



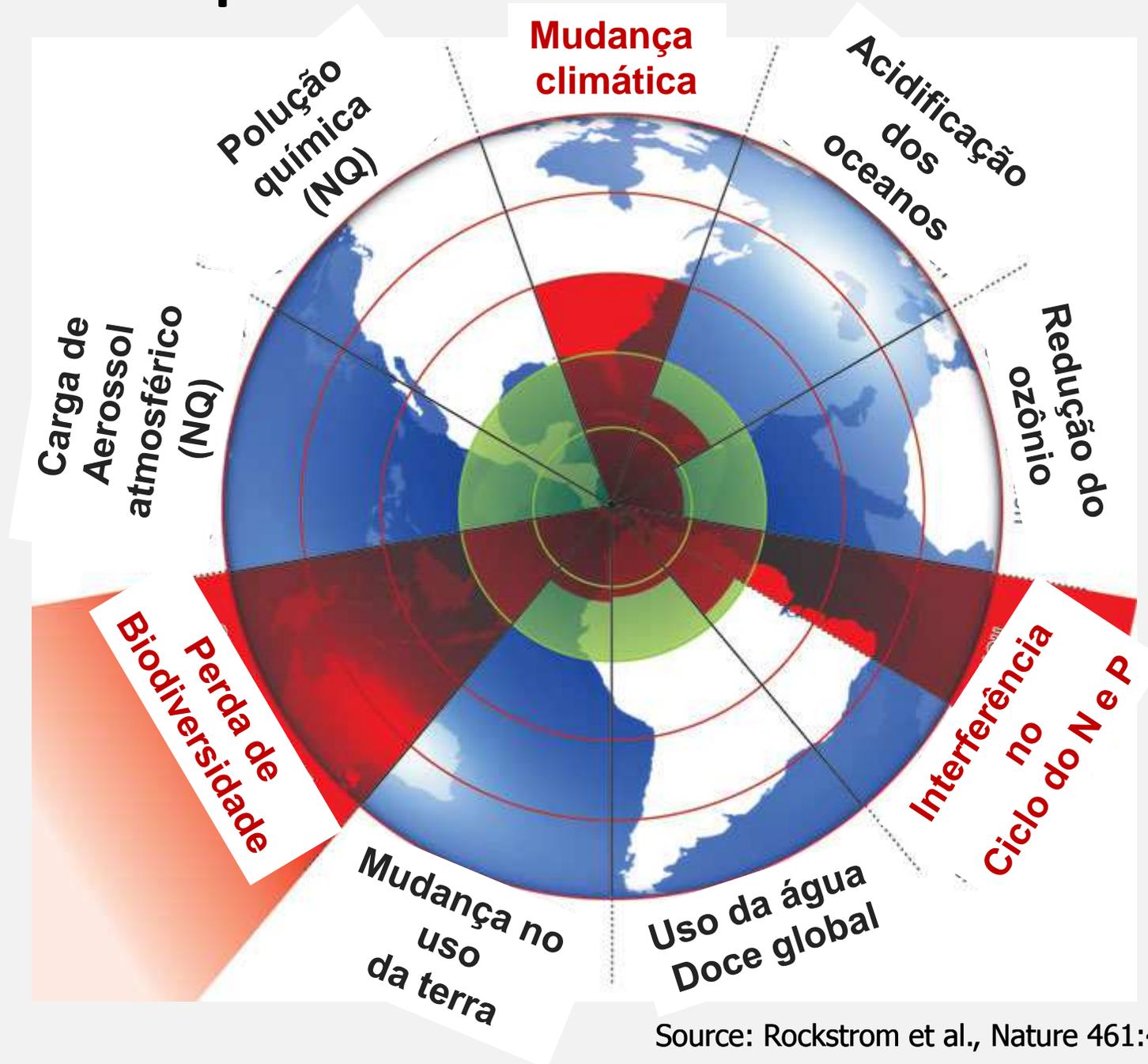
**III SIMPÓSIO** Brasileiro sobre  
**NUTRIÇÃO DE PLANTAS APLICADA**  
em Sistemas de Alta Produtividade



**IMPACTO DO ESTRESSE ABIÓTICO NA FISIOLOGIA  
E NA NUTRIÇÃO DAS PLANTAS NO CONTEXTO DAS  
MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

**Prof. Dr. Carlos Alberto Martinez**  
Departamento de Biologia

# Limites planetários em 9 sistemas terrestres



Source: Rockstrom et al., Nature 461:472-475, 2009

## Limites planetários excedidos

Processos no Sistema Terrestre	Parâmetros	Limite Proposto	Situação Atual	Valor Pré-Industrial
<b>Mudança Climática</b>	Concentração de CO <sub>2</sub> atmosférico (ppm)	350	<b>390</b>	280
	Câmbio na força radiativa (Watts/m <sup>2</sup> )	1	<b>1,5</b>	0
<b>Perda da Biodiversidade</b>	Taxa de extinção (N <sup>o</sup> de espécies/milhão de espécies /ano)	10	<b>&gt;100</b>	0,1-1
<b>Interferência no Ciclo do Nitrogênio</b>	Quantidade de N <sub>2</sub> removido da atmosfera para uso humano (milhões ton/ano)	35	<b>121</b>	0

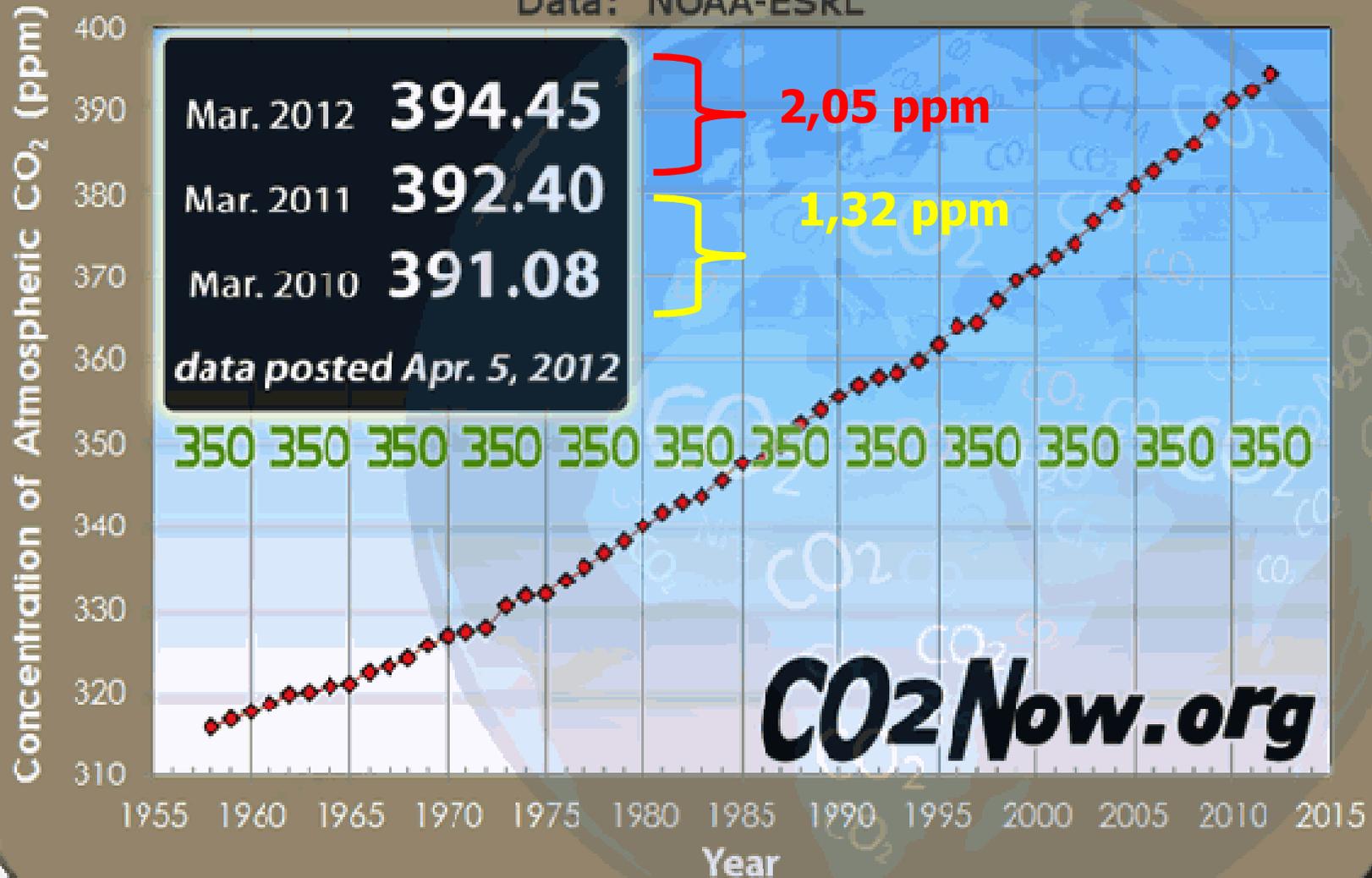
Rockstrom et al., Nature 461:472-475, 2009

# Atmospheric CO<sub>2</sub>

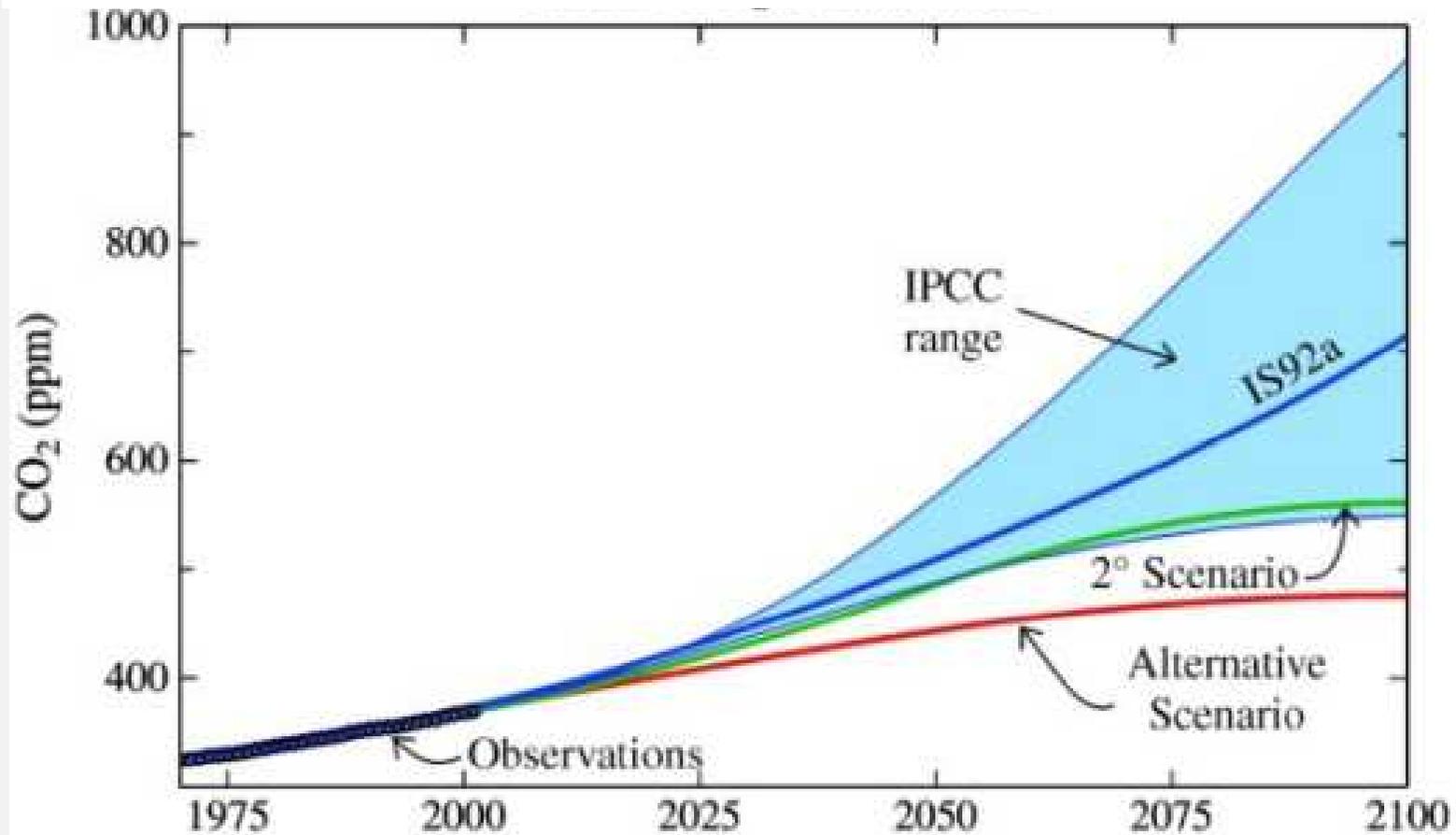
March 1958 - March 2012

March CO<sub>2</sub> | Year Over Year | Mauna Loa Observatory

Data: NOAA-ESRL



## Previsões para o CO<sub>2</sub> atmosférico

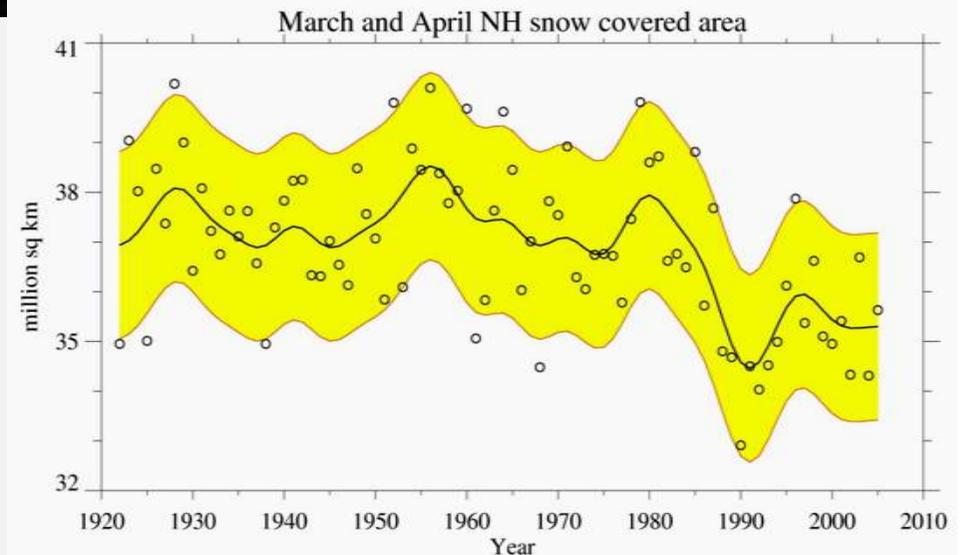
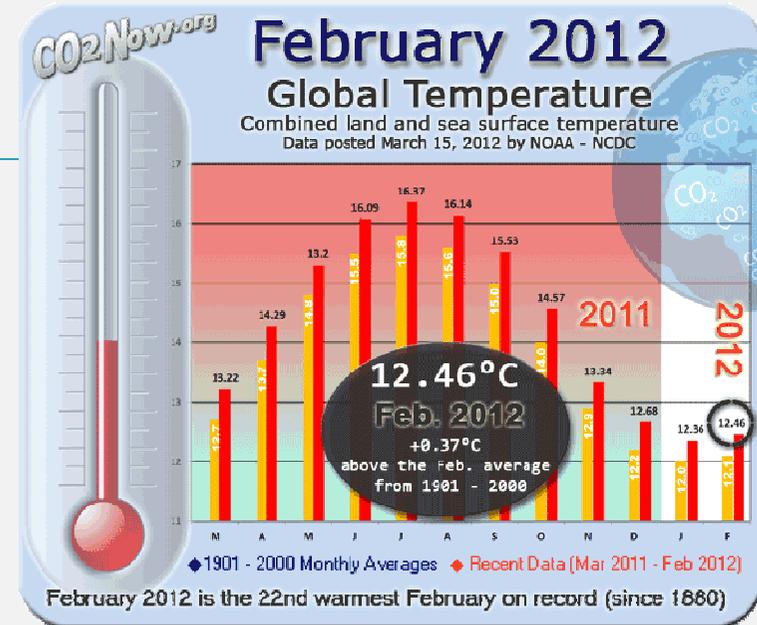


- ~ 400 ppm atual,
- 600 ppm em 2050
- 800 ppm em 2100

# Evidências do aquecimento global



Glaciar Upsala, Patagônia

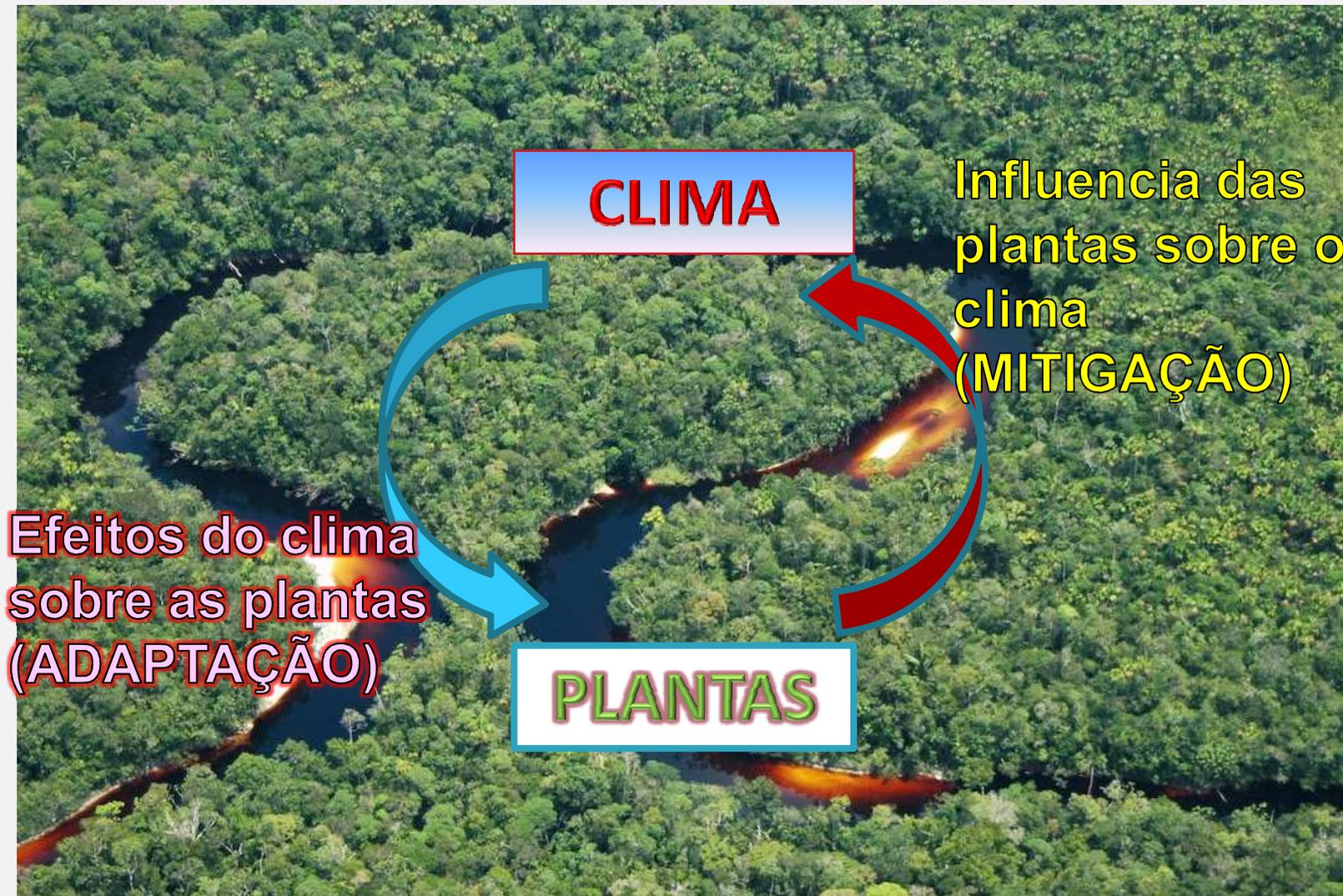


## Qual a fonte do CO<sub>2</sub>?



## Qual o destino do CO<sub>2</sub>?





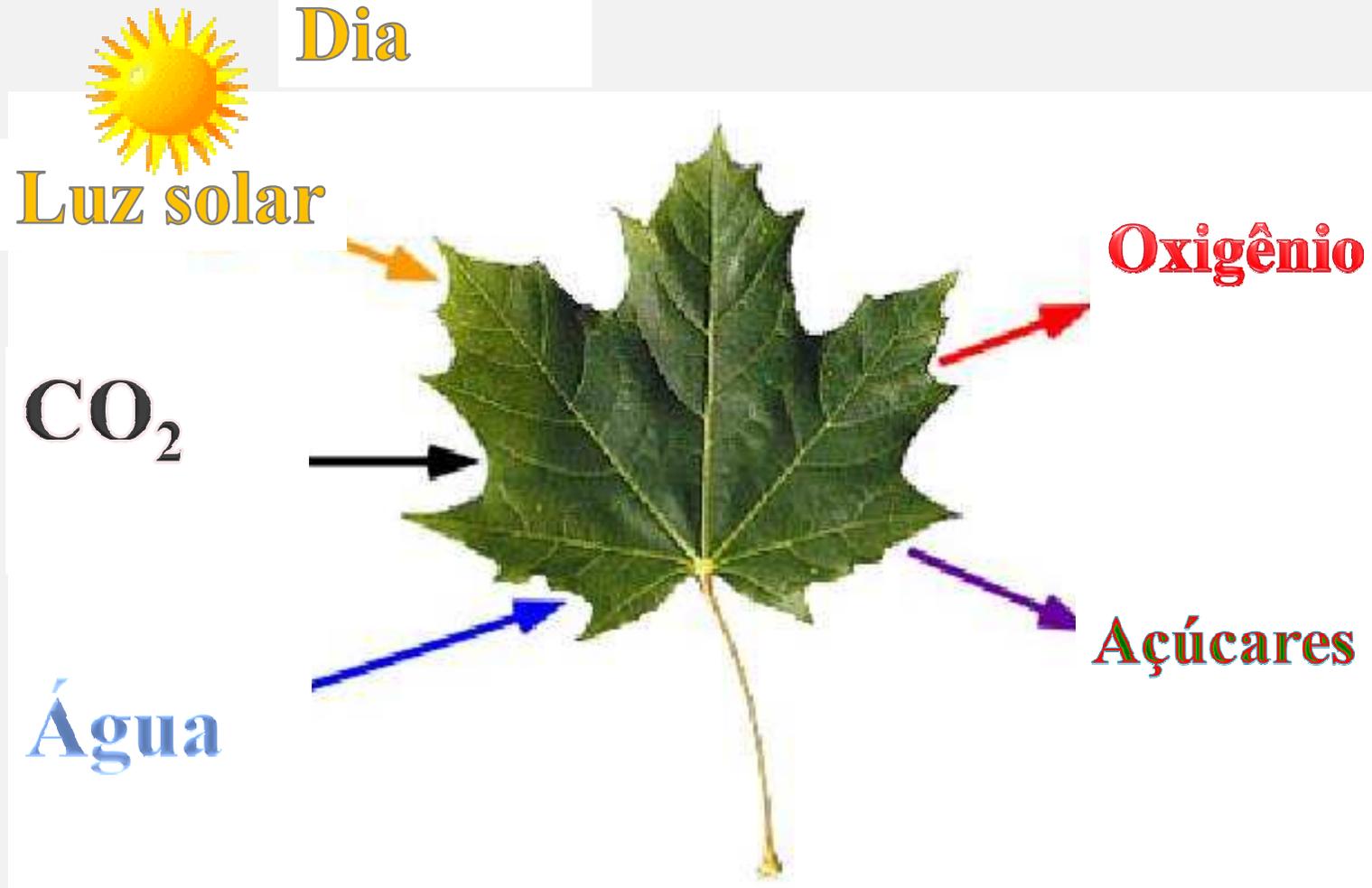
## Plantas e mudanças climáticas

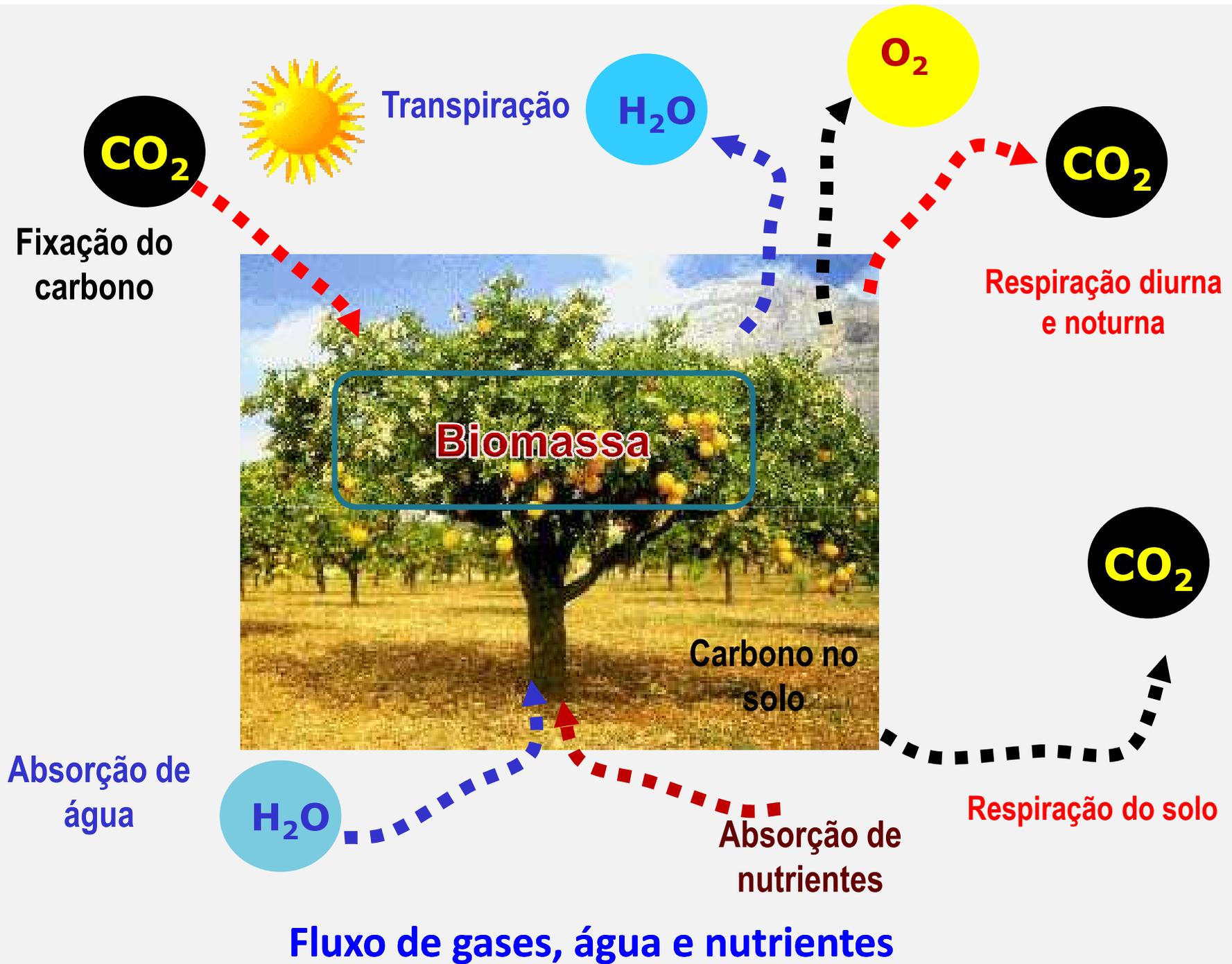
# Mudança climática e seus efeitos nas plantas

---

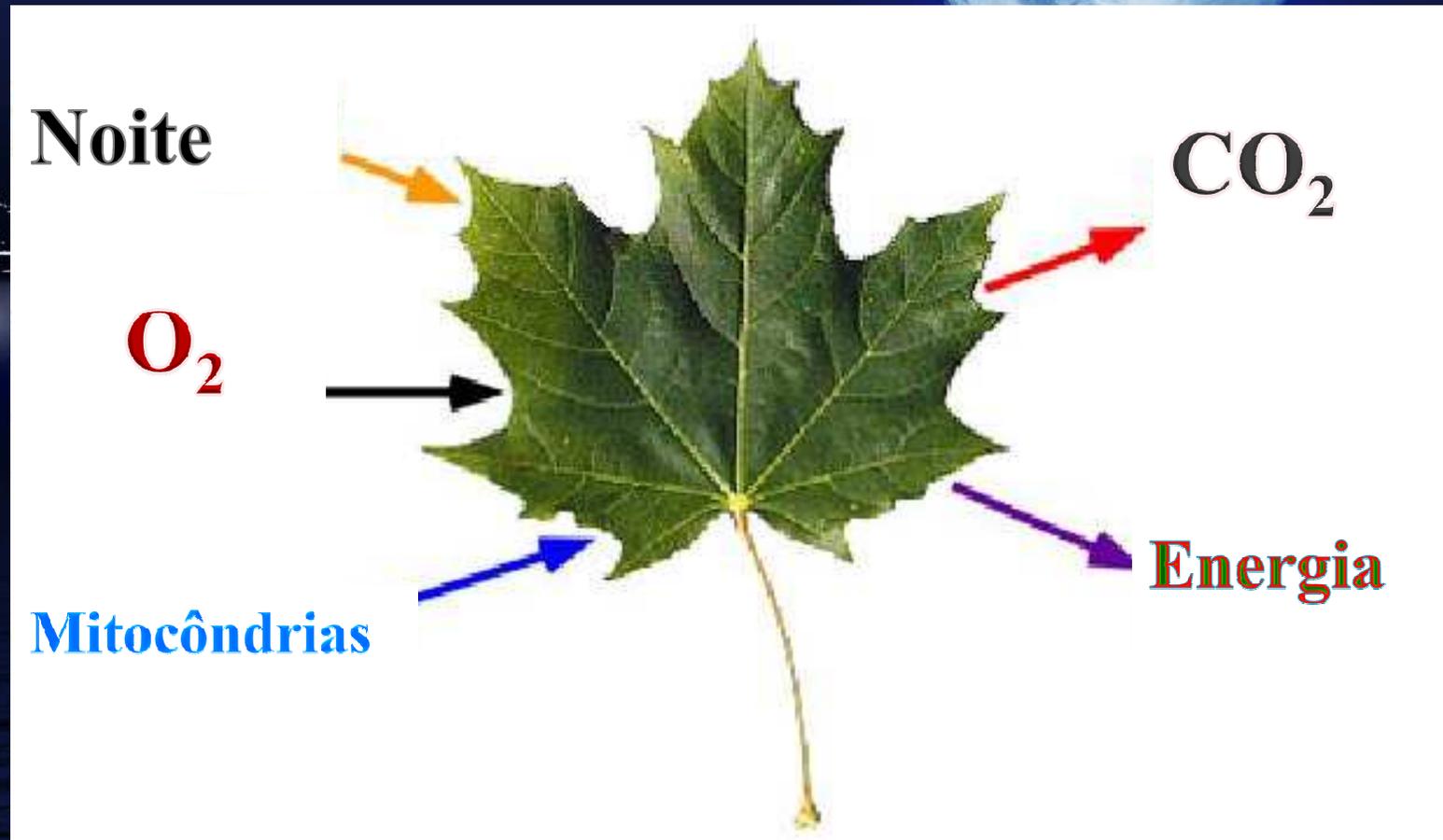
- ⦿ Efeitos da fertilização com CO<sub>2</sub>
- ⦿ Efeitos do incremento da temperatura média global
- ⦿ Mudança gradual na precipitação
- ⦿ Incremento na frequência e intensidade de eventos climáticos extremos
- ⦿ Grande variabilidade climática

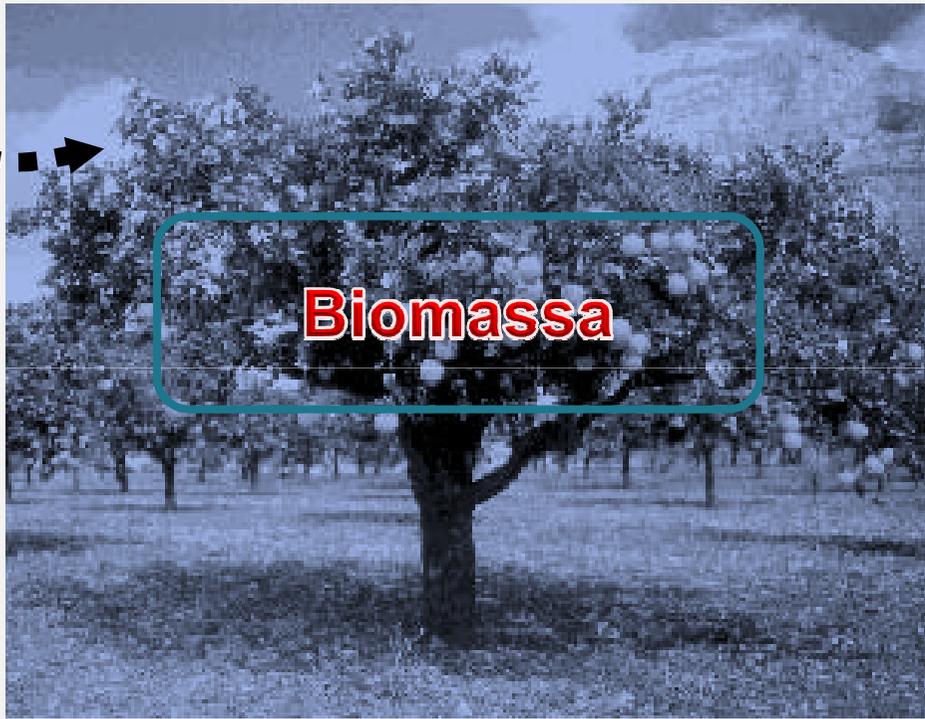
## Efeitos da fertilização com CO<sub>2</sub>





# RESPIRAÇÃO





**Biomassa**



Respiração noturna



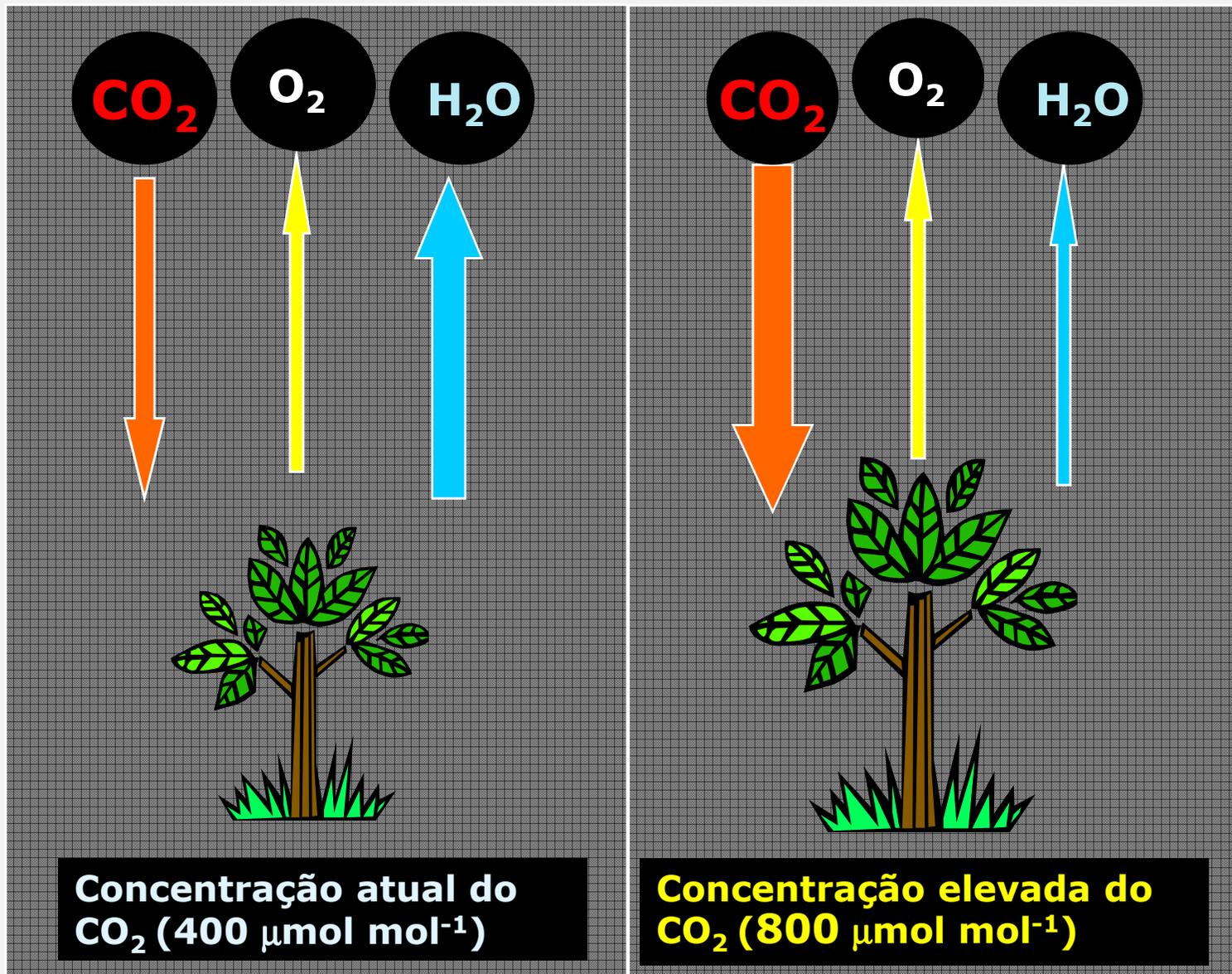
Carbono no solo

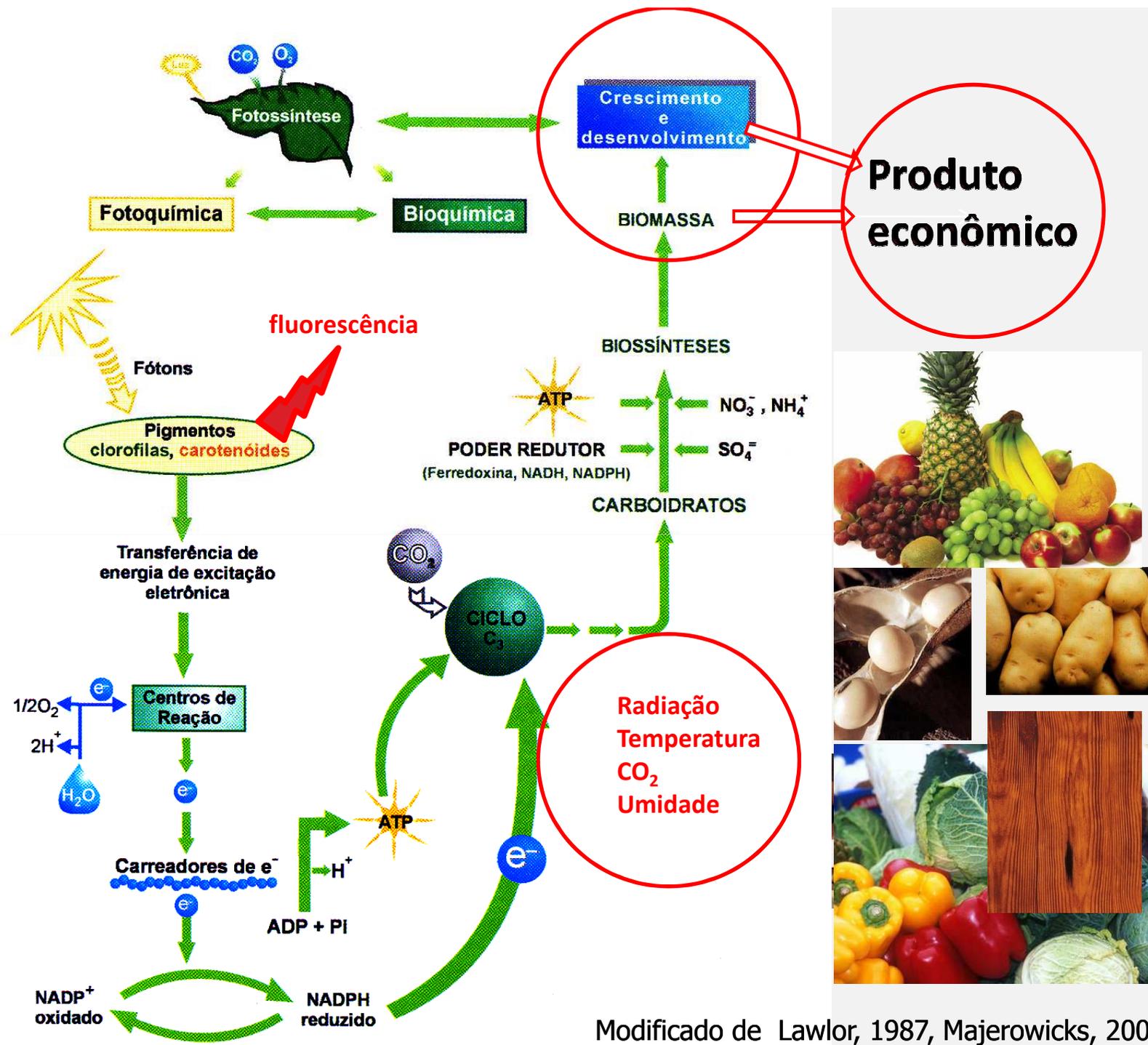
Respiração do solo

**Fluxo de gases durante a noite**

**Impacto Biológico das Mudanças  
climáticas nas Plantas:  
CO<sub>2</sub> e Temperatura**

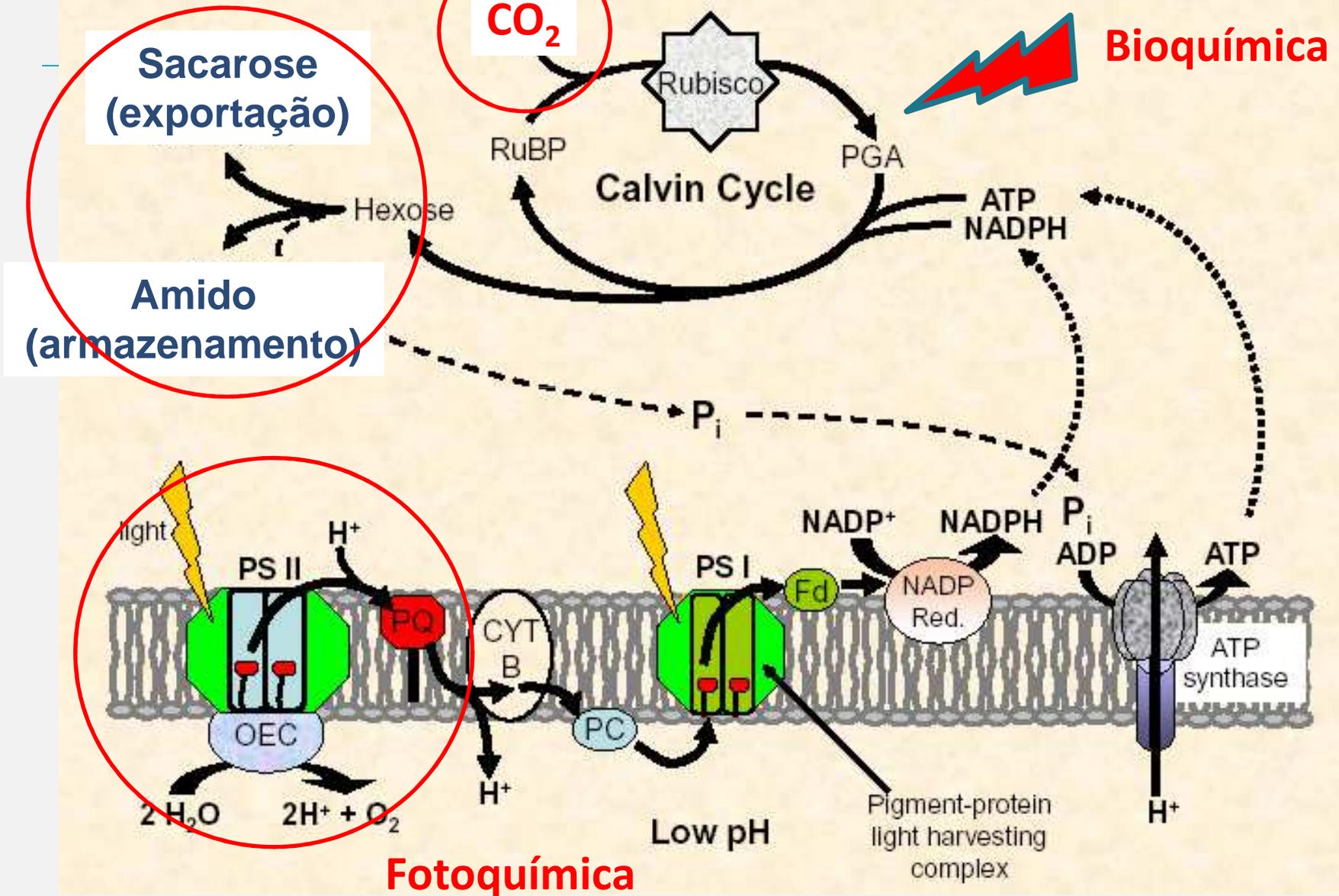
## Efeitos do CO<sub>2</sub> sobre a fotossíntese, transpiração e crescimento





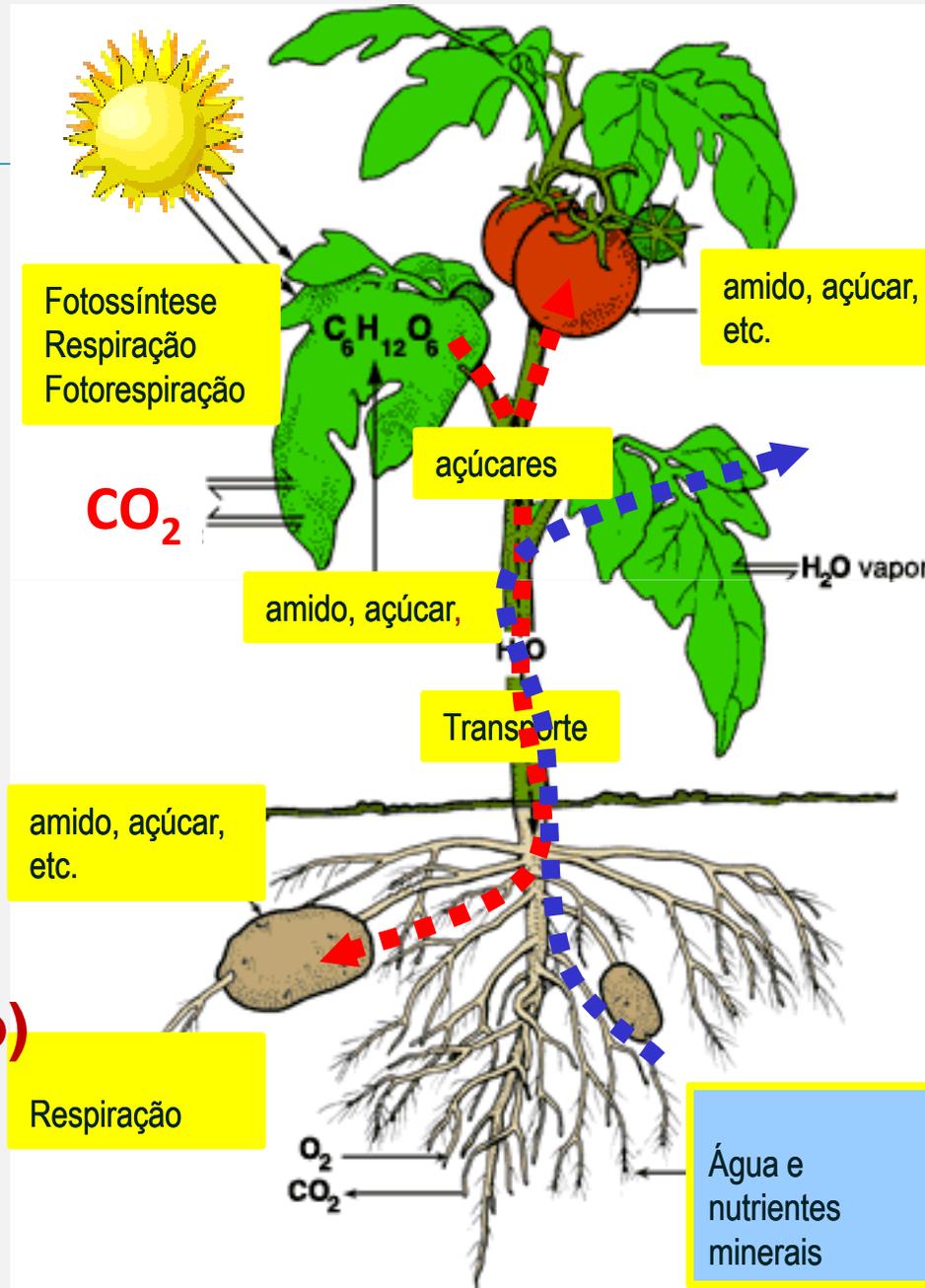
Modificado de Lawlor, 1987, Majerowicks, 2005

# ESQUEMA DA FOTOSSÍNTESE C3



# FISIOLOGIA DAS PLANTAS

**FONTE  
(Folhas)**

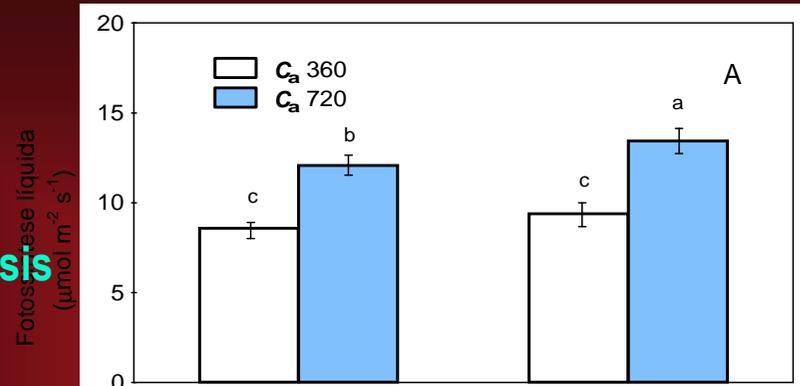


**Dreno  
(Fruto)**

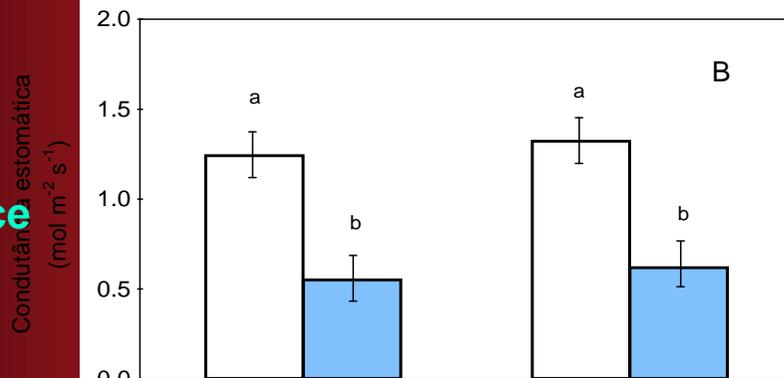
**Dreno  
(tubérculo)**

Água e  
nutrientes  
minerais

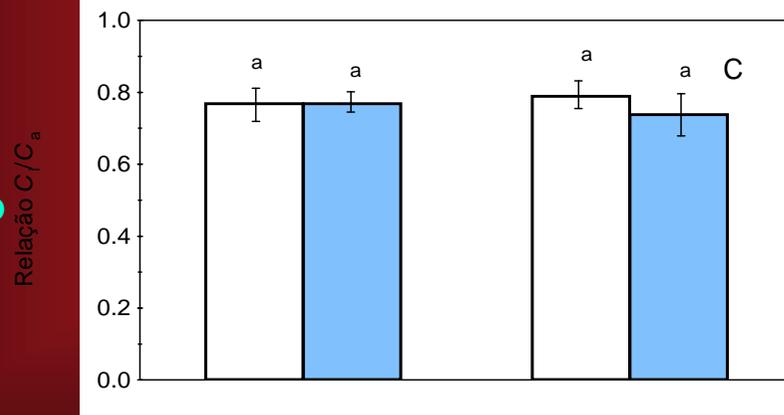
Net  
Photosynthesis



Stomatal  
conductance

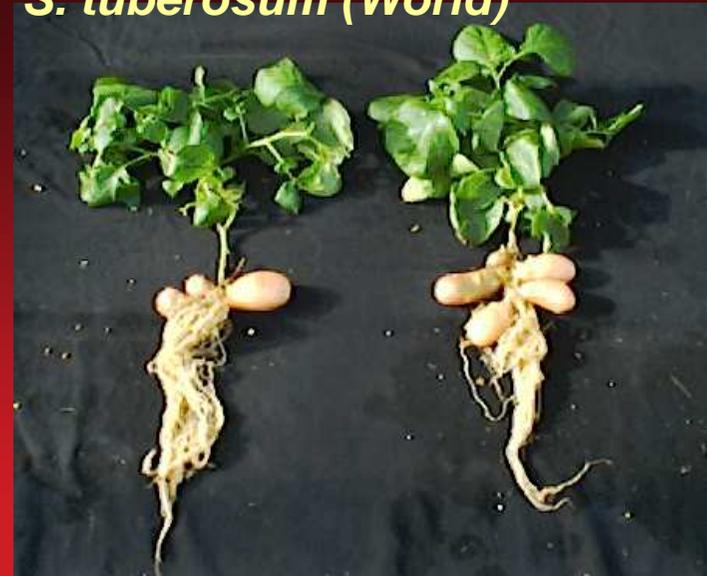


C<sub>i</sub> / C<sub>a</sub> ratio



*S. tuberosum*    *S. curtilobum*

*S. tuberosum* (World)



*S. curtilobum* (Andean)



360

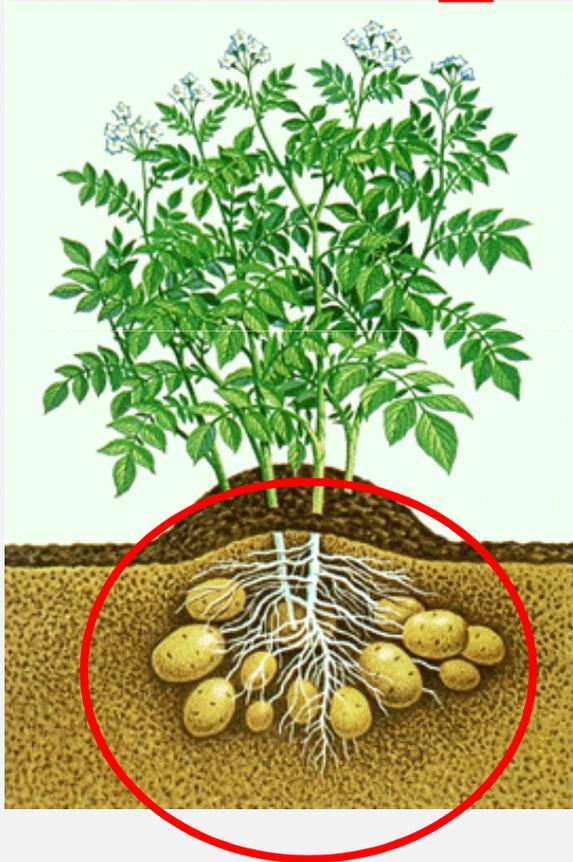
720

CO<sub>2</sub> concentration (ppm)

# Força do dreno e produtividade



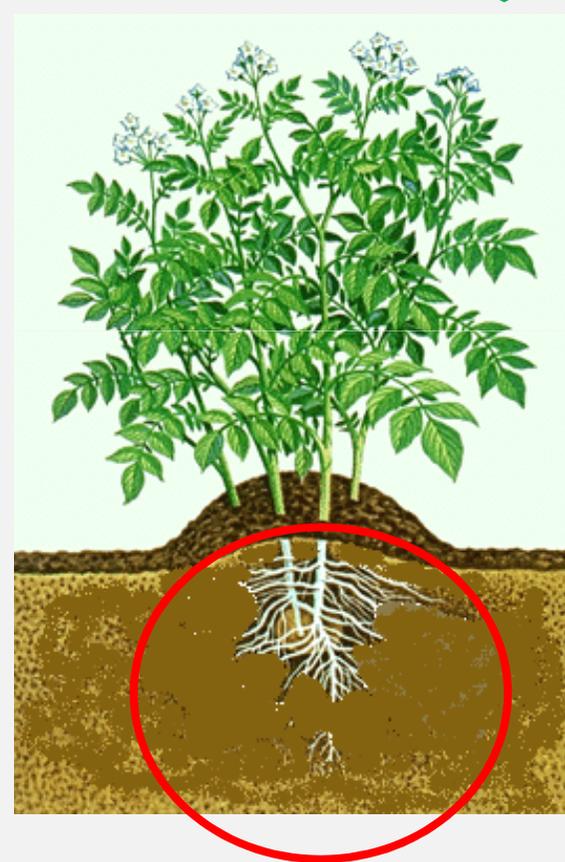
Fotossíntese



Maior força dreno



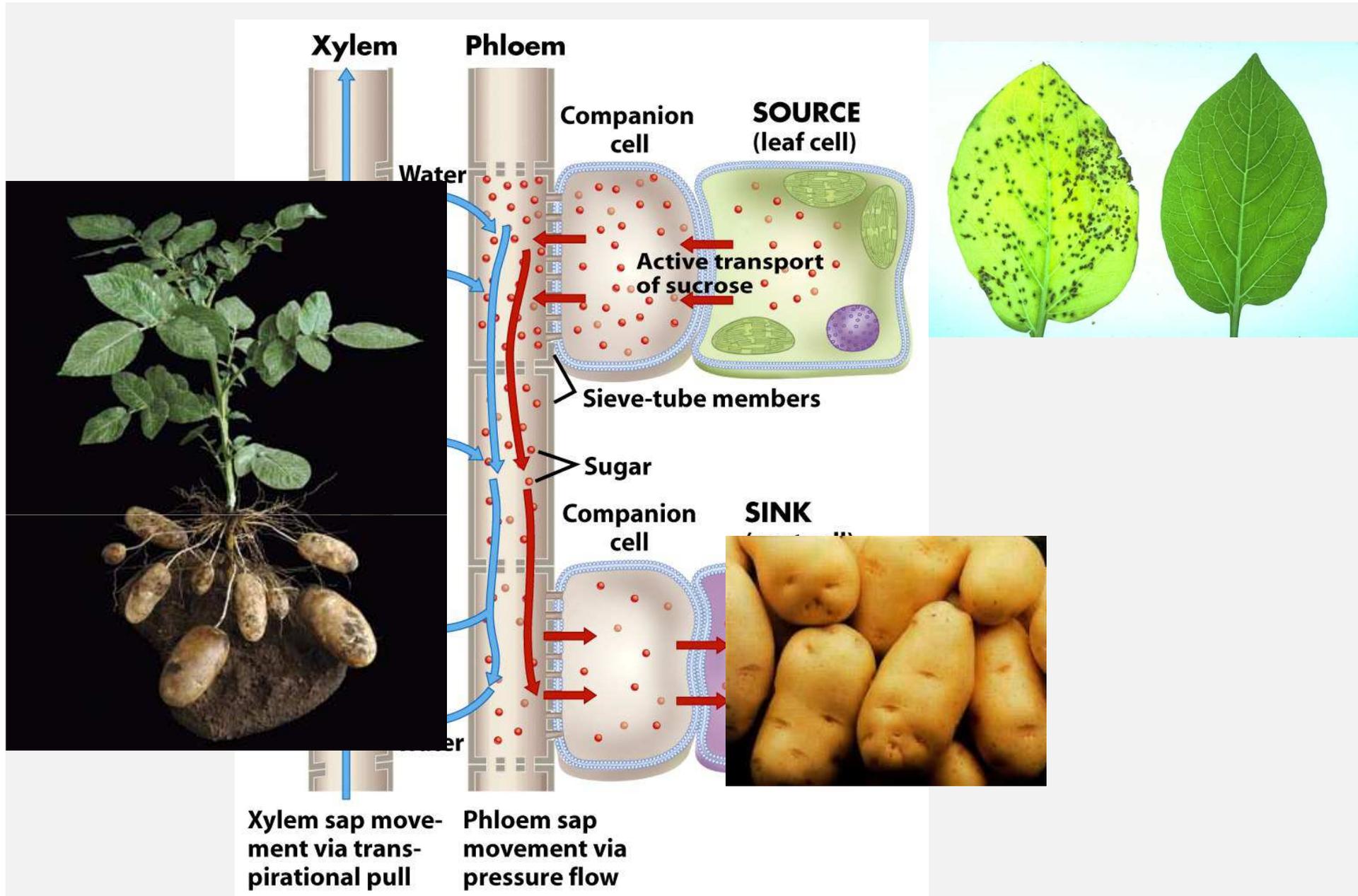
Fotossíntese



Menor força dreno

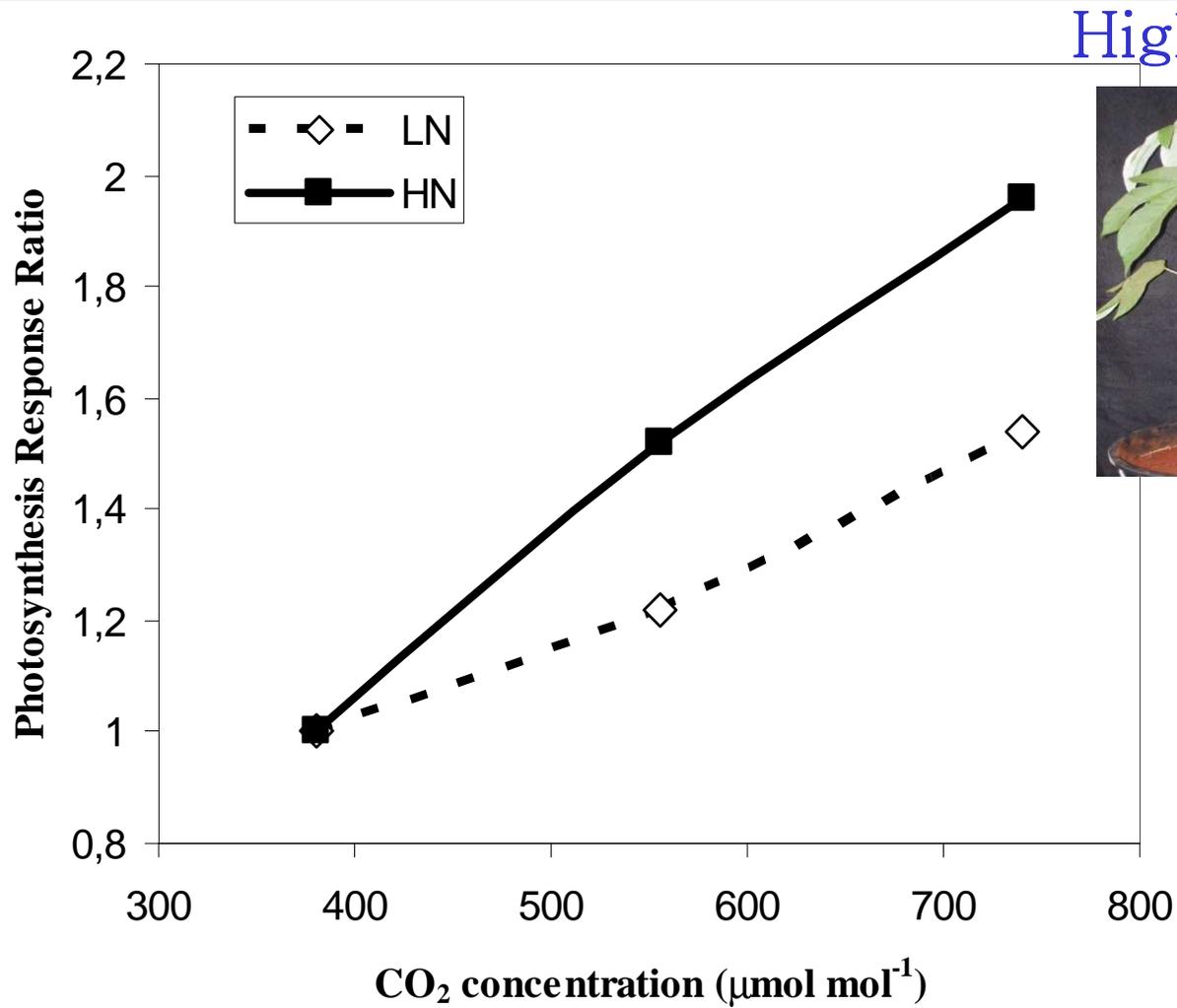


**Enxerto ideal para elevados níveis de CO<sub>2</sub>**



**Precisamos conhecer melhor a relação fonte-dreno em plantas**

## Previous research: CO<sub>2</sub> interacts with other environmental and soil factors



High nutrient soil



Low nutrient soil

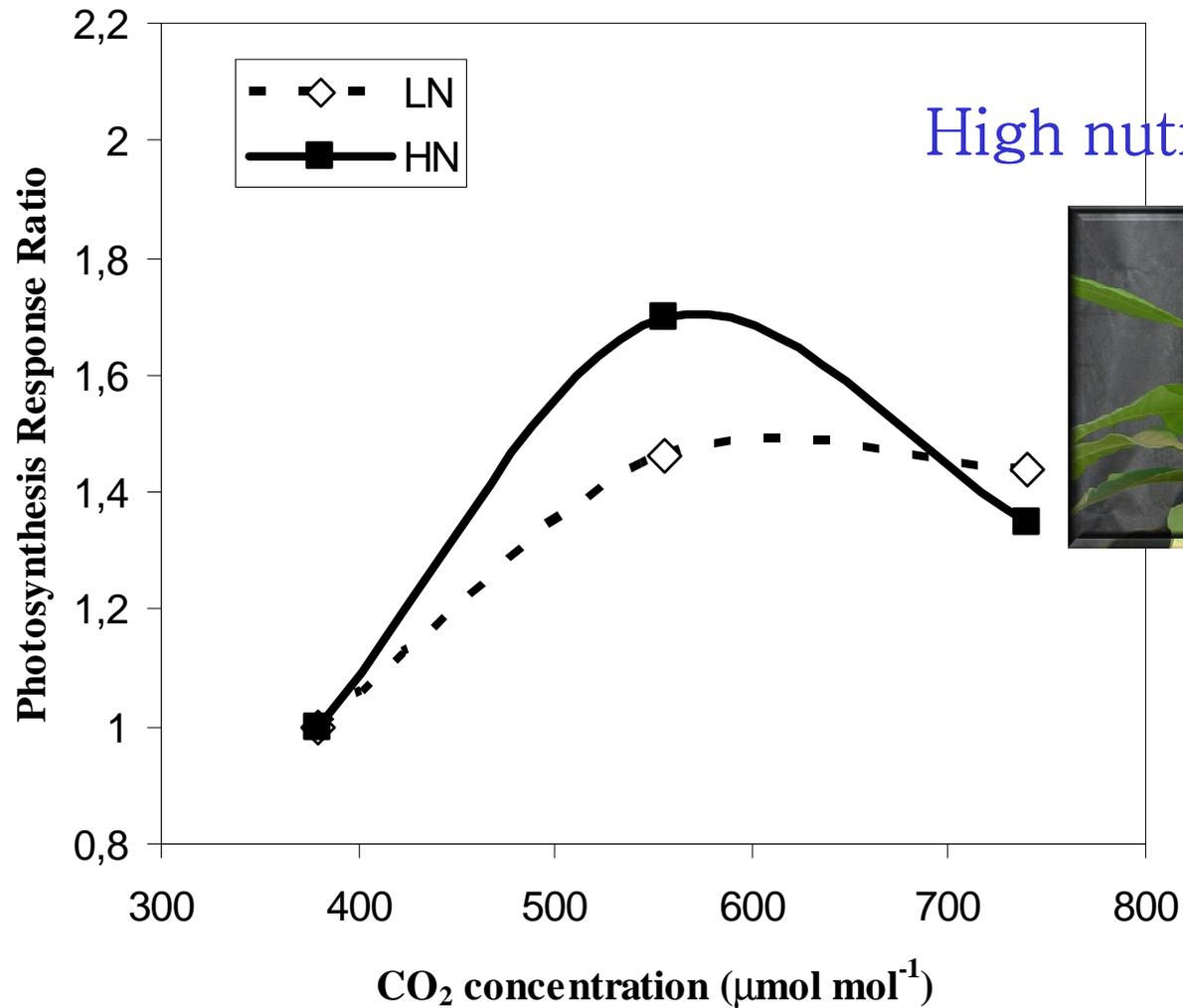


OPEN TOP CHAMBERS

Response of a pioneer tropical tree (*Cecropia pachystachya*) to three levels of CO<sub>2</sub>

Martinez et al., 2006

# Non-linear response of plants to CO<sub>2</sub>



High nutrient soil

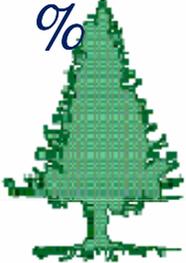
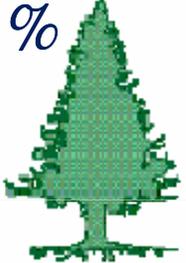
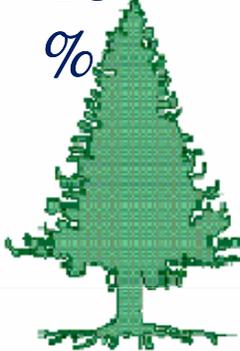
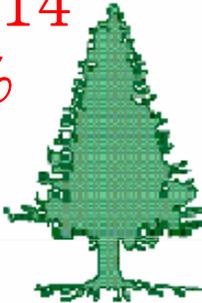
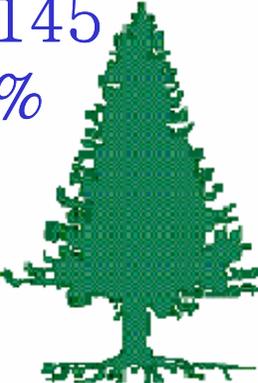
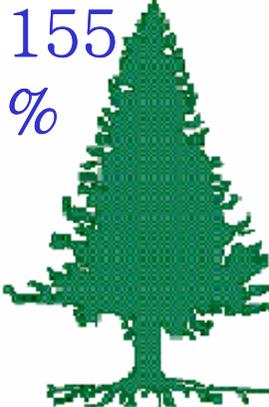


Low nutrient soil

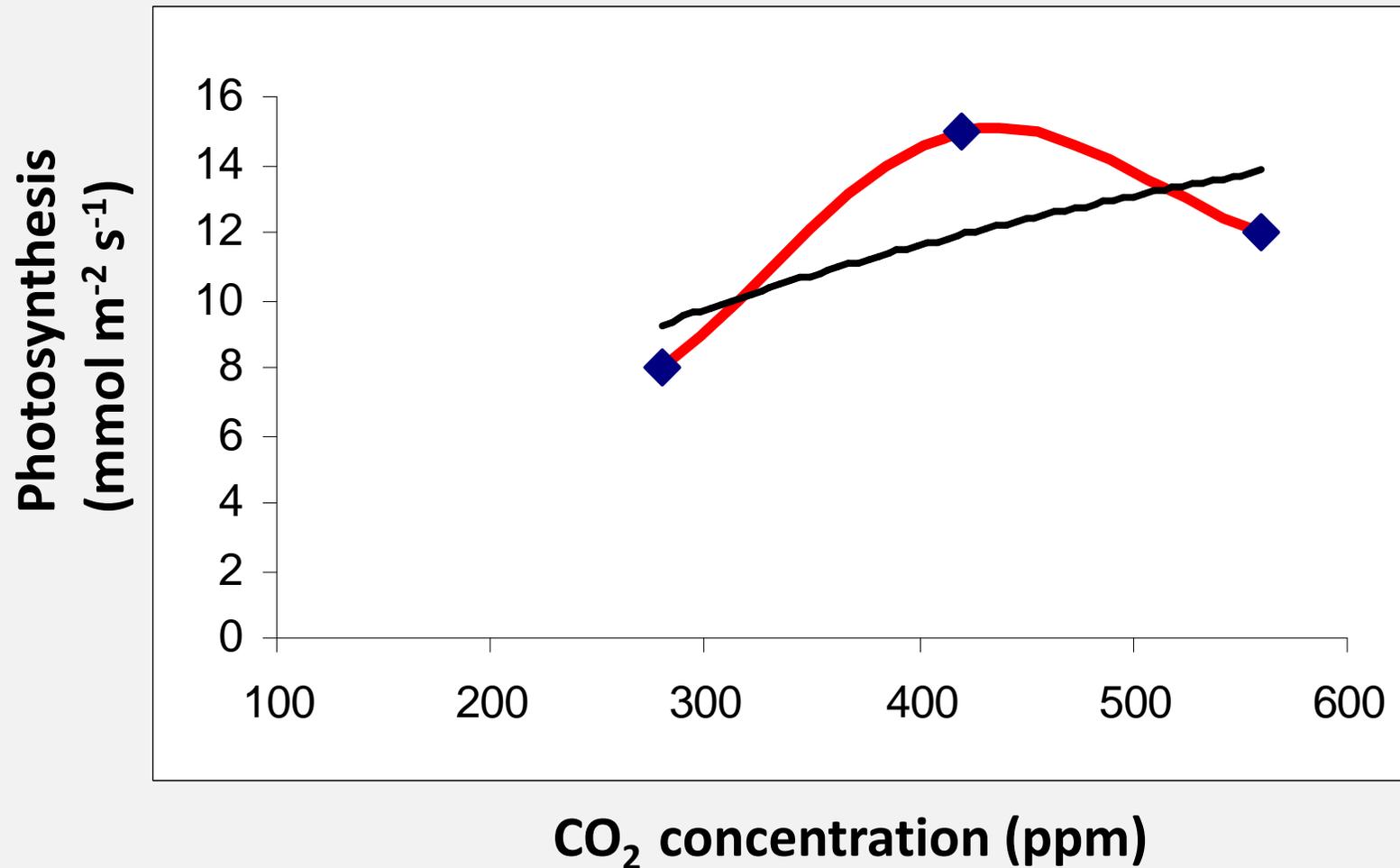
Response of late successional tree tropical species (*Essenbeckia leiocarpa*) to three levels of CO<sub>2</sub>

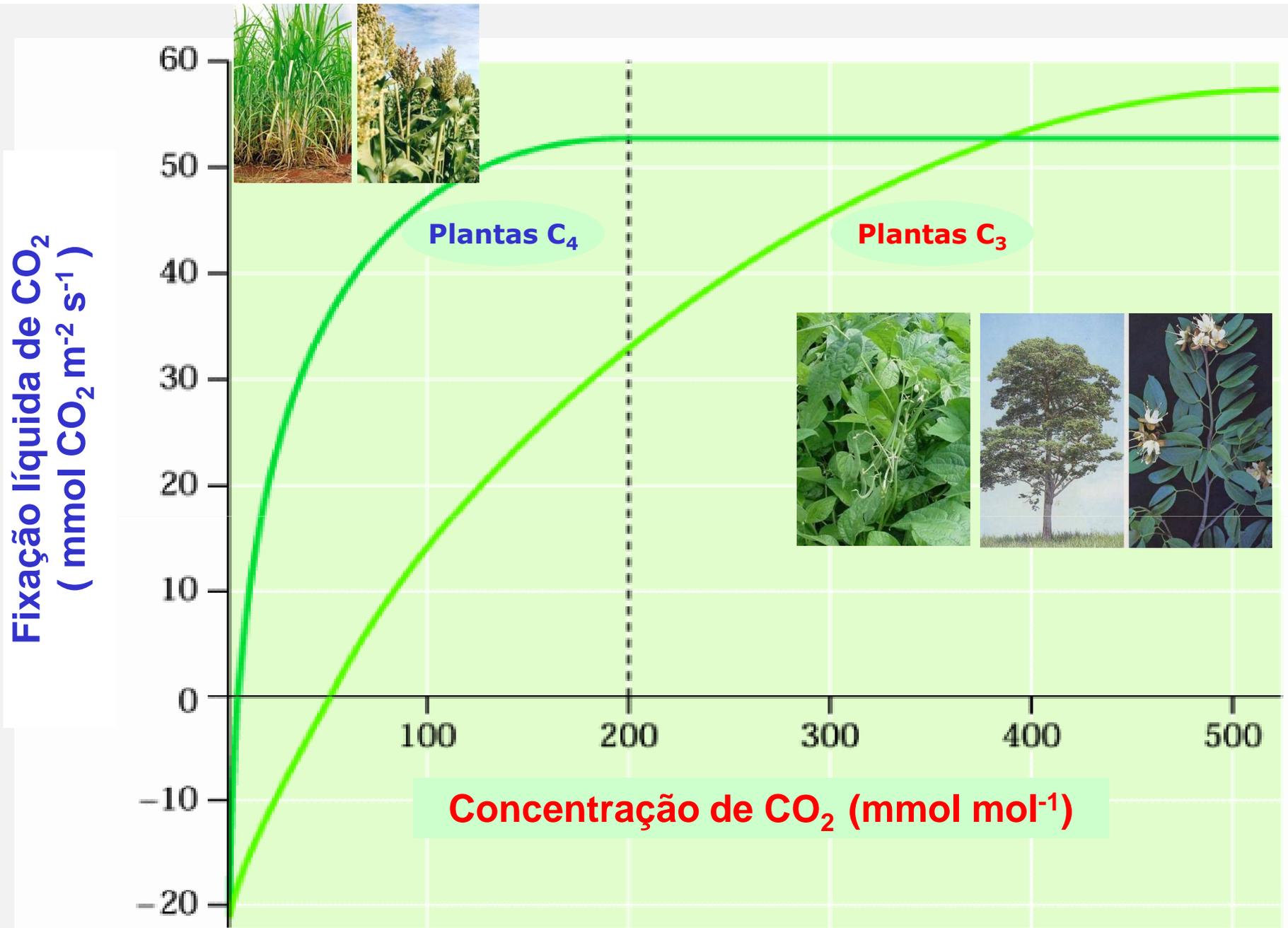
Martinez et al., 2006

# Experimentos de elevados níveis de CO<sub>2</sub> em plantas irrigadas e adubadas

	350 ppm	467 ppm	583 ppm	700 ppm
irrigadas	100 % 	100 % 	134 % 	114 % 
adubadas	100 % 	145 % 	155 % 	114 % 

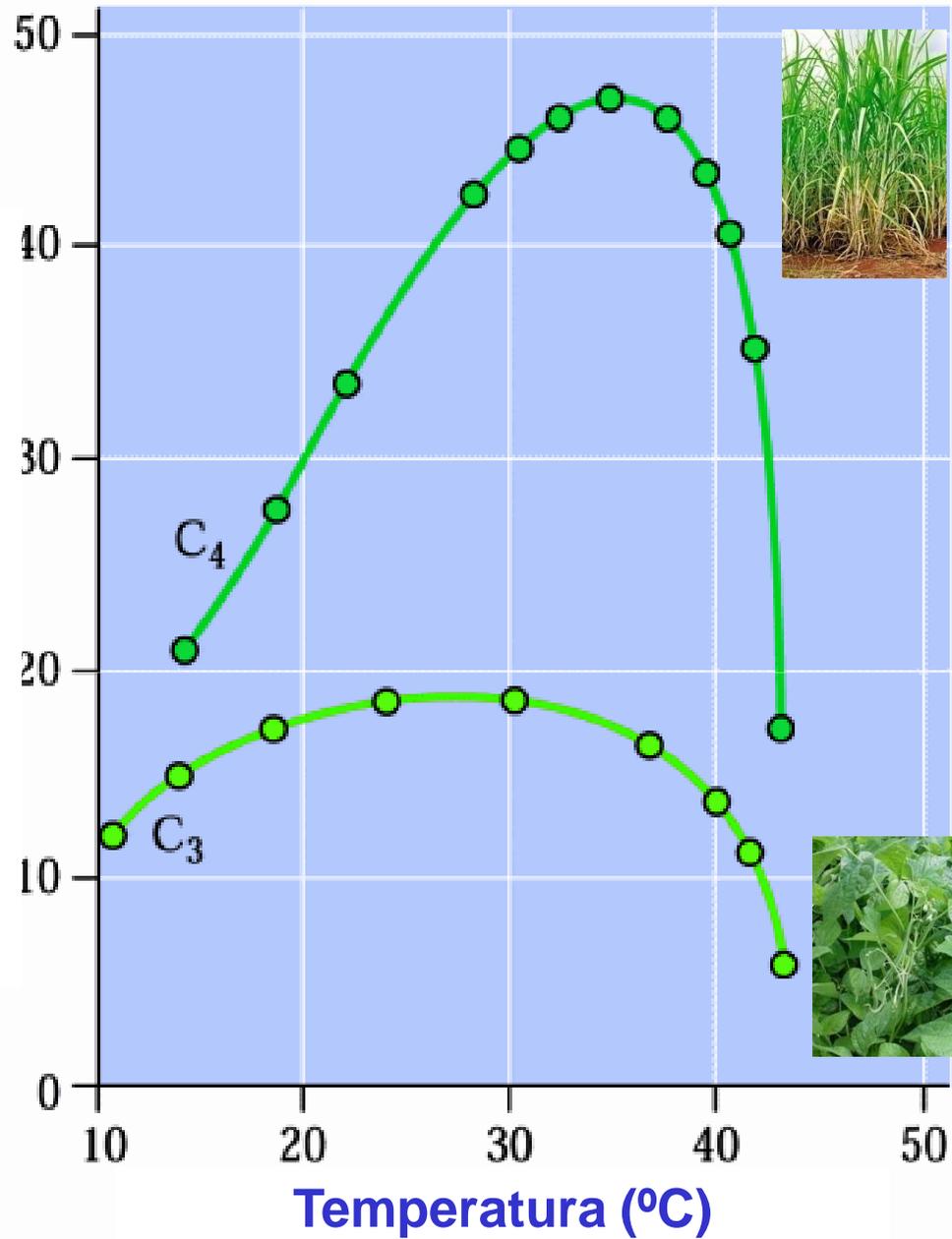
## Non-linear response of plants to CO<sub>2</sub>





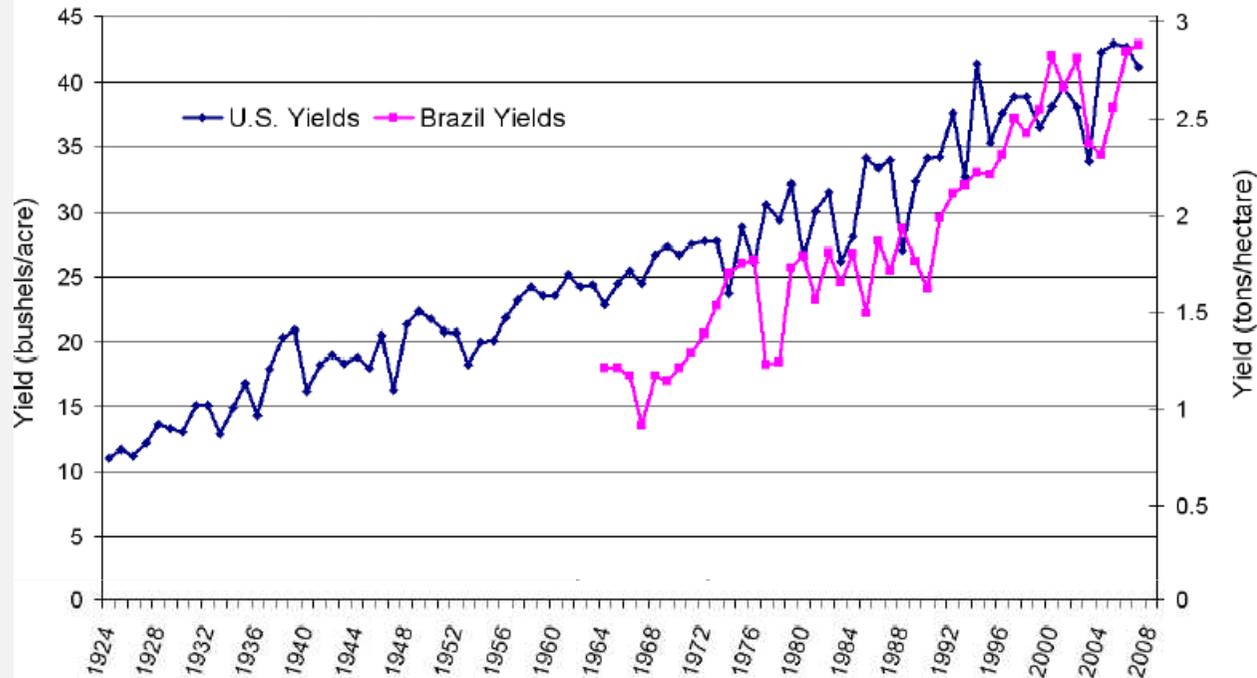
**Resposta da fotossíntese a [CO<sub>2</sub>]**

Fixação líquida de CO<sub>2</sub>  
( μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> )



Resposta da fotossíntese a temperatura

## Historical Soybean Yields for U.S. and Brazil

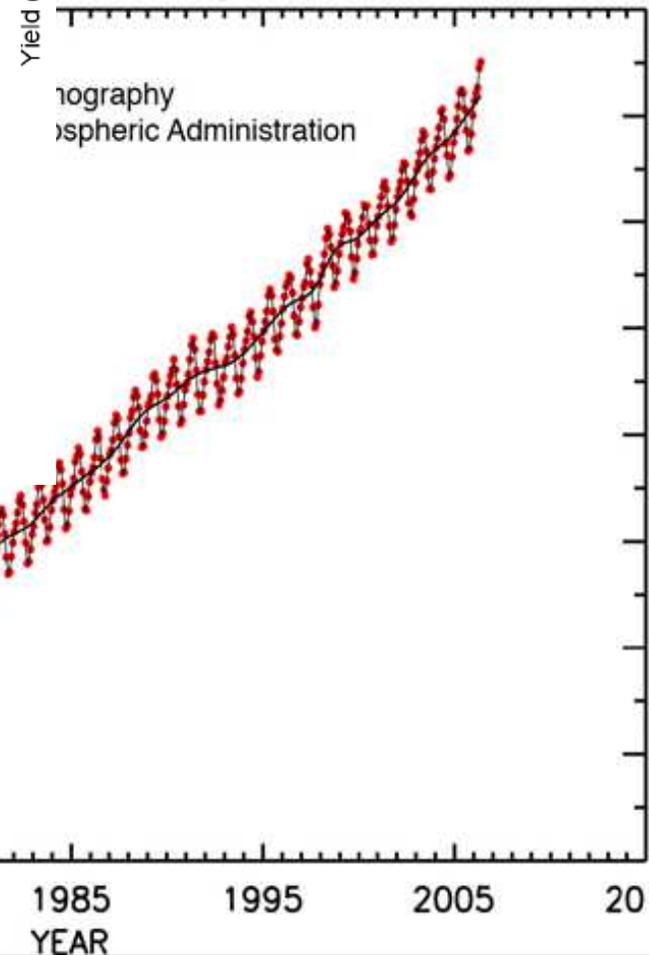


Data Source: USDA's NASS and PSD Online

Linking U.S. Agriculture to the World  
**FAS**  
 Foreign Agricultural Service

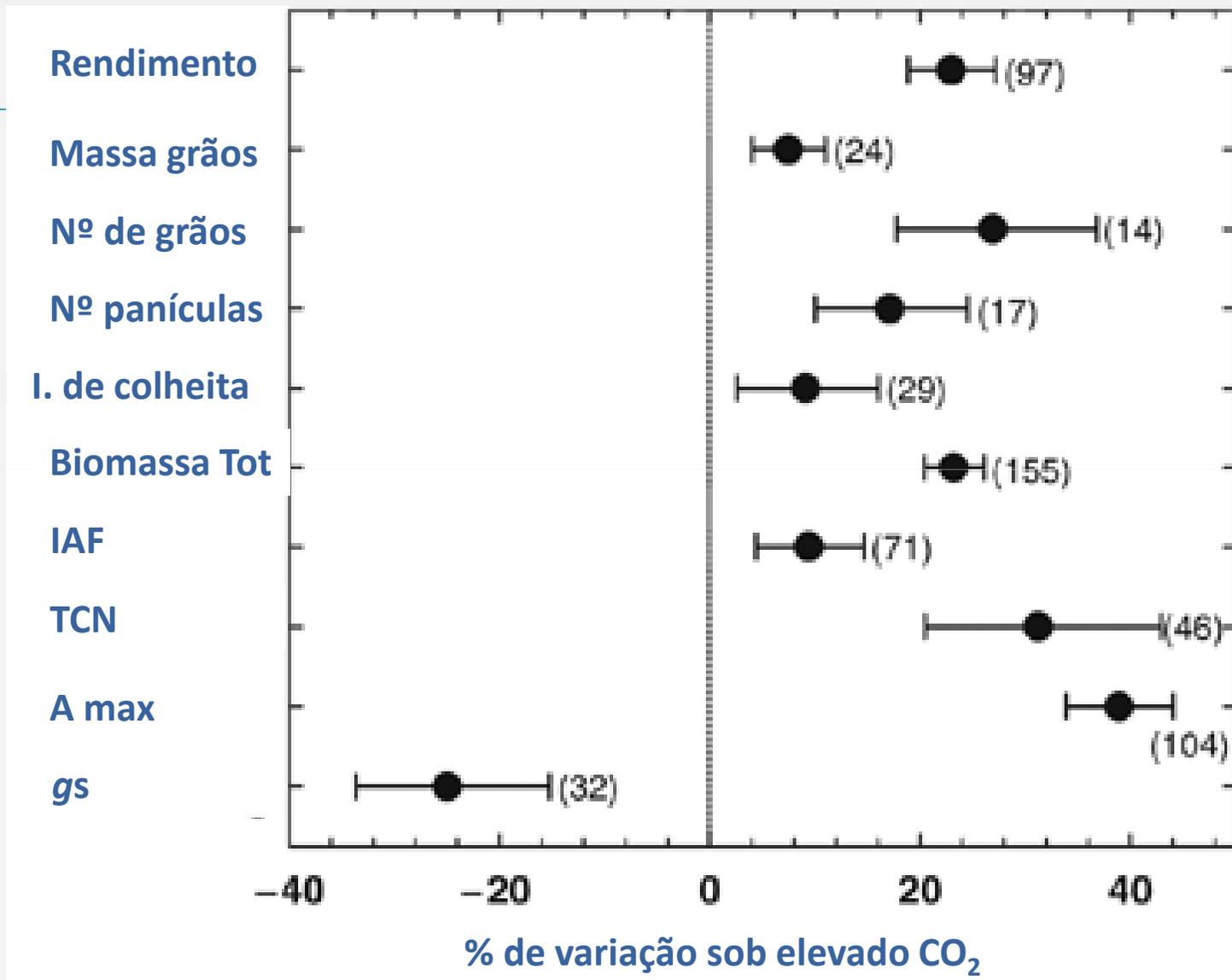
## Mean Carbon Dioxide

MD Carbon Cycle



**Qual a contribuição do CO<sub>2</sub> como fertilizante?**

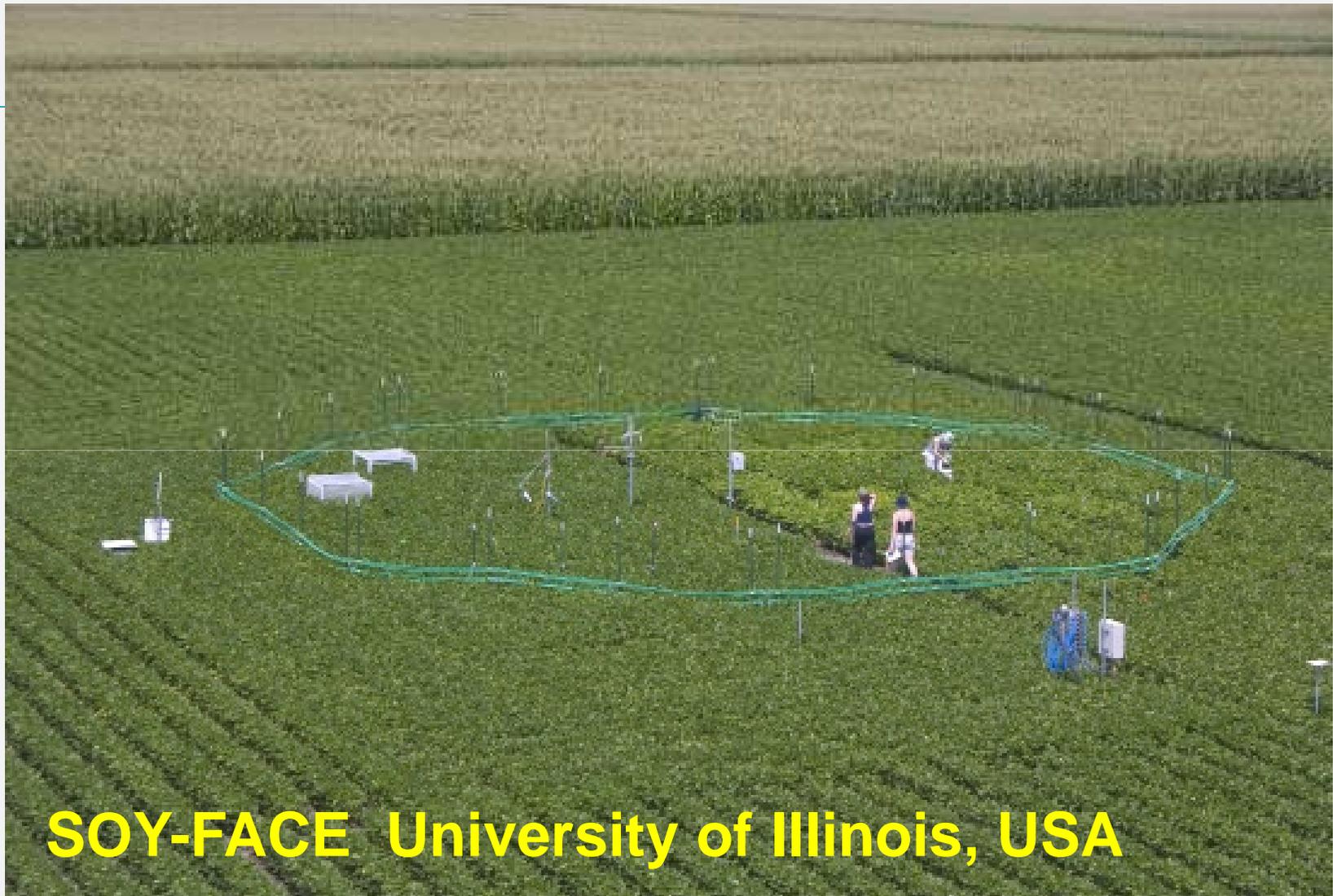
## RESPOSTA DO ARROZ A ELEVADA [CO<sub>2</sub>]



## Câmaras de Topo Aberto (OTCs)

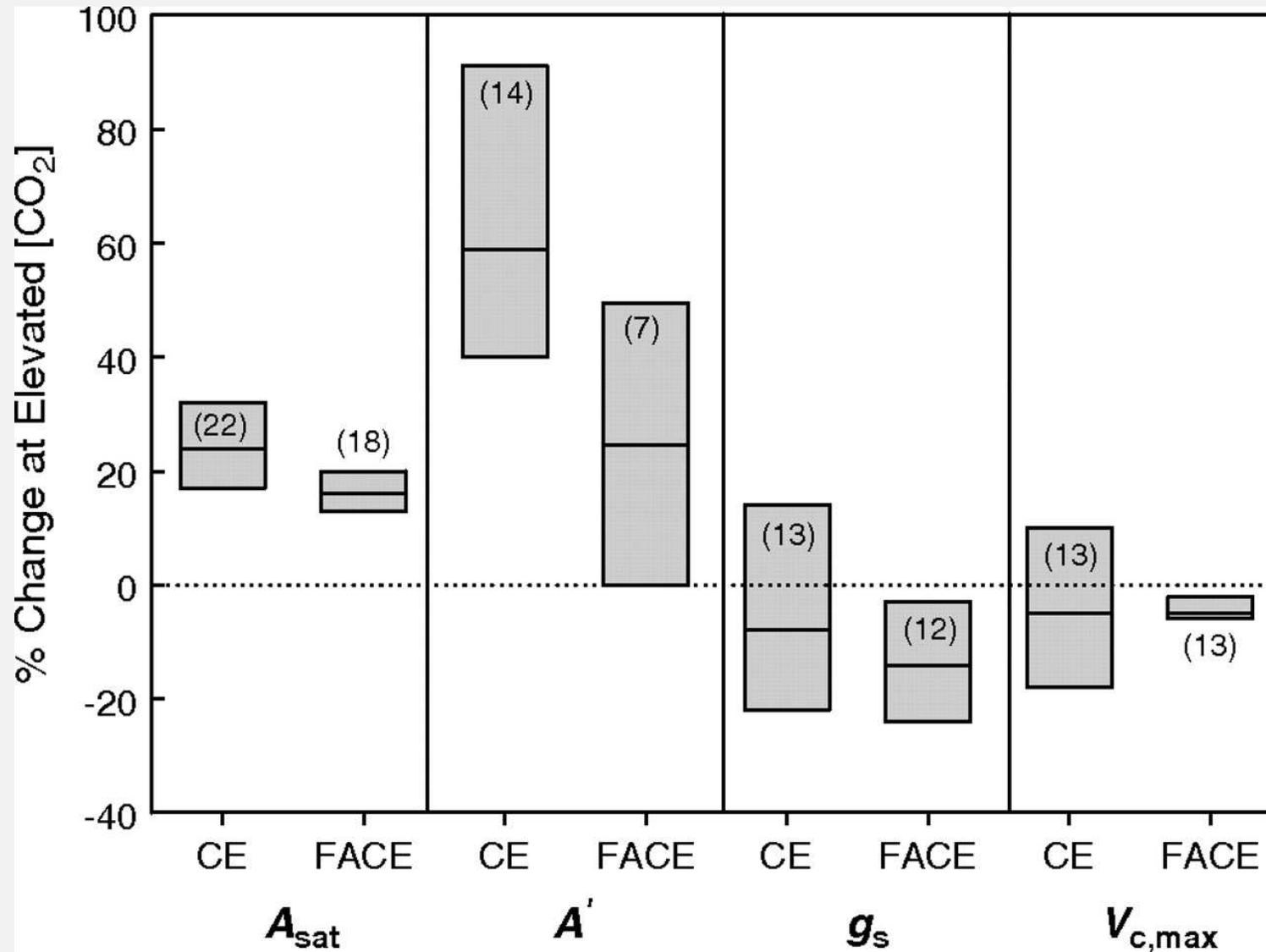


**Analizador de gases**



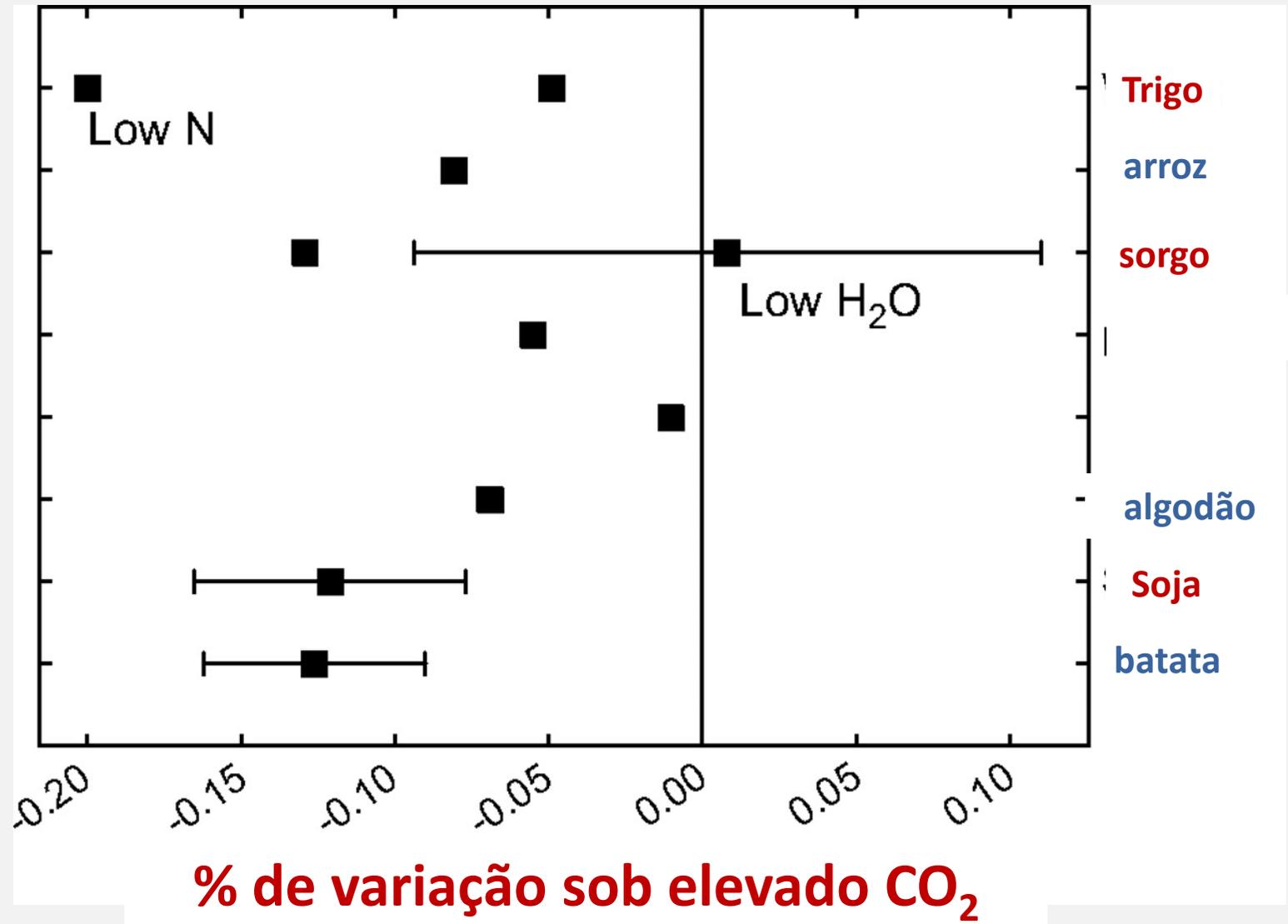
**SOY-FACE University of Illinois, USA**

## O efeito “fertilizante” do CO<sub>2</sub> em experimentos FACE em plantas cultivadas é menor do esperado (exp. soja)



# A evapotranspiração diminui com elevados níveis de CO<sub>2</sub>

Leakey, et al. J. Exp. Bot. 2009



# **Mudança Climática e Estresse abiótico em plantas**

# Incremento do Estresse abiótico em plantas

**Altas temperaturas**



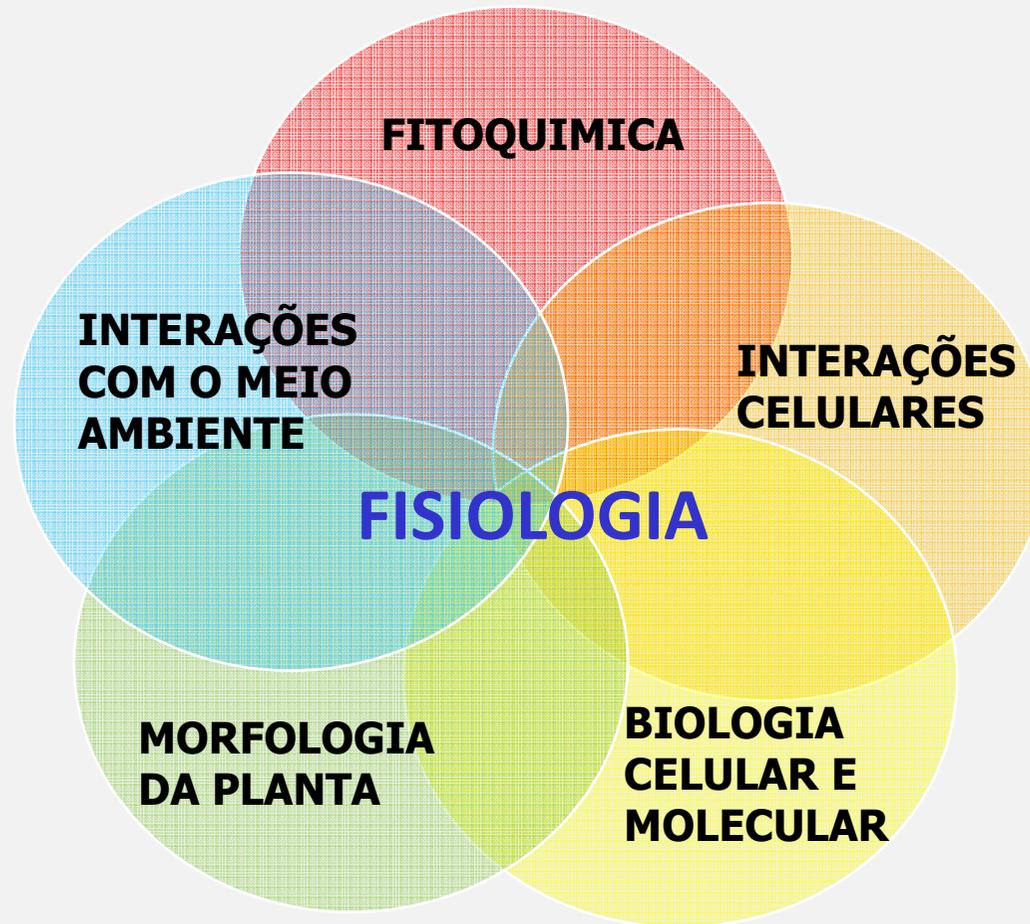
**baixas temperaturas**



**Seca**



**Deficiência nutricional**



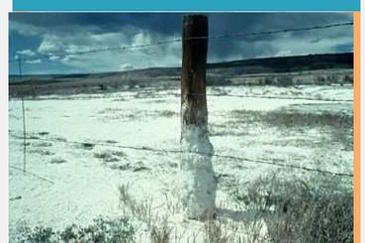
**Alta irradiância**



**Toxicidade de elementos**



**Salinidade**



**Alagamento**



# Perdas de produtividade em decorrência do estresse biótico e abiótico

Boyer, 1982

Cultura	Rend. Recorde (Ton/ha)	Rend. Médio (Ton/ha)	Perdas (%)			
			Doenças	Pragas	Ervas daninhas	Estresse abiótico
Milho	19,3	4,6	0,7	0,7	0,5	12,7
Trigo	14,5	1,9	0,4	0,1	0,2	11,9
Soja	7,4	1,6	0,3	0,1	0,3	5,1
Sorgo	21,1	2,8	0,3	0,3	0,4	16,2
Aveia	10,6	1,7	0,4	0,1	0,3	7,9
Cevada	11,4	2,0	0,4	0,1	0,2	8,5
Batata	94,1	42,6	8,0	5,9	0,8	50,9
Média % RR		21,6 (Perdas 78,4%)	4,1	2,6	2,6	69,1

# Produtividade de culturas - Brasil

IBGE, 2009

Cultura	Rend. Recorde (Ton/ha)	Rend. Médio Ton/ha) 2008	Perdas			
			Doenças	Pragas	Ervas daninhas	Estresse abiótico
Milho	<b>19,3</b>	<b>4,1</b>	?	?	?	?
Trigo	<b>14,5</b>	<b>2,5</b>	?	?	?	?
Soja	<b>7,4</b>	<b>2,8</b>	?	?	?	?
Sorgo	<b>21,1</b>	<b>2,4</b>	?	?	?	?
Aveia	<b>10,6</b>	<b>2,0</b>	?	?	?	?
Cevada	<b>11,4</b>	<b>3,0</b>	?	?	?	?
Batata	<b>94,1</b>	<b>30,0</b>	?	?	?	?
Média % do Rend. Recorde		<b>26,2</b>	<b>Total de perdas: 73,8 %</b>			

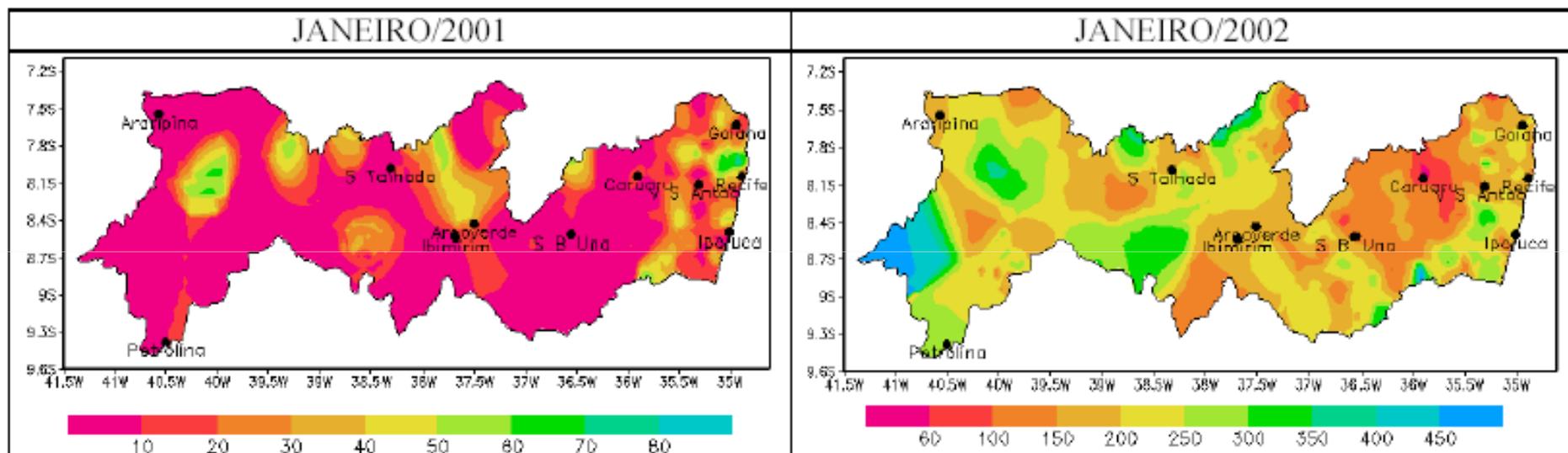
## Produção potencial e realizada e perdas até a pré-colheita, da safra de milho, por Unidade da Federação - 1996-2002

### PERNAMBUCO

ANO	Produção Potencial (Mt)	Produção Realizada (Mt)	% perdas	
1996	255,1	236,3	7,4	
1997	233,8	186,6	20,1	
1998	59,0	15,1	74,3	
1999	88,9	34,9	60,7	
2000	185,3	139,7	24,6	
2001	89,7	20,5	77,1	
2002	126,3	86,6	31,4	
MÉDIA			42,6	

Fonte IBGE

# PRECIPITAÇÃO PERNAMBUCO



**77,1%**

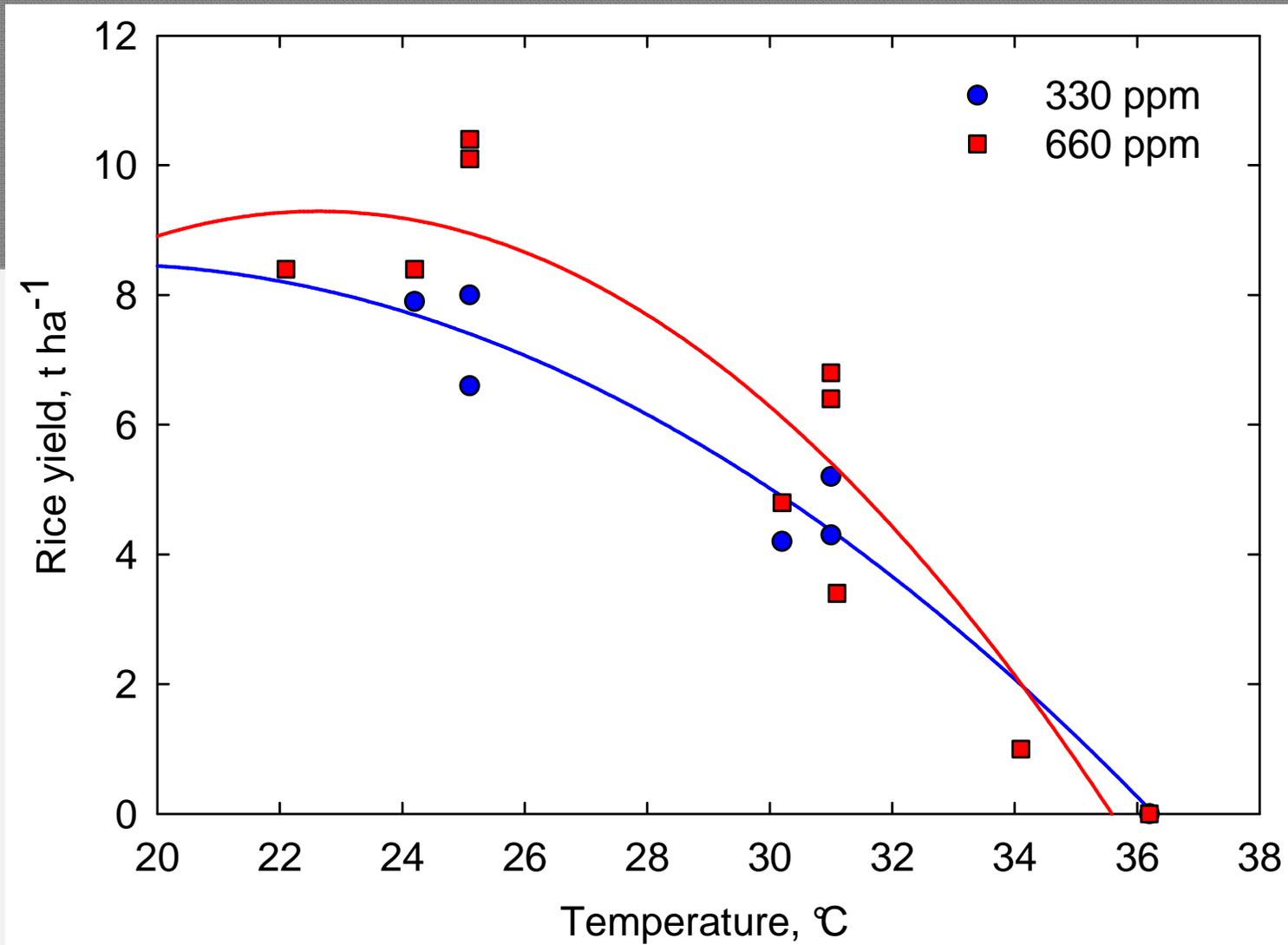
**31,4%**

**PERDAS DA PRODUÇÃO DE MILHO**

Fonte: Ferreira et al, 2002

# Mudança climática e produtividade agrícola

## Temperatura e CO<sub>2</sub> em arroz



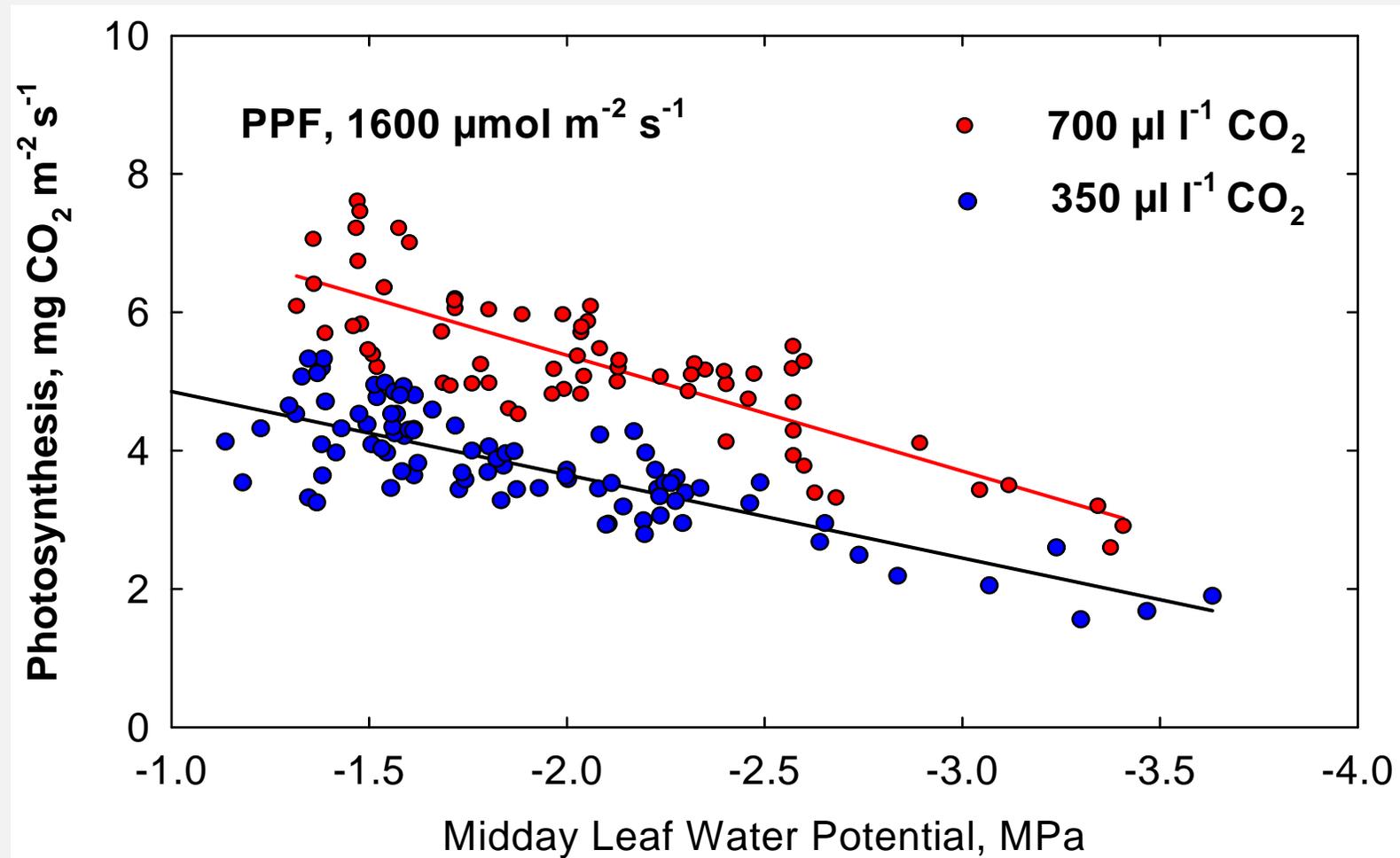
Baker and Allen, 1993

# Mudança climática e produtividade agrícola

## Efeitos da temperatura sob o rendimento

Cultura	T opt. °C	T max. °C	Rend. T opt ( t/ha)	Rend at 28 °C, (t/ha)	Rend a 32°C (t/ha)	% diminuição (28 to 32 °C)
Arroz	25	36	7.55	6.31	2.93	54
Soja	28	39	3.41	3.41	3.06	10
Feijão	22	32	2.87	1.39	0.00	100
Amendoim	25	40	3.38	3.22	2.58	20
Sorgo	26	35	12.24	11.75	6.95	41

# Elevado CO<sub>2</sub> e Estresse hídrico



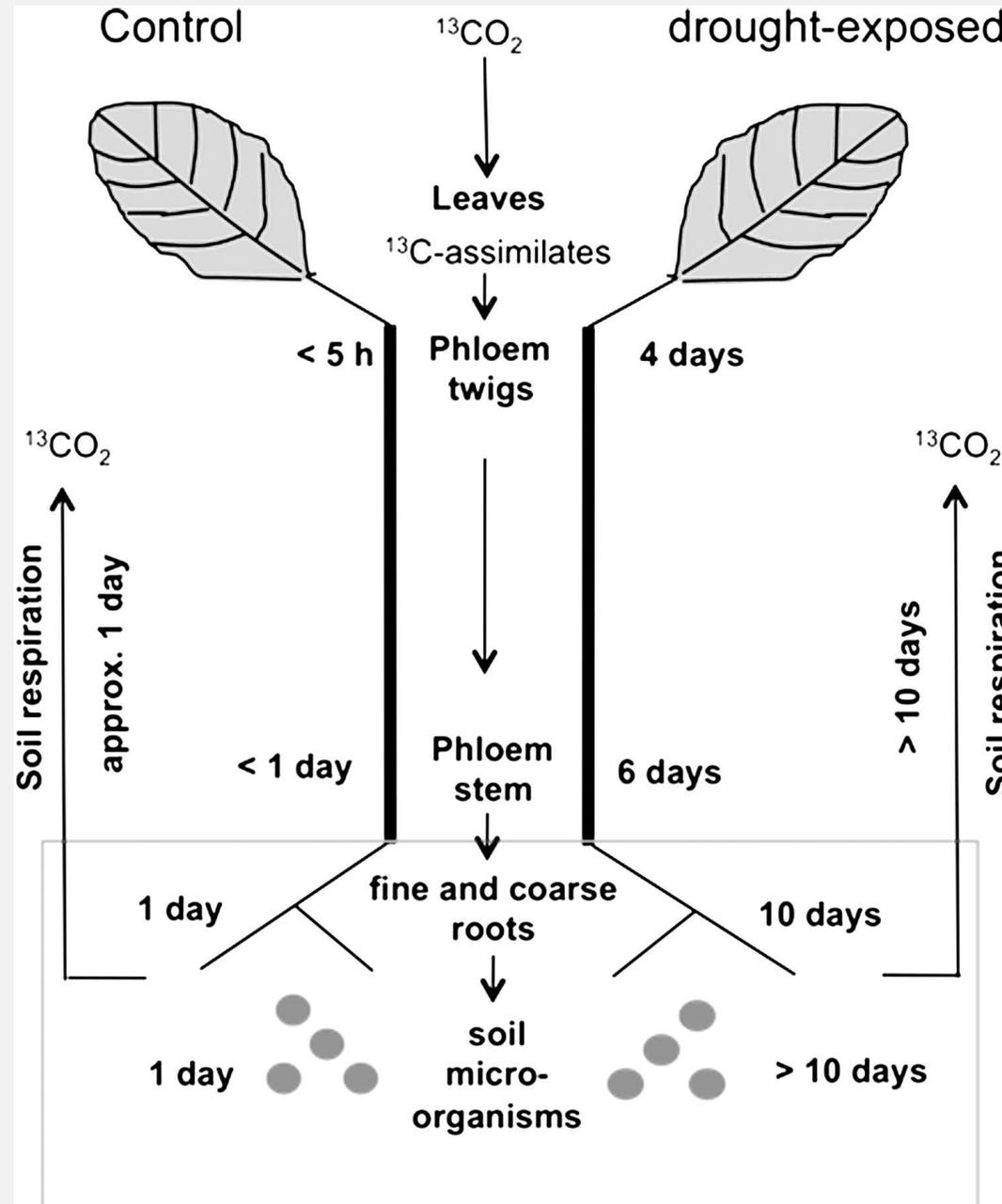
Irrigado



Estresse hídrico

# **Efeitos sobre o balanço de carbono, absorção e balanço de nutrientes**

## Transporte de carbono em plantas controle e expostas a estresse hídrico.



**Estresse mineral induzido  
pelo estresse hídrico (seca  
ou alagamento) decorrente  
da mudança climática**

## SECA

### Alocação do Carbono:

- Redução transferência de fotoassimilados para as raízes

### Nutrientes minerais:

- Redução da capacidade de absorção de nutrientes
- Redução da superfície de absorção de nutrientes
- Redução da disponibilidade de nutrientes
  - Redução da mineralização microbiana
  - Redução da mobilidade dos íons

## ALAGAMENTO

### Nutrientes minerais:

- Redução da disponibilidade de nutrientes ( $\text{NO}_3$  ; K)
- Incremento de formas reduzidas de Mn, Fe, S, N
- Redução da taxa de absorção de nutrientes
- Redução da taxa de expressão de transportadores

### Alocação do carbono

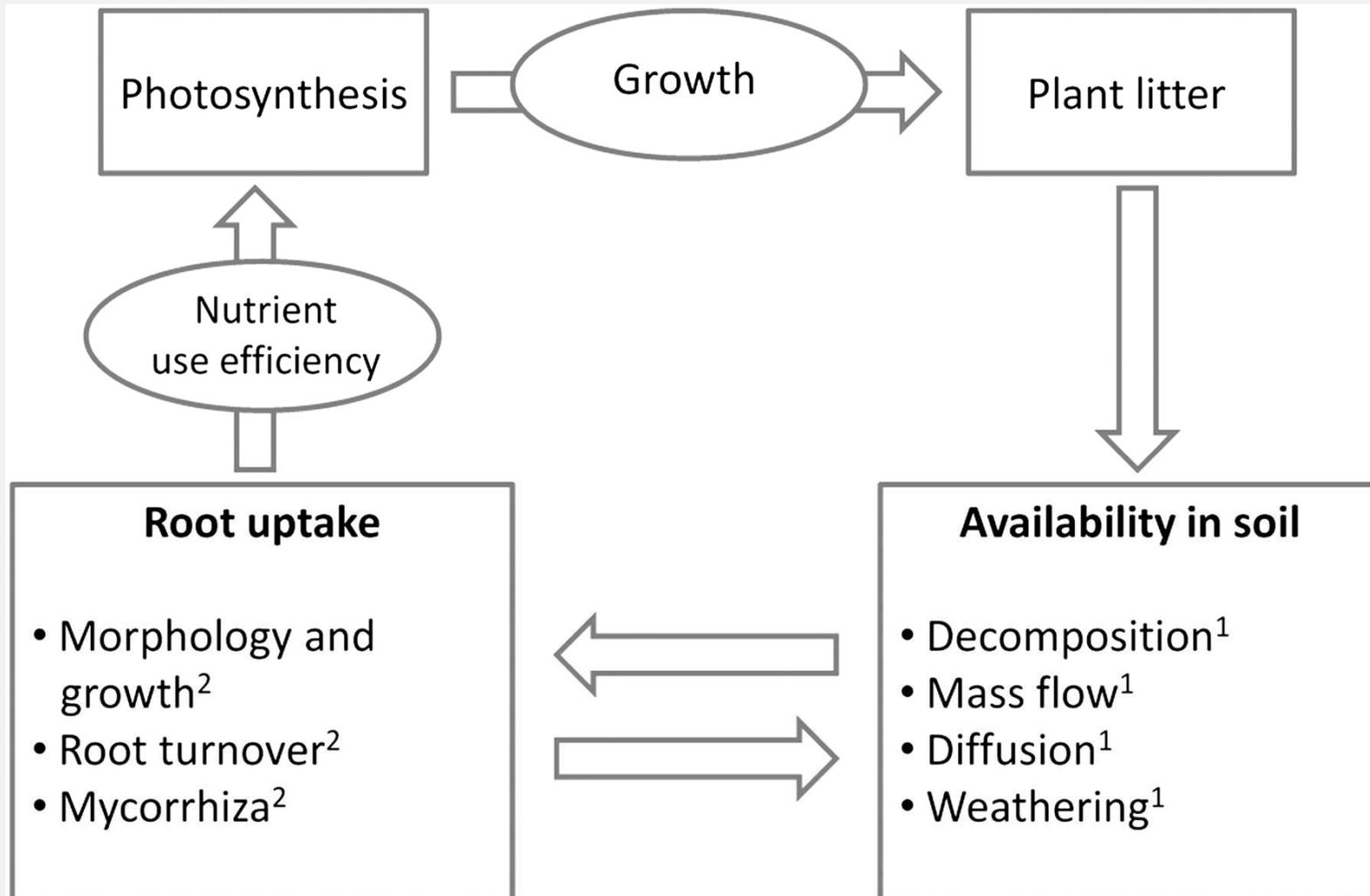
- Redução transferência de fotoassimilados para as raízes

**Efeitos sobre o status nutricional das plantas: decréscimo na concentração e conteúdo de nutrientes**

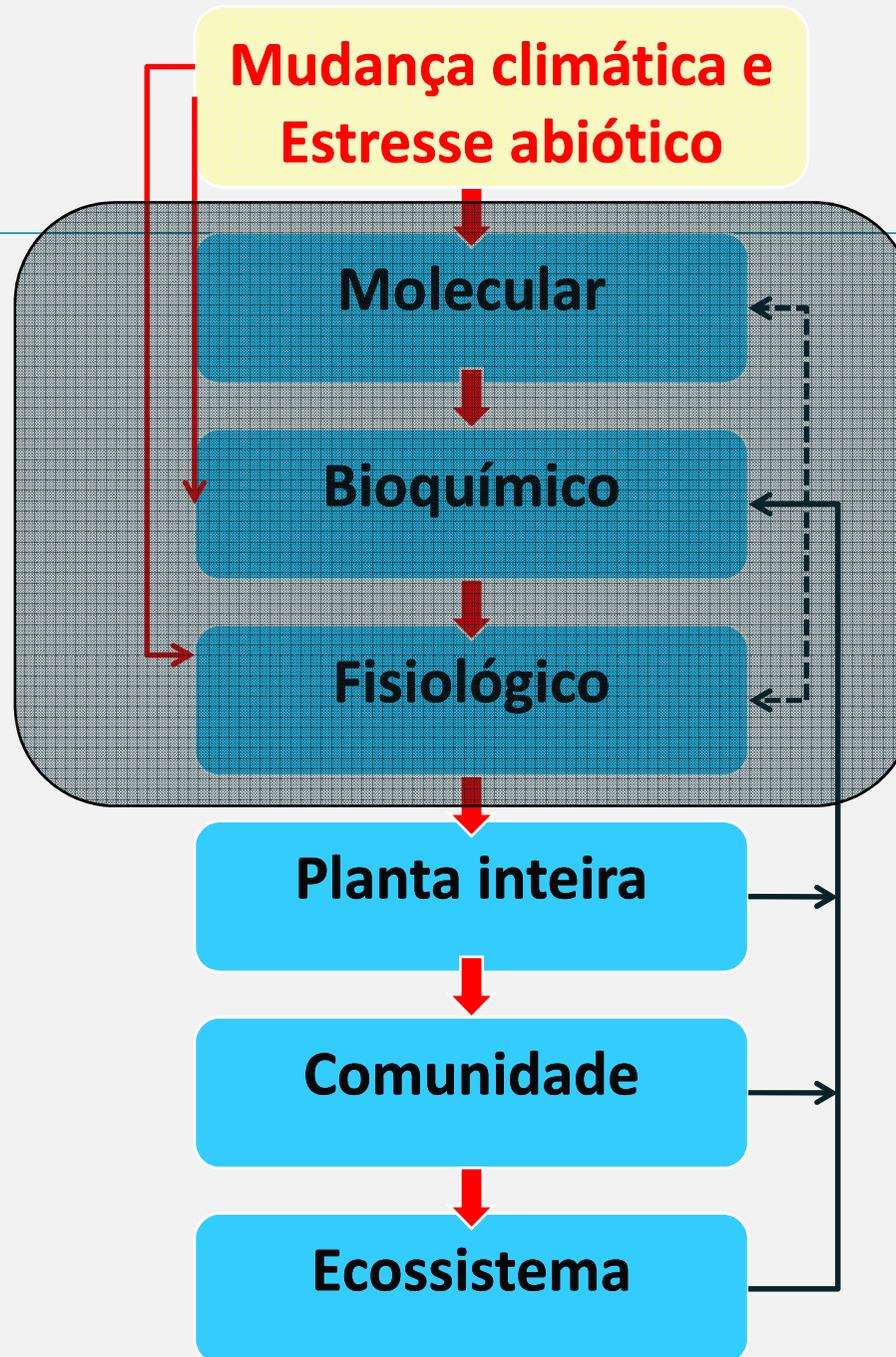
## Potenciais interações das variáveis da mudança climática com o estresse nutricional

Processo	Variável da Mudança Climática	Interação com Estresse Mineral
Fluxo de água através da Transpiração	CO <sub>2</sub> , UR, Luz, Temperatura	NO <sub>3</sub> , SO <sub>4</sub> , Ca, Mg, Si
Crescimento Radicular e Arquitetura	CO <sub>2</sub> , precipitação, temperatura solo	Todos os nutrientes, especialmente P e K
Micorrizas	CO <sub>2</sub> , temperatura	P, Zn (VAM), N (ectomicorrizas)
Exudato de Raízes	CO <sub>2</sub>	Toxicidade de Al, absorção de metais e P
Fixação Biológica de Nitrogênio	CO <sub>2</sub>	N
Crescimento	CO <sub>2</sub>	N e P (limitação progressiva de nutrientes)

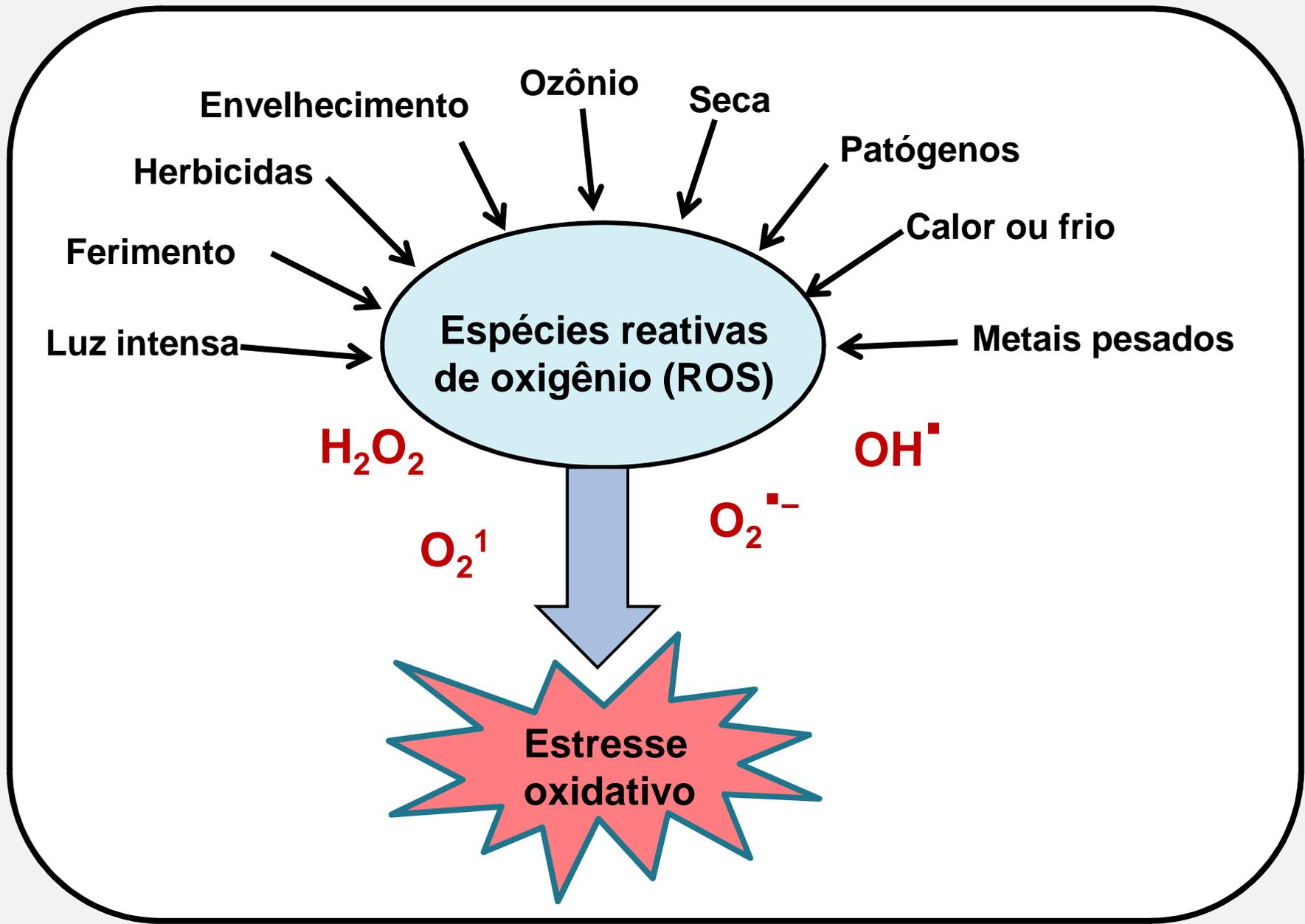
## Processos do Ciclo de Nutrientes que são afetados direta (1) e indiretamente (2) pelo incremento da temperatura



**CAIXA PRETA DE  
MECANISMOS**



Leakey et al, 2009



Envelhecimento

Ozônio

Seca

Herbicidas

Patógenos

Ferimento

Calor ou frio

Luz intensa

Metais pesados

**Espécies reativas  
de oxigênio (ROS)**



**Estresse  
oxidativo**

# Sistemas FACE (Free-Air Concentration Enrichment)



**FACTS – 1, Loblolly Pine, Duke Forest, NC, USA**





UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
FFCLRP – Departamento de Biologia

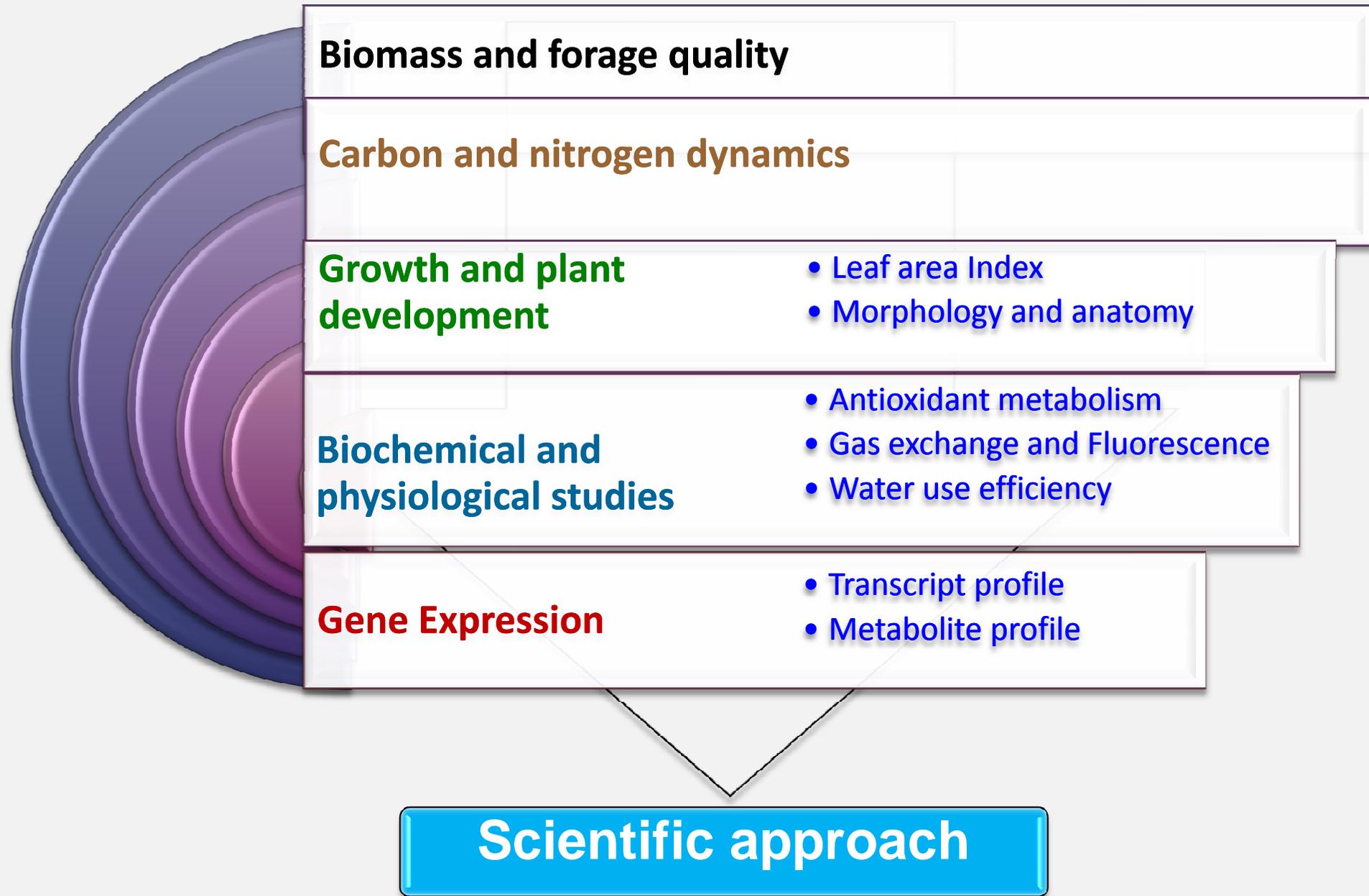


FAPESP RESEARCH PROGRAM ON GLOBAL CLIMATE CHANGE

**MiniFACE climate-change experiment to analyze the effects of elevated CO<sub>2</sub> and warming on photosynthesis, gene expression, biochemistry, growth, nutrient dynamics and yield of two contrasting tropical forage species**

**Term: 07/2011 – 06/2015**

**Carlos Alberto Martinez**



**Mini-FACE system  
(simulated)**



**METHODOLOGY**

**elevated CO<sub>2</sub>**

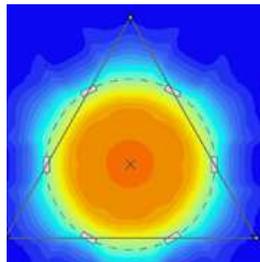
Liquid CO<sub>2</sub> Storage Tank



**Infra-red heating**



**Warming (simulated)**



**Thermal imaging**

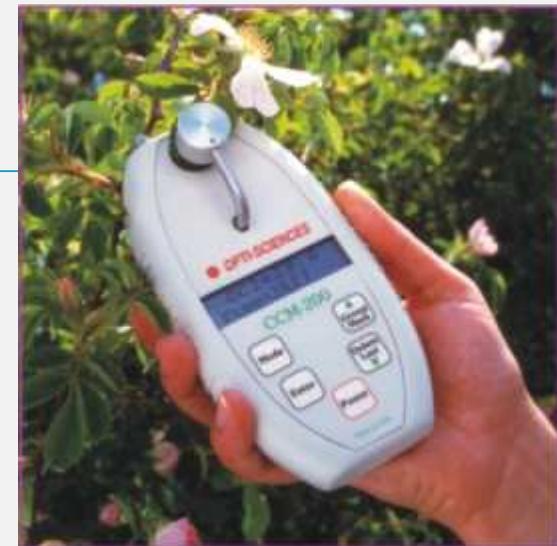


**Kimball & Conley, 2009**

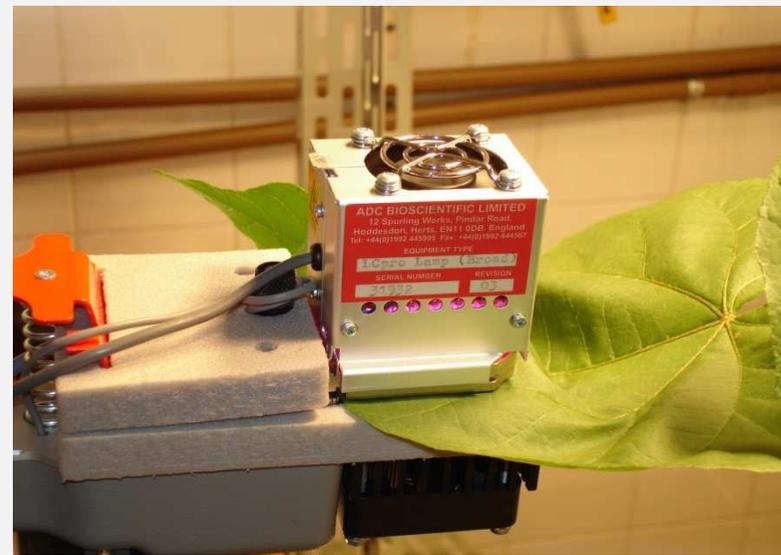
# AVALIAÇÕES FISIOLÓGICAS



**FLUORÔMETROS**



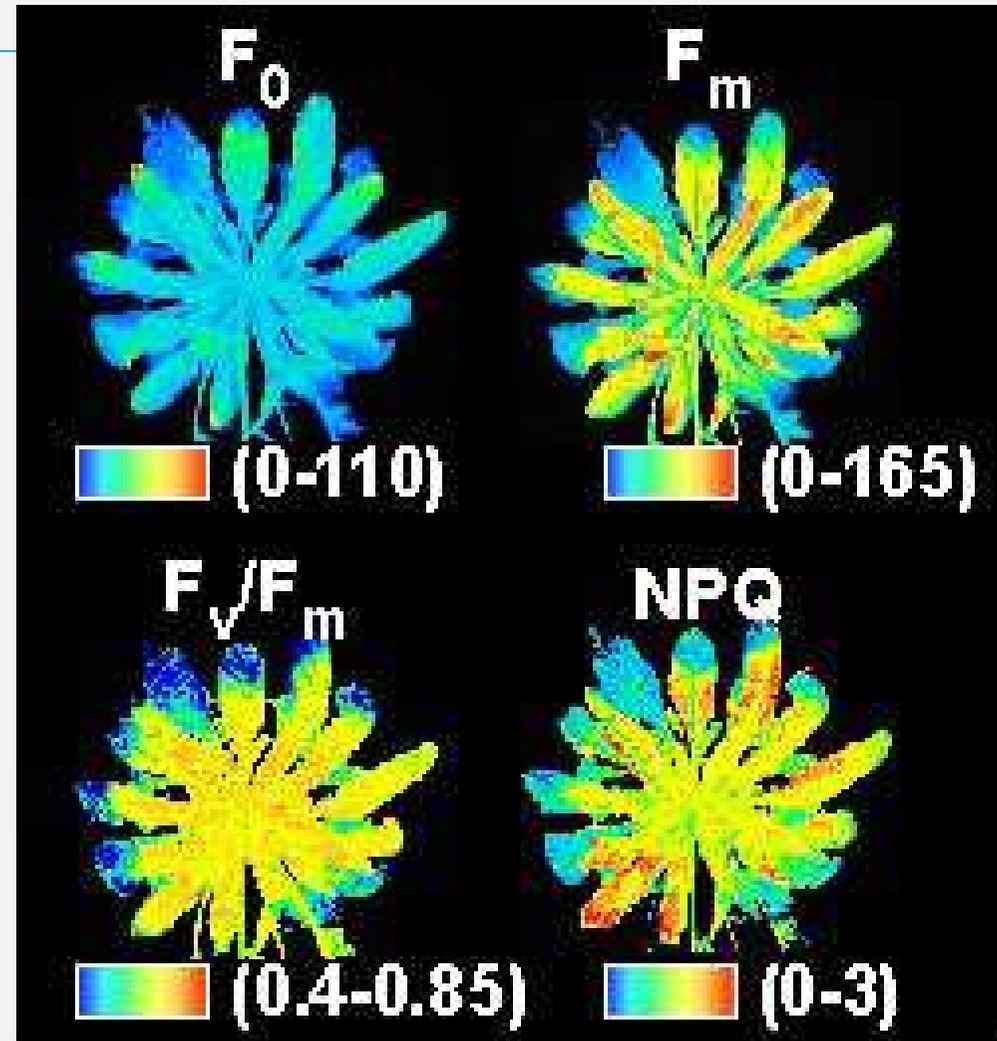
**COLORÍMETROS**



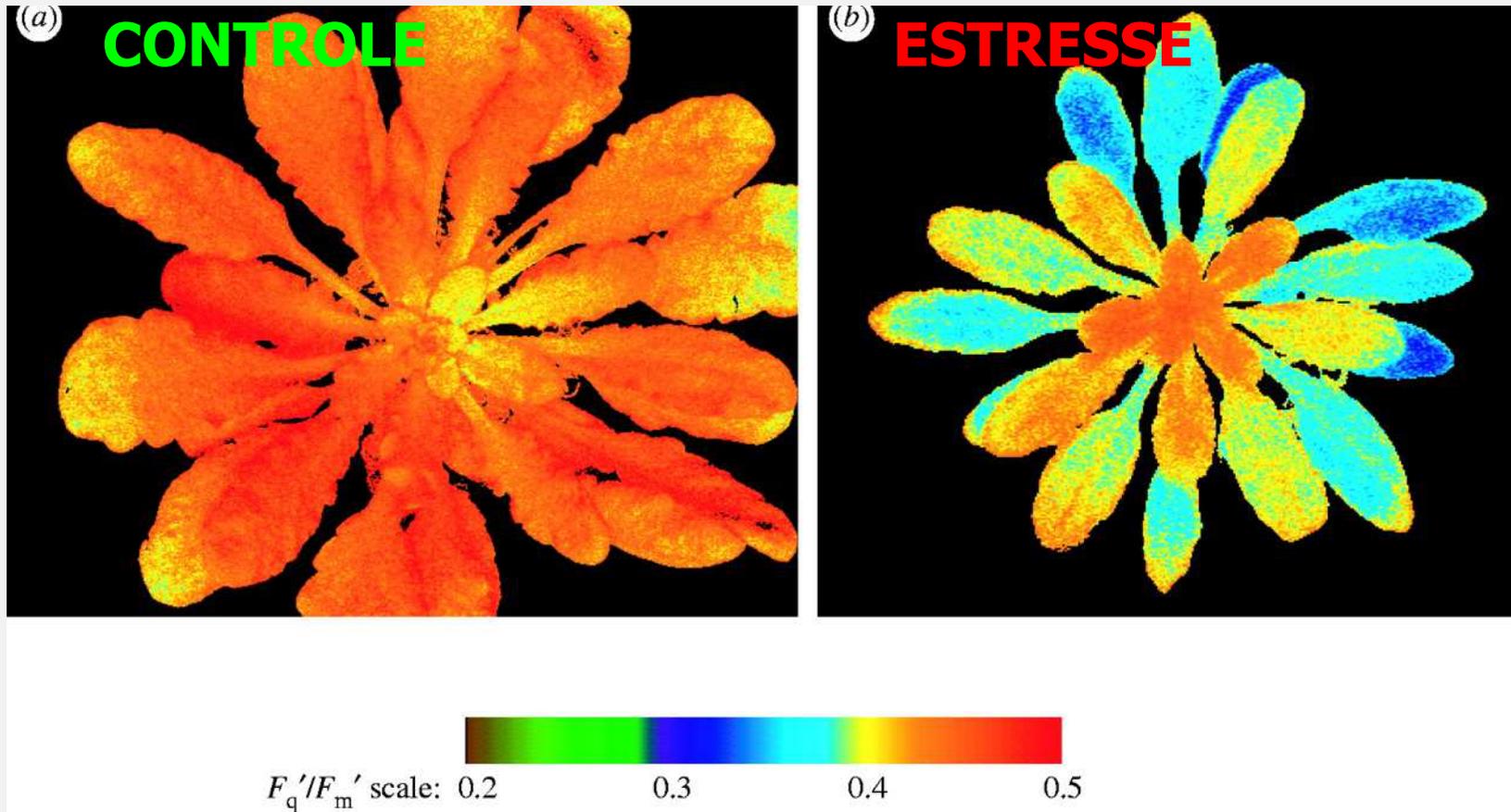
**MEDIDORES DAS TROCAS GASOSAS**

# Fluorescência de imagem

- IMAGING-PAM (WALTZ – GERMANY)



# Fluorescência de imagem



Morison J. et.al. Phil. Trans. R. Soc. B 2008;363:639-658

# Termometria IR



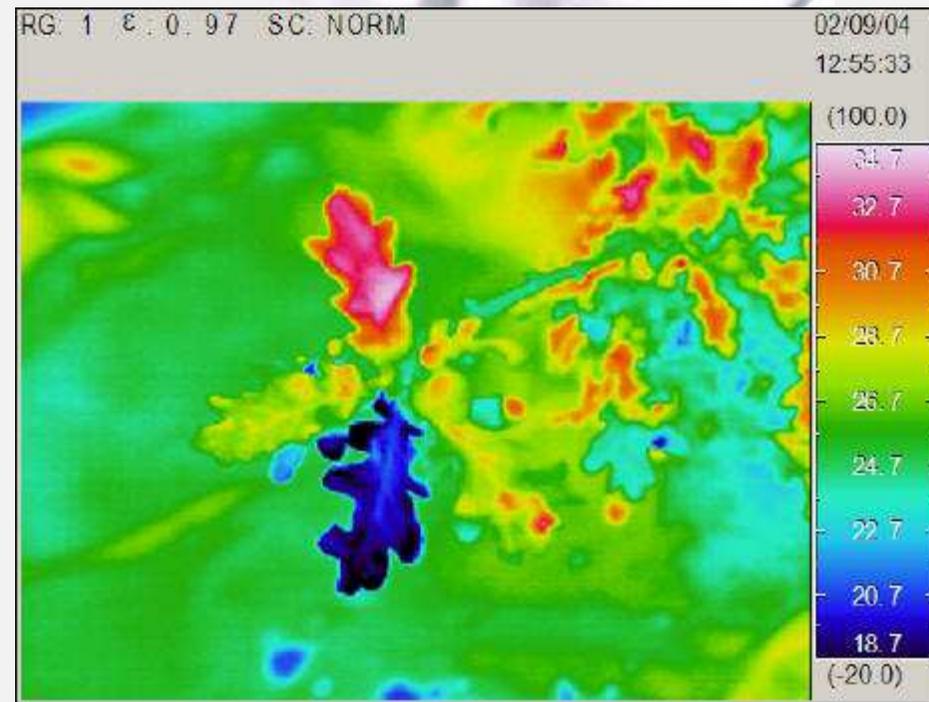
ThermaCAM P640

Folha não transpirando

Folha transpirando



Hydroforce



# Estresse Biótico: Hypersensitive response of tobacco to TMV

Após 2 dias de infecção

Após 8 dias de infecção

Imagem  
termal

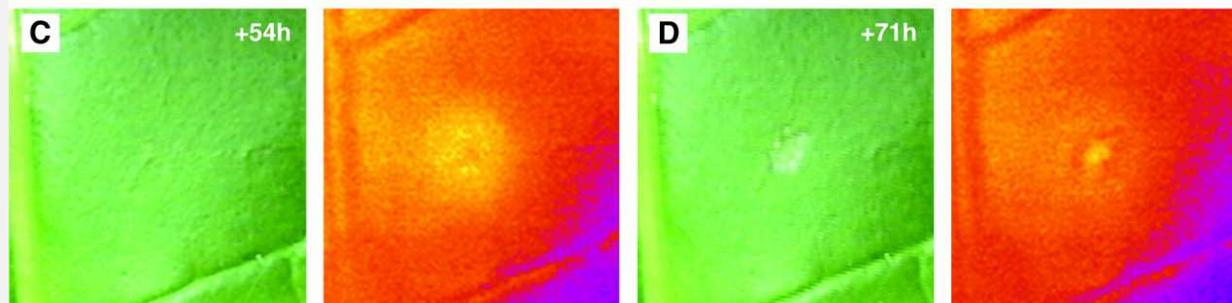
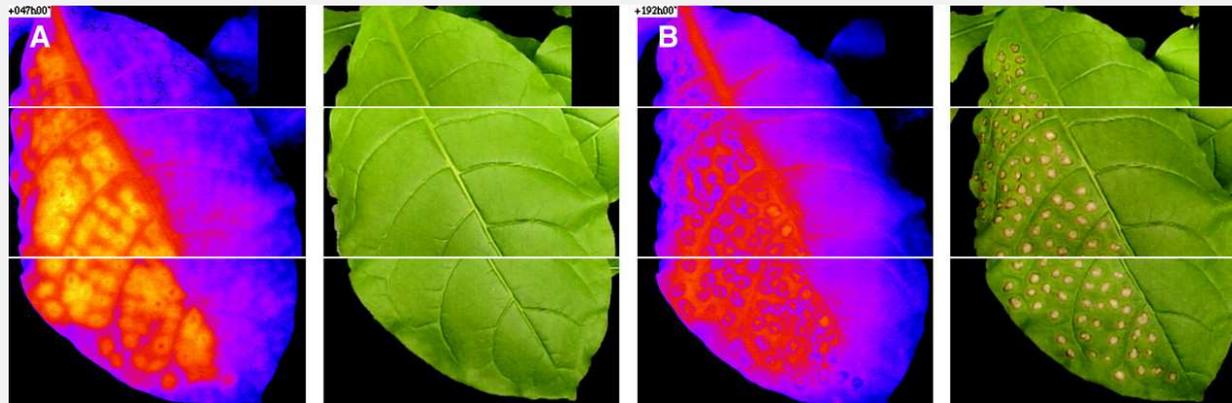


Imagem  
fluorescência



Chaerle, L. et al. *J. Exp. Bot.* 2007 58:773-784; doi:10.1093/jxb/erl257

**Reação do DAB para localização *in situ* do peróxido de hidrogênio produzido por estresse luminoso**

**CONTROLE**



**Fv/Fm: 0,820**



**Fv/Fm: 0,400**

**FOTOINIBIÇÃO**  
1 hora de exposição  
a  $1600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

**FOTOINIBIÇÃO**  
3 horas de exposição a  
 $1600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$



**Fv/Fm: 0,200**

# Agradecimentos

