

**DESENVOLVIMENTO VEGETAL**

**2. Efeito da variação dos factores ambientais no desenvolvimento das plantas**

**2.1. Factor luz: Fitocromo, fotomorfogénese e fotoperiodismo**

# EXEMPLOS DE PROCESSOS DO DESENVOLVIMENTO REGULADOS PELA LUZ

Seed germination



DARK

+ 1 min  
RED

Light-  
grown

Dark-  
grown

Photomorphogenesis

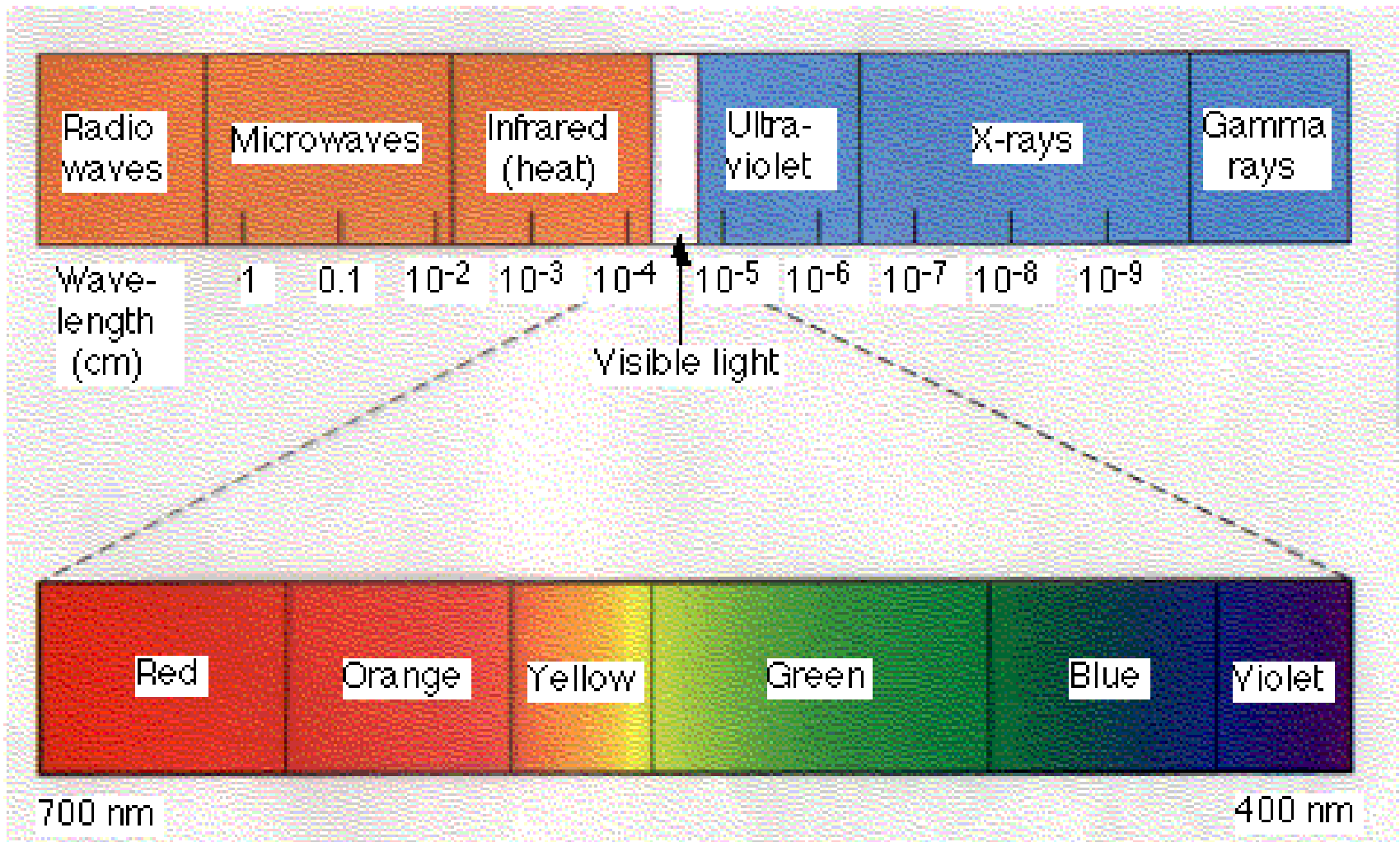
Photoperiodic  
flowering



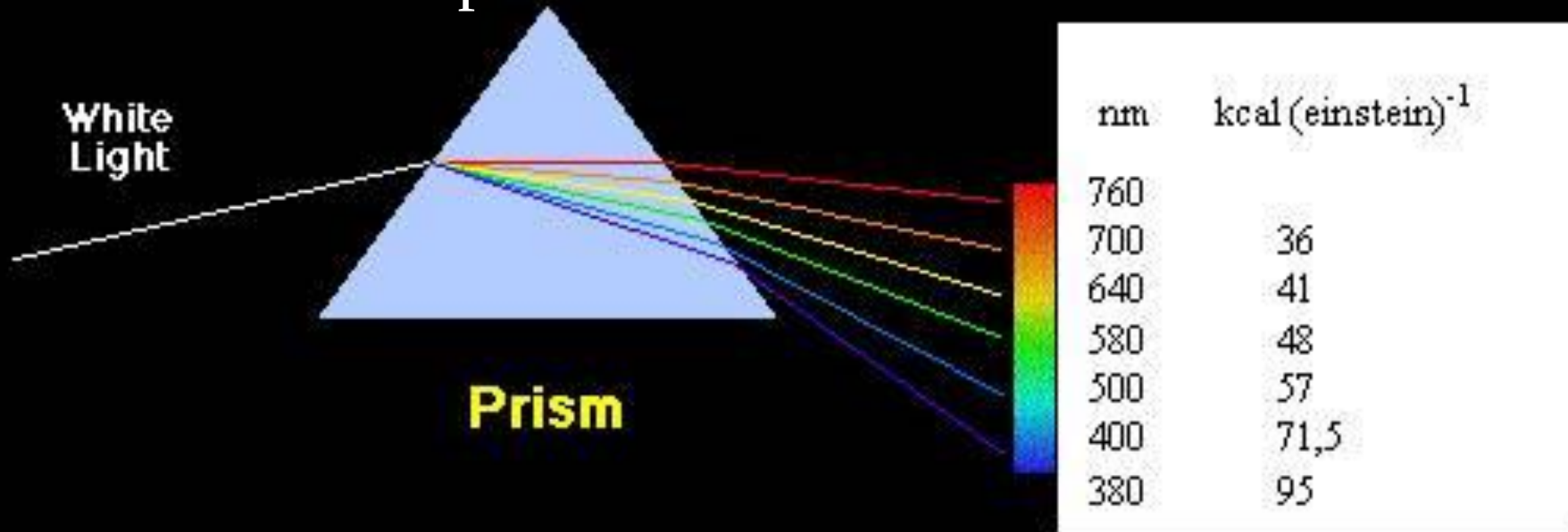
Short Days

Long Days

# Espetro de radiações



# Espectro da luz branca



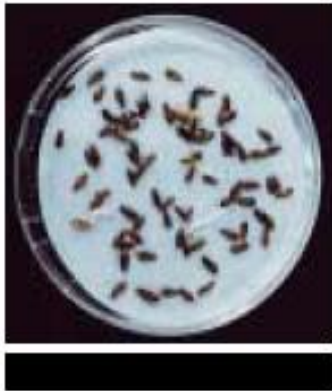
Espectro da luz branca - Após passagem através de um prisma, a luz visível separa-se em função do comprimento de onda.

Irradiâncias inferiores a  $100 \text{ J m}^{-2}$

**Quais os comprimentos de onda activos na fotomorfogénese e nas respostas fotoperiódicas ?**

# Processos do desenvolvimento regulados pela luz

## germinação de sementes fotodependentes



Dark



Red



Red Far-red

**Red, R, V 660 nm**

**Far-red, FR, VL, 730 nm**



Red Far-red Red



Red Far-red Red Far-red

(C) Light-grown bean



(D) Dark-grown bean

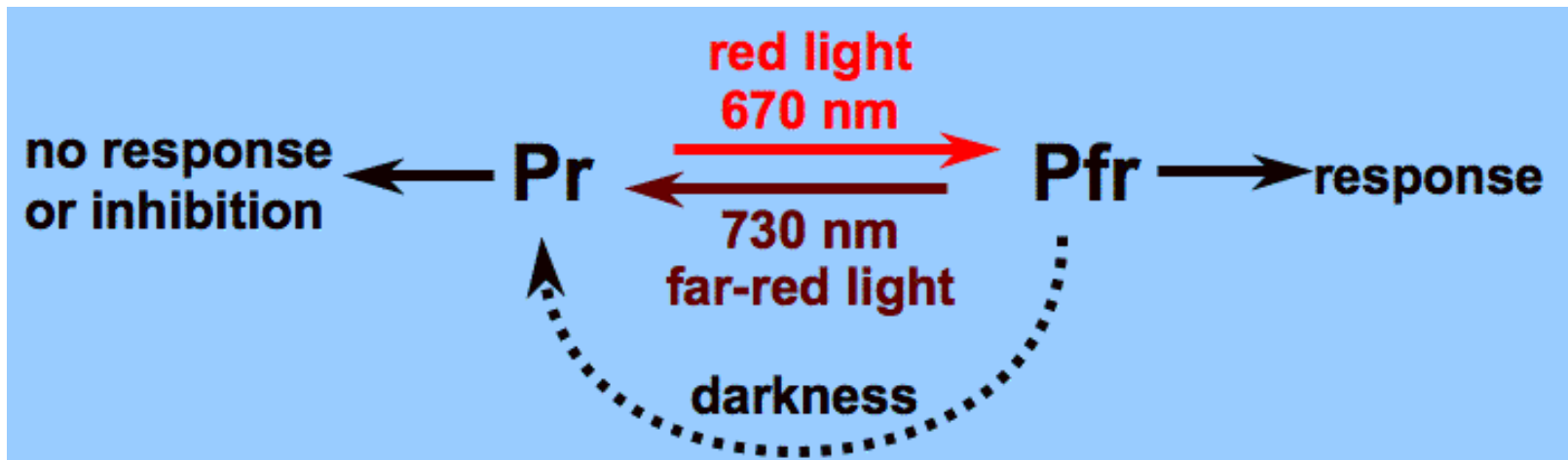


Comprimentos de onda (c.d.o.)  
absorvidos pelo... **Fitocromo**

Qual o receptor do sinal luminoso responsável pelos processos do desenvolvimento?

**O Fitocromo apresenta duas formas interconvertíveis, Pr e Pfr**

**Cada uma das formas do Fitocromo regula respostas diferentes**



# **Modulação do desenvolvimento vegetativo pela luz – fotomorfogénese**

## **RESPOSTAS FISIOLÓGICAS QUE ENVOLVEM O FITOCROMO**

**Respostas fotomorfogénicas, não fotoperiódicas:**

**germinação de sementes fotodependentes**

**reverdecimento de plantas estioladas**

**Respostas fotomorfogénicas, fotoperiódicas:**

**indução floral de espécies fotoperiódicas**

**dormência de gomos**

**formação de tubérculos**

**Processos não morfogénicos:**

**síntese de antocianinas**

**indução da actividade de certas enzimas (nitrato  
redutase, NR; fenilalanina-amónia liase, PAL)**

# Respostas fotoreversíveis induzidas pelo fitocromo

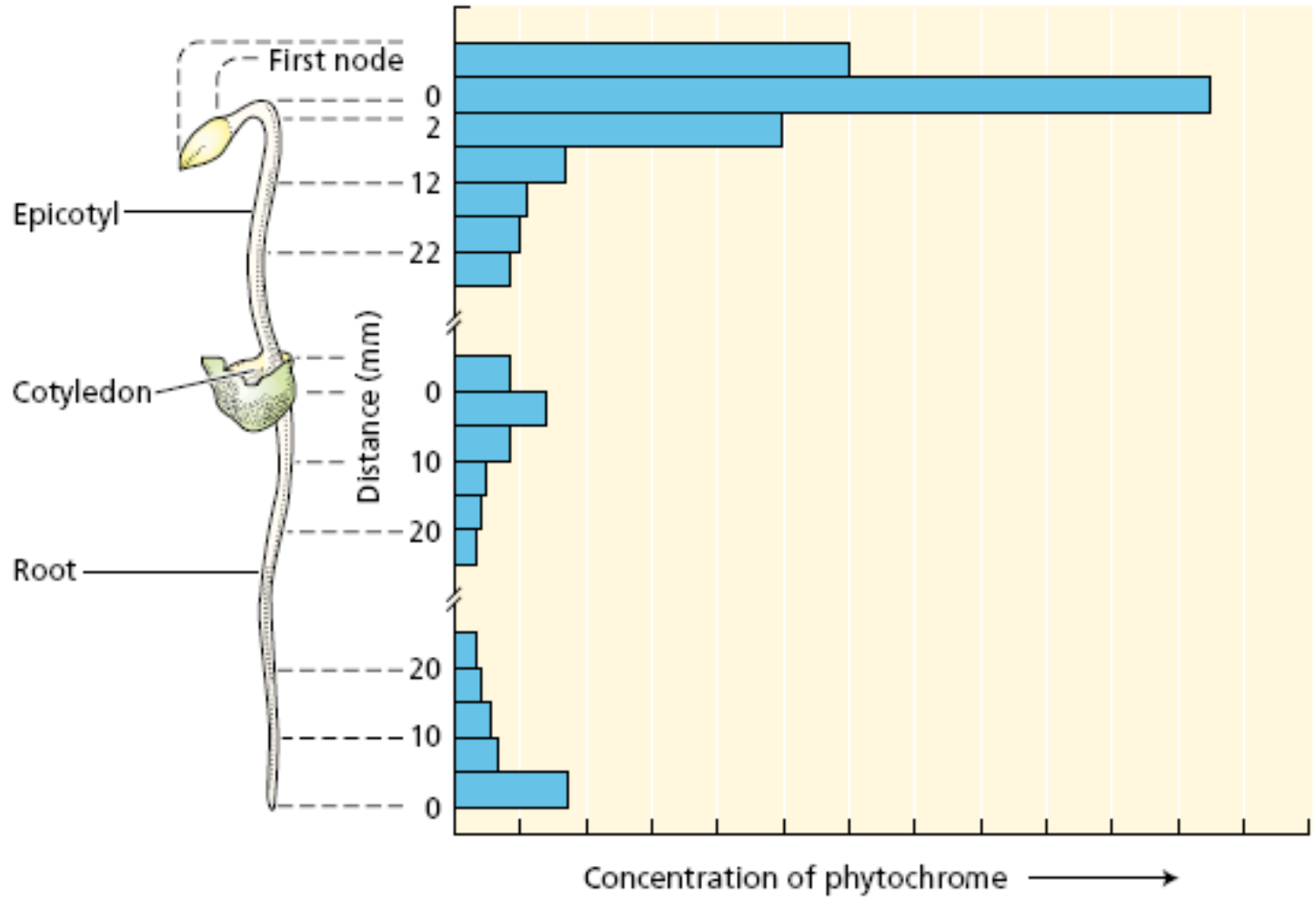
**TABLE 17.1**

Typical **photoreversible** responses induced by phytochrome in a variety of higher and lower plants

| Group         | Genus                           | Stage of development | Effect of red light                                                                                |
|---------------|---------------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Angiosperms   | <i>Lactuca</i> (lettuce)        | Seed                 | Promotes germination                                                                               |
|               | <i>Avena</i> (oat)              | Seedling (etiolated) | Promotes de-etiolation (e.g., leaf unrolling)                                                      |
|               | <i>Sinapis</i> (mustard)        | Seedling             | Promotes formation of leaf primordia, development of primary leaves, and production of anthocyanin |
|               | <i>Pisum</i> (pea)              | Adult                | Inhibits internode elongation                                                                      |
|               | <i>Xanthium</i> (cocklebur)     | Adult                | Inhibits flowering (photoperiodic response)                                                        |
| Gymnosperms   | <i>Pinus</i> (pine)             | Seedling             | Enhances rate of chlorophyll accumulation                                                          |
| Pteridophytes | <i>Onoclea</i> (sensitive fern) | Young gametophyte    | Promotes growth                                                                                    |
| Bryophytes    | <i>Polytrichum</i> (moss)       | Germling             | Promotes replication of plastids                                                                   |
| Chlorophytes  | <i>Mougeotia</i> (alga)         | Mature gametophyte   | Promotes orientation of chloroplasts to directional dim light                                      |

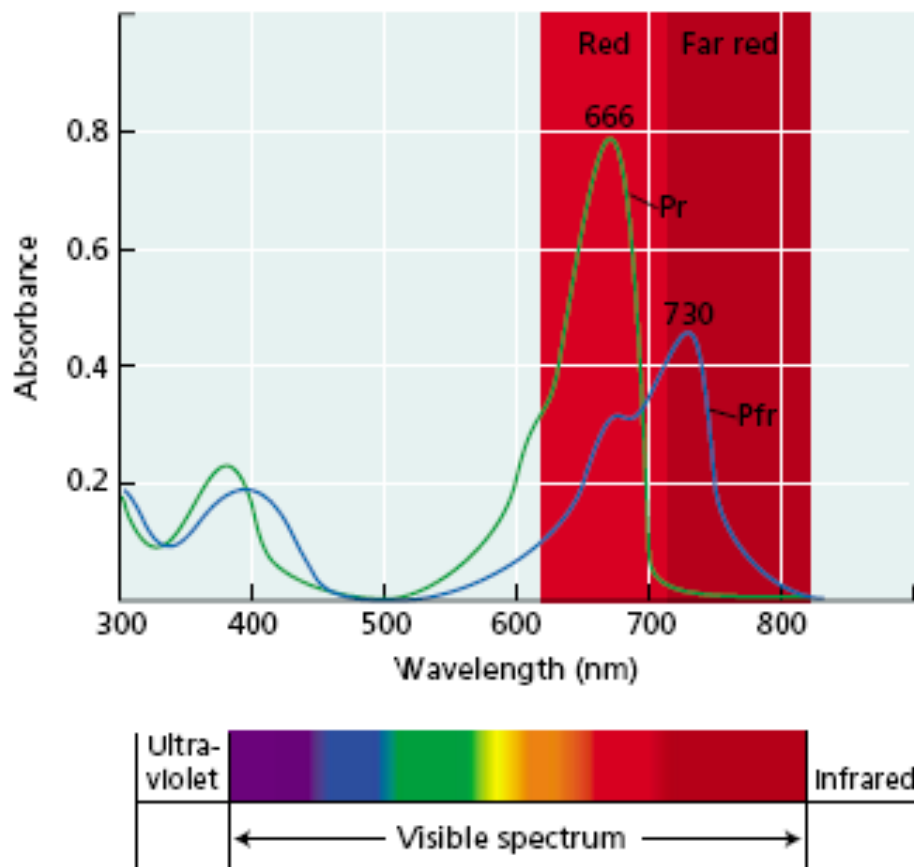
## Localização do fitocromo nos tecidos

### Semente de ervilha estiolada



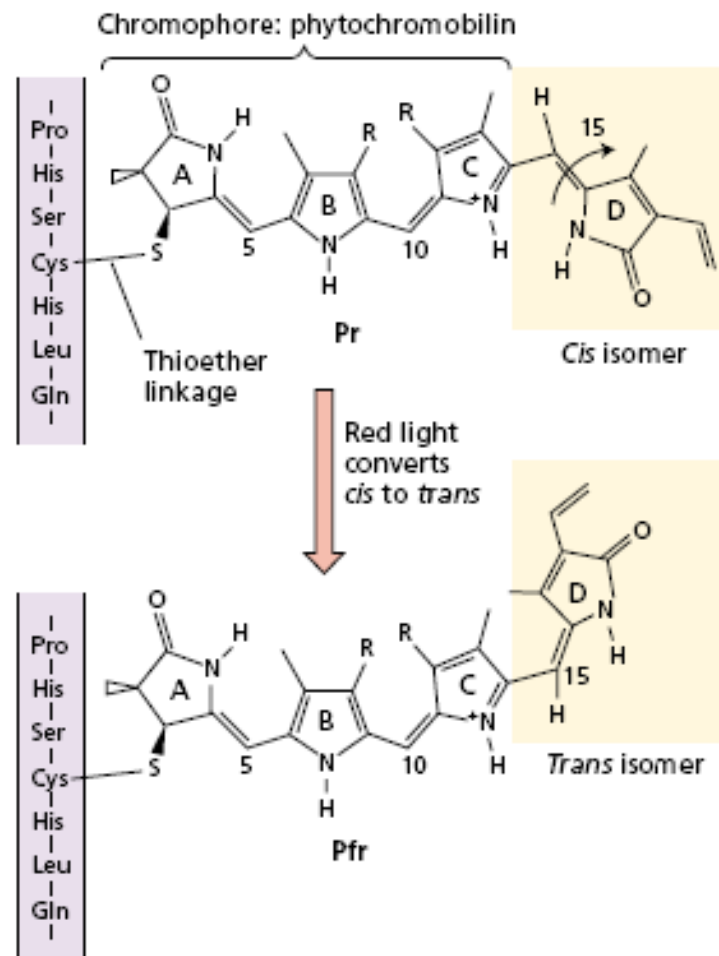
# Fitocromo

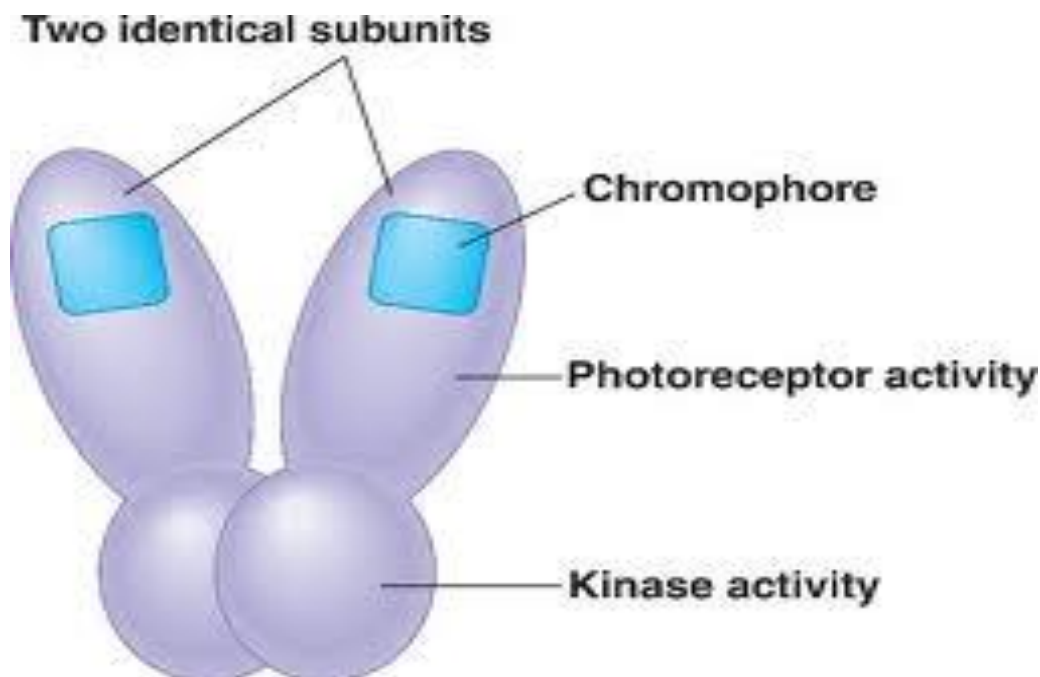
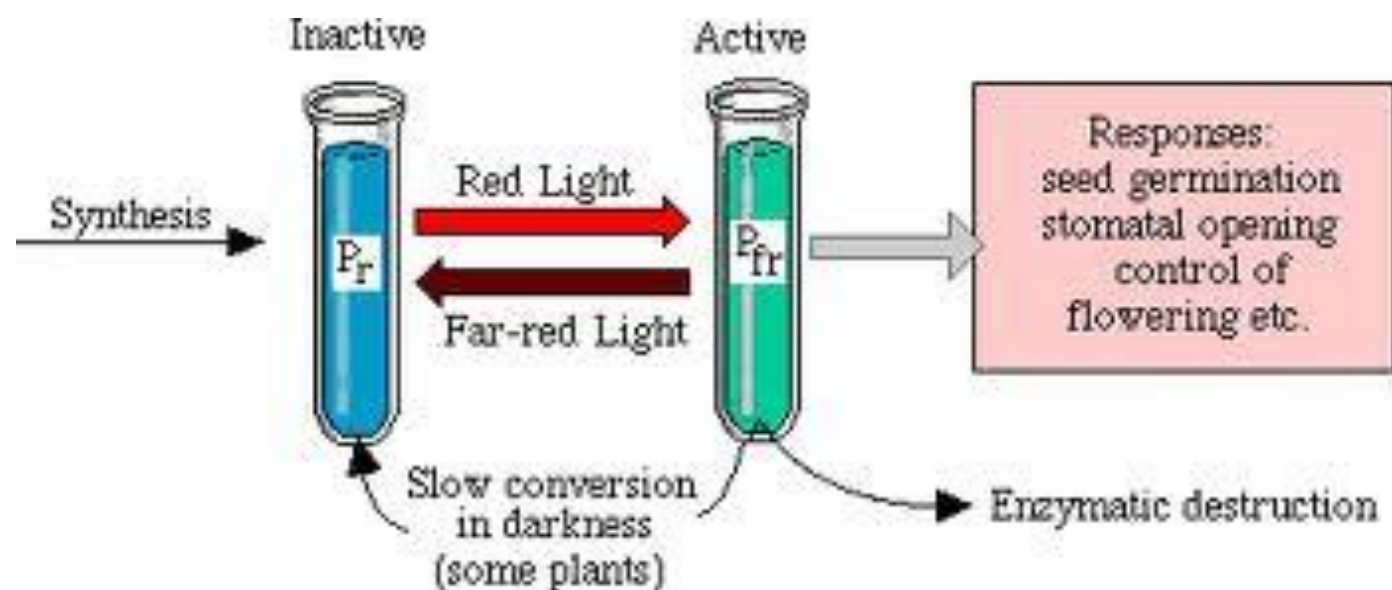
## Espectro de Acção



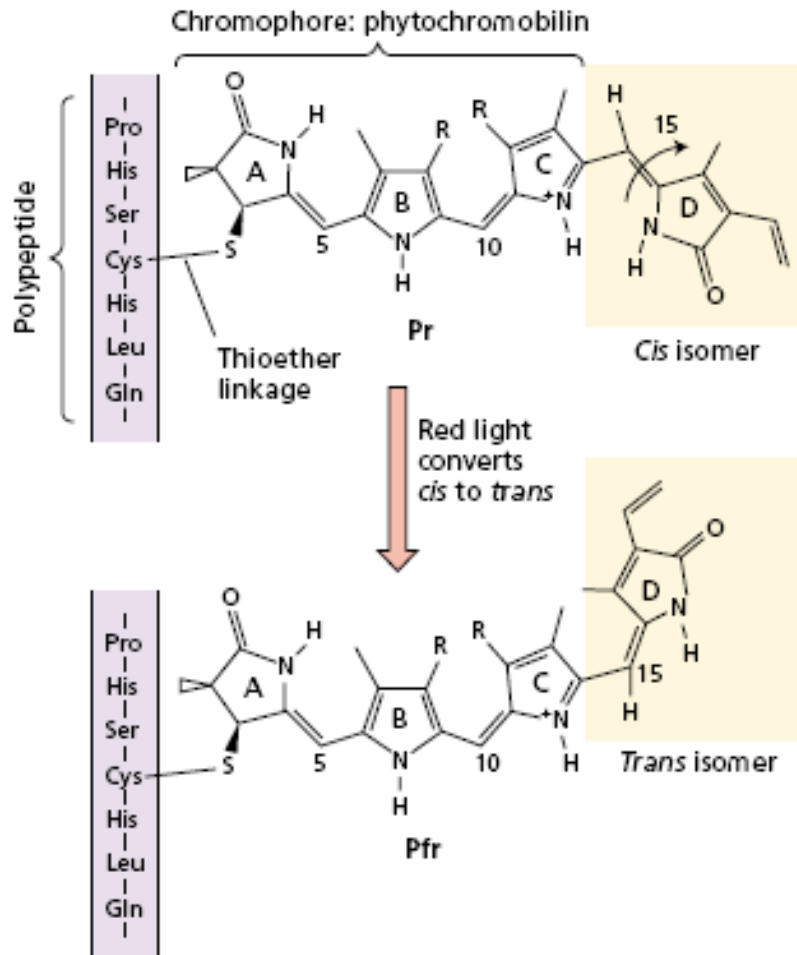
## Alteração do cromóforo nas formas Pr e Pfr

apoproteína



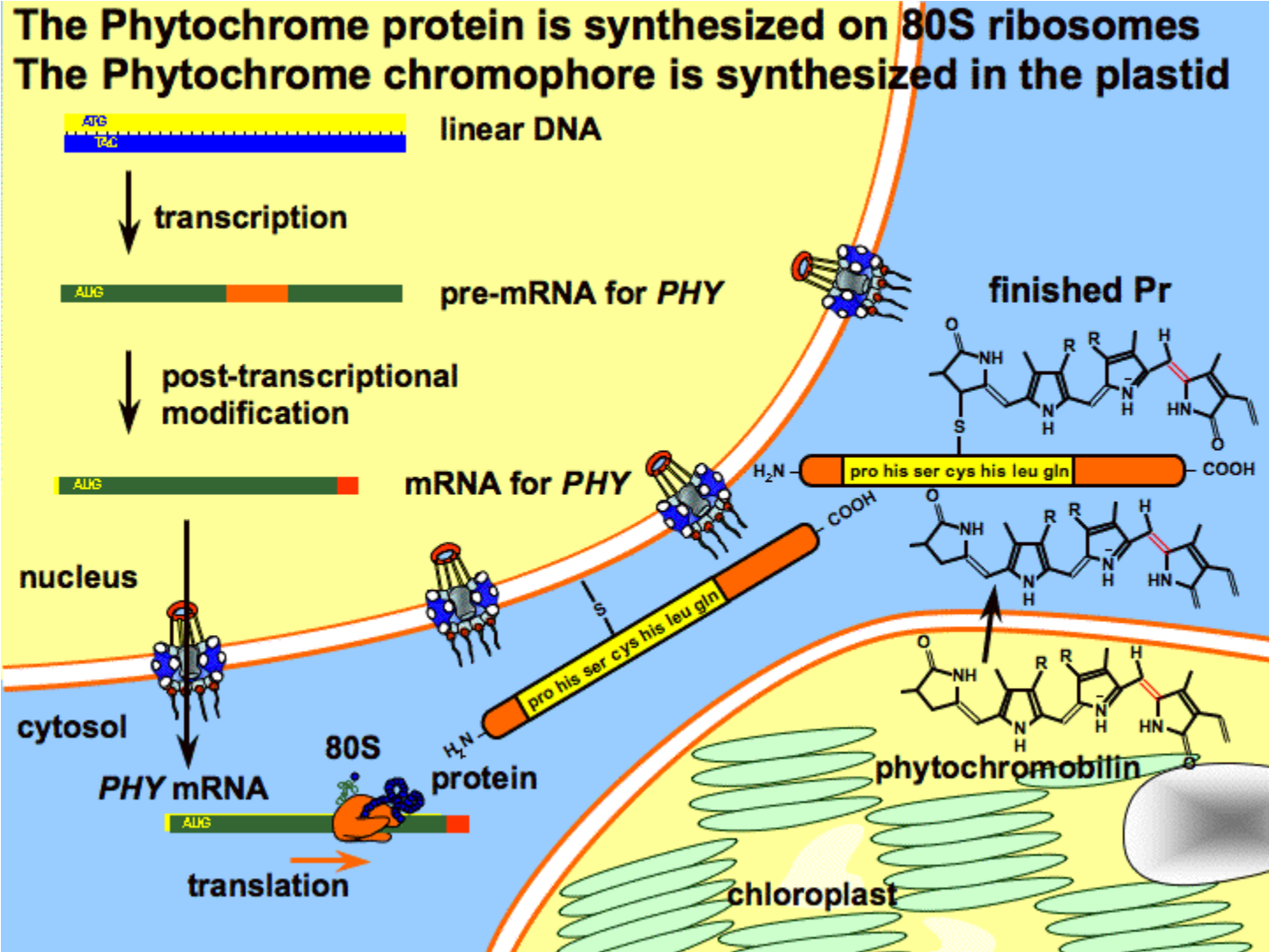


## Cromóforo nas formas Pr e Pfr

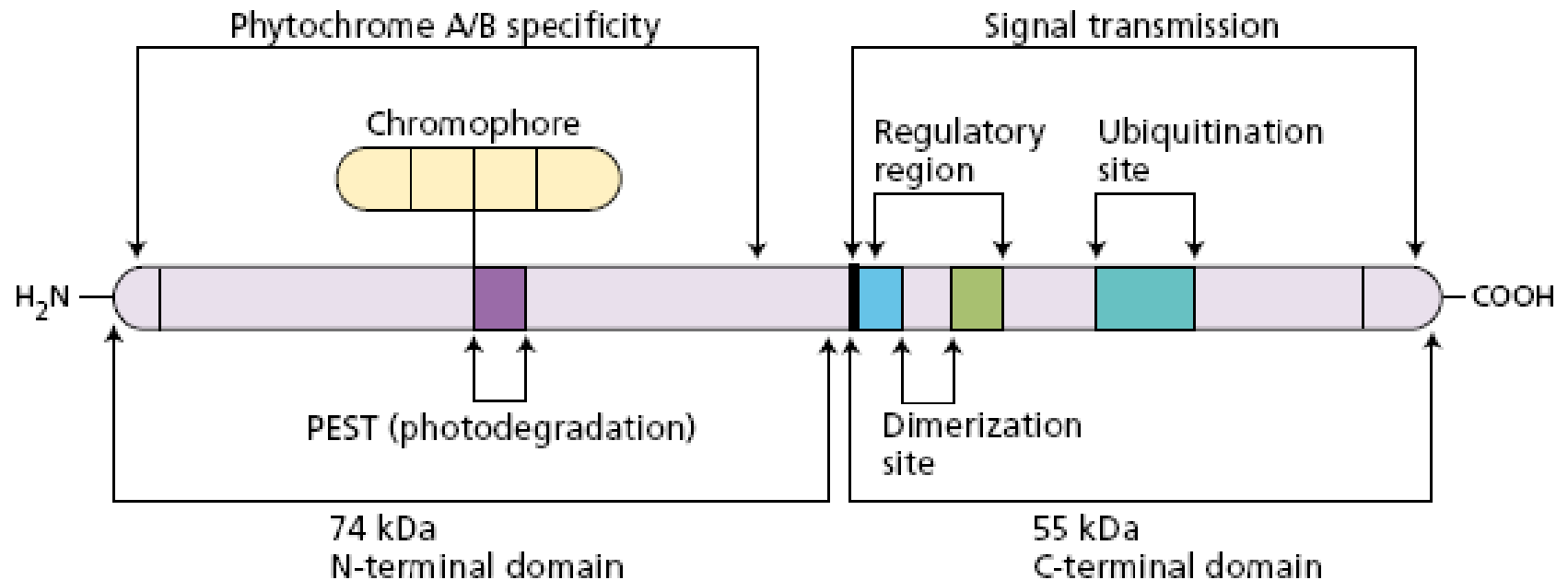


Estrutura das formas Pr e Pfr do cromóforo – fitocromobilina – e região do péptido que se liga ao cromóforo por uma ligação tioéter. O cromóforo sofre uma isomerização *cis-trans* no carbono 15 em resposta a luz R (V); luz FR (VL) reverte a isomerização *trans-cis*.

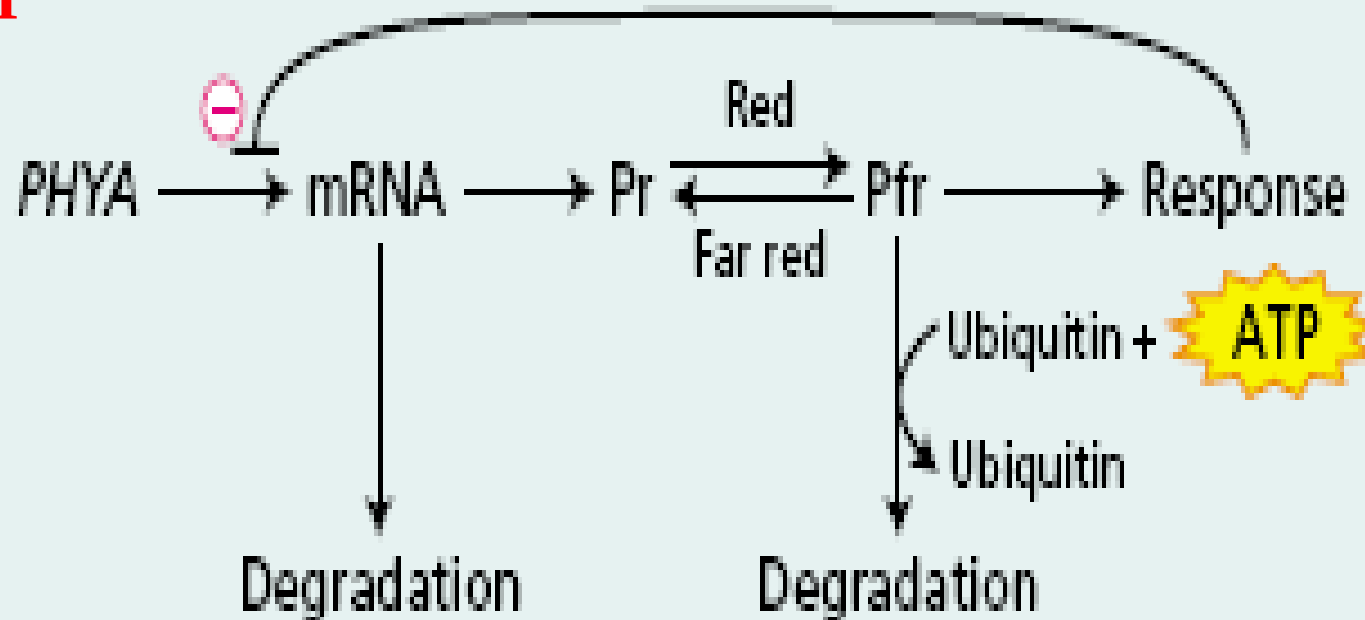
# Biosíntese do Fitocromo



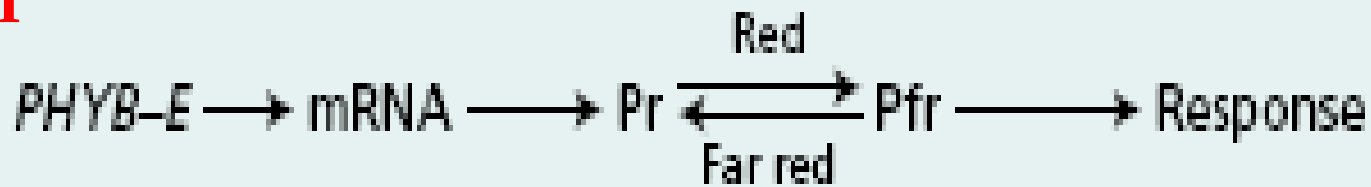
# Domínios funcionais da proteína do fitocromo



## Fitocromo Tipo I



## Fitocromo Tipo II



## Respostas do fitocromo em função da fluência e da irradiância

> **Fluência** – nº de fótons que atingem o fitocromo ( $\text{mol quanta m}^{-2}$ )

> **Irradiância** = taxa de fluência ( $\text{mol quanta m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )

**VLFR** – very low fluence response (resposta desde  $0.0001 \mu\text{mol m}^{-2}$ ; saturação a  $0.05 \mu\text{mol m}^{-2}$ )

**LFR** – low fluence response (resposta a partir de  $1.0 \mu\text{mol m}^{-2}$ ; saturação a  $1000 \mu\text{mol m}^{-2}$ )

**HIR** – high-irradiance response

**TABLE 17.4**

Comparison of the very-low-fluence (VLFR), low-fluence (LFR), and high-irradiance responses (HIR)

| Type of Response | Photoreversibility | Reciprocity | Peaks of action spectra <sup>a</sup>                | Photoreceptor                                       |
|------------------|--------------------|-------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| VLFR             | No                 | Yes         | Red, Blue                                           | phyA, phyE <sup>a</sup>                             |
| LFR              | Yes                | Yes         | Red, far red                                        | phyB, phyD, phyE                                    |
| HIR              | No                 | No          | Dark-grown: far red, blue, UV-A<br>Light-grown: red | Dark-grown: phyA, cryptochrome<br>Light-grown: phyB |

<sup>a</sup>phyE is required for seed germination but not for other VLFR responses mediated by phyA

## Adaptação a condições ambientais – papel do fitocromo na resposta à variação da razão R/FR

**TABLE 17.3**  
Ecologically important light parameters

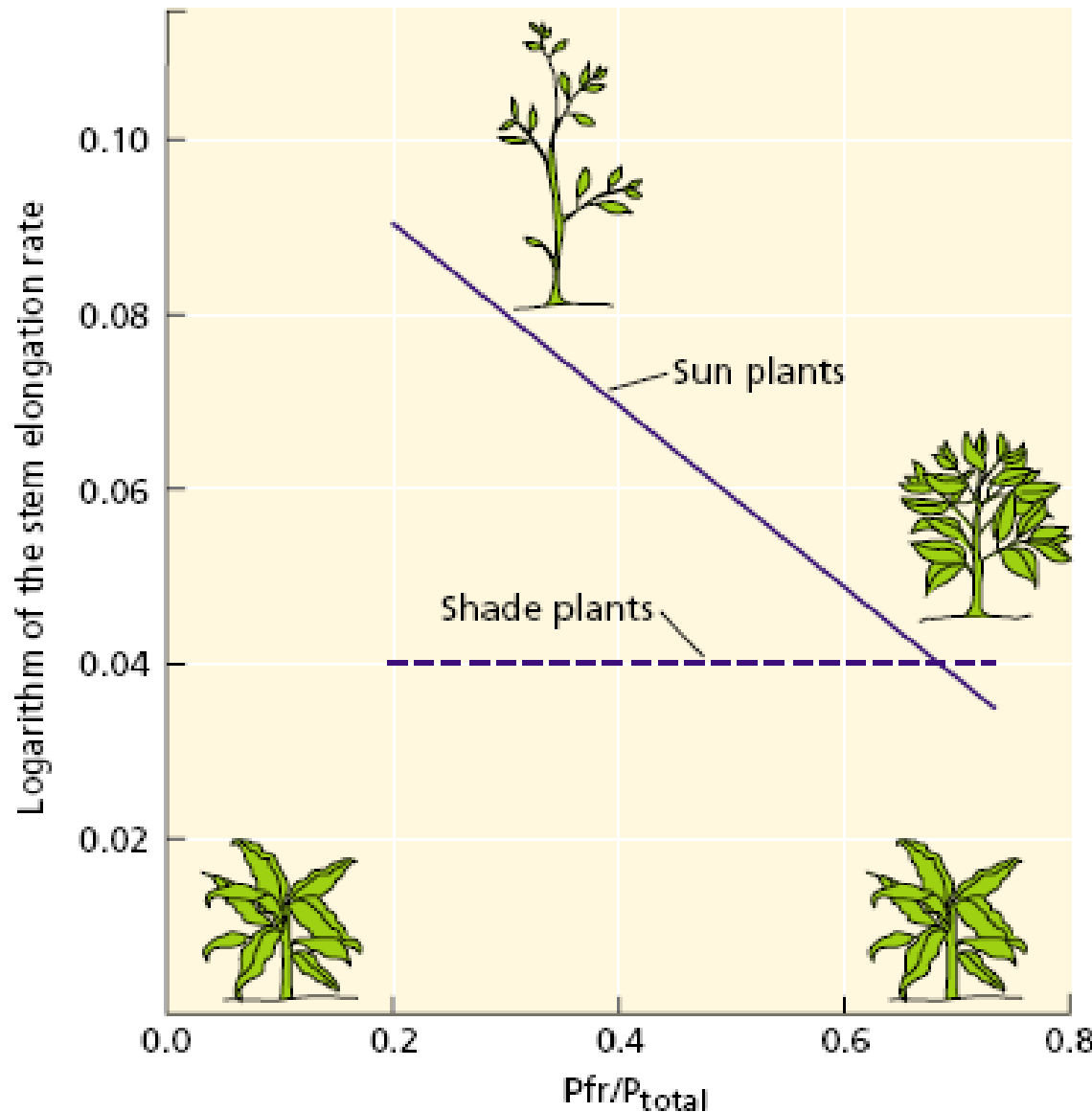
|                          | Photon flux density<br>( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) | R/FR <sup>a</sup> |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------|
| Daylight                 | 1900                                                            | 1.19              |
| Sunset                   | 26.5                                                            | 0.96              |
| Moonlight                | 0.005                                                           | 0.94              |
| Ivy canopy               | 17.7                                                            | 0.13              |
| Lakes, at a depth of 1 m |                                                                 |                   |
| Black Loch               | 680                                                             | 17.2              |
| Loch Leven               | 300                                                             | 3.1               |
| Loch Borralie            | 1200                                                            | 1.2               |
| Soil, at a depth of 5 mm | 8.6                                                             | 0.88              |

Source: Smith 1982, p. 493.

Note: The light intensity factor (400–800 nm) is given as the photon flux density, and phytochrome-active light is given as the R:FR ratio.

<sup>a</sup>Absolute values taken from spectroradiometer scans; the values should be taken to indicate the relationships between the various natural conditions and not as actual environmental means.

# Fitocromo na percepção da “sombra” em plantas de sol e plantas de sombra



O Fitocromo permite que as plantas “sintam” a sombra produzida por outras plantas.

Quando a sombra aumenta, aumenta a razão FR/R e Pfr converte-se em Pr, logo diminui a razão Pfr/P<sub>total</sub> (valores à esquerda no eixo xx)

Plantas de sol respondem à diminuição de Pfr aumentando o alongamento do caule

As plantas de sombra são relativamente insensíveis à variação de Pfr/P<sub>total</sub>

# Adaptação a condições ambientais – respostas específicas do fitocromo

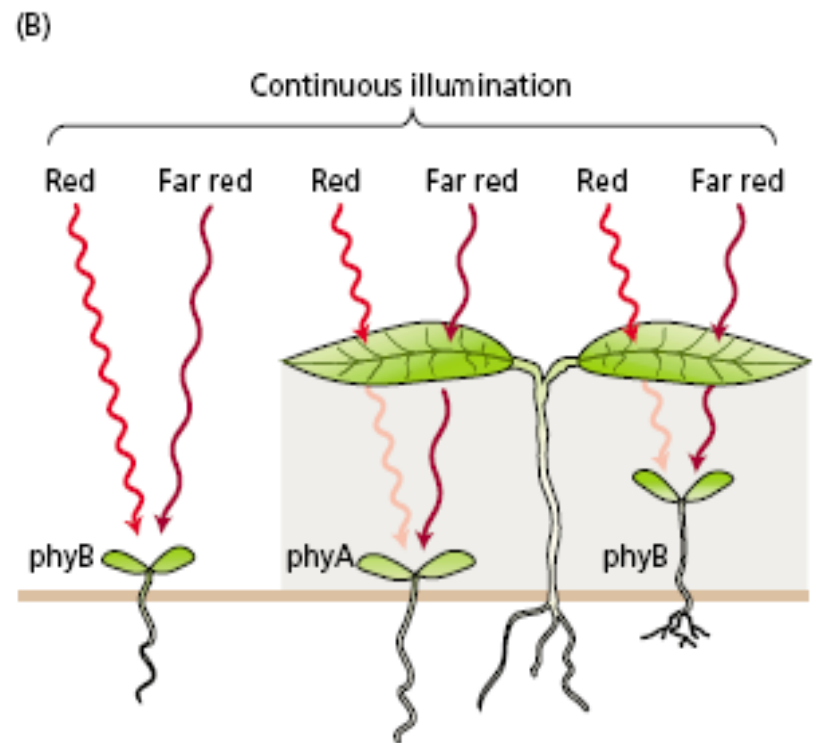
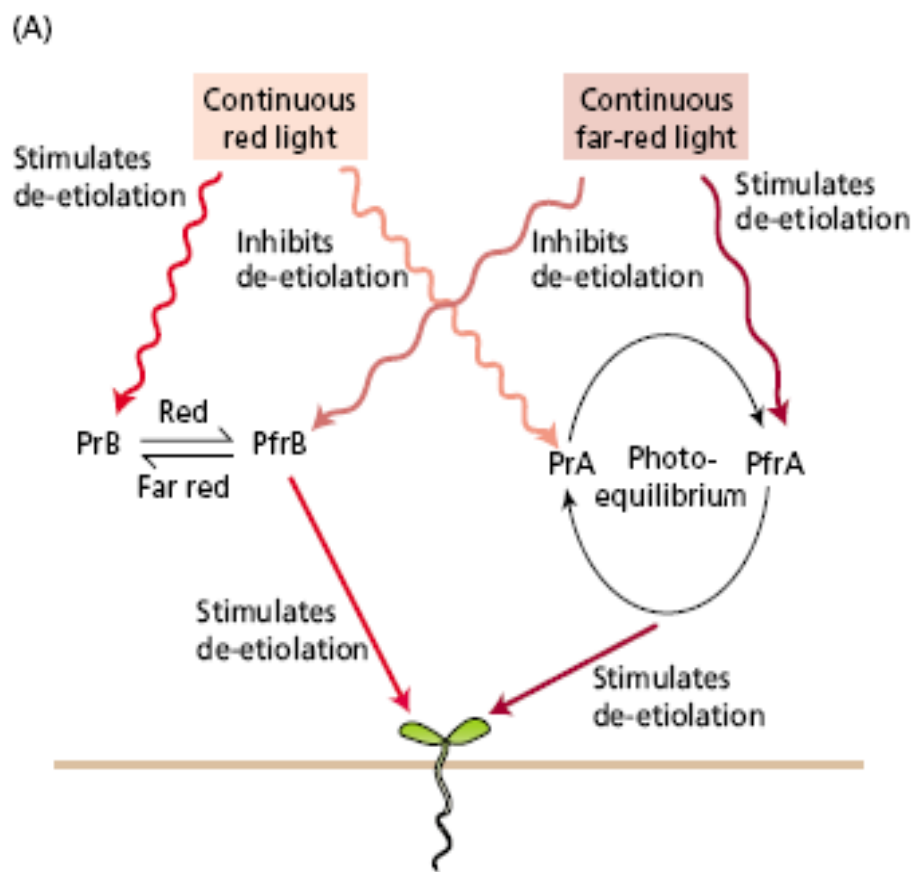
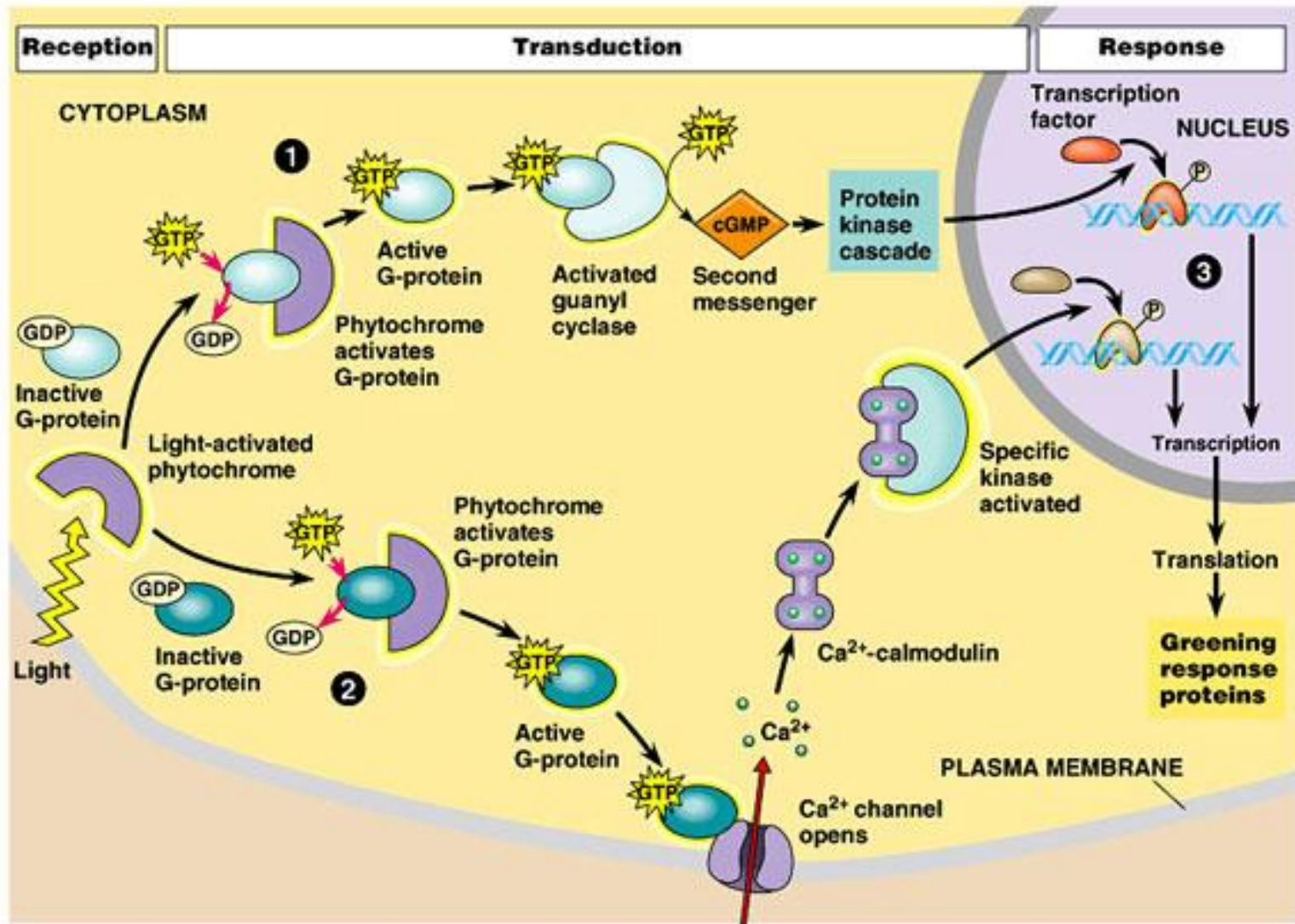


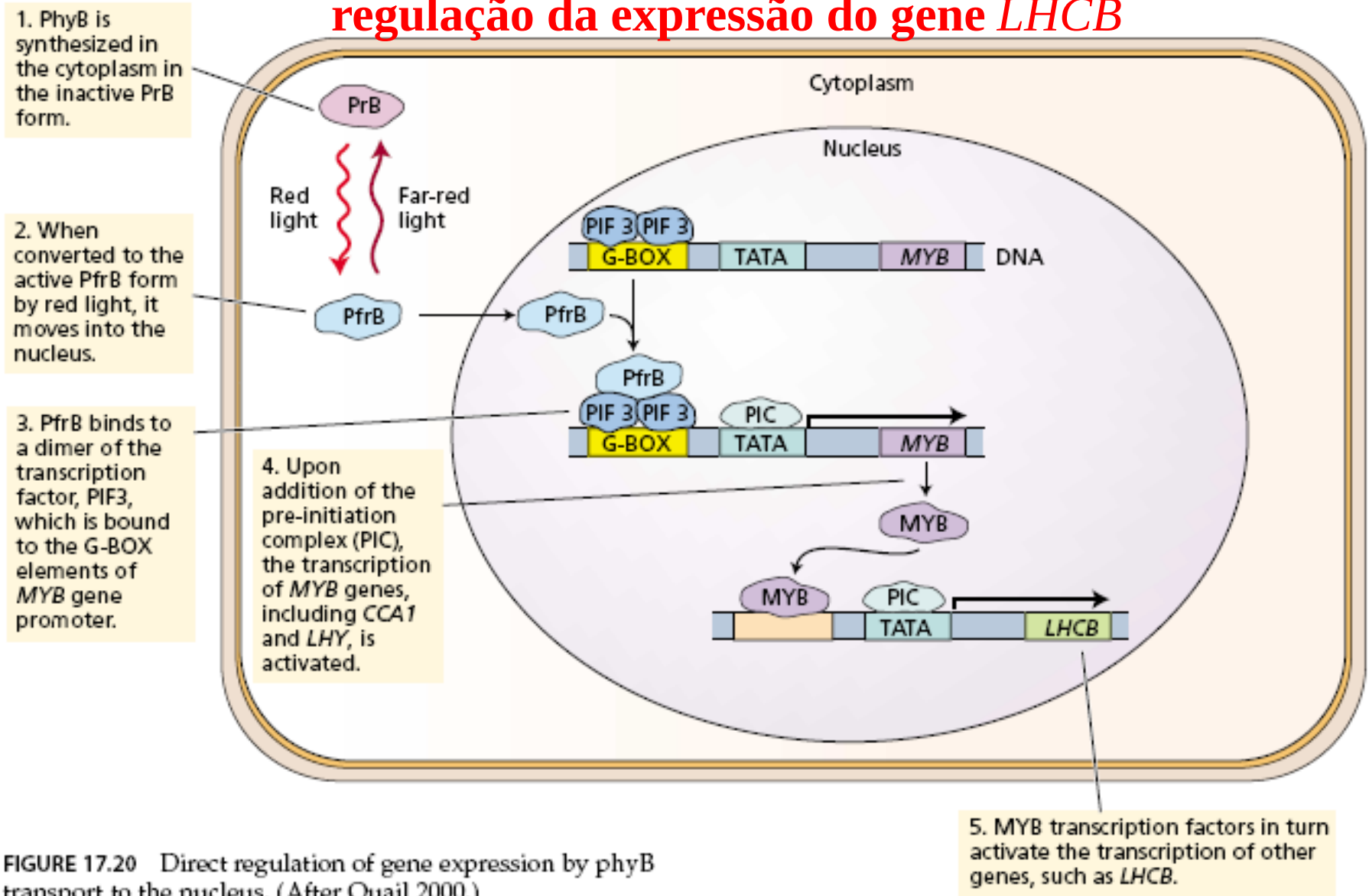
FIGURE 17.15 Mutually antagonistic roles of phyA and phyB. (After Quail et al. 1995.)

## **Transdução do sinal luminoso pelo fitocromo**

# Transdução do sinal luminoso pelo fitocromo



## Transdução do sinal luminoso pelo fitocromo – regulação da expressão do gene *LHCB*



# Localização nuclear de proteínas phy-GFP na epiderme de Arabidopsis

