

# FOTOSSÍNTESE

Prof. Ricardo Kluge  
ESALQ/USP  
rakluge@usp.br



**O Sol é o principal "input" energético da Terra.**

**Como usar a energia solar (fótons) em uma forma aproveitável quimicamente?**

**Resposta: utilizando dois compostos abundantes na Terra primitiva ( $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ )**



**H<sup>+</sup>** usando para gerar compostos energéticos (ATP)

**e<sup>-</sup>** usado para gerar poder redutor (NADPH)





Há mais de 1 bilhão de anos, as cianobactérias (organismos procariotos) desenvolveram processo de retirar energia da luz do sol e utilizá-la para produzir açúcares a partir de água e do dióxido de carbono. Posteriormente, as plantas adaptaram esse processo, o que hoje chamamos de fotossíntese!

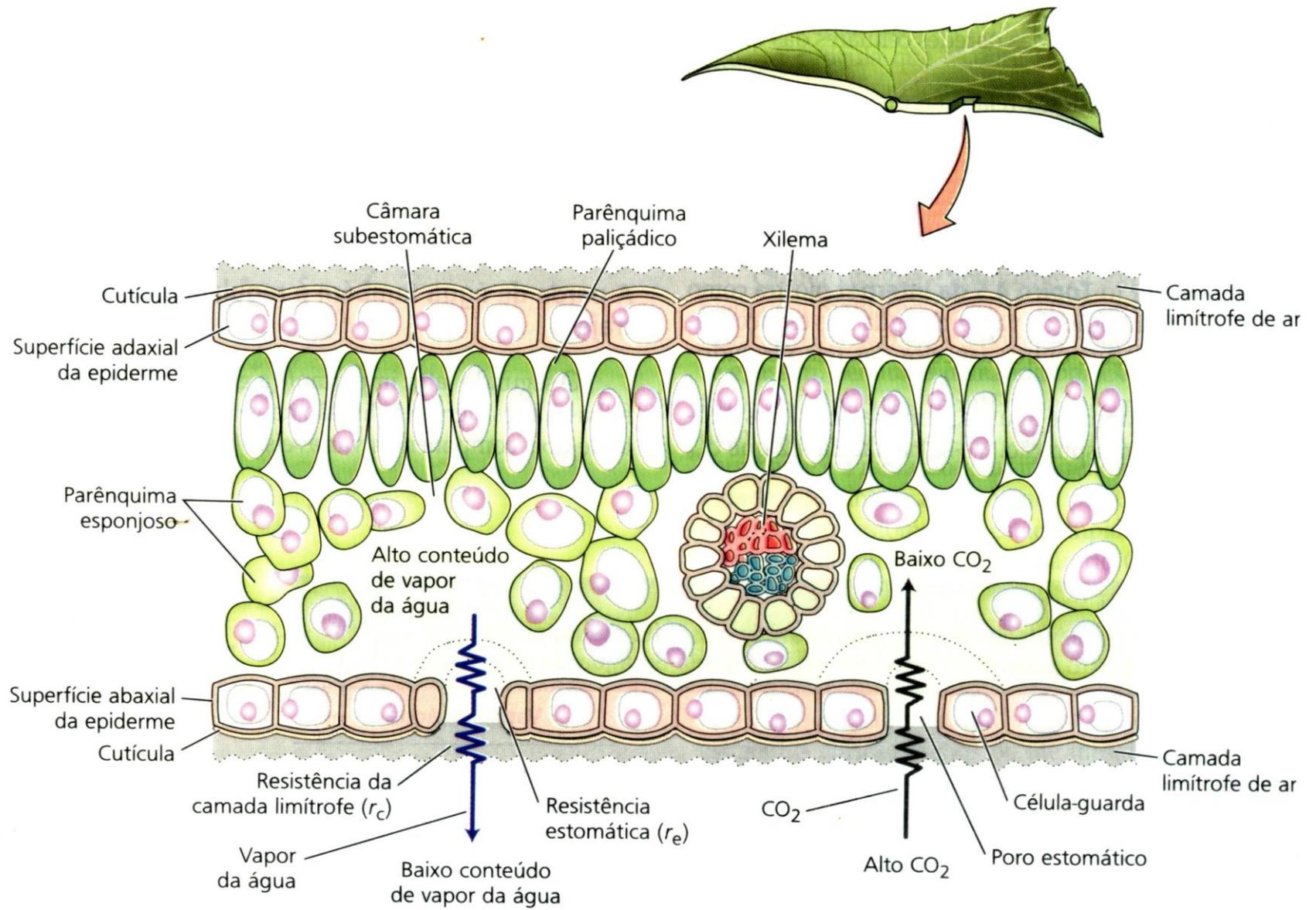
# FOTOSSÍNTESE

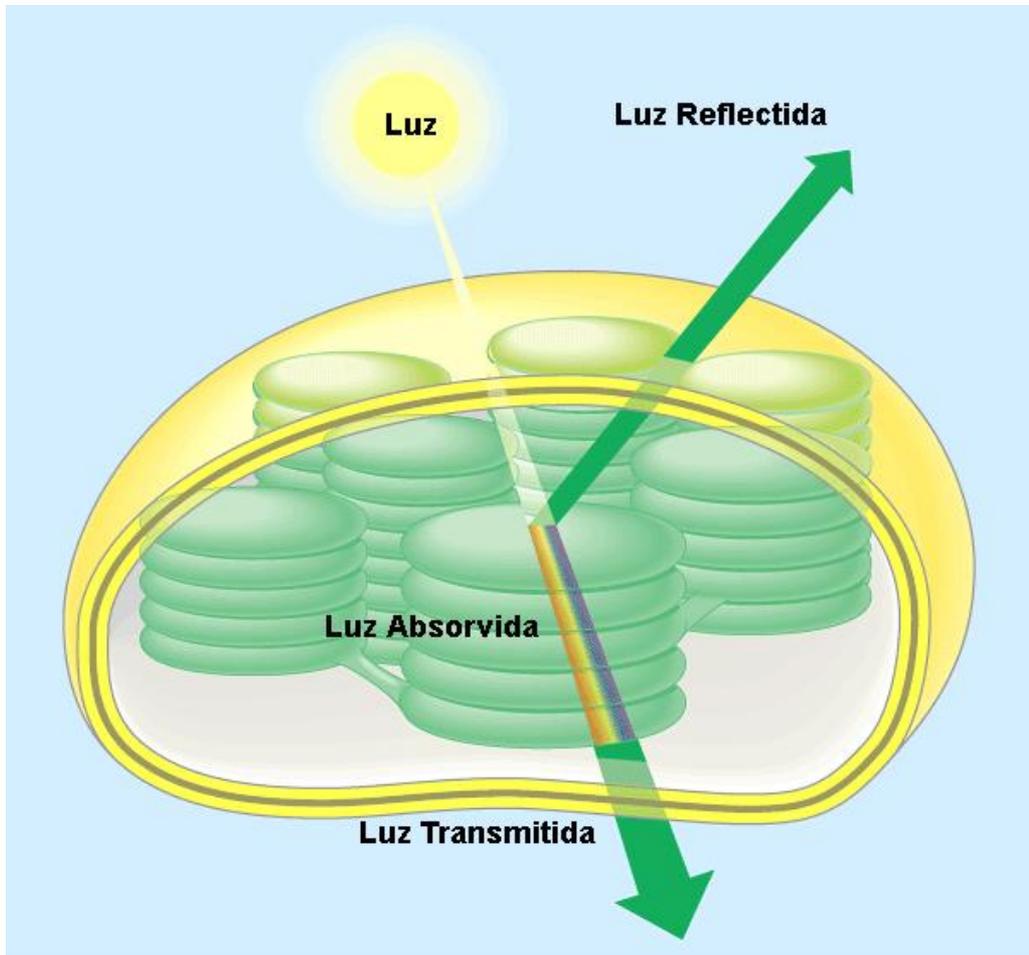


Energia luminosa

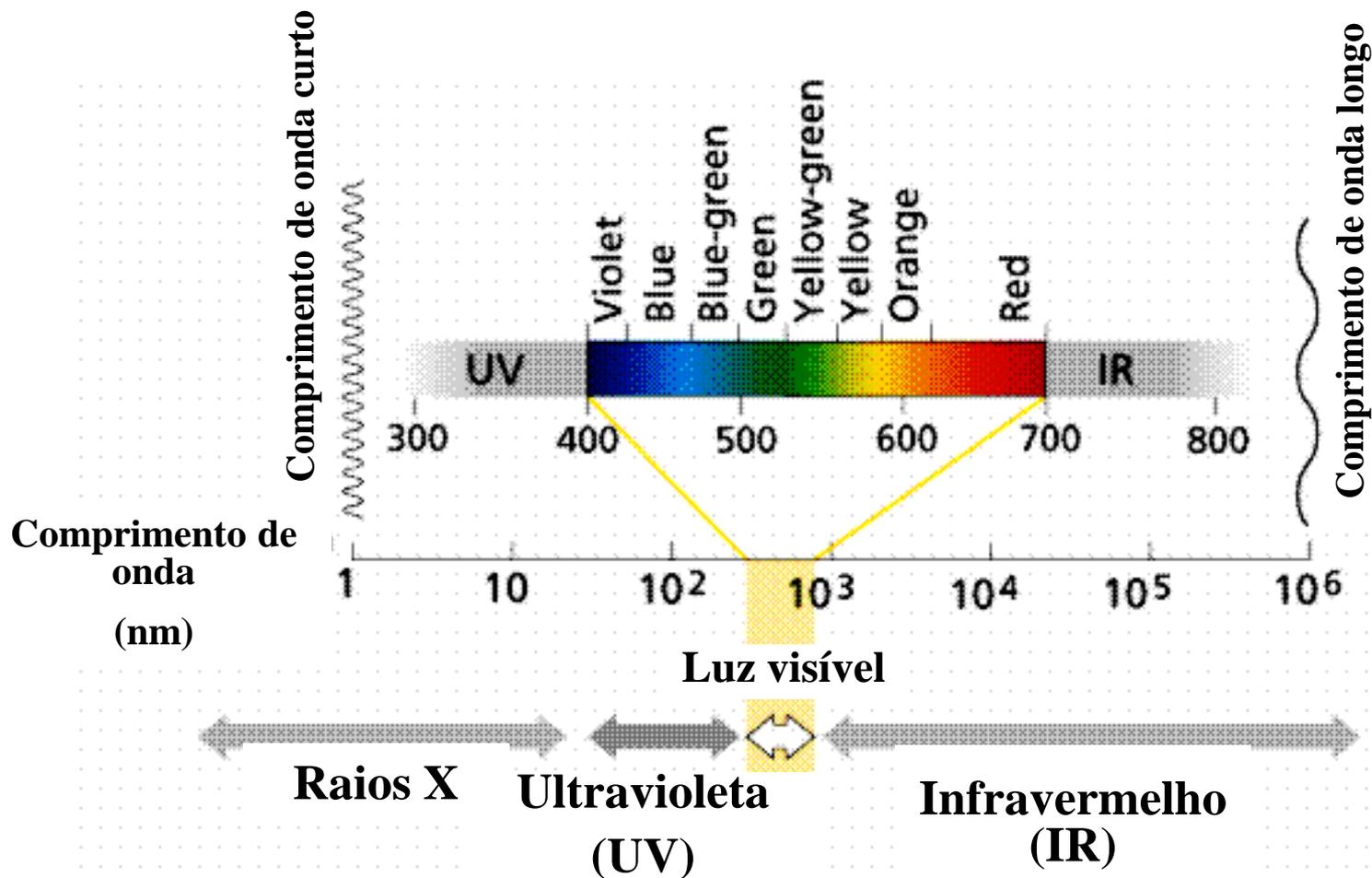


Clorofila



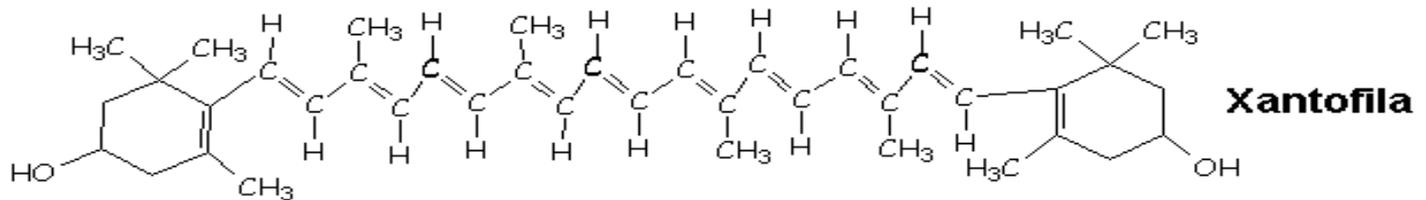
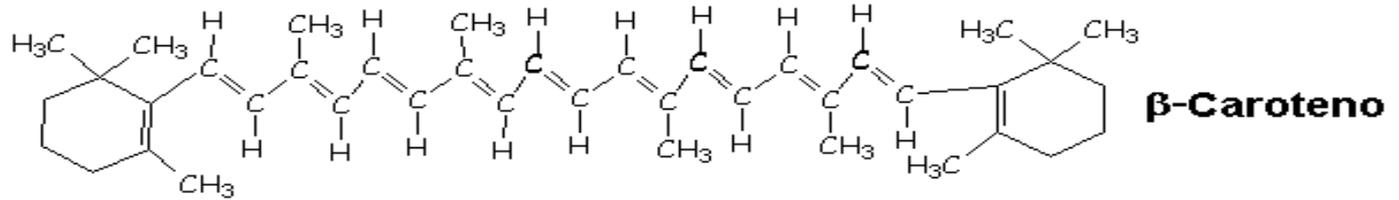
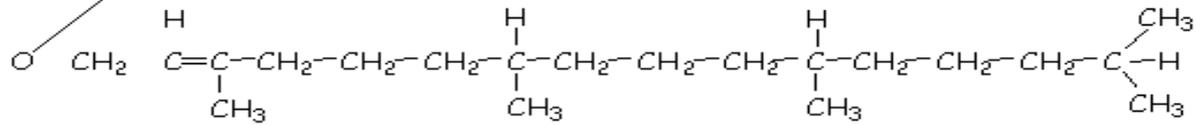
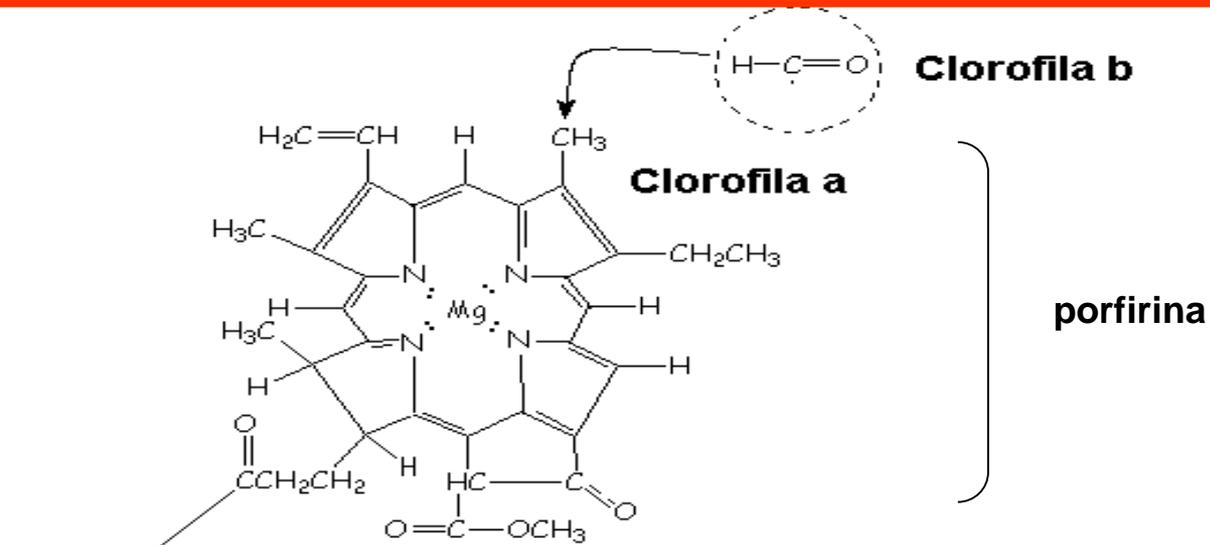
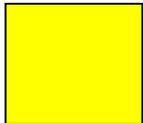
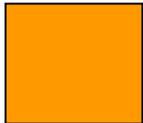


**Apenas 5% da luz é  
utilizada na fotossíntese**



**Radiação fotossinteticamente ativa (RFA):** é a radiação absorvida pelas plantas e utilizada na fotossíntese, localizada entre os comprimentos de onda 400 e 700 nm.

# PIGMENTOS FOTOSSINTETIZANTES



## Outros pigmentos não fotossintetizantes

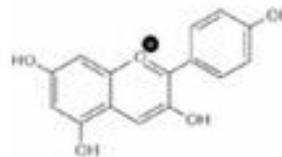


Mirtilo



### Antocianinas

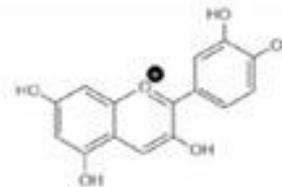
- antioxidantes (combatem radicais livres nocivos)
- Dissipam raios UV



PELARGONIDINA



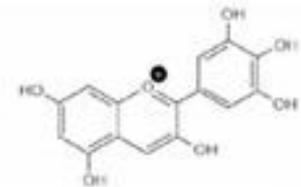
PELARGONIUM



CLANIDINA



ROSA



DELFINIDINA



DELPHINIUM



Açaí (*Euterpe oleracea*)

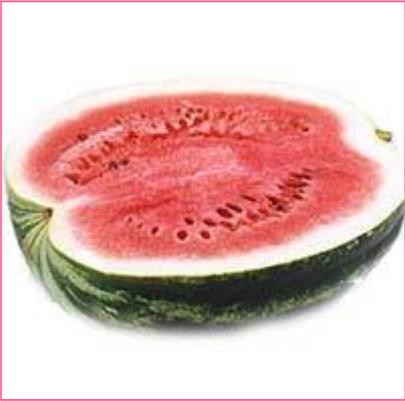


- Origem:Amazônia
- 30 vezes mais antocianina que uva
- ajuda a combater radicais livres e colesterol ruim
- Rico em ferro e bom corante

## Outros pigmentos não fotossintetizantes



## Outros pigmentos não fotossintetizantes



**Licopeno  
(Antioxidante)**

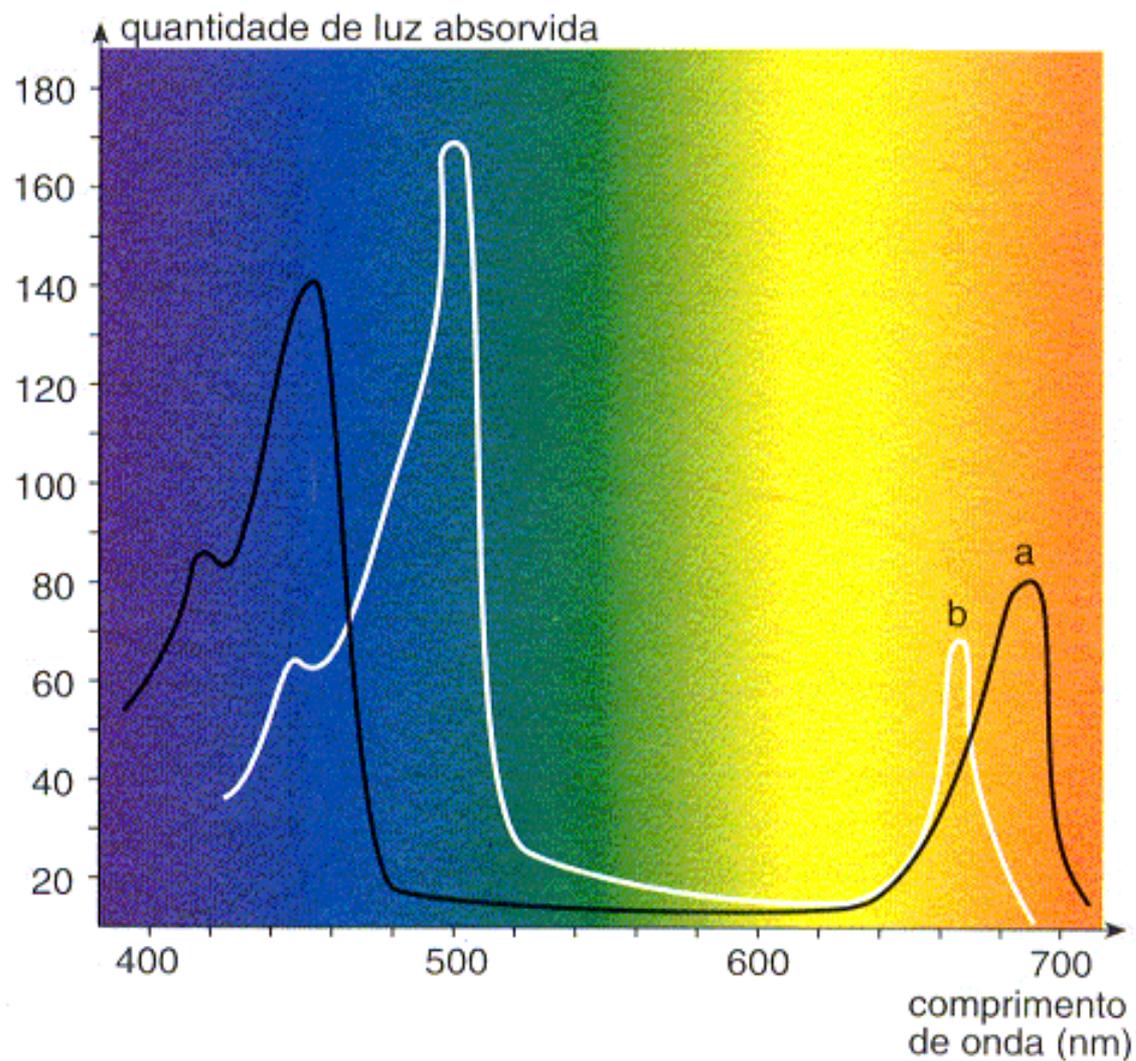
**Guatchup**  
Original do Brasil  
O Molho Que Faltava!



## Outros pigmentos não fotossintetizantes



**Betalaínas**  
Antioxidante da beterraba

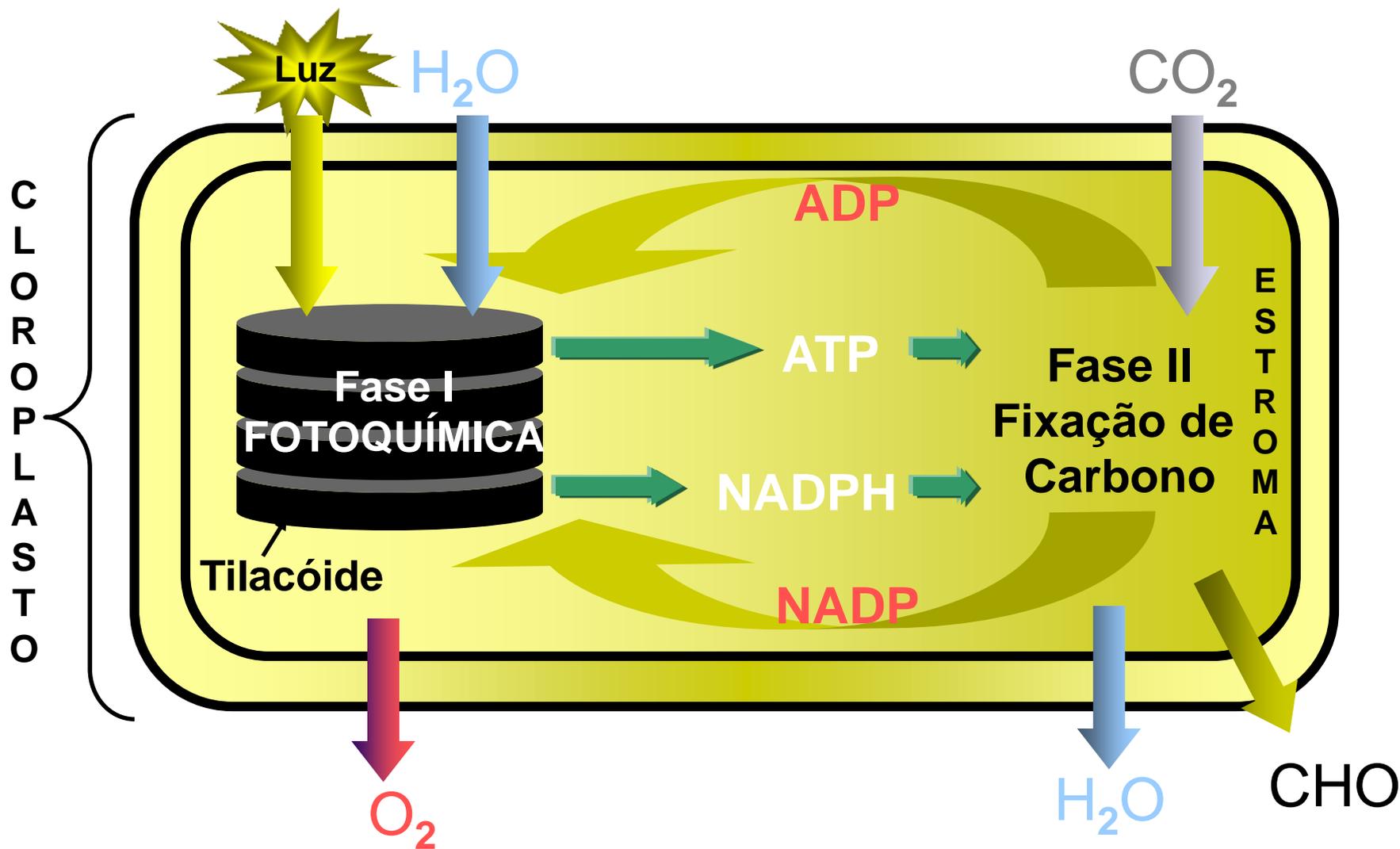


**Figura 1** - Gráfico que relaciona a quantidade de luz absorvida em função do comprimento de onda, pelas clorofilas de tipos diferentes, chamadas de clorofilas a e b

# FASES DA FOTOSSÍNTESE

- Fase fotoquímica
- Fase química (fixação de carbono)

# FASES DA FOTOSSÍNTESE



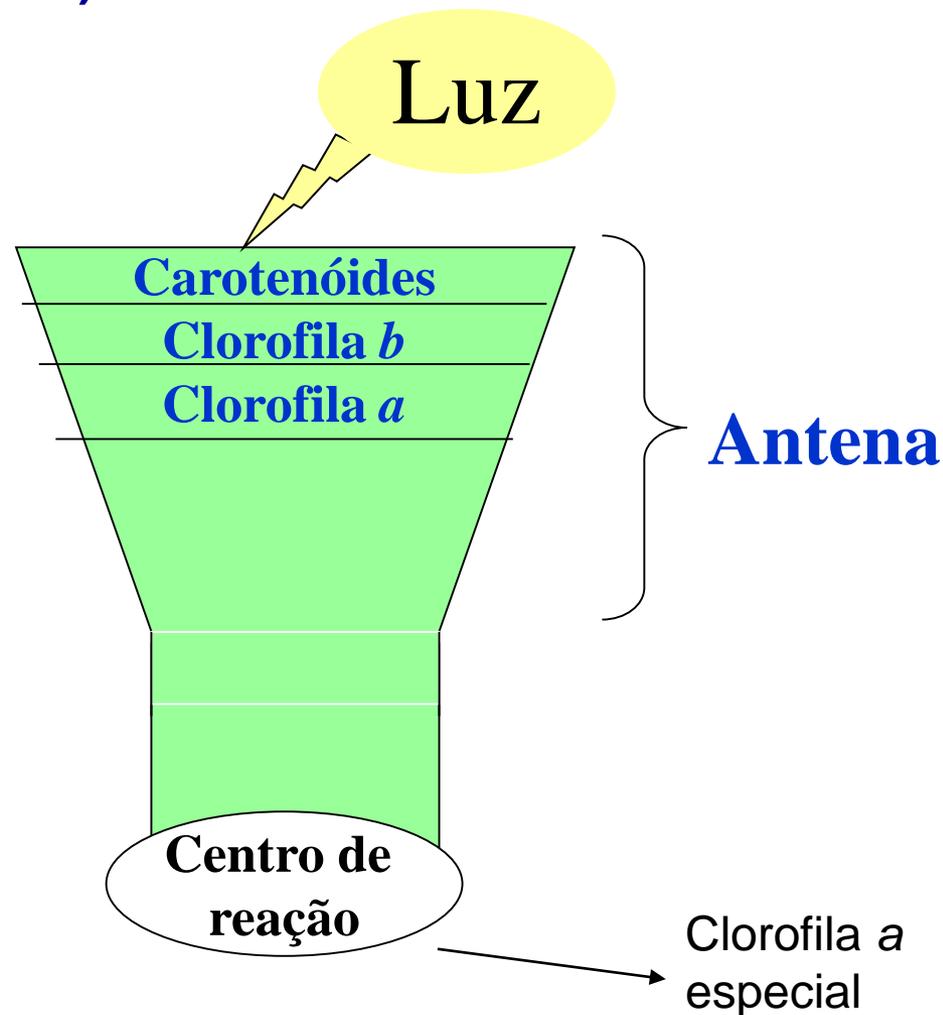


*As bolhas sobre as folhas desta planta aquática submersa, Elodea, são bolhas de oxigênio, um dos produtos da fotossíntese. Van Niel foi o primeiro a propor que o oxigênio produzido na fotossíntese provinha da quebra da água e não da quebra do dióxido de carbono.*

# FASE FOTOQUÍMICA

- Captação de luz
- Transferência de elétrons (reação fotoquímica)
- Transporte de elétrons (síntese de NADPH)
- Síntese de ATP

## Captação da luz é realizada pelos FOTOSISTEMAS (I e II)



**Transferência de energia por ressonância**

**Transferência de elétrons**

**Luz**

**Moléculas do pigmento**

**Aceptor**

Transporte

$e^-$

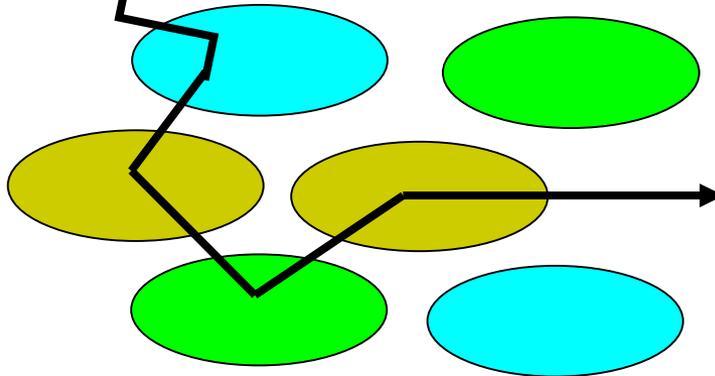
Expulsão de  $e^-$

**Centro de reação**

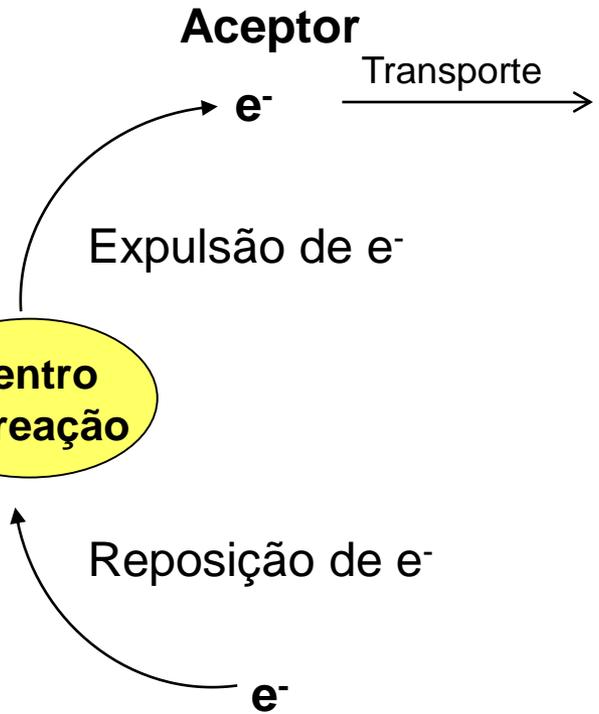
Reposição de  $e^-$

$e^-$

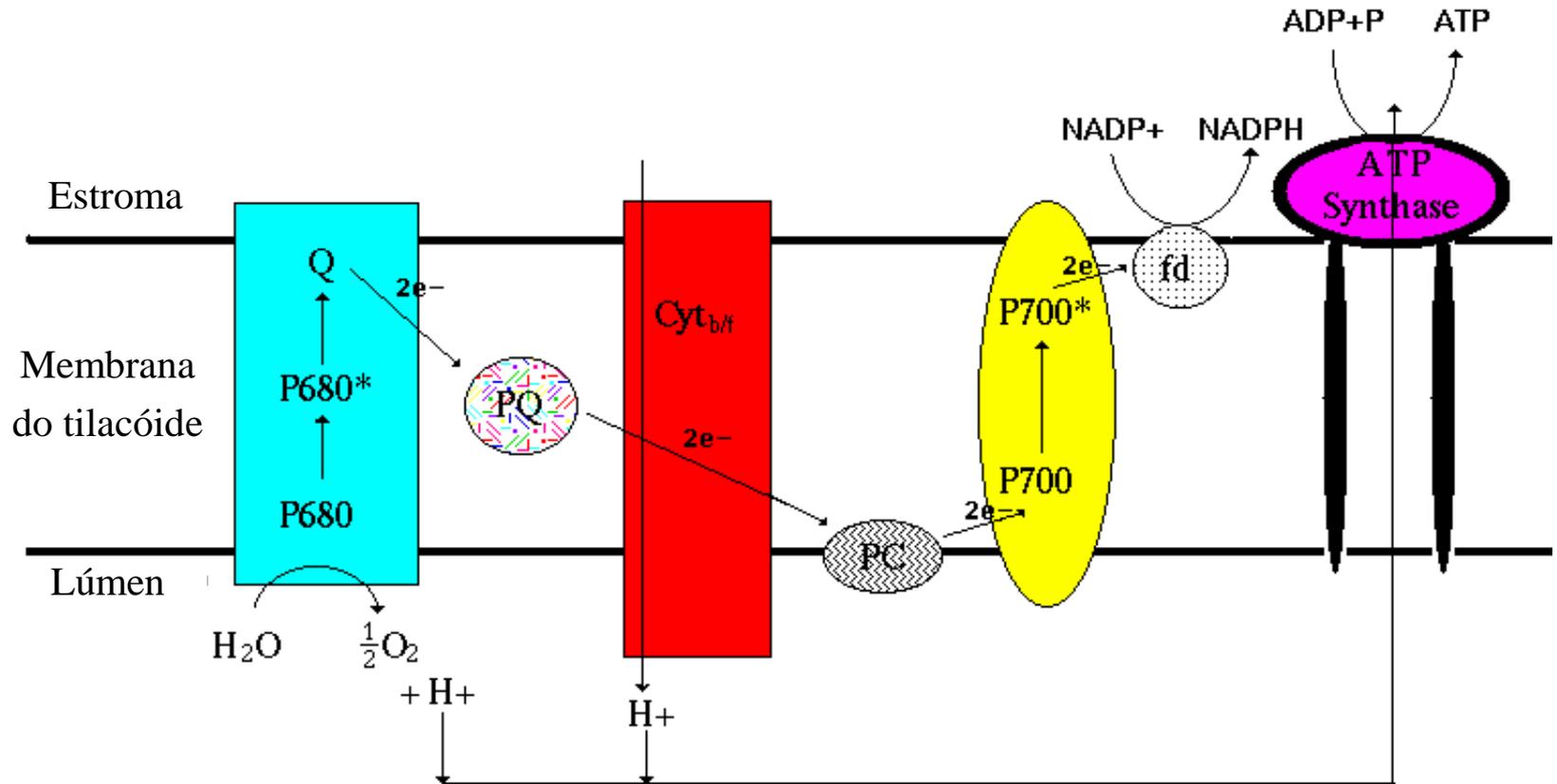
**Doador**



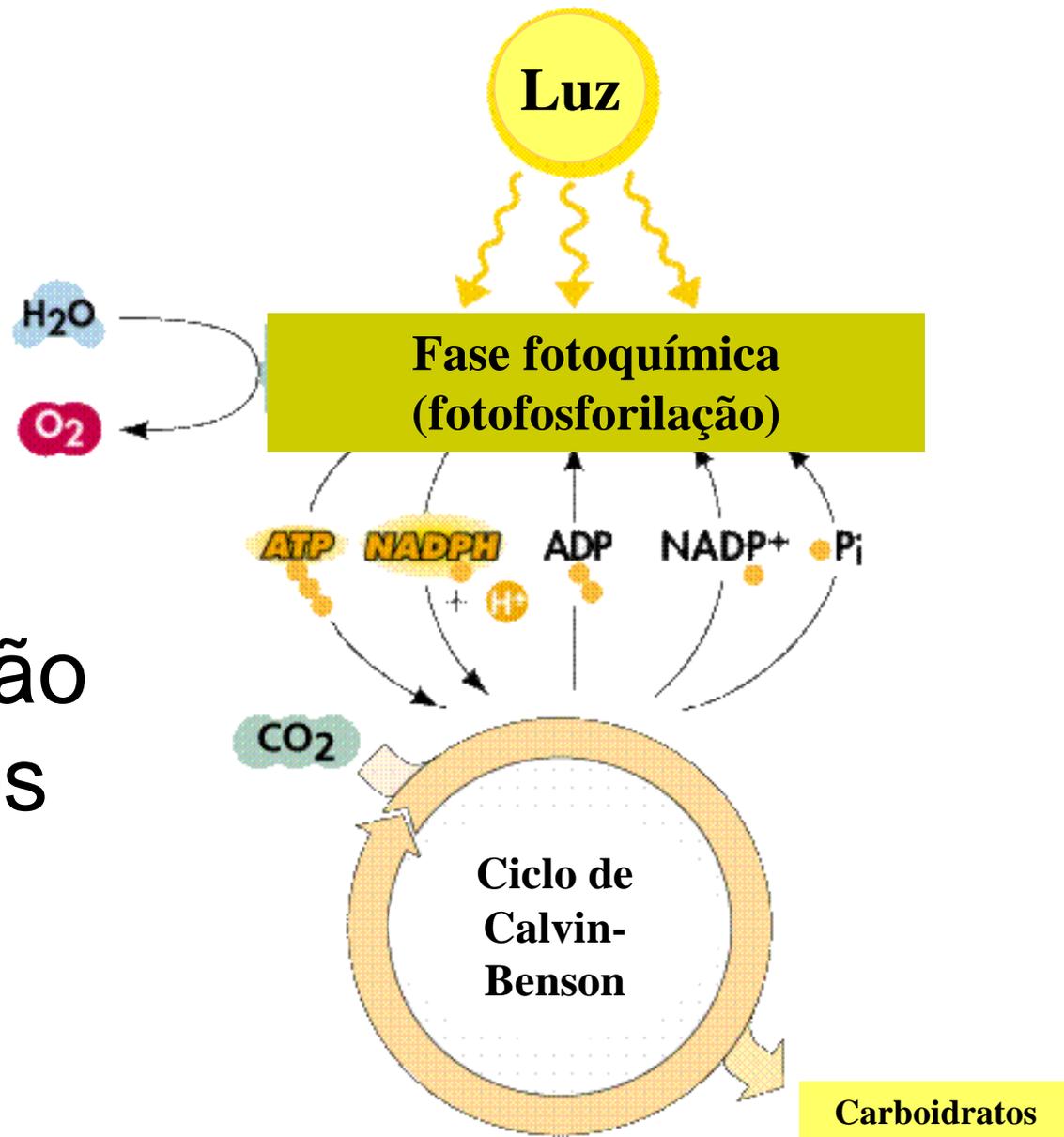
**Antena**



## Esquema Z e formação de bomba de prótons para a formação de NADPH e ATP



As duas fases são interdependentes



# Ciclo de Calvin-Benson



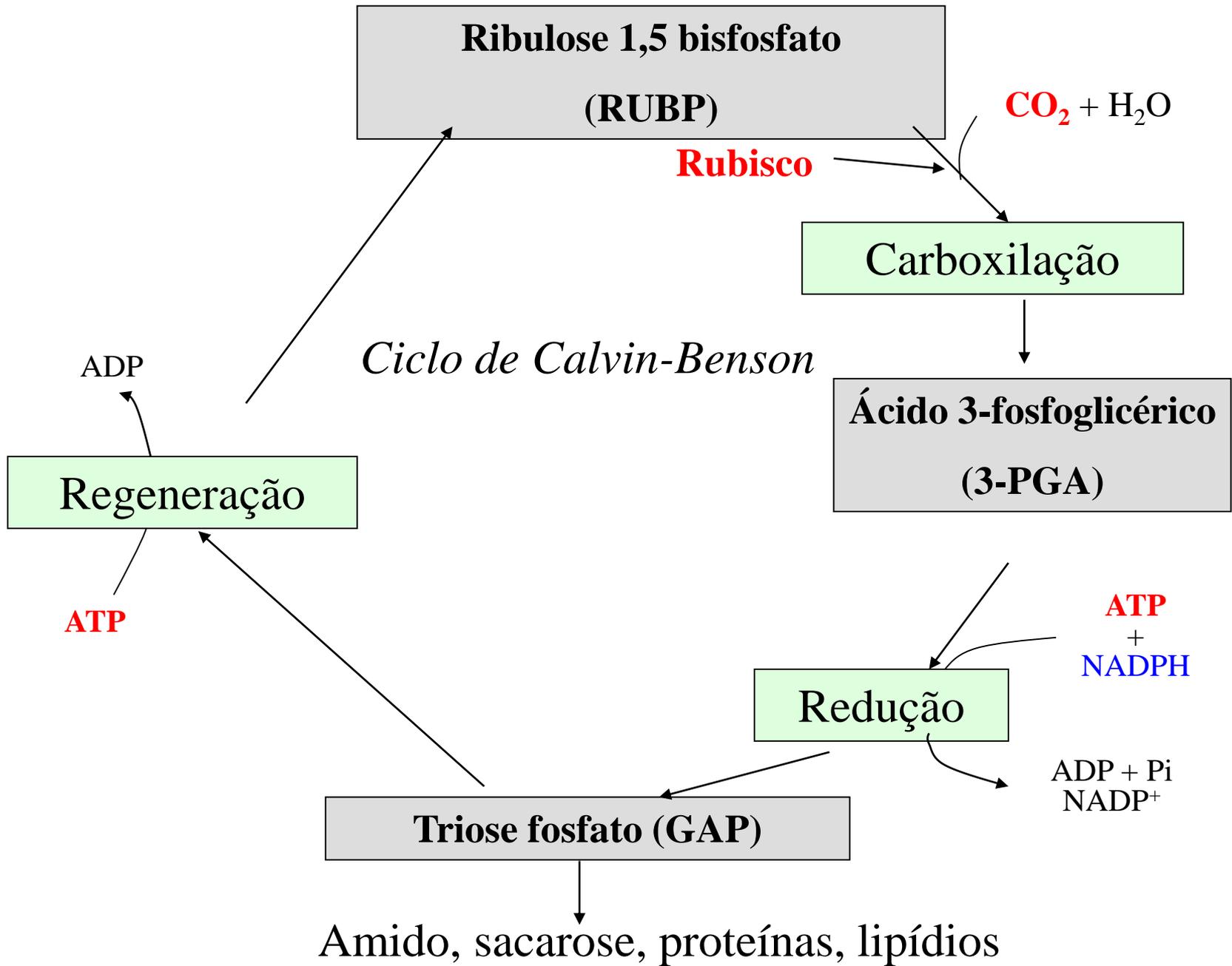
**Melvin Calvin (1911-1997)**  
**Prêmio Nobel de Química em 1961**

University of California  
Berkeley, CA, USA

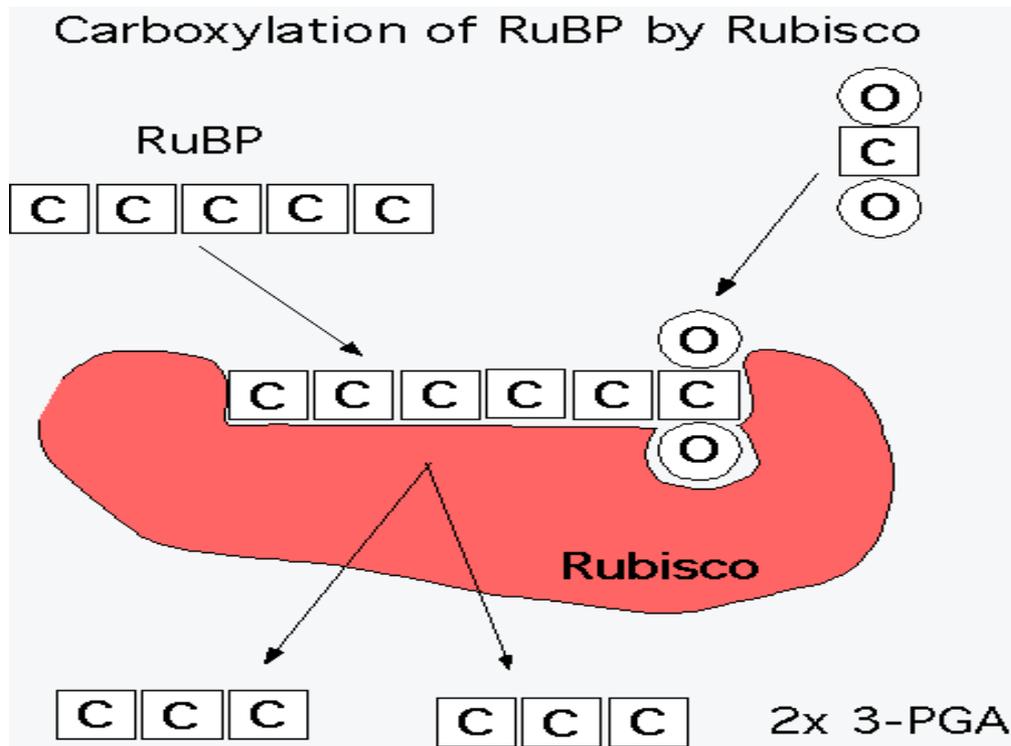


**Andrew A. Benson (1917- 2015)**

University of California  
San Diego, CA, USA



# CARBOXILAÇÃO DA RUBP

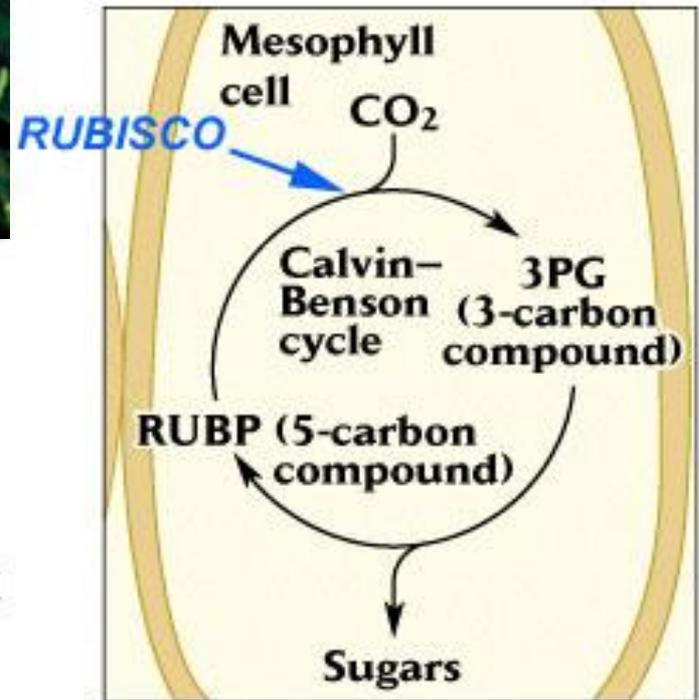
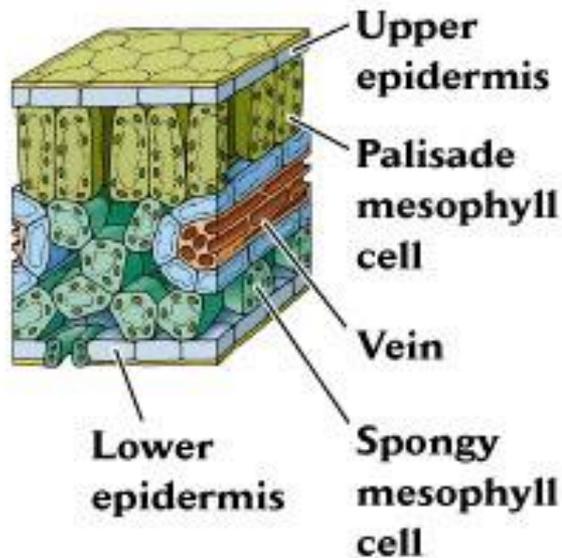


3-PGA = Ácido 3- fosfoglicérico

# PLANTAS C3 (feijão, soja, trigo, maioria das culturas)

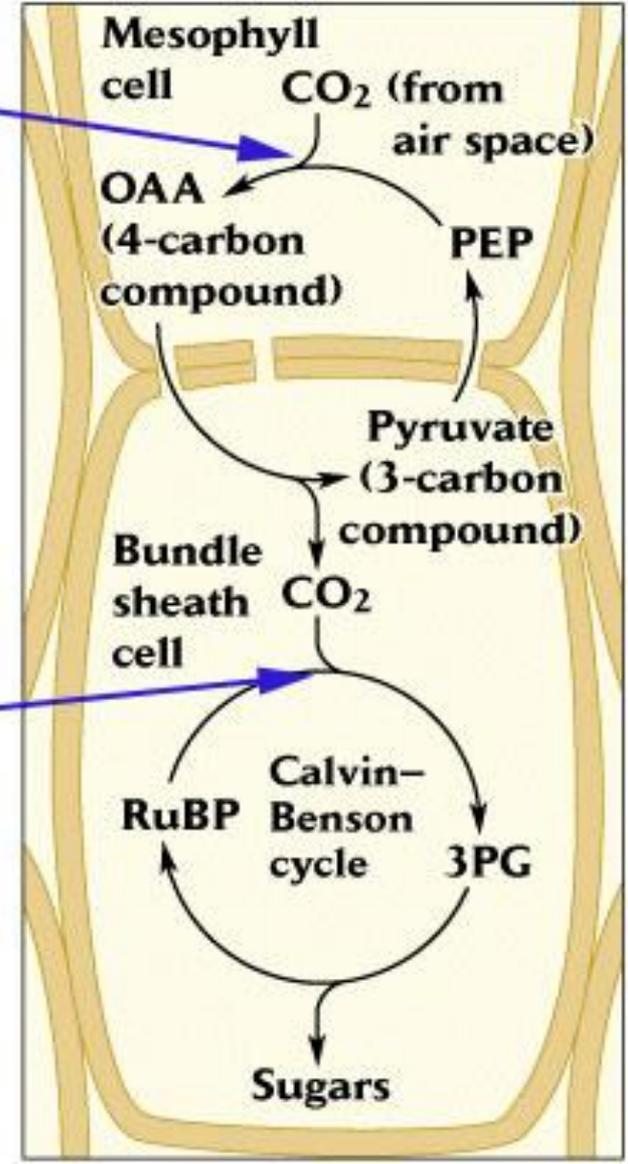
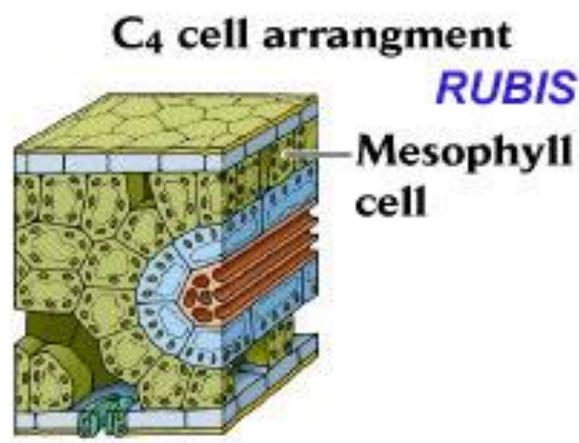


C<sub>3</sub> cell arrangement

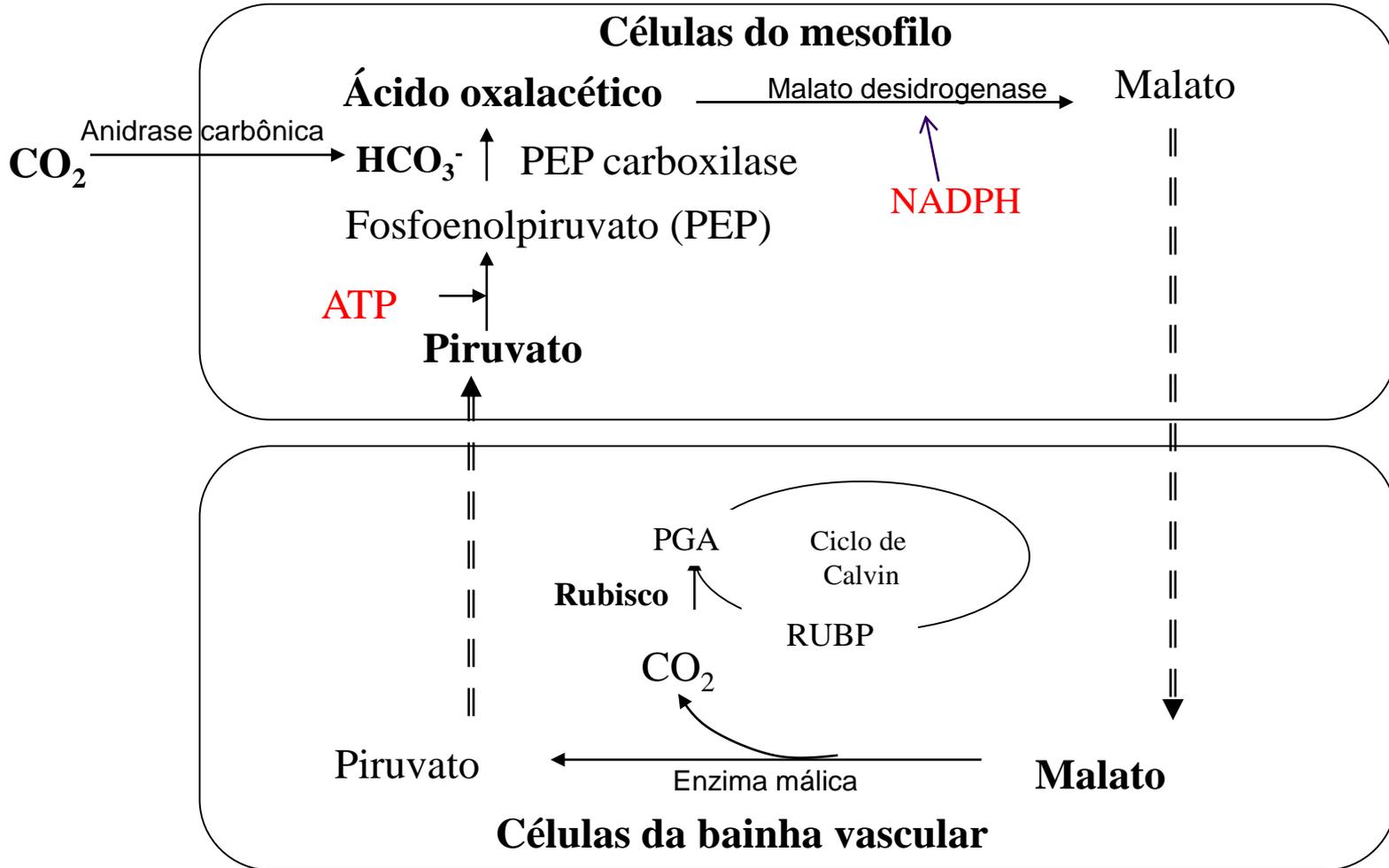


PLANTAS C4 (Milho, cana de açúcar)

Ciclo de Hatch & Slack

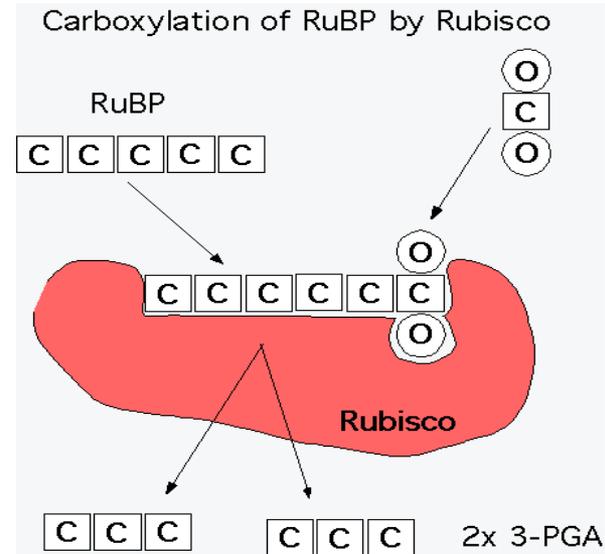


## Ciclo C4 (Hatch & Slack)

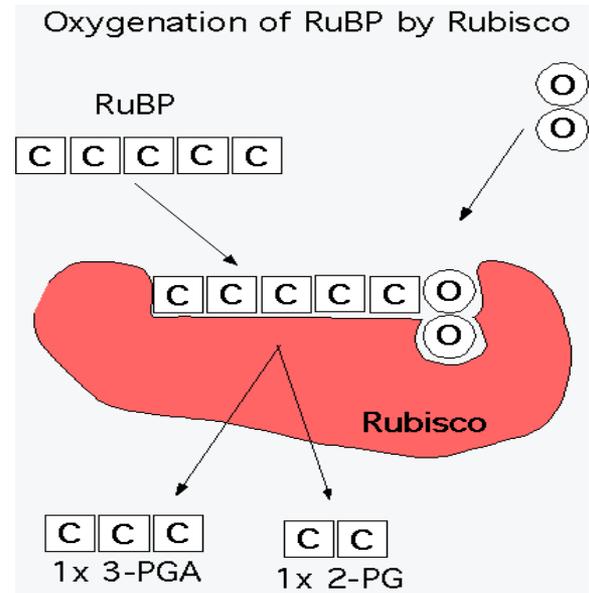


# Atividades da Rubisco

Reagindo com o  $\text{CO}_2$



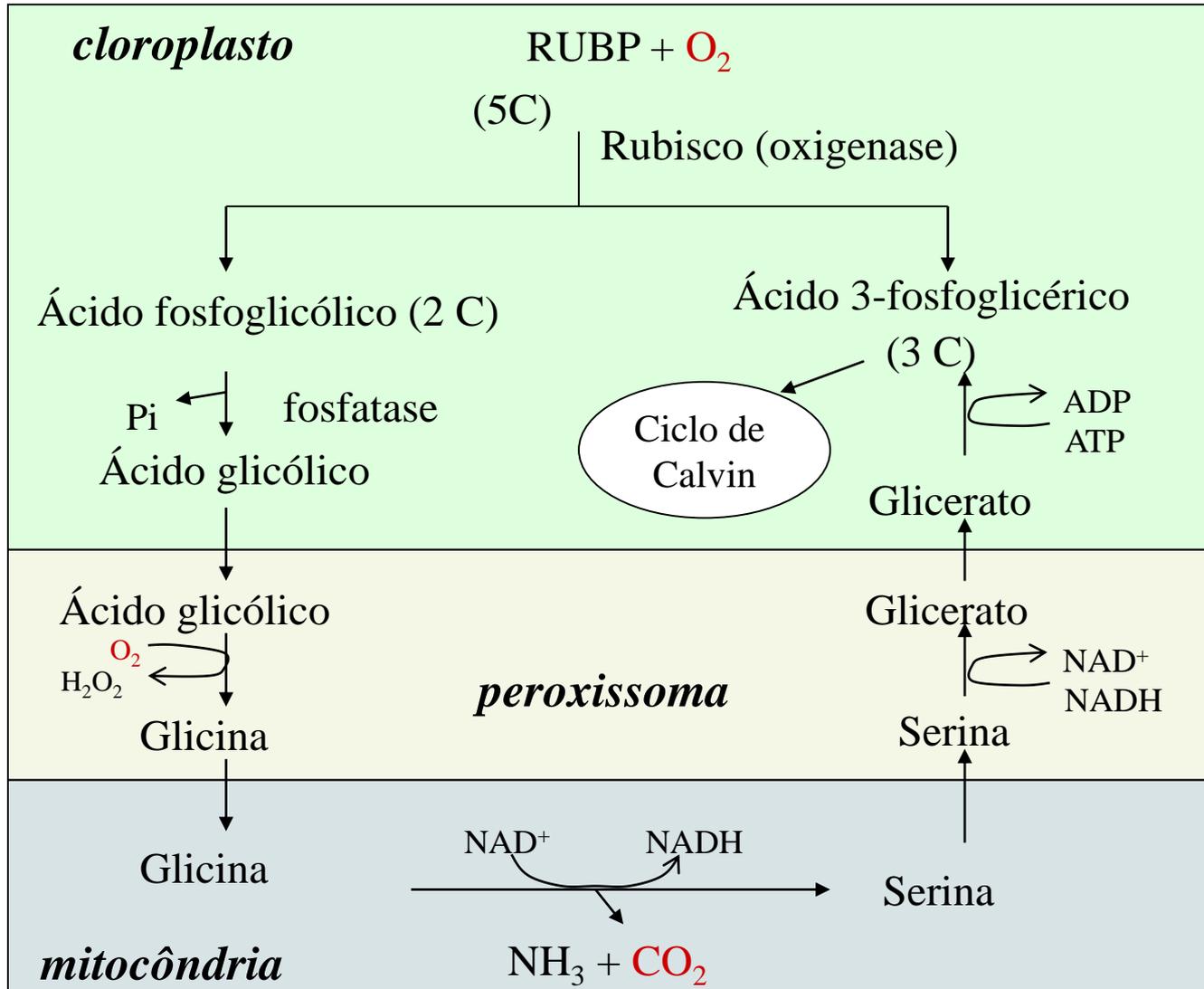
Reagindo com o  $\text{O}_2$



# Fotorrespiração

- É uma perda adicional de carbono ( $\text{CO}_2$ ) em decorrência da luz
- Ocorre mais frequentemente quando:
  - Os níveis de luz são intensos (radiação solar)
  - A temperatura é alta
- Algumas plantas são mais sensíveis à fotorrespiração
  - Plantas C3 mais sensíveis (ex.: soja, árvores de florestas)
  - Plantas C4 são menos sensíveis (ex.: cana de açúcar, milho)

# Fotorrespiração



# Fotorrespiração

- Função biológica pouco conhecida e ainda estudada
- Possíveis funções:
  - Recuperar parte do Carbono presente no ácido 2-fosfoglicólico
  - Proteção do aparato fotossintético (dissipar o excesso de ATP) que poderia danificar o cloroplasto (proteção contra fotoinibição e fotoxidação quando da presença de muita luz)
- Pesquisas estão sendo realizadas em plantas C3 para evitar a fotorrespiração e, assim, aumentar a produtividade.

# Determinação da fotossíntese líquida

$$FL = FB - R$$

FL = Fotossíntese líquida

FB = fotossíntese bruta

R = Respiração (RM + FTR)

RM = Respiração mitocondrial

FTR = Fotorrespiração

$$FL = FB - R (RM + FTR)$$

# As três situações

- $FB < R$
- $FB = R$
- $FB > R$

# FATORES QUE AFETAM A FOTOSSÍNTESE

- Disponibilidade de H<sub>2</sub>O
- Luminosidade (Radiação solar)
- Temperatura
- CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>
- Pragas e Doenças
- Vento

# FATORES QUE AFETAM A FOTOSSÍNTESE

- Água (deficiência)
  - Menor disponibilidade de água implica em menor condutância estomática (menor abertura dos estômatos)
  - Há menor quantidade de água disponível para a fotossíntese (fotólise da água)

# FATORES QUE AFETAM A FOTOSSÍNTESE

- Água (deficiência)
  - Há menor entrada de  $\text{CO}_2$  e menor saída de  $\text{O}_2$
  - Menor fotossíntese bruta e, conseqüentemente, menor fotossíntese líquida, ganho de massa seca e enchimento de grãos
  - Fases críticas da disponibilidade de água: *florescimento, frutificação e enchimentos dos grãos*

# FATORES QUE AFETAM A FOTOSSÍNTESE

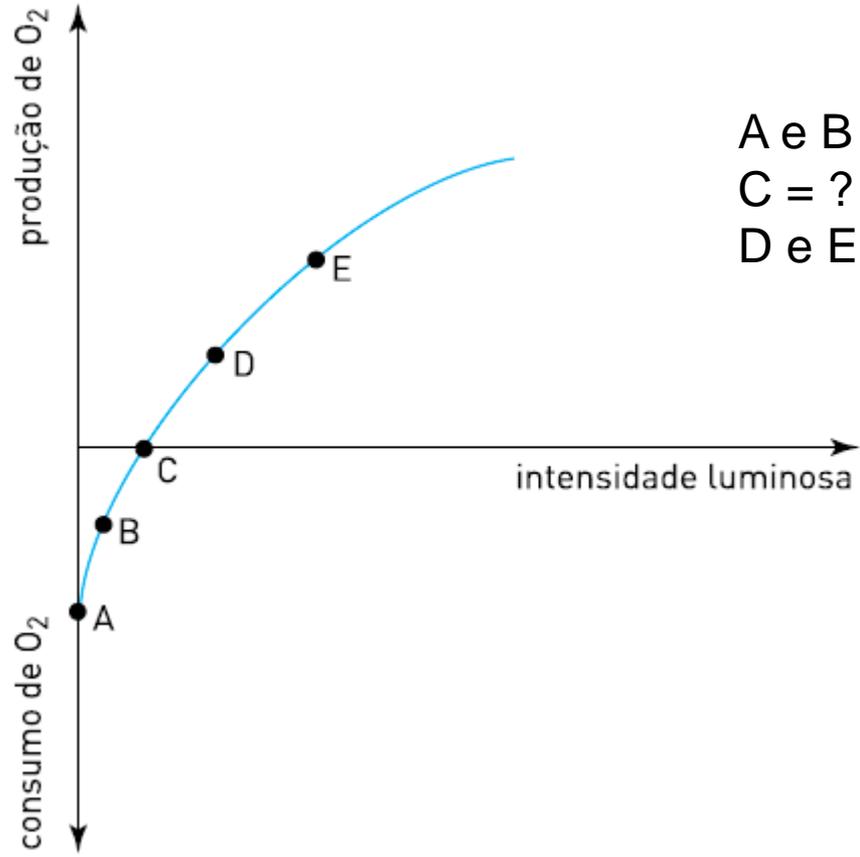
- Luminosidade (Radiação solar)
  - Não temos tido oscilação, com exceção de raios UV
  - Raios UV está sendo mais danoso para o ser humano do que para as plantas



# Radiação solar em diferente condições

Condição	Unidade fotométrica Kilolux	Unidade radiométrica $\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1}$	FFF (400-700 nm) $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
Pleno sol (meio-dia, claro, sem nuvens)	100-130	750-1000 (radiação total)  400-500 (400-700 nm)	1840-2400
Nublado (ao meio dia)	14-16	55-65  (400-700nm)	250-300
Muito sombreado (floresta)	0,8	3  (400-700nm)	15

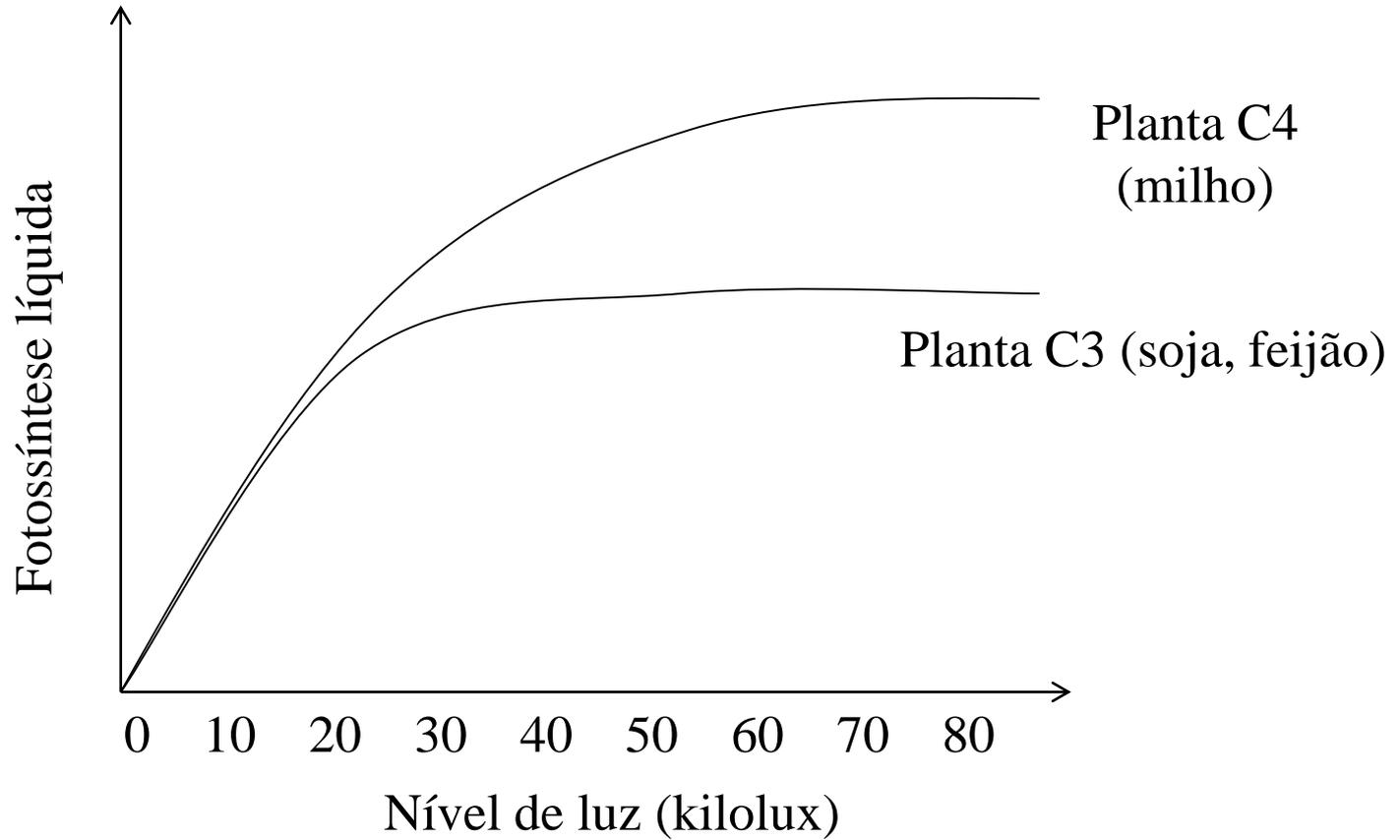
FFF = fluxo de fótons fotossintéticos



A e B = ?  
 C = ?  
 D e E = ?

Produção de O<sub>2</sub> = Fotossíntese  
 Consumo de O<sub>2</sub> = Respiração

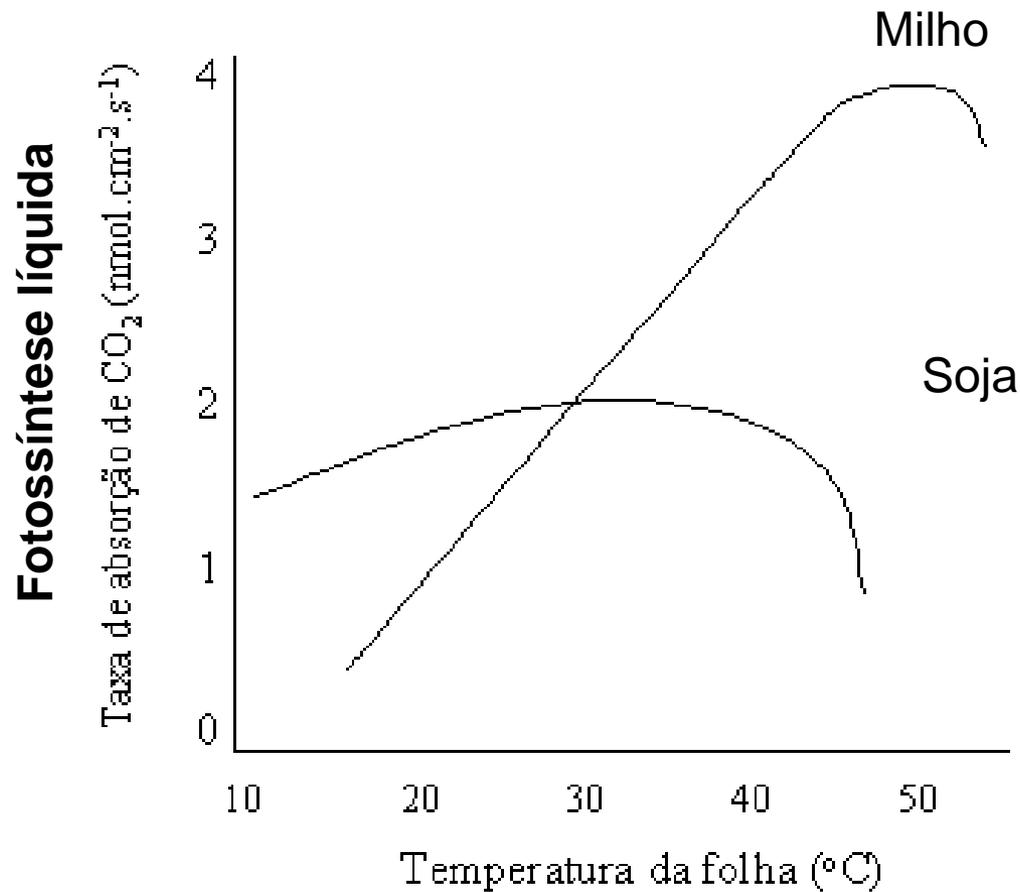
# Efeito da Luminosidade



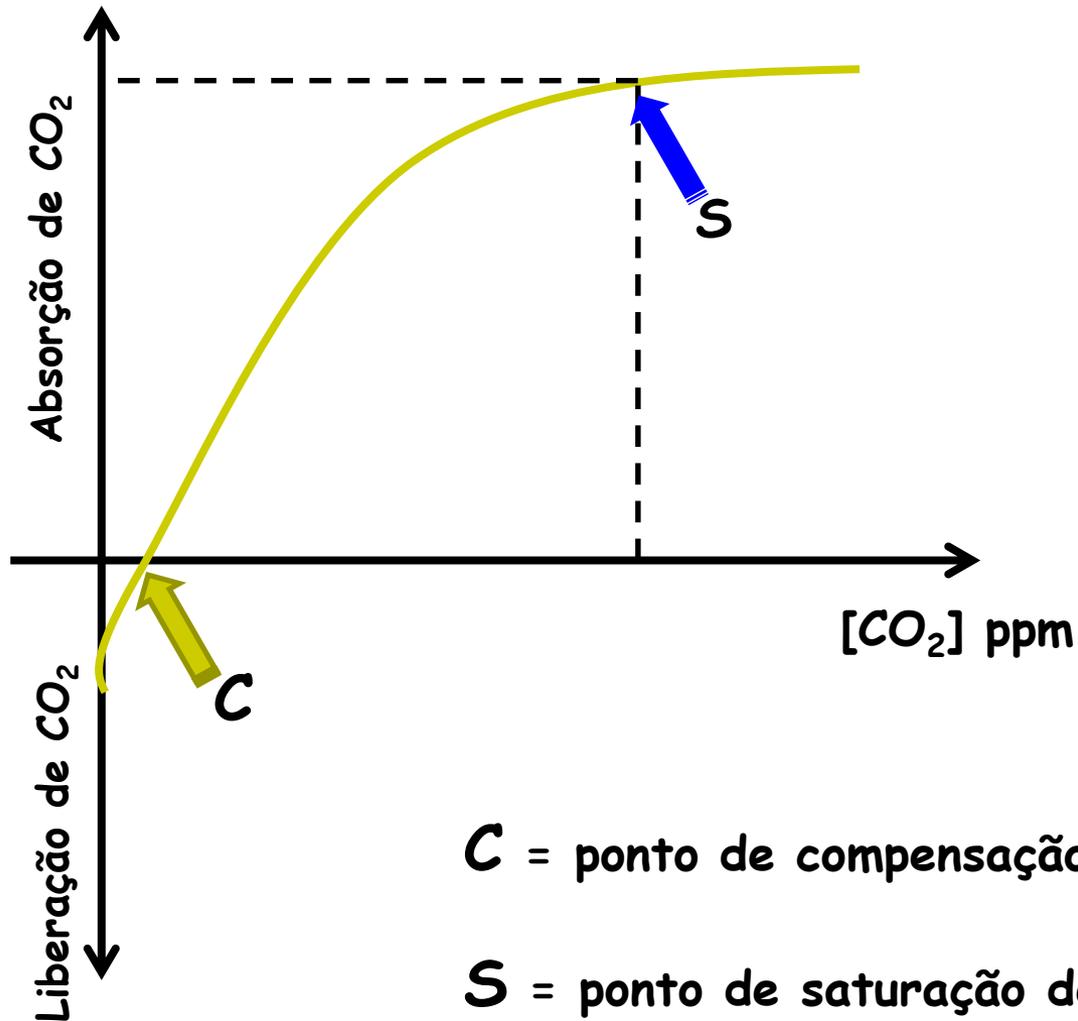
# Dissipação do excesso de luminosidade

- Pigmentos fotoprotetores
  - Carotenóides e Xantofilas (violaxantina, anteraxantina e zeaxantina) dissipam o excesso de energia luminosa na folha
- Caso não seja dissipado o excesso de luz pode haver Foto-inibição e Foto-oxidação

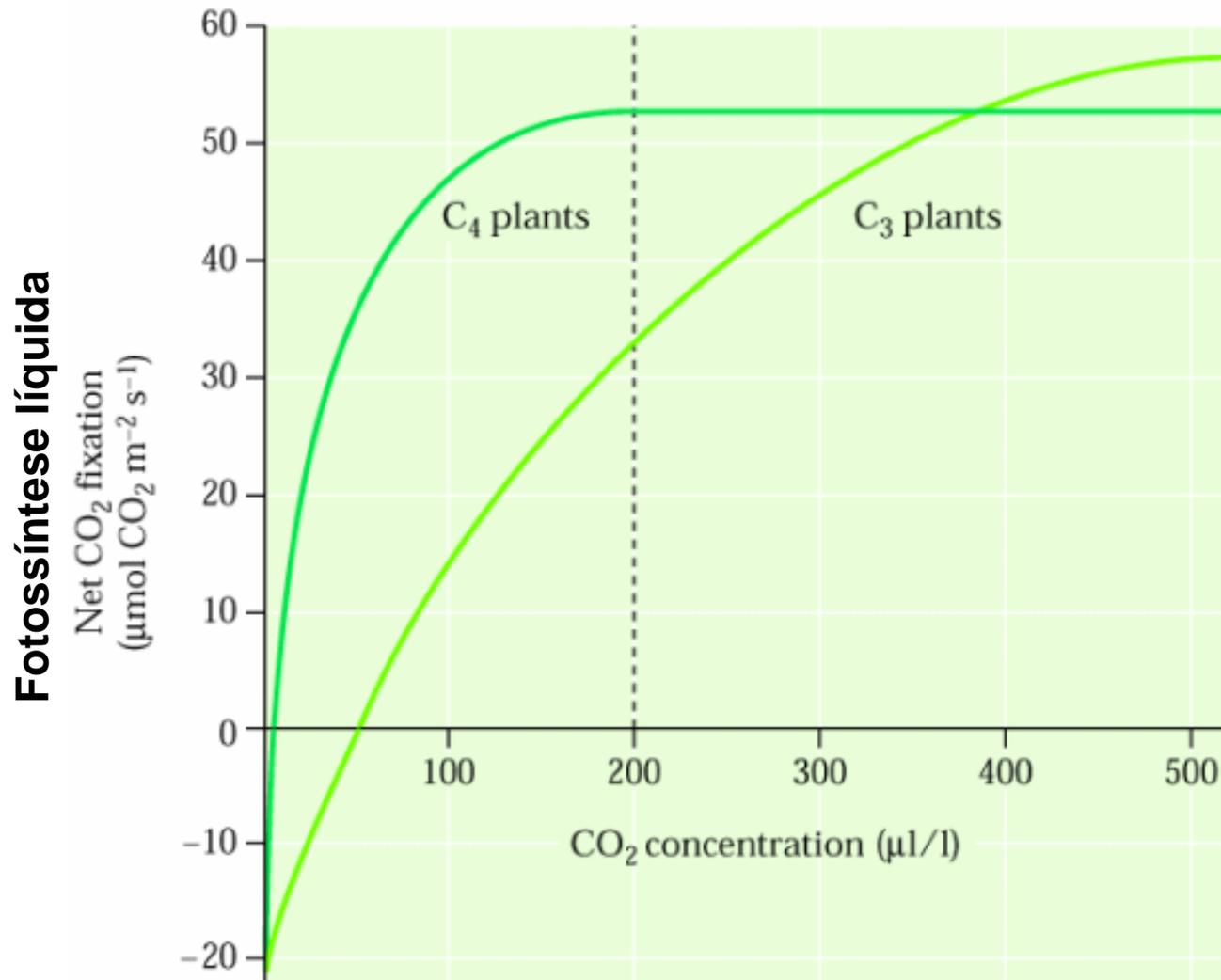
# Efeito da Temperatura



# Efeito do $\text{CO}_2$



# Efeito do CO<sub>2</sub>

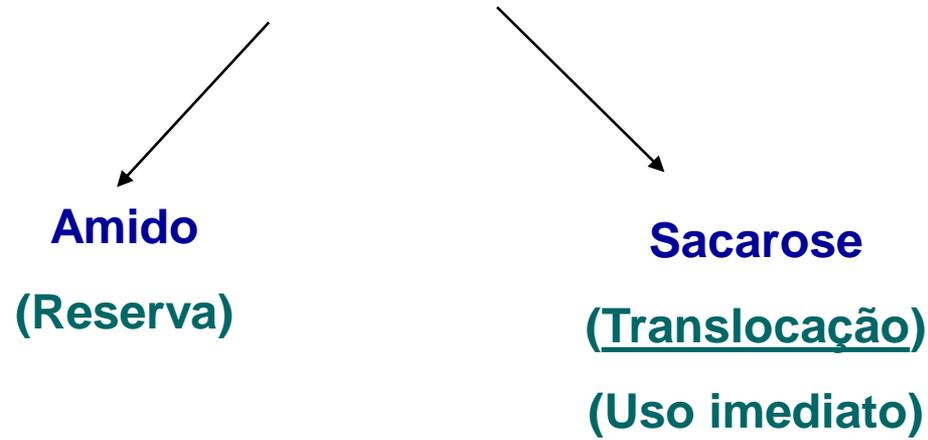


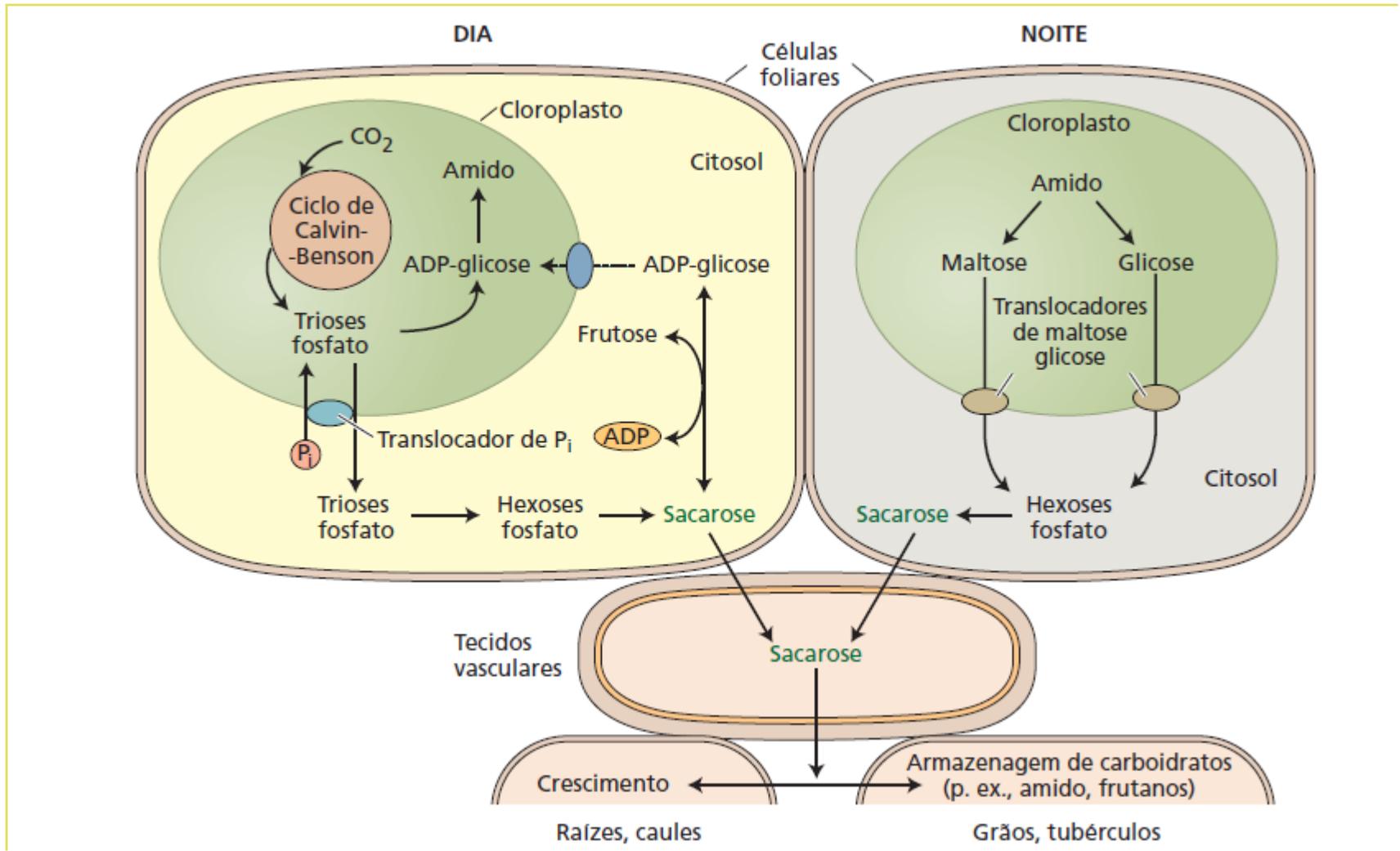
# Doenças e Pragas afetam a fotossíntese?

- Os danos nas folhas fazem com a planta use os seus fotoassimilados (produtos da fotossíntese) para a produção de compostos de defesa
- Com isso aumenta a respiração (gasto de carboidratos)
- Doenças: produção de fitoalexinas
- Pragas: produção de substâncias cicatrizantes
- Doenças e pragas nas raízes aumenta a drenagem de produtos da fotossíntese e afeta a produção de grãos

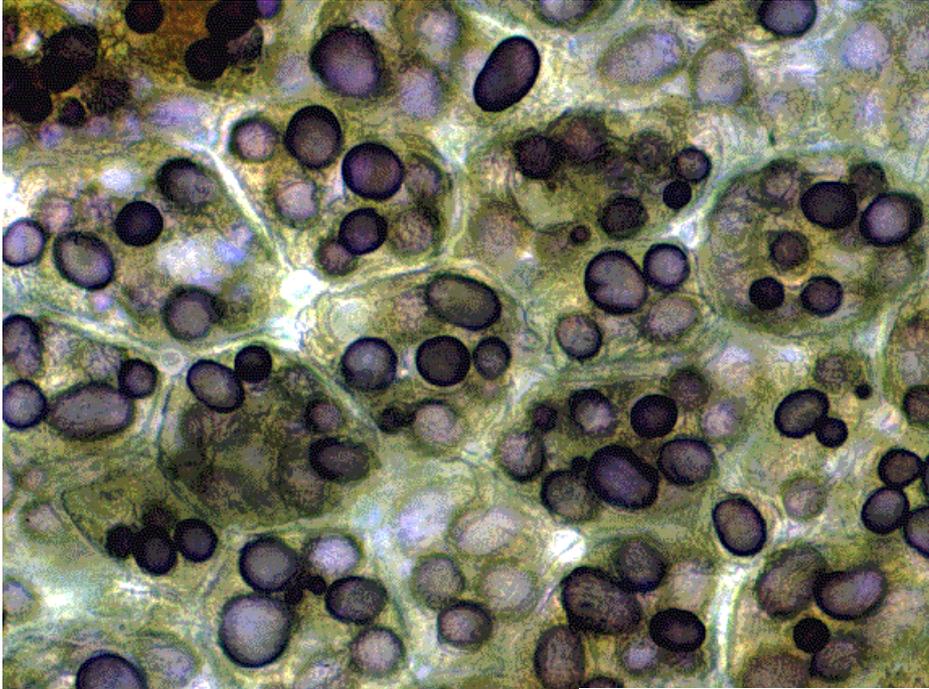
# Funções do Ciclo de Calvin-Benson

- Produção de Triose-Fosfato





Taiz et al. (2017)



Grãos de amido em embrião de feijão

