linha cheia) e o valor médio anual (linhas pontilhadas)



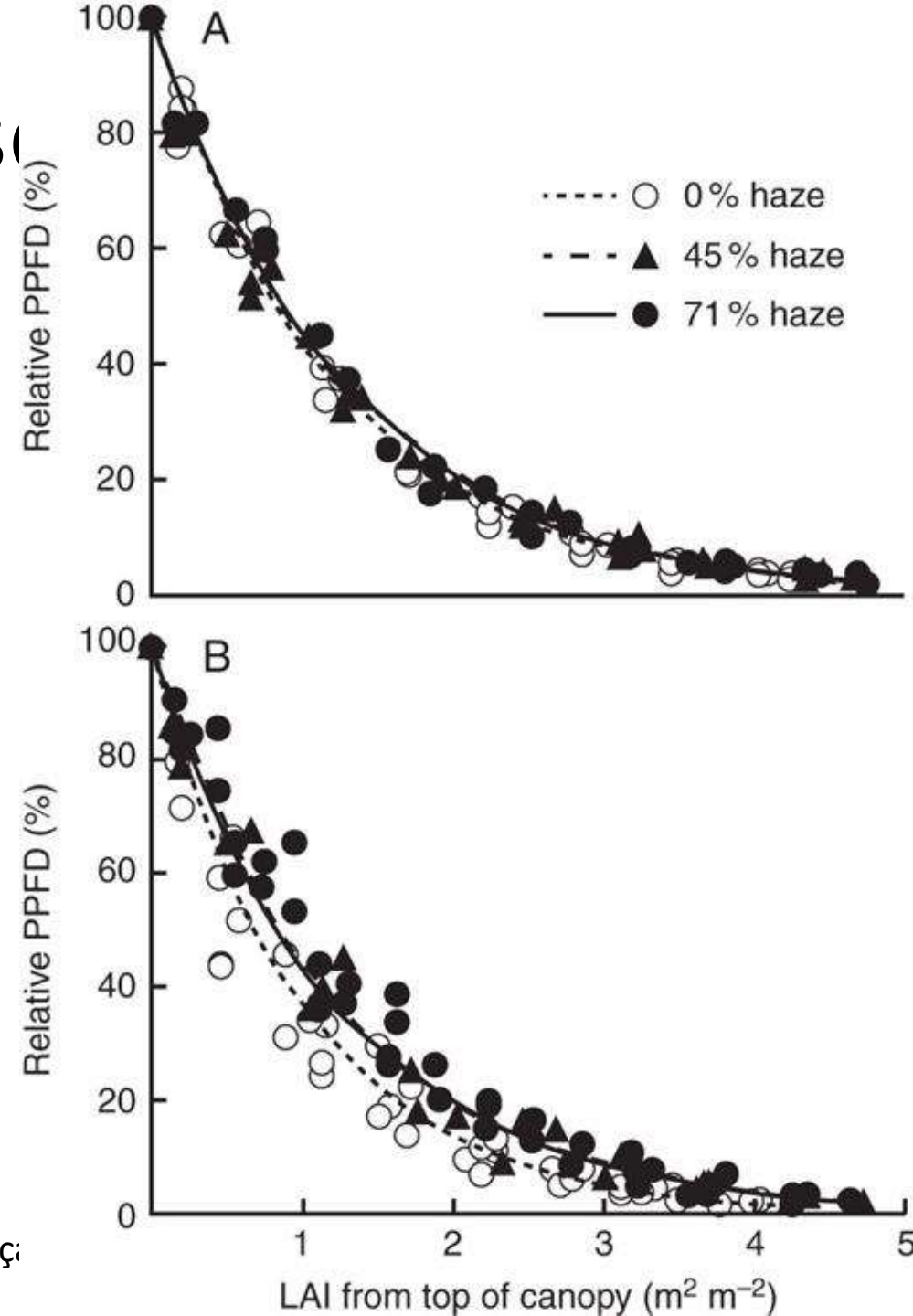
Resposta: em qual dos locais a produção de espécies perenes é mais indicada? E das culturas anuais?

Como calcular a radiação absorvida pelo dossel vegetativo?

- É possível calcular a quantidade de energia absorvida pelas folhas de uma plantação através da Lei de Beer (adaptada por Monsi & Saeki)

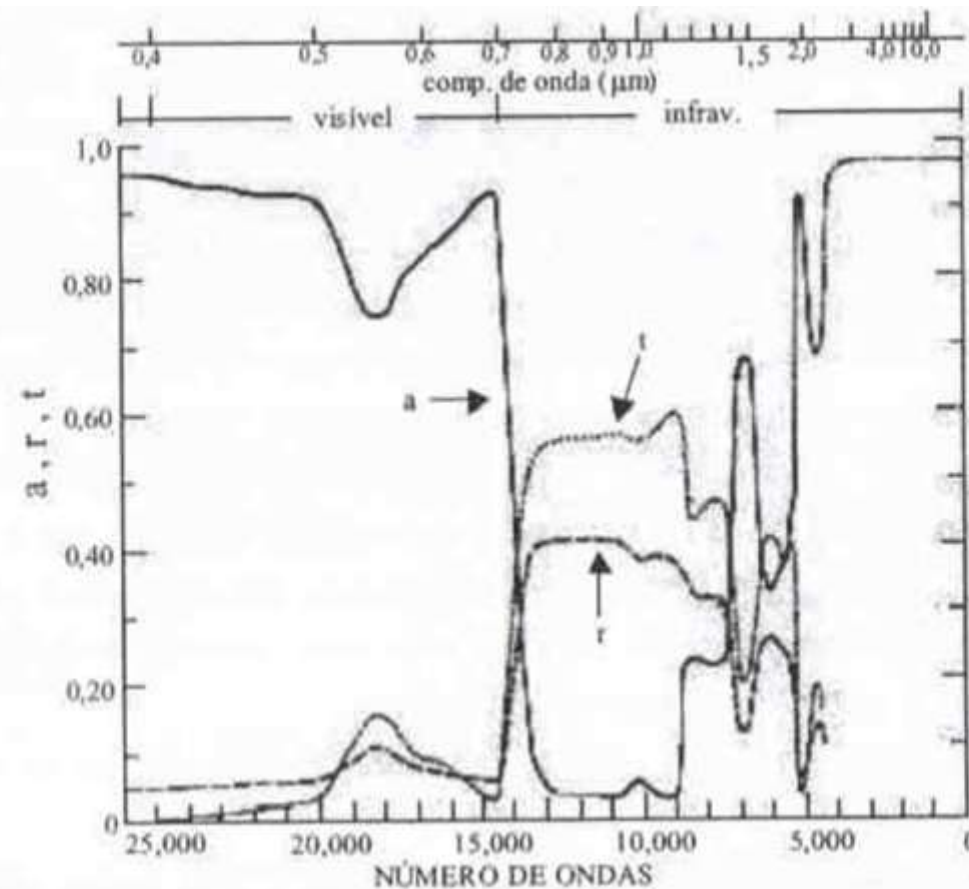
$$I = I_0 e^{-k IAF}$$

sendo que k é o coeficiente de extinção, que é função do tipo de folha, da arquitetura da copa e do ângulo de incidência dos raios solares, IAF é o índice de área foliar (m^2/m^2), I é a radiação abaixo do dossel vegetativo e I_0 é a radiação solar acima do dossel.



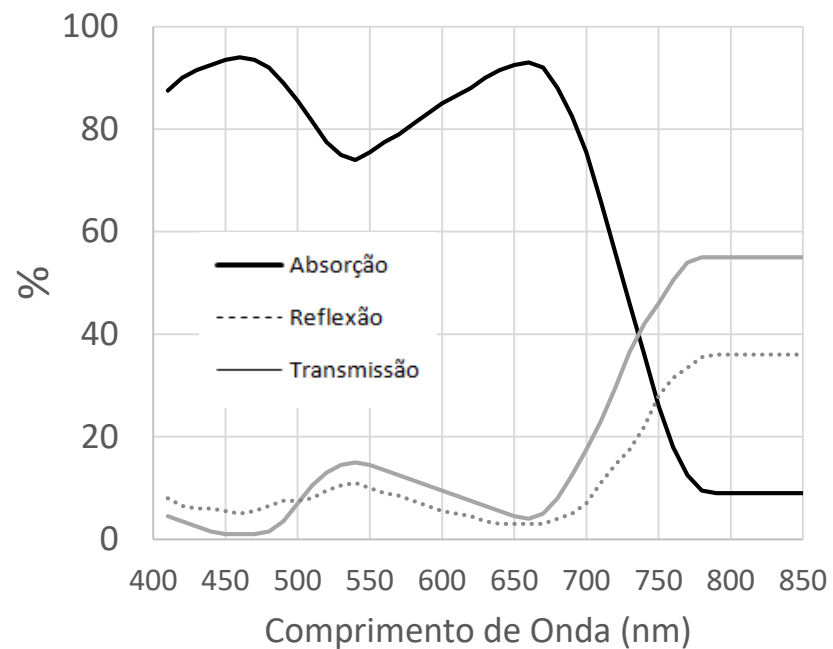
Observe aqui as três linhas representando os comprimentos de onda mais absorvidos, refletidos e transmitidos pelas folhas largas e verdes. As curvas espectrais mostram a variação espectral da absorvância (a), reflectância (r) e transmitância (t)

- Tente identificar no gráfico e entender os seguintes conceitos:
 - Absorção
 - Reflexão
 - Emissão
 - Transmissão



Radiação Absorvida pelo Dossel Vegetativo

Observe a variação espectral da refletância, transmitância e absorbância para uma vegetação hipotética



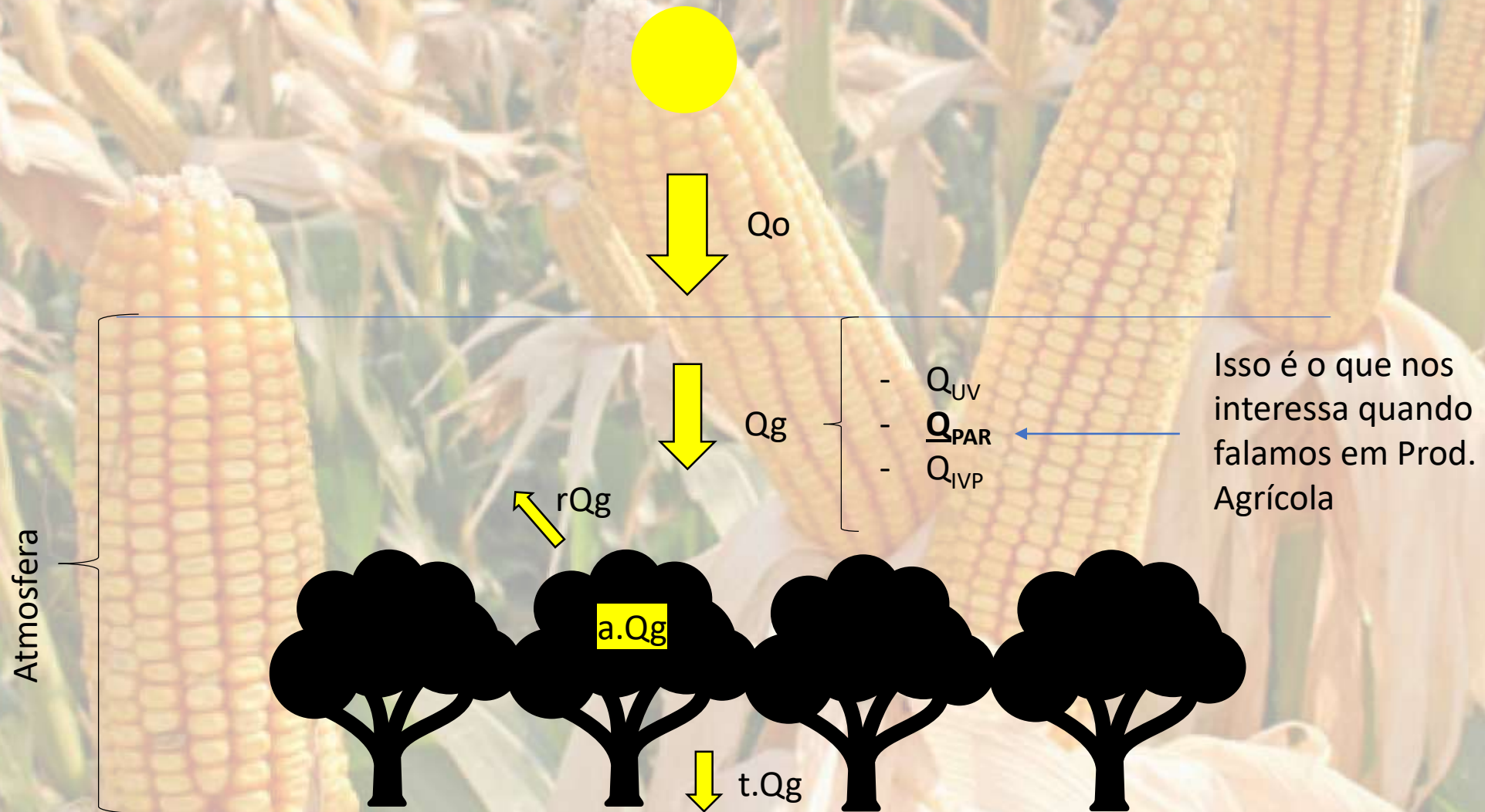
$$\text{Absorção (A)} = (I_0 - I) / I_0$$

$$\text{Transmissão (T)} = I / I_0$$

$$\text{Reflexão (r)} = I_0 (1 - r)$$

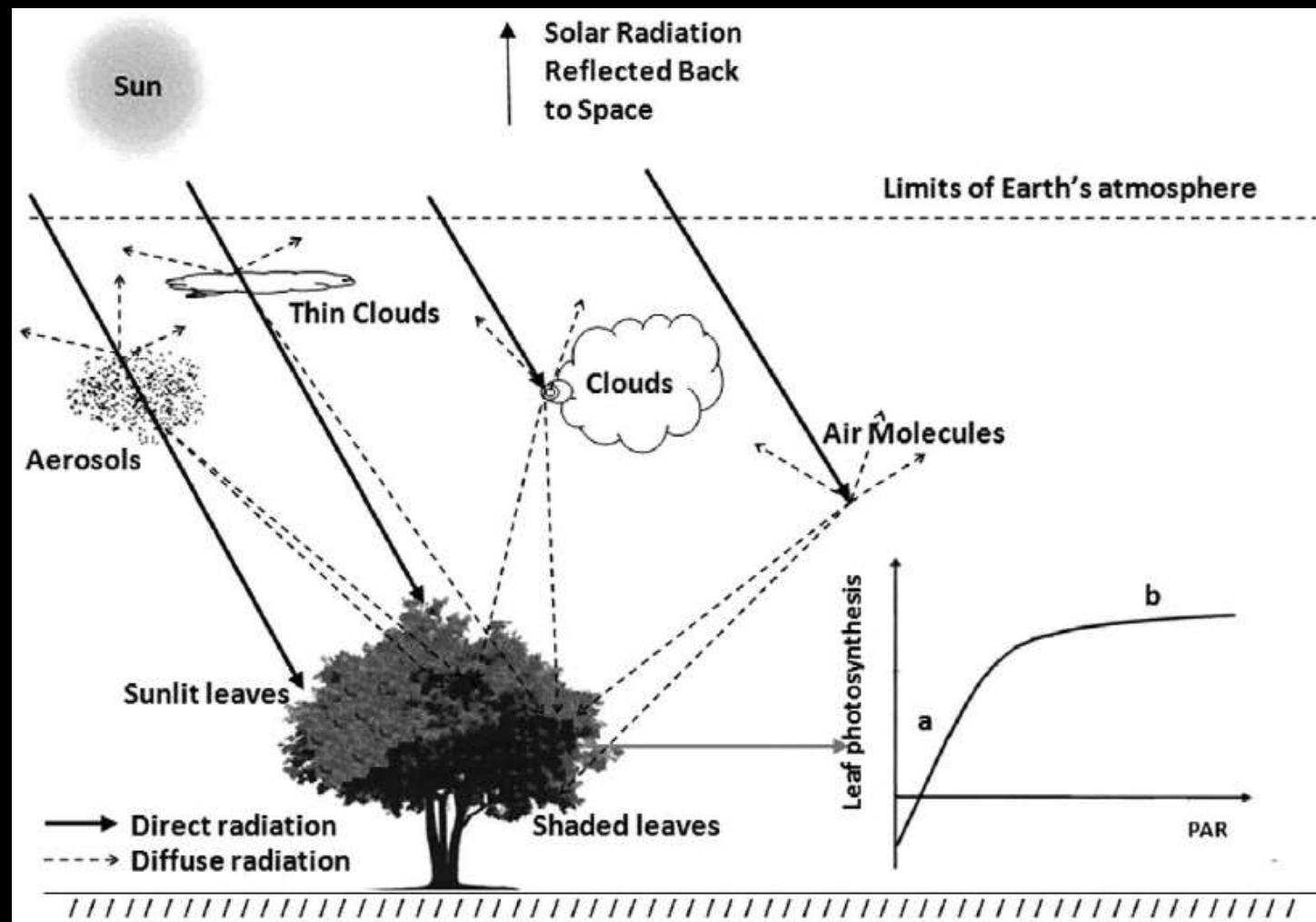
Sendo que I_0 é a radiação que incide sobre as folhas e I e a radiação abaixo da folhagem

Interação Radiação - Vegetação



Observe agora um esquema um pouco mais detalhado...

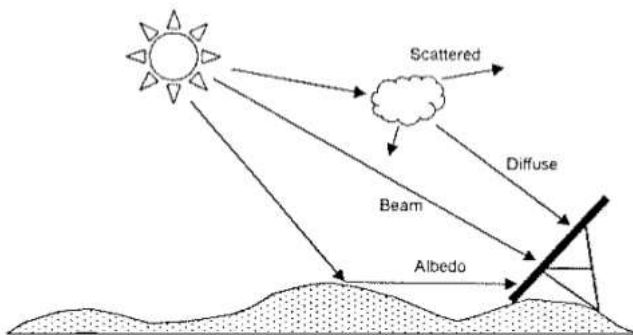
- Representação esquemática da interação entre a radiação solar com a atmosfera, descrevendo a radiação solar direta (linha cheia) e difusa (linha pontilhada), bem como sua interação com a vegetação



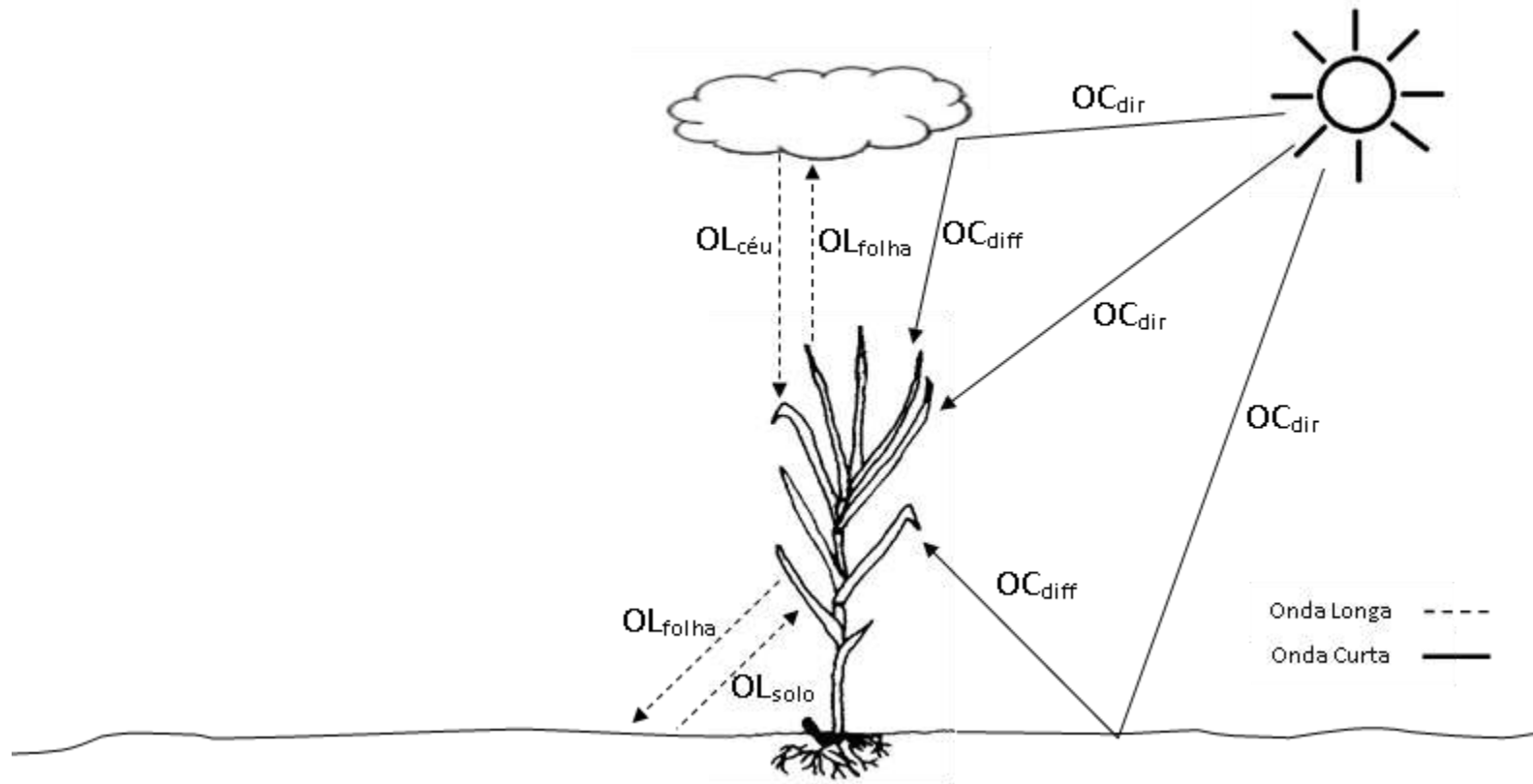
Radiação direta e difusa

- Quanto ao *processo de difusão* da radiação solar, o efeito dos constituintes atmosféricos apenas muda a direção dos raios solares. Esse processo ocorre nos dias de céu nublado, por exemplo. Nessas situações, que os raios solares vêm de todas as direções possíveis. Evidentemente, esse processo também afeta a quantidade e a qualidade da radiação solar que atinge a superfície da Terra, pois parte desta radiação é difundida de volta para o espaço sideral.
- Quanto mais limpa estiver a atmosfera, menor será a proporção da radiação solar que sofrerá o processo de difusão. Isso significa que maior proporção dos raios solares atingem *diretamente* a superfície. Essa radiação *direta* é que projeta sombra dos objetos e tem uma direção bem definida (unidirecional) e determinada pelo *ângulo zenital (Z)*.

Difference between Beam Radiation and diffuse Radiation



Balanço de Radiação



Balanço de Radiação

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

$$BOC = Q_g - rQ_g$$

Dia: Positivo
Noite: negativo

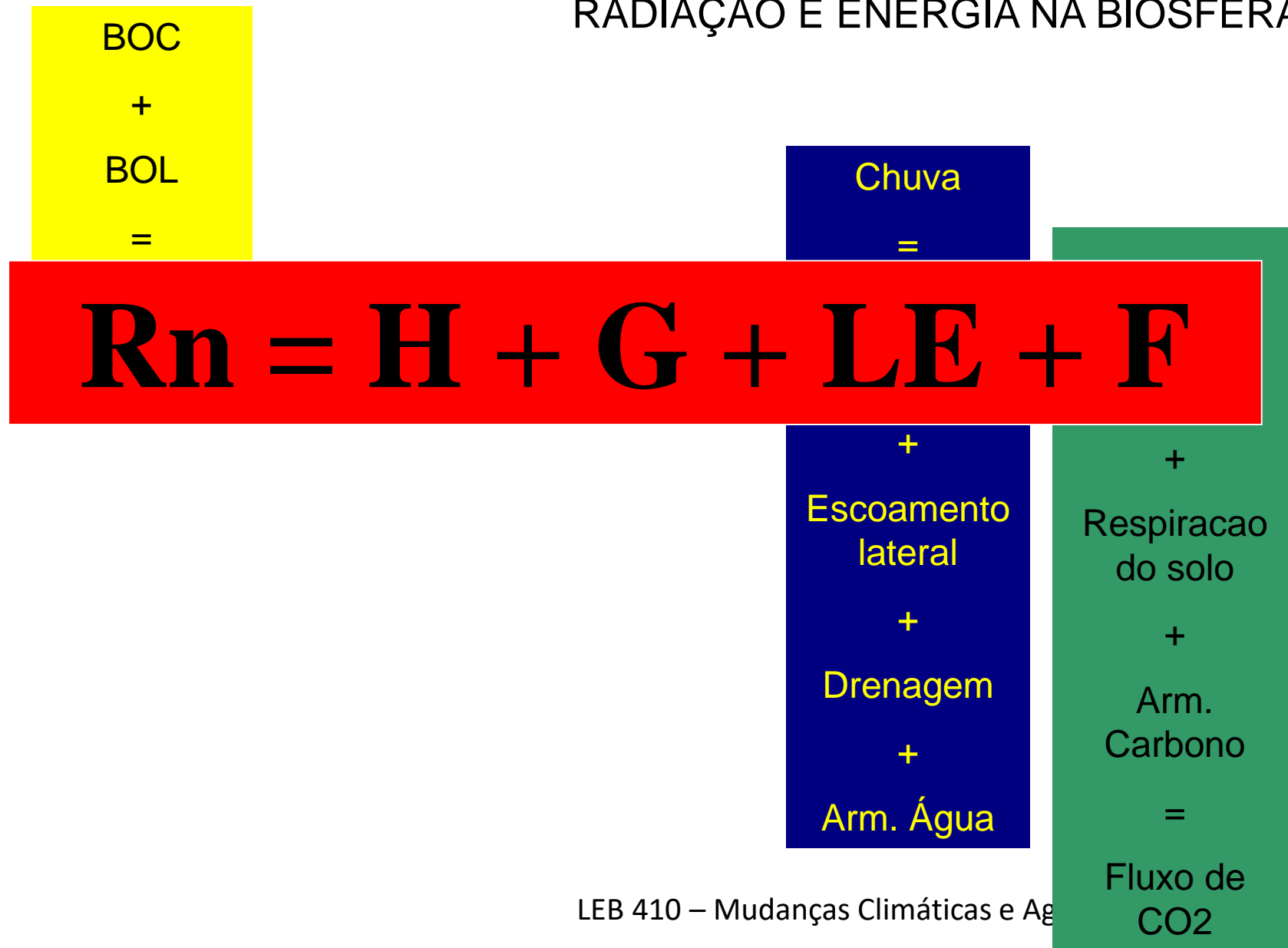
$$BOL = Q_a - Q_s$$

Dia: negativo
Noite: negativo

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

Dia: positivo
Noite: negativo

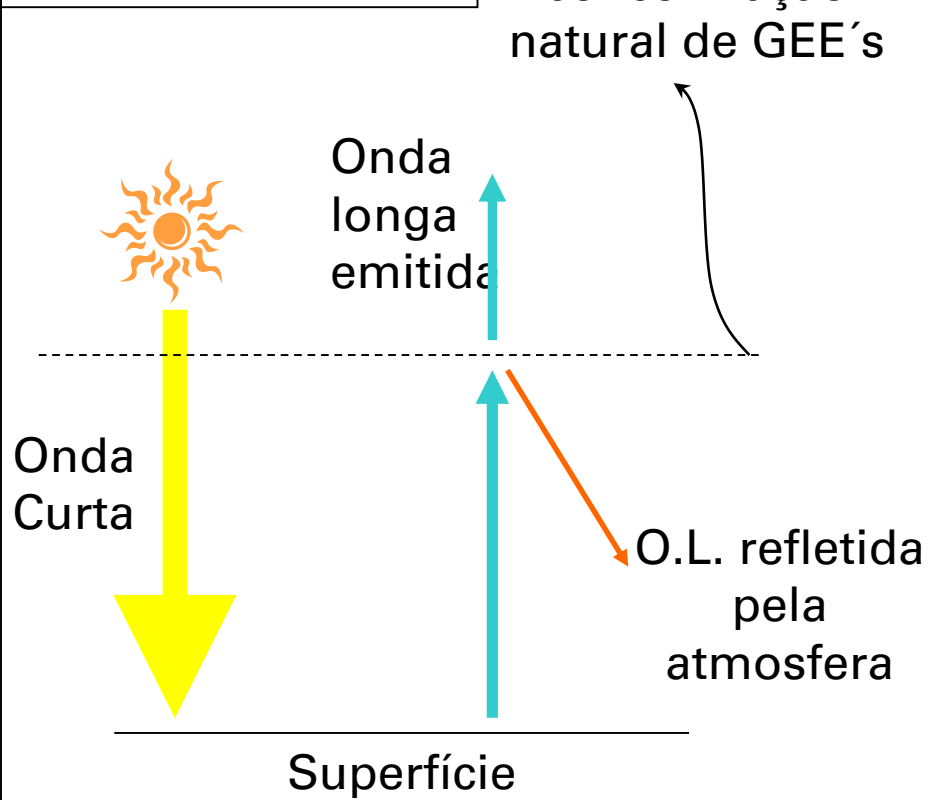
REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DOS FLUXOS DE ÁGUA, CARBONO, RADIAÇÃO E ENERGIA NA BIOSFERA.



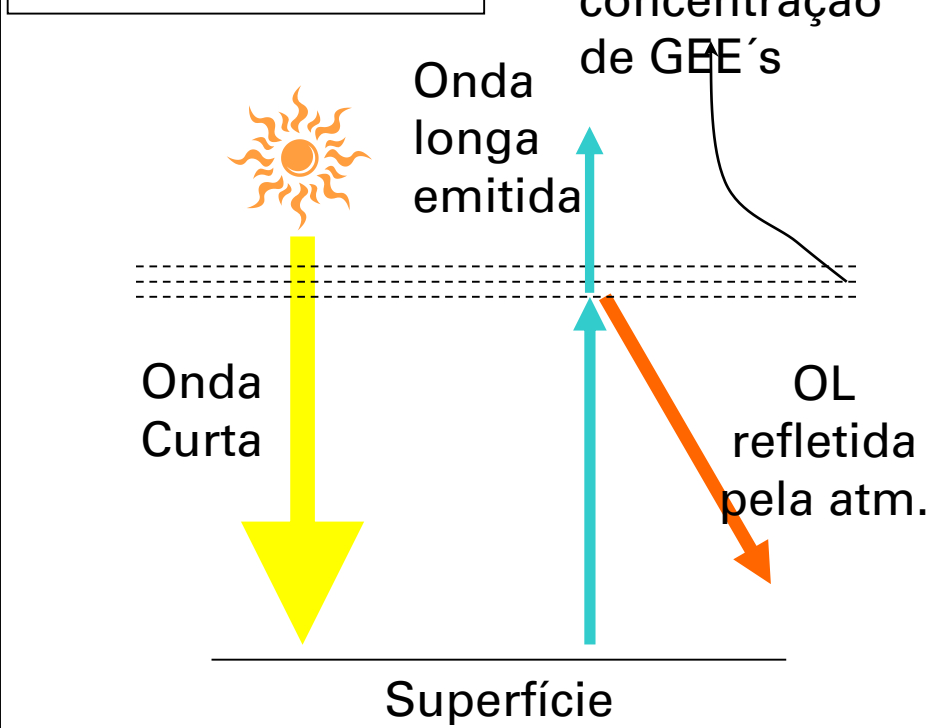
Efeito Estufa: bases físicas

- 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.

Efeito Estufa em condições normais



Efeito Estufa com atmosfera alterada

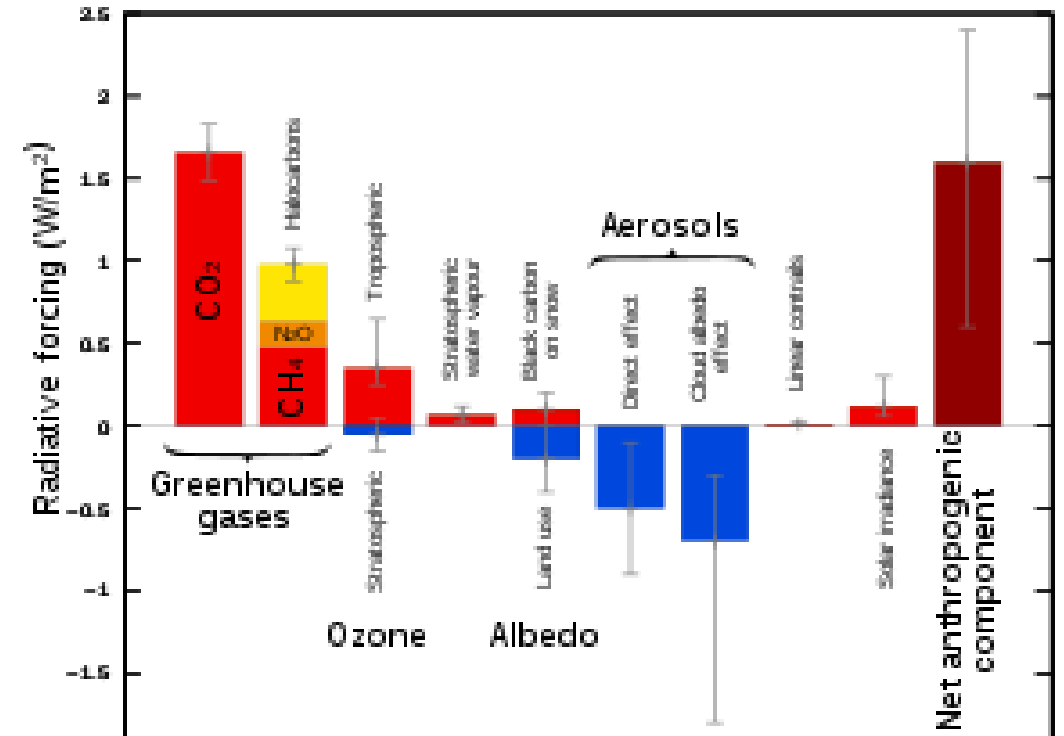


A quantidade de energia que chega ao sistema permanece o mesmo, mas uma parte da energia que era emitida ao espaço fica retida, aumentando sua temperatura.

Forçantes Radiativa

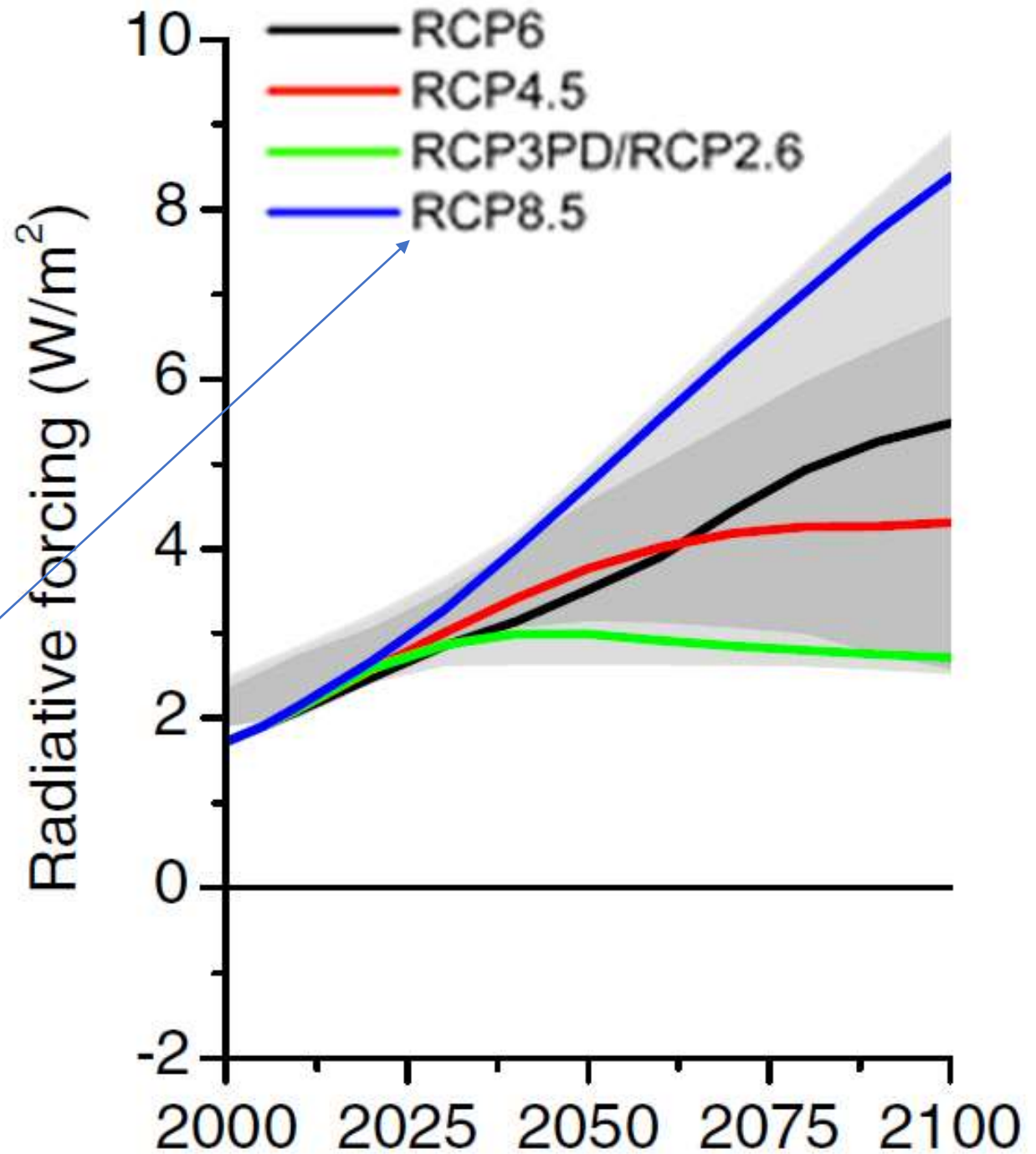
- Definição: Mudança no fluxo radiativo ascendente resultante, permitindo o reajuste da temperatura da estratosfera após o equilíbrio radiativo, mantendo-se a temperatura da superfície e da troposfera fixados nos valores não perturbados.

Radiative-forcing components



Forçantes Radiativas

RCP - "Representative Concentration Pathways"



TEMPERATURA DO AR

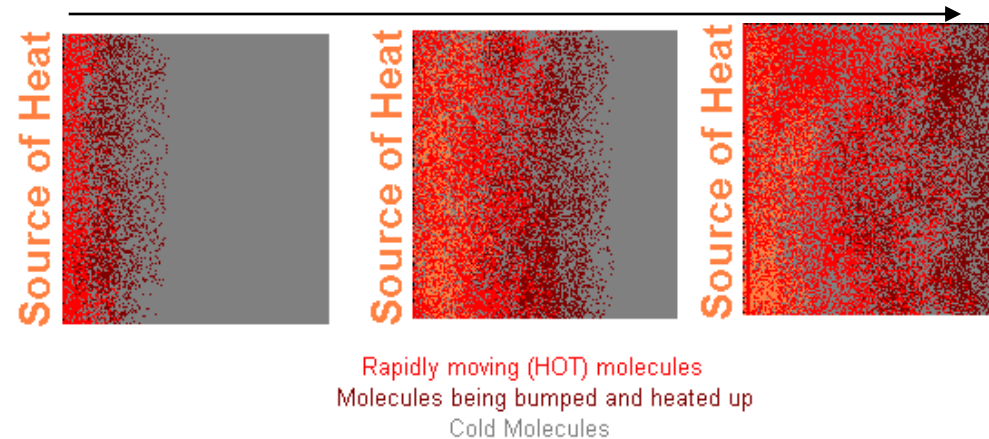
Relembrando do conceito básico de temperatura:

- Temperatura - energia interna de uma substância ou um corpo qualquer, vulgarmente associado às sensações de frio e calor; mais especificamente é a medida da [energia cinética](#) associada ao movimento (vibração) aleatório das partículas.
- Diversas das propriedades físicas da matéria – se em estado sólido, líquido ou gasoso; sua densidade, solubilidade, pressão de vapor, condutividade hidráulica, etc – são dependentes da temperatura do sistema em análise. Além de influenciar nas propriedades químicas, acelerando a velocidade das reações e do metabolismo nos seres vivos.
- Um dos principais fatores determinantes da distribuição e desenvolvimento das plantas e animais

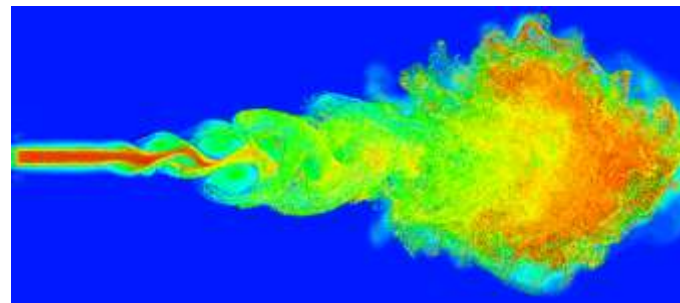
Mecanismos de aquecimento da atmosfera

Aquecimento da atmosfera próxima à superfície terrestre por transporte de energia:

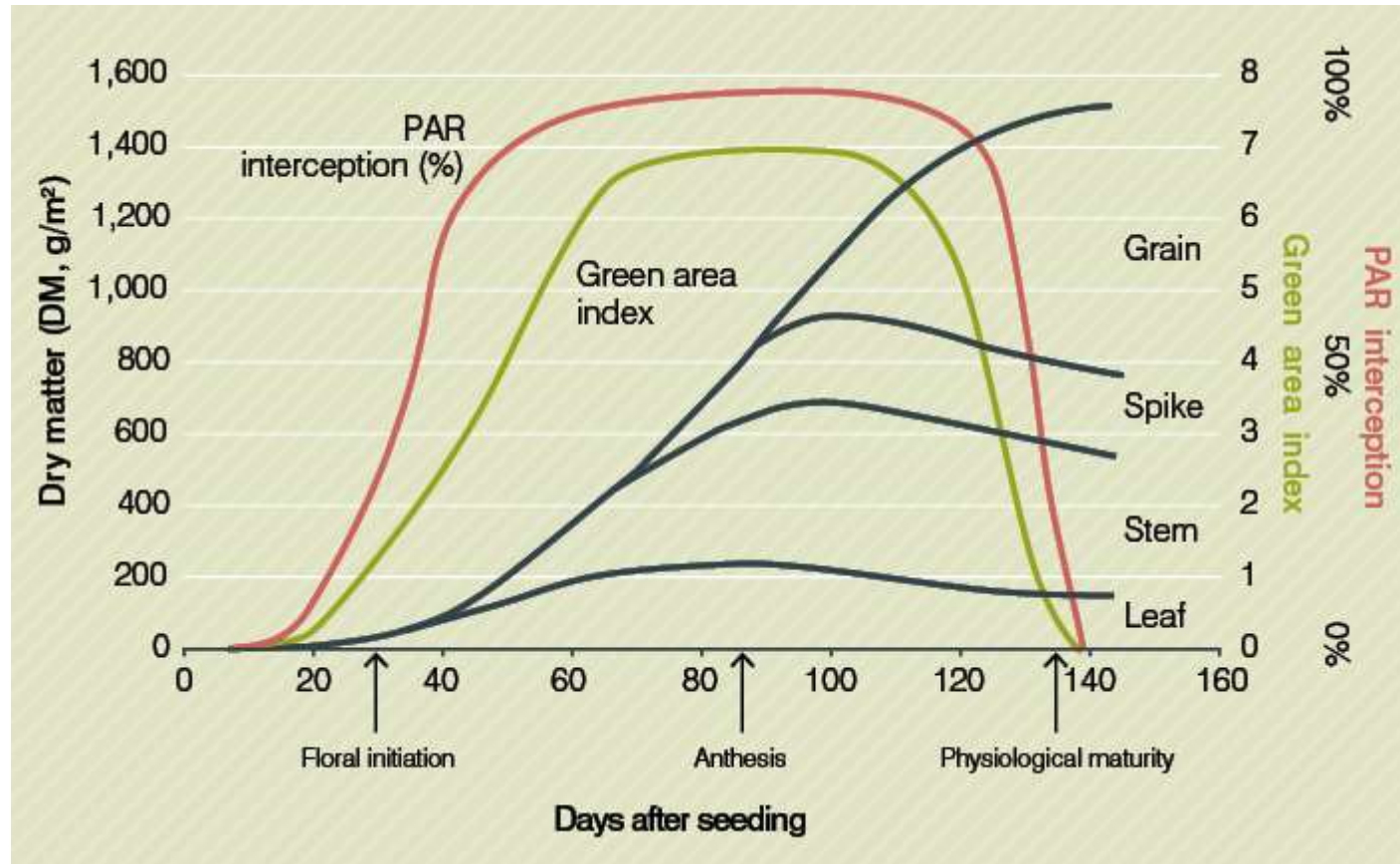
→ **Condução molecular** – troca de calor sensível por contato entre as “moléculas”, com extensão superficial limitada (máximo de 3m);



→ **Difusão turbulenta**: processo “eficiente” de transporte de energia, com movimento ascendente de parcelas de ar aquecidas – dispersão de CO₂, vapor d’água e poeira.



Fenologia e Temperatura do Ar



Evolução do índice de área foliar, interceptação por radiação fotossinteticamente ativa (PAR) (%) e acúmulo de matéria seca (MS) particionada entre os componentes da cultura de trigo em função dos dias após a semeadura.

Qual o erro da figura abaixo?

Conceito de Graus-Dia

- Imagine um experimento em que uma cultivar foi cultivada sob diferentes temperaturas. A duração da fase entre a semeadura e o florescimento foi registrado, obtendo-se a Figura ao lado:

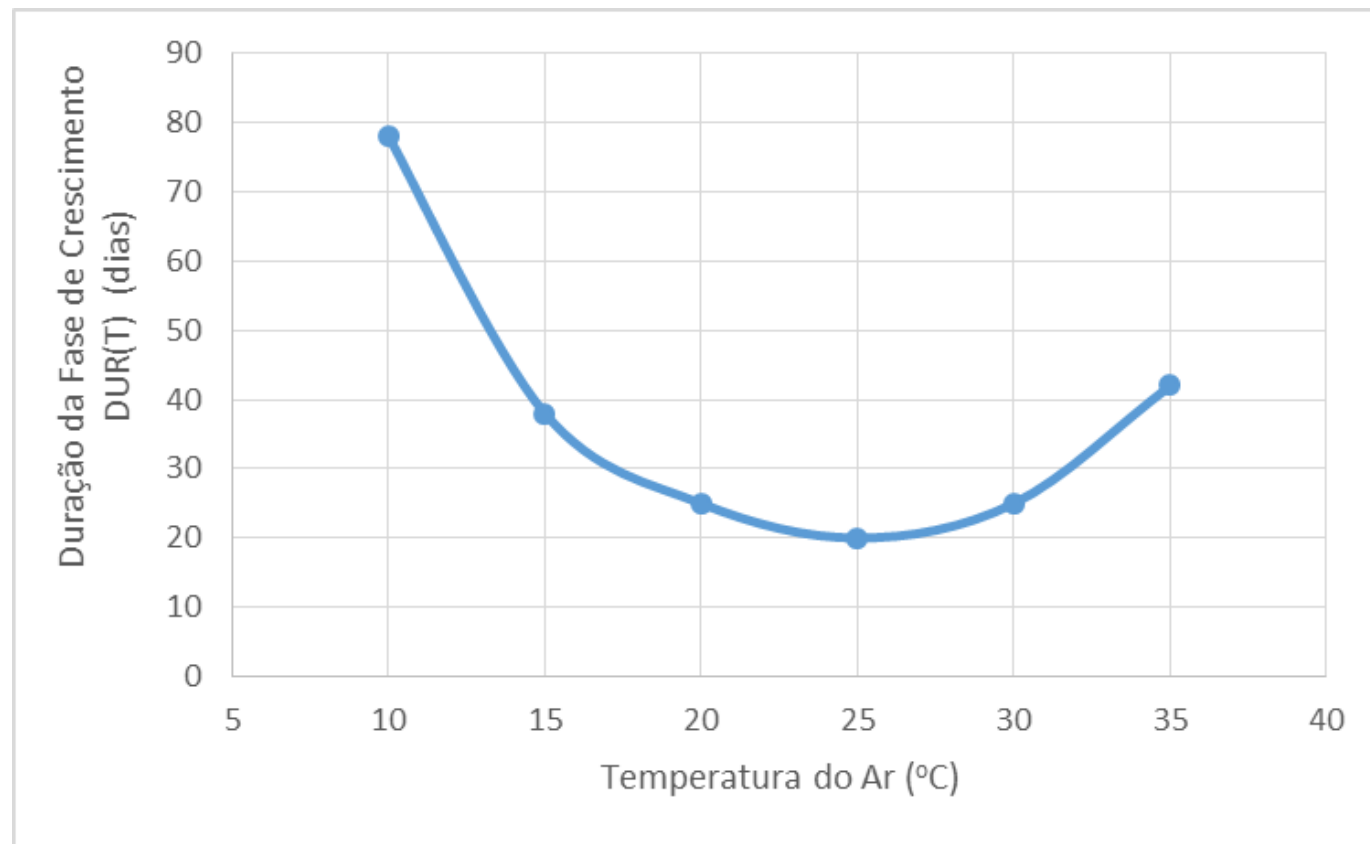


Fig 1

Conceito de Graus-Dia

- Invertendo-se a duração da fase ($DUR(T)$) obtém-se a taxa de desenvolvimento ($R(T)$) em função da temperatura. A Figura abaixo ilustra uma relação típica de $R(T)$ em função da temperatura, calculada a partir dos dados da Figura ao lado.

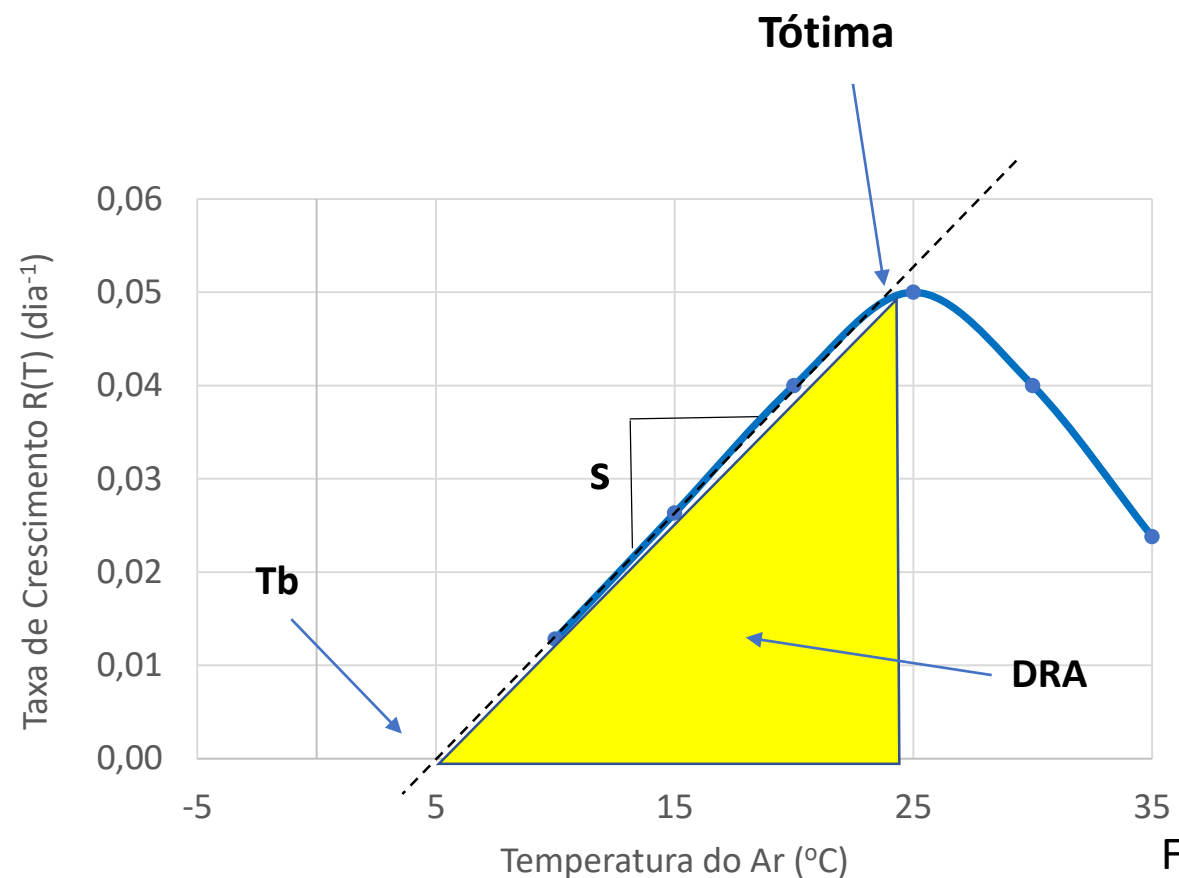


Fig 2

Relembrando o Conceito de Graus-Dia

Integrando $R(T)$ ao longo do tempo, pode-se obter o desenvolvimento acumulado de um organismo e, quando o desenvolvimento acumulado é igual a 1 o desenvolvimento está completo. Assumindo-se $R(T)$ é linear com a temperatura, pode-se escrever

$$R(T) = s(T - T_b)$$

em que s é o coeficiente angular da linha pontilhada na Figura 2 e T_b é a intersecção com o eixo x. Note que a unidade de s é $\text{dia}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$. Para temperatura abaixo de T_b o desenvolvimento acumulado é zero. Lembrando que quando o desenvolvimento relativo acumulado (DRA) é igual a 1, então $\text{DRA} = \text{Constante térmica (CT)}$ e o evento biológico estará completo. É possível computar DRA em função dessa relação linear da seguinte forma:

$$\text{DRA} = \int_{t(\text{semeadura})}^{t(\text{colheita})} R(T) dT = \int_{t(\text{semeadura})}^{t(\text{colheita})} s(T - T_b) dt$$

Conceito de graus-dia

Essa equação pode ser simplificada admitindo que s é constante e DRA é igual a 1 (ou seja 100% do ciclo foi concluído):

$$\frac{1}{s} = \int_{t(\text{semeadura})}^{t(\text{colheita})} (T - T_b) dt$$

Lembrando que dT pode ser aproximado para Δt numa notação finitesimal, e que quando $\Delta t=1$ pode-se acumular $(T-T_b)$ até um somatório térmico ($1/s$). Este somatório ($=1/s$) representa o número de graus-dia necessário para a conclusão de uma dada fase ou mesmo do ciclo de crescimento, sendo também conhecida como **Constante Térmica (CT)**. Para cômputo diário (GD) do número de graus-dias acumulados, pode-se então usar a seguinte expressão:

$$GD = (T - T_b) nd$$

em que T (maiúsculo) é a temperatura média do período (veja no slide seguinte algumas exceções); nd representa o número de dias do período; t (minúsculo) é o tempo e T é a temperatura do ar.

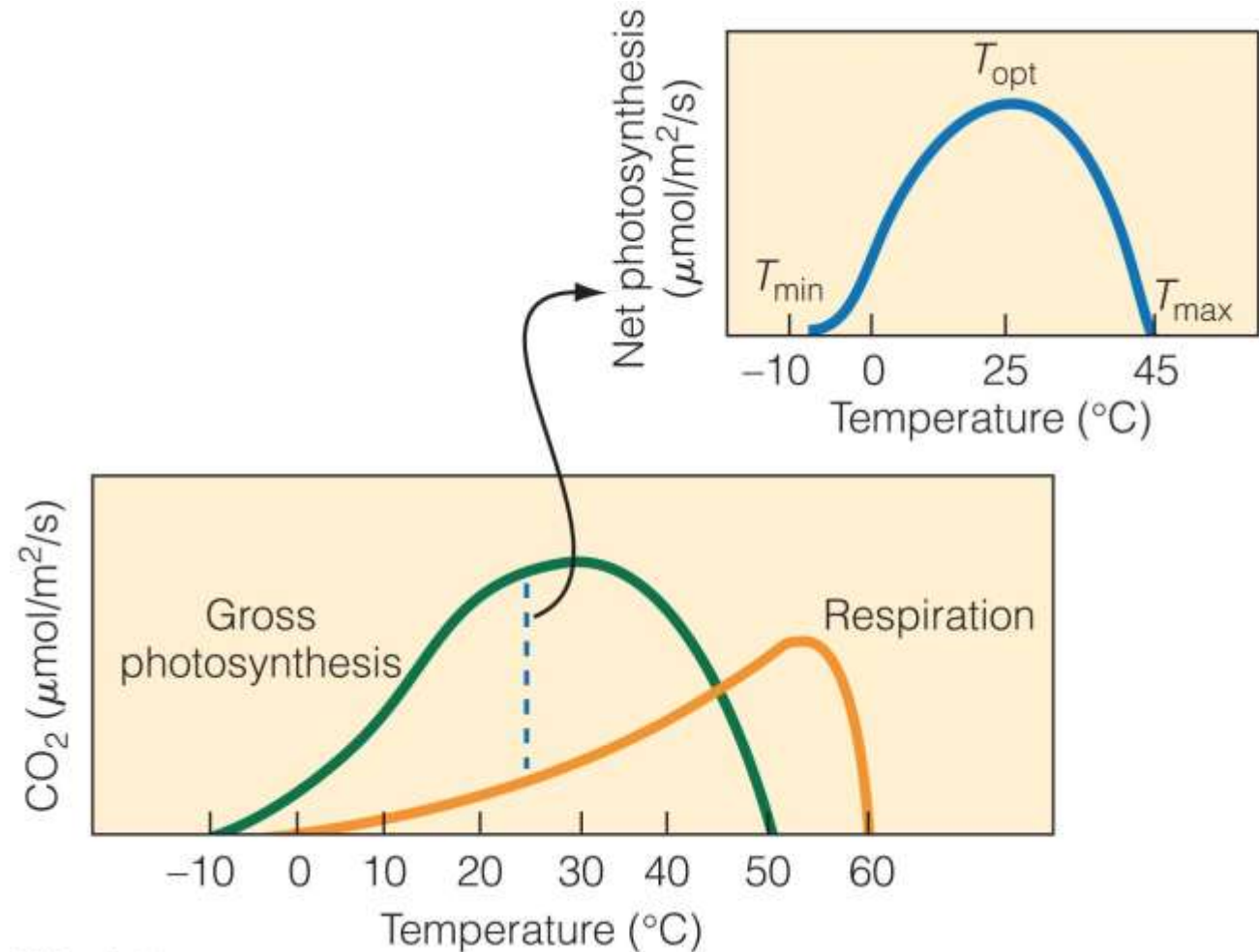
Na Tabela abaixo, temos alguns valores de CT e Tb para algumas culturas.

Cultura	Variedade/Cultivar	Período/Sub-período	Tb (°C)	CT (°Cd)
Arroz	IAC4440	Semeadura-Maturação	11,8	1985
		Semeadura-Emergência	18,8	70
		Emergência-Floração	12,8	1246
		Floração-Maturação	12,5	402
Abacate	Raça Antilhana	Floração-Maturação	10,0	2800
	Raça Guatemalense	Floração-Maturação	10,0	3500
	Híbridos	Floração-Maturação	10,0	4200
Feijão	Carioca 80	Emergência-Floração	3,0	813
Girassol	Contisol 621	Semeadura-Maturação	4,0	1715
	IAC-Anhady	Semeadura-Maturação	5,0	1740
Milho Irrigado	AG510	Semeadura-Flor.Masculino	10,0	800
	BR201	Semeadura-Flor.Masculino	10,0	834
	BR106	Semeadura-Flor.Masculino	10,0	851
	DINA170	Semeadura-Flor.Masculino	10,0	884
Soja	UFV-1	Semeadura-Maturação	14,0	1340
	Paraná	Semeadura-Maturação	14,0	1030
	Viçosa	Semeadura-Maturação	14,0	1230
Cafeeiro	Mundo Novo	Florescimento-Maturação	11,0	2642
Videira	Niagara Rosada	Poda-Maturação	10,0	1550
	Itáli/Rubi	Poda-Maturação	10,0	1990



Relação entre Fotossíntese Líquida e Temperatura

Observe que as temperaturas cardinais (T_b , T_{otima} e T_B) para a fotossíntese líquida não são necessariamente as mesmas observadas para a fotossíntese bruta.



© 2012 Pearson Education, Inc.

Fotossíntese e Temperatura

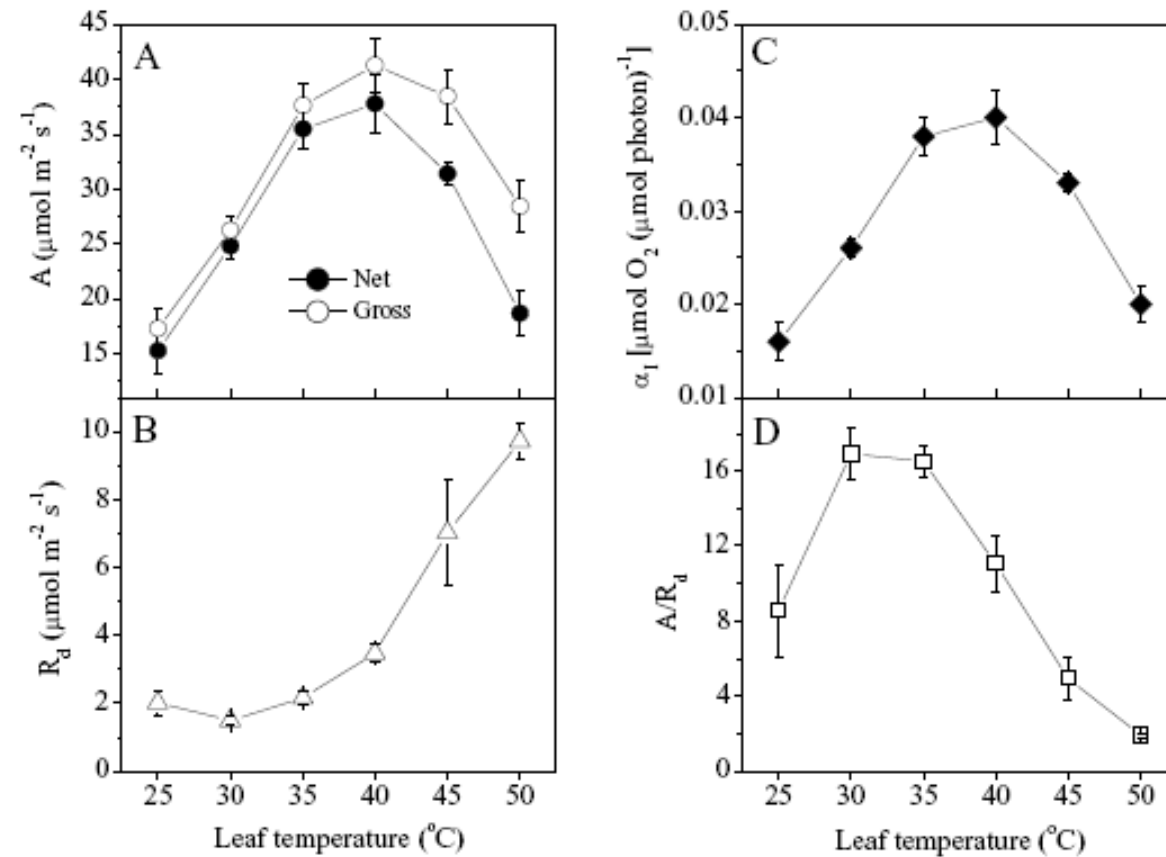
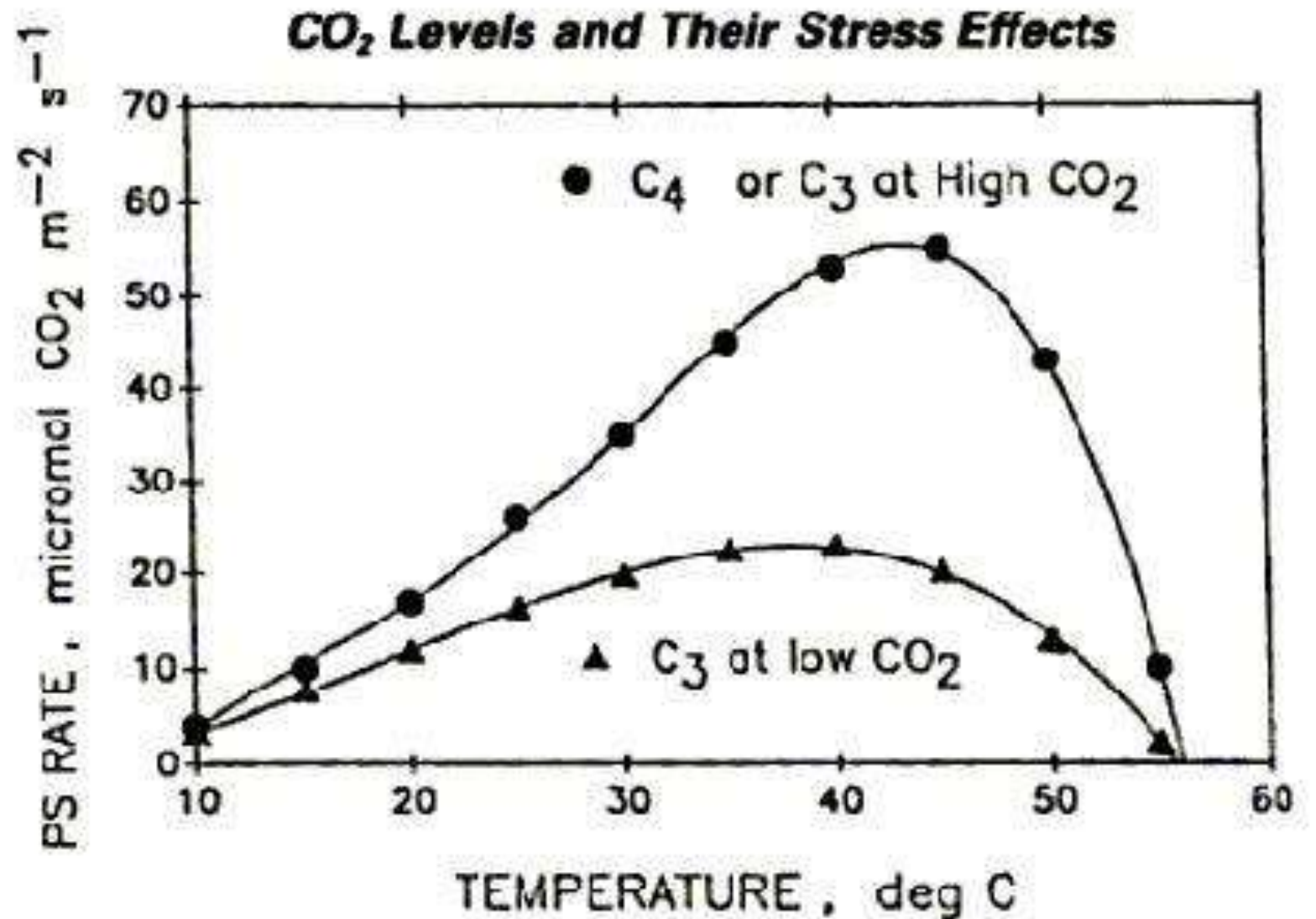


FIGURE 1 – Net and gross photosynthesis (A , A), dark respiration (R_d , B), instantaneous quantum efficiency of photosynthesis (α_p , C) and relationship between photosynthesis and respiration (A/R_d , D) as a function of leaf temperature in sweet orange leaf discs under non-photorespiratory condition. Gross photosynthesis refers to the sum of net photosynthesis and respiration. Each point represents the mean value ($n=5$) \pm SE. Leaf discs were excised from plants grown under greenhouse conditions.

Fotossíntese e Temperatura

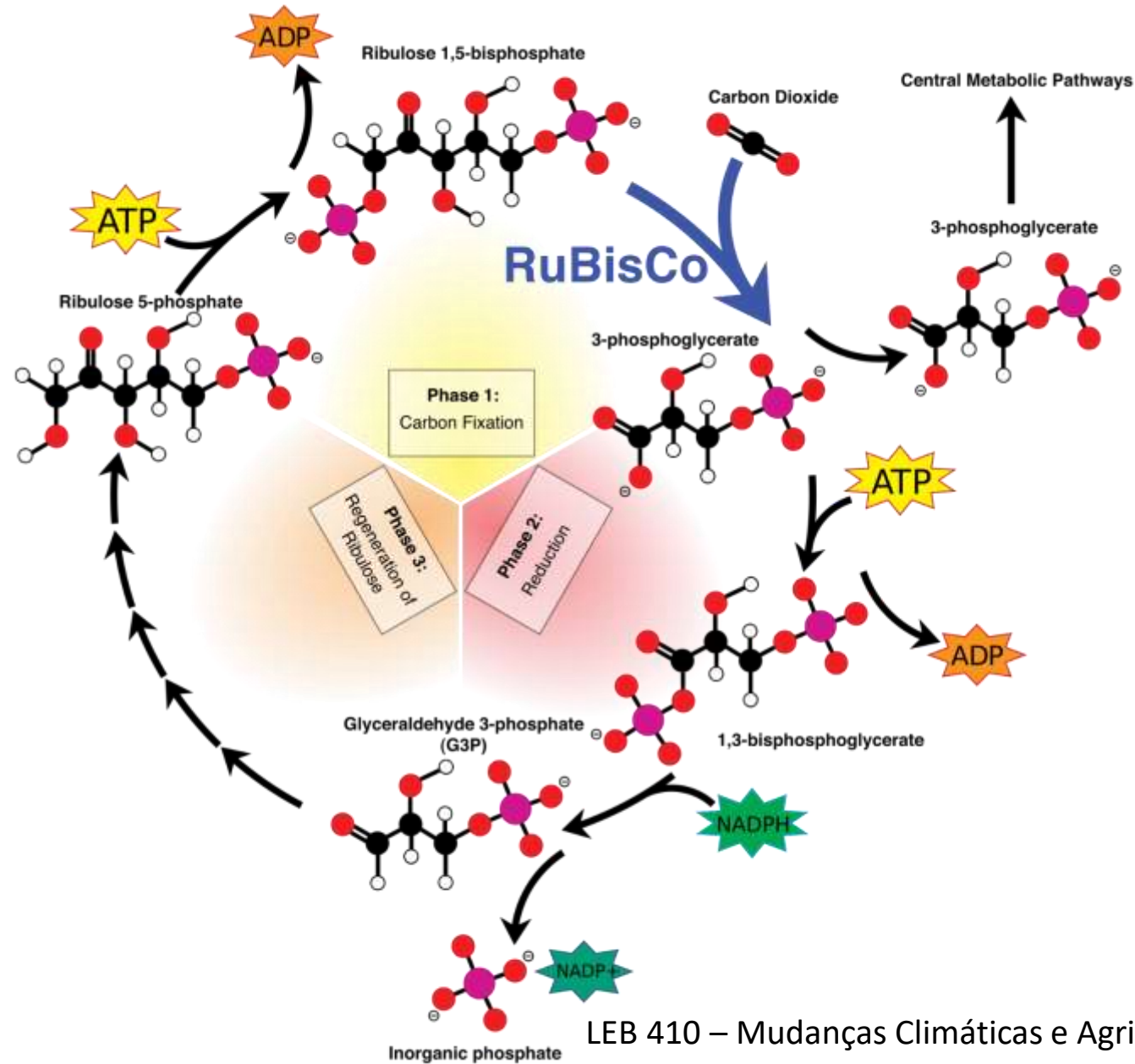


Photosynthetic rate versus temperature for C₃ and C₄ leaves.

Efeitos do aumento de temperatura

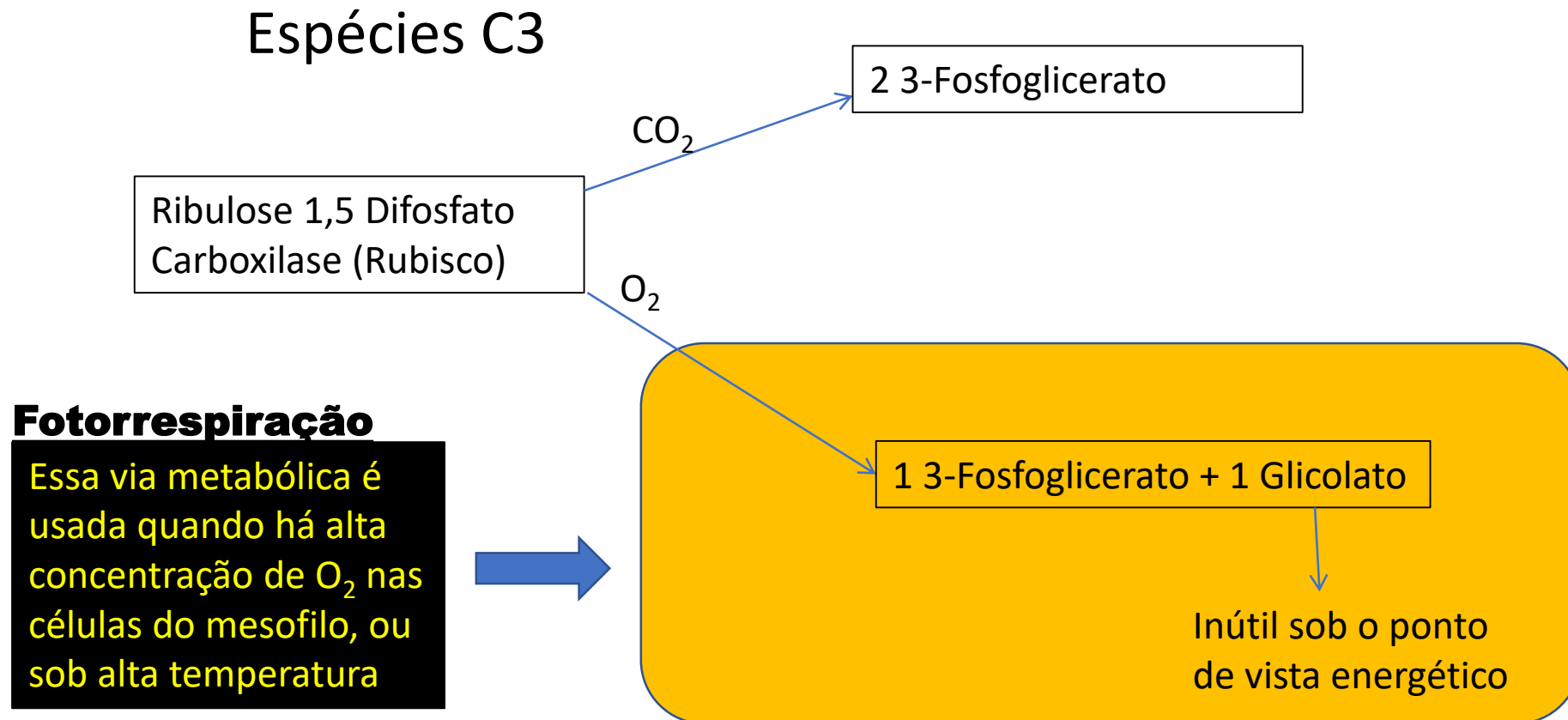
- Fenologia – encurtamento de ciclo
- Consumo hídrico – aumento da demanda
- Mudança de janela de semeadura em ambientes frios
- Efeitos negativos no florescimento de espécies sensíveis (ex. café e citrus)
- Alteração no ciclo de pragas doenças e daninhas
- Aumento na taxa de respiração e mudança na taxa de fotossíntese bruta

Relação CO₂ X Fotossíntese: Ciclo de Calvin

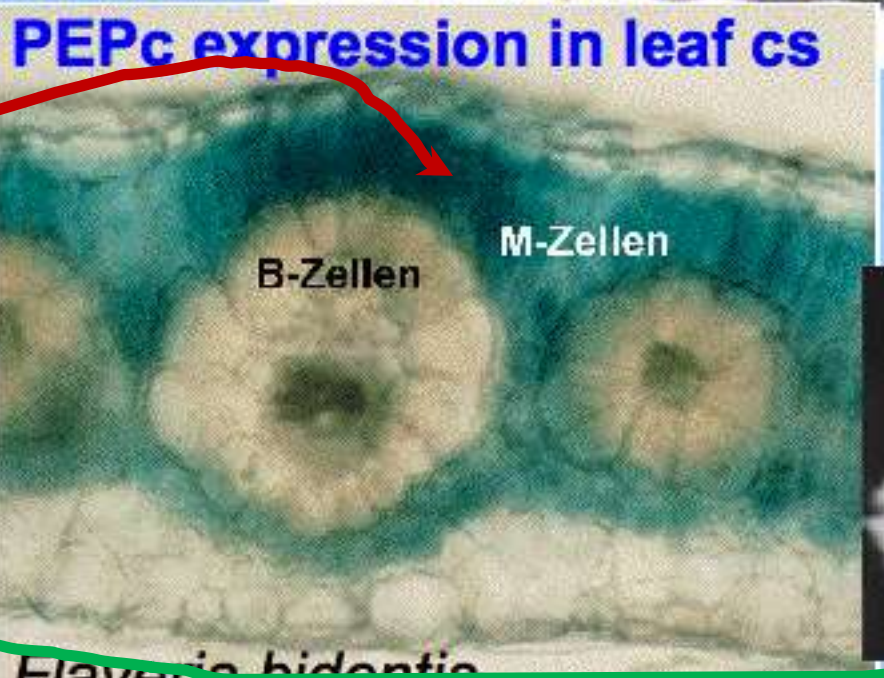
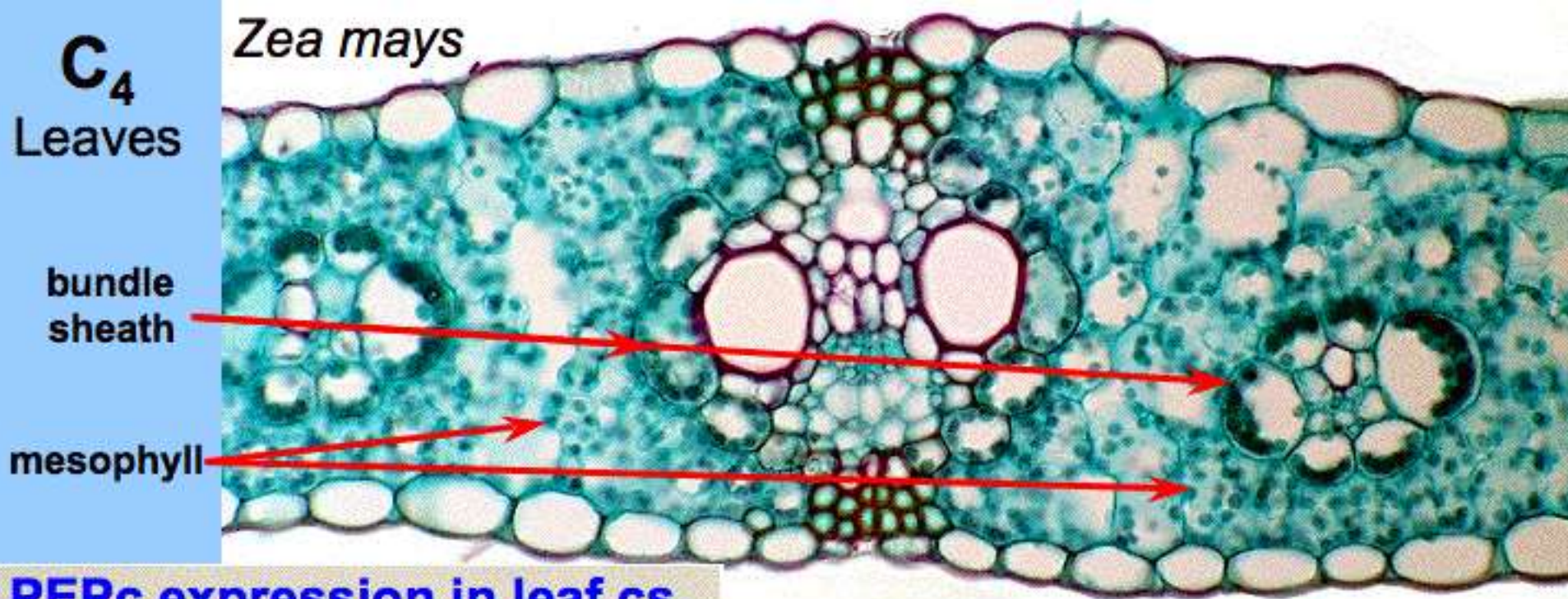


Mudança no Clima e a Produção Agrícola

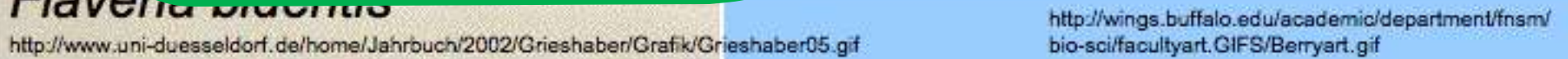
Fotorrespiração



Morfologia C4



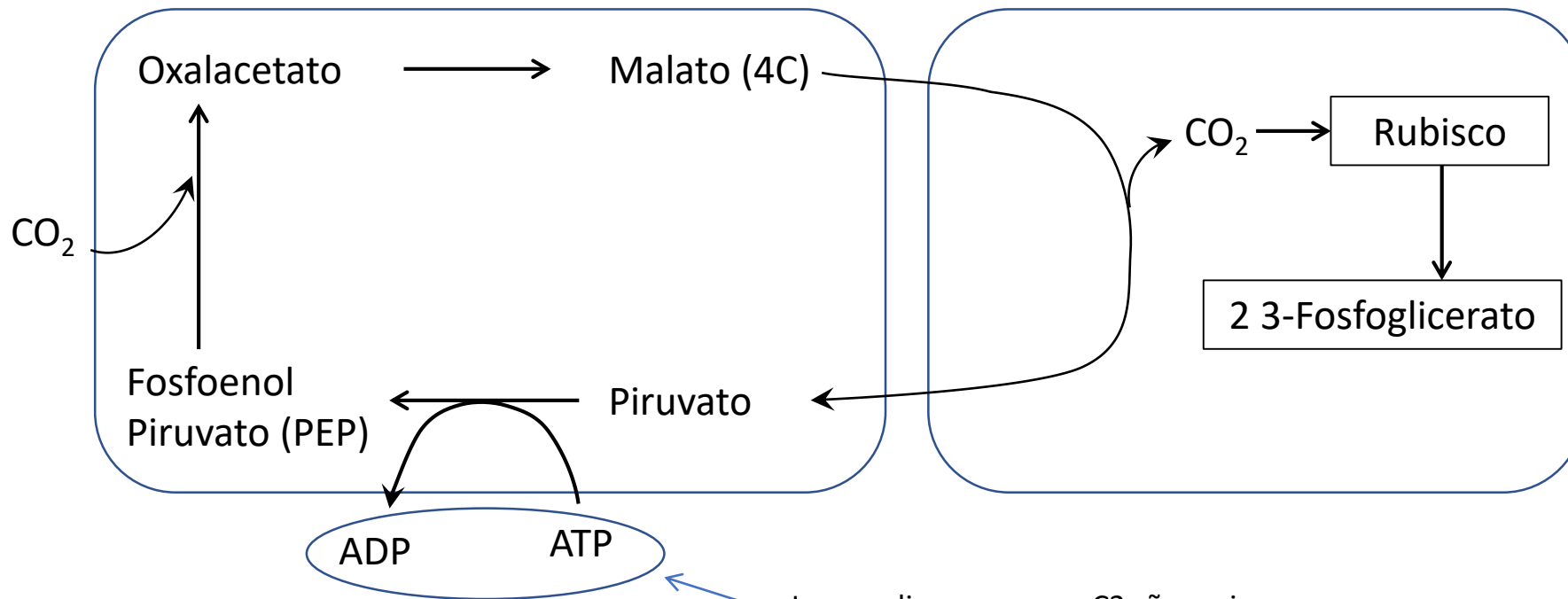
Observe que a **PEP** fica no mesófilo, enquanto a **RUBISCO** fica apenas dentro das bainha vascular, protegida do contato com o O₂



Mudança no Clima e a Produção Agrícola

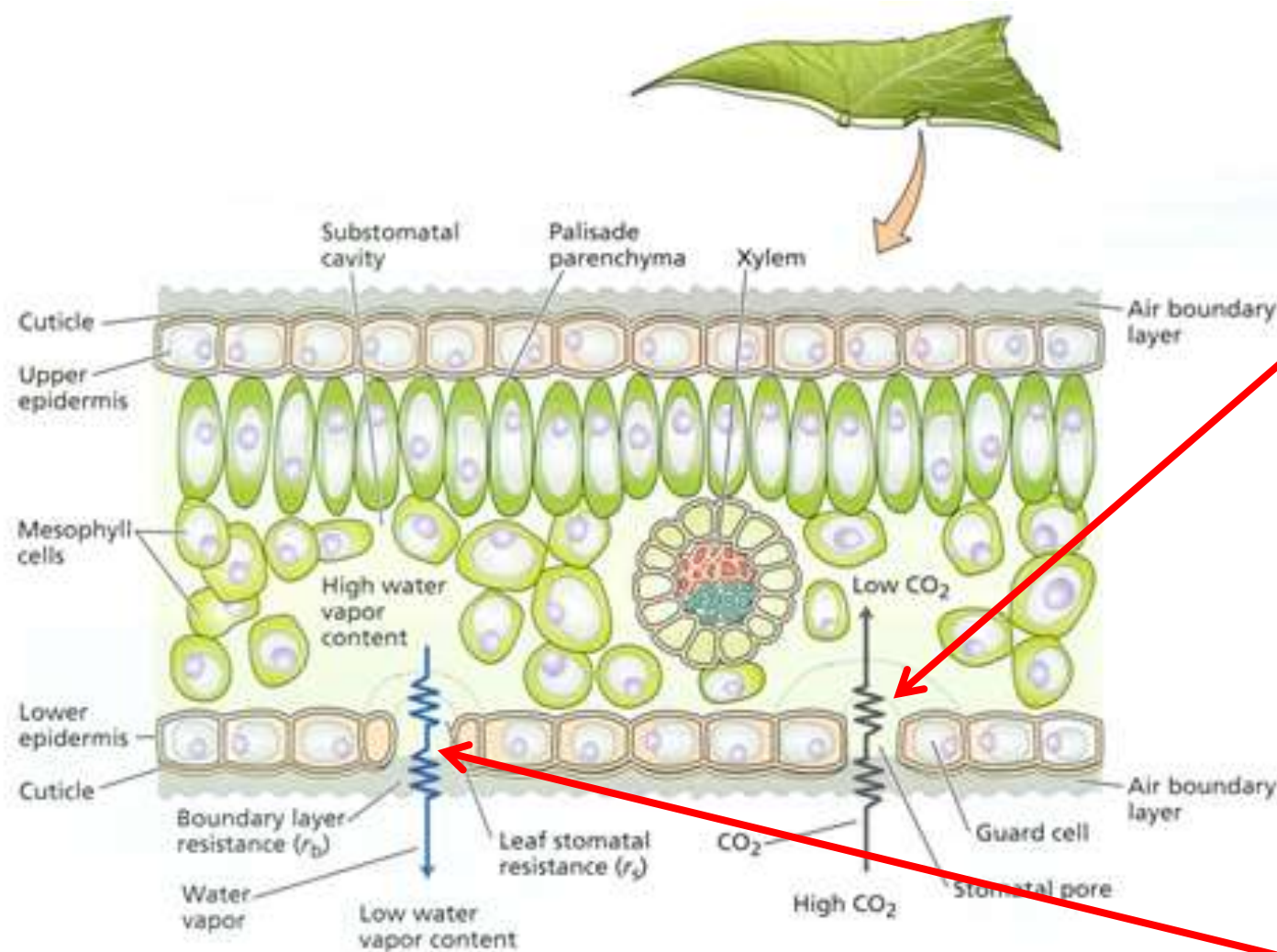
Ciclo C4

Espécies C4



Isso explica porque as C3 são mais eficientes sob determinadas condições.

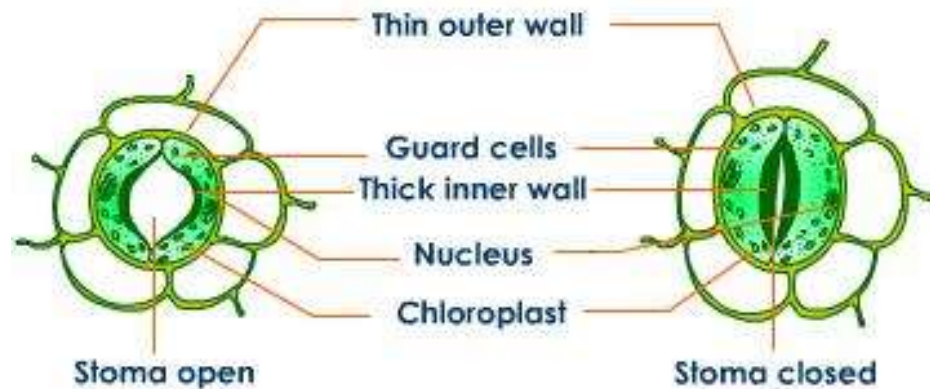
Transpiração e Absorção de CO₂ e os estômatos



Note que este gradiente é “motor” para o deslocamento do CO₂ para dentro o mesófilo. Se a diferença é grande, a célula pode fechar parcialmente os estômatos mantendo a mesma taxa de fluxo para dentro. Com isso, evita-se a perda de água.

Regulação Estomática

- Três fatores principais controlam a abertura estomática:
 - 1) **Radiação solar** – fechamento no escuro;
 - 2) **Estado hídrico das folhas** – células guarda túrgidas tornam-se ovaladas e se abrem, permitindo a saída de vapor d'água e a entrada de CO₂;



Com maior turgor, as células-guarda se abrem e permitem a transpiração e entrada de CO₂.

Estômato fechado por causa do baixo turgor das células-guarda



Estômato fechado por causa do baixo turgor das células-guarda

Com maior turgor, as células-guarda se abrem e permitem a transpiração e entrada de CO₂.

Regulação Estomática

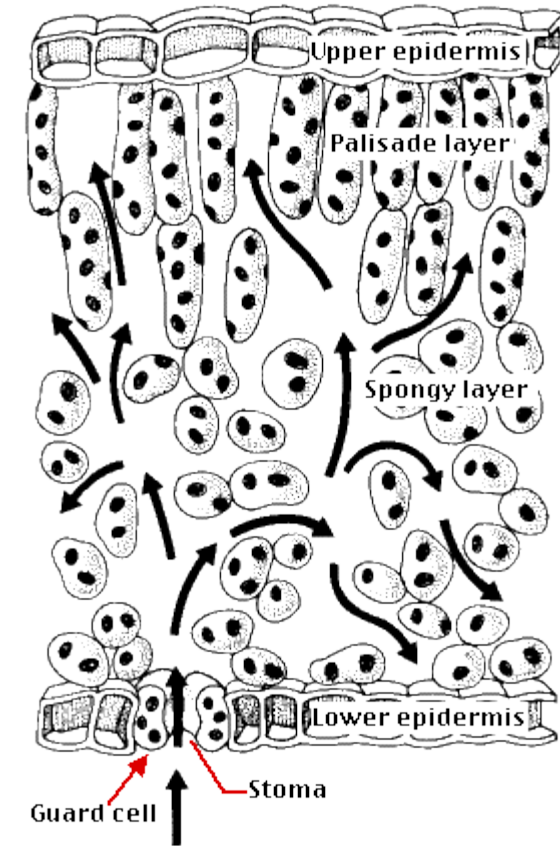
• 3) Concentração de CO₂ no ambiente

- A queda na concentração de CO₂ interna desencadeia um caminho bioquímico que faz com que as células-guarda tornem-se túrgidas e reabram.

- O fluxo de CO₂ é controlado pelo

gradiente entre a atmosfera e o interior dos estômatos;

- Pela teoria fluxo-gradiente, com o aumento na concentração externa, o gradiente é mantido mesmo com o estômato relativamente fechado, permitindo a redução da perda de água sem redução na taxa fotossintética.

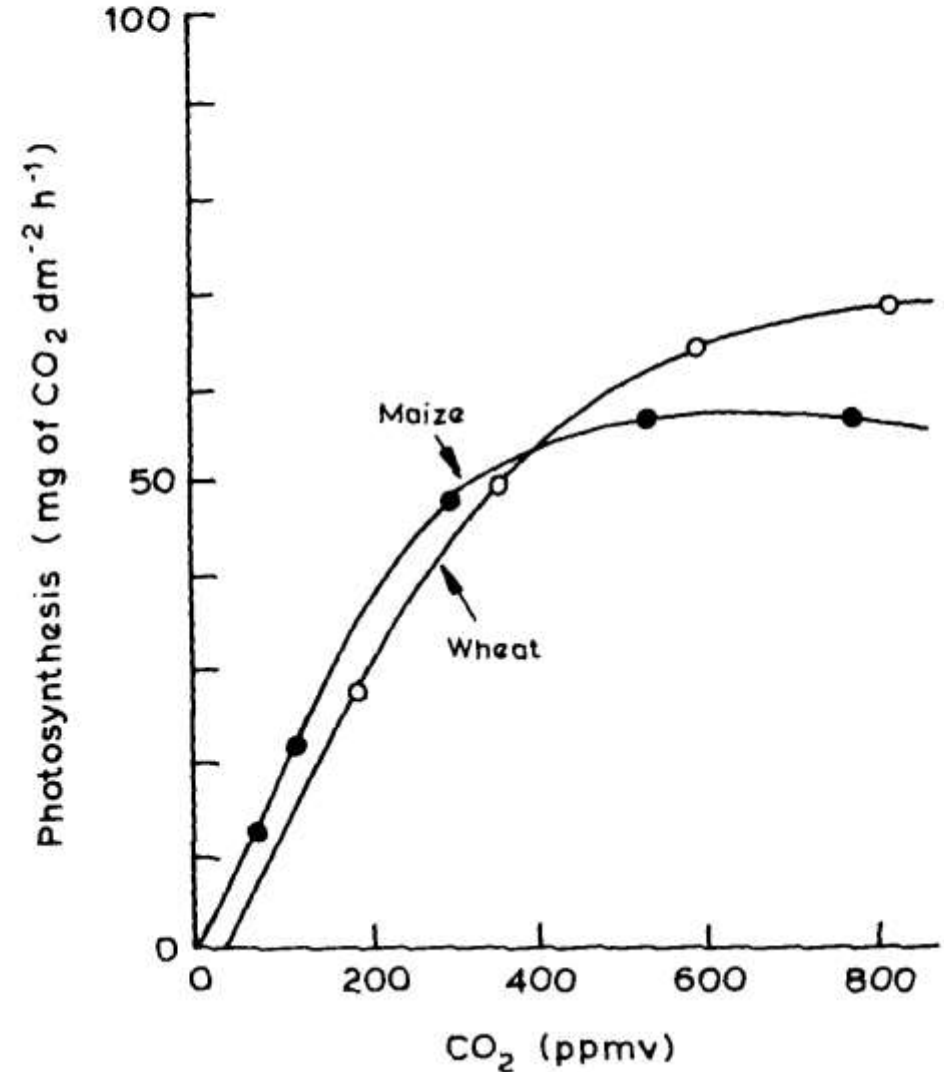


Efeito da elevação na concentração de CO₂

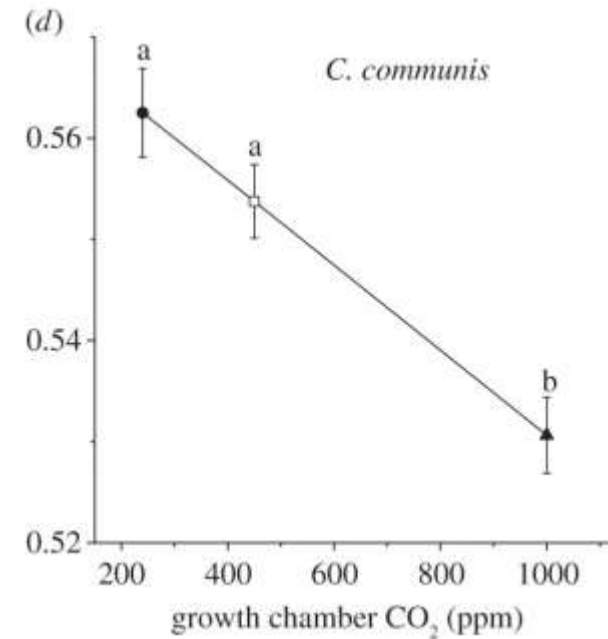
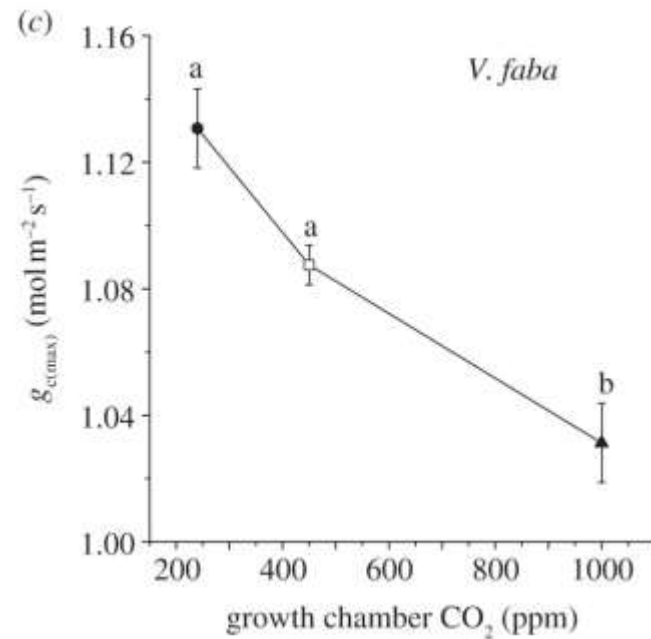
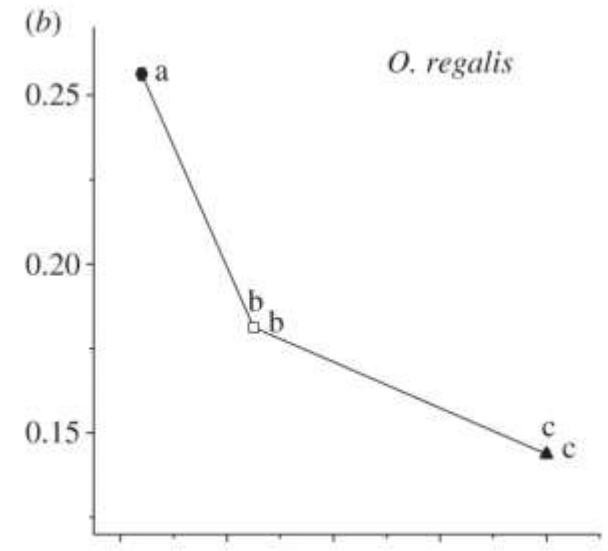
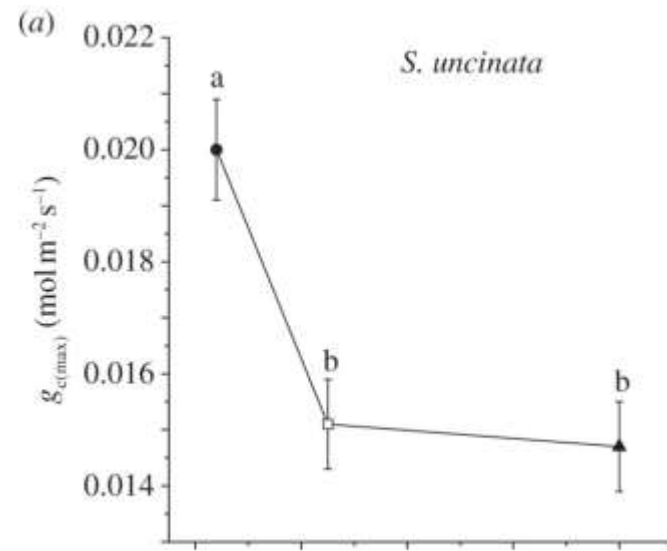
- Ganho fotossintético nas culturas (e daninhas!) C3;
- Ganho fotossintético moderado nas culturas (e daninhas!) C4;
- Ganho na produtividade da água (eficiência de uso de água) das culturas (notadamente C4 em condição de sequeiro)

Fotossíntese e CO₂

Figure 4.1 Typical photosynthesis response of plants to CO₂. Net photosynthesis of wheat is about 70 mg of CO₂ dm⁻²h⁻¹ compared with maize (about 55 mg of CO₂ dm⁻²h⁻¹) for equivalent light intensity (0.4 cal cm⁻² min⁻¹). Maize is saturated at a lower CO₂ concentration (c.450 ppmv) than wheat (c.850 ppmv). (Adapted from Akita and Moss, 1973).⁴

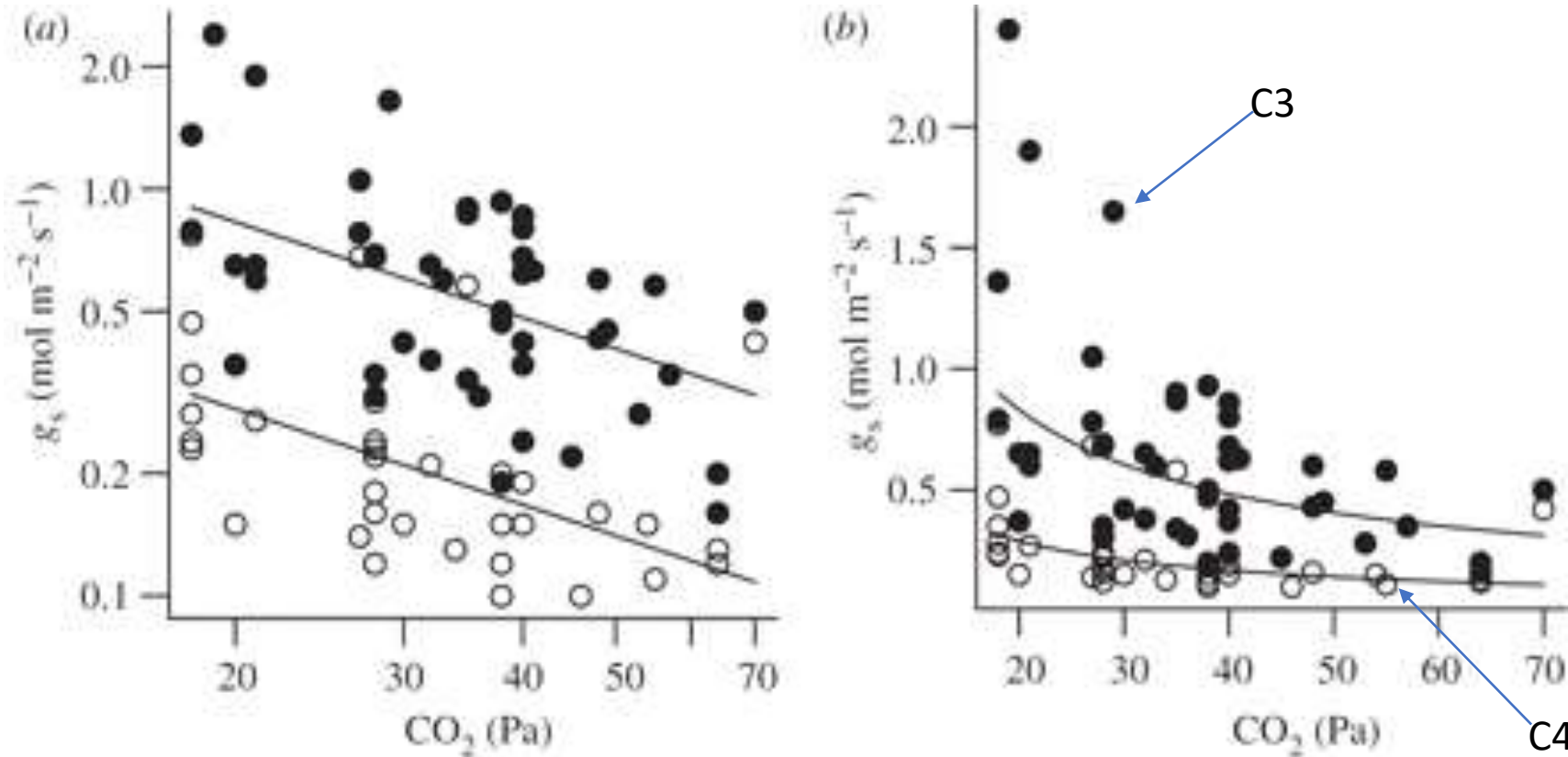


CO₂ e Abertura Estomática



CO₂ e Abertura Estomática

Stomatal conductance (g_s) for the leaves of C₃ and C₄ plants grown and measured under a range of different CO₂ partial pressures, with an emphasis on experiments investigating the effects of CO₂ below the current ambient level of approximately 40 Pa (data sources: [30,62–65]; electronic supplementary material). The data compilation is based on literature searches for studies reporting the leaf gas exchange of plants under sub-ambient CO₂. However, values for elevated CO₂ were included when they were reported as part of the same CO₂-gradient studies. The fitted curve for the C₃ species is $\ln(g_s) = 2.16 - 0.78 \ln(\text{CO}_2)$, and for the C₄ is $\ln(g_s) = 1.10 - 0.78 \ln(\text{CO}_2)$. Data and curves are shown on (a) log and (b) linear plots to illustrate relative and absolute sensitivity to CO₂, respectively. The fitted curves produce effect sizes for g_s at elevated CO₂ in C₃ and C₄ grasses that fall within confidence intervals of previous meta-analyses [66,67]. Filled circles, C₃; open circles, C₄.



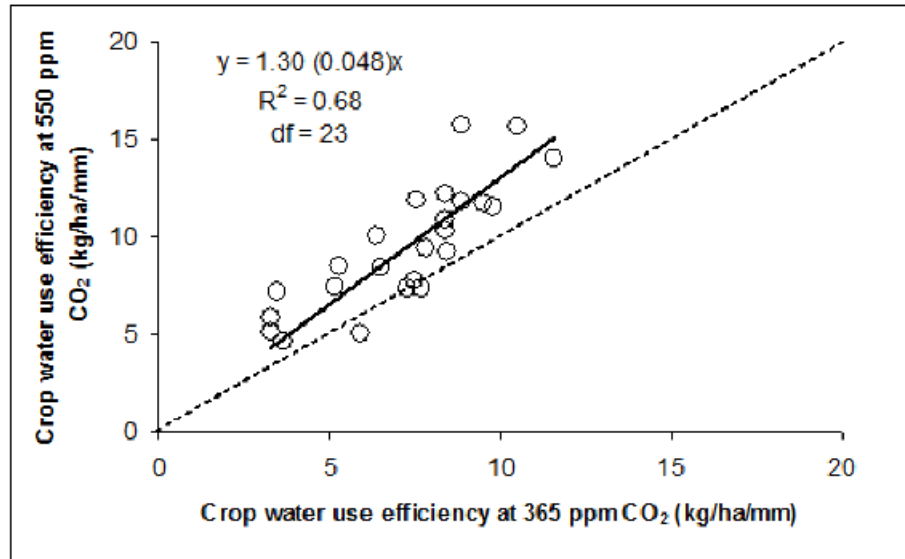
Observe que os estômatos (representado por g_s) tendem a fechar conforme aumenta a concentração de CO₂ no ambiente

Relação - CO₂ X Produtividade da água



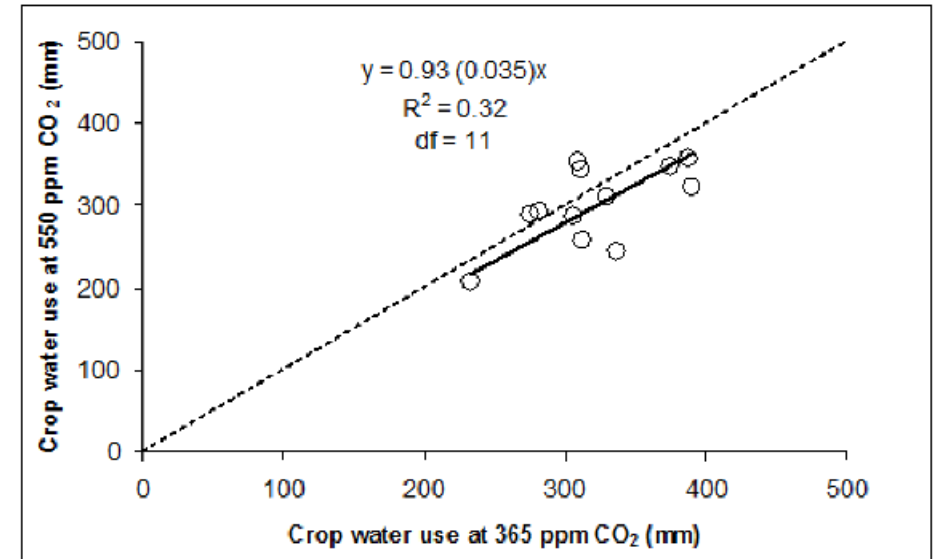
Observe que a produção de matéria seca por milímetro de água consumido aumenta conforme sobe a concentração de CO₂ no ar.

Produtividade da Água



Comparison of water use efficiency response under elevated CO₂ compared to daytime ambient conditions (365 ppm) of wheat (cv. Yitpi) showing significant ($P < 0.05$) mean increase in water use efficiency (30%) against the 1:1 unity dashed line. Standard error of linear coefficient shown in parentheses.

Consumo Hídrico



Comparison of water use response under elevated CO₂ compared to daytime ambient conditions (365 ppm) of wheat (cv. yitpi) showing significant ($P < 0.10$) mean decrease in water use (7%) against the 1:1 unity dashed line. Standard error of linear coefficient shown in parentheses.

Leitura Sugerida

- **Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: Fisiologia, conjuntura e cenário futuro**

Disponível em: <http://www.agriambi.com.br/revista/v17n02/v17n02a15.pdf>