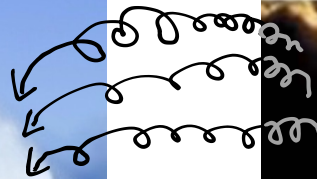


Sequestro de CO₂ por gotas geradas em quebra de ondas

Valdir Innocentini
Iury Ângelo Gonçalves



Planejamento da apresentação

1. Preliminares
2. Equações que governam uma gotícula
3. Efeito coletivo do espectro de gotas
4. Condensões

Planejamento da apresentação

1. Preliminares

2. Equações que governam uma gotícula

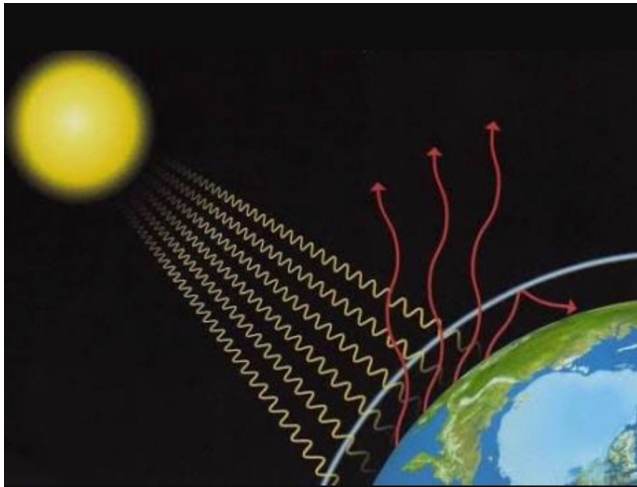
3. Efeito coletivo do espectro de gotas

4. Conclusões

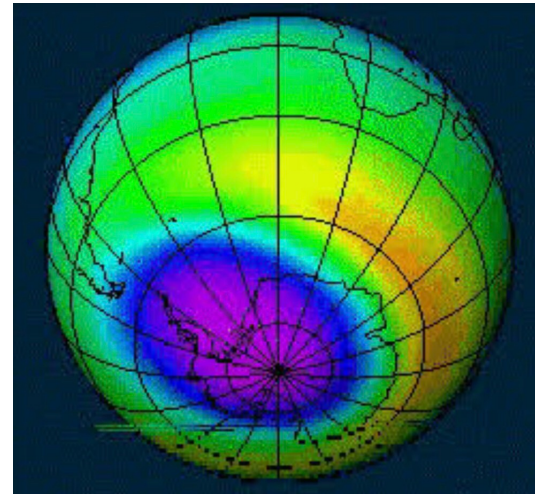
1. Preliminares

- Temas que nos anos 80 ganharam espaço na mídia

aquecimento global



busca de ozônio



aquecimento global

CO_2



CH_4



CFC



buraco de ozônio

CFC



Contribuição dos gases para o aquecimento



Debate acirrado e confuso

O debate sobre a preservação do planeta e sua exploração tem se tornado cada vez mais **acirrado e confuso**. Cientistas que pregam a seriedade do aquecimento global são acusados de **alarmismo**. Por outro lado, os que afirmam que não há provas conclusivas para de fato defender a tese de que a Terra está aquecendo devido à emissão de gases poluentes são acusados de serem **vendidos às indústrias** ou ao menos **tendenciosos em suas conclusões**.

Importância das florestas no ciclo de CO2

⇒ *enfatizada através de simulações numéricas*

⇒ **NOVA MOEDA** : florestacoin = moeda de troca



→
\$ \$ \$ \$
→
\$ \$ \$
→



Importância dos oceanos no ciclo de CO₂

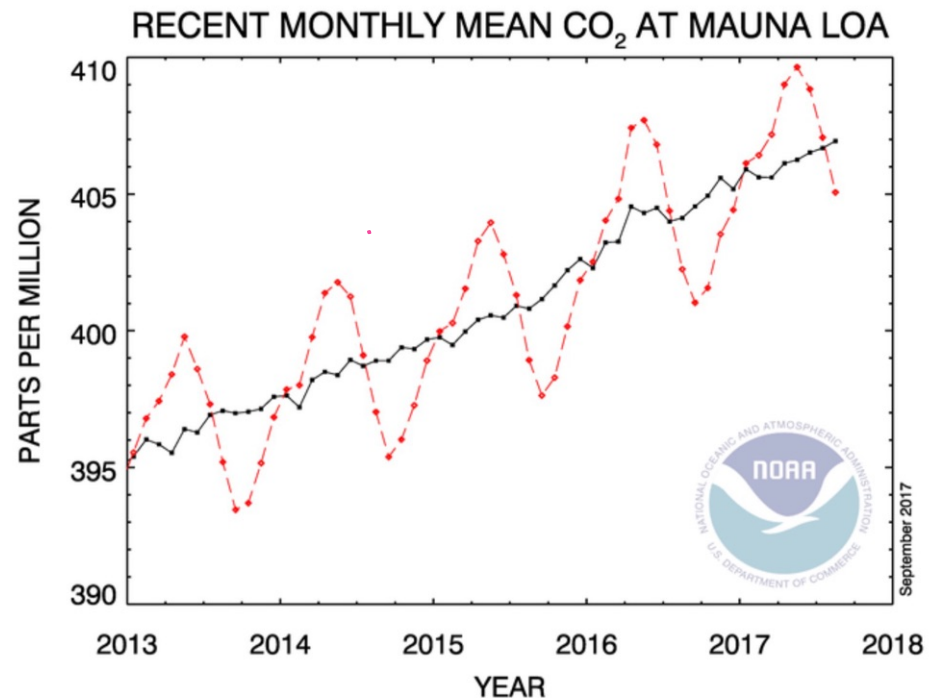
→ Aproximadamente 1/3 é absorvido pelo mar



→ Oceano torna-se mais ácido



→ Tendência dos últimos anos

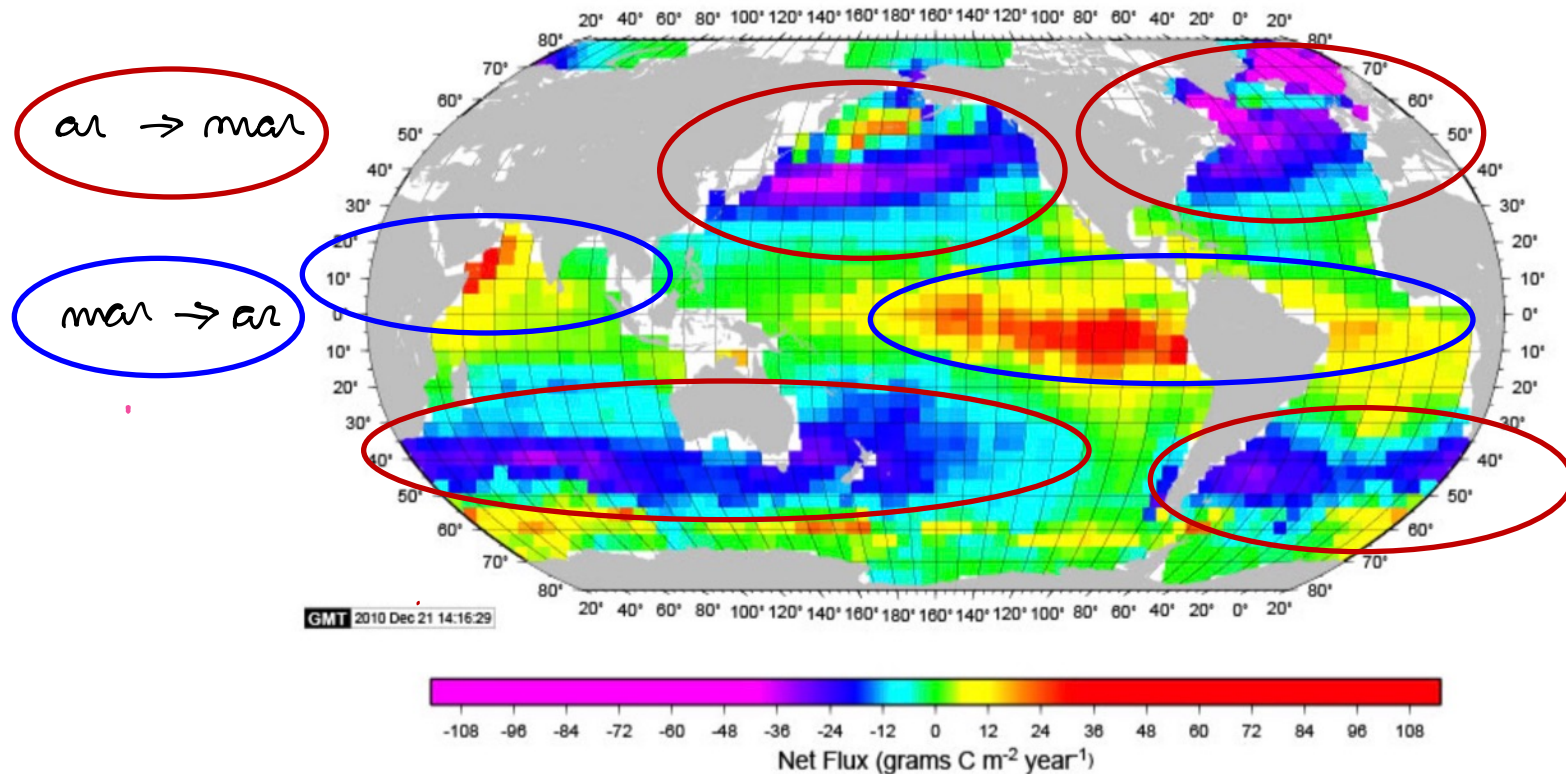


Fluxo superficial atmosfera-mar

Ocorre por difusão

Lei de Henry (gradiente de concentração de CO₂ atmosfera-mar)

Mean Annual Air-Sea Flux for 2000 [Rev Dec 10] (NCEP II Wind, 3,040K, $\Gamma=.26$)





Questão

Qual a importância das gotículas geradas por quebra de ondas no fluxo de CO₂

Planejamento da apresentação

1. Preliminares
2. Equações que governam uma gota
3. Efeito coletivo do espectro de gotas
4. Conclusões

2. Equações governantes

3 equações de microfísica de gotas

- evolução da massa do CO_2
- evolução do raio da gota (Volume)
- evolução da temperatura da gota

empastadas de Pruppacher and Klett

Microphysics of Clouds and Precipitation

Evolução temporal da massa de CO₂ de uma gotícula

$$\frac{dm}{dt} = 4\pi r D^* \left(C_{ar} - \frac{C}{H^*RT} \right)$$

concentração do ar

concentração da gota

tempo

raio da gota

coeficiente de difusão molecular: $f(r, p_{ar}, T)$

constante de Henry

constante universal dos gases

temperatura da gota

Intensidade do fluxo

Sentido do fluxo (SF)

$$\frac{dm}{dt} = 4\pi r D^* \left(C_{ar} - \frac{C}{H^*RT} \right)$$

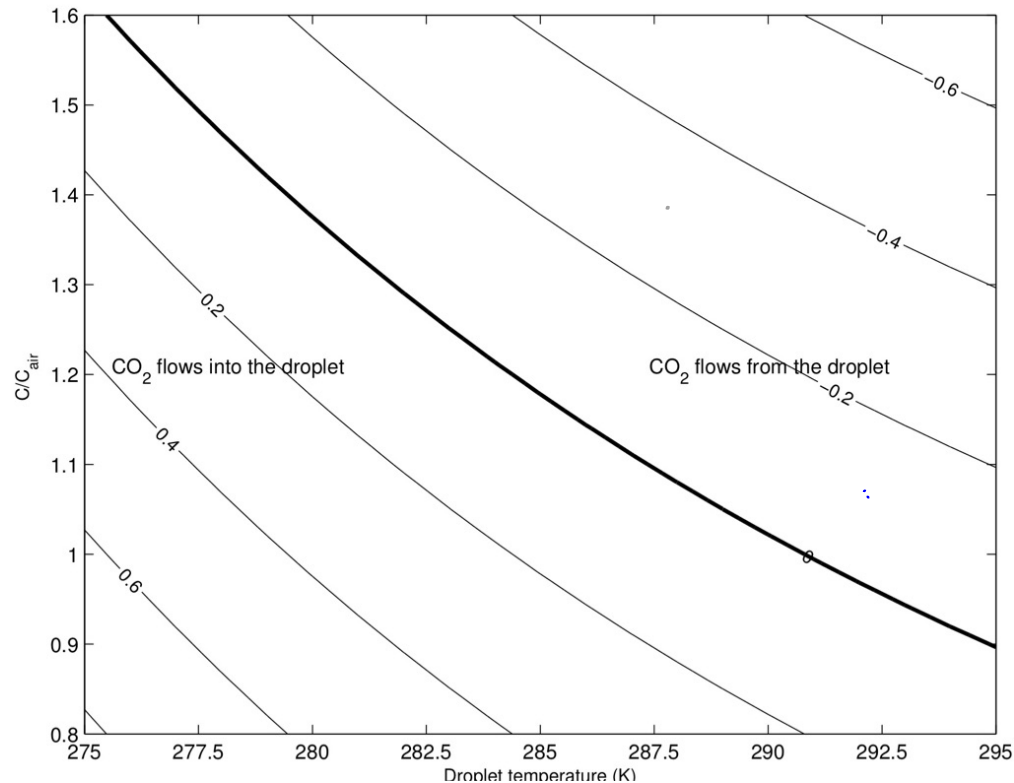
⇒ muitos autores desinem e usam gradiente da concentração do gás para superfície plana (atmosfera - ar)

$$\nabla C = H^*RT_{mar} C_{ar} - C_{mar}$$

$$\frac{SF \times (H^*RT)}{C_{ar}} = \frac{\nabla C}{C_{ar}} = \left(H^*RT - \frac{C}{C_{ar}} \right)$$

Isolinhas da função

$$\nabla C / C_{ar} = H^* RT - C / C_{ar}$$



Por exemplo

\Rightarrow volume $\downarrow \Rightarrow C \uparrow \Rightarrow \nabla C / C_{ar} < 0 \Rightarrow$ gota $\xrightarrow{CO_2}$ ar

\Rightarrow temperatura $\downarrow \Rightarrow \nabla C / C_{ar} > 0 \Rightarrow$ gota $\xleftarrow{CO_2}$ ar

Evolução temporal do raio da gota

Precisamos de C , então precisamos do volume

$$C = \frac{m}{V} = \frac{m}{\frac{4}{3}\pi r^3}$$

- quando que o volume da gota evolui?

⇒ sempre que a UR_{sat} da gota $\neq UR_{\text{ar}}$

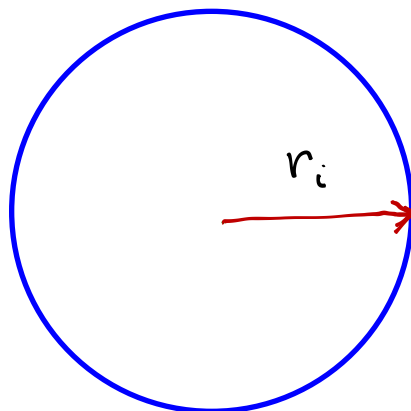
$$\frac{\partial n}{\partial t} = D'_w (p_v - p_{v\text{sat}})$$

coeficiente de difusividade do vapor

densidade do vapor

densidade de saturação do vapor

Por exemplo se $p_v < p_{v\text{sat}} \Leftrightarrow UR_{ar} < UR_{\text{sat}}$



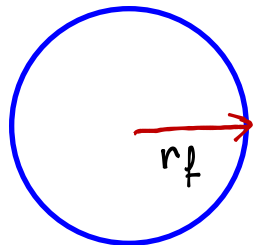
r_i

raio ↓

massa de sal —

salinidade ↑

$UR_{\text{sat}} ↓$



r_f

Evolução temporal da temperatura da gota

$$\frac{dT}{dt} = \left. \frac{dT}{dt} \right|_{\text{dif}} + \left. \frac{dT}{dt} \right|_{\text{eva}}$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{3}{\rho c_p r^2} \left[k' (T_a - T) + L_v D'_v (\rho_v - \rho_{v\text{sat}}) \right]$$

densidade
gota

raio
calor específico

coeficiente
condutividade
termica

temperatura
ar e gota

calor latente
vaporização

coeficiente
difusividade vapor

densidade
vapor

densidade do
vapor de saturação

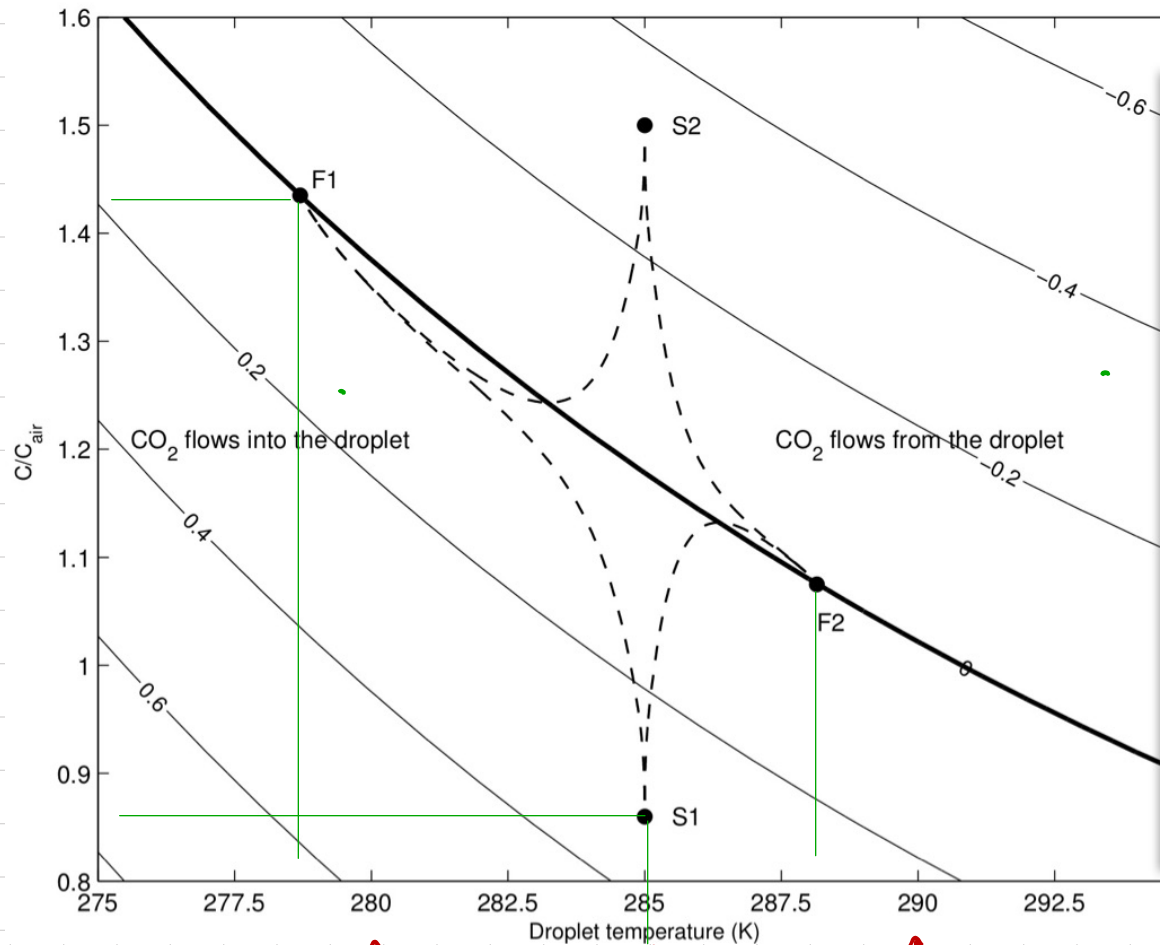
Exemplos de solução das 3 equações acopladas para 4 casos

raio inicial = $30\mu\text{m}$

$T_{\text{max}} = 285\text{ K}$

$T_{\text{ar}} = 280\text{ K e } 290\text{ K}$

$C/C_{\text{ar}} = 0,85 \text{ e } 1,5$



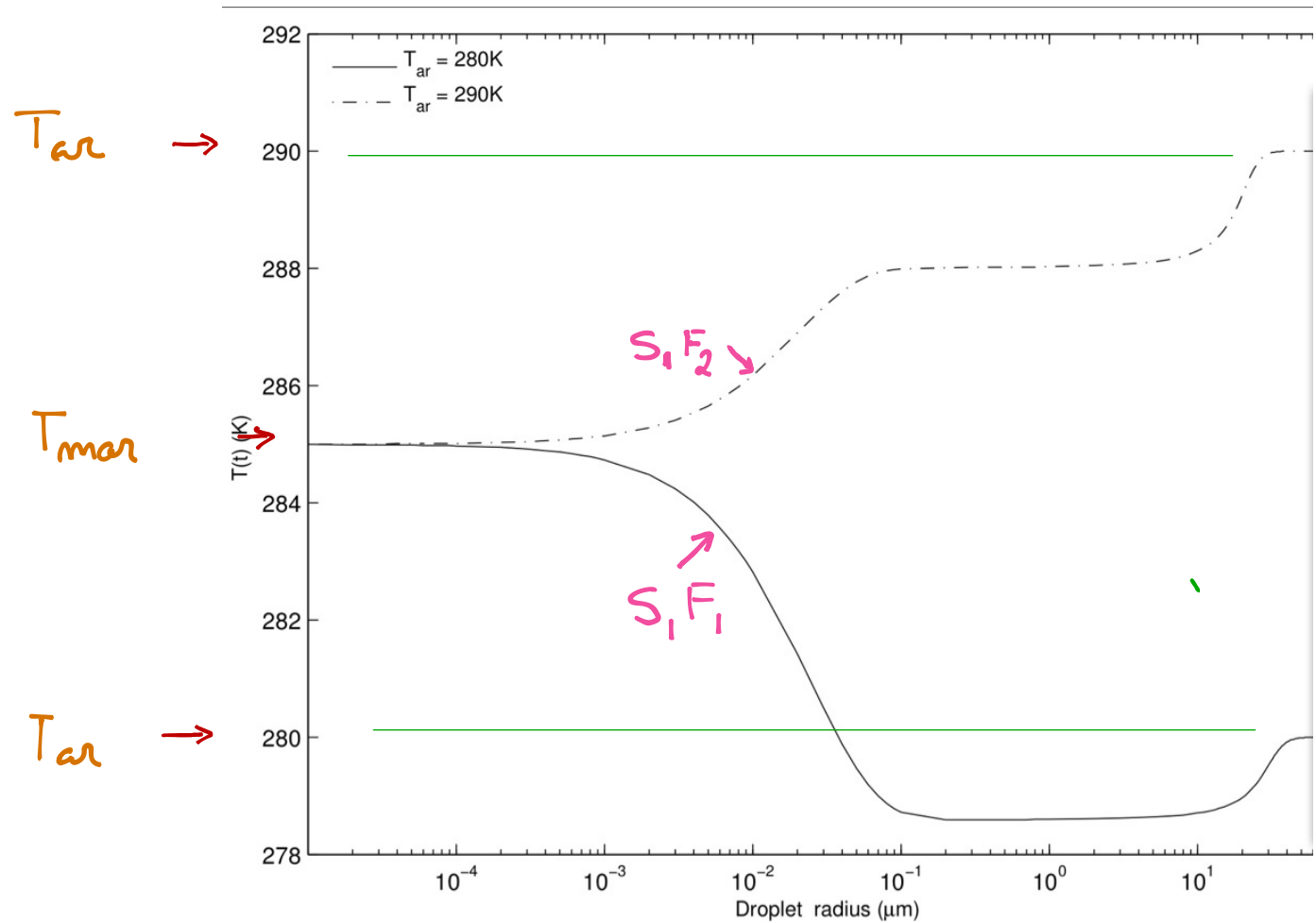
T_{ar}

T_{max}

T_{ar}

Evolução da temperatura

casos SIF1 e SIF2

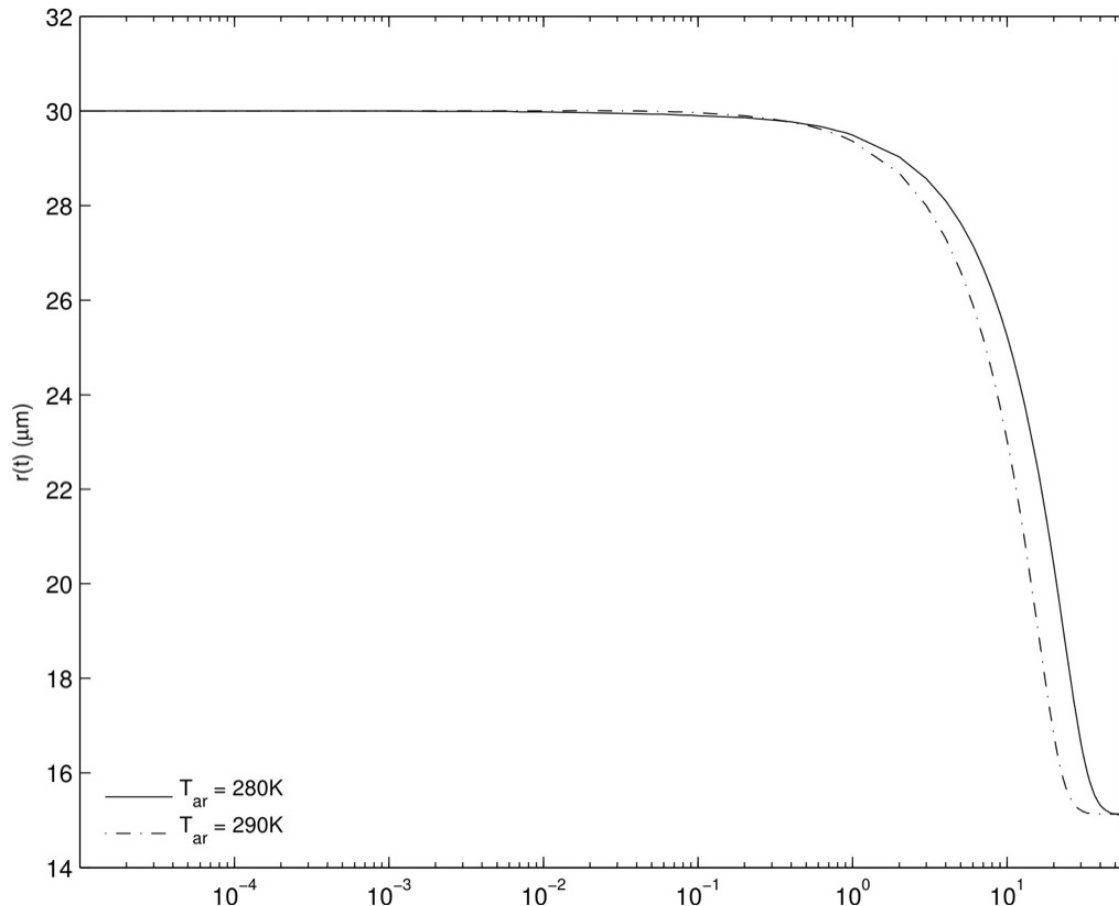


temperatura evolui

$\rightarrow T < T_{ar} \rightarrow T$ aumenta

Evolução do raio

casos SIF1 e SIF2

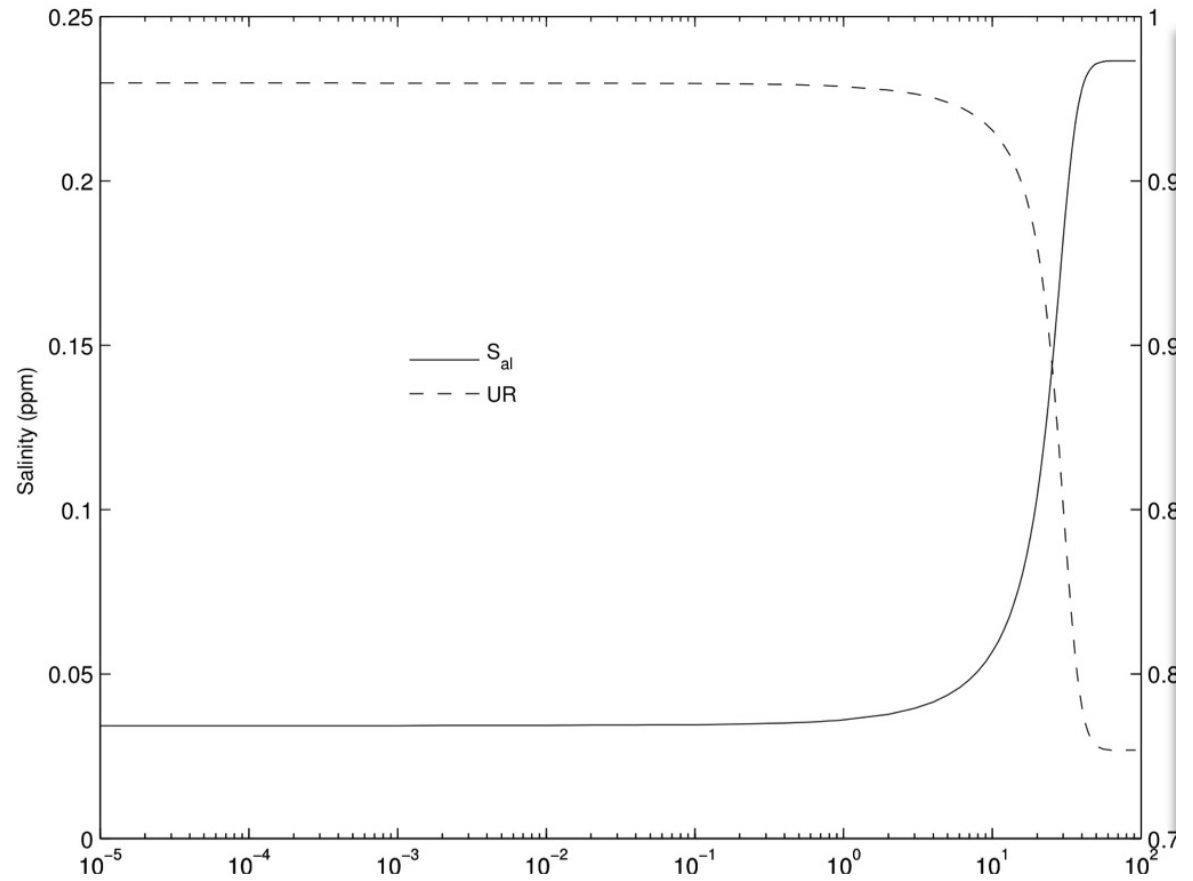


temperatura
evolui

$\rightarrow T < T_{\text{ar}} \rightarrow T$ aumenta

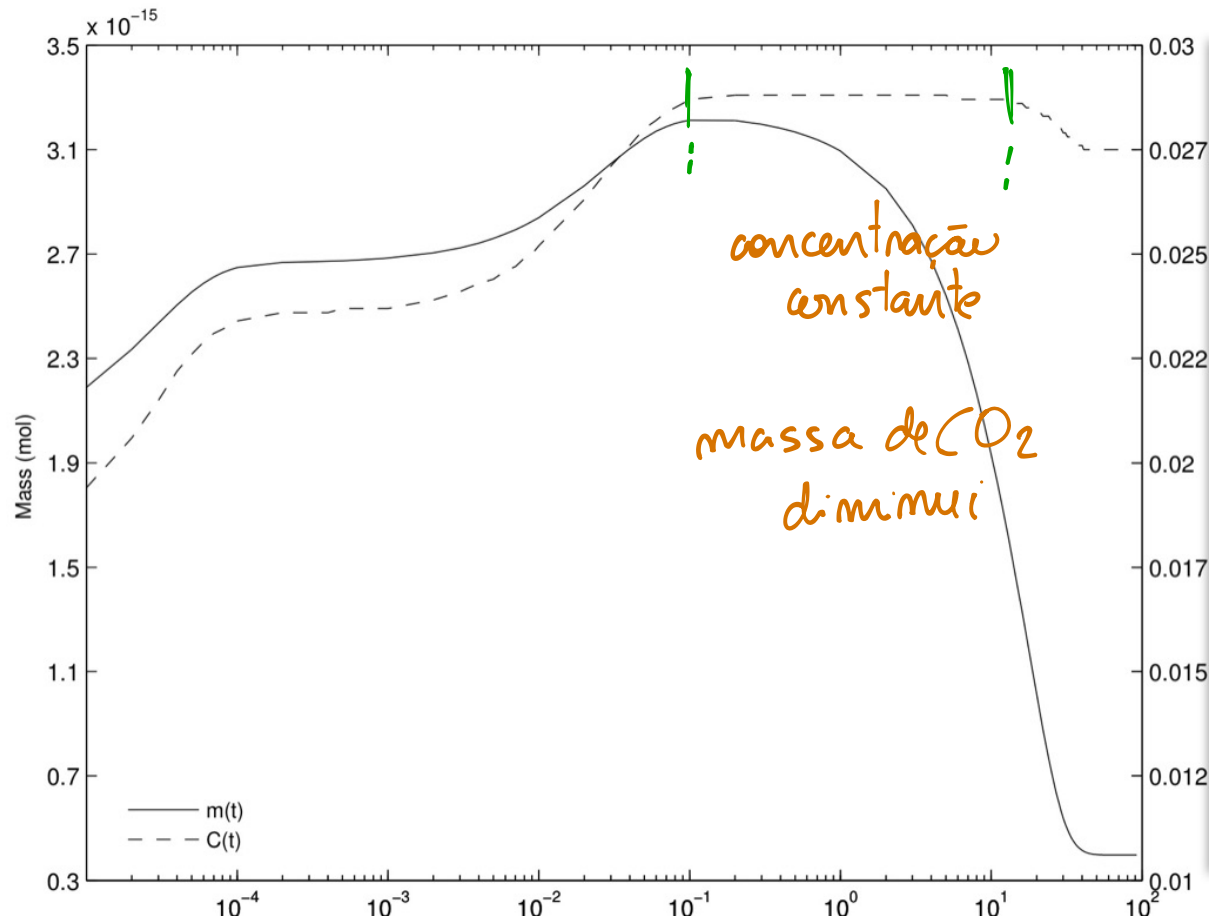
Evolução Sal e UR_{sat}

caso SIFI



Evolução concentração C e massa de CO_2

caso SIF1



temperatura
evolui



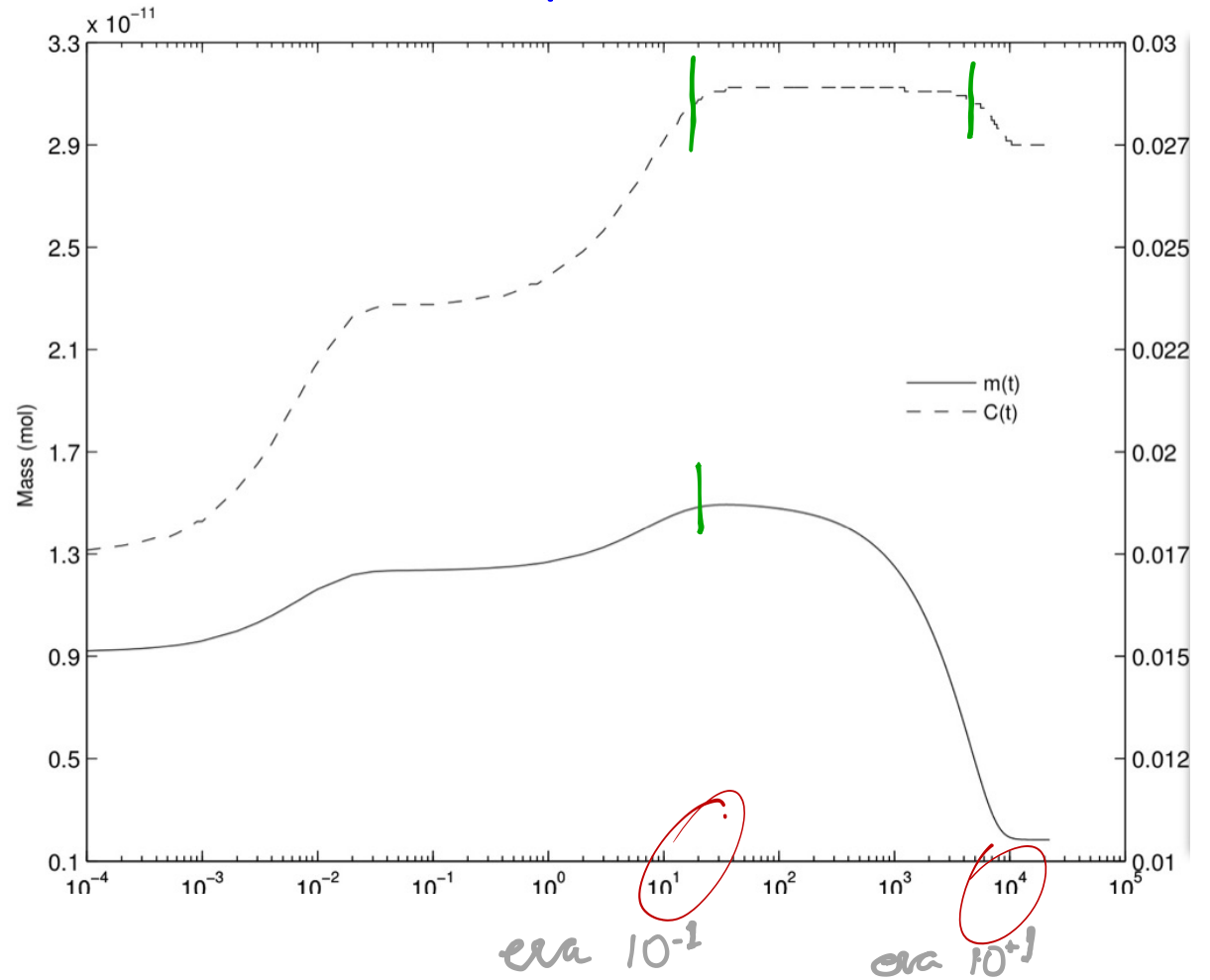
$T < T_{ar}$



T
aumenta

Evolução concentração C e massa de CO_2
para um raio maior

caso SIFI para raio = 500 mm



Conclusões até aqui

1. A vida de uma gota é formada por 2 fases:

- 1 { fase da difusão de calor, onde o fluxo de CO_2 tem a direção do fluxo superficial e a temperatura se ajusta a um valor menor que da atmosfera.
- 2 { fase da variação de raio, onde a concentração de CO_2 e temperatura ficam constantes e o CO_2 flui para a atmosfera.

2. Quanto maior a gota, maior o tempo das fases 1 e 2.

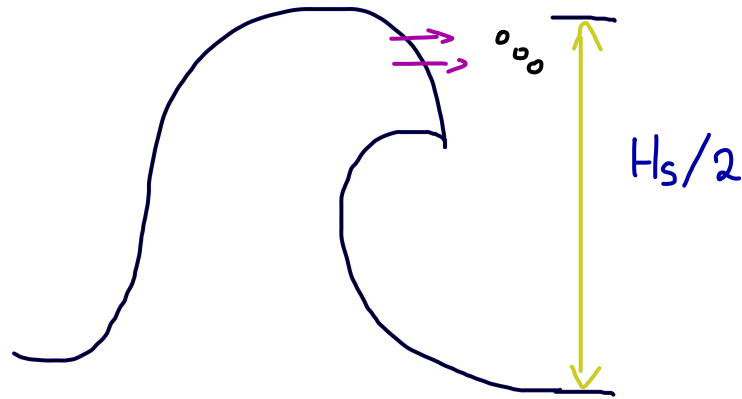
Planejamento da apresentação

1. Preliminares
2. Equações que governam uma gotícula
3. Efeito coletivo do espectro de ondas
4. Conclusões

Para completar o modelo precisamos:

- Modelo que simule o tempo de vida de uma gota
- Espectro de gotas

Formulação de Amdreas (1992) para tempo de vida



$$\text{tempo} = \frac{\text{distância}}{\text{velocidade}}$$

$$= \frac{H_s}{2} \cdot \frac{1}{U_f}$$

↑
velocidade terminal de
uma gota com raio r_i

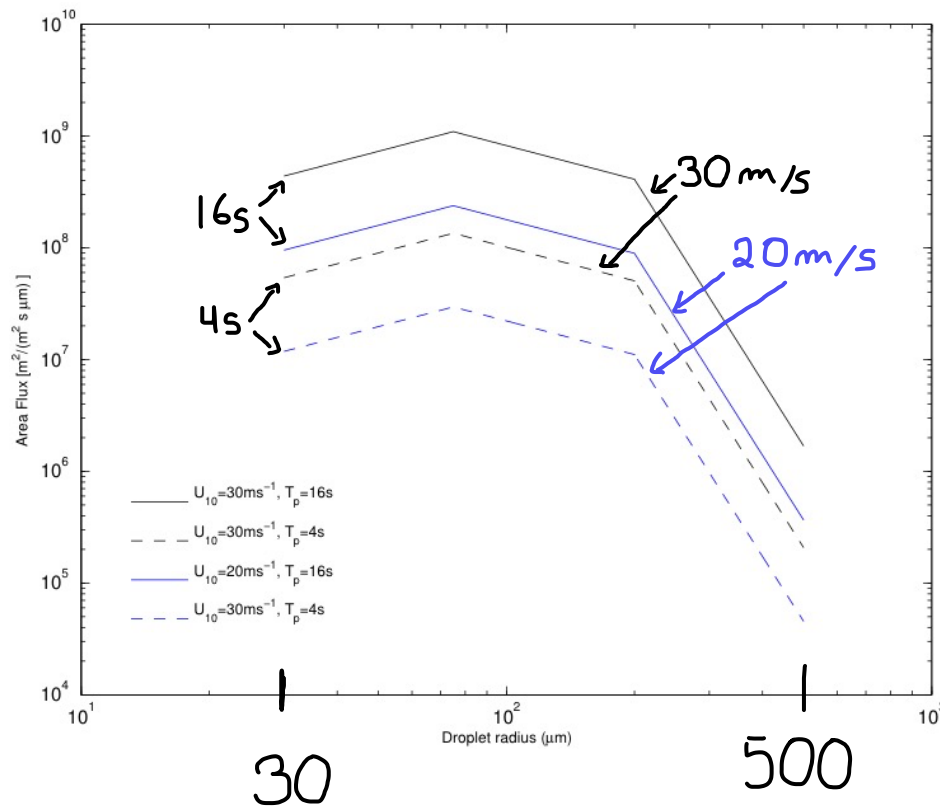
por exemplo

radius (μm)	U_f (m/s)	lifetime (s)	
		$H_s = 0.5\text{m}$	6m
30	0.12	2.18s	26.3
500	4.16	0.06	0.7

Zhao et al (2006) SSGF (Sea Spray Generation Function)

SSGF: função analítica depende de u^* e T_p

$\int_{r_1}^{r_2} (\text{SSGF}) dr$: flux number de gotas com raio $r_1 < r < r_2$



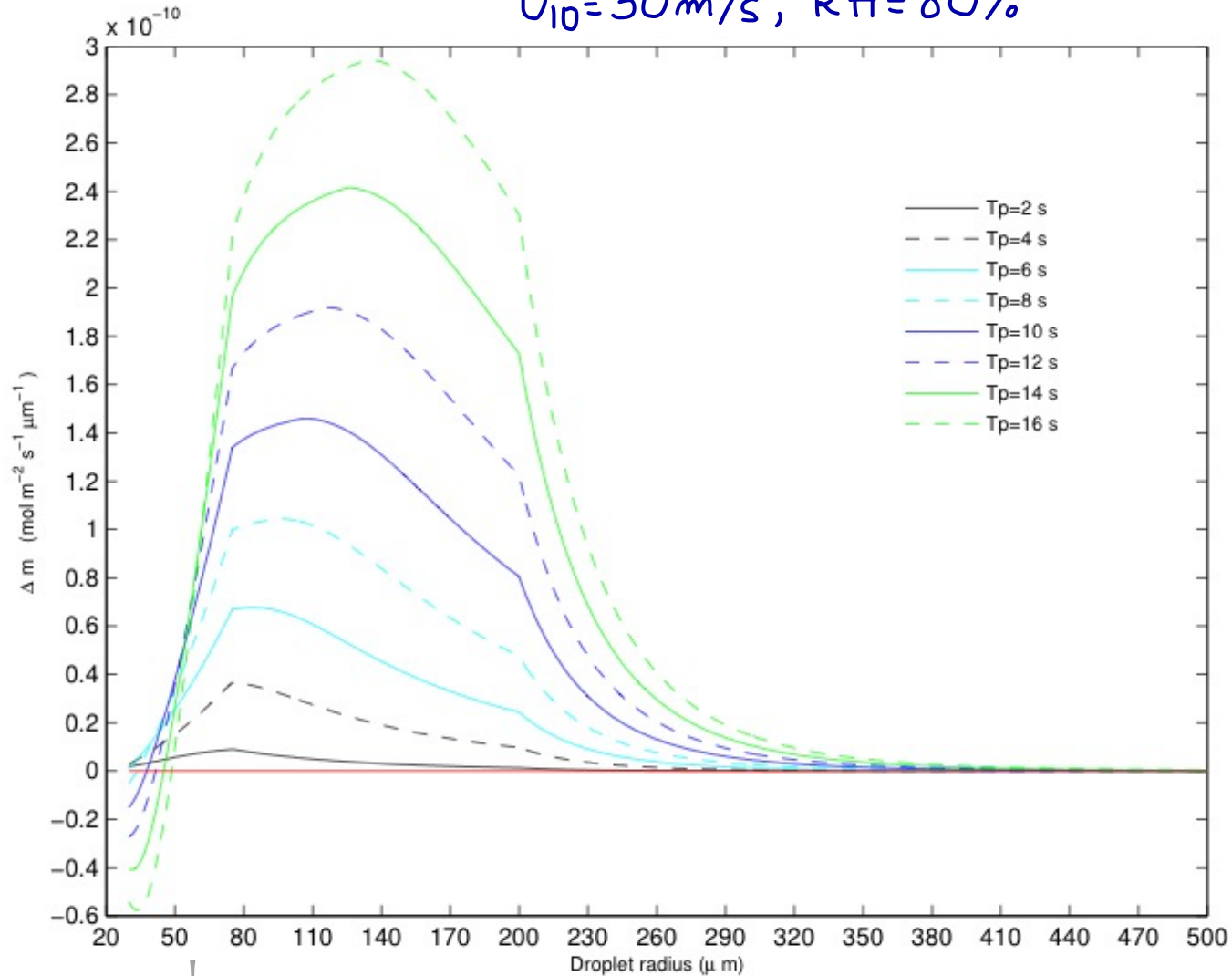
Resultados para SSGF

Caso com as propriedades

- > $U_{10} = 30 \text{ m/s}$
- > $UR = 80\%$
- > $\nabla C =$ em direção à atmosfera
(fluxo de CO_2 ar \rightarrow mar)
- > vários espectros de ondas
 $T_p = 2, 4, 6, \dots, 16 \text{ s}$

Balanço de CO2 para cada raio

$U_{10} = 30 \text{ m/s}$, $RH = 80\%$

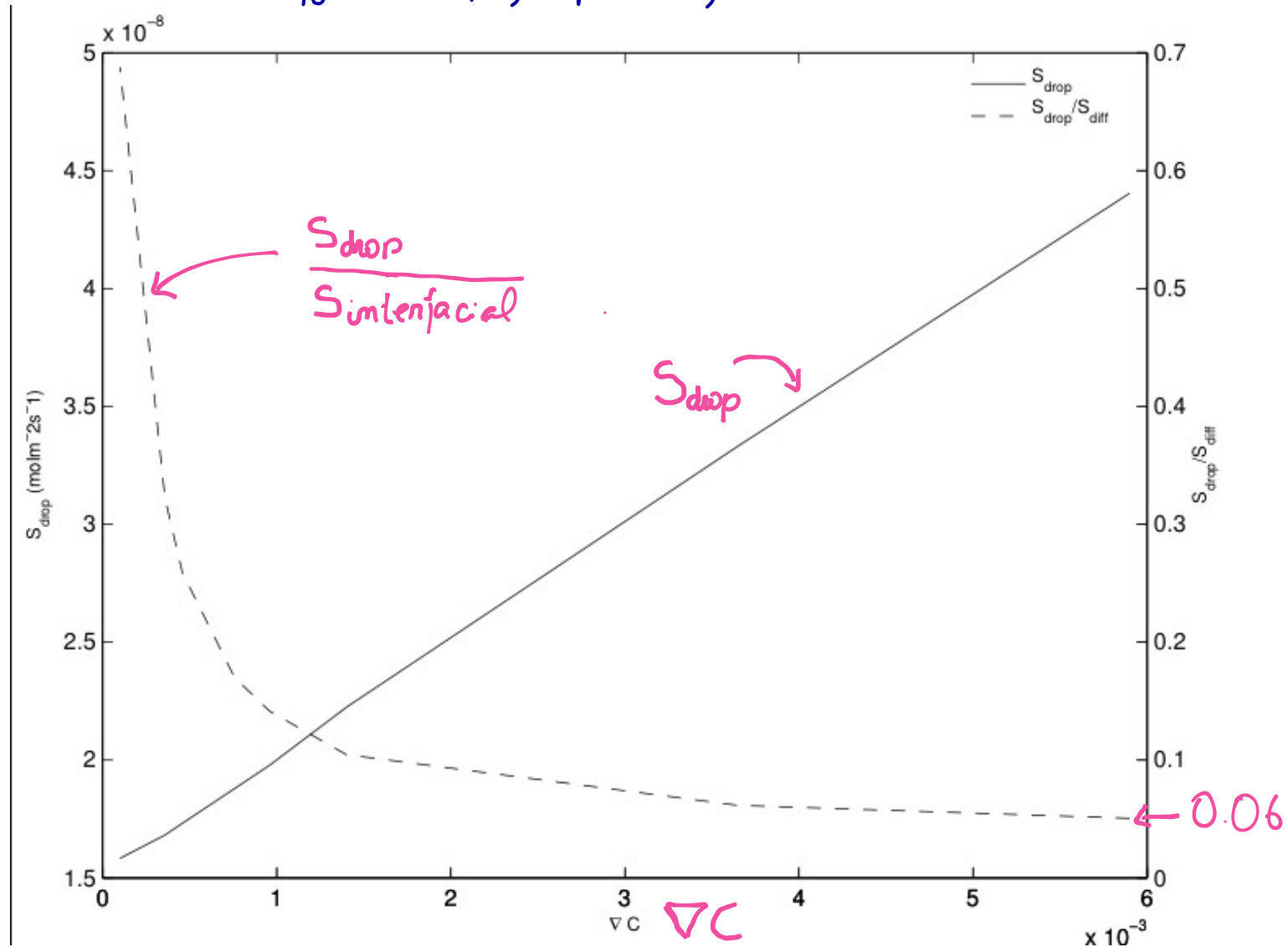


$mar \rightarrow ar$

$ar \rightarrow mar$

Resultados para outros gradientes

$$U_{10} = 30 \text{ m/s}, T_p = 16 \text{ s}, RH = 80\%$$



Conclusões finais

- A vida de uma gota pode ser dividida em 2 fases

> 1a fase → Fluxo de CO_2 tem o mesmo sentido do interfacial
→ Temperatura e concentração evoluem respondendo aos gradientes ar-mar.

> 2a fase → Fluxo de CO_2 é da gota p/ o ar
→ Temperatura e concentração permanecem constantes

- Contribuição do espectro ∴

- > pequenas gotas vivem 1.^o e 2.^o fases
- > grandes gotas voltam ao mar na 1.^o fase
- > grandes gotas dominam o resultado coletivo
- > comparando com o fluxo interfacial, o fluxo das gotas pode ser significativo

• Sugestões

> considerar o

balanço de CO_2 em situações variadas de gradiente de temperatura e de concentração

> construir

mapas de fluxo de CO_2 na superfície da terra incluindo as gotas de quebra de ondas

Prova definitiva do aquecimento global

Prova definitiva do aquecimento global





Obligado!