



PARAMETRIZAÇÃO DE NUVENS



PARAMETRIZAÇÃO DE NUVENS

Paulo Yoshio Kubota

Paulo Yoshio Kubota



Parametrização de Nuvens

Equações Governantes pra o estado médio da Atmosfera



Lei dos gases

$$\bar{p} = \bar{\rho} R_d \bar{T}_v$$

Media de Reynolds

$$A = \bar{A} + A'$$

$$\text{Temperatura virtual } \bar{T}_v = T(1 + 0.61q_v - q_l)$$

Necessita ser
parameterizado !

Conservação de momentum

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\delta_{i3}g + f_c \varepsilon_{ij3} \bar{u}_j - \frac{1}{\bar{\rho}} \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \frac{v \partial^2 \bar{u}_i}{\partial x_j^2} - \frac{\partial (\bar{u}'_i \bar{u}'_j)_{sfc}}{\partial x_j} - \frac{\partial (\bar{u}'_i \bar{u}'_j)_{pb}}{\partial x_j} - \frac{\partial (\bar{u}'_i \bar{u}'_j)_{gwdd}}{\partial x_j}$$

Advecção gravidade media

Coriolis
Grad. Pressão stress

Viscous
Turbulento de superfície

Processos Turbulento pbl

Transporte Turbulento pbl
Arrasto por onda de gravidade

2nd ordem

Como as nuvens influenciam as equações governantes?

Conservação de calor

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial x_j} = -\frac{1}{\bar{\rho} c_p} \frac{\partial \bar{F}_j}{\partial x_j} - \frac{L_v E}{\bar{\rho} c_p \text{deep}} - \frac{L_v E}{\bar{\rho} c_p \text{mic}} - \frac{\partial (\bar{u}'_i \theta')_{shall}}{\partial x_j} - \frac{\partial (\bar{u}'_i \theta')_{sfc}}{\partial x_j} - \frac{\partial (\bar{u}'_i \theta')_{pb}}{\partial x_j} - \frac{\partial (\bar{u}'_i \theta')_{gwdd}}{\partial x_j}$$

Advecção media

Radiação

L. Calor Latente

transporte por shallow cúmulos

Aquecimento pela Superfície

Transporte Turbulento pbl

Arrasto por onda de gravidade

Conservação de agua total

$$\frac{\partial \bar{q}_t}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{q}_t}{\partial x_j} = \frac{S_{qt}}{\bar{\rho} \text{deep}} - \frac{S_{qt}}{\bar{\rho} \text{mic}} - \frac{\partial (\bar{u}'_j q'_t)_{shall}}{\partial x_j} - \frac{\partial (\bar{u}'_j q'_t)_{sfc}}{\partial x_j} - \frac{\partial (\bar{u}'_j q'_t)_{pb}}{\partial x_j}$$

Advecção media

Processo de Precipitação e evaporação

transporte por shallow cúmulos

Processos umedecimento pela Superfície

Transporte Turbulento pbl





PARAMETRIZAÇÃO DE NUVENS



$$\frac{\partial \overline{q}_t}{\partial t} + \overline{u_j} \frac{\partial \overline{q}_t}{\partial x_j} = \frac{S_{q_t}}{\overline{\rho}_{deep}} - \frac{S_{q_t}}{\overline{\rho}_{mic}} - \frac{\partial (\overline{u'_j q'_t})_{shall}}{\partial x_j} - \frac{\partial (\overline{u'_j q'_t})_{sfc}}{\partial x_j} - \frac{\partial (\overline{u'_j q'_t})_{pbl}}{\partial x_j}$$

Advecção media Processo de Precipitação e evaporação transporte por shallow cúmulos Processos umedecimento pela Superfície Transporte Turbulento pbl

Fração de Nuvens \leftrightarrow **Umidade específica total + temperatura**

$C = \text{Fração de Nuvens}$



PARAMETRIZAÇÃO DE NUVENS



*****Pressao de vapor de saturacao "hPa", t(i)=Celsius (Eq. 10 do Bolton, 1980)*****

$$! \quad es(i) = 6.112 \cdot \exp(17.67 \cdot t(i)/(243.5+t(i)))$$

***** Pressao de vapor "hPa", td(i)=Celsisus (Eq. 10 do Bolton, 1980) *****

$$! \quad e(i) = 6.112 \cdot \exp(17.67 \cdot td(i)/(243.5+td(i)))$$

**** Razao de mistura de saturacao "g/Kg" (Eq. 2.64 do Wallace e Hobbs)****

$$! \quad rs(i) = es(i) \cdot 622.0 / (p(i)-es(i))$$

***** Razao de mistura "g/Kg" (Eq. 2.64 do Wallace e Hobbs)*****

$$! \quad r(i) = e(i) \cdot 622.0 / (p(i)-e(i))$$

***** Umidade Relativa "%"*****

$$! \quad ur(i) = e(i)/es(i) * 100.0$$

$$e_s = 6.112 e^{\left[\frac{(17.67*T)}{243.5+T} \right]}$$

$$e = 6.112 e^{\left[\frac{(17.67*T_d)}{243.5+T_d} \right]}$$

$$ur = \frac{e}{e_s} * 100$$

$C = \text{Fração de Nuvens} \approx \text{Umidade Relativa}$

$$\frac{dC}{dt} = -\bar{v} \frac{\partial C}{\partial x} \Big|_{advection} + \frac{\partial C}{\partial t} \Big|_{radiation} + \frac{\partial C}{\partial t} \Big|_{convection} + \frac{\partial C}{\partial t} \Big|_{microphysics} + \frac{\partial C}{\partial t} \Big|_{pbl} + \frac{\partial C}{\partial t} \Big|_{erosion} + \frac{\partial C}{\partial t} \Big|_{expansion}$$



PARAMETRIZAÇÃO DE NUVENS



$$e_s = 6.112 e^{\left[\frac{(17.67*T)}{243.5+T} \right]}$$

$$e = 6.112 e^{\left[\frac{(17.67*T_d)}{243.5+T_d} \right]}$$

$$\frac{\partial \bar{q}_t}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{q}_t}{\partial x_j} = \frac{S_{q_t}}{\bar{\rho}} - \frac{\partial (\bar{u}'_j q'_t)_{sfc}}{\partial x_j} - \frac{\partial (\bar{u}'_j q'_t)_{pbl}}{\partial x_j}$$

$$ur = \frac{e}{e_s} * 100$$

$$\frac{dC}{dt} = -\bar{v} \frac{\partial c}{\partial x} \Big|_{advection} + \frac{\partial c}{\partial t} \Big|_{radiation} + \frac{\partial c}{\partial t} \Big|_{convection} + \frac{\partial c}{\partial t} \Big|_{microphysics} + \frac{\partial c}{\partial t} \Big|_{pbl} + \frac{\partial c}{\partial t} \Big|_{erosion} + \frac{\partial c}{\partial t} \Big|_{expansion}$$



Tipos de Nuvens.

- a) Baixas (Stratus)
- b) Médias (Stratus cumulos)
- c) Altas (Cirros)

Como Parametrizar Nuvens.

- a) Evolução da Parametrização de nuvens
- b) Esquema Diagnósticos/Prognósticos de fração de nuvens
- c) Esquemas Diagnósticos RH Prognostic Condensate
- d) Esquemas Diagnósticos RH Statistical Schemes
- e) Esquemas Fully Prognostic Schemes

Como Representar as Propriedades das Nuvens na Grade do Modelos.

- a) Propriedades Óticas de Nuvens
- b) Suposição de sobreposição (overlap) de nuvem em modelos

Impactos Da Parametrização de Nuvens Nas Simulações.

- a) Tese Layrson
- b) Simulação 1D
- c) Simulação 3D

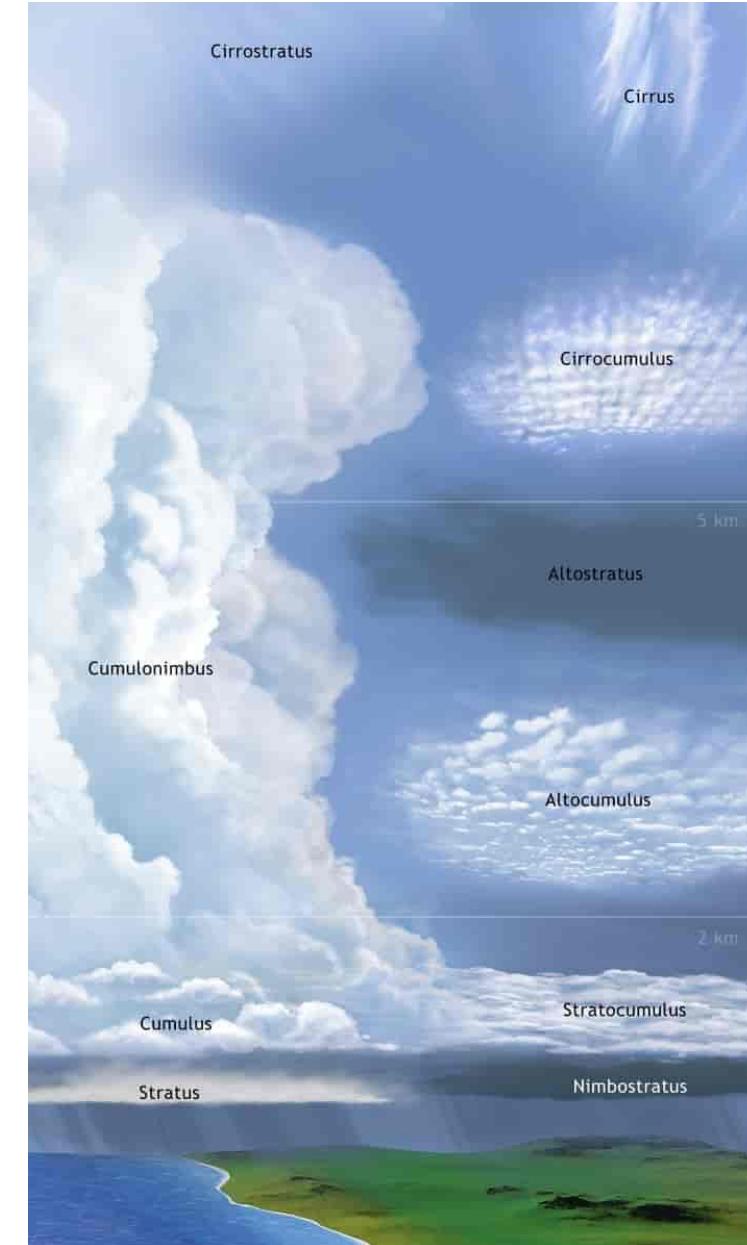


PARAMETRIZAÇÃO DE NUVENS



Tipos de Nuvens.

- a) Baixas
- b) Médias
- c) Altas



PARAMETRIZAÇÃO DE NUVENS

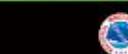


NOAA Cloudwise

There are ten basic cloud types arranged in three divisions based on the altitude at which they form. Low level clouds are Cumulus, Cumulonimbus, Stratus, and Stratocumulus. Middle level clouds are Altocumulus, Altostratus and Nimbostratus. High level clouds are Cirrus, Cirrocumulus and Cirrostratus. Precipitation primarily occurs from Cumulus, Cumulonimbus and Nimbostratus.

These ten clouds are further divided into 27 classifications. Many of these classifications represent the same basic cloud type (or combinations of clouds) but in various stages of development, opacity, or sky cover.

Learn more about clouds at www.weather.gov/jetstream



www.weather.gov



www.noaa.gov/education

Sky cover



Other Cloud Phenomena

Mammatus: Small pouch or pocket-like clouds sinking into drier air and often seen near thunderstorms.	Fog: A cloud on the ground which lifts from the surface and becomes stratus or dissipates with heat from the sun.	Wall Cloud: Rotating, lowered, rain-free base of a thunderstorm in area of strongest updraft, under which a tornado may form.	Shelf Cloud: Forms in a gust front from a squall line or thunderstorm.	Asperitas: Long waves that ripple through the base of the cloud near the dryline/stair boundary of a thunderstorm.	Virga: Precipitation that evaporates before reaching the surface.
--	--	--	---	---	--

a) Nuvens Baixas



- Nuvens Baixas **entre a** superfície e 700hPa
- Camada de espessura de nuvens variando de 3 a 700hPa
- Fração de nuvens em função de supersaturação (RH_c)=> $fc = 1 - \sqrt{\frac{1-RH}{1-RH_c}}$

$Dthdpc = -0.4e-1 \Rightarrow$ critério estabilidade para a formação de nuvens de inversão

Existem dois tipos possíveis de mecanismos de geração:

- Devido ao tipo de inversão da camada if $\frac{d\theta}{dP_{k+1}} < dthdpc \Rightarrow fc = MAX(-f6p67 * \left(\frac{d\theta}{dP_{k-1}} - dthdpc \right), 0.0)$
- Associado ao movimento vertical

O Esquema do BAM define nuvens supersaturadas baixas, mas ajustadas pelo movimento vertical



PARAMETRIZAÇÃO DE NUVENS



a) Nuvens Médias



Nuvens entre 700hPa à 400hPa

Defina nuvens médias apenas no tipo supersaturado entre 700 à 400mb

$RH_c = 0.8$! Umidade Relativa Crítica

$RH_r = 0.2$! Umidade Relativa Critica de Referência

$$cldsatn = MAX\left(\frac{RH - RH_c}{RH_r}, 0.0\right)$$



PARAMETRIZAÇÃO DE NUVENS



a) Nuvens Altas

Cirros



High (Altas) 1

Cirros: Filamentos, hebras o



H2

Cirros: Densas bocanadas



H3

Cirros: Densas, con remanentes



H4

Cirros: Filamentos, hilos o

Cirroestratos



H5

Cirroestratos con o sin Cirros:



H6

Cirroestratos con o sin Cirros:



H7

Cirroestratos: Velo que cubre



H8

Cirroestratos: Velo que no cubre

Cirrocumulos



H9

Cirrocumulos: Ondas blancas

Nuvens acima de 400hPa

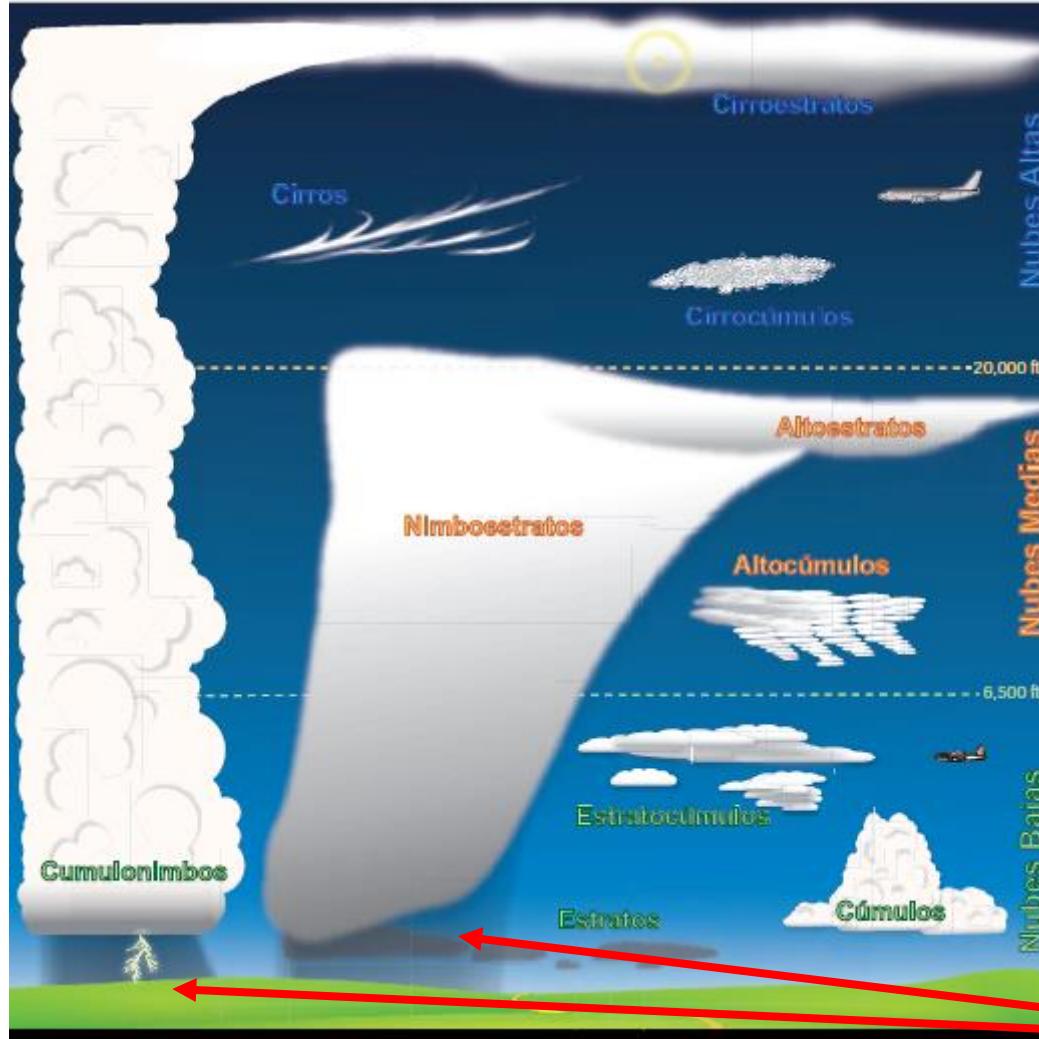
Definidas como nuvens altas devido à saturação

$$RH_c = 0.9 \text{ ! Umidade Relativa Crítica}$$

$$RH_r = 0.2 \text{ ! Umidade Relativa Critica de Referência}$$

$$cldsatn = MAX\left(\frac{RH - RH_c}{RH_r}, 0.0\right)$$

a) Nuvens Profundas (CumuloNimbus e Nimbustratus)



Nuvens com desenvolvimento profundo

$$fp2457 = 0,2457$$

$$fp1253 = 0,1253$$

$$f8p0e3 = 8.0e3$$

$$Cld_{Convec} = fp2457 + fp1253 * \text{LOG}(\text{prec} * f8p0e3)$$

$$Cld_{Convec} = \text{MAX}(Cld_{Convec}, 0.0e0_r8)$$

$$Cld_{Convec} = \text{MIN}(Cld_{Convec}, f0p8)$$

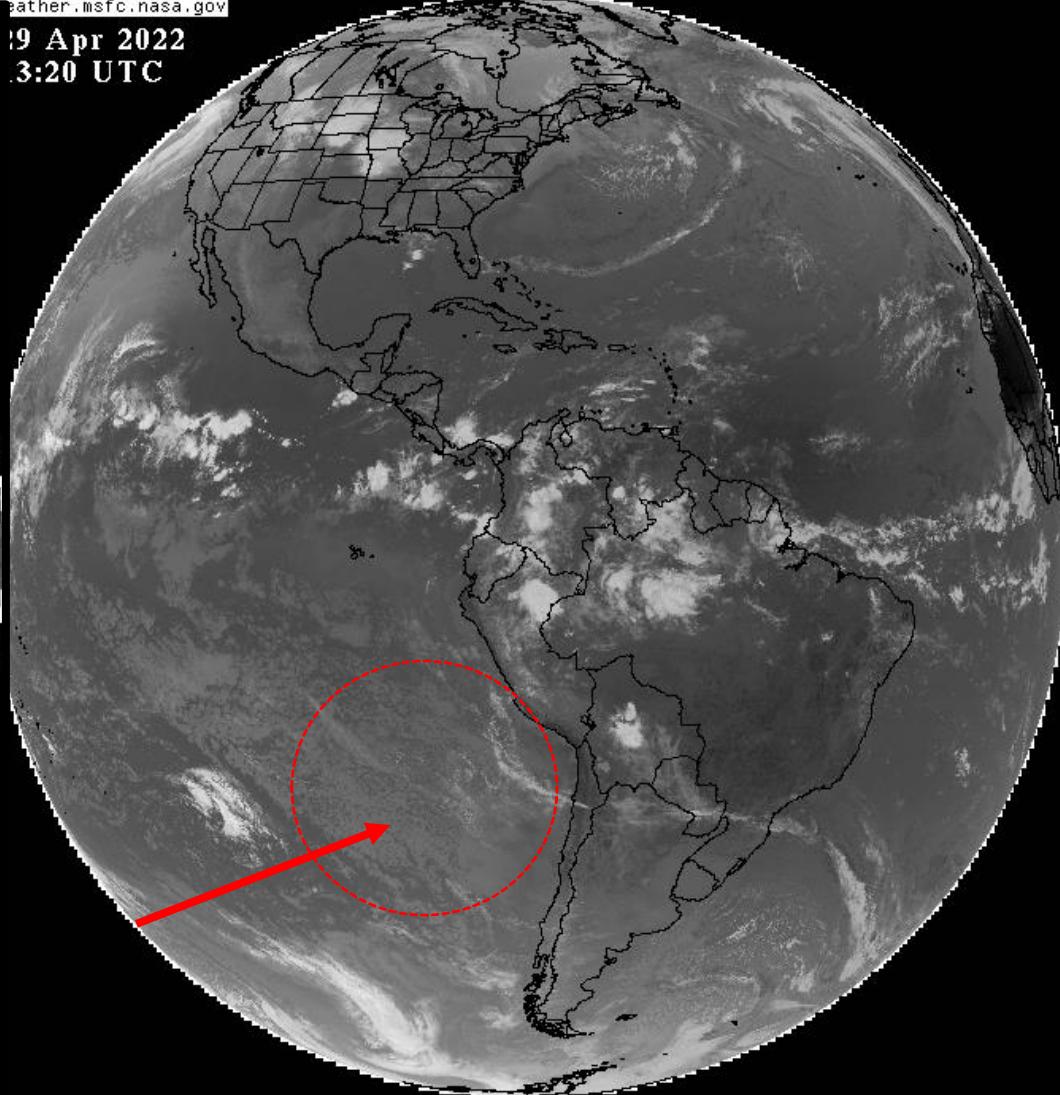
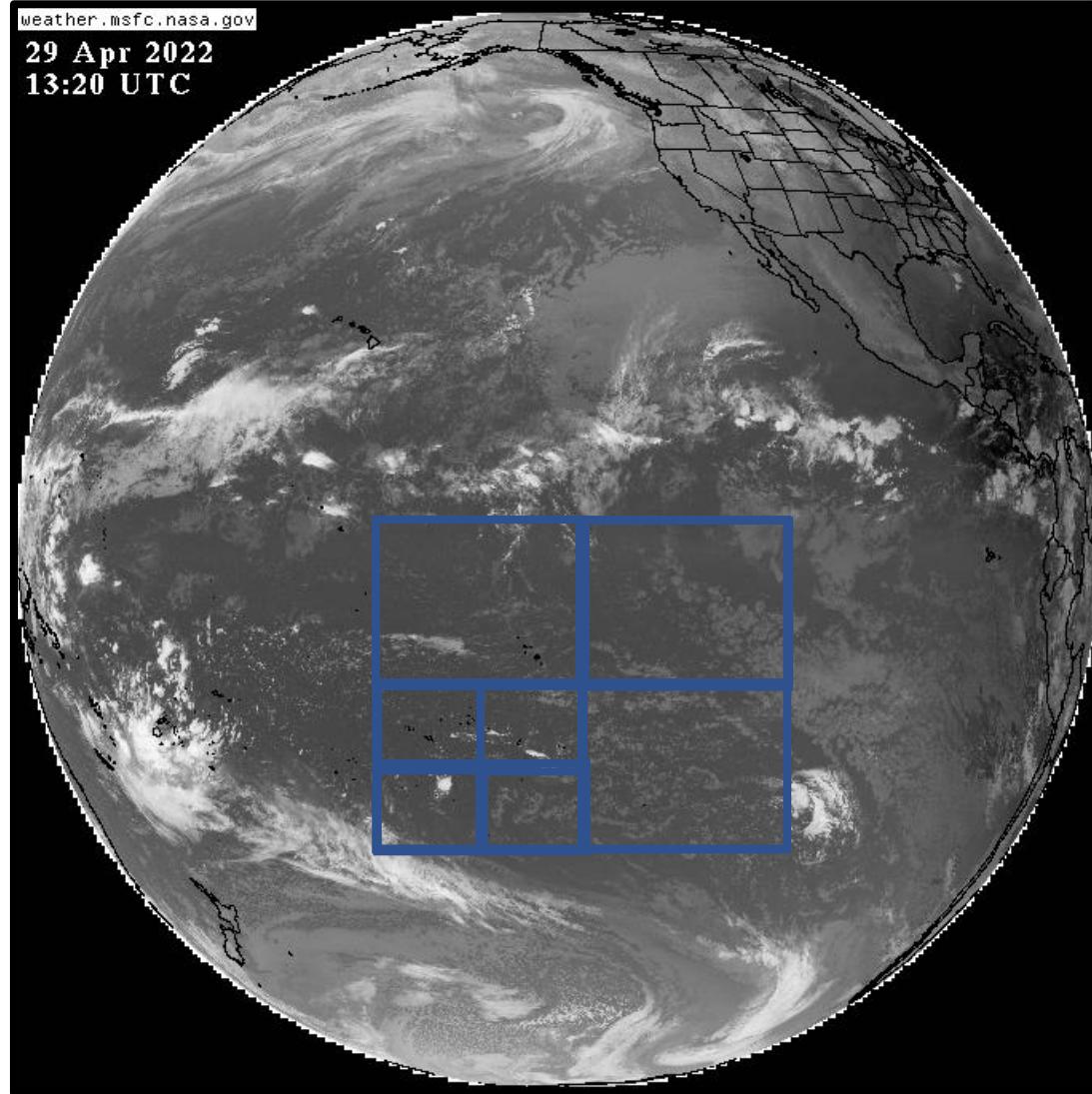
PREC = taxa de precipitação



PARAMETRIZAÇÃO DE NUVENS



As Nuvens Vista pelo satélite no Infra Vermelho



Fábio Yoshio Kubota



Como Parametrizar Nuvens.

a) Evolução da Parametrização de nuvens

$$e_s = 6.112 e^{\left[\frac{(17.67*T)}{243.5+T} \right]}$$

b) Esquema Diagnósticos/Prognósticos de fração de nuvens

$$e = 6.112 e^{\left[\frac{(17.67*T_d)}{243.5+T_d} \right]}$$

c) Esquemas Diagnósticos RH Prognostic Condensate

d) Esquemas Diagnósticos RH Statistical Schemes

$$ur = \frac{e}{e_s} * 100$$

e) Esquemas Fully Prognostic Schemes

$$\frac{\partial \overline{q}_t}{\partial t} + \overline{u}_j \frac{\partial \overline{q}_t}{\partial x_j} = \frac{S_{q_t}}{\overline{\rho}} - \frac{\partial (\overline{u'_j q'_t})_{sfc}}{\partial x_j} - \frac{\partial (\overline{u'_j q'_t})_{pbl}}{\partial x_j}$$



PARAMETRIZAÇÃO DE NUVENS



Tabela 1 Uma visão geral da evolução histórica dos principais aspectos da parametrização da nuvem.

q => é a umidade específica média da grade;

qs => é a média da grade de seu valor de saturação;

a => é a representa a fração de nuvens com

acu => descreve a contribuição de nuvens geradas convectivamente;

I => representa o conteúdo de condensado

I_{cu} => descreve o conteúdo de condensado em nuvens convectivas;

RH => é a umidade relativa média da grade e

CP => é a taxa de precipitação convectiva

	<i>Modeling period</i>			
	<i>1960/70s</i>	<i>1970/80s</i>	<i>1980/90s</i>	<i>Now and beyond</i>
Condensation (nonconvective)	$\bar{q} > \bar{q}_s$	$\bar{q} > \bar{q}_s$	I prognostic function of outcome of processes $a = f(RH)/I$ prognostic	I prognostic function of the processes themselves a prognostic/ prognostic
Radiation effects	Prescribed zonal mean albedo and emissivity of clouds	$a = f(RH)/I$ prescribed		
Convection	No cloud interaction	$a_{cu} = f(CP) I_{cu}$ prescribed	$a_{cu} = f(CP) I_{cu}$ prescribed	Condensate and mass as sources for a and I
Microphysics	None	None	Simple bulk microphysics	Complex bulk microphysics



Parametrização de cobertura de nuvem problema



PARAMETRIZAÇÃO DE NUVENS



Todos ou Nenhum esquema de Nuvens [**Considera o teor de umidade total, $qt = q+ql +qi+qg.....$**]

Considera-se => Se $qt > qsat(T)$ então a célula de grade está com céu nublado. Caso contrário, é céu claro.

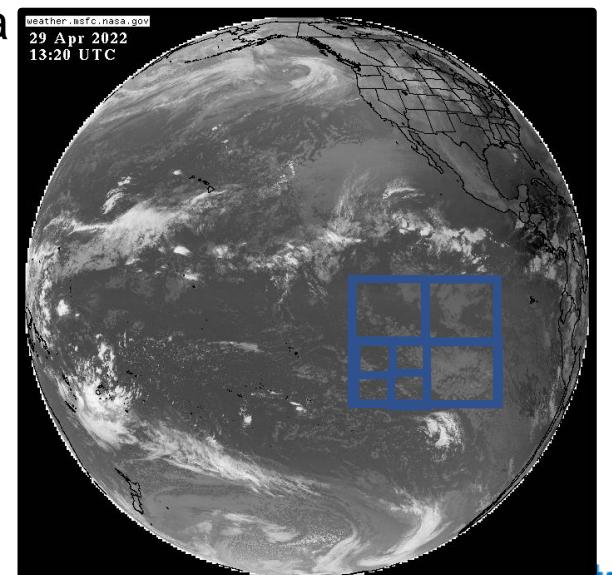
Esta consideração é:

Apenas razoável para célula de grade muito pequenas, onde a nuvem é bem resolvida

$$e_s = 6.112 e^{\left[\frac{(17.67*T)}{243.5+T} \right]}$$

$$e = 6.112 e^{\left[\frac{(17.67*T_d)}{243.5+T_d} \right]}$$

$$ur = \frac{e}{e_s} * 100$$



Fábio Tassilo Ribeiro

Em Grande Escala

$$e_s = 6.112 e^{\left[\frac{(17.67*T)}{243.5+T} \right]}$$

$$e = 6.112 e^{\left[\frac{(17.67*T_d)}{243.5+T_d} \right]}$$

$$ur = \frac{e}{e_s} * 100$$

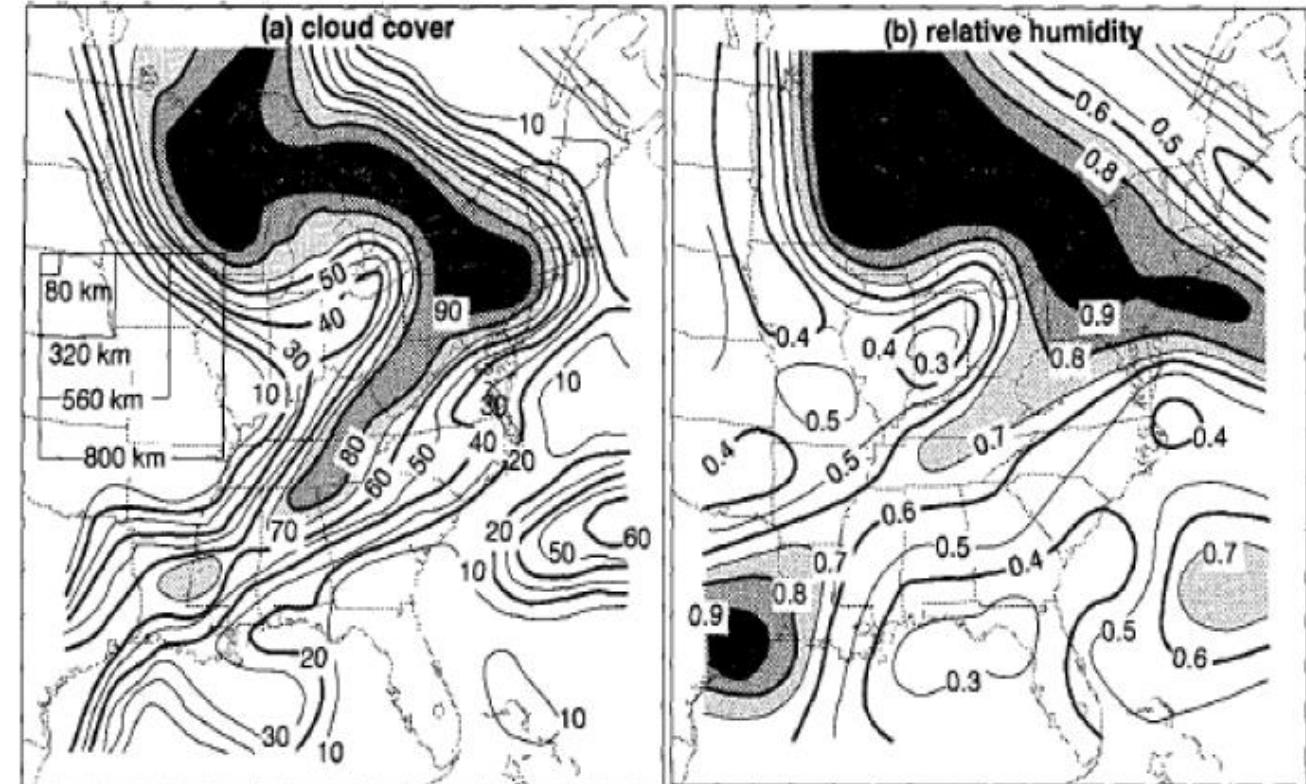


FIG. 2. (a) Cloud cover and (b) relative humidity averaged over $(320 \text{ km})^2$ areas in the layer 800–730 mb at 1800 UTC 23 April 1981. Cloud cover extracted from the U.S. Air Force 3DNEPH compilation of surface reports, aircraft observations, and satellite-derived data. Inset boxes show averaging scales used in this study. Relative humidity interpolated from radiosonde observations in time and space using a hydrostatic

Cobertura de Nuvens, $C > 0$ onde $RH \Rightarrow 100\%$



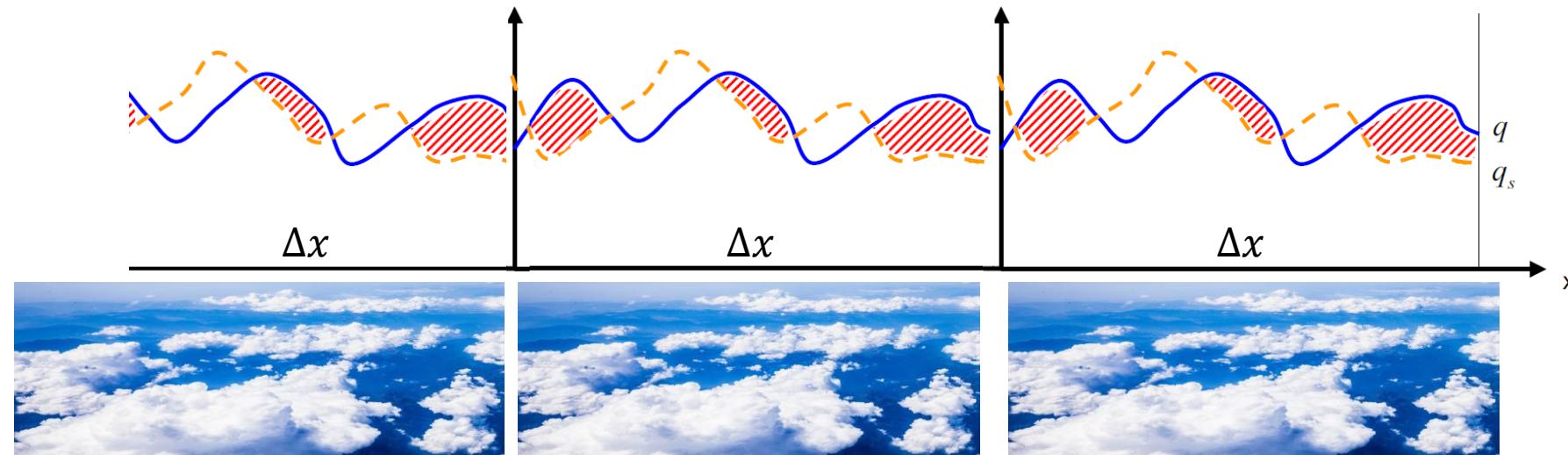
PARAMETRIZAÇÃO DE NUVENS



Observe as flutuações locais em q_t e T

Onde $q_t > q_{sat}(T)$ existe nuvem e $q_t < q_{sat}(T)$ não existe nuvem

Isso pode acontecer em apenas algumas partes da dimensão da célula de grade



Esquema mostra que a cobertura parcial de nuvens na célula de grade **e só será possível** se existirem flutuações de temperatura ou umidade.

A linha azul mostra a umidade e a taxa de mistura de saturação da linha amarela em uma linha arbitrária que representa uma célula de grade.

Se toda a supersaturação se condensar como nuvem, **as regiões sombreadas** ficarão com nuvens.

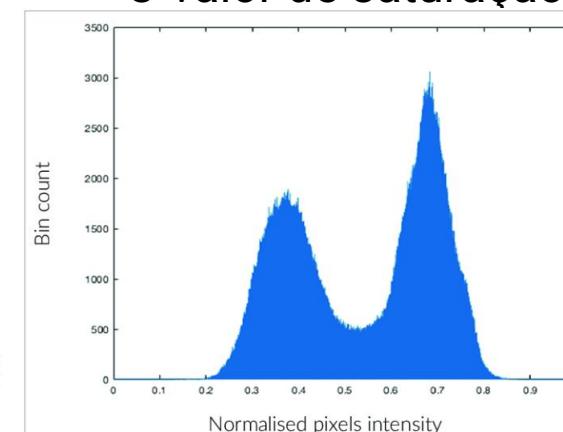
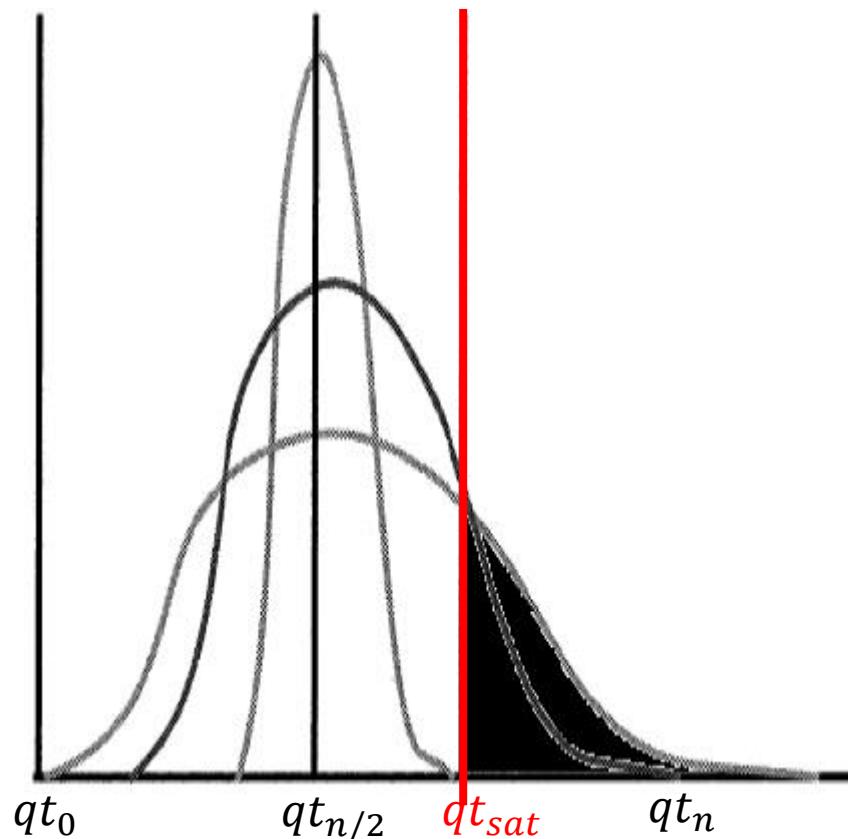


PARAMETRIZAÇÃO DE NUVENS

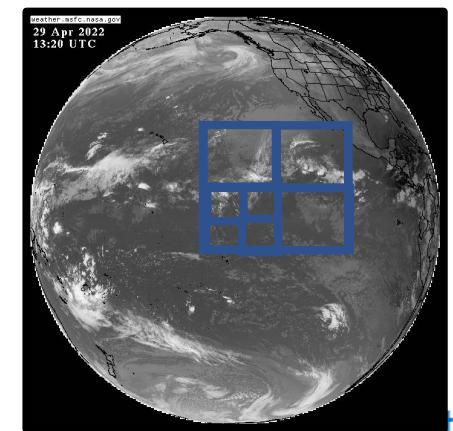


Cobertura de Nuvens

Pdf(qt)

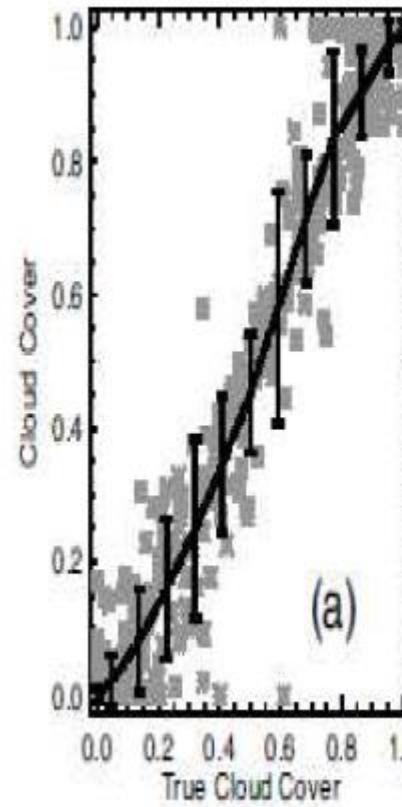


$$\Delta qt_{sat}(t) \cong \Delta T(t)$$

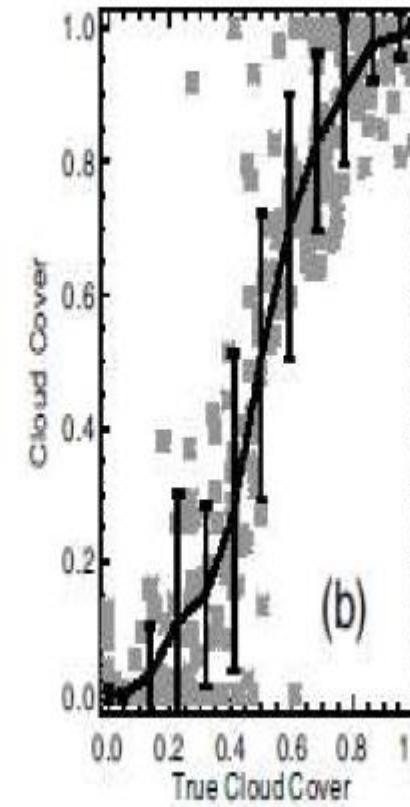


Importância relativa de T' e q'

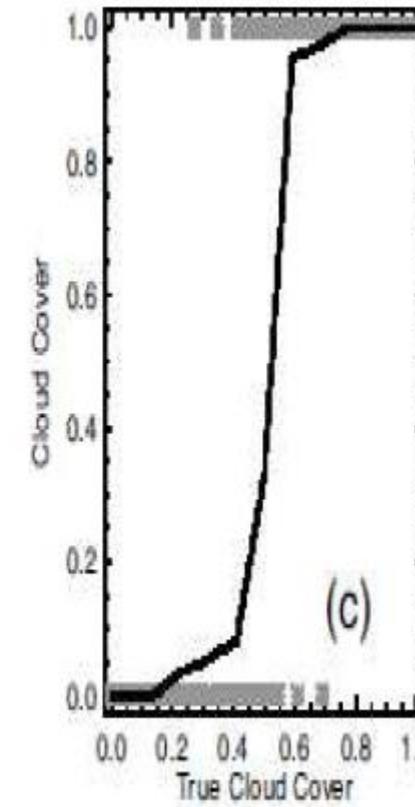
cobertura de nuvens aparente versus cobertura de nuvens verdadeira:



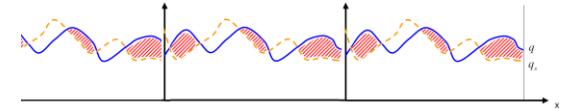
(a) Temperatura T'



(b) umidade Q



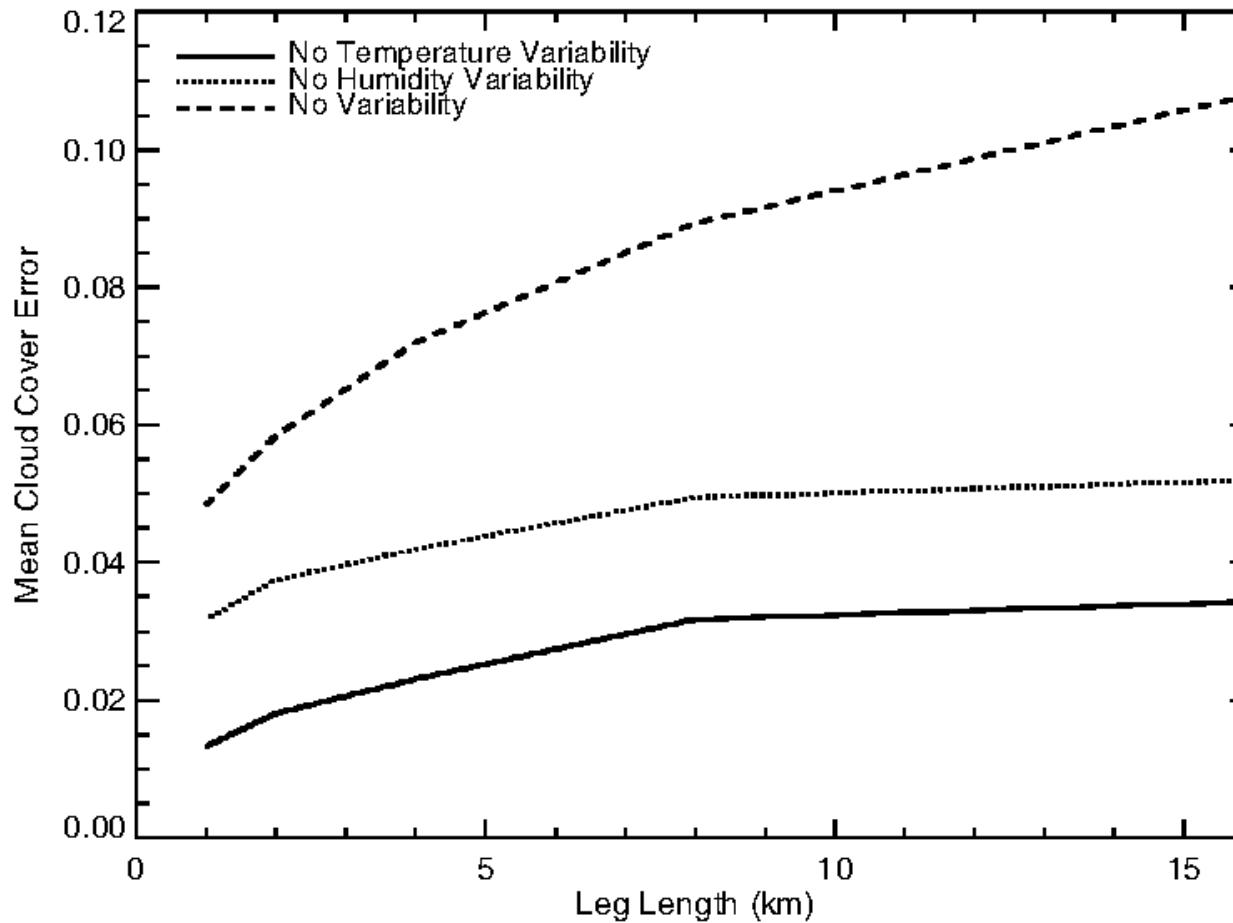
(c) toda variabilidade de T' e Q' são desprezadas.



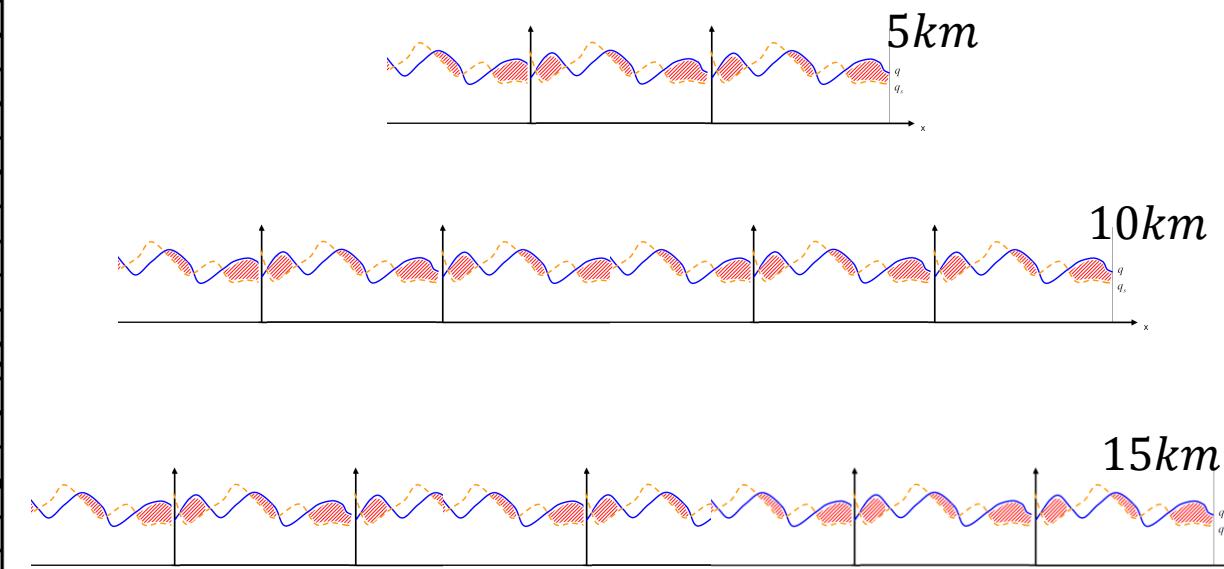
Rotas de voo de 4 km,
desprezando (a) T' (b)
 q' (c) T' e q'

As linhas fornecem a média dos dados agrupados, com as barras verticais indicando \pm um desvio padrão para cada categoria. O cálculo é para o comprimento de malha $L = 4\text{km}$

Importância relativa de T' e q'



Variabilidade mais importante à medida que a escala de comprimento aumenta





Relative humidity methods

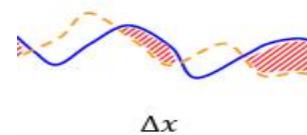


PARAMETRIZAÇÃO DE NUVENS



Umidade relativa “crítica”

Cloud cover “derivation”



Uma fração C da célula de grade está com saturação e uma fração $(1-C)$ está com RH_{clear} (céu limpo)

$$RH = C * RH_{sat} + (1 - C)RH_{clear}$$

$$RH - C * RH_{sat} = (1 - C)RH_{clear}$$

$$RH = C * RH_{sat} + (1 - C)RH_{clear}$$

$$1 - RH = 1 - C * RH_{sat} - (1 - C)RH_{clear}$$

$$1 - RH = (1 - C)(RH_{sat} - RH_{clear})$$

$$(1 - C) = \frac{1 - RH}{(RH_{sat} - RH_{clear})}$$

$$C = 1 - \frac{1 - RH}{(RH_{sat} - RH_{clear})}$$

Agora suponha que a RH_{clear} é ajustada por um valor de referência RH_{ref} mais uma correção linear dependendo da cobertura de nuvens

$$RH_{clear} = RH_{ref} + C(RH_{clear} - RH_{ref})$$

$$(1 - C)RH_{clear} = (1 - C)RH_{ref}$$

$$(1 - C)RH_{clear} = (1 - C)RH_{ref}$$

$$C = 1 - \frac{1 - RH}{(RH_{sat} - RH_{ref})}$$

$$C = 1 - \frac{1 - RH}{(RH_{sat} - RH_{crit})}$$

Elimine RH_{clear} e reorganize para C

$$C = 1 - \frac{1 - RH}{(1 - RH_{crit})}$$

Onde $RH_{ref} = RH_{crit}$



=> Considerações sobre esta parametrização

- **Esquemas de RH Muito simples de implementar**
- **Na prática RH_{crit} diminui com a altura**
- **O RH_{crit} é redefinido (aumentado) quando a resolução melhora**
- **A ideia de uma relação única entre C e RH é excessivamente simplista**

1. **Roeckner et al 1996 no ECHAM aumentou C nas proximidades de uma inversão de temperatura para resolver problemas com Stratus Cumulos**
2. **Slingo 1987, C modificado em níveis médios com fator proporcional a ω_{500} (e defina C = 0 para $\omega_{500} > 0$)**



PARAMETRIZAÇÃO DE NUVENS



O modelo climático ECHAM4 Roeckner et al. (1996) aumenta a cobertura de nuvens na presença de uma forte inversão de temperatura para melhorar a representação do estratocúmulo.

$$C = 1 - \frac{1 - RH}{(1 - RH_{crit})}$$



$$C = 1 - \sqrt{\frac{1 - RH}{1 - RH_{crit}}}$$



Mecanismos de geração de nuvens de inversão:

Devido ao tipo de inversão da camada $\text{if } \frac{d\theta}{dP_{k+1}} < dthdpc \Rightarrow fc = \text{MAX}(-f6p67 * \left(\frac{d\theta}{dP_{k-1}} - dthdpc\right), 0.0)$

$$C = \text{MAX}(C, fc)$$



PARAMETRIZAÇÃO DE NUVENS



Se $\omega_{500} > \omega_{crit}$ a cobertura de nuvens definida como zero **se está ocorrendo movimento subsidente ($\omega_{500} > 0$)**.

O **esquema Slingo (1980, 1987)** foi usado operacionalmente no modelo de previsão do ECMWF até sua substituição pelo esquema Tiedtke (1993) em 1995.,

O **esquema Slingo (1980, 1987)** foi usado por mais 10 anos nos cálculos lineares dos loops internos 4D-Var até ser substituído por Tompkins e Janisková (2004).

A **forma básica para a cobertura de nuvens de nível médio** (C_{mid}) é dada como

$$C_{mid}^* = \left(\frac{RH - RH_{crit}}{1 - RH_{crit}} \right)^2$$

mas **Slingo modifica isso de acordo com um preditor adicional**, a velocidade vertical em 500 hPa (w_{500}),

$$C_{mid} = C_{mid}^* \frac{\omega_{500}}{\omega_{crit}},$$



PARAMETRIZAÇÃO DE NUVENS



Xu e Randall (1996) usaram um modelo de resolução de nuvens (CRM) para derivar uma relação empírica para a cobertura de nuvens com base nos dois preditores de UR e teor de água da nuvem:

$$C = RH^p \left[1 - \exp \left(\frac{-\alpha_0 \bar{q}_l}{(q_s - q_v)^\gamma} \right) \right]$$

Onde γ , α_0 e p são constantes empíricas 'ajustáveis' do esquema, com valores escolhidos usando dados do CRM.

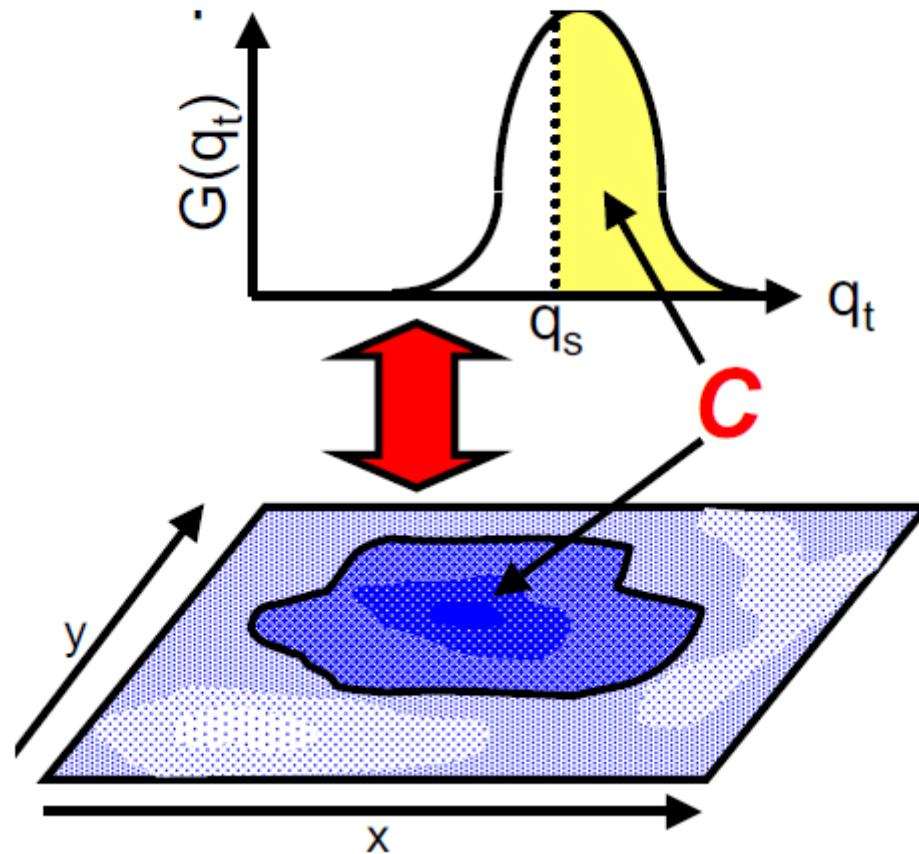
O ponto fraco do esquema é, obviamente, essa dependência da confiabilidade das parametrizações do CRM, em particular o esquema de microfísica.

Além disso, é improvável que o conjunto limitado de casos (convectivos) usados como conjunto de dados de treinamento abranja toda a gama de situações que podem surgir naturalmente, como nuvem devido aos sistemas frontais, por exemplo.



Métodos Estatísticos

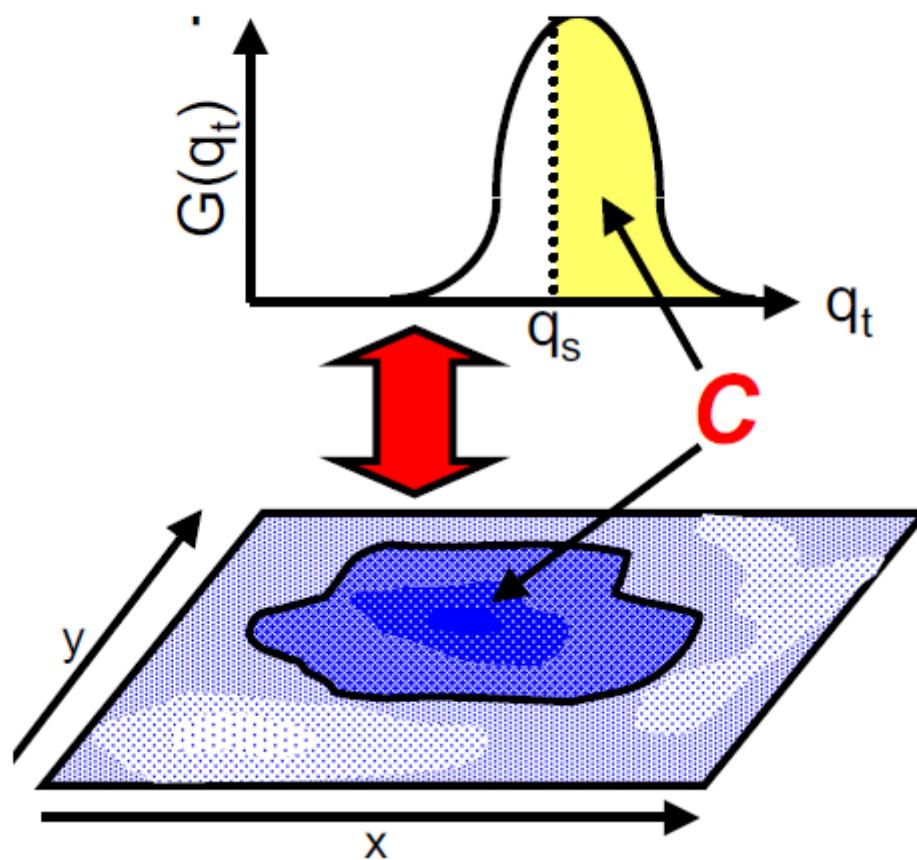
TOMPKINS, A.M.: CLOUD PARAMETRIZATION



O painel superior mostra um PDF $[G(q_t)]$ idealizado para a água líquida total (q_t). A linha vertical pontilhada representa a proporção de mistura de saturação $q_t = q_s$, portanto, todos os pontos sob o PDF à direita desta linha são nuvens.

A integral desta área traduz-se na porção com nuvens da célula de grade, marcada na parte inferior da figura, com sombreamento mais escuro representando esquematicamente altos valores água líquida.

TOMPKINS, A.M.: CLOUD PARAMETRIZATION



Se a forma PDF para água liquida total (q_t) for conhecida, então a cobertura de nuvens **C** é simplesmente a integral sobre a parte da PDF para a qual q_t excede q_s :

$$C = \int_{q_s}^{\infty} G(q_t) dq_t$$

Da mesma forma, a agua liquida condensada da nuvem é dado por

$$q_c = \int_{q_s}^{\infty} (q_t - q_s) G(q_t) dq_t$$

Assume-se que toda supersaturação é imediatamente condensada como nuvem. Aqui também estamos ignorando as flutuações de temperatura para simplificar



Definindo o PDF

Table 1: PDF forms used in statistical cloud schemes. In the summary column, the key is: U=unimodal, B=Bimodal, S=Symmetric, Sk=Skewed.

PDF Shape	Summary	Reference
Double Delta	U,S	Ose (1993); Fowler et al. (1996)
Uniform	U,S	LeTreut and Li (1991)
Triangular	U,S	Smith (1990); Rotstayn (1997); Nishizawa (2000)
Polynomial	U,S	Lohmann et al. (1999)
Gaussian	U,S	Bougeault (1981); Ricard and Royer (1993); Bechtold et al. (1995)
Beta	U,sk	Tompkins (2002)
Log-normal	U,sk	Bony and Emanuel (2001)
Exponential	U,Sk	Bougeault (1981); Ricard and Royer (1993); Bechtold et al. (1995)
Double Gaussian/Normal	B,Sk	Lewellen and Yoh (1993); Golaz et al. (2002)

Exemplos de PDFs encontrados na literatura obtidos e dados de agua liquida e gelo

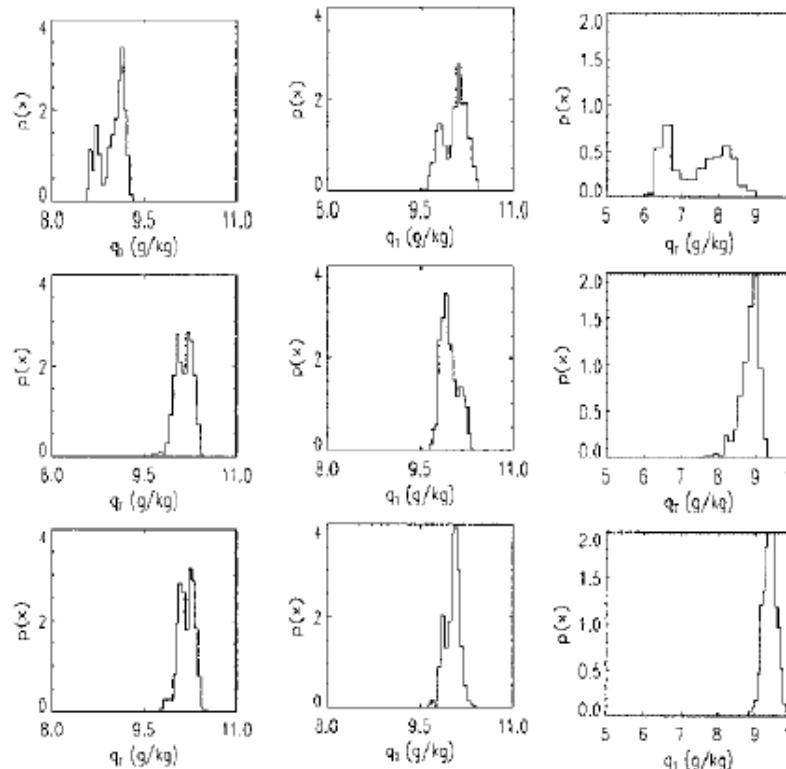


Figure 5: Reproduction total water PDFs from the aircraft observational study of [Wood and Field \(2000\)](#). Refer to the original article for details.

Derivando PDF de dados Observacionais

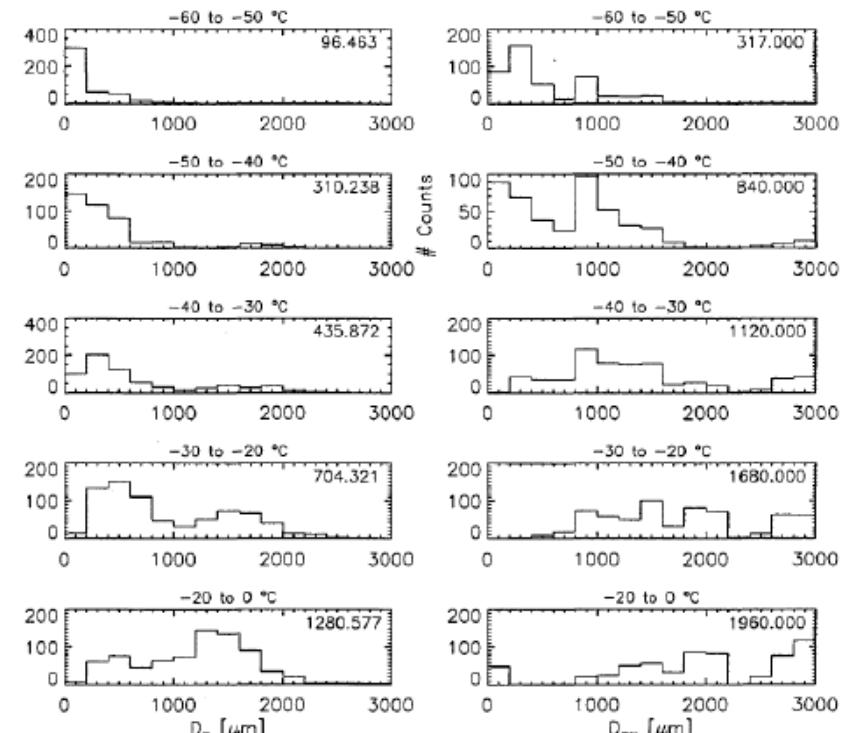


Figure 6: Reproduction of ice water content PDFs from the aircraft observational study of [Heymsfield and McFarquhar \(1996\)](#). Refer to the original article for details.

Embora seja difícil derivar teoricamente uma forma PDF, uma vez que a distribuição qt é o resultado de um grande número de processos interagindo entre si.

O uso de **métodos empíricos**, pode ser **justificado baseados em argumentos físicos para justificar certas formas funcionais**. Por exemplo, na ausência de outros processos, a mistura dinâmica em larga escala tenderia a reduzir tanto a variância quanto a assimetria da distribuição.



MOMENTOS DE ORDEM SUPERIOR DA DISTRIBUIÇÃO

A segunda tarefa dos esquemas estatísticos é **definir os momentos de ordem superior da distribuição**.

Se a **distribuição for simples**, como a distribuição uniforme, ela será definida por um pequeno número de parâmetros. No caso da distribuição uniforme, **pode-se especificar os limites inferior ou superior** da distribuição; **são necessários dois parâmetros**.

Equivalentemente, pode-se dar os **dois primeiros momentos** da distribuição: ou seja, a **média e a variância**.

Da mesma forma, as **PDFs mais complicados que requerem 3 parâmetros** e podem ser definidos exclusivamente usando **os três primeiros** momentos: **média, variância e assimetria**; quatro distribuições de parâmetros precisam do **quarto momento** use-se **curtose**.

MOMENTOS DE ORDEM SUPERIOR DA DISTRIBUIÇÃO

A especificação precisa dos momentos é importante.

O esquema abaixo mostra que, mesmo se a **média** de distribuição esteja correta, **diagnosticar uma variância muito pequena** (ou seja, a **distribuição é muito estreita**) **levará à previsão incorreta de condições de (céu claro)/(céu com nuvens)**.

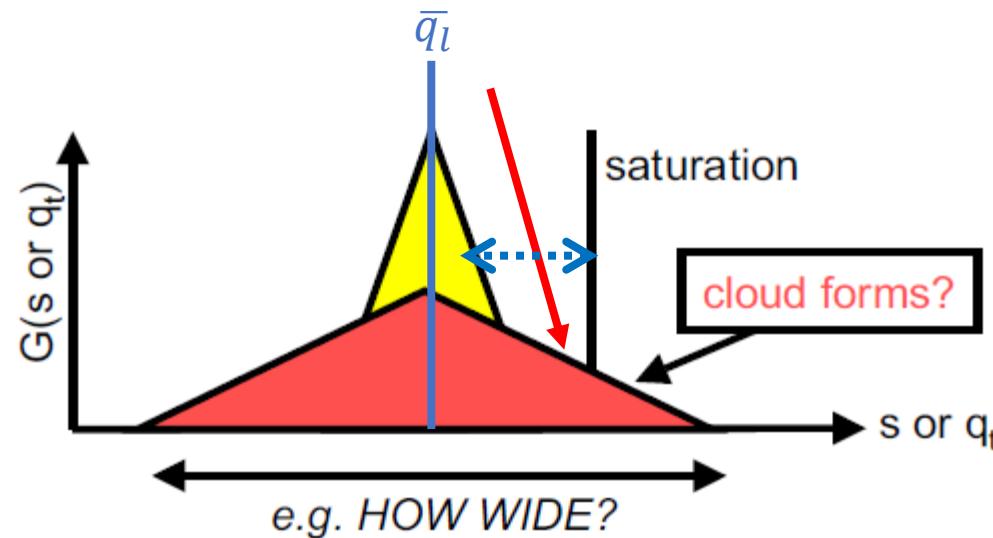


Figura 8: Mesmo que a **média água líquida total esteja correta** [\bar{q}_l], o **diagnóstico da largura da distribuição pode estar incorreta**.

Por exemplo, a **distribuição amarela é muito estreita**, então as **condições de céu claro prevalecerão quando de fato existe uma cobertura parcial de nuvens (triângulo rosa)**.



MOMENTOS DE ORDEM SUPERIOR DA DISTRIBUIÇÃO

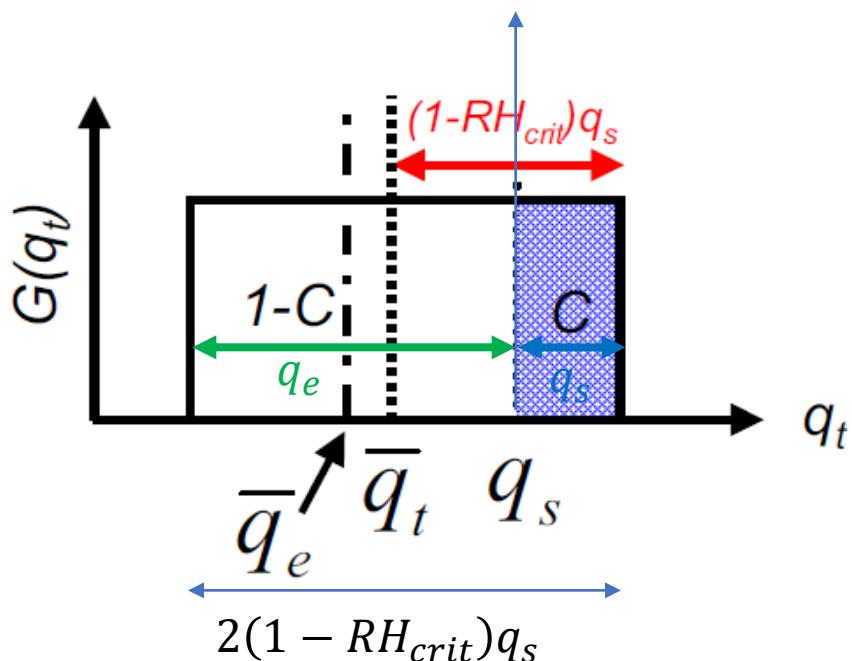
Alguns esquemas fixam diagnosticamente os momentos de ordem superior da distribuição, como a variância.

No entanto, fica claro que essa não é uma abordagem ideal ter uma largura de distribuição fixa (por exemplo):

A PDF (e, portanto, as propriedades da nuvem) não são capazes de responder às condições dinâmicas locais. A largura fixa (e momentos de ordem superior) são então equivalentes à especificação da umidade relativa crítica na qual a nuvem são calculadas nos esquemas de umidade relativa.

Os esquema estatístico com momentos fixos pode ser reduzido a um esquema RH,

Para ilustrar isso com um exemplo específico, consideremos a distribuição uniforme adotada por LeTreut e Li (1991). A PDF para uma caixa de grade parcialmente nublada típica é mostrada na Fig. 9. Considerando a umidade, assume-se que **não existe supersaturação como é usual** e, portanto, **na porção nublada**, $q_t = q_v = q_s$. Assim, a **umidade relativa média** \bar{q}_v da grade pode ser escrita como: $\bar{q}_v = Cq_s + (1 - C)q_e$



onde q_e é a umidade no 'ambiente' da nuvem; a parte sem nuvem do gridbox.

A partir da forma de **distribuição uniforme**, é possível definir q_e em termos de um RH crítico para a formação de nuvens RH_{crit} :

$$q_e = q_s + C(1 - RH_{crit})q_s - (1 - RH_{crit})q_s$$

$$q_e = q_s - (1 - C)(1 - RH_{crit})q_s$$

$$q_e = q_s(1 - (1 - C)(1 - RH_{crit}))$$

Figura 9: Auxílio gráfico à derivação da cobertura de nuvens em função da RH quando a água líquida total é assumida uniformemente distribuída. Se a nuvem começar a se formar em RH_{crit} , a largura da distribuição será $2q_s(1 - RH_{crit})$. Veja o texto para detalhes.

Os esquema estatístico com momentos fixos pode ser reduzido a um esquema RH,

Para ilustrar isso com um exemplo específico, consideremos a distribuição uniforme adotada por LeTreut e Li (1991). A PDF para uma caixa de grade parcialmente nublada típica é mostrada na Fig. 9. Considerando a umidade, **assume-se que não existe supersaturação** como é usual e, portanto, na porção nublada, $q_v = q_s$.

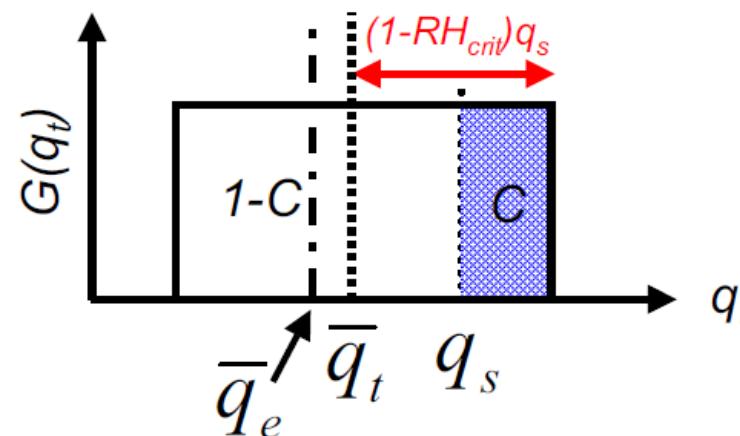
Assim, a umidade média da grade pode ser escrita como:

$$\bar{q}_v = C q_s + (1 - C) q_e$$

$$\frac{\bar{q}_v}{q_s} = C + (1 - C) \frac{q_e}{q_s}$$

$$\frac{q_e}{q_s} = (1 - (1 - C)(1 - RH_{crit}))$$

$$\frac{1}{(1 - C)} \left(\frac{\bar{q}_v}{q_s} - C \right) = \frac{q_e}{q_s}$$



A definição de RH é \bar{q}_v / q_s , que substituindo as definições acima dá

$$\frac{\bar{q}_v}{q_s} = C + (1 - C)[(1 - (1 - C)(1 - RH_{crit}))]$$

$$RH = C + [(1 - C) - (1 - C)^2 (1 - RH_{crit})]$$

$$RH = [(1 - (1 - RH_{crit})(1 - C)^2)]$$

Este é reconhecido como sendo o esquema de umidade relativa usado por Sundqvist et al. (1989).

$$C = 1 - \sqrt{\frac{1 - RH}{1 - RH_{crit}}}$$



Os esquemas estatísticos com momentos fixos pode ser reduzido a um esquema RH,

Em resumo, é importante ressaltar que não há uma distinção clara entre os chamados 'esquemas de RH' e os esquemas estatísticos.

Se uma **variância invariante no tempo** for usada em um esquema estatístico, ela pode ser reduzida a uma formulação do tipo RH.

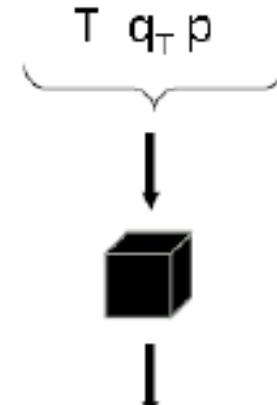
O esquema **RH** de Sundqvist et al. (1989) pode ser derivado assumindo uma distribuição uniforme para a água líquida total

O esquema de Smith (1990) também reduz a uma formulação de UR equivalente.

Cloud Scheme



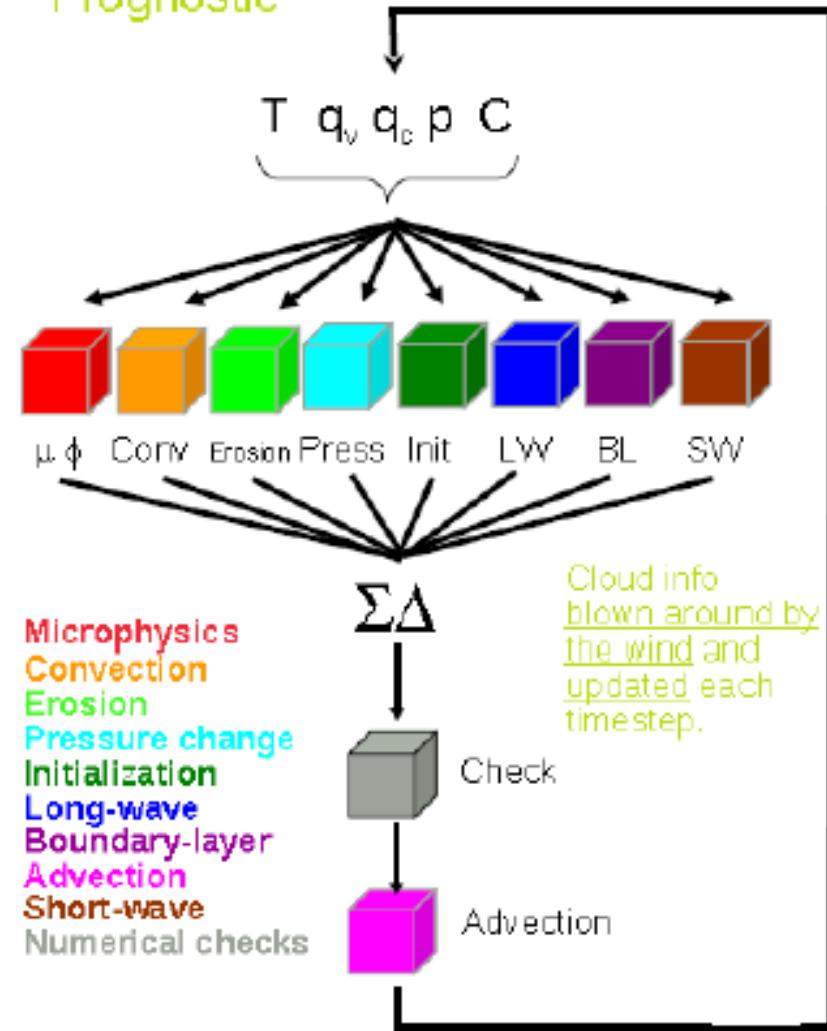
Diagnostic



$q_v \ q_c \ C$

Cloud info is
calculated afresh
each timestep.

Prognostic



Microphysics
Convection
Erosion
Pressure change
Initialization
Long-wave
Boundary-layer
Advection
Short-wave
 Numerical checks

Cloud info
blown around by
the wind and
updated each
timestep.

Esquema Prognósticos

Os méritos ou não dos esquemas de nuvem de prognóstico versus diagnóstico

Deve-se ou não incluir uma equação prognóstica para os parâmetros centrais para esquema nuvens.

No caso dos esquemas estatísticos, é provável (mas não necessariamente). **Implicará mais memória (uma equação prognóstica)** para os momentos de ordem superior, como a variância, onde, como na abordagem do Esquema Tiedtke

A variável prognóstica é a própria cobertura de nuvens ?

Independentemente da variável em questão.

A pergunta é sempre se a variável tem uma escala de tempo de equilíbrio rápido em relação ao passo de tempo do modelo.

Por exemplo o caso da turbulência (Lendrink e Siebesma, 2000). A equação prognóstica para a variância σ^2 é:

$$\frac{d\sigma^2(q_t)}{dt} = -2\overline{w'q'_t}\frac{dq_t}{dz} - \frac{\sigma^2(q_t)}{\tau}$$



Esquema Prognósticos

Para nuvens de longa duração, com evolução ao longo de várias horas, pode-se ser necessário carregar explicitamente na memória.

$$\frac{d\sigma^2(q_t)}{dt} = -2\overline{w'q_t'} \frac{dq_t}{dz} - \frac{\sigma^2(q_t)}{\tau}$$

por exemplo.

poderia economizar memoria para $\sigma(q_t)$ em cada passos de tempo $\frac{d\sigma^2(q_t)}{dt} = 0$ e manter o LHS da eq. acima

$$0 = -2\overline{w'q_t'} \frac{dq_t}{dz} - \frac{\sigma^2(q_t)}{\tau}$$

$$\sigma^2(q_t) = -\tau \left[2\overline{w'q_t'} \frac{dq_t}{dz} \right]$$



Esquema Prognósticos

Primeira tentativa convencional e ainda popular para lidar com **C explicitamente com fontes/sumidouros** devido a vários processos

Por Exemplo: O **aumento na fração de nuvens** devido ao resfriamento é determinado em **função do resfriamento que reduz o q_{sat}**

$$\left. \frac{dC}{dt} \right|_{\text{cond}} = - \left(\frac{1-C}{q_{\text{sat}} - q} \right) \frac{dq_{\text{sat}}}{dt}$$

Tiedtke 1993 deriva assumindo uma PDF na forma de TOP-HAT para umidade centrada no valor médio da célula de grade

ou seja, uma PDF ainda está sendo usado!



Esquema Prognósticos

Tiedtke 1993

Supõe a força homogênea usada para vários processos (por exemplo, mistura turbulenta) a distribuição de $G(s)$ é deslocada para a esquerda ou para a direita, mas a forma não é alterada

Separar suposições plausíveis feitas para efeitos em C e q_l

Um possível problema é a inconsistência tal que não existe uma PDF onde, por exemplo, se C ou q_l é zero e o outro não (**nesse caso, o céu claro é imposto**)



Esquema Prognósticos

Esquema de Tompkins, 2002, 2003

Despreza T'

Usa distribuição gama de 4 parâmetros de qt com equações de prognóstico para as fontes/sumidouros de 3 parâmetros da distribuição assumida

A formulação de fontes e sumidouros de tais parâmetros a partir de, por exemplo, processos microfísicos é difícil

Um quarto parâmetro é assumido como diagnóstico dos outros 3



Brazilian Atmospheric Model



Esquema Prognósticos

Met Office UM, Wilson et al 2008

Anteriormente usado um esquema RH_{crit} equivalente a uma PDF triangular simétrico (Smith 1990)

Agora usando um esquema de prognóstico para C e q_l

$$\frac{\partial \bar{q}_t}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{q}_t}{\partial x_j} = \frac{S_{q_t}}{\bar{\rho}} - \frac{\partial (\bar{u}'_j q'_t)}{\partial x_j}_{sfc} - \frac{\partial (\bar{u}'_j q'_t)}{\partial x_j}_{pb}$$
$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial C}{\partial t} \Big|_{advection} + \frac{\partial C}{\partial t} \Big|_{rad} + \frac{\partial C}{\partial t} \Big|_{conv} + \frac{\partial C}{\partial t} \Big|_{micro} + \frac{\partial C}{\partial t} \Big|_{blayer}$$
$$+ \frac{\partial C}{\partial t} \Big|_{erosion} + \frac{\partial C}{\partial t} \Big|_{expansion}$$

Originalmente Clima, NWP global, agora em mesoescalas Radiação, turbulência e expansão apenas alteram q_t , não C, q_l



Esquema Prognósticos

Met Office UM, Wilson et al 2008

Precisa ser capaz de iniciar a nuvem de céu claro

Equações prognósticas nem sempre apropriadas para isso, como raciocínio baseado na suposição de mudança para nuvem pré-existente

Use o esquema RHcrit para inicialização

O esquema não assume nenhuma PDF; ele só computa os momentos



Como Representar as Propriedades das Nuvens na Grade do Modelos.

- a) Propriedades Óticas de Nuvens
- b) Suposição de sobreposição (overlap) de nuvem em modelos

Como Representar as Propriedades das Nuvens na Grade do Modelos.

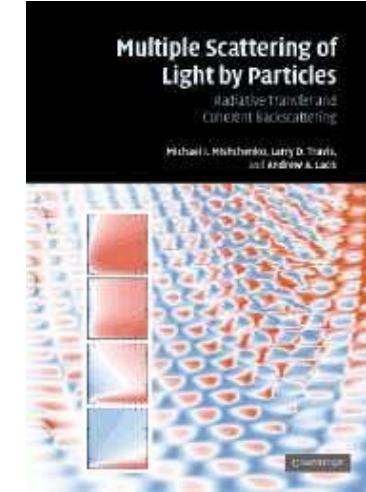
De Maxwell à transferência radiativa

Mishchenko et al. (2007)

Eq. Maxwell em termos dos campos
 $E(x, t), B(x, t)$

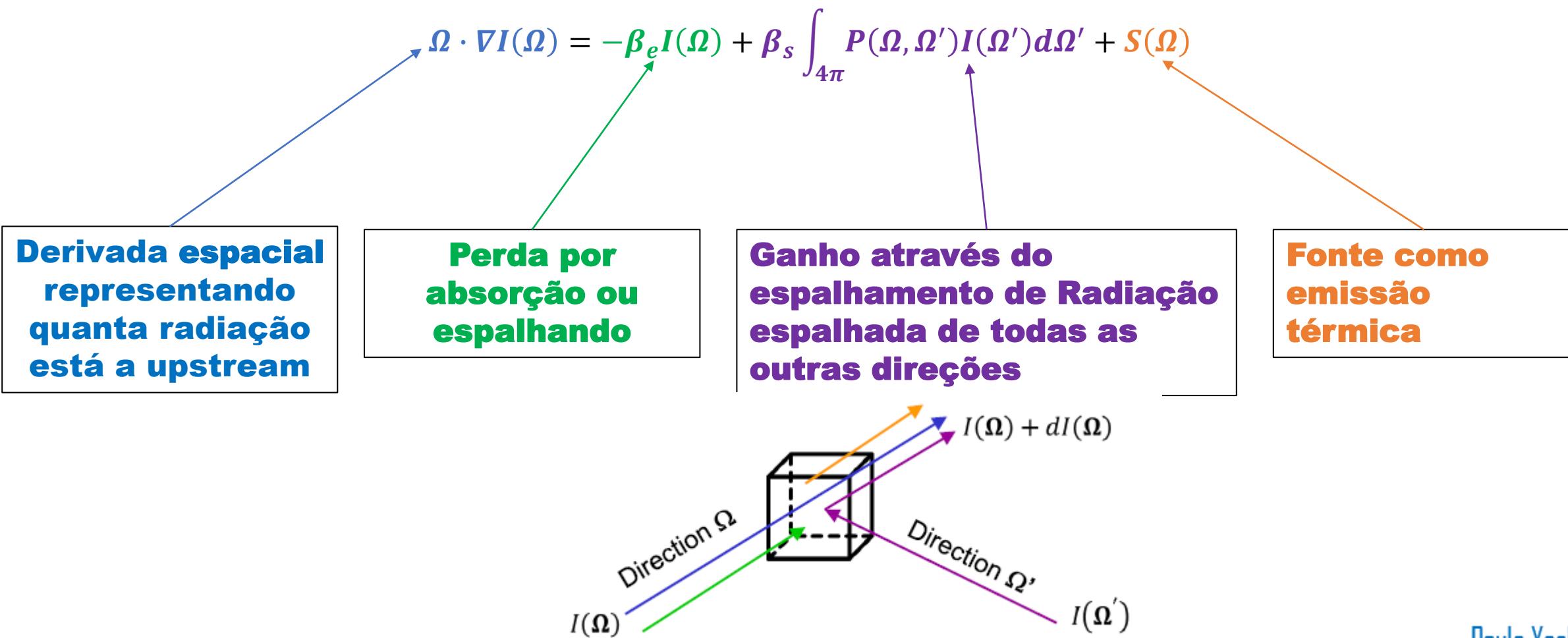
Suposições razoáveis:

- Ignorar **polarização**
- Ignore a **dependência do tempo** (o sol é uma fonte contínua)
- As partículas são separadas aleatoriamente para que as intensidades sejam adicionadas de forma incoerente e a fase seja ignorada
- **Orientação aleatória** das partículas para que a função de fase **não dependa** da **orientação absoluta**
- **Nenhuma difração** em torno de características maiores do que partículas individuais Mishchenko et al. (2007)



3D Transferência Radiativa em termos de monocromático radiância $I(x, \Omega, v)$ em $\frac{W}{m^2 sr Hz}$

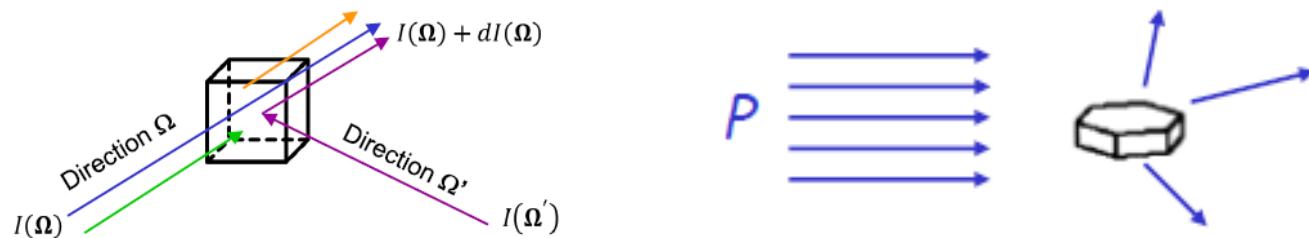
Como Representar as Propriedades das Nuvens na Grade do Modelos. Eq. transferência radiativa



Como Representar as Propriedades das Nuvens na Grade do Modelos.

Espalhamento por partículas

- As equações de Maxwell são usadas para obter propriedades de espalhamento
- Suponha que iluminamos uma única partícula com **radiação monocromática** de densidade de fluxo P (em W/m^2)

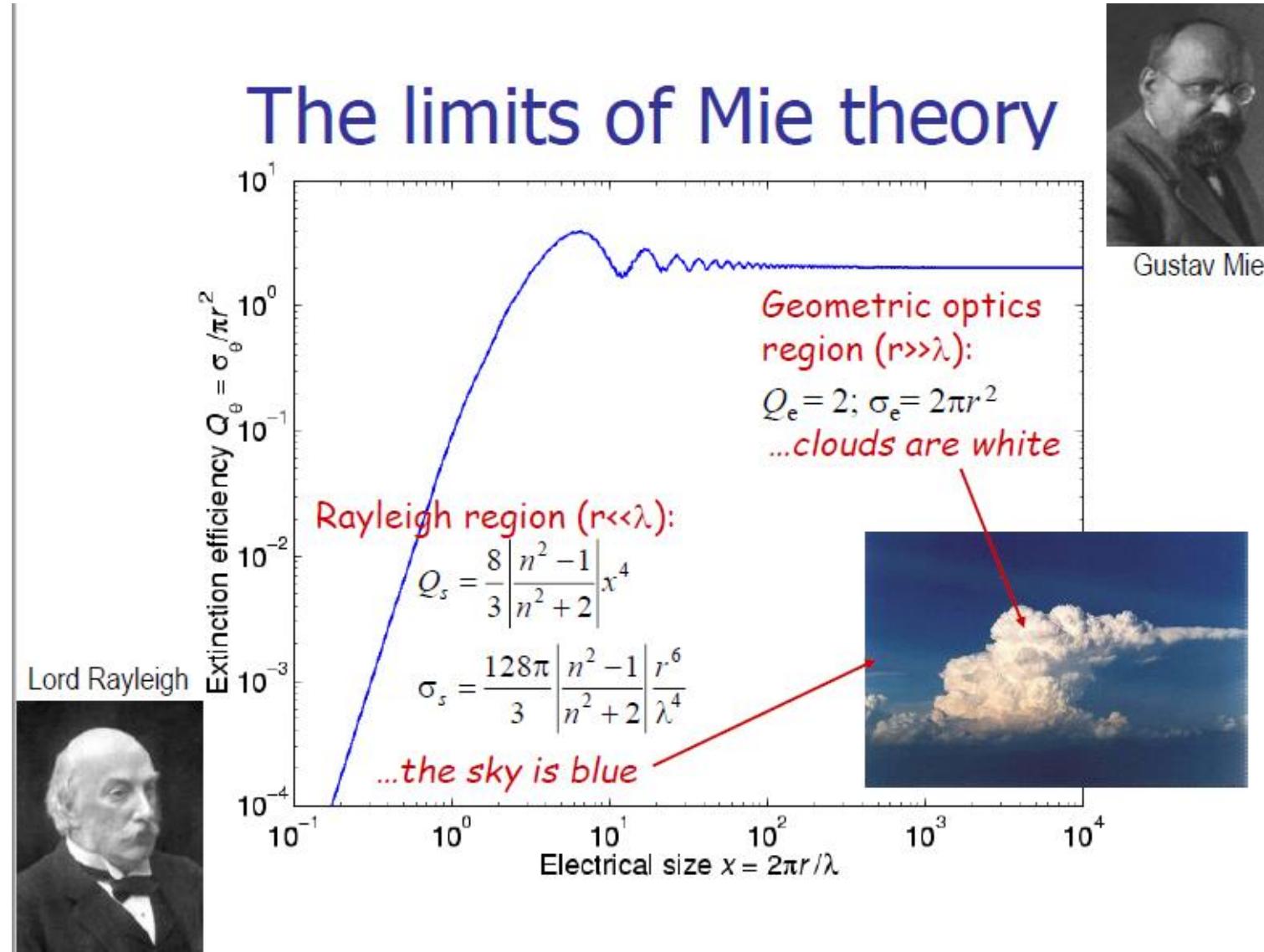


- A seção transversal de espalhamento σ_s (em m^2) é definida de modo que a Intensidade(potência) total espalhada (em W) é $P\sigma_s$
- A seção transversal de absorção σ_a é a mesma, mas para a potência absorvida
- A Seção transversal de extinção $\sigma_e = \sigma_s + \sigma_a$ é a soma dos dois
- Albedo de espalhamento simples** $\omega_0 = \frac{\sigma_s}{(\sigma_s + \sigma_a)} = \frac{\sigma_s}{(\sigma_e)}$

- Espalhamento direcional descrito pela função de fase $P(\Omega)$**
- Ω é o ângulo entre as direções incidente e espalhada
- Função de fase normalizada de tal forma que

$$\int_{\Omega} P(\Omega) d\Omega = 4\pi$$

Como Representar as Propriedades das Nuvens na Grade do Modelos.

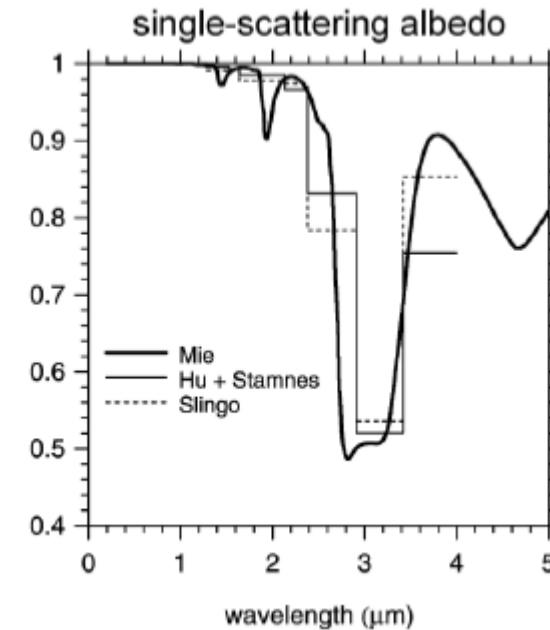
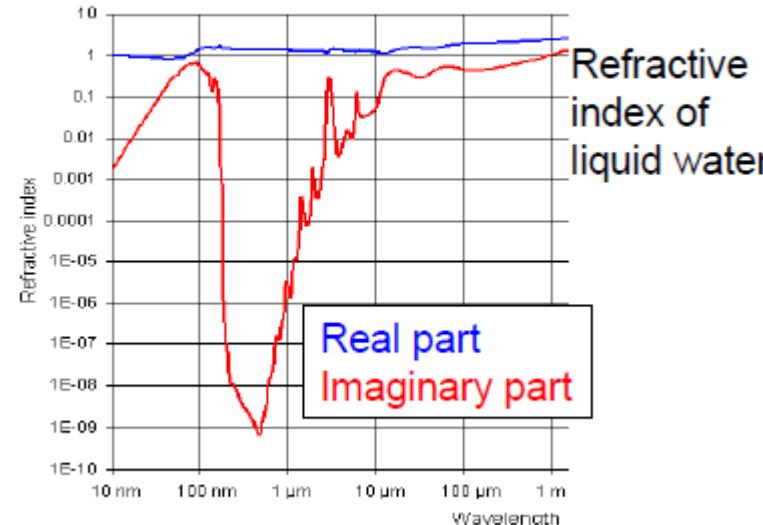


Como Representar as Propriedades das Nuvens na Grade do Modelos.

Albedo de espalhamento simples $\omega_0 = \frac{\sigma_s}{(\sigma_e)}$

- Absorção relacionada à parte imaginária do índice de refração m_i

- Para líquido e gelo
 - Visível: m_i é muito pequeno, então ω é próximo de um (0,999...)
 - Onda longa: m_i mais alto então $\omega \sim 0,5$

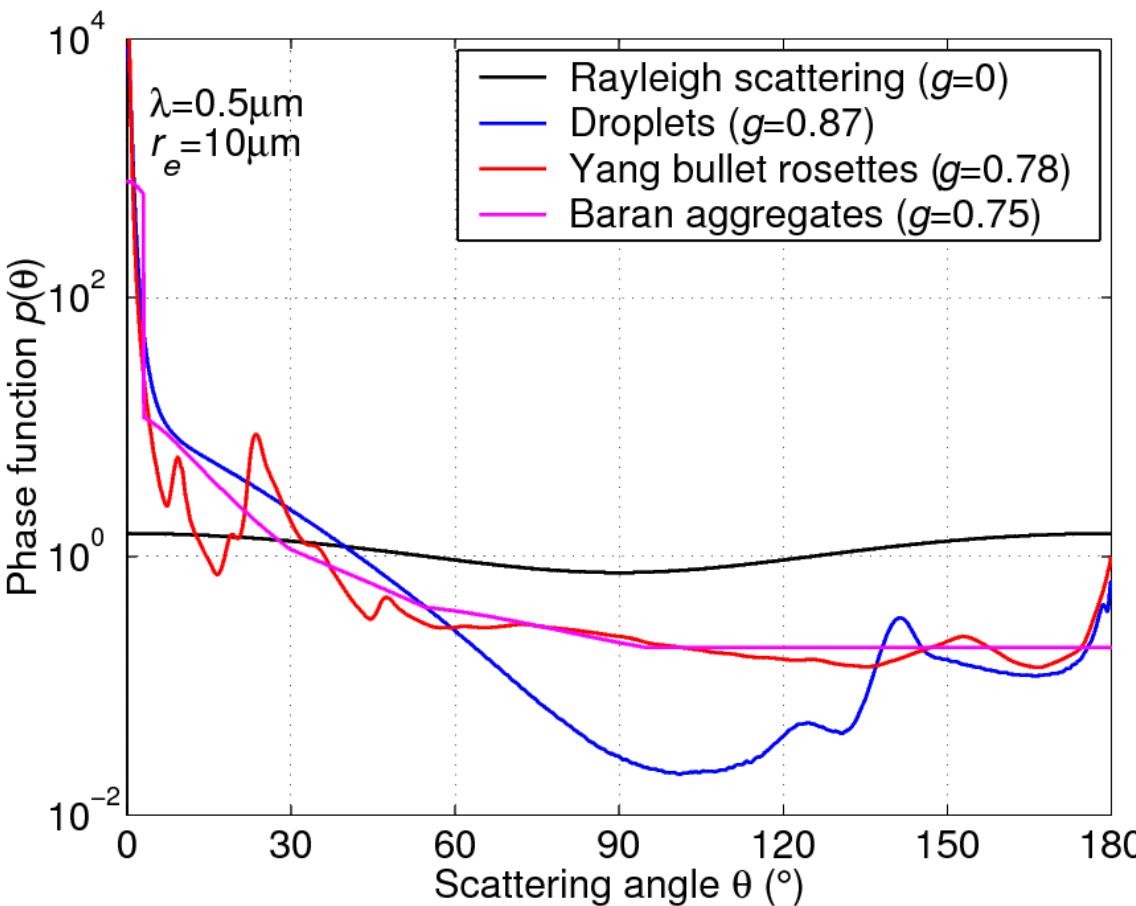


- Aerossóis em ondas curtas
 - Solúvel em água: 0,9 0,95; Carbono Preto $\sim 0,3$

Como Representar as Propriedades das Nuvens na Grade do Modelos.

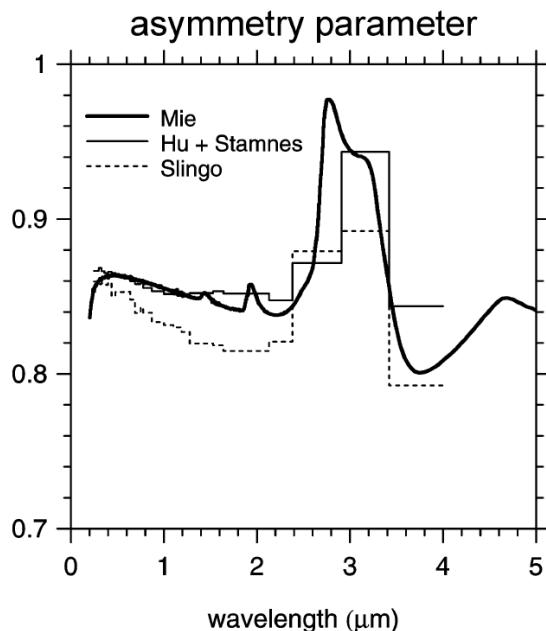


A função de fase de espalhamento

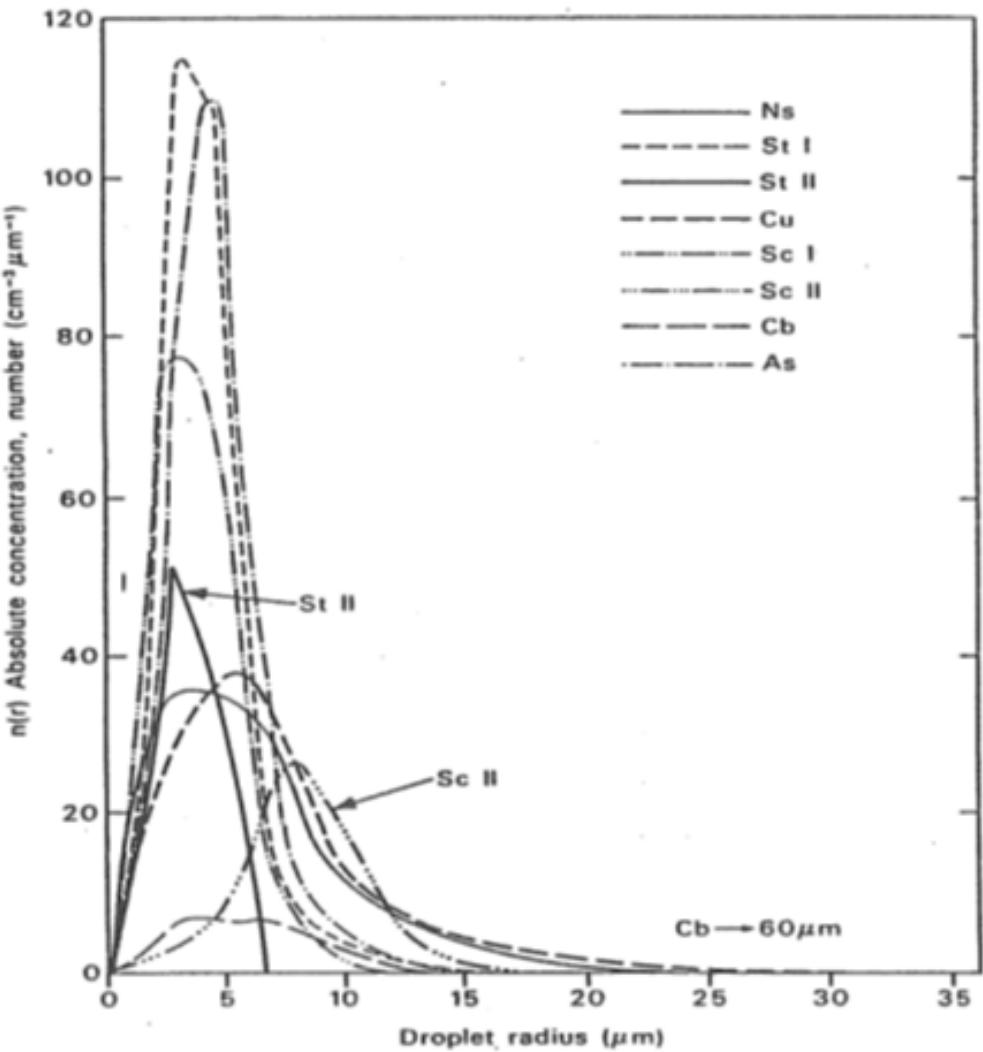


- A distribuição de energia espalhada é **conhecida** como "função de fase de espalhamento"
- Diferentes métodos são adequados para diferentes tipos de espalhadores

• Esquemas de radiação não podem usar a função de fase completa: aproximada pelo **fator de assimetria**
 $g=\cos(\theta)$



Como Representar as Propriedades das Nuvens na Grade do Modelos.



Tamanho das Distribuições

- Deseja-se o volume integral das propriedades de espalhamento.
- A descrição da distribuição do tamanho $n(r)[m^{-4}]$, onde $n(r)dr$ é o numero de concentração de partículas com raio entre r e $r + dr$.
 - O coeficiente de extinção m^{-1} é a integral da seção transversal de extinção de partículas m^2 por unidade de volume

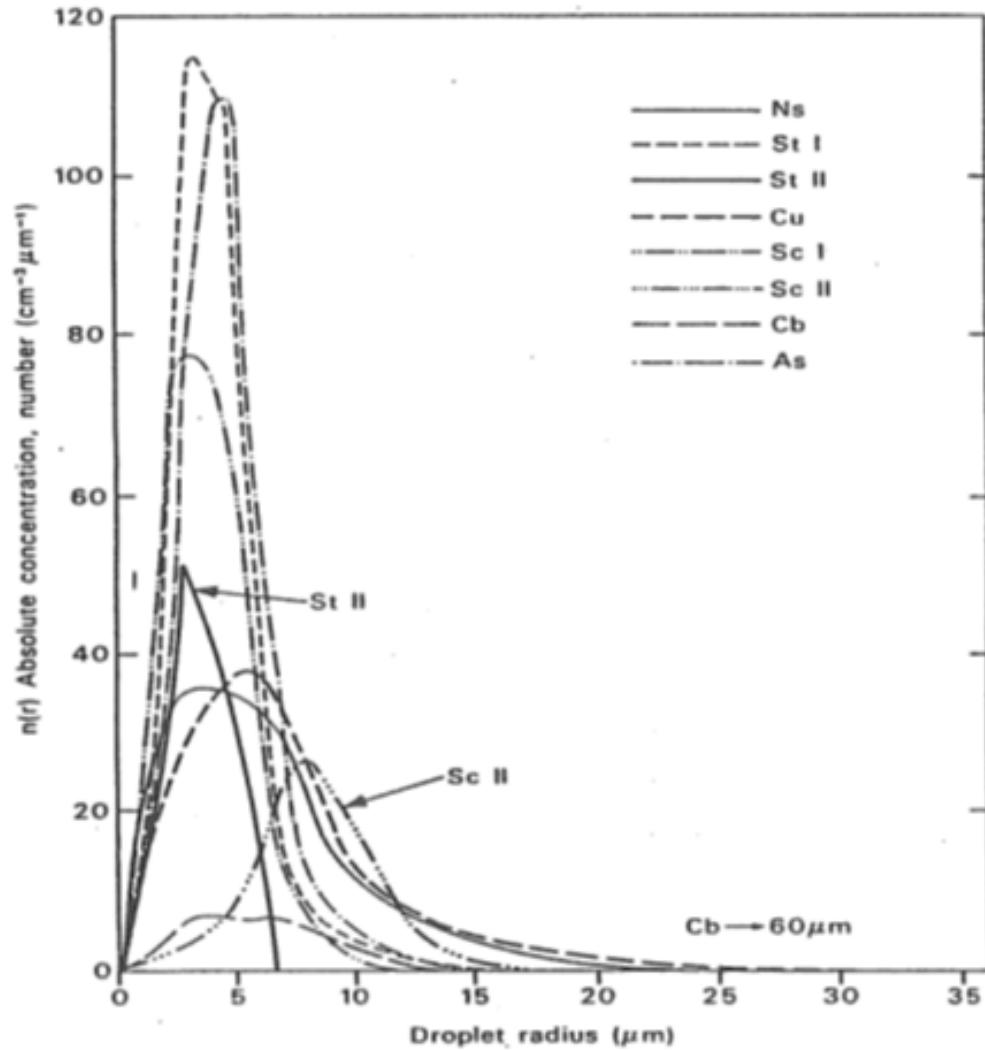
$$\beta_e = \int n(r)\sigma_e(r)dr$$

- Na região óptica geométrica ($r \gg \lambda$) $\sigma_e = 2\pi r^2$, portanto, é apropriado caracterizar o tamanho médio das partículas por

$$Effective\ radius\ r_e = \frac{\int r^3 n(r)dr}{\int r^2 n(r)dr} = \frac{3LWC}{2\rho_l \beta_{e,go}}$$

Paulo Yoshio Kubota

Como Representar as Propriedades das Nuvens na Grade do Modelos.



- Pode converter o teor de água de prognóstico do modelo em coeficiente de extinção
- Em cada parte do espectro, ω e g são parametrizados em função de r_e



- 1 extinction optical depth**
- 2 single scattering albedo**
- 3 a função de fase de espalhamento**
- 4 assymetry parameter**
- 5 forward scattered fraction**

Obtidos através de tabelas de coeficientes pré-calculados para diferentes bandas e raio efetivo de agua liquida e gelo



a) Propriedades Óticas de Nuvens ICE

observe que as **propriedades ópticas para gelo** são válidas apenas na faixa de 13 > rei > 130 mícrons (Ebert e Curry 92)

!! coeficientes de água gelada (Ebert e Curry, 1992, JGR, 97, 3831-3836)

```
abari(4) = (/ 3.448e-03 , 3.448e-03_r8,3.448e-03_r8,3.448e-03_r8/) ! a - coeficiente a para profundidade óptica de extinção  
bbari(4) = (/ 2.431_r8 , 2.431_r8 ,2.431_r8 ,2.431_r8 /) ! b - coeficiente b para profundidade óptica de extinção  
cbari(4) = (/ 1.00e-05_r8 , 1.10e-04_r8 ,1.861e-02_r8,46658_r8 /) ! c - coeficiente c para albedo de scat simples  
dbari(4) = (/ 0.0_r8 , 1.405e-05_r8,8.328e-04_r8,2.05e-05_r8 /) ! d - coeficiente d para albedo de scat simples  
ebari(4) = (/ 0,7661_r8 , 0,7730_r8 ,0,794_r8 ,0,9595_r8 /) ! e - coeficiente e para parâmetro de assimetria  
fbari(4) = (/ 5.851e-04_r8, 5.665e-04_r8,7.267e-04_r8,1.076e-04_r8/) ! f - coeficiente f para parâmetro de assimetria
```

if(cldn ≥ cldmin . and. cldn ≥ cldeps)then

$$ice_{tau} = cicewp * \left[abarii + \frac{bbarii}{MAX(13.0, MIN(scaleFactor*rei, 130))} \right]$$

Else

$$ice_{tau} = 0.0$$

Endif

cldmin = 1.0e-80_r8 = Quantidade mínima de nuvens (como uma fração da área da caixa de grade) para ! distinguir do céu claro

cldeps = 0.0_r8= Precisão decimal da quantidade de nuvens (0 -> preservar a resolução total; ! 10^-n -> preservar n dígitos da quantidade de nuvem)



Brazilian Atmospheric Model



a) Propriedades Óticas de Nuvens (Ebert and Curry, 1992, JGR, 97, 3831-3836)

! extinction optical depth

if($cldn \geq cldmin$. and. $cldn \geq cldeps$)*then*

$$ice_{tau} = cicewp * \left[abarii + \frac{bbarii}{\text{MAX}(13.0, \text{MIN}(scaleFactor * rei, 130))} \right]$$

Else

$$ice_{tau} = 0.0$$

Endif

! single scattering albedo * tau

$$ice_{tau_w} = ice_{tau} * \text{MIN} [1 - cbarii - dbarii * \text{MIN}(\text{MAX}(13, scaleFactor * Rei), 130)), 0.99999]$$

!

! Fator asymmetry parameter

$$w = ebarii * [\text{fbbarii} * \text{MIN}(\text{MAX}(13, scaleFactor * Rei), 130))]$$

! assymetry parameter * tau * w

$$ice_{tau_w_g} = ice_{tau_w} * w$$

! forward scattered fraction * tau * w*w

$$ice_{tau_w_f} = ice_{tau_w} * w * w$$



Brazilian Atmospheric Model



a) Propriedades Óticas de Nuvens LÍQUIDO

A. Slingo's data for cloud particle radiative properties (from 'A GCM Parameterization for the Shortwave Properties of Water Clouds' JASvol. 46 may 1989 pp 1419-1427)

!! coeficientes de água gelada (Ebert e Curry, 1992, JGR, 97, 3831-3836)

abarl(4) = (/ 2.817e-02_r8, 2.682e-02_r8, 2.264e-02_r8, 1.281e-02_r8/) ! a - coeficiente a para profundidade óptica de extinção

bbarl(4) = 1.305_r8 , 1.346_r8 , 1.454_r8 , 1.641_r8 /) ! b - coeficiente b para profundidade óptica de extinção

cbarl(4) = (/ -5.62e-08_r8 , -6.94e-06_r8 , 4.64e-04_r8 , 0.201_r8/) ! c - coeficiente c para albedo de scat simples

dbarl(4) = (/ 1.63e-07_r8 , 2.35e-05_r8 , 1.24e-03_r8 , 7.56e-03_r8/) ! d - coeficiente d para albedo de scat simples

ebarl(4) = (/ 0.829_r8 , 0.794_r8 , 0.754_r8 , 0.826_r8 /) ! e - coeficiente e para parâmetro de assimetria

fbarl(4) = (/ 2.482e-03_r8, 4.226e-03_r8, 6.560e-03_r8, 4.353e-03_r8/) ! f - coeficiente f para parâmetro de assimetria

if($cldn \geq cldmin$. and. $cldn \geq cldeps$)then

$$liq_{tau} = 1000 * cliqwp * \left[abaril + \frac{bbaril}{MAX(4.2, MIN(rel, 16))} \right]$$

Else

$$liq_{tau} = 0.0$$

Endif

cldmin = 1.0e-80_r8 = Quantidade mínima de nuvens (como uma fração da área da caixa de grade) para ! distinguir do céu claro

cldeps = 0.0_r8= Precisão decimal da quantidade de nuvens (0 -> preservar a resolução total; ! 10^-n -> preservar n dígitos da quantidade de nuvem)



Brazilian Atmospheric Model



a) Propriedades Óticas de Nuvens (Ebert and Curry, 1992, JGR, 97, 3831-3836)

! extinction optical depth

if($cldn \geq cldmin$. and. $cldn \geq cldeps$)then

$$liq_{tau} = 1000 * cliqwp * \left[abaril + \frac{bbaril}{\text{MAX}(4.2, \text{MIN}(scaleFactor * rel, 16))} \right]$$

Else

$$liq_{tau} = 0.0$$

Endif

! single scattering albedo * tau

$$liq_{tau_w} = liq_{tau} * \text{MIN} [1 - cbaril - dbaril * \text{MIN}(\text{MAX}(4.2, scaleFactor * Rel, 16)), 0.99999]$$

!

! Fator asymmetry parameter

$$w = ebaril * [\text{fbaril} * \text{MIN}(\text{MAX}(4.2, scaleFactor * Rel, 16))]$$

! assymetry parameter * tau * w

$$liq_{tau_w_g} = liq_{tau_w} * w$$

! forward scattered fraction * tau * w*w

$$liq_{tau_w_f} = liq_{tau_w} * w * w$$



a) Propriedades Óticas de Nuvens (michel) ICE

```
n_g_d = 300      !d_eff:= "effective diameter" d_eff:units = "microns" ;
g_d_eff(:)       !;d_eff := "effective diameter" !;d_eff:units = "microns" ;
ext_sw_ice(:,:,) !;lw_abs:= "Longwave mass specific absorption for in-cloud ice water path" !;
ssa_sw_ice(:,:,) !;sw_ext:= "Shortwave extinction"!;sw_ext:units = "meter^2 kilogram^-1" ;
asm_sw_ice(:,:,) !;sw_ssa:= "Shortwave single scattering albedo"!;sw_ssa:units = "fraction" ;
abs_lw_ice(:,:,) !;sw_asm:= "Shortwave asymmetry parameter"!;sw_asm:units = "fraction" ;
```

nmu = 20

nlambda = 50

```
g_mu(:)          ! mu:units    = "unitless" ;
g_lambda(:,:,)   ! lambda:units = "meter^-1" ;
ext_sw_liq(:,:,:)! k_ext_sw:units = "meters^2/kg" ;
ssa_sw_liq(:,:,:)! ssa_sw :units = "0 to 1 unitless" ;
asm_sw_liq(:,:,:)! asm_sw:units  = "-1 to 1 unitless" ;
abs_lw_liq(:,:,:)! k_abs_lw:units = "meters^2/kg" ;
```



Brazilian Atmospheric Model



a) Propriedades Óticas de Nuvens (michel)ICE

```
IF( iciwpth(i,k) < 1.e-80_r8 .OR. dlimited .EQ. 0._r8) THEN  
    ! if ice water path is too small, OD := 0  
    tau_ (:,i,k) = 0._r8 ! extinction optical depth  
    tau_w (:,i,k) = 0._r8 ! single scattering albedo * tau  
    tau_w_g(:,i,k) = 0._r8 ! assymetry parameter * tau * w  
    tau_w_f(:,i,k) = 0._r8 ! forward scattered fraction * tau * w*w
```

ELSE

$$wd = \frac{(g_{d_{eff}}(k_{d_{eff}}) - dlimited)}{(g_{d_{eff}}(k_{d_{eff}}) - g_{d_{eff}}(k_{d_{eff}} - 1))} ; \quad onemwd = 1 - wd$$

$$ext = wd * ext_{sw_ice}(k_{d_{eff}} - 1) + onemwd * ext_{sw_ice}(k_{d_{eff}})$$

$$ssa = wd * ssa_{sw_ice}(k_{d_{eff}} - 1) + onemwd * ssa_{sw_ice}(k_{d_{eff}})$$

$$asm = wd * asm_{sw_ice}(k_{d_{eff}} - 1) + onemwd * asm_{sw_ice}(k_{d_{eff}})$$

$$\tau (:,i,k) = iciwpth * ext$$

$$\tau_w (:,i,k) = iciwpth * ext * ssa$$

$$\tau_w_g(:,i,k) = icewpth * ext * ssa * asm$$

$$\tau_w_f(:,i,k) = iciwpth * ext * ssa * asm * asm$$

END IF



a) Propriedades Óticas de Nuvens (michel) LIQ

```
n_g_d = 300      !d_eff:= "effective diameter" d_eff:units = "microns" ;
g_d_eff(:)       !;d_eff := "effective diameter" !;d_eff:units = "microns" ;
ext_sw_ice(:,:,!)!;lw_abs:= "Longwave mass specific absorption for in-cloud ice water path" !;
ssa_sw_ice(:,:,!)!;sw_ext:= "Shortwave extinction"!;sw_ext:units = "meter^2 kilogram^-1" ;
asm_sw_ice(:,:,!)!;sw_ssa:= "Shortwave single scattering albedo"!;sw_ssa:units = "fraction" ;
abs_lw_ice(:,:,!)!;sw_asm:= "Shortwave asymmetry parameter"!;sw_asm:units = "fraction" ;
```

nmu = 20

nlambda = 50

```
g_mu()           ! mu:units     = "unitless" ;
g_lambda(:,:,!) ! lambda:units = "meter^-1" ;
ext_sw_liq(:,:,!)! k_ext_sw:units = "meters^2/kg" ;
ssa_sw_liq(:,:,!)! ssa_sw :units = "0 to 1 unitless" ;
asm_sw_liq(:,:,!)! asm_sw:units  = "-1 to 1 unitless" ;
abs_lw_liq(:,:,!)! k_abs_lw:units = "meters^2/kg" ;
```



Brazilian Atmospheric Model



a) Propriedades Óticas de Nuvens (michel) LIQ

```
IF( liqwpth(i,k) < 1.e-80_r8 .OR. dlimited .EQ. 0._r8) THEN
```

```
    ! if liq water path is too small, OD := 0
```

```
    tau_(:,i,k) = 0._r8 ! extinction optical depth
```

```
    tau_w_(:,i,k) = 0._r8 ! single scattering albedo * tau
```

```
    tau_w_g(:,i,k) = 0._r8 ! assymetry parameter * tau * w
```

```
    tau_w_f(:,i,k) = 0._r8 ! forward scattered fraction * tau * w*w
```

```
ELSE
```

$$wd = \frac{(g_{d_{eff}}(k_{d_{eff}}) - dlimited)}{(g_{d_{eff}}(k_{d_{eff}}) - g_{d_{eff}}(k_{d_{eff}} - 1))} ; \quad onemwd = 1 - wd$$

$$ext = wd * ext_sw_liq(k_{d_{eff}} - 1) + onemwd * ext_sw_liq(k_{d_{eff}})$$

$$ssa = wd * ssa_sw_liq(k_{d_{eff}} - 1) + onemwd * ssa_sw_liq((k_{d_{eff}}))$$

$$asm = wd * asm_sw_liq(k_{d_{eff}} - 1) + onemwd * asm_sw_liq((k_{d_{eff}}))$$

$$\tau_{:i,k} = liqwpth * ext$$

$$\tau_{w,:i,k} = liqwpth * ext * ssa$$

$$\tau_{w,g,:i,k} = liqwpth * ext * ssa * asm$$

$$\tau_{w,f,:i,k} = liqwpth * ext * ssa * asm * asm$$

```
END IF
```



Como Representar as Propriedades das Nuvens na Grade do Modelos.

b) Suposição de sobreposição (overlap) de nuvem em modelos

Parte 4: Representando a nuvem estrutura

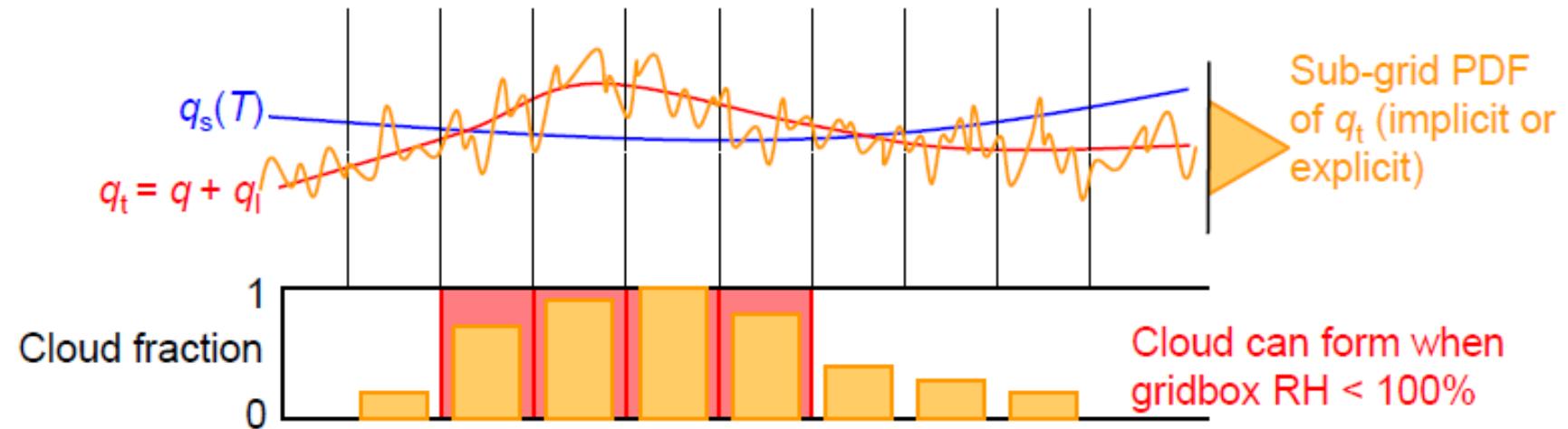


- Representando fração de nuvens, sobreposição e não homogeneidade
- Qual é o impacto da sobreposição e falta de homogeneidade no balanço de radiação?

Como Representar as Propriedades das Nuvens na Grade do Modelos.

b) Suposição de sobreposição (overlap) de nuvem em modelos

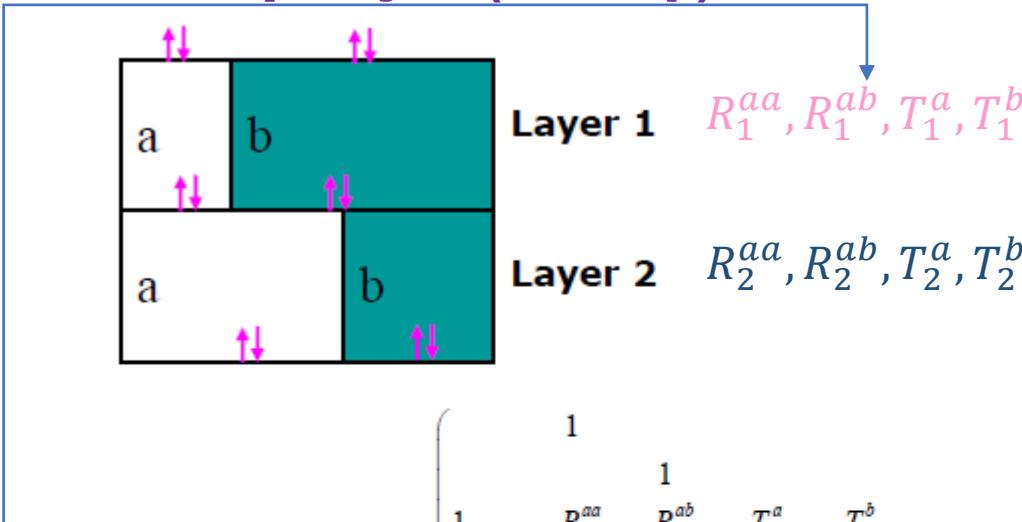
Parametrização de fração de nuvem • Se a nuvem for diagnosticada apenas quando gridbox mean $q_t > q_s$, então a fração de nuvem resultante pode ser apenas 0 ou 1



- A fração de nuvem pode ser diagnosticada a partir da distribuição de subgrade de prognóstico ou diagnóstico de umidade e nuvem
- O ECMWF usa uma equação de prognóstico para fração de nuvem

Como Representar as Propriedades das Nuvens na Grade do Modelos.

b) Suposição de sobreposição (overlap) de nuvem em modelos



Observe que os coeficientes que descrevem a sobreposição entre as camadas foram omitidos

$$\left(\begin{array}{ccccc} & & 1 & & \\ & & & 1 & \\ 1 & -R_1^{aa} & -R_1^{ab} & -T_1^a & -T_1^b \\ 1 & -R_1^{ba} & -R_1^{bb} & -T_1^a & -T_1^b \\ -T_1^a & -T_1^b & -R_1^{aa} & -R_1^{ab} & 1 \\ -T_1^a & -T_1^b & -R_1^{ba} & -R_1^{bb} & \\ & & 1 & & -R_2^{aa} & -R_2^{ab} & -T_2^a & -T_2^b \\ & & & 1 & -R_2^{ba} & -R_2^{bb} & -T_2^a & -T_2^b \\ & & & & -T_2^a & -T_2^b & -R_2^{aa} & -R_2^{ab} \\ & & & & -T_2^a & -T_2^b & -R_2^{ba} & -R_2^{bb} \\ & & & & & 1 & & \\ & & & & & & 1 & \alpha_s \\ & & & & & & & \alpha_s \\ \end{array} \right) \begin{pmatrix} F_{0.5}^{a+} \\ F_{0.5}^{b+} \\ F_{0.5}^{a-} \\ F_{0.5}^{b-} \\ F_{1.5}^{a+} \\ F_{1.5}^{b+} \\ F_{1.5}^{a-} \\ F_{1.5}^{b-} \\ F_{2.5}^{a+} \\ F_{2.5}^{b+} \\ F_{2.5}^{a-} \\ F_{2.5}^{b-} \\ F_{2.5}^{a+} \\ F_{2.5}^{b+} \\ F_{2.5}^{a-} \\ F_{2.5}^{b-} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_{TOA}^- \\ S_{TOA}^+ \\ S_1^{a+} \\ S_1^{b+} \\ S_1^{a-} \\ S_1^{b-} \\ S_2^{a+} \\ S_2^{b+} \\ S_2^{a-} \\ S_2^{b-} \\ \alpha_s \\ S_s^+ \\ S_s^- \end{pmatrix}$$

- Por exemplo. Esquema Met Office Edwards-Slingo Resolve dois fluxos em regiões claras e nubladas
 - A matriz agora é mais densa (pentadiagonal em vez de tridiagonal)



Brazilian Atmospheric Model



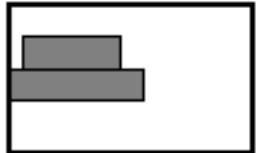
Estamos usando o tempo do computador com sabedoria?

- Radiation is an integral:

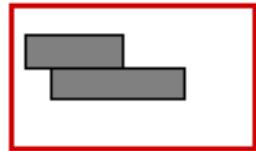
$$\overline{F^{\uparrow\downarrow}}(z) = \int_{\Delta t} \int_{\infty} \int_{\Delta x} \int_{2\pi} I(z, \Omega, x, v, t) d\Omega dx dv dt$$

Dimension	Typical number of quadrature points	How well is this dimension known?	Consequence of poor resolution
Time	1/3 (every 3 h)	At the timestep of the model	Changed climate sensitivity (Morcrette 2000); diurnal cycle (Yang & Slingo 2001)
Angle	2 (sometimes 4)	Well (some uncertainty on ice phase functions)	$\pm 6 \text{ W m}^{-2}$ (Stephens et al. 2001)
Space	2 (clear+cloudy)	Poorly (clouds!)	Up to a 20 W m^{-2} long-term bias (Shonk and Hogan 2009)
Spectrum	100-250	Very well (HITRAN database)	Incorrect climate response to trace gases?

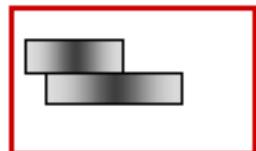
Três outros problemas para nuvens



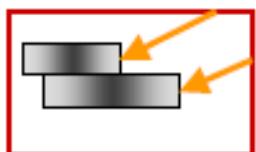
- Nuvens nos GCMs mais antigos usavam um esquema simples de fração de nuvens com nuvens em **camadas adjacentes sendo sobrepostas ao máximo**



1. As observações mostram que a sobreposição vertical de nuvens em duas camadas **tende a ser aleatória** à medida que sua separação aumenta



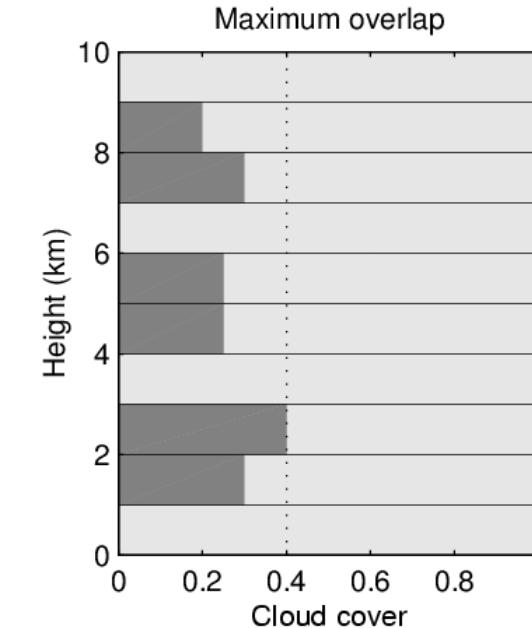
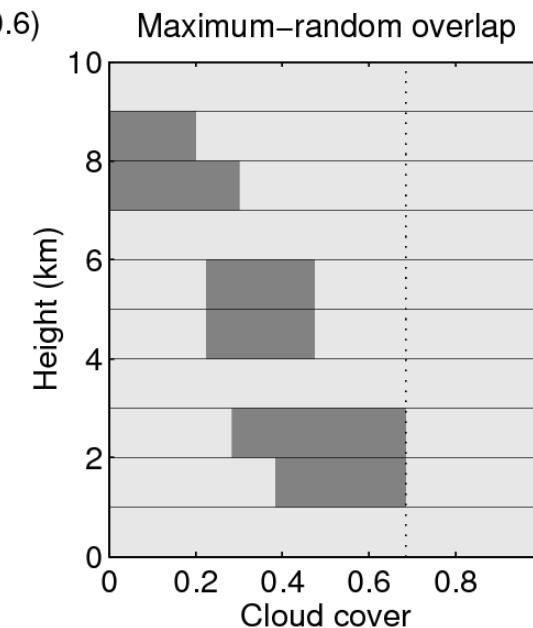
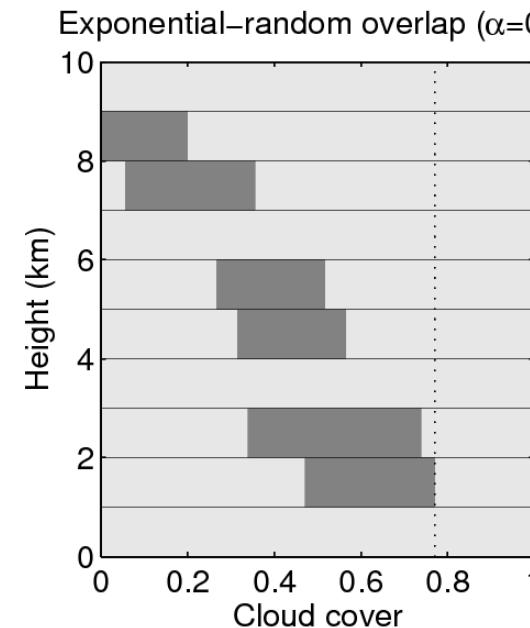
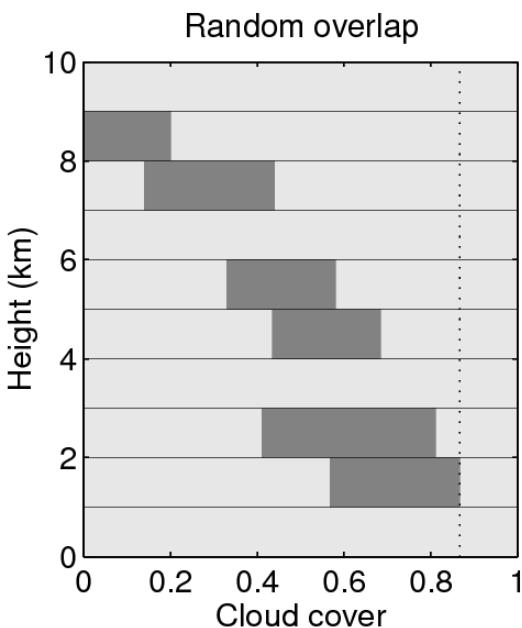
2. **Nuvens reais não são horizontalmente homogêneas**, levando a desvios de albedo e emissividade em GCMs (Cahalan et al 1994, Pomroy e Illingworth 2000) 3.



3. A radiação pode passar pelos lados das nuvens, mas esses **efeitos 3D são negligenciados em todos os GCMs** atuais

Parametrização de sobreposição de nuvem

- Mesmo que possa prever a fração de nuvens versus altura.
=> A **cobertura de nuvens** (e, portanto, a radiação) **depende da sobreposição de nuvens**



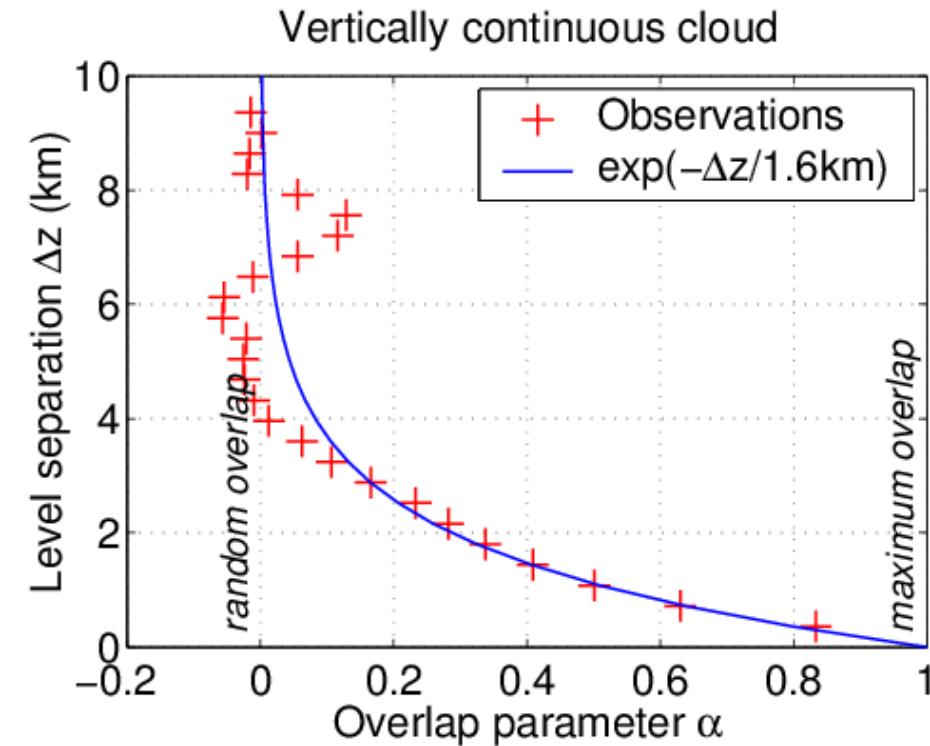
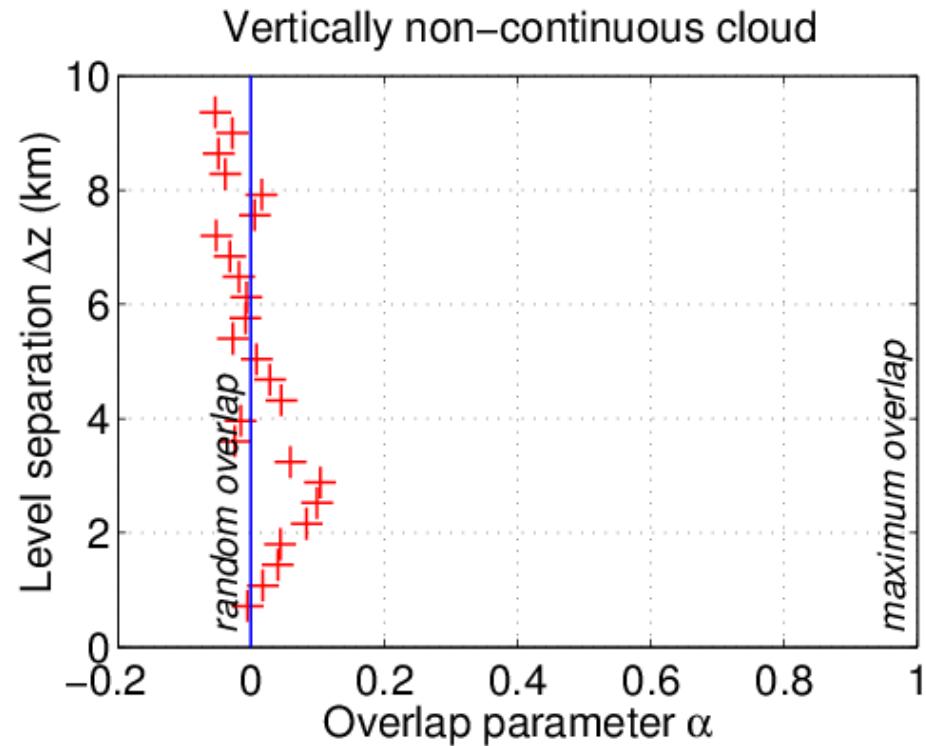
- Observações (Hogan e Illingworth 2000) suportam “sobreposição aleatória exponencial”:
 - Nuvens não adjacentes são **sobrepostas aleatoriamente**
 - Nuvens adjacentes **correlacionadas com comprimento de decorrelação ~2km**
 - Muitos modelos ainda usam “**sobreposição aleatória máxima**”



Brazilian Atmospheric Model

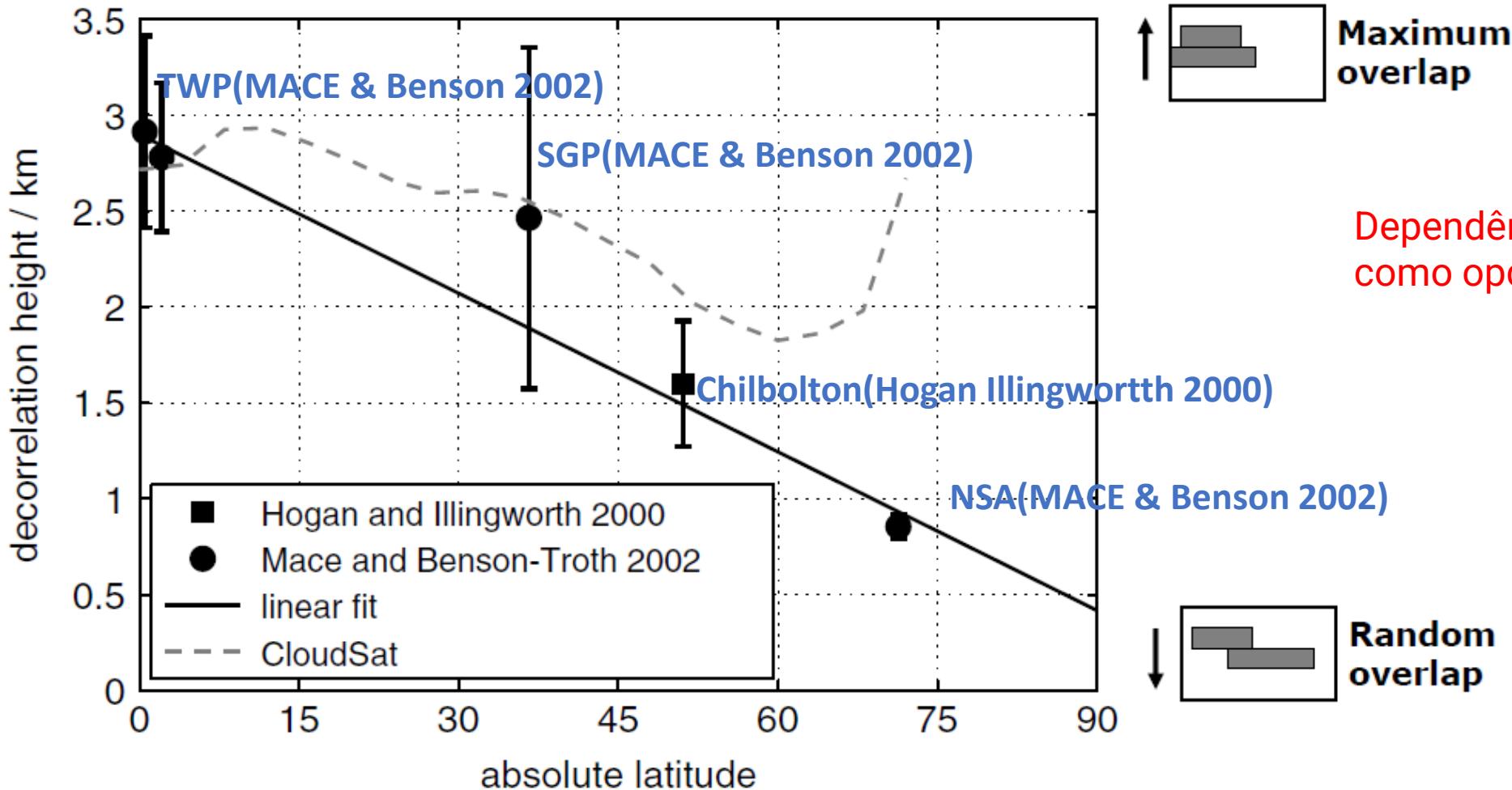


Sobreposição de nuvem: resultados



- Nuvens isoladas verticalmente => são sobrepostas aleatoriamente.
- A sobreposição de **nuvens verticalmente contínuas** torna-se rapidamente mais aleatória com o **aumento da espessura**, caracterizada por um **comprimento de decorrelação de sobreposição** $z_0 \sim 2 \text{ km}$ Hogan e Illingworth (QJ 2000)

- **Dependência latitudinal do comprimento de decorrelação de Chilbolton** e dos sites ARM
 - Mais convecção e menos cisalhamento nos trópicos, de modo mais a ter máximo overlap



Dependência latitudinal disponível
como opção no modelo ECMWF

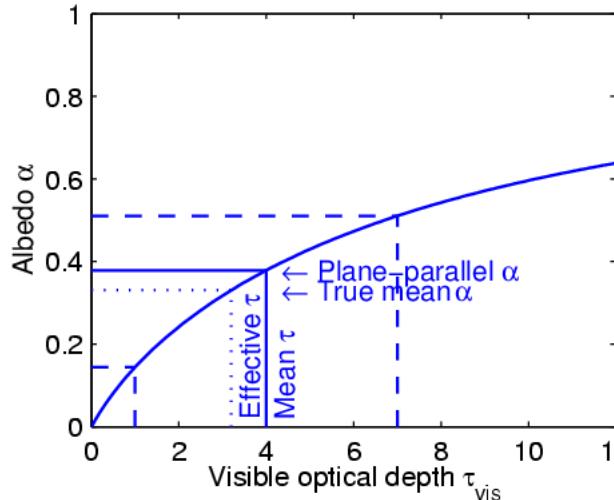


Brazilian Atmospheric Model

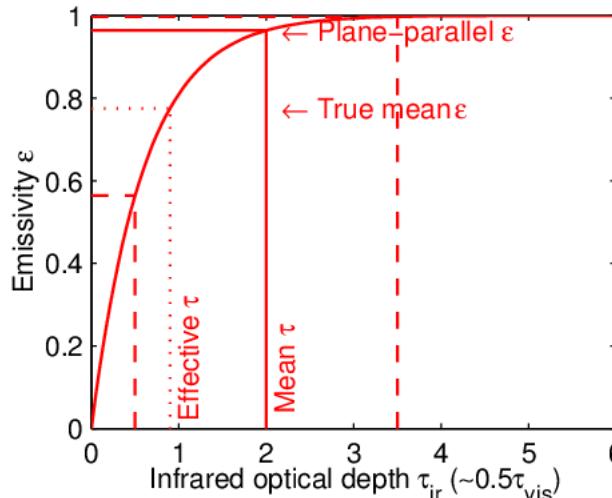
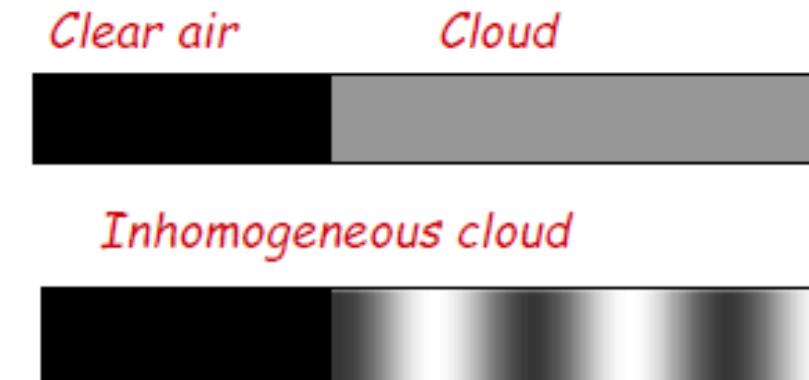
Por que a estrutura da nuvem é importante?



- Dependência latitudinal do comprimento de decorrelação de Chilbolton e dos sites ARM.
- Mais convecção e menos cisalhamento nos trópicos, de modo a ter máximo overlap



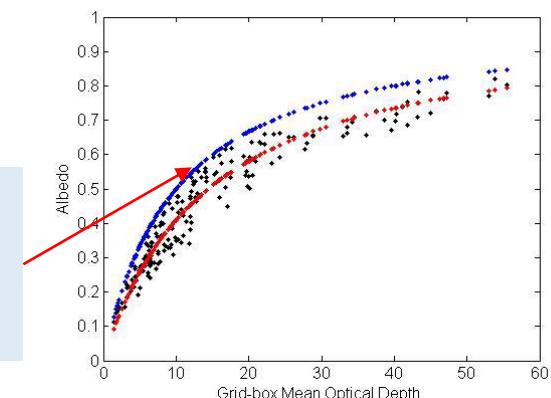
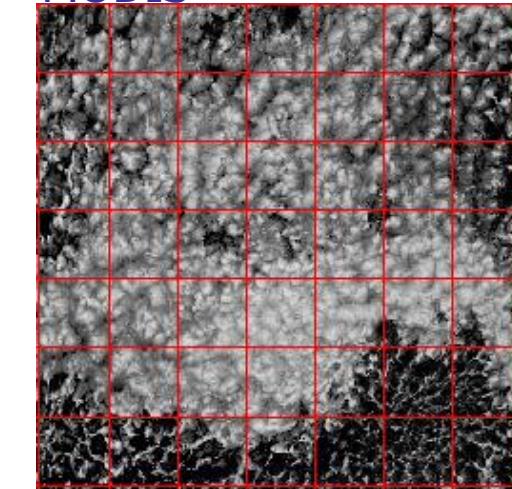
- Um exemplo de média não linear



- Nuvens não uniformes têm menor emissividade média e albedo para a mesma profundidade óptica média devido à curvatura

- Ao dimensionar a profundidade óptica, parece que podemos **obter um ajuste imparcial ao verdadeiro albedo do topo da atmosfera**

Example from MODIS





Como Representar as Propriedades das Nuvens na Grade do Modelos.

b) Suposição de sobreposição (overlap) de nuvem em modelos

Sobreposição de nuvens do radar

- A sobreposição **máxima-aleatória subestima o efeito radiativo da nuvem.**

Fatores de escala de não homogeneidade do MODIS.

- **Nuvens homogêneas superestimam o efeito radiativo das nuvens.**
- **Dependência** do tamanho do gridbox, tipo de nuvem, região espectral etc.

Estrutura vertical de não homogeneidade do radar.

- Sobreposição de heterogeneidades em nuvens de gelo.

Experimentos com um modelo de cirro estocástico 3D

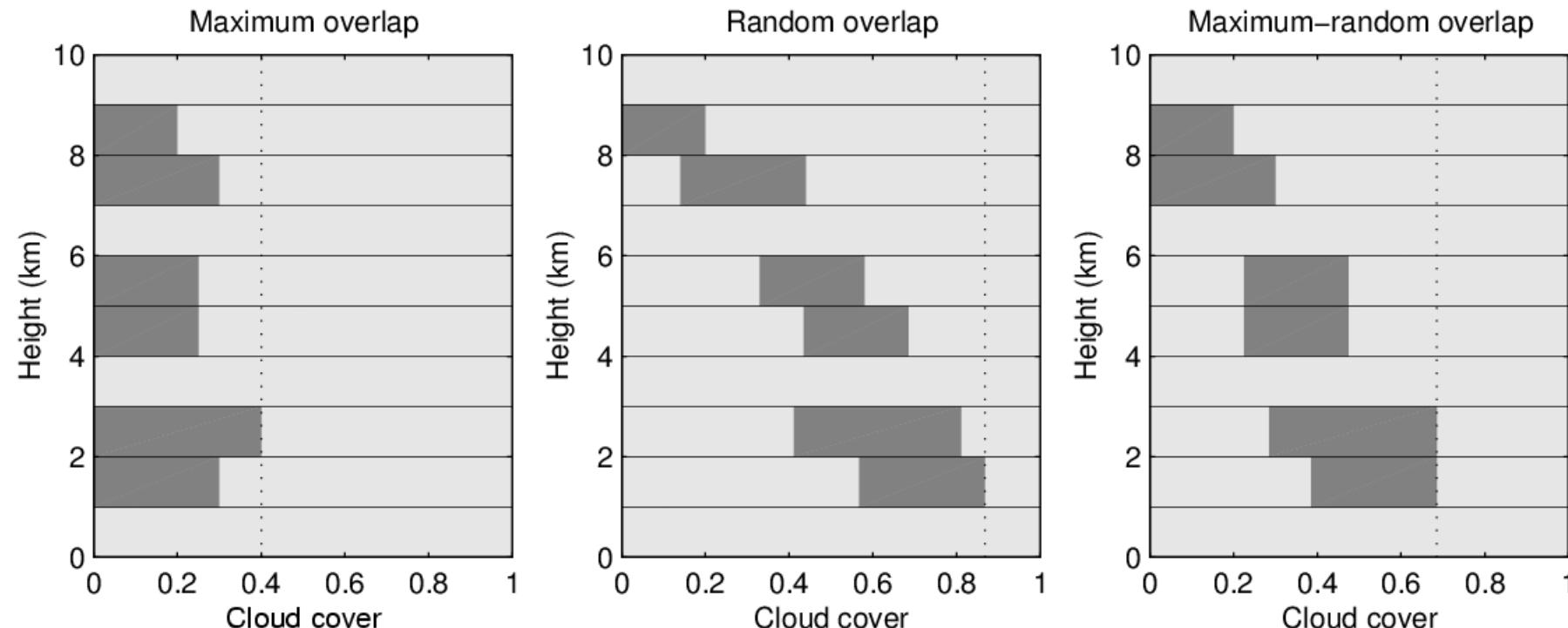
- Trade-off entre erros de sobreposição e não homogeneidade
- Representando o perfil da taxa de aquecimento

Prioridades para esquemas de radiação

Como Representar as Propriedades das Nuvens na Grade do Modelos.

b) Suposição de sobreposição (overlap) de nuvem em modelos

A fração de nuvens e o teor médio de água gelada por si só não são suficientes para restringir o balanço de radiação



As suposições geram coberturas de nuvens muito diferentes.

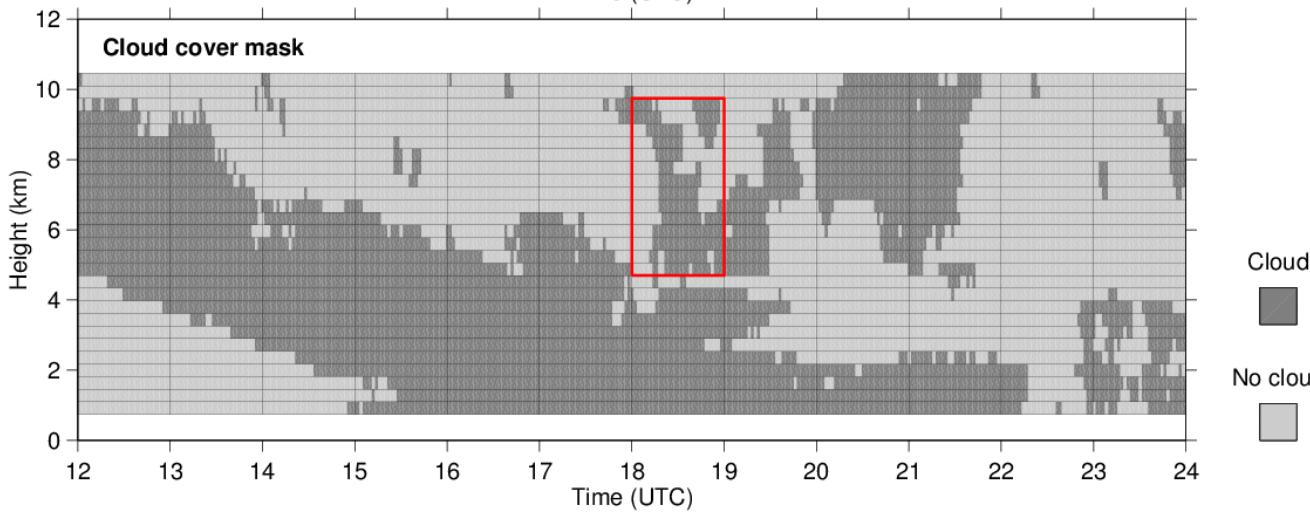
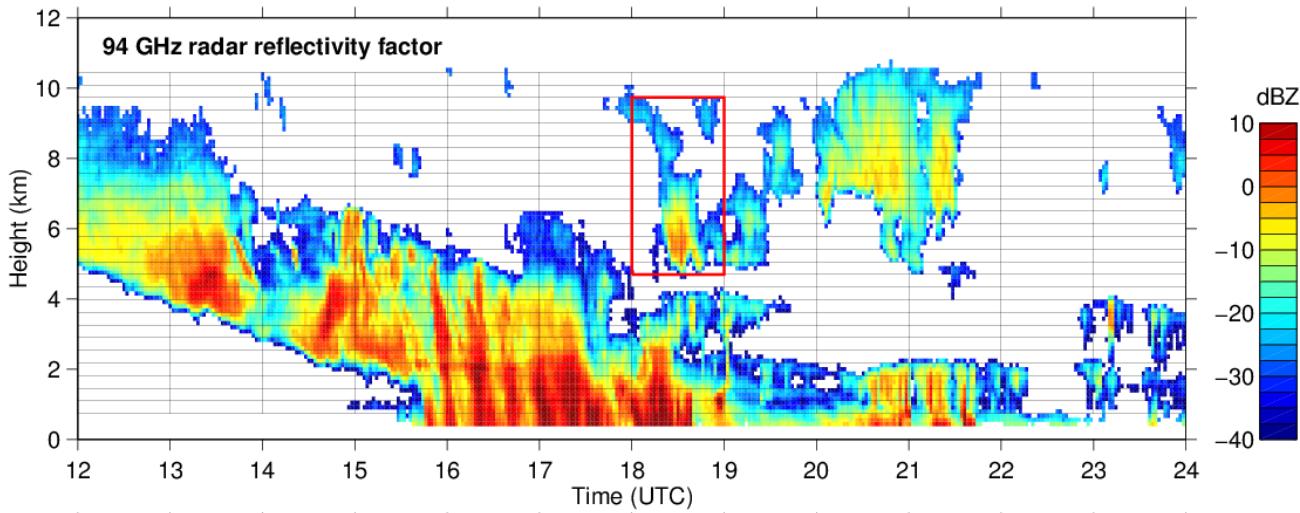
- A maioria dos modelos usam sobreposição “máxima-aleatória”, mas tem havido muito pouca validação dessa suposição



Como Representar as Propriedades das Nuvens na Grade do Modelos.

b) Suposição de sobreposição (overlap) de nuvem em modelos

A fração de nuvens e o teor médio de água gelada por si só não são suficientes para restringir o balanço de radiação



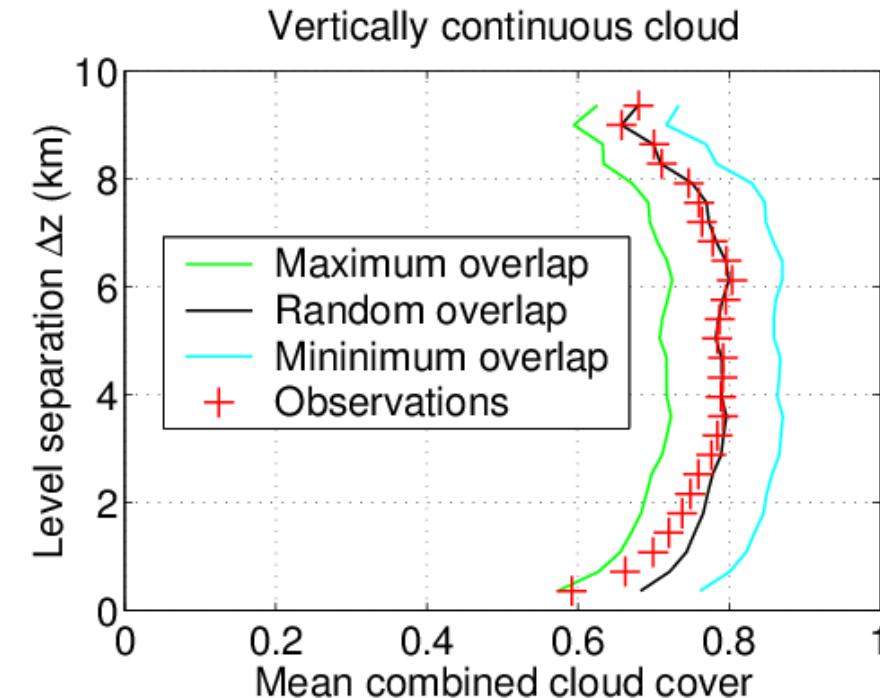
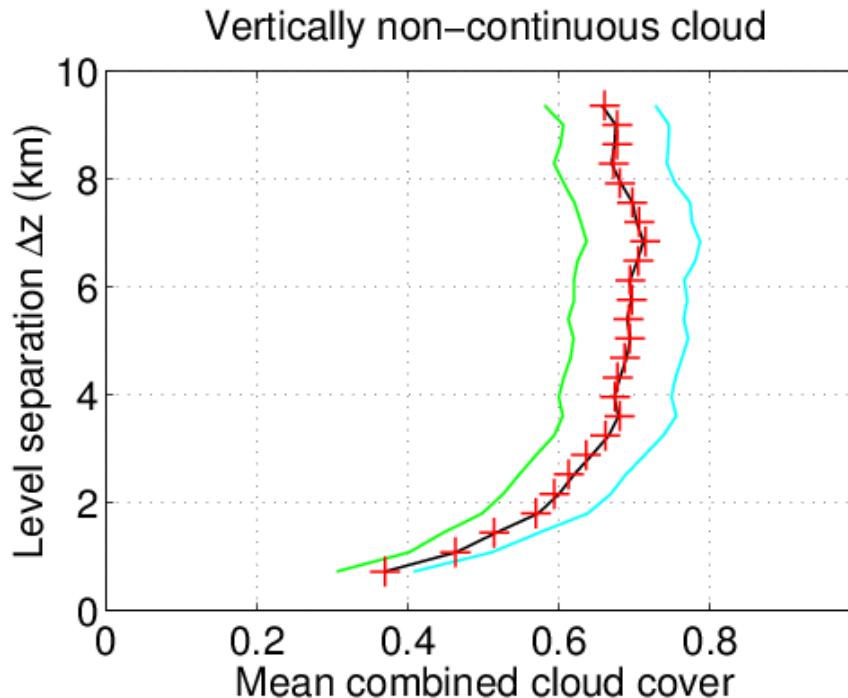
O radar pode observar a sobreposição real das nuvens

Em seguida, quantificamos a sobreposição de 3 meses de dados

Como Representar as Propriedades das Nuvens na Grade do Modelos.

b) Suposição de sobreposição (overlap) de nuvem em modelos

A fração de nuvens e o teor médio de água gelada por si só não são suficientes para restringir o balanço de radiação



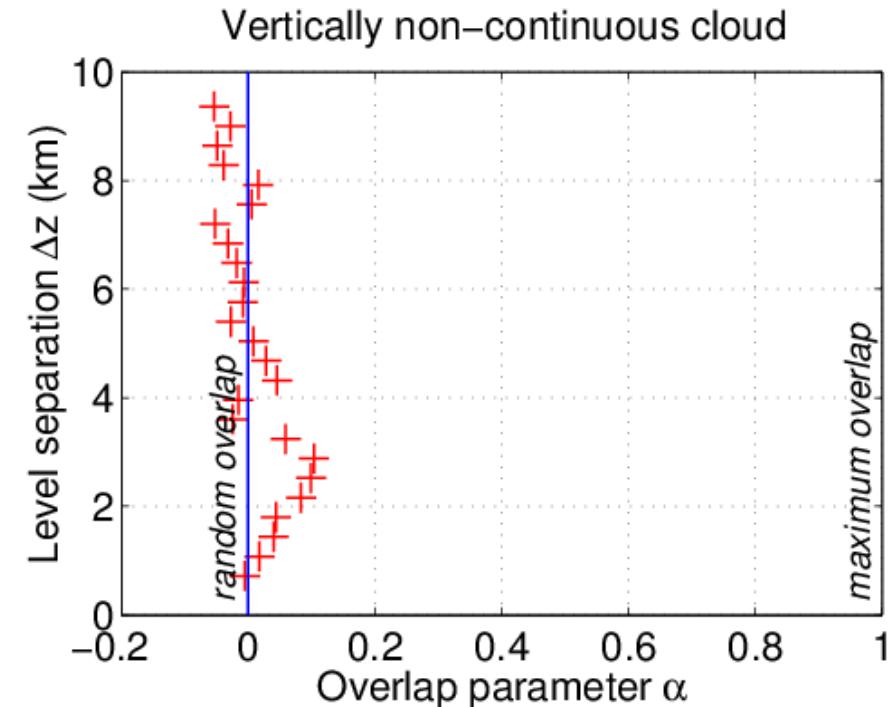
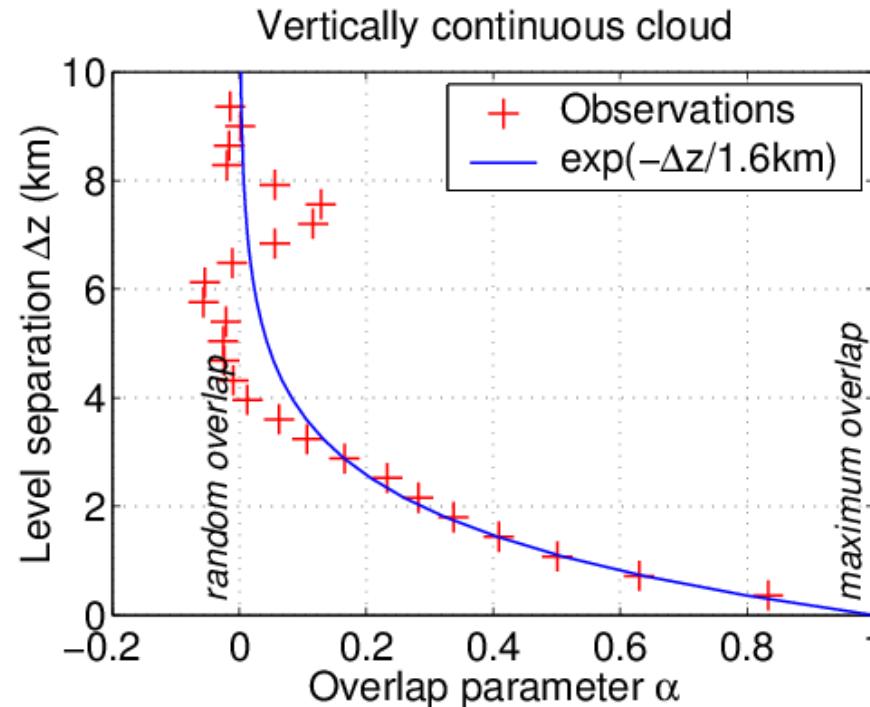
Considere a cobertura de nuvens combinada de pares de níveis.

- Agrupe em pares verticalmente contínuos e não contínuos
- Plotar cobertura de nuvens combinada versus separação de nível
- Compare a cobertura e os valores reais de várias suposições de sobreposição
- Definir parâmetro de sobreposição: 0 = aleatório e 1 = sobreposição máxima

Como Representar as Propriedades das Nuvens na Grade do Modelos.

b) Suposição de sobreposição (overlap) de nuvem em modelos

A fração de nuvens e o teor médio de água gelada por si só não são suficientes para restringir o balanço de radiação



Hogan and Illingworth (QJ 2000),
Mace and Benson-Troth (2002)

-A sobreposição de nuvens verticalmente contínuas torna-se **aleatória com o aumento da espessura** como uma exponencial inversa.

-Nuvens isoladas verticalmente são sobrepostas aleatoriamente.

- Maior cobertura total de nuvens do que a sobreposição máxima-aleatória.



Como Representar as Propriedades das Nuvens na Grade do Modelos.

b) Suposição de sobreposição (overlap) de nuvem em modelos

A fração de nuvens e o teor médio de água gelada por si só não são suficientes para restringir o balanço de radiação

```
IF (iovr == 0) THEN          ! random overlap
  DO k = kstr, kend, kinc
    DO i = 1, IX
      ccur = MIN( ovcst, MAX( cldtot(i,k), cldcnv(i,k) ) )
      IF (ccur >= climit_cld) cl1(i) = cl1(i) * (1.0_r8 - ccur)
    ENDDO
    IF (k == llyr) THEN
      DO i = 1, IX
        clds(i,5) = 1.0_r8 - cl1(i)      ! save bl cloud
      ENDDO
    ENDIF
  ENDDO
  DO i = 1, IX
    clds(i,4) = 1.0_r8 - cl1(i)      ! save total cloud
  ENDDO
ELSE                      ! max/ran overlap
```



Brazilian Atmospheric Model



Como Representar as Propriedades das Nuvens na Grade do Modelos.

b) Suposição de sobreposição (overlap) de nuvem em modelos

```
ELSE                                ! max/ran overlap
DO k = kstr, kend, kinc
  DO i = 1, IX
    ccur = MIN( ovcst, MAX( cldtot(i,k), cldcnv(i,k) ) )
    IF (ccur >= climit_cld) THEN      ! cloudy layer
      cl2(i) = MIN( cl2(i), (1.0_r8 - ccur) )
    ELSE                                ! clear layer
      cl1(i) = cl1(i) * cl2(i)
      cl2(i) = 1.0_r8
    ENDIF
  ENDDO

  IF (k == ll yr) THEN
    DO i = 1, IX
      clds(i,5) = 1.0_r8 - cl1(i) * cl2(i) ! save bl cloud
    ENDDO
  ENDIF
ENDDO
```

```
DO i = 1, IX
  clds(i,4) = 1.0_r8 - cl1(i) * cl2(i) ! save total cloud
ENDDO

ENDIF
```



Tabela 1 Uma visão geral da evolução histórica dos principais aspectos da parametrização da nuvem.



\bar{q} => é a umidade específica média da grade;

\bar{q}_s => é a média da grade de seu valor de saturação;

a => é a representa a fração de nuvens com

a_{cu} => descreve a contribuição de nuvens geradas convectivamente;

I => representa o conteúdo de condensado, com

I_{cu} => novamente descrevendo que em nuvens convectivas;

RH => é a umidade relativa média da grade e

CP => é a taxa de precipitação convectiva

	Modeling period			
	1960/70s	1970/80s	1980/90s	Now and beyond
Condensation (nonconvective)	$\bar{q} > \bar{q}_s$	$\bar{q} > \bar{q}_s$	I prognostic function of outcome of processes $a = f(RH)/I$ prognostic	I prognostic function of the processes themselves a prognostic/ prognostic
Radiation effects	Prescribed zonal mean albedo and emissivity of clouds	$a = f(RH)/I$ prescribed		
Convection	No cloud interaction	$a_{cu} = f(CP) I_{cu}$ prescribed	$a_{cu} = f(CP) I_{cu}$ prescribed	Condensate and mass as sources for a and I Complex bulk microphysics
Microphysics	None	None	Simple bulk microphysics	



Impactos Da Parametrização de Nuvens Nas Simulações.

- a) Tese Layrson**
- b) Simulação 1D**
- c) Simulação 3D**

Modelos: Cloud Fraction-Radiation Interaction Model (CFRM)

Foi desenvolvido para facilitar os testes de novas parametrizações de nuvens e sua interação com a radiação.

- Numericamente estável;
- Não depende de um passo de tempo;
- Utilizar distintos conjuntos de dados;
- Com resoluções temporais diferentes.
- Esquema de nuvem controle (BAM 1.2)
- Novo esquema de fração de nuvem
- Clirad (Onda curta e onda longa)
- **Outros processos físicos não são considerados.**
- No entanto, o CFRM permite avaliar o efeito da variabilidade da nebulosidade na radiação, esse é um aspecto importante desse estudo.

Parametrização de fração de nuvem controle (BAM1.2)

O esquema de fração de nuvem controle é baseado em Slingo, (1980) e Slingo, (1987) atualmente utilizado no BAM1.2.

Nuvens convectivas:

- Em função do logaritmo da precipitação acumulada nas últimas 3 horas
- O topo e a base das nuvens convectivas são ajustados em função da precipitação acumulada das últimas 3 horas

Nuvens baixas:

- Calculado em função do critério de estabilidade (DTHDP)
- Calculado em função da pressão entre camadas para a região abaixo de 700mb
- Se $DTHDP < 0$, probabilidade de ocorrer inversão
- DTHDP deve ser menor que -0,04 e as camadas acima devem manter a tendência de redução
- Quando o valor da umidade relativa é maior que 80% o cálculo das nuvens stratus é realizada em função da umidade relativa.

Nuvens baixas ($UR > 80\%$ - Saturação):

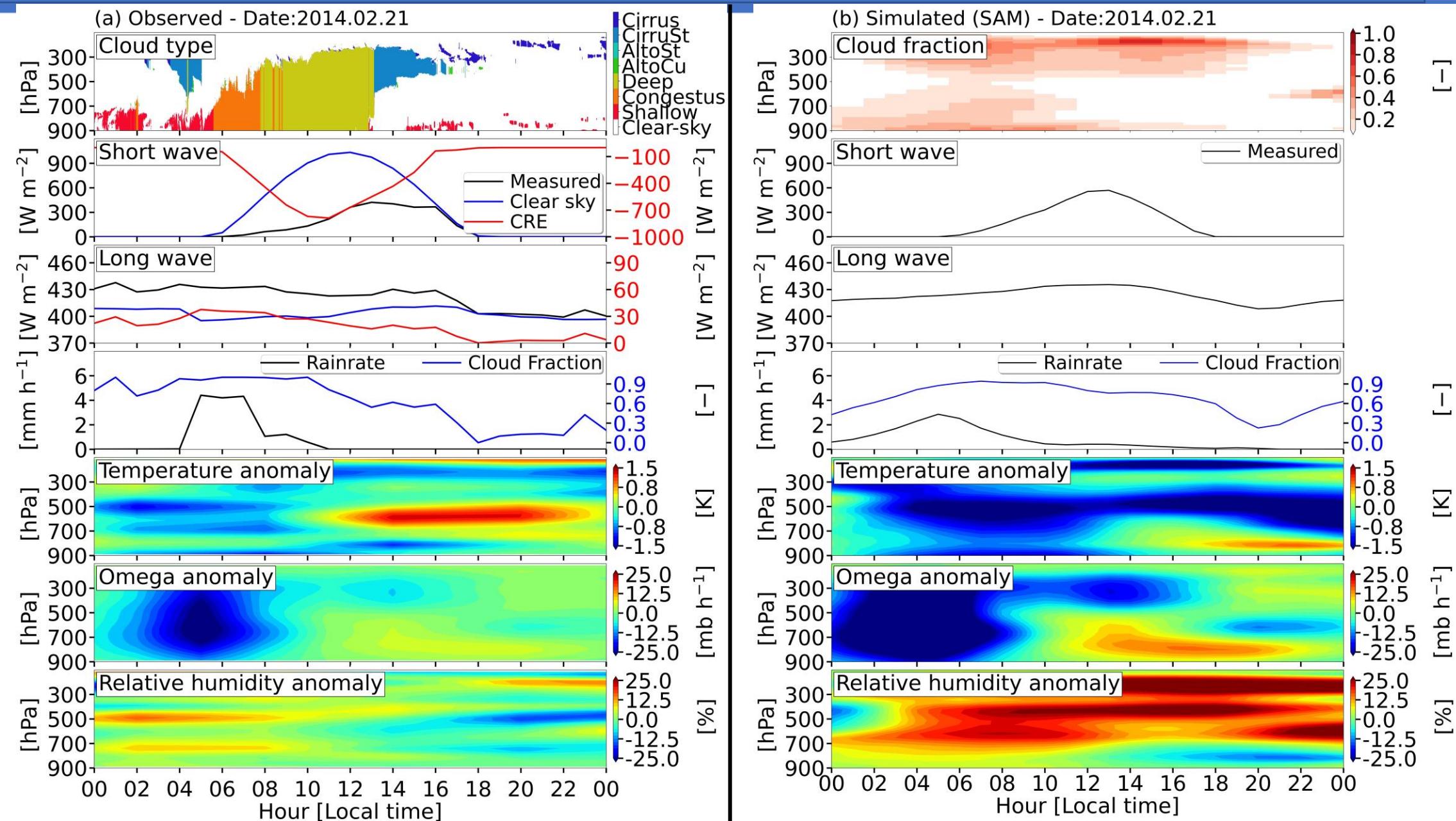
- Camadas abaixo de 400mb o limiar de umidade relativa adotada é de 80% e camadas acima o limiar de 90%
- Podem sofrer alterações em baixos, médios e altos níveis da atmosfera
- Nuvens baixas de saturação, abaixo de 700mb
- Omega maior que $5e^{-5}$ Pa/s destroem as nuvens
- Omega entre $5e^{-5}$ e $-5e^{-5}$ modificam as nuvens
- Omega menos que $-5e^{-5}$ não modificam as nuvens
- Nuvens média de saturação (entre 700 e 400mb)
- Nuvens altas de saturação (acima de 400mb)

Resultado final:

- Fração de nuvens convectivas constante da base ao topo
- Fração de nuvens de saturação

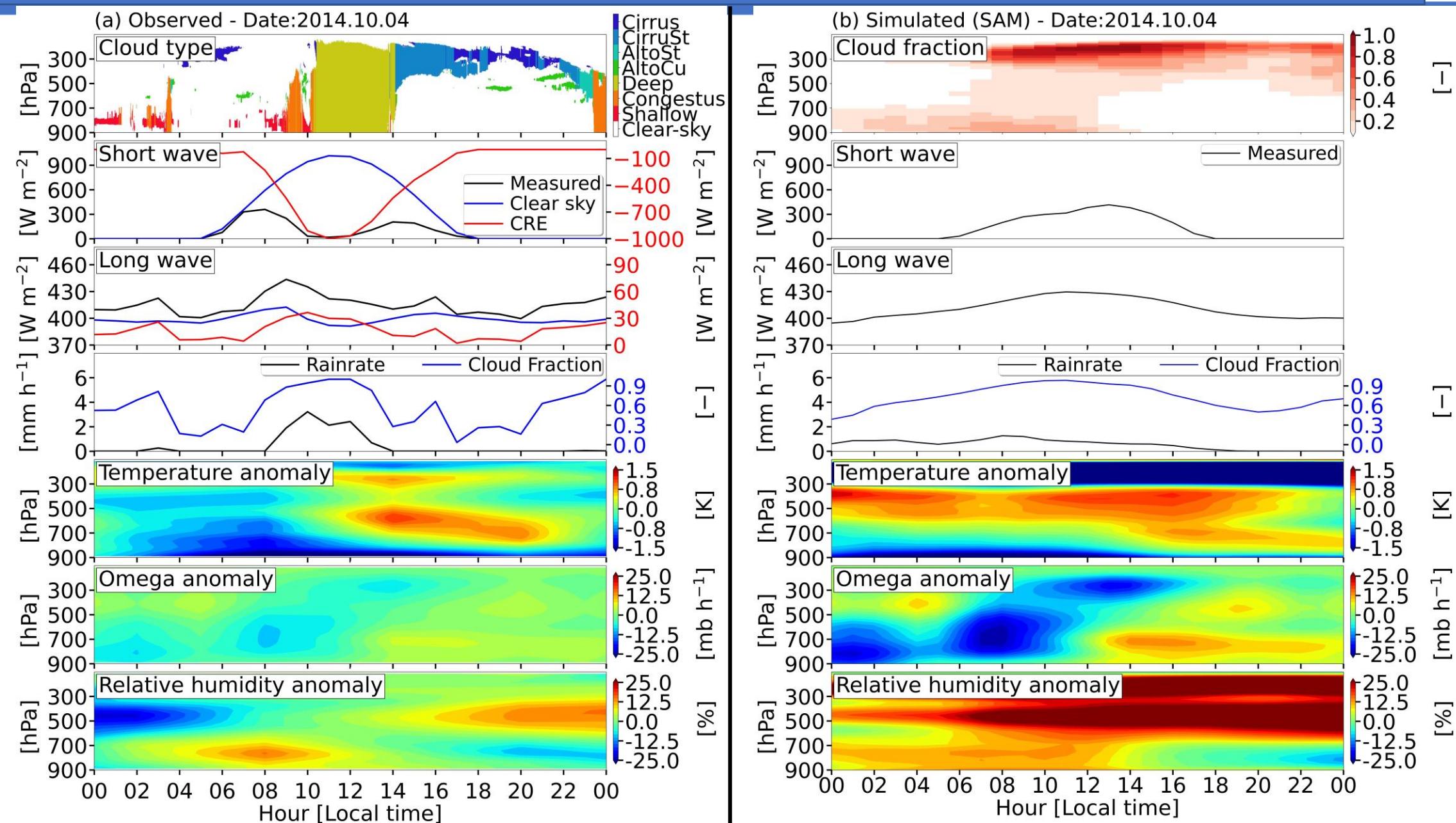
E2: Ciclo diário das variáveis de larga escala e fluxo de radiação

Figura 4.4 - Ciclo diário da nebulosidade, fluxos de radiação e anomalias das variáveis de larga escala para o dia 21 de fevereiro de 2014.



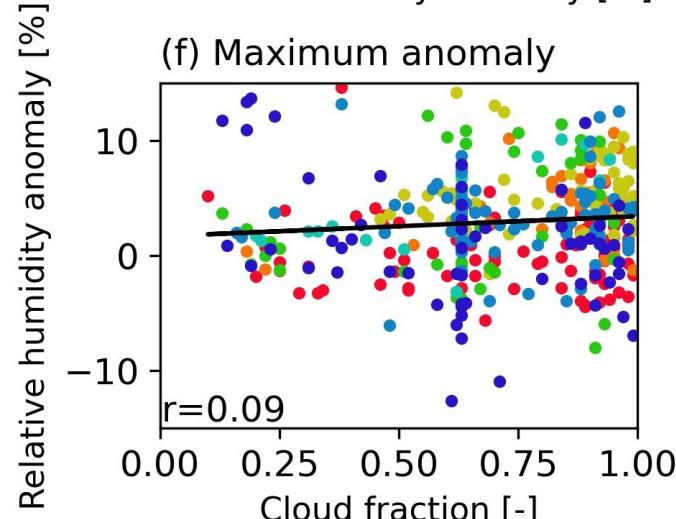
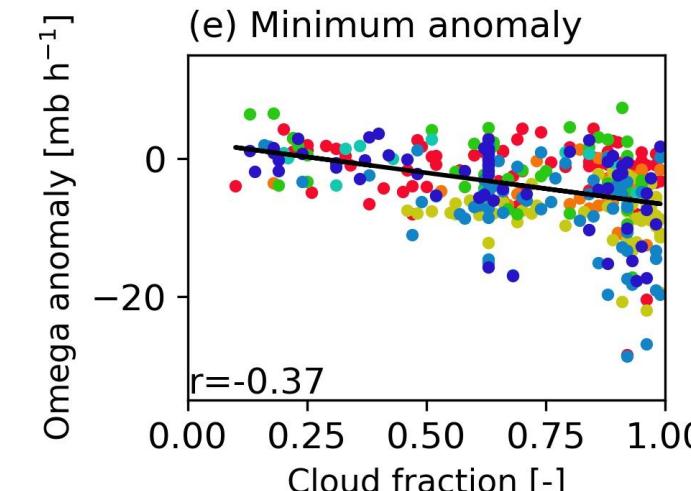
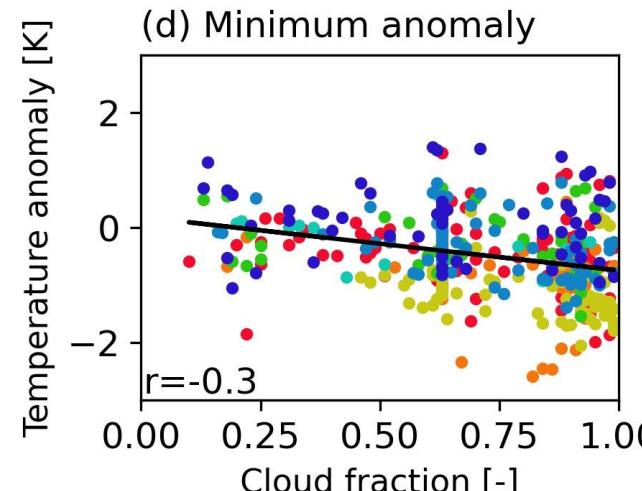
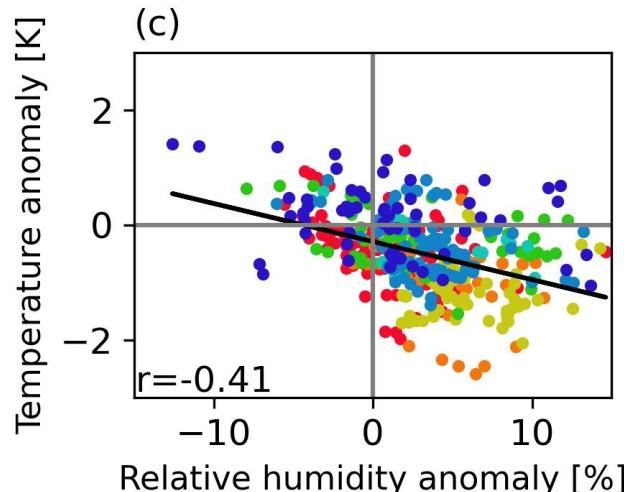
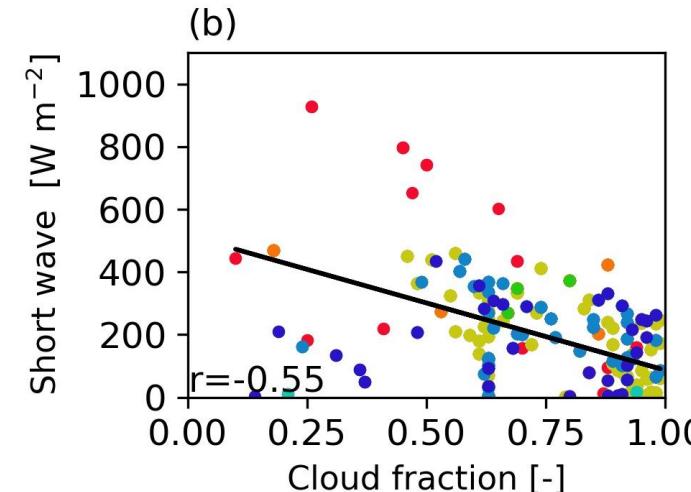
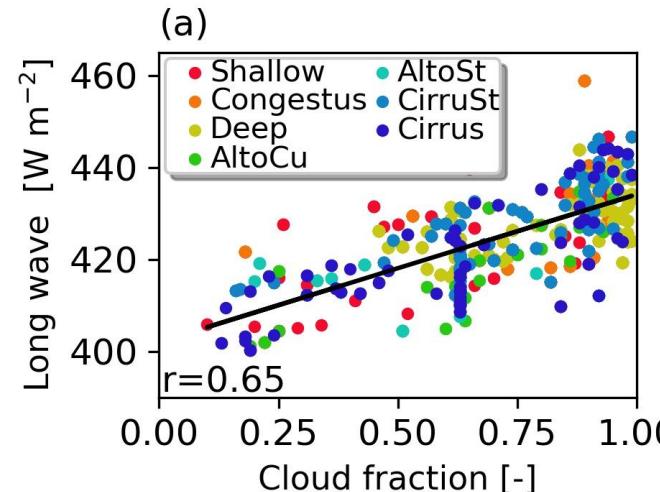
E2: Ciclo diário das variáveis de larga escala e fluxo de radiação

Figura 4.5 - Ciclo diário da nebulosidade, fluxos de radiação e anomalias das variáveis de larga escala para o dia 10 de outubro de 2014.



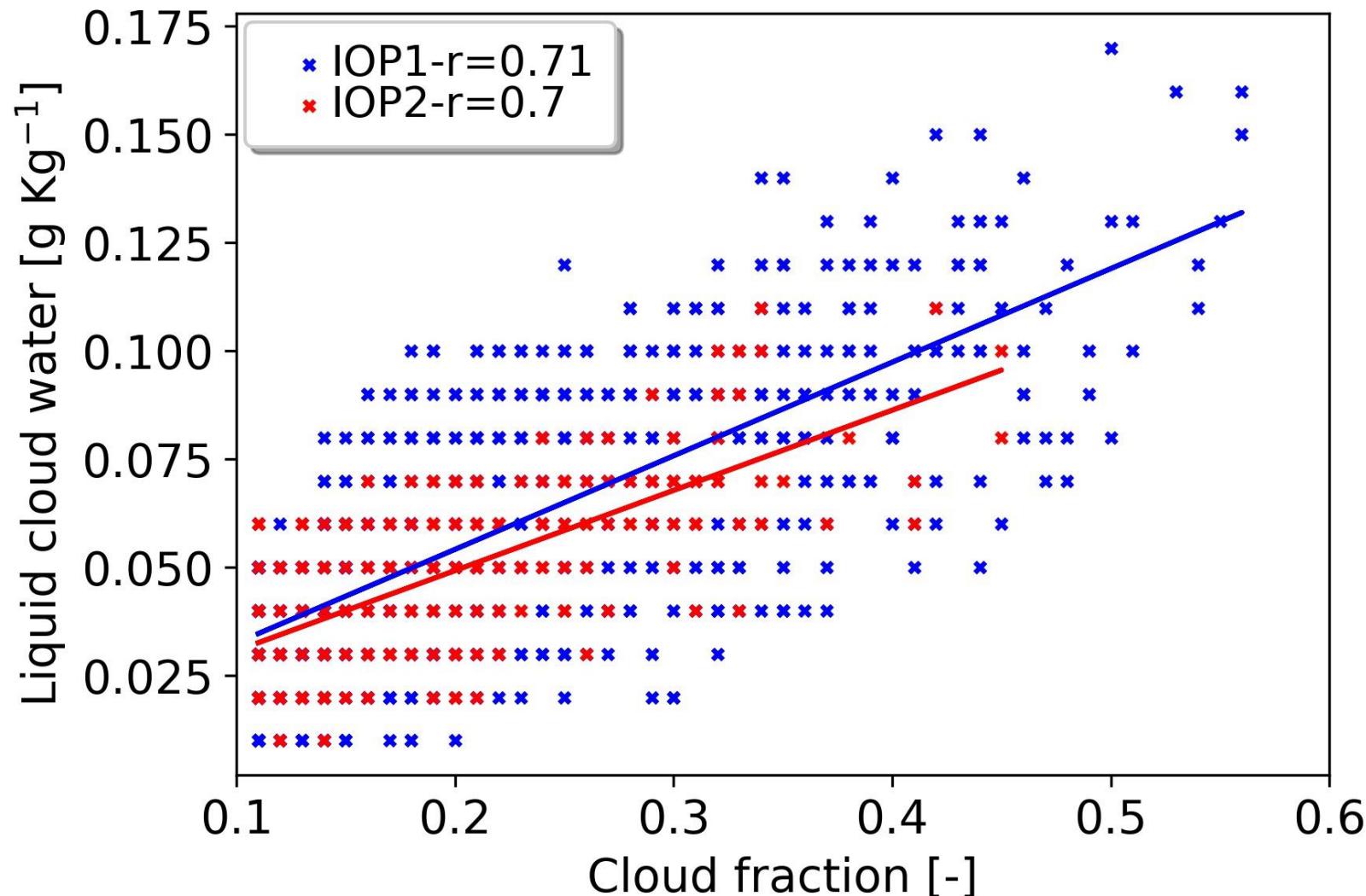
E3: Relação entre as variáveis de larga escala e fração de nuvem

Figura 4.6 - Dispersão entre a fração de nuvens observada e radiação de onda longa, radiação de onda curta, taxa de precipitação, valores mínimos da variância de temperatura, mínimo de omega e máximo de umidade relativa para os casos selecionados durante o IOP1



E3: Relação entre as variáveis de larga escala e fração de nuvem

Figura 4.9 - Dispersão entre a fração de nuvem simulada e conteúdo de água líquida.



Nova parametrização de fração de nuvem

A nova parametrização de nuvens proposta neste trabalho utiliza-se da função de distribuição de probabilidade de Weibull (WEIBULL; SWEDEN, 1951) aplicada nas variáveis prognósticas de concentrações de água líquida e gelo

$$f(x) = \left(\frac{\beta}{\theta} \left(\frac{x - \delta}{\theta} \right)^{\beta-1} \right) \left(\text{EXP} \left[- \left(\frac{x - \delta}{\theta} \right)^{\beta} \right] \right), x \geq \delta$$

- β é o parâmetro de forma
- θ é o parâmetro de escala
- δ parâmetro de localização
- x é uma variável da microfísica de nuvens em questão

- Vantagem: a função pode ter características semelhantes à função de probabilidade, porém, tem a capacidade de se adaptar a diferentes tipos de dados.

- β e δ são calibrados empiricamente
- θ é parametrizado em função da umidade atmosférica
- x contém um valor de referência de concentração de água líquida ou gelo que dispara o cálculo da fração de nuvens em diferentes camadas da atmosfera

Parâmetro	Variável da microfísica	Valores
β	Água líquida	1.0
	Gelo	1.2
θ	Água líquida	0.9
	Gelo	0.9
δ	Água líquida	0.0
	Gelo	0.0

Nova parametrização de fração de nuvem

Tabela 3.4 - Valores de referência para formação de nuvens.

	Mínimo	Máximo
Água líquida	$1e^{-10}$	$1e^{-05}$
Gelo	$1e^{-10}$	$1e^{-04}$

Nuvens convectivas:

- Se a concentração de água líquida e gelo > referência = formação de nuvem
- CF = PDF Weibull limiar água liquida e gelo / PDF Wibull de referência
- Perfil final de CF convectiva = Perfil de nuvem água líquida + gelo
- Quando ocorre uma forte convecção, a fração de nuvens convectivas acima de 400mb é ajustada em função de um valor crítico de 0.3. Se a fração de nuvem não exceder este valor não pode ocorrer nuvens convectivas, só ocorrerá nuvens convectivas acima deste valor crítico.

Nova parametrização de fração de nuvem

Nuvens baixas:

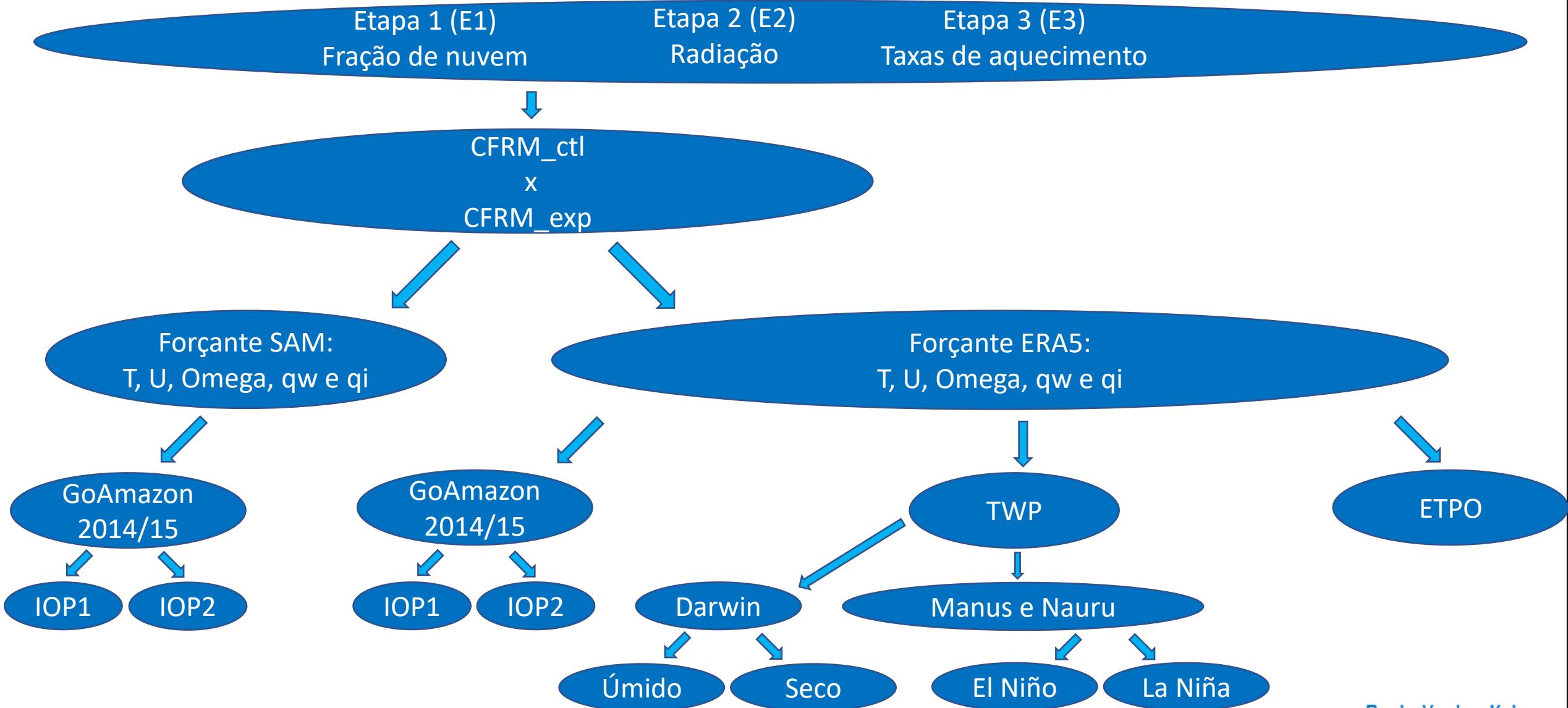
- Calculado em função do critério de estabilidade (DTHDP)
- Calculado em função da pressão entre camadas para a região abaixo de 700mb
- Se DTHDP < 0, probabilidade de ocorrer inversão
- DTHDP deve ser menor que -0,04 e as camadas acima devem manter a tendência de redução
- As frações de nuvens stratus ou de inversão é parametrizada em função da umidade relativa e o cálculo somente ocorre se a umidade relativa do dia corrente é maior que a média do dia anterior.

Nuvens baixas (saturação):

- gerada pela saturação do ambiente são ajustadas em função de algumas considerações físicas
- abaixo de 700 mb as nuvens de saturação são ajustadas em função do movimento vertical
- Se Omega atual – Omega médio ($\Delta\Omega$) > 0, não pode ocorrer formação de nuvem
- Se for maior que -5×10^{-5} e menor que 0, a fração de nuvens de saturação sofre um ajuste em função de $\Delta\Omega$
- O resultado final dos cálculos da parametrização de nuvens são os perfis de fração de nuvens convectivas e de supersaturação.

UMA NOVA PARAMETRIZAÇÃO DE FRAÇÃO DE NUVEM PARA OBTER UMA ESTIMATIVA DA DISTRIBUIÇÃO HORIZONTAL E VERTICAL DA NEBULOSIDADE CONSISTENTE COM OS DADOS OBSERVADOS

Parte 2



E1: Fração de nuvem

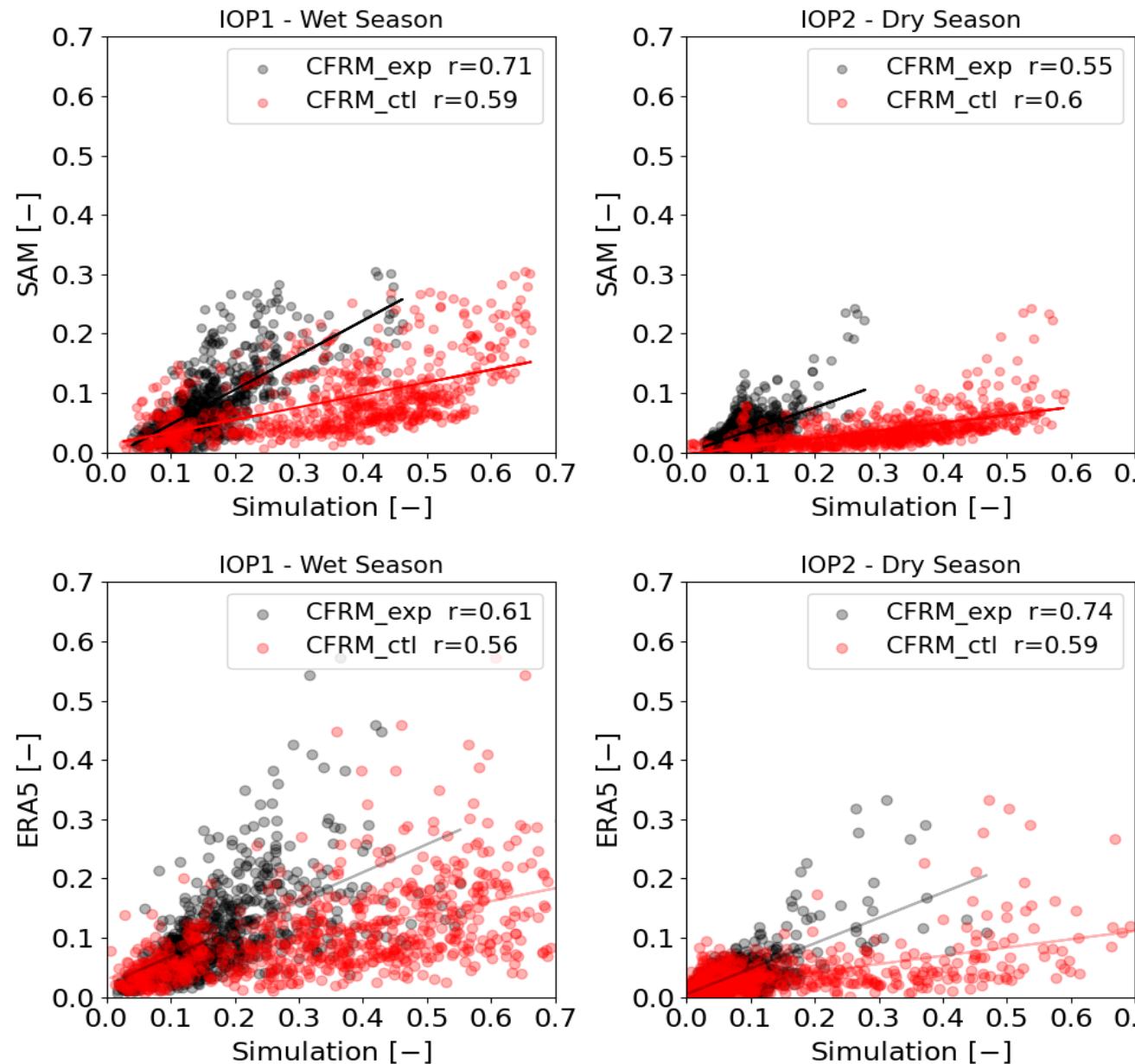


Figura 5.1 - Gráfico de dispersão da fração de nuvem do ponto T3 do GoAmazon 2014/15.

E1: Fração de nuvem

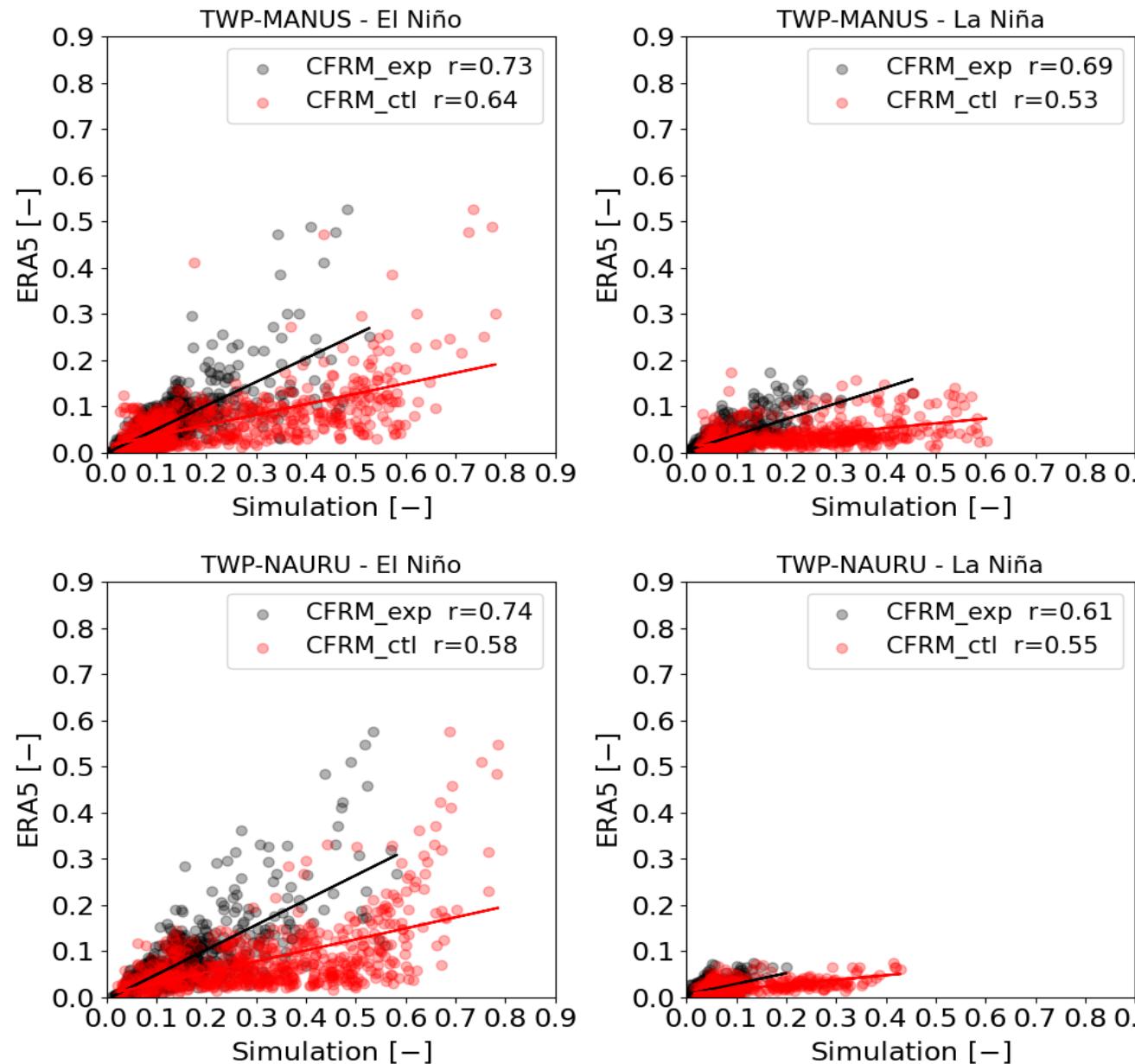


Figura 5.2 - Gráfico de dispersão da fração de nuvem para os três pontos do experimento TWP.

E1: Fração de nuvem

Figura 5.2 - Gráfico de dispersão da fração de nuvem para os três pontos do experimento TWP.

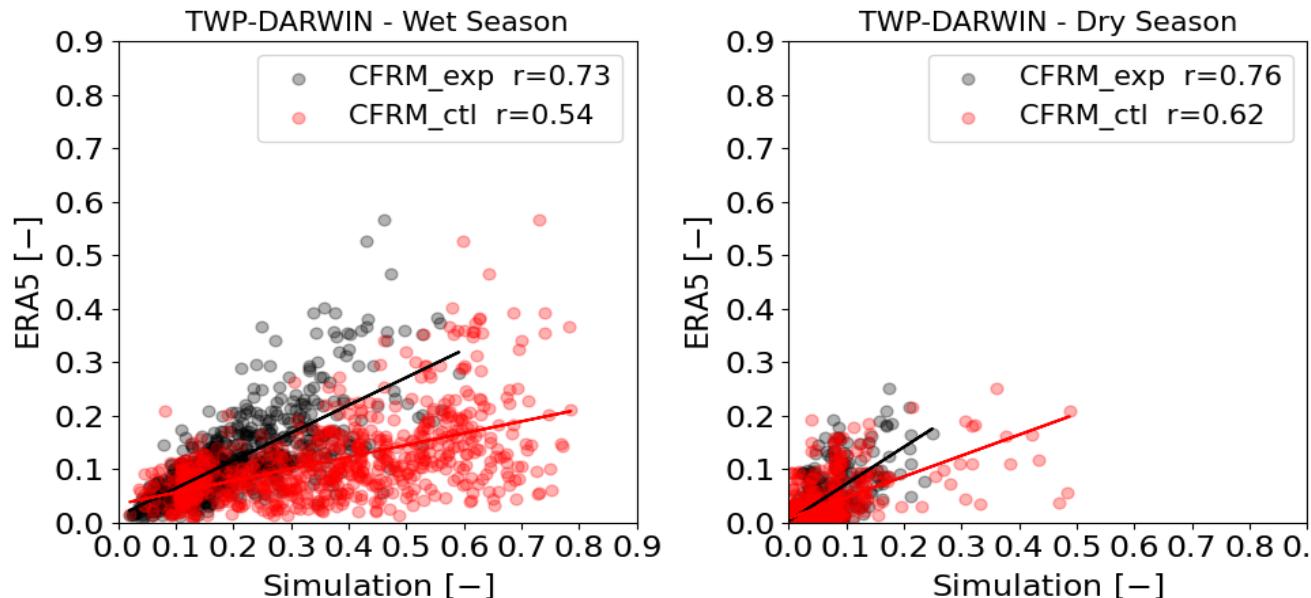
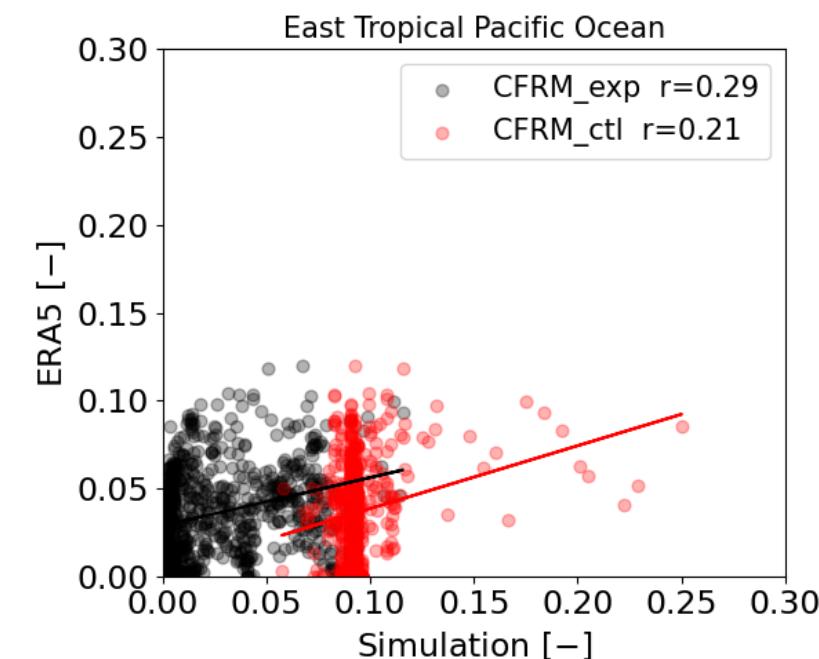


Figura 5.3 - Gráfico de dispersão da fração de nuvem para o ponto ETPO.



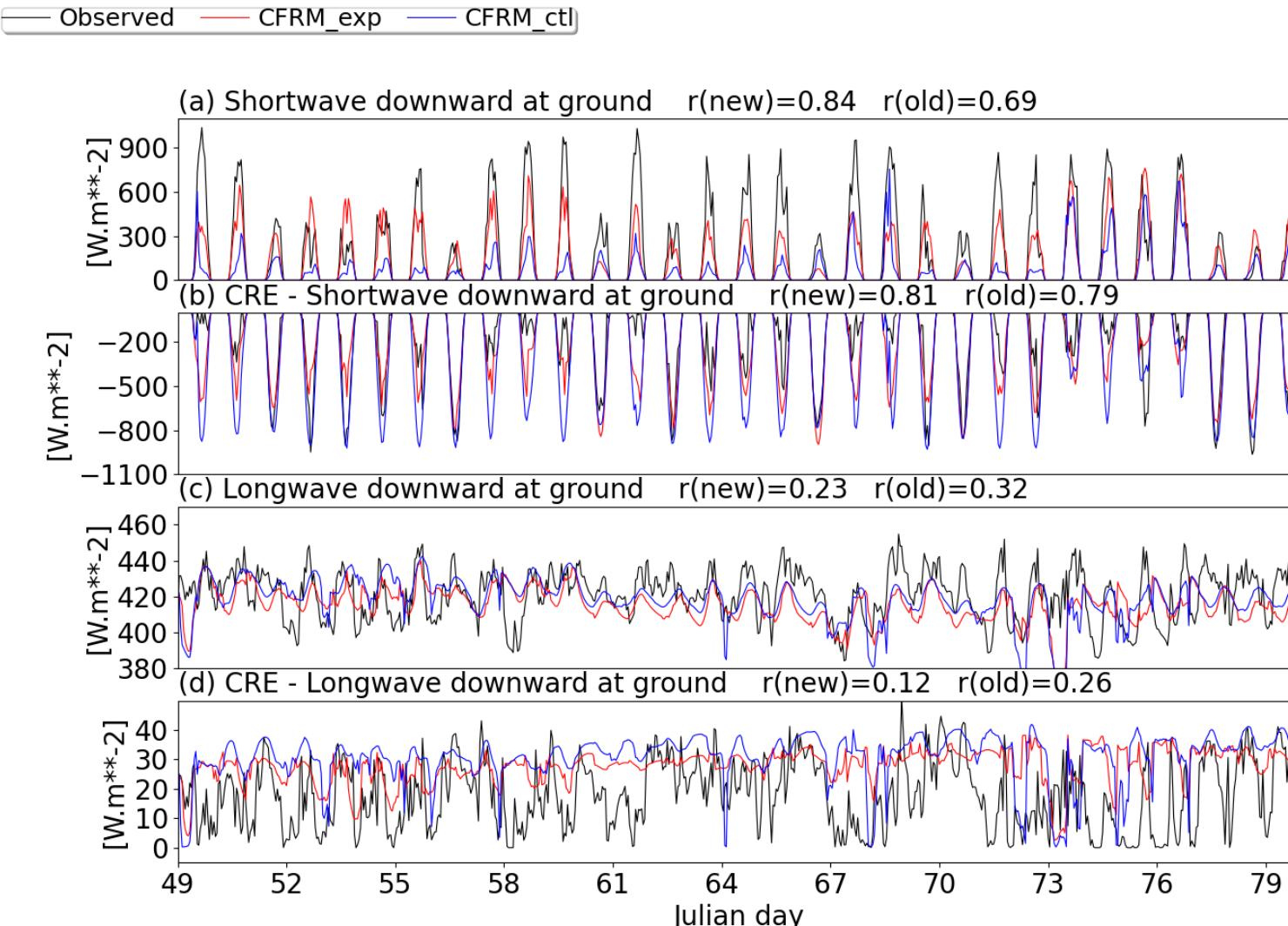
E1: Fração de nuvem

Tabela 5.1 - Resumo dos coeficientes de correlação de fração de nuvem entre as simulações e os dados de referência.

	Áreas de estudo	CFRM_exp	CFRM_ctl
SAM	GoAmazon 2014/15		
	Período Úmido (Seco)	0,71 (0,55)	0,59 (0,60)
ERA5	GoAmazon 2014/15		
	Período Úmido (Seco)	0,61 (0,74)	0,56 (0,59)
ERA5	TWP - Darwin		
	Período Úmido (Seco)	0,73 (0,76)	0,54 (0,62)
	TWP - Manus		
	El Niño (La Niña)	0,73 (0,69)	0,64 (0,53)
ERA5	TWP - Nauru		
	El Niño (La Niña)	0,74 (0,61)	0,58 (0,55)
	East Tropical Pacific Ocean.	0,29	0,21

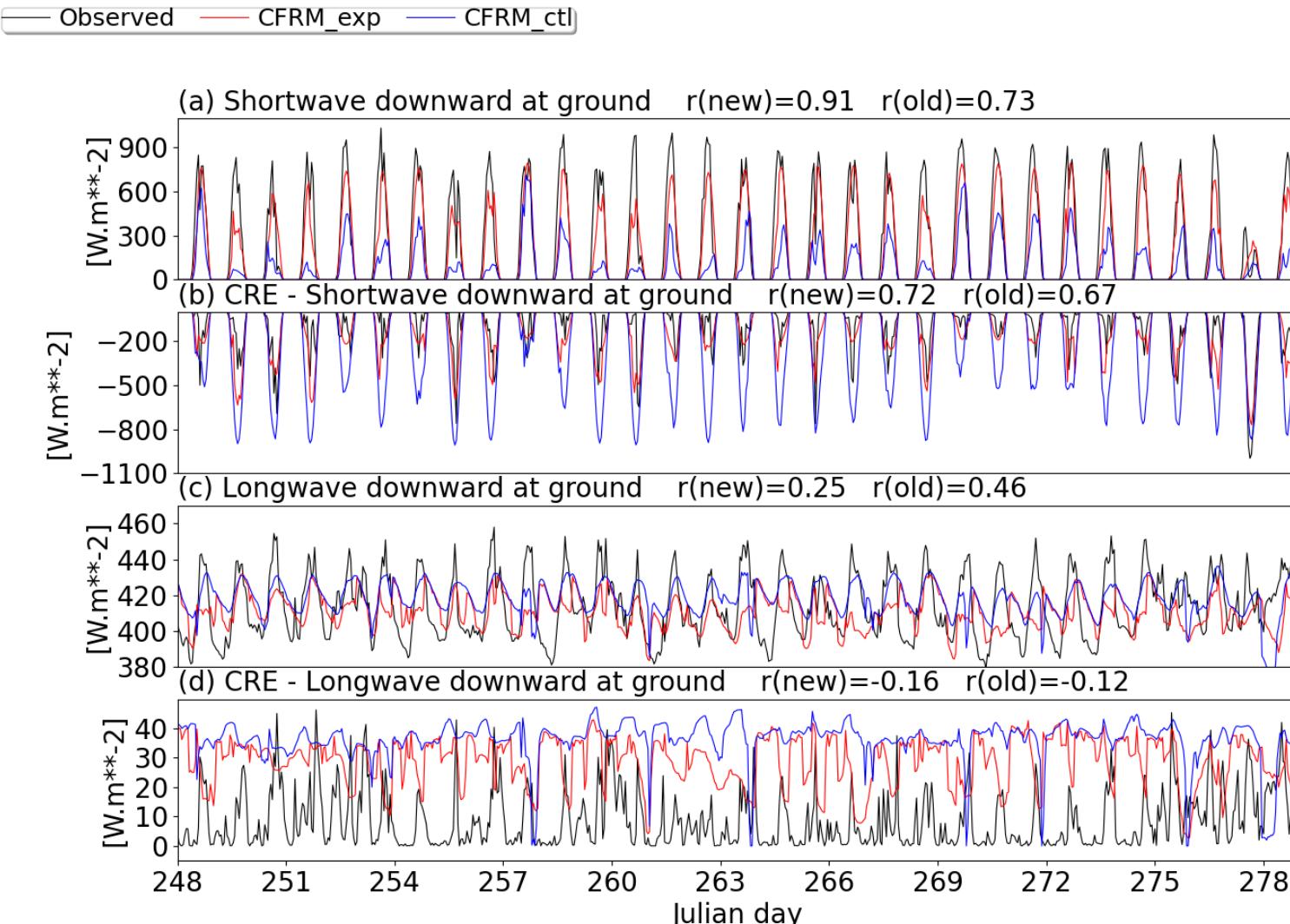
E2: Fluxos de radiação de onda longa e onda curta

Figura 5.4 - Série temporal dos fluxos de radiação e efeito radiativo de nuvens (CRE) para o período da IOP1 do GoAmazon 2014/15. Simulações utilizando os dados do SAM como forçantes de larga escala.



E2: Fluxos de radiação de onda longa e onda curta

Figura 5.5 - Série temporal dos fluxos de radiação e efeito radiativo de nuvens (CRE) para o período da IOP2 do GoAmazon 2014/15. Simulações utilizando os dados do SAM como forçantes de larga escala.



E2: Fluxos de radiação de onda longa e onda curta

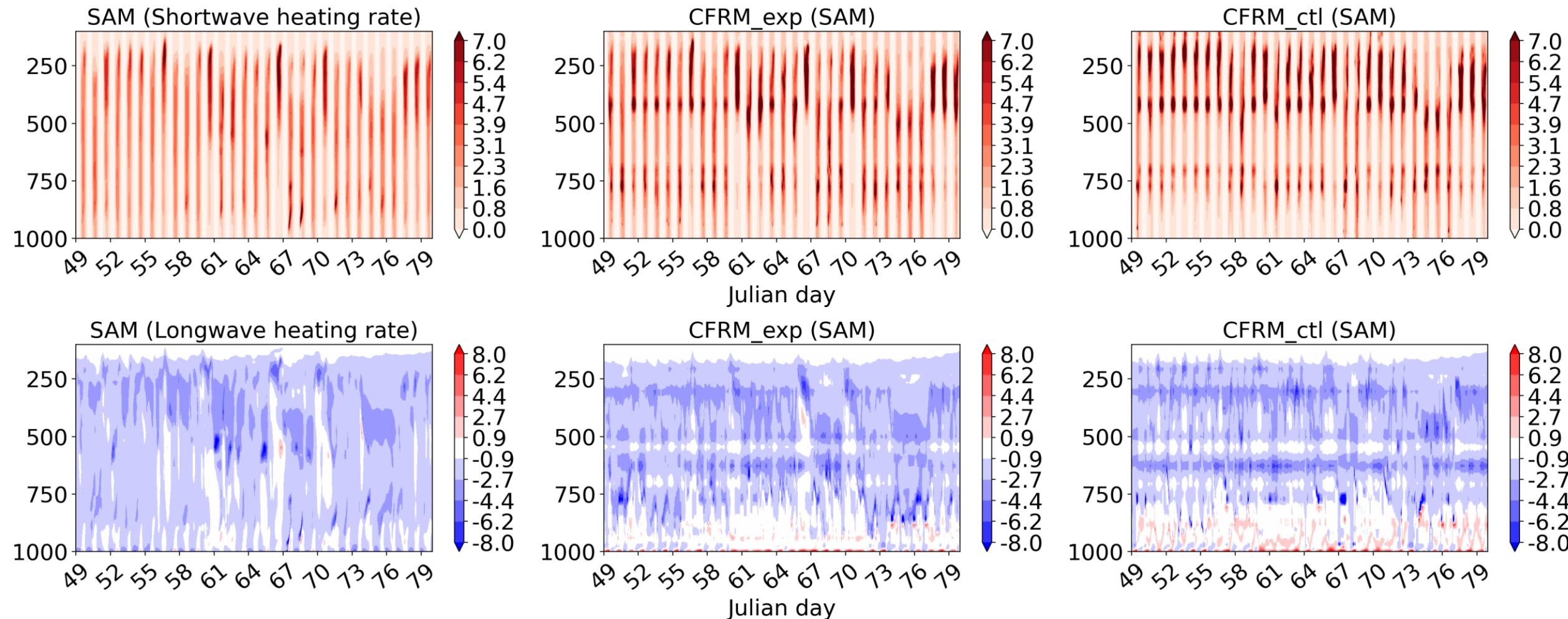
Tabela 5.2 - Resumo dos valores de correção dos fluxos de radiação de onda curta e onda longa observado e simulado com o CFRM.

	FORÇANTE (SAM)		FORÇANTE (ERA5)								
	GOAMAZON		GOAMAZON		NAURU		MANUS		DARWIN		ETPO
	IOP1	IOP2	IOP1	IOP2	LA NIÑA	EL NIÑO	LA NIÑA	EL NIÑO	ÚMIDO	SECO	JAN 2010
OCIS											
EXP (CTL)	0,84 (0,69)	0,91 (0,73)	0,86 (0,69)	0,85 (0,72)	0,89 (0,85)	0,87 (0,76)	0,86 (0,80)	0,87 (0,80)	0,80 (0,62)	0,97 (0,94)	0,96 (0,85)
CRE OCIS											
EXP (CTL)	0,81 (0,79)	0,72 (0,67)	0,84 (0,80)	0,68 (0,63)	0,53 (0,41)	0,77 (0,73)	0,50 (0,51)	0,74 (0,73)	0,77 (0,74)	0,68 (0,62)	0,51 (0,62)
OLIS											
EXP (CTL)	0,24 (0,32)	0,25 (0,46)	0,47 (0,54)	0,56 (0,54)	0,38 (0,15)	0,26 (0,27)	0,28 (0,18)	0,43 (0,49)	0,43 (0,27)	0,83 (0,81)	0,06 (0,18)
CRE OLIS											
EXP (CTL)	0,12 (0,26)	-0,16 (-0,12)	0,34 (0,43)	0,3 (0,27)	0,24 (0,10)	0,20 (0,23)	0,08 (0,08)	0,18 (0,20)	0,08 (0,06)	0,46 (0,41)	0,04 (0,17)

E3: Taxas de aquecimento devido radiação de onda longa e onda curta

Figura 5.8 - Simulações das taxas de aquecimento/resfriamento radiativo para região do GoAmazon 2014/15 utilizando dados do SAM como forçantes.

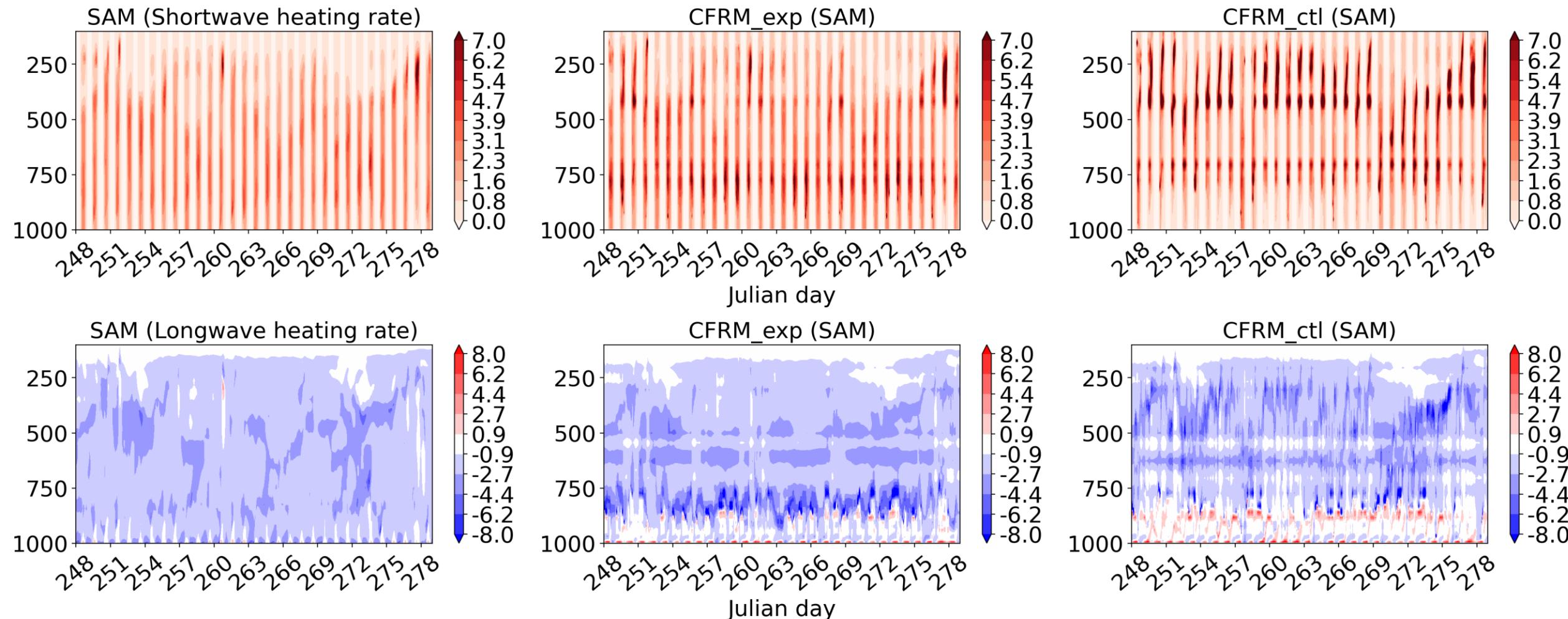
- SAM-IOP1



E3: Taxas de aquecimento devido radiação de onda longa e onda curta

Figura 5.8 - Simulações das taxas de aquecimento/resfriamento radiativo para região do GoAmazon 2014/15 utilizando dados do SAM como forçantes.

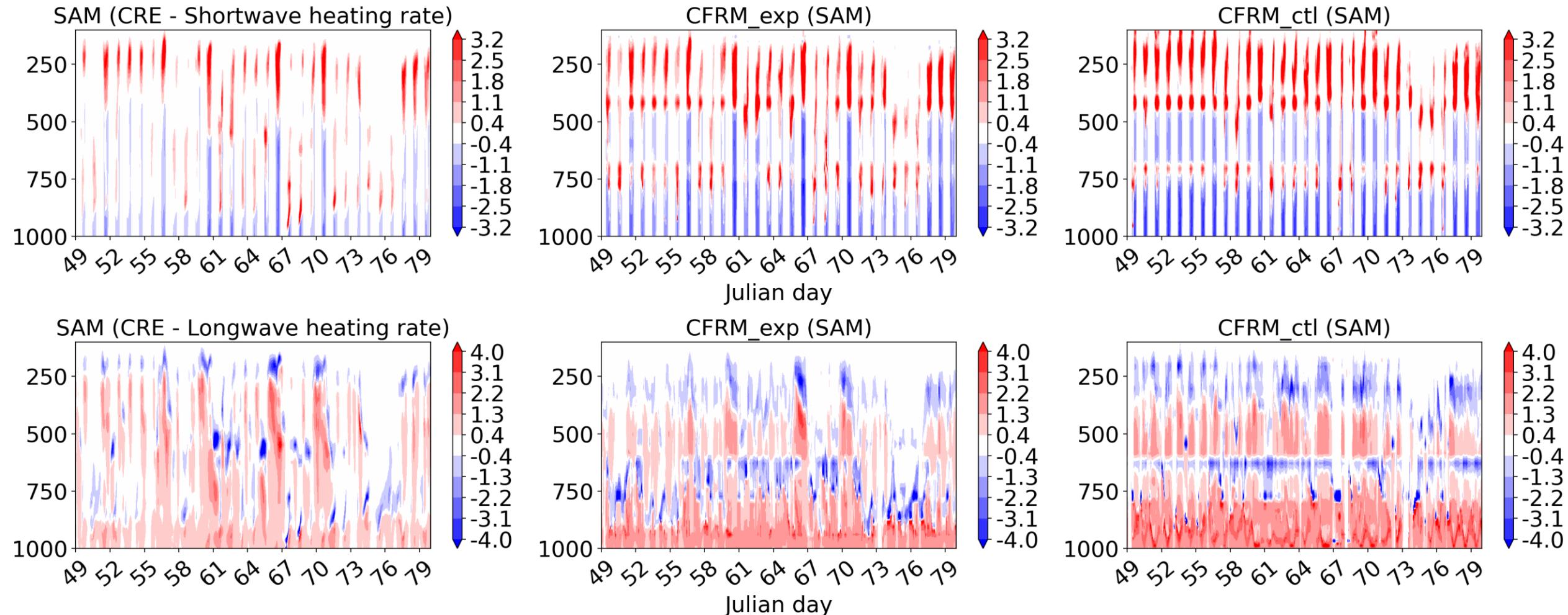
- SAM-IOP2



E3: Taxas de aquecimento devido radiação de onda longa e onda curta

Figura 5.10 - Simulações do efeito radiativo das nuvens nas taxas de aquecimento/resfriamento para região do GoAmazon 2014/15 utilizando dados do SAM como forçantes.

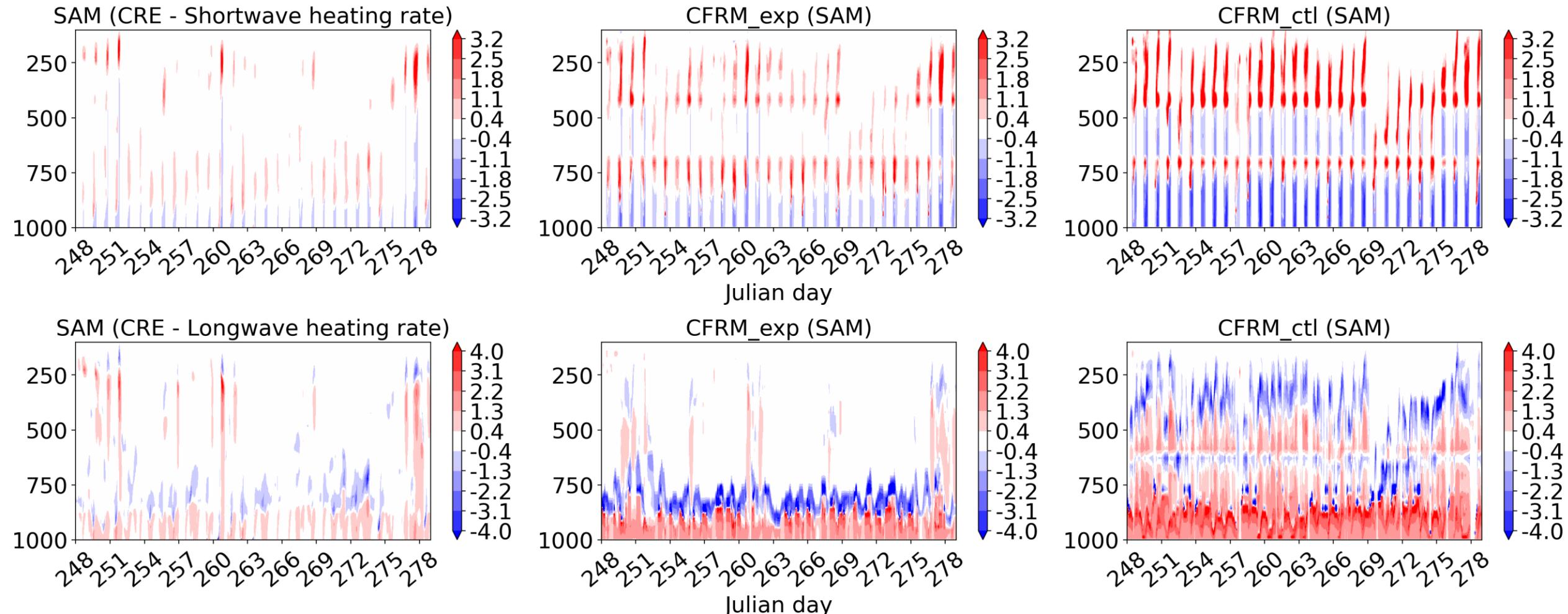
- SAM-IOP1



E3: Taxas de aquecimento devido radiação de onda longa e onda curta

Figura 5.10 - Simulações do efeito radiativo das nuvens nas taxas de aquecimento/resfriamento para região do GoAmazon 2014/15 utilizando dados do SAM como forçantes.

- SAM-IOP2



E3: Taxas de aquecimento devido radiação de onda longa e onda curta

Tabela 5.3 - Resumo dos valores de correlação entre as taxas de aquecimento/resfriamento simuladas com o CFRM e os dados de referência.

	FORÇANTE (SAM)		FORÇANTE (ERA5)								
	GOAMAZON		GOAMAZON		NAURU		MANUS		DARWIN		ETPO
	IOP1	IOP2	IOP1	IOP2	LA NINA	EL NINO	LA NINA	EL NINO	ÚMIDO	SECO	JAN 2019
HRSW											
EXP	0,93 (0,87)	0,96 (0,91)	0,34 (0,27)	0,59 (0,47)	0,78 (0,77)	0,49 (0,46)	0,71 (0,64)	0,36 (0,35)	0,55 (0,47)	0,61 (0,60)	0,71 (0,71)
CRE - HRSW											
EXP	0,83 (0,51)	0,65 (0,27)	0,48 (0,29)	0,60 (0,45)	0,44 (0,34)	0,61 (0,51)	0,55 (0,44)	0,64 (0,55)	0,54 (0,39)	0,37 (0,24)	0,28 (0,44)
HRLW											
EXP	0,42 (0,47)	0,08 (0,28)	0,57 (0,56)	0,45 (0,50)	0,46 (0,21)	0,79 (0,63)	0,87 (0,65)	0,81 (0,69)	0,70 (0,58)	0,58 (0,56)	0,04 (0,05)
CRE - HRLW											
EXP	0,75 (0,34)	0,70 (0,32)	0,56 (0,35)	0,63 (0,35)	0,15 (0,01)	0,73 (0,50)	0,72 (0,45)	0,73 (0,56)	0,68 (0,37)	0,63 (0,55)	0,01 (0,01)