

UNIDADE VI – Fotossíntese: Considerações Fisiológicas e Ecológicas

- 9. Considerações fisiológicas e ecológicas**
- 9.1. Efeito estufa e produtividade primária**
- 9.2. Fatores que afetam a fotossíntese: Radiação solar, [CO₂], temperatura, idade da folha, interação fonte-dreno, disponibilidade de nutrientes, poluição, estresses hídrico e salino**
- 9.3. Fotossíntese e produção agrícola**

Considerações fisiológicas e ecológicas

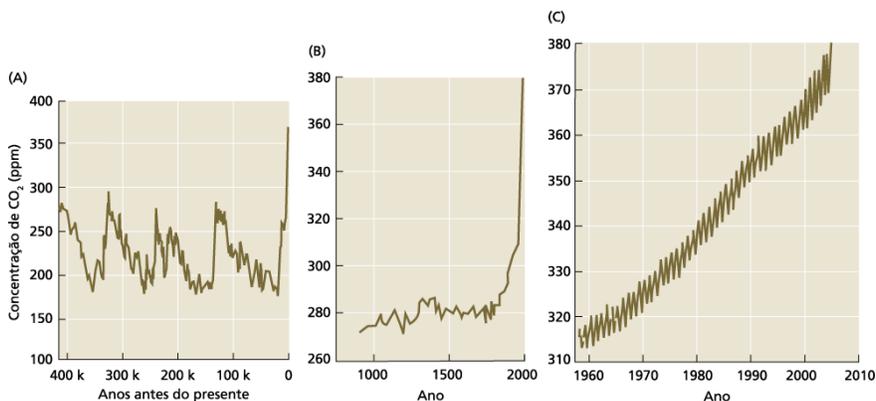
Na terra formam-se anualmente 200 bilhões de toneladas de matéria orgânica (CH₂O), sendo:

- 135,3 bilhões de toneladas nos continentes (2/3);**
- 64,7 bilhões de toneladas nos oceanos (1/3).**

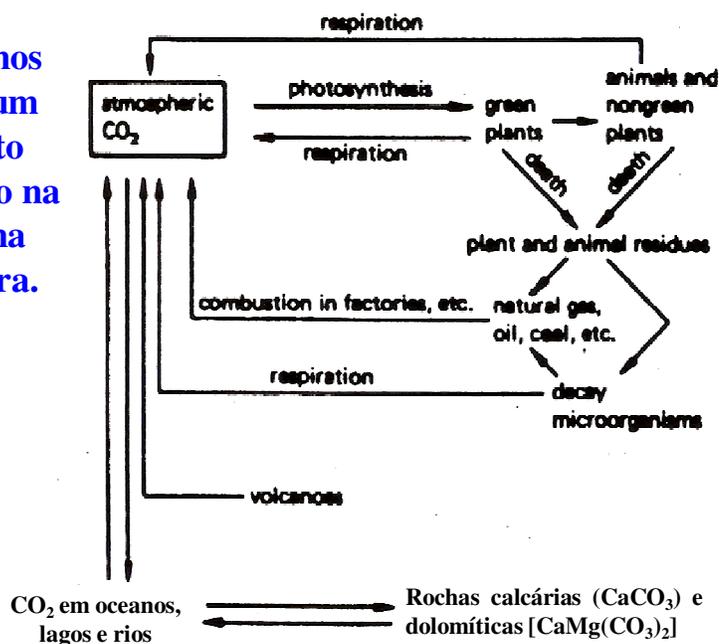
A concentração de CO₂ na atmosfera é um assunto bastante estudado por muitos pesquisadores devido, principalmente, a três fatores:

1. Sua concentração tem aumentado linearmente nos últimos 50 anos [200 bilhões de toneladas de CO₂ são retiradas da atmosfera: 135,3 bilhões nos continentes e 64,7 bilhões nos oceanos (dados de 2005)]:
 - 1960 → 280 ppm;
 - 2002 → 370 ppm;
 - 2008 → 380 ppm;
 - 2100 → 600 a 750 ppm (projeção).

FIGURA 9.18 Concentração de CO₂ atmosférico, desde há 420.000 anos até o presente. (A) As concentrações de CO₂ atmosférico no passado, determinadas a partir de bolhas apreendidas no gelo glacial da Antártica, eram muito mais baixas que os níveis atuais. (B) Nos últimos 1.000 anos, a elevação na concentração de CO₂ coincide com a Revolução Industrial e com o aumento da queima de combustíveis fósseis. (C) As concentrações atuais de CO₂ atmosférico, medidas em Mauna Loa, Haváí, continuam a aumentar. A natureza ondulada do traço é causada pela alteração nas concentrações de CO₂ atmosférico, associada a mudanças sazonais no balanço relativo entre taxas de fotossíntese e respiração. A cada ano, a concentração mais elevada de CO₂ é observada em maio, exatamente antes da estação de crescimento no hemisfério norte, e a concentração mais baixa é observada em outubro (segundo Barnola et al., 1994; Keeling e Whorf, 1994; Neftel et al., 1994; e Keeling et al., 1995).



Os oceanos evitam um aumento exagerado na $[CO_2]$ na atmosfera.



2. O aumento da $[CO_2]$ pode contribuir para o efeito estufa.

Isto decorre da absorção da radiação infravermelha, refletida pela terra, por certos gases da atmosfera (particularmente CO_2 e metano), produzindo o aquecimento do planeta.

O efeito estufa é consequência:

- Da revolução industrial;
- Do aumento da queima de combustíveis fósseis;
- Da retirada de florestas e pastagens;
- Da respiração de microorganismos, plantas e animais.

3. O aumento da [CO₂] na atmosfera pode aumentar a taxa fotossintética das plantas C₃.

Em condições de laboratório, a maioria das plantas C₃ cresce 30-60% mais rápido em [CO₂] de 600 a 750 ppm, e as mudanças na taxa de crescimento dependem do *status* nutricional (Bowes, 1993).

Para muitas plantas cultivadas, como alface, tomate, pepino e rosas, crescendo em estufa sob condições nutricionais ótimas, o enriquecimento de CO₂ no ambiente determina um aumento na produtividade (Diminuição da fotorrespiração em plantas C₃).

Estimativa da produtividade primária para vários ecossistemas (Whittaker, 1975)

Tipo de ecossistema	Área (10 ⁶ km ²)	Produção primária por unidade de área (g/m ² /ano)		Produção primária mundial (10 ⁹ ton/ano)
		Faixa normal	média	
Floresta tropical ↑	17,0	1.000-3.500	2.200	37,4
Floresta tropical sazonal ↑	7,7	1.000-2.500	1.600	12,0
Floresta temperada sempreverde	5,0	600-2.500	1.300	6,5
Floresta temperada caducifólia	7,0	600-2.500	1.200	8,4
Floresta boreal	12,0	400-2.000	800	9,6
Lenhosas e arbustivas	8,5	250-1.200	700	6,0
Savana	15,0	200-2.000	900	13,5
Pastagens	9,0	200-1.500	600	5,4
Tundras ártica e alpina ↓	8,0	10-400	140	1,1
Deserto e semideserto ↓	18,0	10-250	90	1,6
Deserto extremo, rocha, areia e gelo ↓	24,0	0-10	3	0,07
Terras cultivadas ↓↑	14,0	100-3.500	650 ←←	9,1
Mangues e pântanos ↑	2,0	800-3.500	2.000	4,0
Lagos e rios	2,0	100-1.500	250	0,5
Total continental	149		773	115 (2/3)
Oceano aberto ↓	332,0	2-400	125	41,5
Correntes marinhas ascendentes	0,4	400-1.000	500	0,2
Plataforma continental	26,6	200-600	360	9,6
Comunidades aquáticas de algas ↑	0,6	500-4.000	2.500	1,6
Estuários ↑	1,4	200-3.500	1.500	2,1
Total marinho	361		152	55 (1/3)
Total	510		333	170

Como vimos anteriormente, a fotossíntese varia também com a espécie vegetal

Table 11-2 Maximum Photosynthetic Rates of Major Plant Types Under Natural Conditions

Type of Plant	Example	Maximum Photosynthesis ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) ^a	
CAM	<i>Agave americana</i> (century plant)	0.6–2.4	
C-3 {	Tropical, subtropical, and Mediterranean evergreen trees and shrubs; temperate zone evergreen conifers	<i>Pinus sylvestris</i> (Scotch pine)	3–9
	Temperate zone deciduous trees and shrubs	<i>Fagus sylvatica</i> (European beech)	3–12
	Temperate zone herbs and C-3 pathway crop plants	<i>Glycine max</i> (soybean)	10–20
C-4 {	Tropical grasses, dicots, and sedges with C-4 pathway	<i>Zea mays</i> (corn or maize)	20–40

^aValues are calculated on the basis of one surface of the leaf; for conifers, data are for the optical projection of needles. An extensive list of tree photosynthetic rates was compiled by Larcher, 1969. Data for several C-3 and C-4 crops are listed by Radmer and Kok, 1977. Values for many C-3 native plants are given by Björkman, 1981.

Fatores que afetam a fotossíntese

A fotossíntese é bastante sensível à radiação solar

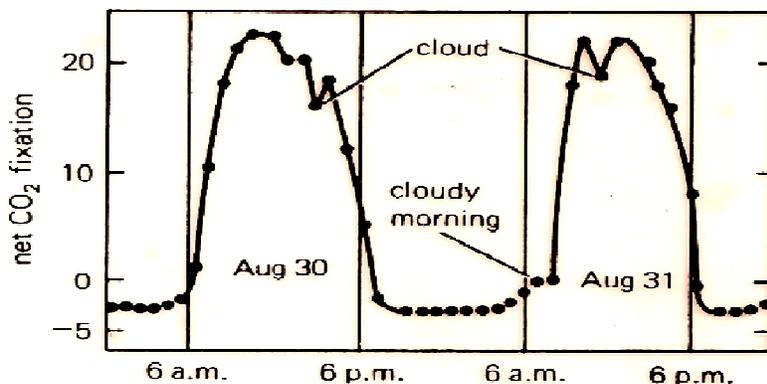


Figure 11-3 Photosynthesis in an alfalfa plot over a two-day period in late summer. The effect of periods of cloud cover can be noted. Negative CO₂ fixation values during hours of darkness indicate the respiration rates. (From data of M. Thomas and G. Hill, 1949.)

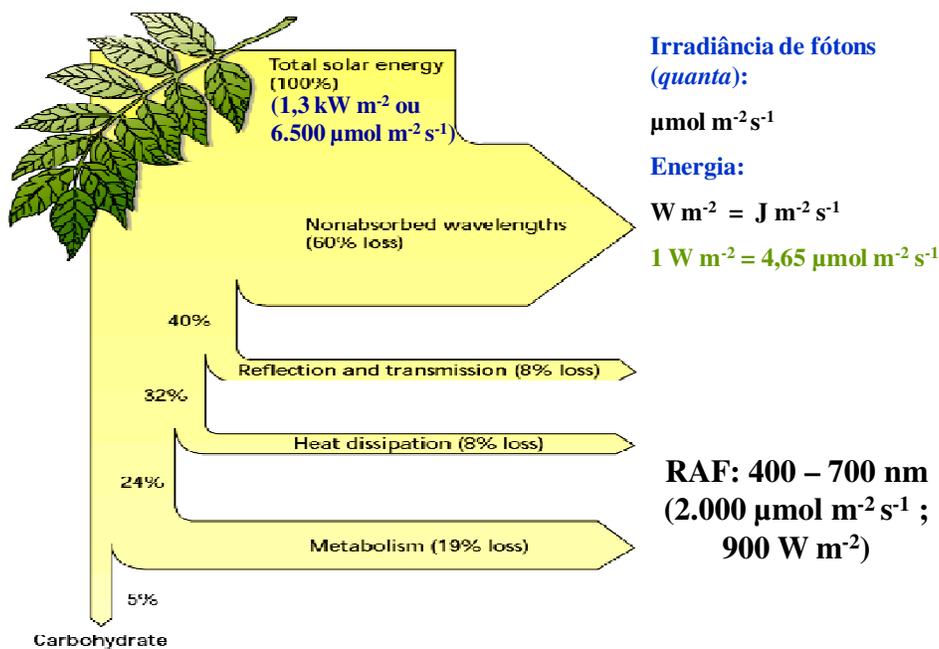


FIGURE 9.2 Conversion of solar energy into carbohydrates by a leaf. Of the total incident energy, only 5% is converted into carbohydrates.

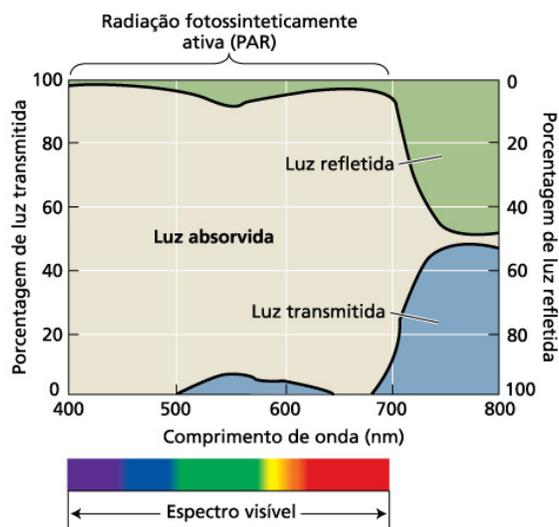


FIGURA 9.3 Propriedades ópticas de uma folha de feijoeiro, sendo mostradas as porcentagens de luz absorvida, refletida e transmitida, em função do comprimento de onda. A luz verde é transmitida e refletida na faixa de 500 a 600 nm, conferindo cor verde às folhas. Observe que a maior parte da luz acima de 700 nm não é absorvida pela folha (segundo Smith, 1986).

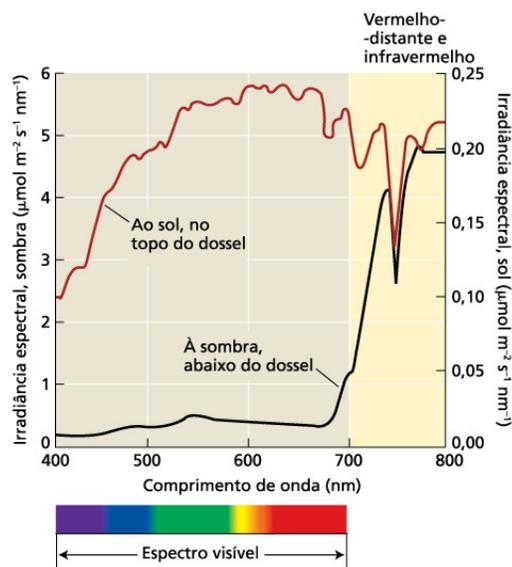


FIGURA 9.4 Distribuição espectral da luz solar, no topo de um dossel e sob ele. Para a luz solar infiltrada, a irradiância total foi de $1.900 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; para a sombra, ela foi de $17,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. A maior parte da radiação fotossinteticamente ativa foi absorvida pelas folhas do dossel (segundo Smith, 1994).

O ângulo e o movimento da folha podem controlar a absorção de luz

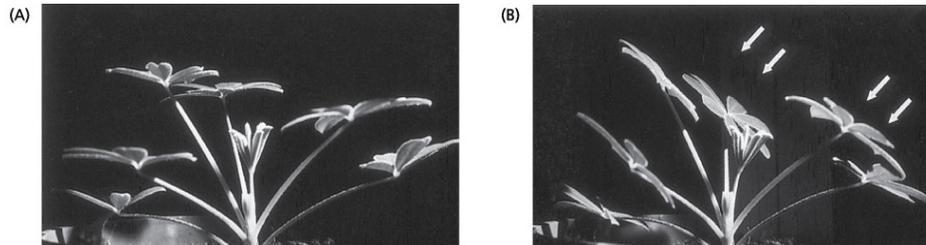


FIGURA 9.5 Movimento foliar em plantas que se ajustam à posição do sol. (A) Orientação foliar inicial do tremoço (*Lupinus succulentus*). (B) Orientação foliar quatro horas após exposição à luz oblíqua. A direção da fonte luminosa está indicada por setas. O movimento é gerado por tumefação assimétrica de um pulvino, encontrado na junção da lâmina com o pecíolo. Em condições naturais, as folhas acompanham a trajetória do sol, *dia-heliotropismo* (Vogelmann e Björn, 1983).

As plantas aclimatam-se e adaptam-se a ambientes ensolarados e sombrios

Folhas de sol e de sombra têm algumas características bioquímicas contrastantes:

- **As folhas de sombra têm mais clorofila total por centro de reação, a razão entre clorofila *b* e clorofila *a* é mais alta e geralmente elas são mais finas do que as folhas de sol.**
- **As folhas de sol têm mais rubisco e um *pool* de componentes do ciclo da xantofila maior que as folhas de sombra.**

Características anatômicas contrastantes também podem ser encontradas em folhas da mesma planta (*Thermopsis montana*, leguminosa) expostas a regimes de luz diferentes.

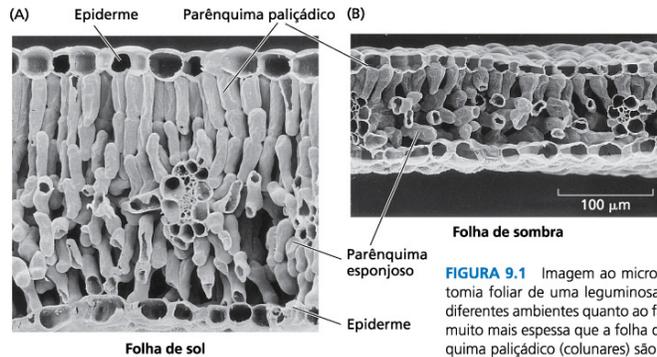


FIGURA 9.1 Imagem ao microscópio eletrônico de varredura da anatomia foliar de uma leguminosa (*Thermopsis montana*) crescendo sob diferentes ambientes quanto ao fator luz. Observe que a folha de sol (A) é muito mais espessa que a folha de sombra (B) e que as células do parênquima paliçádico (colunares) são muito mais longas nas folhas que crescem à luz solar. As camadas de células do parênquima esponjoso podem ser vistas abaixo do parênquima paliçádico (cortesia de T. Vogelmann).

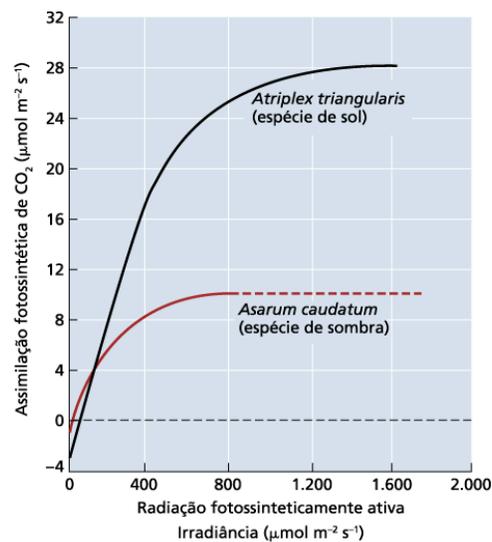


FIGURA 9.7 Curvas de resposta à luz da fixação fotossintética de carbono, em espécies de sol e de sombra. *Atriplex triangularis* é uma espécie de sol e *Asarum caudatum* (gingibre silvestre) é uma espécie de sombra. As plantas de sombra têm tipicamente pontos de compensação da luz baixos e taxas fotossintéticas máximas mais baixas, quando comparadas às plantas de sol. A linha vermelha tracejada foi extrapolada da parte medida da curva (segundo Harvey, 1979).

Características das plantas de sombra

- **Tem baixa atividade fotossintética em alta irradiância;**
- **Saturam em baixa irradiância;**
- **Fotossintetizam mais em baixa irradiância;**
- **Tem baixo ponto de compensação para a luz** (sobrevivem em ambientes onde as plantas de sol não conseguem – sombra das florestas).

Acimação de plantas (folhas) de sol e de sombra.

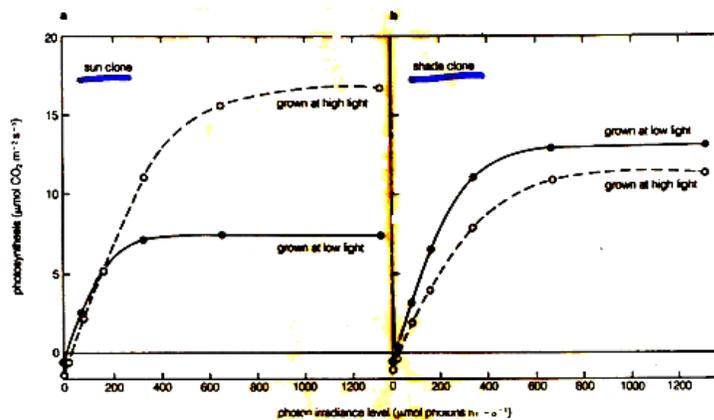


Figure 11-6 Differences in ability of sun clones and shade clones of *Solanum elaeagnifolium* to each photosynthetically to high irradiance levels. Dashed lines represent photosynthetic rates of each type after being grown at high light levels; solid lines represent rates after growth at low levels. (a) The sun clone adapted to high light during growth; it then required more light to saturate photosynthesis and photosynthesized faster than did plants of the same clone previously grown under low light. (b) The shade clone behaved differently; it photosynthesized less rapidly after growth in high than low light. (From O. Björkman and P. Holmgren, 1963. Used by permission.)

Características das folhas de sol e de sombra

CARACTERÍSTICA DA FOLHA	SOL	SOMBRA
Tamanho e espessura	Menores e espessas	Maiores e Finas
[Clor. b] por massa da folha	Menor	Maior
Nº de grana por cloroplasto	Menor	Maior
[Proteínas do estroma] por cloroplasto	Maior	Menor
Movimento em procura da luz	Lento	Rápido

Efeito da luz sobre a fotossíntese de uma folha isolada presa à planta C₃.

As curvas de resposta à luz revelam propriedades fotossintéticas.

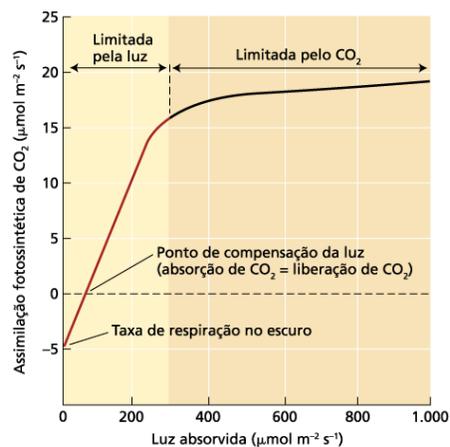


FIGURA 9.6 Resposta fotossintética à luz em uma planta C₃. No escuro, a respiração causa um efluxo líquido de CO₂ oriundo da planta. O ponto de compensação da luz é alcançado quando a assimilação fotossintética de CO₂ iguala-se à quantidade de CO₂ liberada pela respiração. Aumentando a luz acima do ponto de compensação, a fotossíntese eleva-se proporcionalmente, indicando que ela é limitada pela taxa de transporte de elétrons, a qual, por sua vez, é limitada pela quantidade de luz disponível. Essa porção da curva é referida como limitada pela luz. Outros aumentos na fotossíntese são posteriormente limitados pela capacidade de carboxilação da rubisco ou pelo metabolismo das trioses-fosfato. Essa parte da curva é referida como limitada pelo CO₂.

A resposta de uma planta à intensidade luminosa é a mesma observada para uma folha isolada?

Não, porque enquanto as folhas superiores estão saturadas, as inferiores e as internas ainda não atingiram a saturação (efeito de sombreamento).

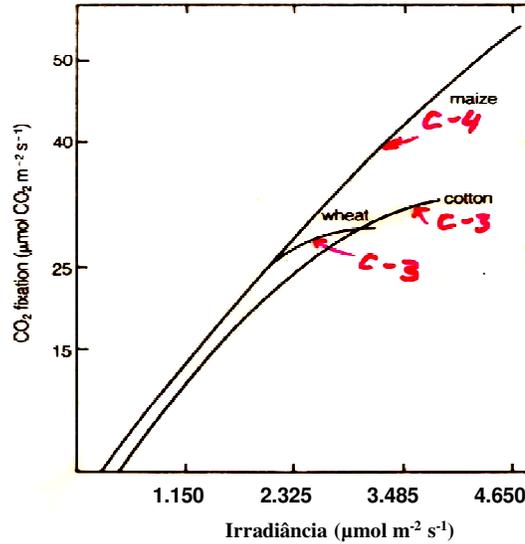
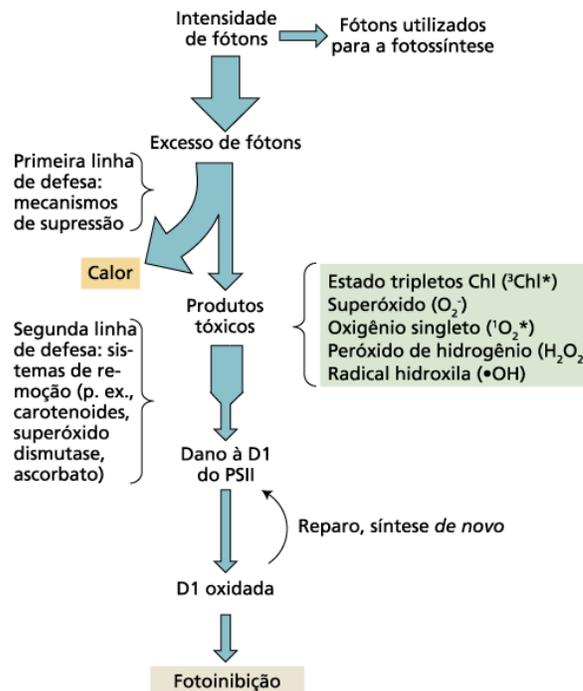


Figure 11-8 Effect of total solar radiation intensity at the top of the canopy on net photosynthetic rates in maize, wheat, and cotton plants. [Drawn from data of (maize) D. N. Baker and R. B. Musgrave, 1964; (wheat) D. W. Pukridge, 1968; (cotton) D. N. Baker, 1965.]

Regulação e reparo do aparelho fotossintético por excesso de luz



Regulação e reparo do aparelho fotossintético por excesso de luz

Produção de espécies tóxicas que provocam FOTO-OXIDAÇÃO ou FOTO-INIBIÇÃO de componentes celulares.

- Mecanismos de supressão dos danos

- ✓ Liberação de calor:

- sistema violoxantina/zeaxantina (Dissipa o excesso de energia de excitação e protege o aparelho fotossintético); ⇒

- produção de isopreno (Confere estabilidade às membranas fotossintéticas a altas temperaturas e luminosidade. Liberação de 5×10^{14} g ano⁻¹);

- transpiração (calor evaporativo);

- condução e convecção (calor sensível). ⇒

- ✓ Complexo coletor de luz do PS II móvel; ⇒

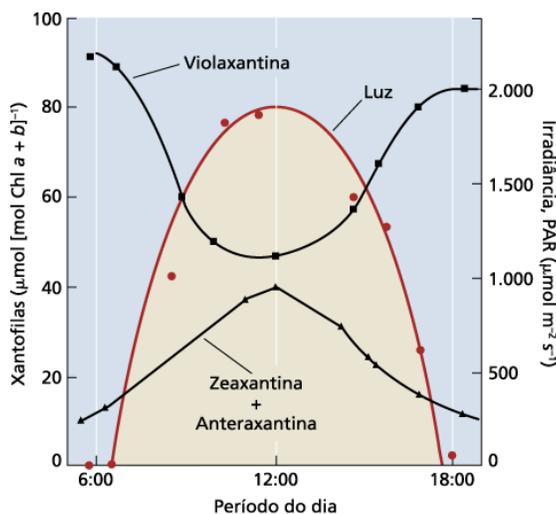


FIGURA 9.12 Mudanças diurnas no teor de xantofila no girassol (*Helianthus annuus*), em função da irradiância. À medida que aumenta a quantidade de luz incidente sobre uma folha, uma proporção maior de violaxantina é convertida em antheraxantina e zeaxantina, dissipando, assim, o excesso de energia de excitação e protegendo o aparelho fotossintético (segundo Demmig-Adams e Adams, 1996).

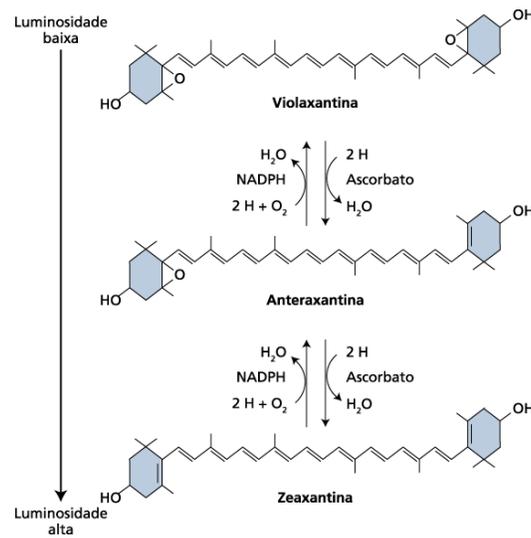
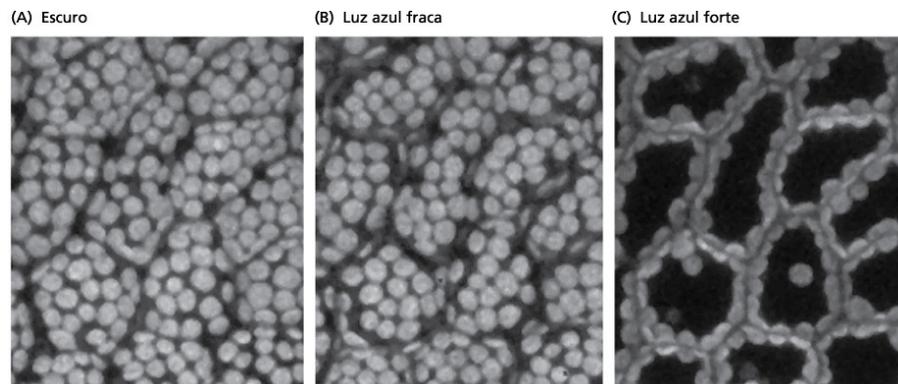
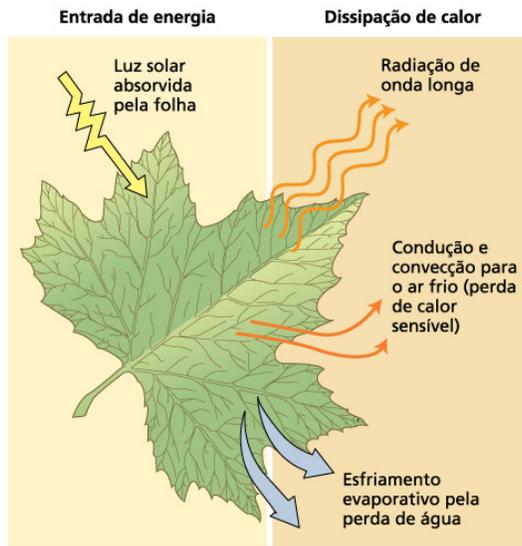


FIGURA 7.35 Estrutura química da violaxantina, antheraxantina e zeaxantina. O estado altamente *quenched* do fotossistema II está associado à zeaxantina; o estado não *quenched*, à violaxantina. Enzimas interconvertem esses dois carotenoides, tendo a antheraxantina como intermediário, em resposta a alterações nas condições ambientais, em especial às condições de intensidade luminosa. A formação da zeaxantina utiliza o ascorbato como cofator, e a formação da violaxantina requer NADPH.

Distribuição de cloroplastos em células fotossintetizantes da lentilha d'água (*Lemna*).



Um modo alternativo de redução do excesso de energia luminosa é a movimentação dos cloroplastos, de modo que eles não sejam expostos à luz elevada. ←

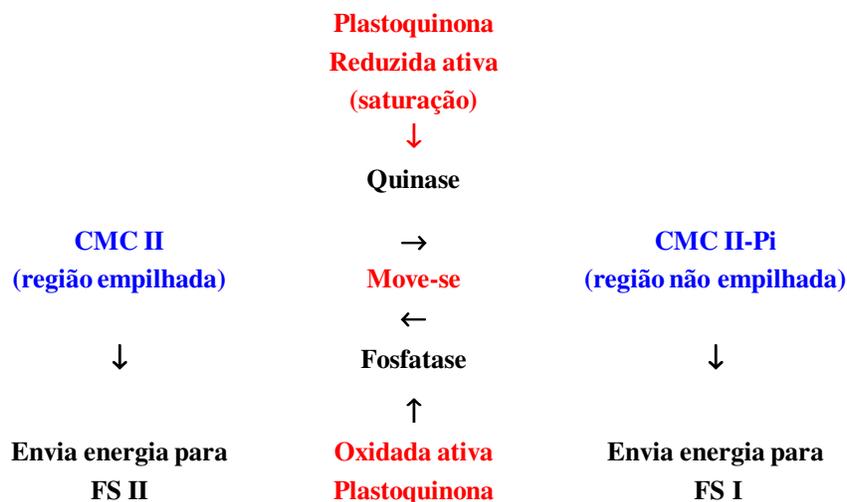


Plantas com razão de Bowen alta conservam água, porém tem que resistir a temperaturas foliares altas, para manter um gradiente térmico suficiente entre a folha e o ambiente. O crescimento lento está em geral correlacionado com tais adaptações. ←

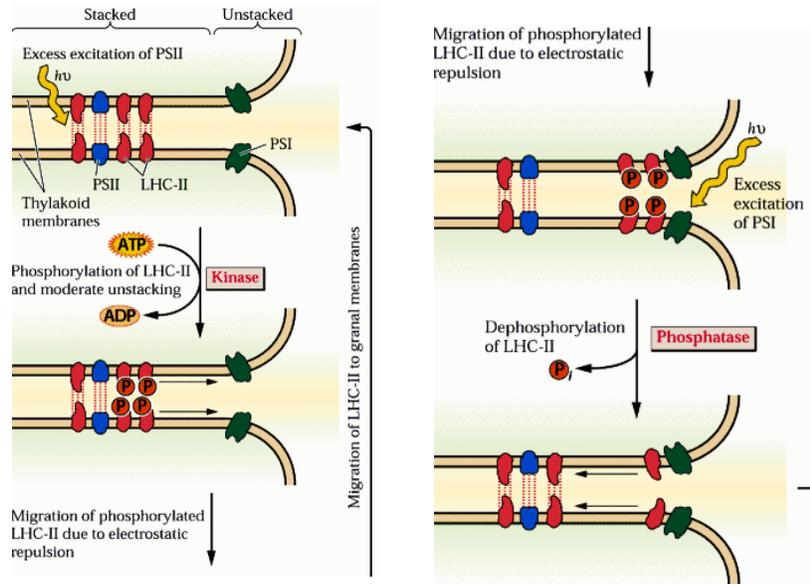
$$\text{Bowen ratio} = \frac{\text{Sensible heat loss}}{\text{Evaporative heat loss}}$$

FIGURA 9.15 Absorção e dissipação de energia da luz solar pela folha. A carga de calor imposta deve ser dissipada, a fim de evitar dano à folha. A carga de calor é dissipada pela emissão de radiação de ondas longas, pela perda de calor sensível para o ar que circunda a folha e pelo esfriamento evaporativo causado pela transpiração.

COMPLEXO COLETOR DE LUZ MÓVEL (CMC II)



Controle da distribuição da energia pela fosforilação do LHC-II.

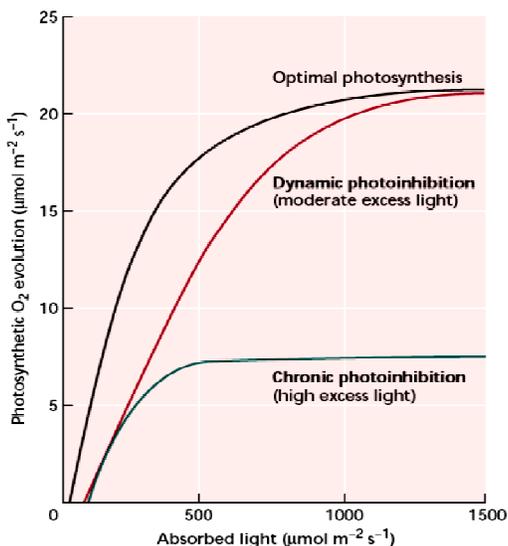


- Mecanismos que destroem os radicais livres
- **Radicais livres do PS II** (oxigênio singlete, O_2^*) e **no PS I** (superóxido, O_2^-).
- ✓ **O papel dos carotenóides**
 $O_2^* \uparrow \downarrow (\text{sing}) + \text{Carotenóide} \uparrow \downarrow (\text{fund}) \rightarrow O_2 \uparrow \uparrow (\text{triplete}) +$
 $\text{Carotenóide} \uparrow \uparrow (\text{exc}) \rightarrow \text{Carotenóide} \uparrow \downarrow (\text{fund}) + \text{Calor}.$
- ✓ **Eliminação de superóxido (O_2^-)**
 $2 O_2^- (\text{tóxico}) + 2 H^+ \rightarrow \text{Dismutase do superóxido} \rightarrow O_2 + H_2O_2$
 $H_2O_2 (\text{tóxico}) + \text{Ascorbato} \rightarrow \text{Peroxidase do Ascorbato} \rightarrow 2 H_2O + \text{Desidroascorbato}$
- Sistema de reparo
- **Foto-inibição por danos na proteína D_1 do PS II;**
- Sistema de reparo envolve a remoção, degradação e *síntese de novo* da proteína D_1 .

Mudanças nas curvas da fotossíntese causadas pela fotoinibição, em resposta à luz.

A exposição a níveis moderados de excesso de luz pode diminuir a eficiência quântica (inclinação reduzida da curva), sem redução da taxa fotossintética máxima, uma condição denominada de fotoinibição dinâmica.

A exposição a níveis elevados de excesso de luz provoca a fotoinibição crônica, na qual o dano ao cloroplasto decresce a eficiência quântica e a taxa fotossintética máxima (segundo Osmond, 1994).



Qual a interação entre a [CO₂] e a irradiância? (folha de beterraba, uma planta C₃)

Quanto maior a irradiância mais alta é a [CO₂] necessária para saturar a FS.



É possível “adubar” o ar com CO₂ quando se tem alta irradiância.

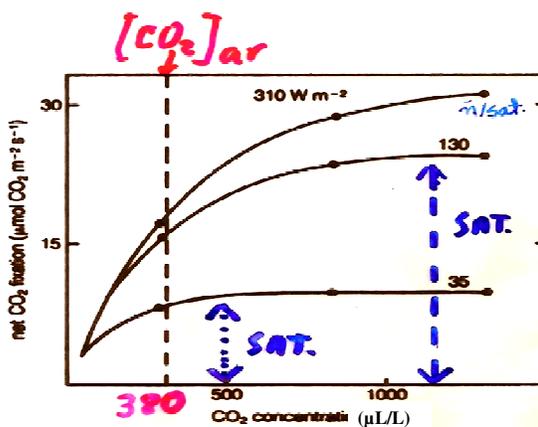


Figure 11-8 Effects of atmospheric CO₂ enrichment on CO₂ fixation in sugar beet leaves. Intact, fully developed leaves from young plants were used. Fixation rates for three different irradiance levels of PAR are shown. The dashed line represents the present atmospheric CO₂ concentration. Higher CO₂ levels increased CO₂ fixation more at increasing irradiance levels. At the highest level, which is only slightly less than that obtained from full sunlight, the highest CO₂ concentration nearly saturated the fixation rate, but at lower intensities, this rate was saturated by lower CO₂ concentrations. Leaf temperatures were between 21 and 24°C. (Redrawn from data of P. Gaastra, 1959.)

A “adubação” do ar deve ser mais efetiva nas plantas C_3 ou C_4 ?

Por que?

As plantas C_3 tem fotorrespiração elevada. Então, aumentando-se a $[CO_2]$ a FRS é diminuída, logo a FS líquida aumenta.

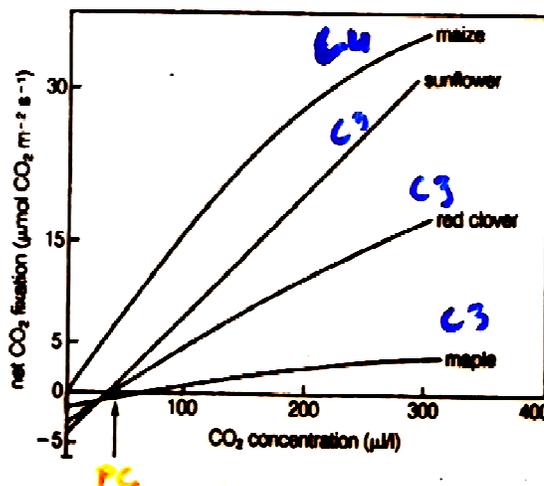


Figure 11-10 Influence of reduced CO_2 concentrations on photosynthetic rate in C-4 (maize) and C-3 plants. Artificial lights providing approximately the same energy as sunlight in the 400–700 nm region were used. (From J. D. Hesketh, 1963.) Arrow indicates compensation points.

O CO_2 impõe limitações à fotossíntese

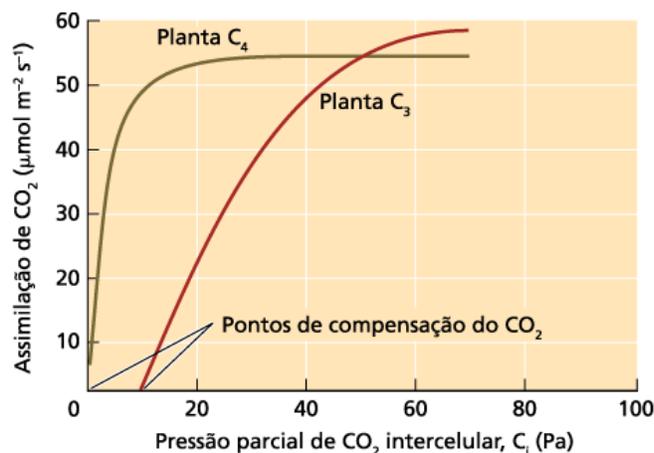


FIGURA 9.21 Mudanças na fotossíntese em função das concentrações intercelulares de CO_2 , em *Tidestromia oblongifolia*, uma planta C_4 , e *Larrea divaricata*, uma planta C_3 . A taxa fotossintética está relacionada à pressão parcial intercelular de CO_2 calculada no interior da folha (ver Equação 5 no [Tópico 8.4 na internet](#)). A pressão parcial em que a assimilação de CO_2 é zero define o ponto de compensação desse gás (segundo Berry e Downton, 1982).

A análise das plantas C_3 e C_4 , na figura anterior, mostra diferenças interessantes entre as duas rotas do metabolismo do carbono:

- **Em plantas C_4 , as taxas fotossintéticas saturam com valores de c_i de 15 Pa, refletindo os efetivos mecanismos concentradores de CO_2 que operam nestas plantas;**
- **Em plantas C_3 , o aumento dos níveis de c_i continua a estimular a fotossíntese em uma faixa de CO_2 muito mais ampla;**
- **Em plantas C_4 , o ponto de compensação do CO_2 é zero ou próximo de zero, refletindo seus níveis de fotorrespiração muito baixos;**
- **Em plantas C_3 , o ponto de compensação do CO_2 é de cerca de 10 Pa, refletindo a produção de CO_2 devido à fotorrespiração.**

O rendimento quântico da fixação do carbono fotossintético em função da temperatura foliar de plantas C_3 e C_4 .

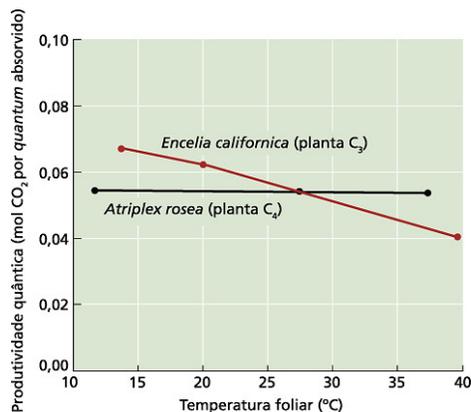


FIGURA 9.8 Produtividade quântica da fixação de carbono fotossintético em uma planta C_3 e em uma C_4 , em função da temperatura foliar. Na atmosfera atual, a fotorrespiração cresce com a temperatura em plantas C_3 , e o custo energético da fixação líquida de CO_2 acompanha esse crescimento. Esse custo energético mais alto é expresso em produtividades quânticas mais baixas sob temperaturas mais elevadas. Devido aos mecanismos concentradores de CO_2 de plantas C_4 , a fotorrespiração é baixa nessas plantas, e a produtividade quântica não exibe uma dependência da temperatura. Observe que, sob temperaturas mais baixas, a produtividade quântica de plantas C_3 é mais alta que a de plantas C_4 , indicando que a fotossíntese em plantas C_3 é mais eficiente sob temperaturas mais baixas (segundo Ehleringer e Björkman, 1977).

A fotossíntese é sensível à temperatura

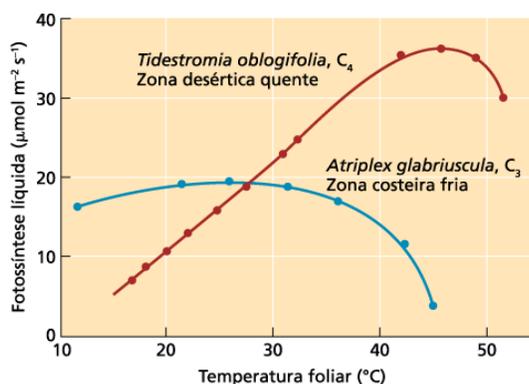


FIGURA 9.16 Alterações na fotossíntese em função da temperatura, em concentrações de CO_2 atmosférico normais, para uma planta C_3 crescendo em seu hábitat natural frio e uma planta C_4 crescendo em seu hábitat natural quente, sob concentrações de CO_2 atuais no ambiente (segundo Berry e Björkman, 1980).

Fotossíntese é limitada:

- **Pelas reações bioquímicas conectadas com o transporte de elétrons (Formação de NADPH e ATP);**
- **Pela atividade da rubisco → como $[O_2]/[CO_2]$ aumenta → FRS alta → FS baixa.**

Fatores que afetam a fotossíntese

- 1. Luz (radiação solar):** Máxima fotossíntese ocorre na máxima irradiância, exceto nas plantas de sombra;
- 2. Concentração de CO₂:** Quanto maior for a intensidade luminosa mais alta será a [CO₂] necessária para saturar a fotossíntese de plantas C₃;
- 3. Temperatura:** O ótimo de temperatura para a fotossíntese varia com a espécie. Ela é menor para as plantas C₃, pois altas temperaturas provocam aumentos na relação [O₂]/[CO₂] em solução, o que implica em maior taxa de fotorrespiração e uma menor taxa de fotossíntese líquida;
- 4. Idade da folha:** O comportamento da fotossíntese com a idade da folha acompanha aquele do teor de clorofila. A fotossíntese é menor nas folhas jovens e senescentes e maior nas folhas maduras;
- 5. Interação fonte-dreno:** A remoção de dreno (fruto, semente, tubérculo) provoca queda na atividade fotossintética da folha (fonte) mais próxima;
- 6. Disponibilidade de nutrientes:** Mg, Mn, Fe, Cu, Cl, P, N são componentes da clorofila ou são cofatores de reações enzimáticas envolvidas com a biossíntese dos pigmentos ou dos próprios componentes do aparelho fotossintético;

- 7. Estresses hídrico e salino:** Têm efeitos diretos na fotossíntese e no fechamento estomático que conduz a uma diminuição da taxa fotossintética;
- 8. Poluição do ar:** O₃, HF, SO₂, oxidantes produzidos pela ação da luz nos hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio afetam a abertura dos estômatos e, conseqüentemente, a fotossíntese.

ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE POTENCIAL

- **Considerando:**
 - ✓ a [CO₂]_{ar} de 380 ppm (0,038%);
 - ✓ o requerimento quântico para converter CO₂ ⇒ C(H₂O) de 10 fótons;
 - ✓ a temperatura do ar de 20°C;
 - ✓ a disponibilidade de água no solo plena;
 - ✓ a disponibilidade de nutrientes plena.
- Loomis & Williams (1963) calcularam que seriam produzidos 3,3 µg de C(H₂O) / Joule de energia radiante incidente (PRODUTIVIDADE POTENCIAL).
- **Considerando a radiação média (EUA) de 21 MJ m⁻² dia⁻¹, então:**
- A produtividade potencial média nos EUA, seria de:

$$3,3 \times 21 = 69 \text{ g de C(H}_2\text{O) m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$$

TABLE 6-3 COMPARISONS OF POTENTIAL PRODUCTIVITY WITH OBSERVED PRODUCTIVITY

Plants	Daily net productivity ^a (g m ⁻²)	Percentage of potential productivity (69 g m ⁻²)
C3 { Wheat, world average	2.3	3.3
C3 { Wheat, intensive agriculture	8.3	11.8
C3 { Rice, world average	2.7	3.8
C3 { Rice, intensive agriculture	8.0	11.4
C4 { Sugarcane, world average	4.7	6.7
C4 { Sugarcane, intensive agriculture	18.4	26.3
C4 { Maize	27.0 ^b 30.0	38.5 42.5
C4 { Napier grass (<i>Pennisetum purpureum</i>)	26.0	37.0
C4 { Sorghum (<i>Sorghum vulgare</i>)	22.0	31.4

^a Above-ground dry matter includes grain, leaves, and stems.

^b At high plant densities and with no environmental limitations, maize has shown net productivity values up to 50 g m⁻² for brief periods of time.

O que limita a produtividade vegetal?

Eficiência média da conversão de energia nas plantas:

- 0,1 a 1,0%, sob condições de agricultura convencional;
- 6,0 a 10%, sob condições de agricultura intensiva;
- 25 a 30%, sob condições de laboratório (máximo possível).

Fatores responsáveis pela baixa produtividade:

- uso inadequado de fertilizantes;
- manejo de água inadequado;
- ocorrência de temperaturas altas e/ou baixas;
- uso de sementes de baixa qualidade;
- colheita e armazenagem de grãos ineficientes.

Conclusão: Muito ainda pode ser feito para melhorar a produtividade, principalmente em termos de NE do Brasil.

É importante do ponto de vista agrícola:

1. Que se aumente a % de radiação absorvida pela planta, visando um incremento da fotossíntese (IAF);
2. Que se aumente a % de matéria orgânica produzida no órgão da planta que é explorado economicamente, ou seja, deve-se aumentar o índice de colheita (I.C.):

$$\text{I.C.} = \frac{\text{Matéria seca da porção econômica} \times 100}{\text{Matéria seca da parte aérea}}$$

Comentário 1: no trigo anão, há mais fotossintato no grão do que no caule/folhas.

Comentário 2: embora seja recomendável, nem sempre é possível a redução do crescimento vegetativo, como é o caso em batata, beterraba e mandioca.

Arquitetura da copa x produtividade

$$\text{IAF} = \frac{\text{Área foliar da cultura (uma face)}}{\text{Área do terreno plantado}}$$

Conclusão: A produtividade é proporcional ao IAF porque há mais interceptação de radiação, porém valores supra-ótimos de IAF (índice de área foliar) aumentam o sombreamento e baixam a taxa de fotossíntese líquida

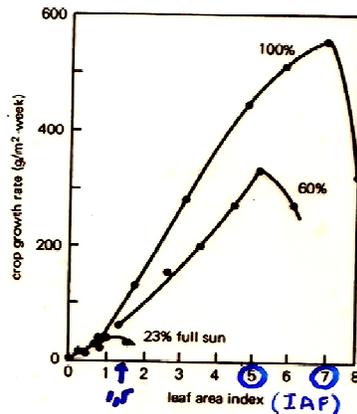


Figure 11-13 Growth of sunflower plant communities (100 plants/m²) at various leaf area indices and light intensities given as percent of full sunlight. At full sunlight, the optimum LAI is 7; the optimum at 60 percent full sunlight is only 5, and at 23 percent full sunlight, it is only 1.5. (From A. C. Leopold and P. E. Kriedemann, 1975.)

Conclusão:

A produtividade é proporcional ao IAF porque há maior interceptação da radiação solar, porém IAF supra-ótimos acarretam sombreamento de muitas folhas e como consequência uma menor fotossíntese líquida.

$$\text{IAF} = \frac{\text{Área foliar da cultura (planta)}}{\text{Área do terreno (projeção da copa)}}$$