

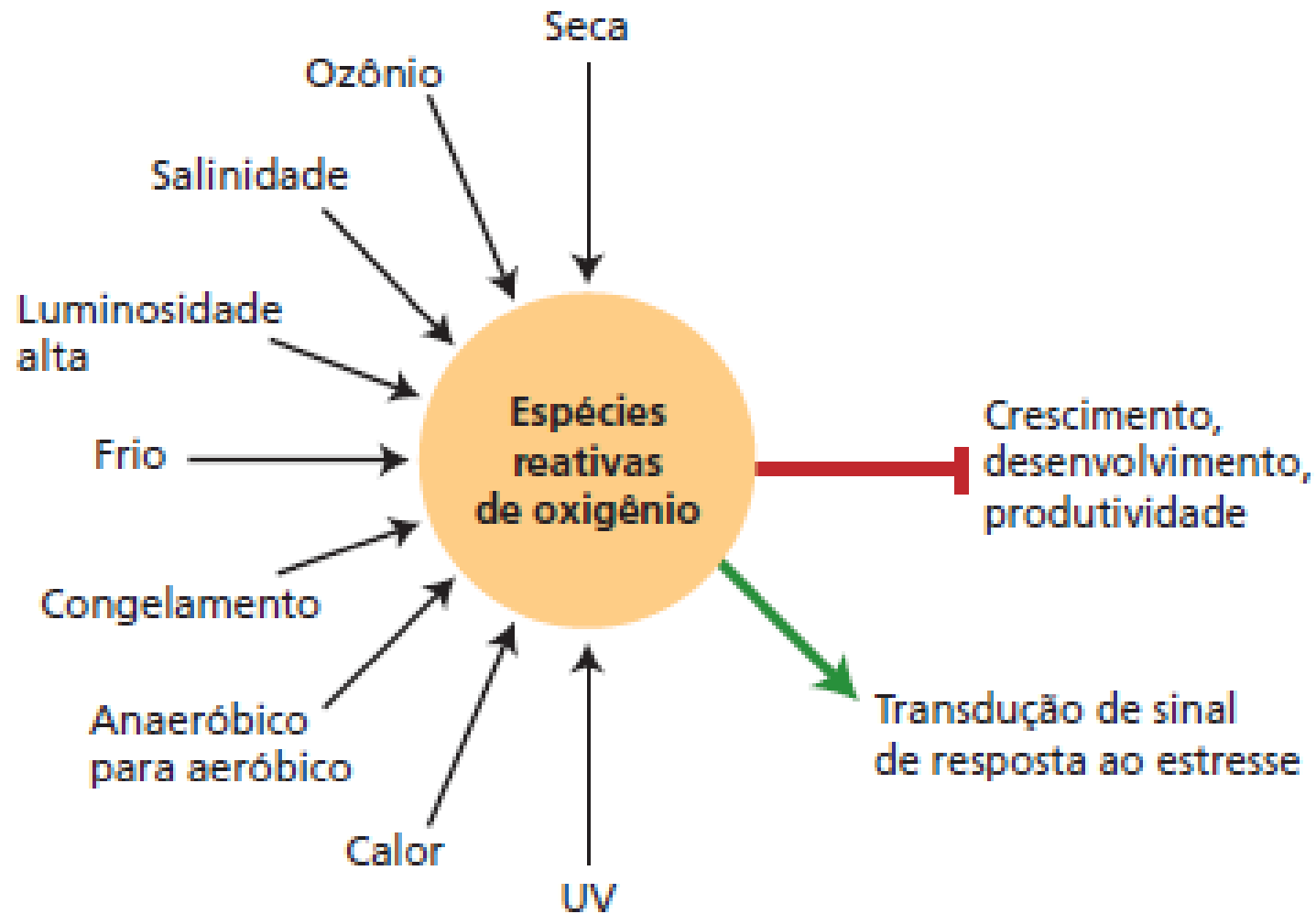
FATORES AMBIENTAIS NA FISIOLOGIA DAS PLANTAS

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

OS FATORES DO AMBIENTE ATUAM EM CONJUNTO

O AMBIENTE É DINÂMICO

**AS PLANTAS VIVEM EM CONSTANTE PERTURBAÇÕES, E
TEM MECANISMOS PARA SUPORTÁ-LAS**



Taiz et al. (2017)

Luminosidade x Temperatura

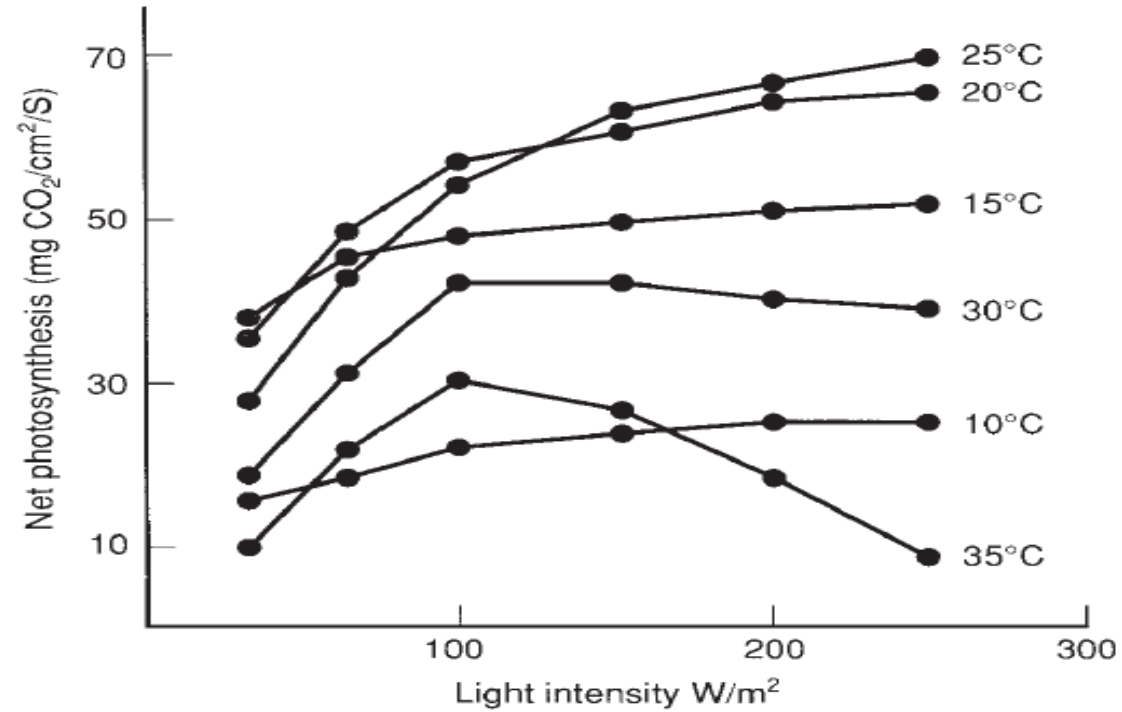


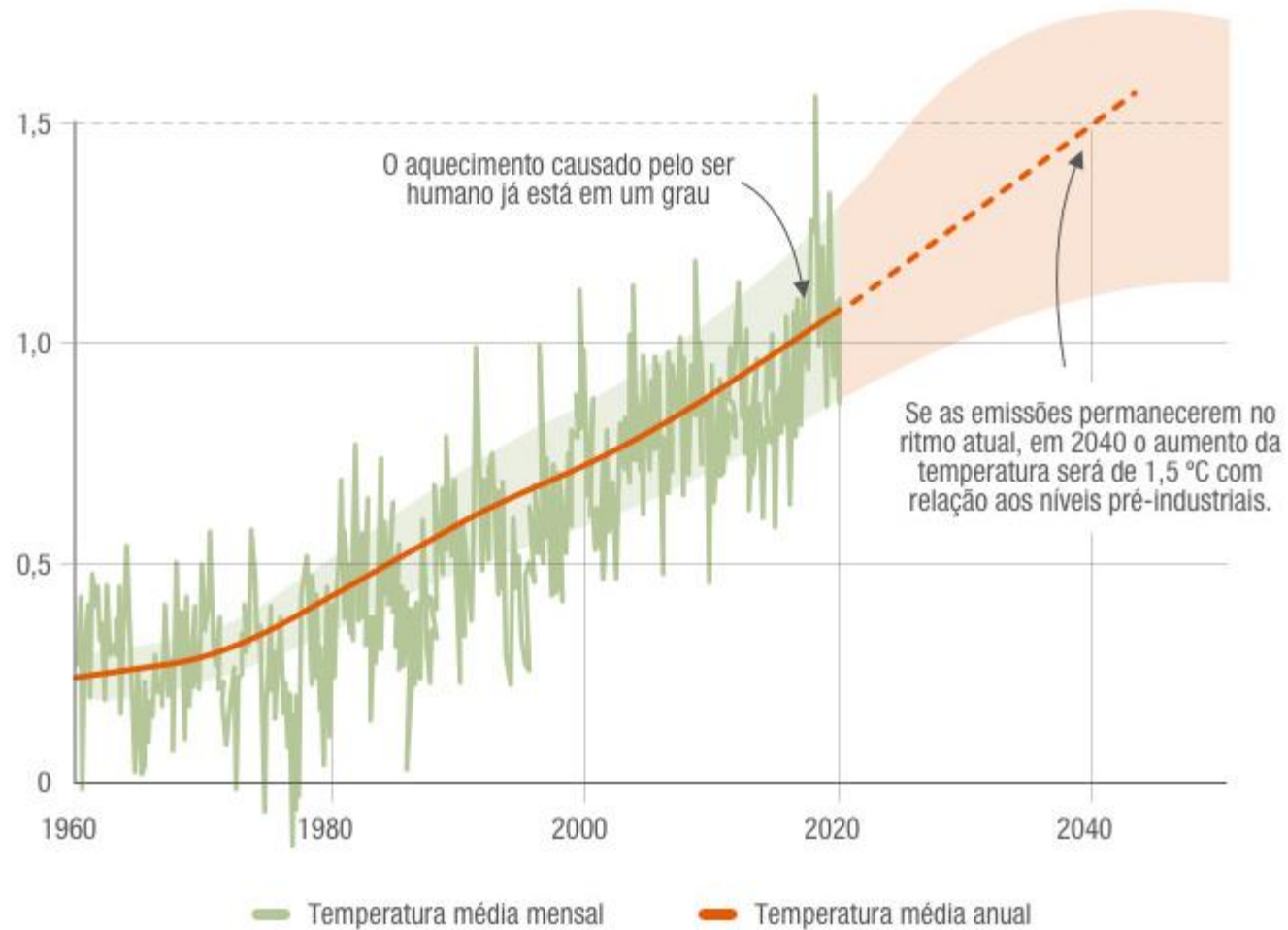
Figure 5.20 Influence of temperature on the photosynthetic capacity of grapevine leaves. (After Törökfalvy and Kriedemann, 1977, reproduced by permission)

Ambiente é dinâmico (Lopes e Lima, 2015)

- O ambiente não é estático, e sim dinâmico, funcionando como um todo, complexo e interdependente
- Quando se modifica um fator alteram-se os demais.
- Por exemplo, o aumento da temperatura pode alterar a umidade relativa do ar e a pressão de vapor

A EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA GLOBAL

Varição com respeito às temperaturas de 1850, em graus

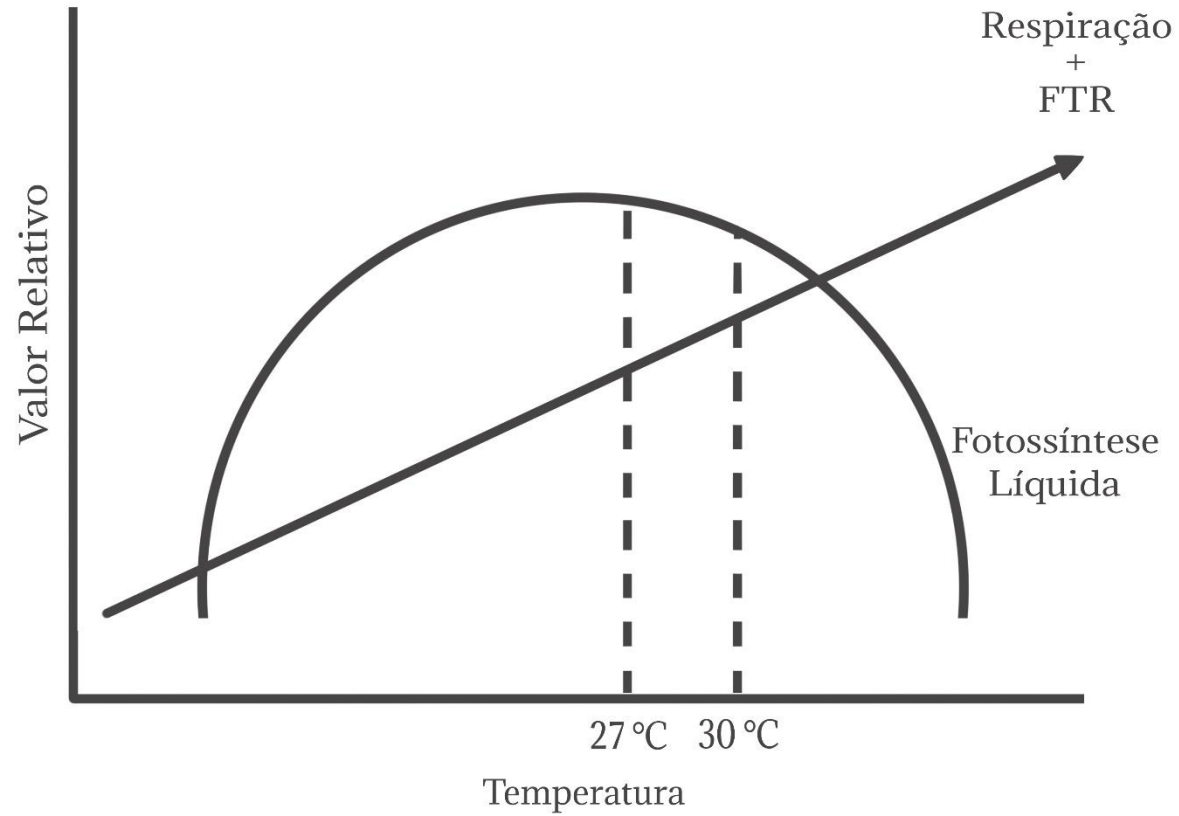


Fonte: IPCC.

Aumento global da temperatura (IPCC, 2022)

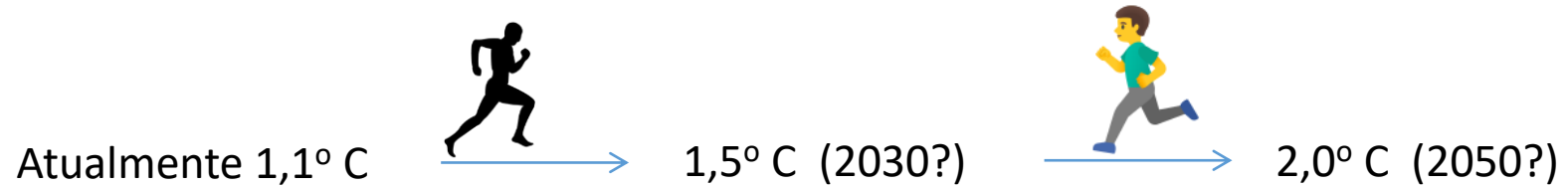


- Emissão dos gases do efeito estufa (GEE) aumentou
- Efeito estufa é bom para a terra!!!! Com o efeito estufa a terra apresenta temperatura média de 15°C
- Sem o efeito estufa a terra apresentaria temperatura média de -18°C
- 15°C + ΔT (aumento da temperatura, que hoje é 1,1°C): mudanças climáticas globais
- Quando alcançar 2°C: mudanças climáticas com efeitos irreversíveis
- 1,5°C é o máximo de aumento recomendado pelo IPCC



- Mais perda de carbono do que ganho
- Mais morte de plantas
- Menor produtividade
- FTR = fotorrespiração

Aumento global da temperatura (IPCC, 2022)



- Qual seria a “solução”??
- Reduzir a emissão de GEE e/ou aumentar a fixação de carbono (“sequestro”)

Níveis de gases na atmosfera

Oxigênio

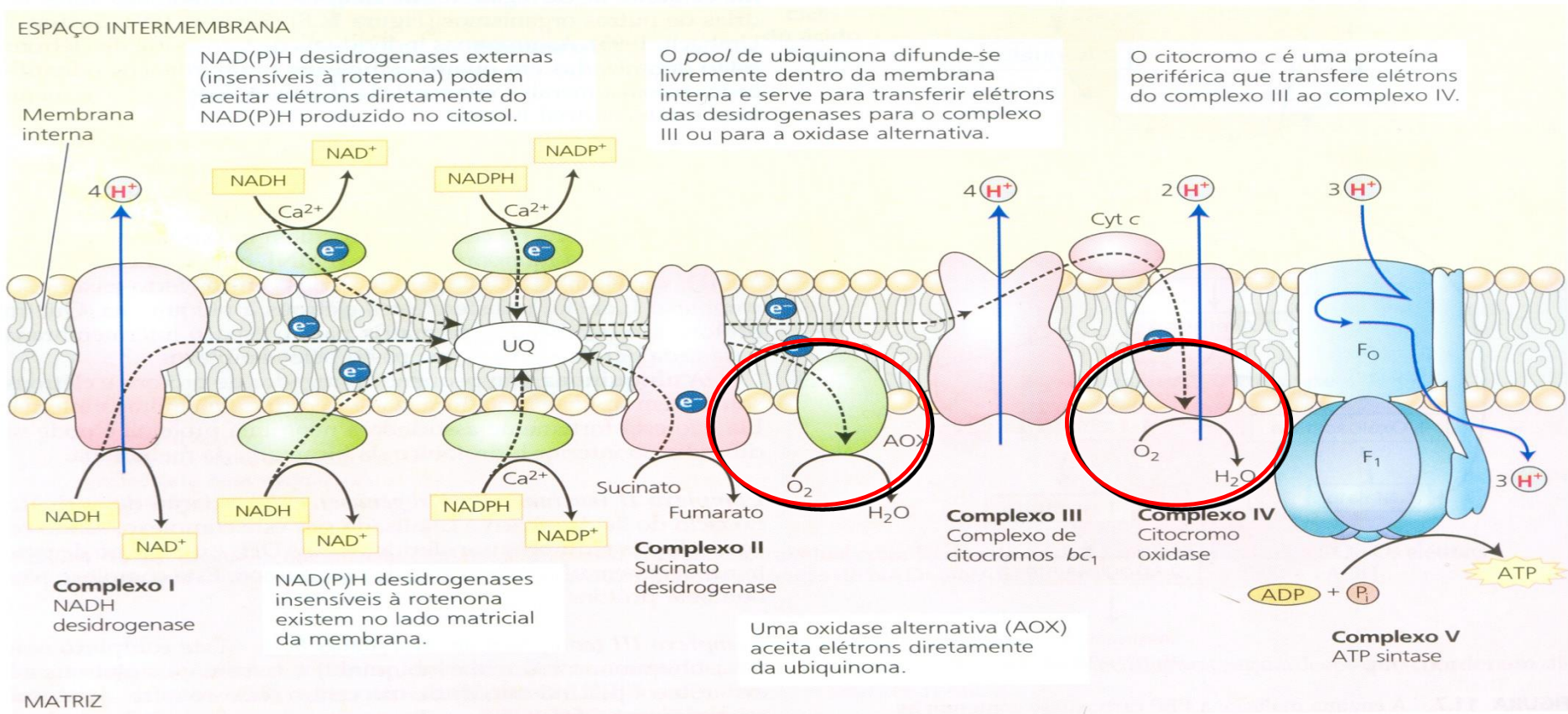
- Atualmente temos no ar aproximadamente 21% de O₂, sem oscilações
- O oxigênio provém da fotossíntese, sendo usado na respiração
- Tem importância em vários processos metabólicos da planta como respiração, fotorrespiração e reações enzimáticas

Oxigênio

- O oxigênio é uma molécula extremamente eletronegativa, por isso tem grande capacidade de “puxar” elétrons
- Na cadeia transportadora de elétrons da respiração o O_2 é extremamente importante, por ser a acceptor final dos elétrons
- Portanto, a deficiência em O_2 reduz significativamente a cadeia transportadora de elétrons, diminuindo a produção de energia na forma de ATP

Oxigênio – importância na respiração

Cadeia Transportadora de Elétrons



Fonte: Taiz et al. (2017)

Oxigênio

- Desta forma, a deficiência de O_2 acarreta em falta de energia para o crescimento de raízes e parte aérea da planta
- Baixo teor de O_2 provoca anaerobiose, com baixa produção de energia, e produção de etanol que degrada as membranas
- Assim, oxigênio baixo ou ausente (hipóxia ou anoxia, respectivamente) podem ser danosos às plantas e provocar prejuízos na produtividade
- Deficiência geralmente ocorre geralmente em condições de alagamento (excesso de chuvas) ou em solos muito compactados (devido ao uso intenso ou pisoteio dos animais)

Oxigênio

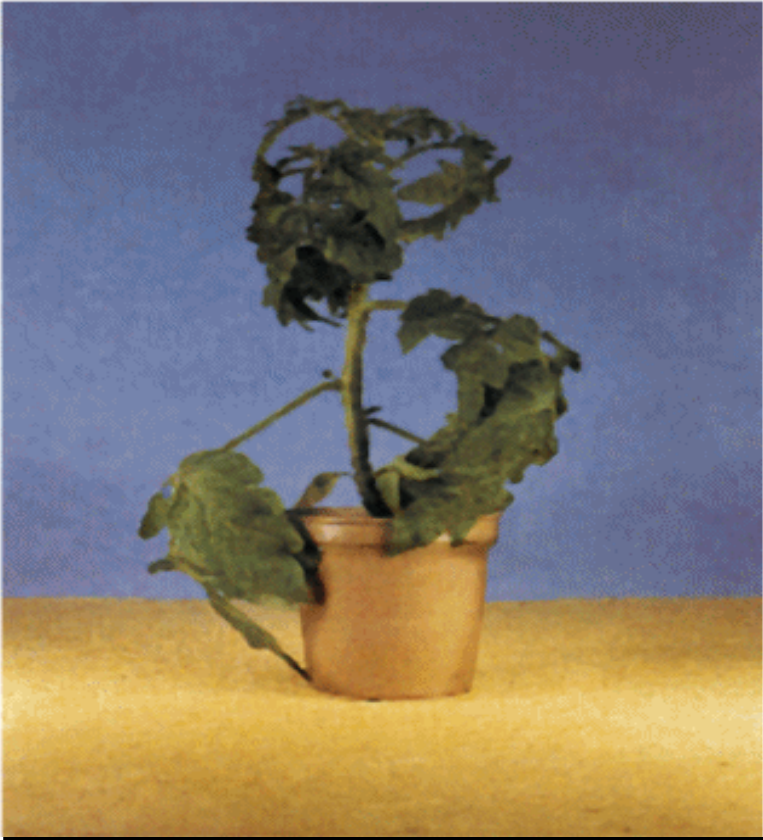
- Desta forma, a deficiência de O_2 acarreta em falta de energia para o crescimento de raízes e parte aérea da planta
- Baixo teor de O_2 provoca anaerobiose, com baixa produção de energia, e produção de etanol que degrada as membranas
- Assim, oxigênio baixo ou ausente (hipóxia ou anoxia, respectivamente) podem ser danosos às plantas e provocar prejuízos na produtividade
- Deficiência geralmente ocorre geralmente em condições de alagamento (excesso de chuvas) ou em solos muito compactados (devido ao uso intenso ou pisoteio dos animais)

Oxigênio - consequências de sua deficiência

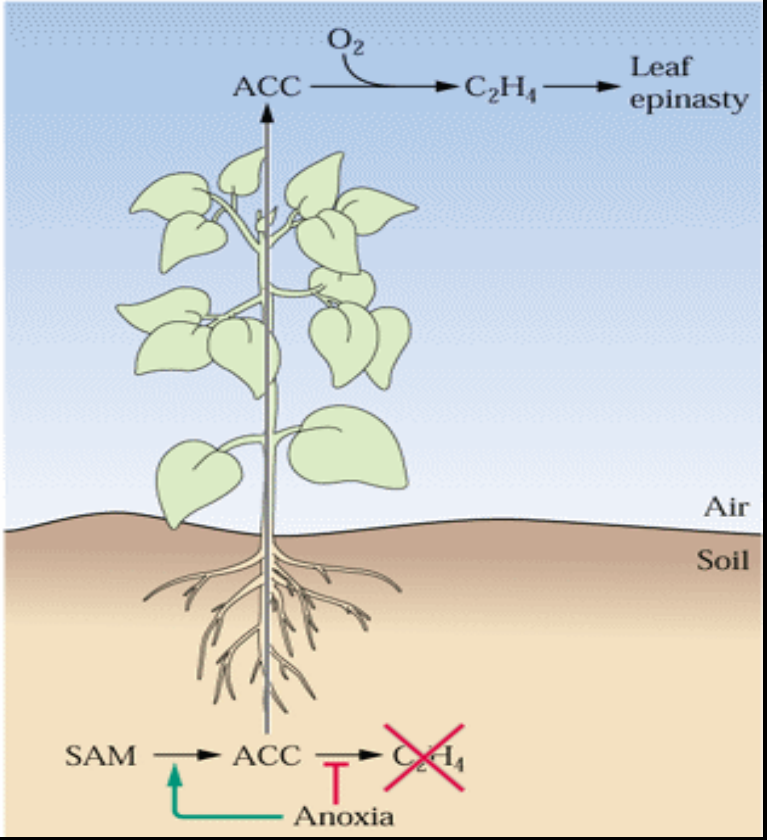
- Paralisação do crescimento das raízes
- Formação de aerênquima (efeito de etileno)
- Epinastia (efeito de etileno)
- Fechamento estomático (efeito do ácido abscísico)
- Senescência foliar prematura (efeito do etileno)
- Respiração anaeróbica (pouco ATP formado)
- Formação de raízes aéreas (em plantas de mangue)

Epinastia causada por deficiência de O₂

(A)



(B)



Formação de aerênquima



Dióxido de carbônico (CO₂)

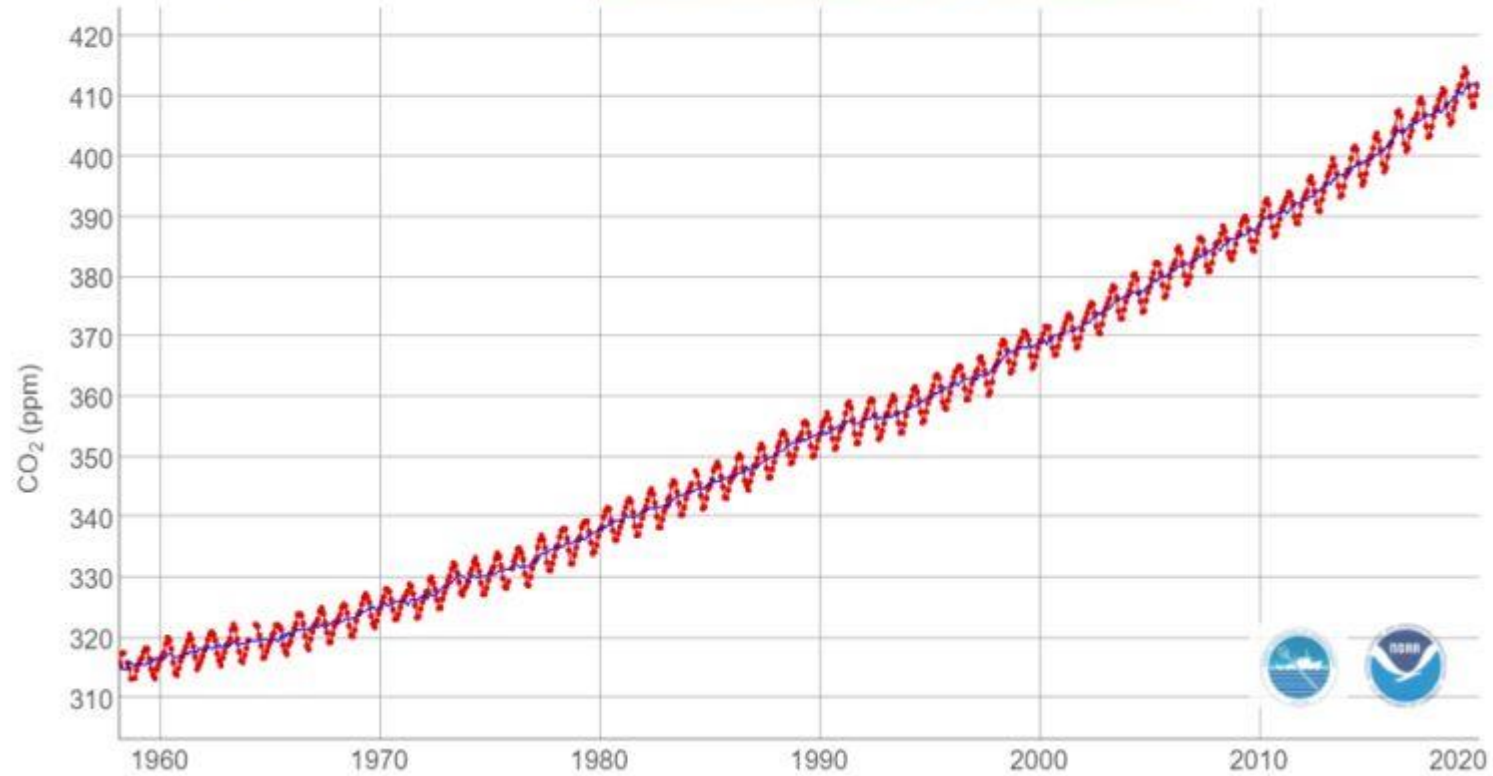
- A concentração de dióxido de carbono (CO₂) hoje na atmosfera é de 415 miligramas por litro (mg/L) ou 415 ppm (0,0415%).
- O número representa a maior concentração do composto químico na Terra desde os primeiros registros de existência humana no planeta.

Aumento do CO₂ na atmosfera

Varição da concentração de CO₂ na atmosfera - Curva de Keeling: 1959-2019

Mauna Loa Monthly Averages

<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/graph.html>



Dióxido de carbono (CO₂)

- Esse aumento se dá devido à queima de combustíveis fósseis (principal), queimadas e ao desmatamento.
- É dos principais gases do efeito estufa (aquecimento global)

Dióxido de carbono (CO₂)

- Esse aumento do CO₂ poderia favorecer algumas culturas, com as de mecanismo C3 (ex. soja)?
- Se houver mais disponibilidade de CO₂ para a Rubisco poderia haver uma redução da fotorrespiração, e assim evitar a perda de carbono, que seria incorporado em matéria seca promovendo maior produtividade

Dióxido de carbono (CO₂)

- Mas!!! O aumento do CO₂ não deveria ser acompanhado pelo aumento da temperatura
- Mesmo com os aumentos dos teores de CO₂ atmosféricos, a alta temperatura reduz a relação CO₂/O₂, o que faz com que a Rubisco aumente sua função oxidativa (aumentando a fotorrespiração)

Dióxido de carbono (CO₂)

- Mesmo com mais CO₂ disponível, mas com temperaturas altas, além de haver maior fotorrespiração haverá também maior respiração
- Com isso vai cair a fotossíntese líquida (FL) e, conseqüentemente, a produtividade das culturas
- A temperatura média do ar de 32°C seria o limiar para a produtividade agrícola

Solubilidade do CO₂ e O₂ em função da temperatura

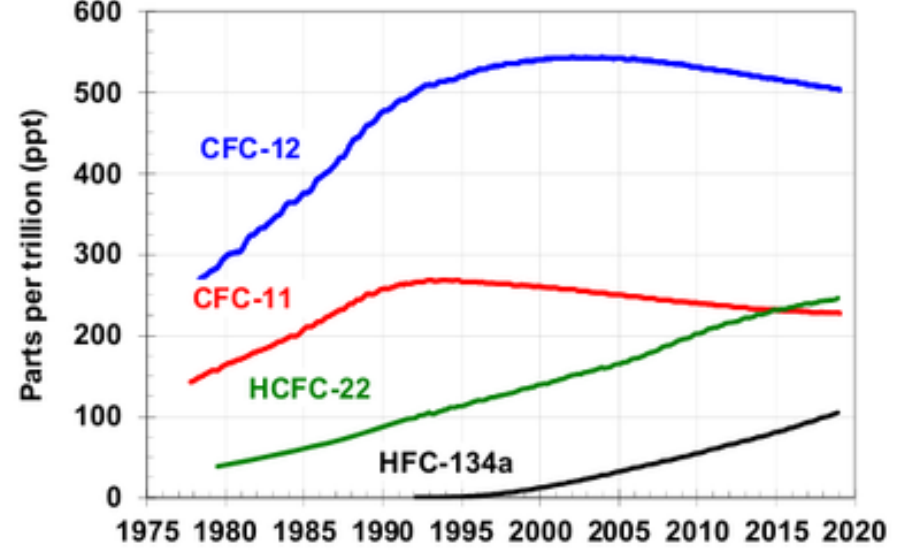
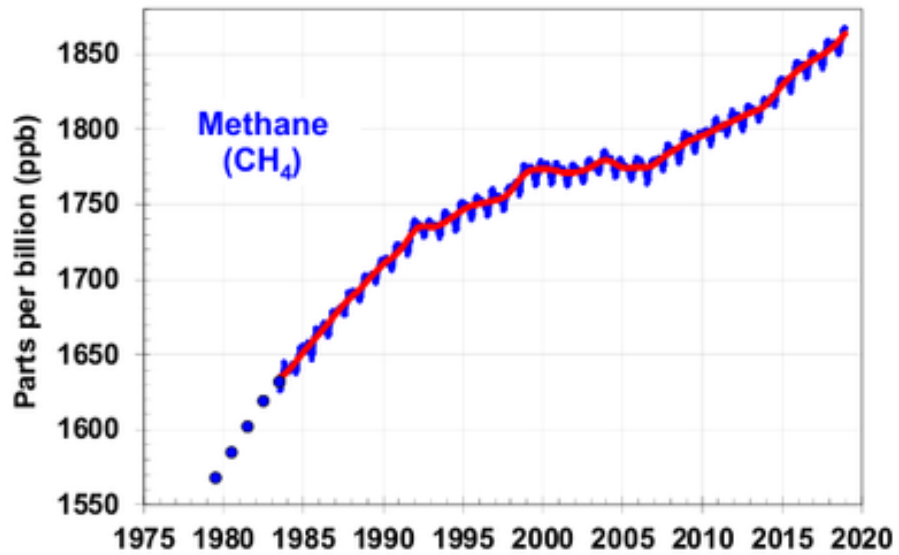
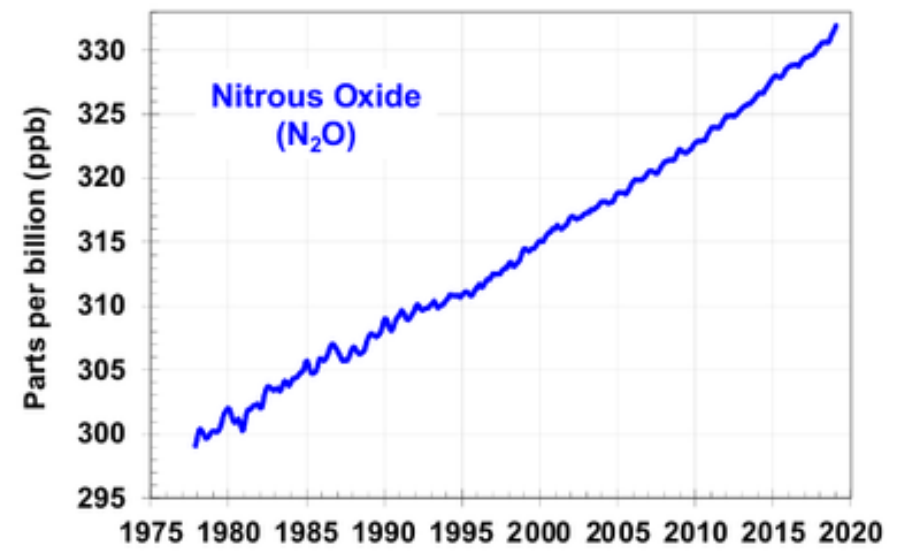
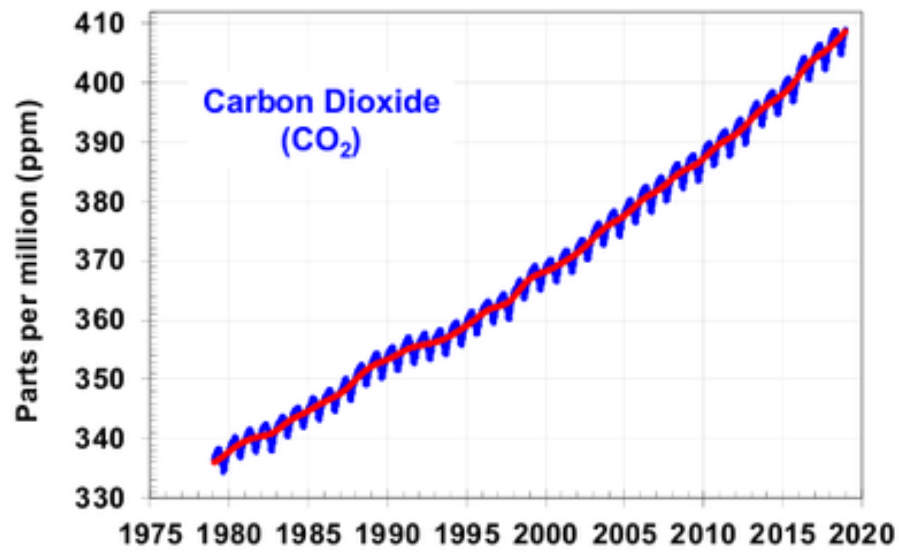
Temperature (°C)	α (CO ₂)	[CO ₂] (μ M in solution)	α (O ₂)	[O ₂] (μ M in solution)	$\frac{[\text{CO}_2]}{[\text{O}_2]}$
5	1.424	21.93	0.0429	401.2	0.0515
15	1.019	15.69	0.0342	319.8	0.0462
25	0.759	11.68	0.0283	264.6	0.0416
35	0.592	9.11	0.0244	228.2	0.0376

Solubilidade do CO₂ e O₂ em função da temperatura

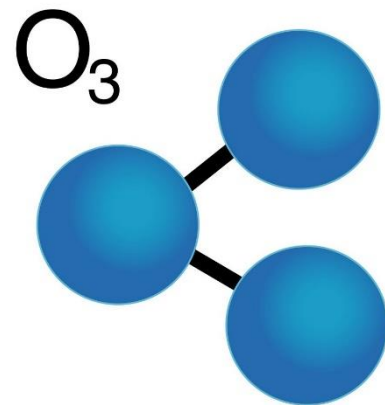
Temperature (°C)	α (CO ₂)	[CO ₂] (μ M in solution)	α (O ₂)	[O ₂] (μ M in solution)	$\frac{[\text{CO}_2]}{[\text{O}_2]}$
5	1.424	21.93	0.0429	401.2	0.0515
15	1.019	15.69	0.0342	319.8	0.0462
25	0.759	11.68	0.0283	264.6	0.0416
35	0.592	9.11	0.0244	228.2	0.0376

Outros gases

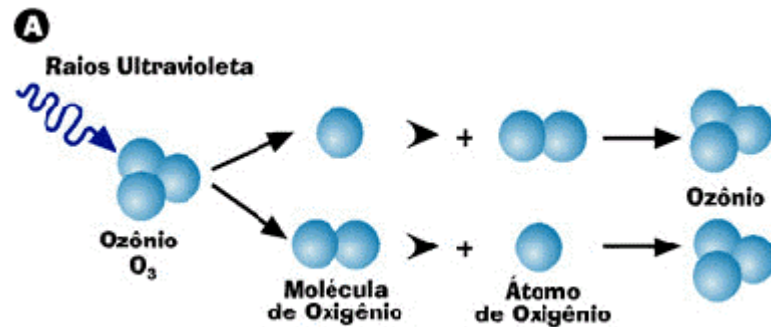
- Além do CO_2 , outros gases estão aumentando sua liberação no ambiente
- Gás Metano (CH_4)
- Óxido nitroso (N_2O)
- Ozônio (O_3)



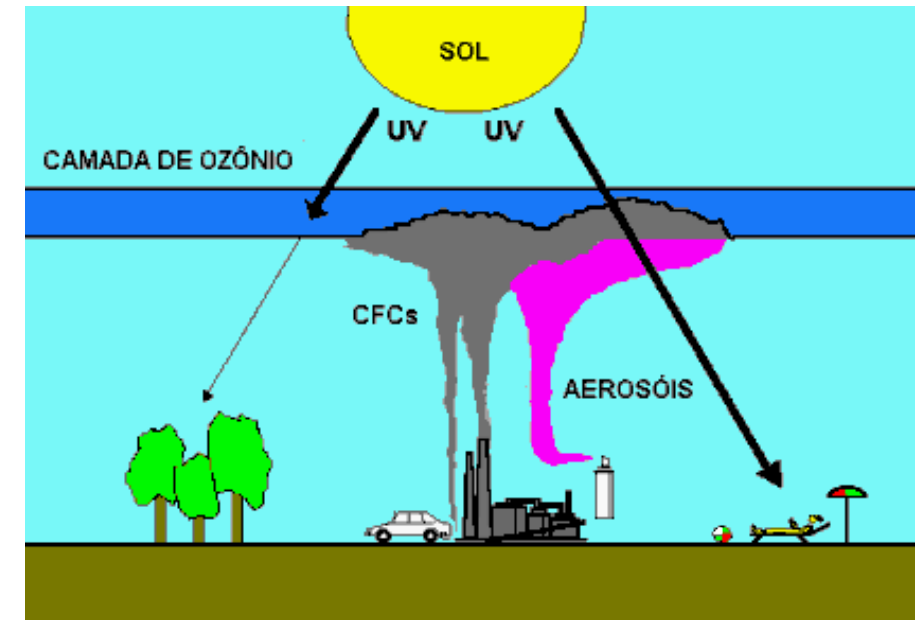
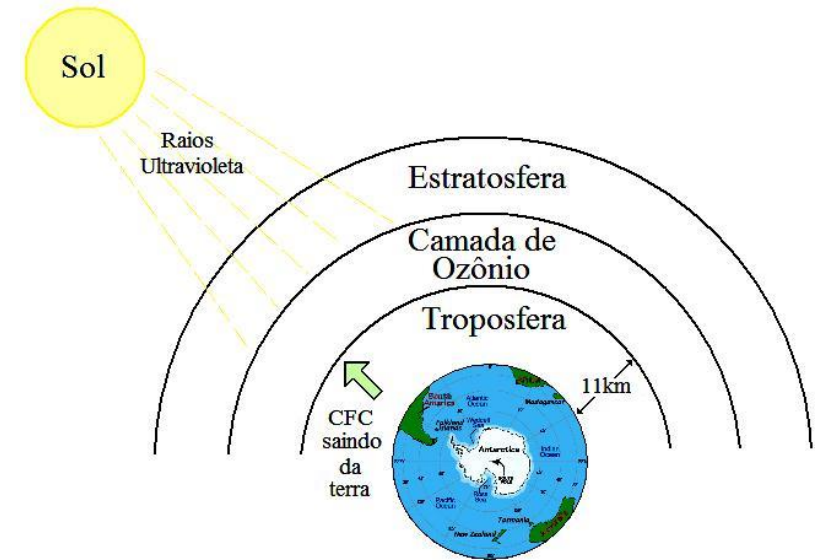
Ozônio bom e ozônio mau



É encontrado em duas regiões da atmosfera: cerca 10% do ozônio atmosférico encontra-se na **troposfera**, região mais próxima da superfície da terra (entre 10 e 16 quilômetros) e os restantes 90% encontram-se na **estratosfera**, a uma distância entre 10 e 50 quilômetros. A maior concentração de ozônio na estratosfera é chamada de “**camada de ozônio**”.



Formação de ozônio na estratosfera



Ozônio bom e ozônio mau

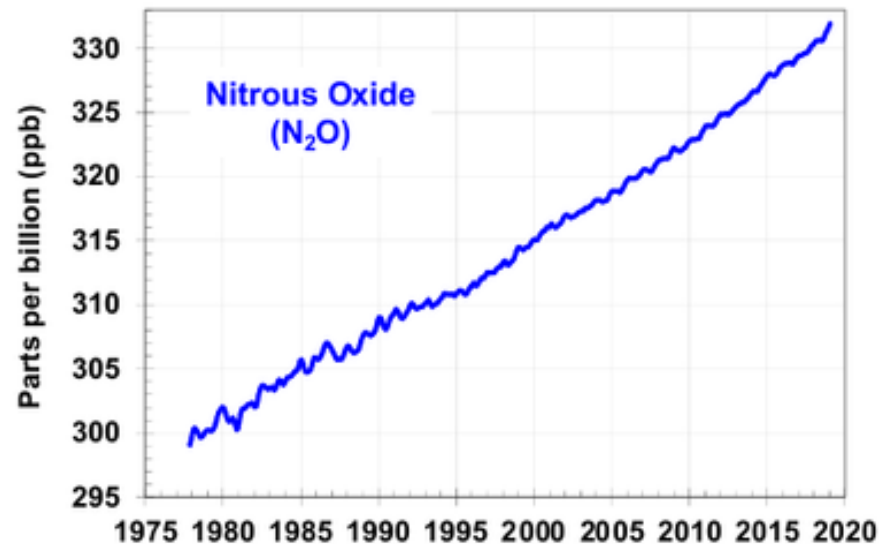
- A camada de ozônio (ozônio estratosférico) absorve parte da radiação ultravioleta do sol nociva à vida. Por causa dessa função, o ozônio estratosférico é considerado “ozônio bom”.
- O ozônio na superfície (troposfera), que é formado pelos poluentes, é considerado “ozônio mau” porque é nocivo à vida do homem, plantas e animais. Algum ozônio ocorre naturalmente na baixa atmosfera onde é benéfico porque remove alguns poluentes da atmosfera.

Aumento do ozônio na troposfera

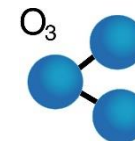
- Mas por que está aumentando o ozônio?

Aumento do ozônio na troposfera

- Mas por que está aumentando o ozônio?
- Devido ao aumento do **óxido nitroso (N₂O)**



- N₂O é uma GEE
- Na estratosfera N₂O destrói camada de ozônio
- Na superfície terrestre N₂O reage com o CO₂ e gera O₃
- O₃ se difunde com facilidade



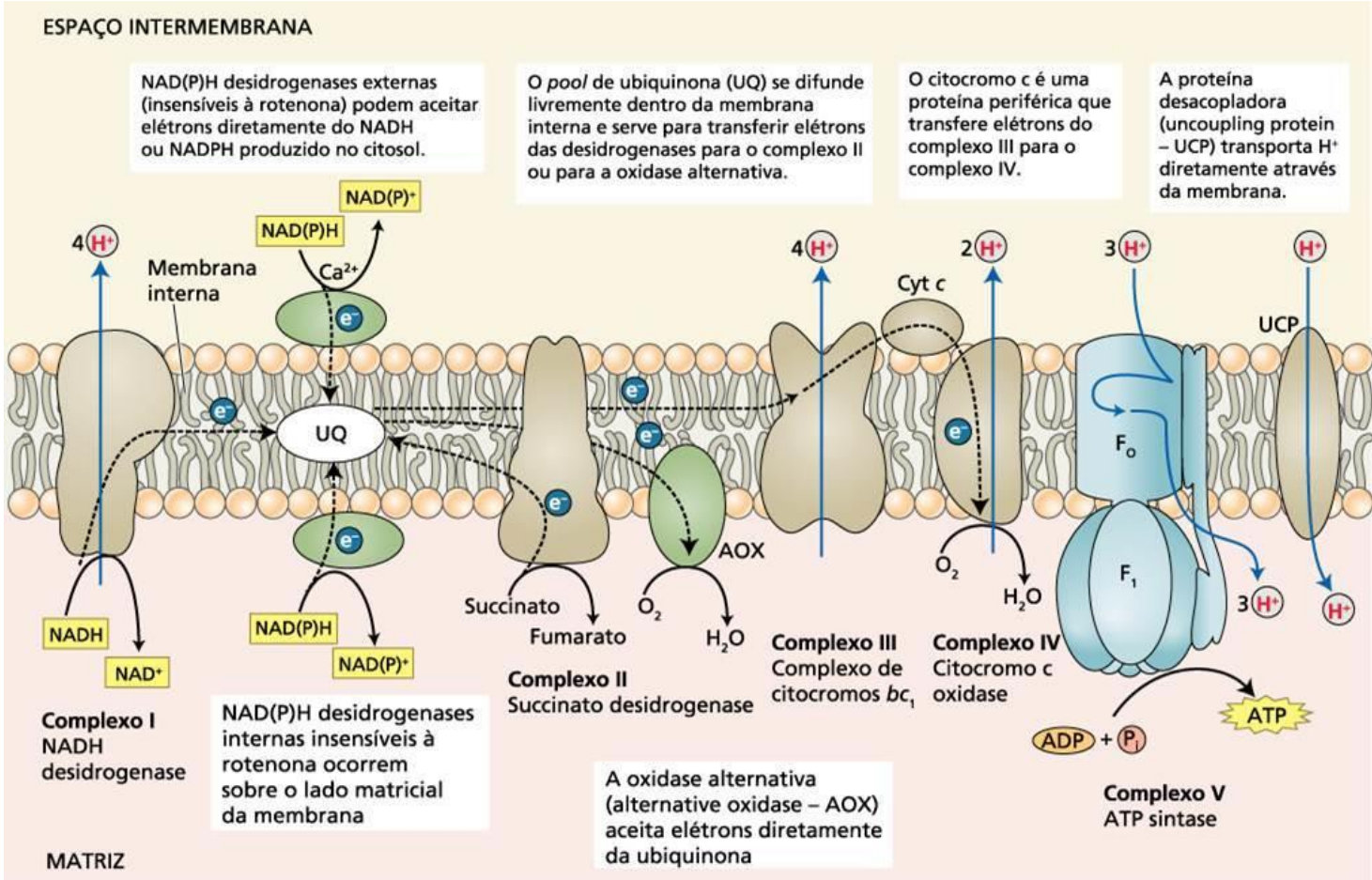
Aumento do ozônio na troposfera

- A elevação das concentrações de ozônio na troposfera o torna ozônio “mau”
- De 1800 a 2018 ozônio aumentou em 250% na troposfera

Aumento do ozônio na troposfera

- O ozônio tem alto poder oxidativo e, por isso, é tóxico às plantas, podendo causar danos consideráveis às espécies vegetais nativas e culturas agrícolas
- No mitocôndria, ozônio parece transmitir um “sinal falso” de aumento de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e desencadeia a ativação da **AOX (oxidase alternativa)**, que desacopla a cadeia transportadora de elétrons

Oxidase alternativa (AOX)



Aumento do ozônio na troposfera

- 600 ppb de O₃ no ar da troposfera pode reduzir 40% de acúmulo de matéria seca dos vegetais, chamada de CUE (eficiência do uso de carbono), CUE = FL (fotossíntese líquida)
- *Yield decline*
- CUE 1954: 54%
- CUE 2016: 28-35%
- CUE 2050 (estimada): 16%
- Com isso vai sobrar menos carboidratos para a planta combater doenças!!!!