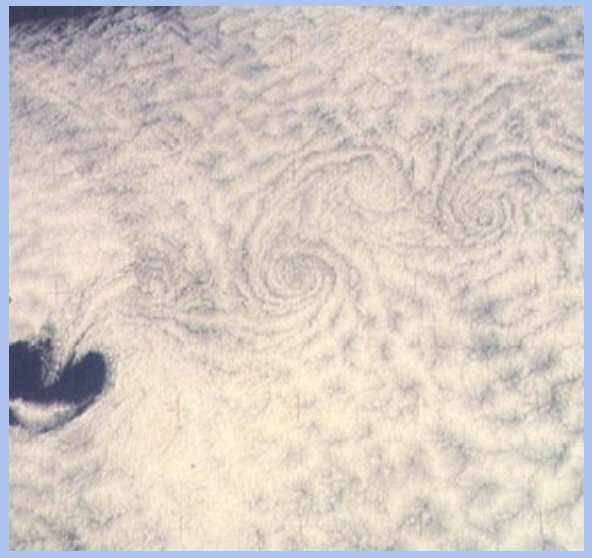
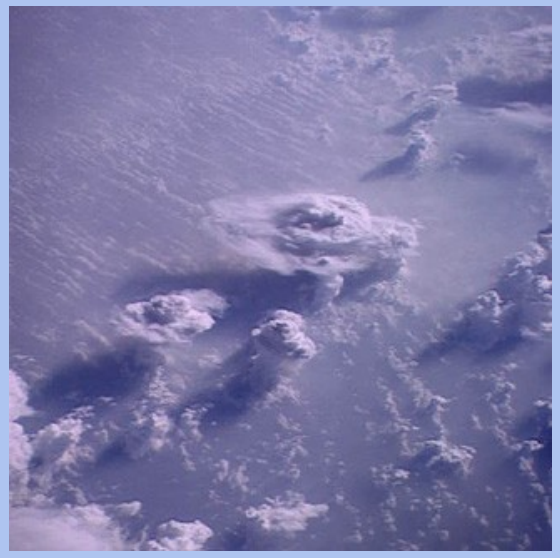
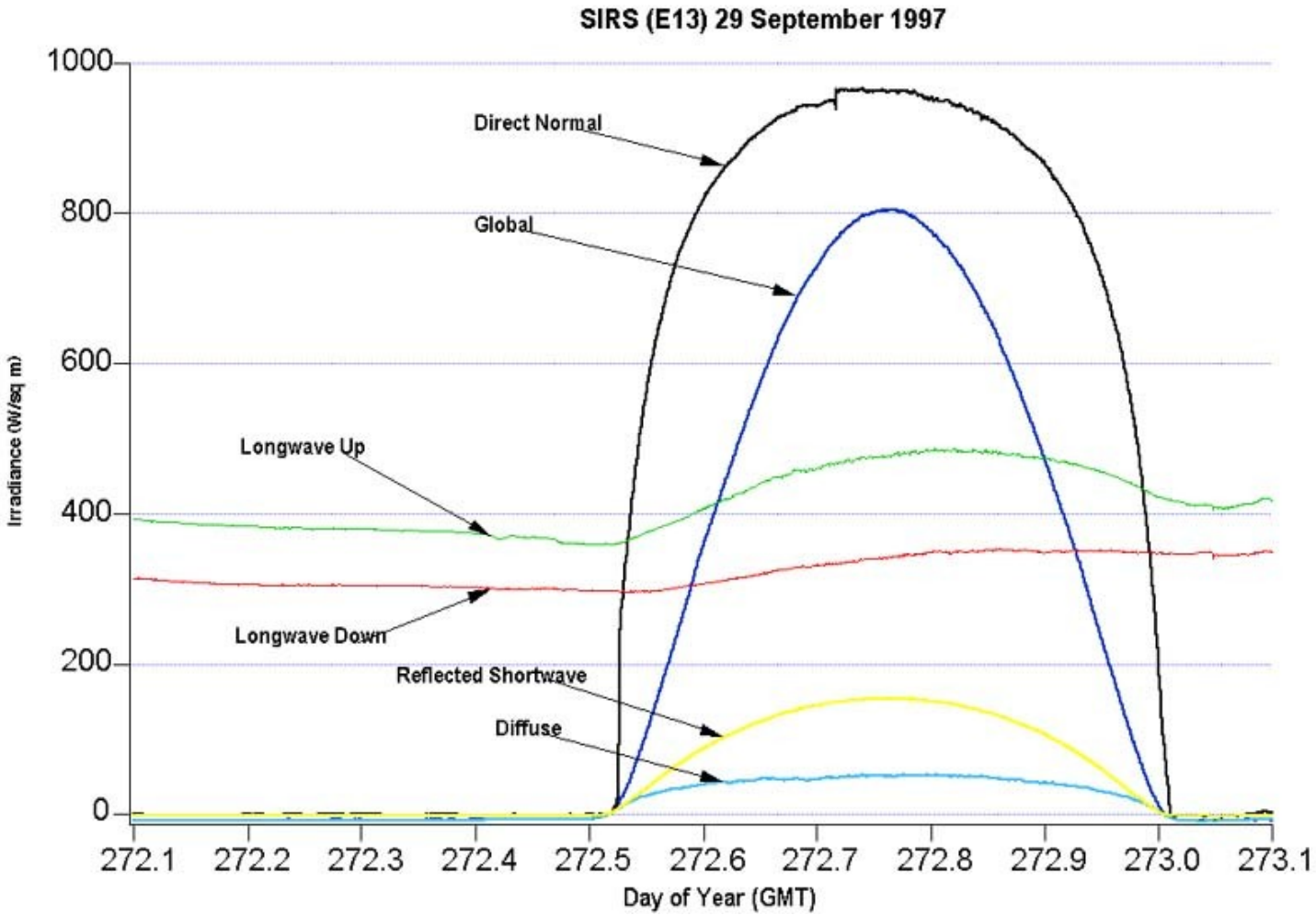
Interação entre Nuvens e Radiação

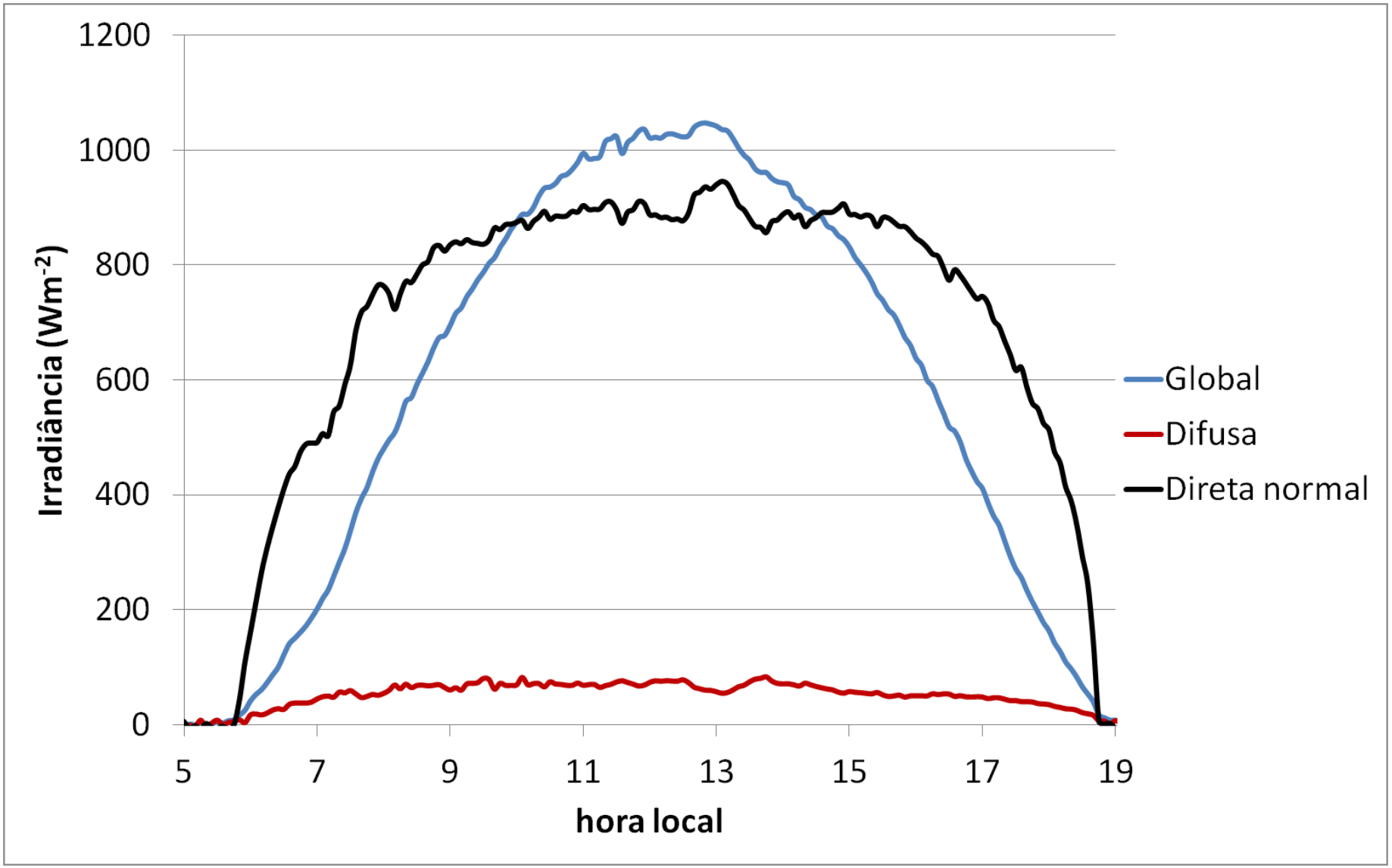




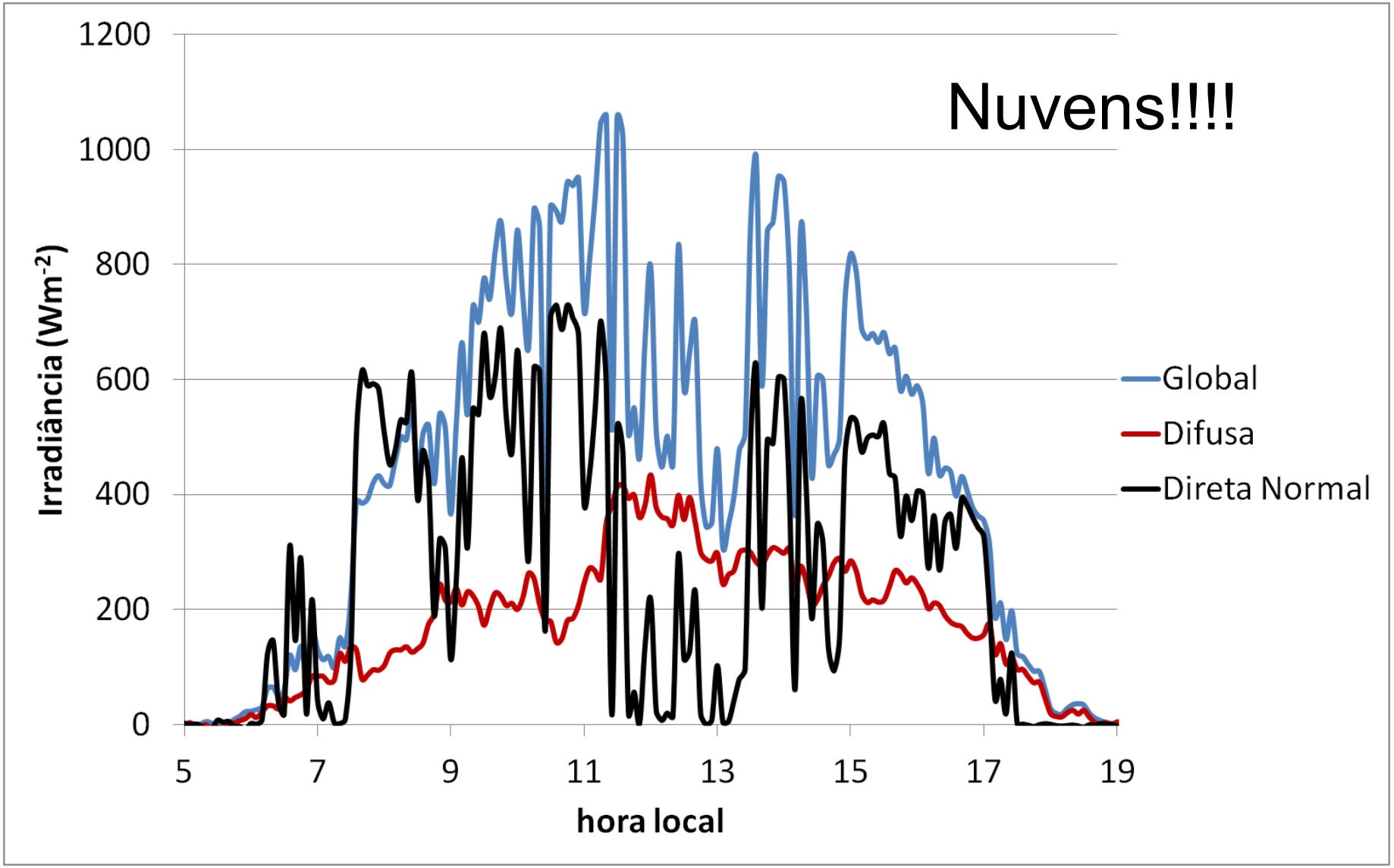
Em aula anterior...



São Paulo em 17/01/2006



São Paulo em 18/01/2006



Importância das nuvens

- Nuvens cobrem ~ 60% da superfície da Terra
- Refletem, absorvem e transmitem a radiação solar
- <u>Refletem</u>, absorvem e emitem radiação terrestre

⇨ O efeito líquido resultante de sua interação com a radiação pode ser tanto de aquecimento quanto de resfriamento do sistema Terra-atmosfera!

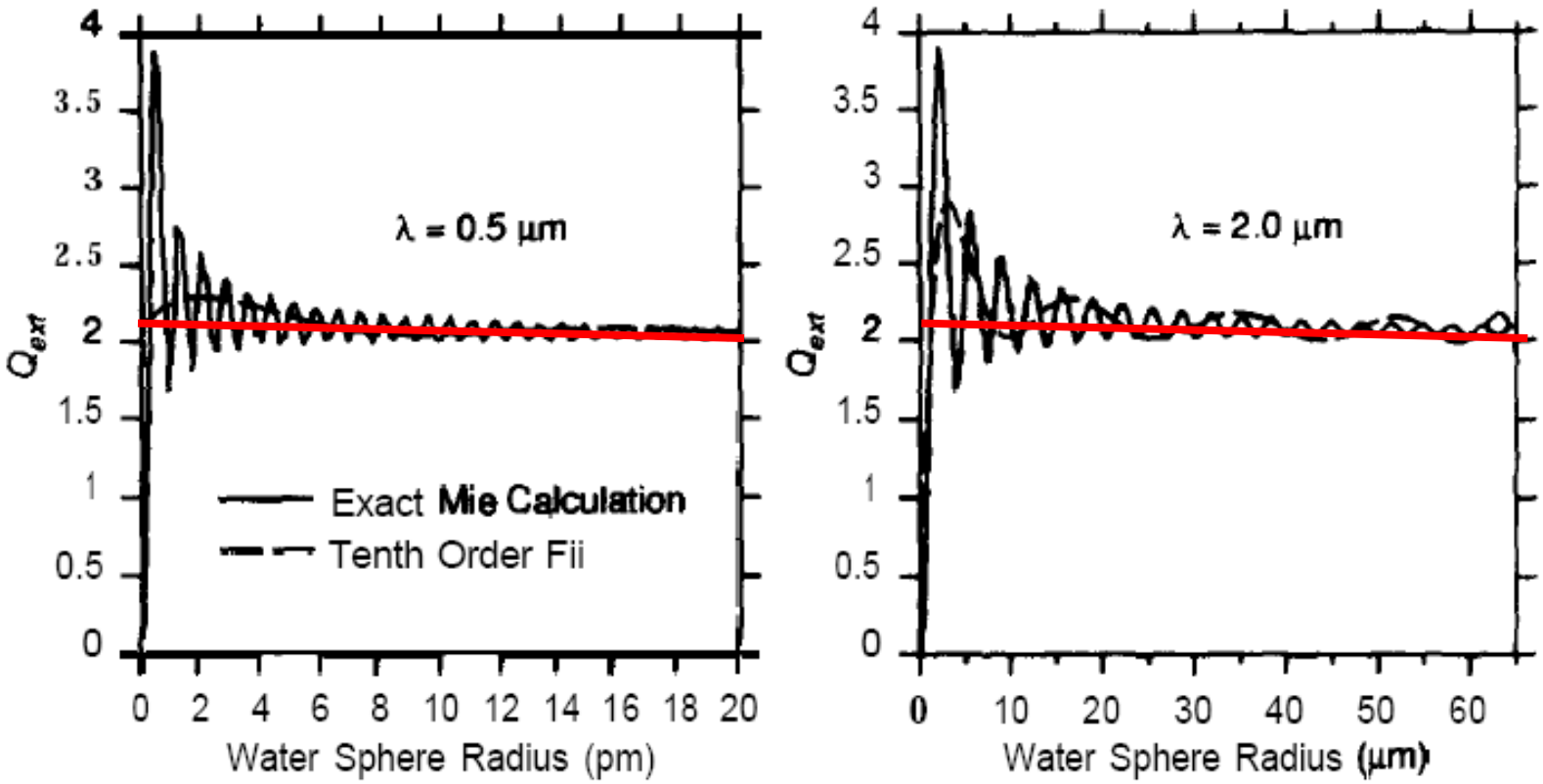
Nuvens

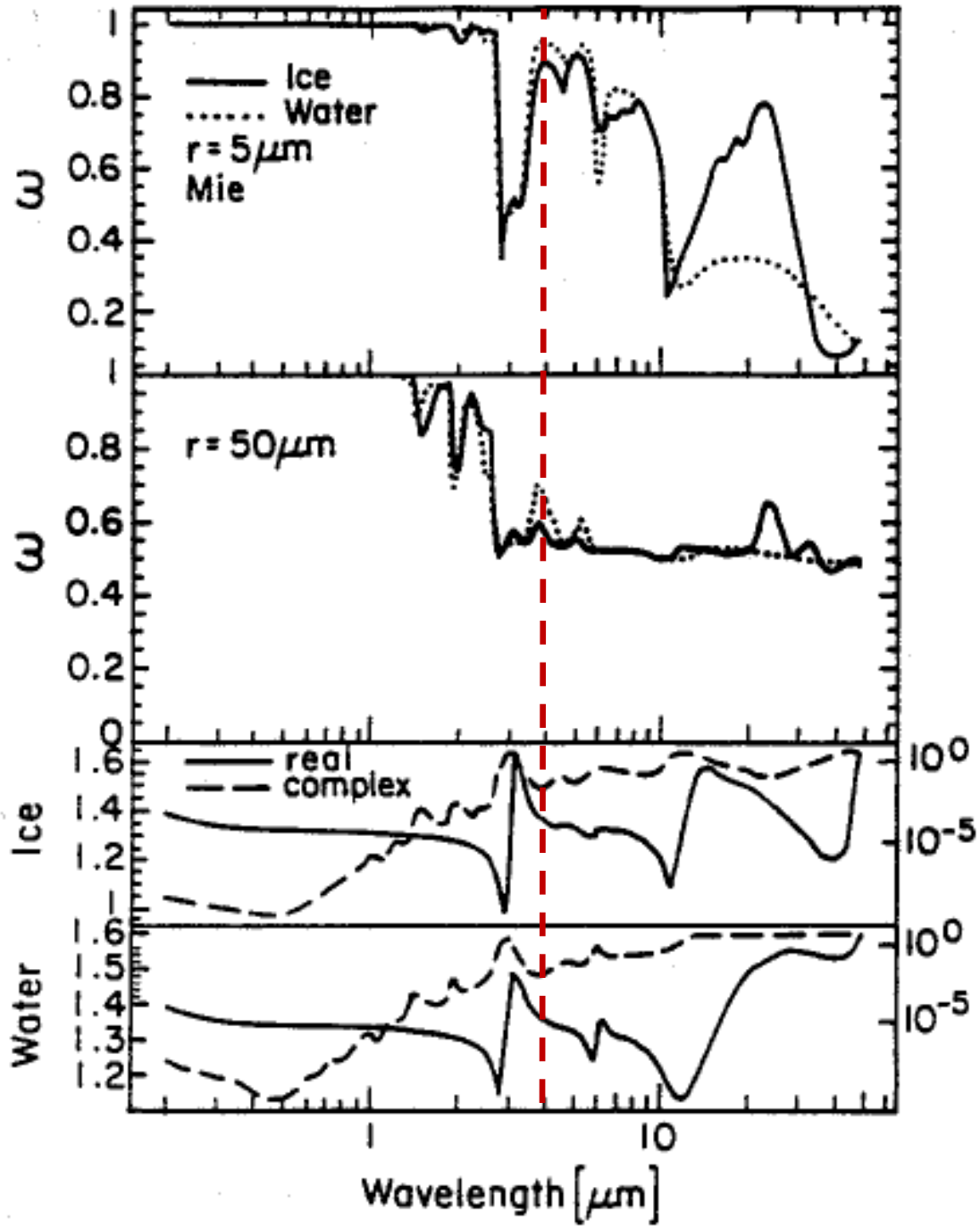
Nas regiões espectrais do visível e infravermelho próximo do espectro:

- as gotas de nuvens são **espalhadores não seletivos espectralmente**
- a eficiência de espalhamento é alta
- água líquida não absorve radiação no visível, portanto, as nuvens apresentam mínima absorção nessa região do espectro.
- No NIR a absorção aumenta devido ao aumento dos coeficientes de absorção tanto do vapor quanto da água líquida
- Em média, sobre o espectro solar, as nuvens espalham 74%, absorvem 10%, e transmitem 16% da radiação incidente.

Espectro solar

P. Chylek et al. /Atmospheric Research 35 (1995) 139-156





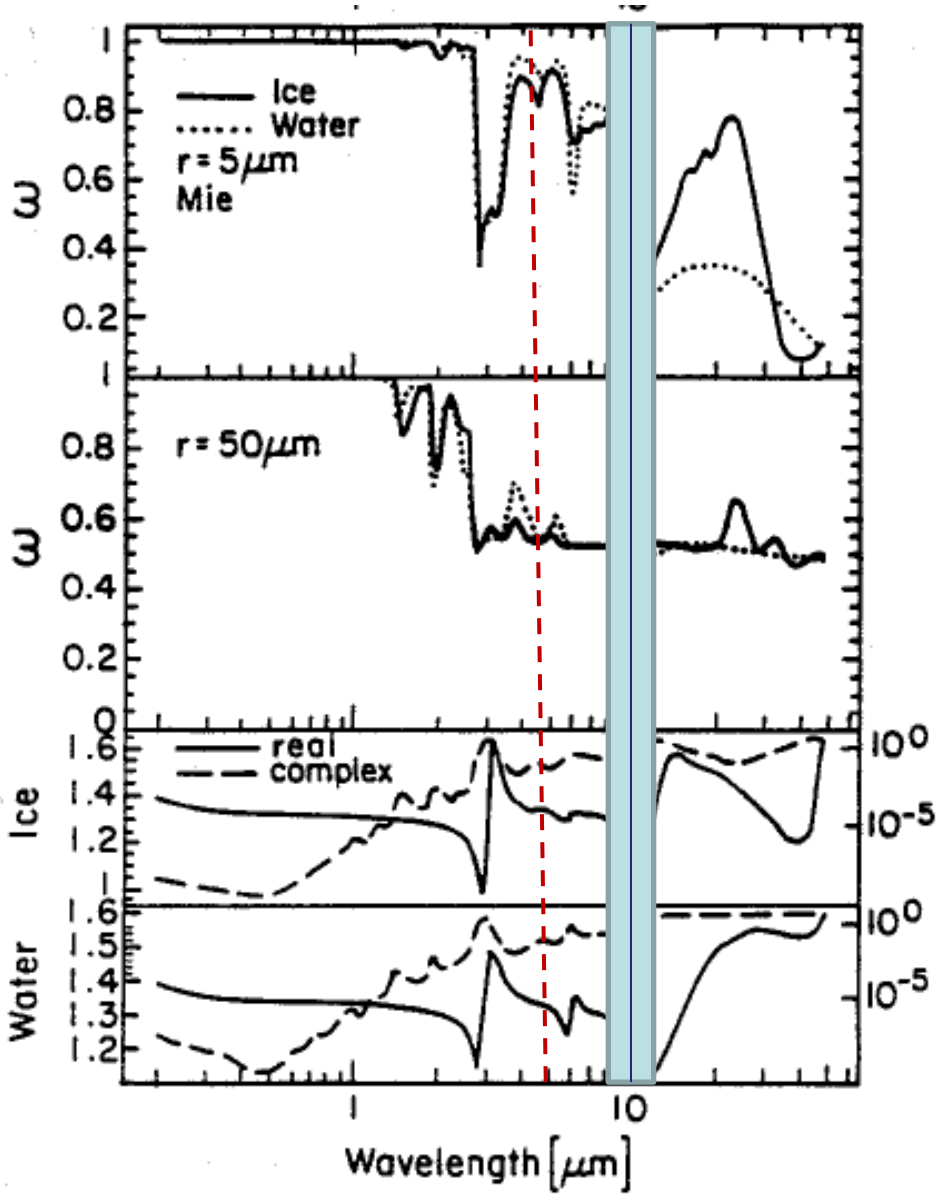
Twomey and Seton, 1980,

Albedo simples para esferas de gelo e água com raio de 5μm e 50μm

Índice de refração complexo para gelo e água

Nuvens

No infravermelho, propriedades ópticas apresentam maiores diferenças de acordo com o tamanho e fase da água.



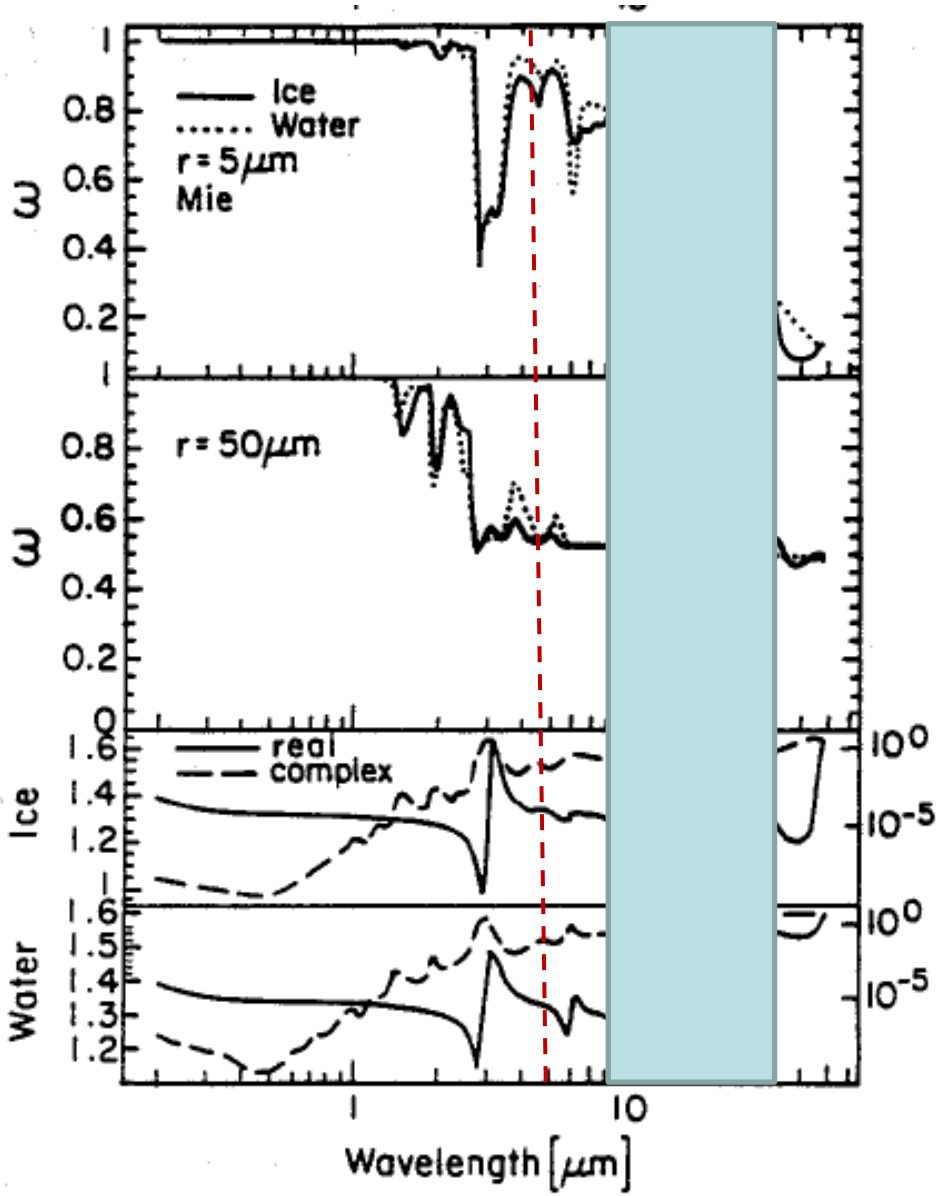
Twomey and Seton, 1980,

Albedo simples para esferas de gelo e água com raio de 5μm e 50μm

Índice de refração complexo para gelo e água

Nuvens

- Nas microondas:
- O parâmetro de tamanho x ~ 0,01 para nuvens, portanto, ⇨ espalhamento Rayleigh
- absorção é muito pequena (transmitância > 90%)
- partículas de gelo absorvem menos ainda
- As partículas com tamanho de gotas de chuva interagem fortemente com a radiação em microondas, portanto, a transmitância é menor para nuvens precipitantes.

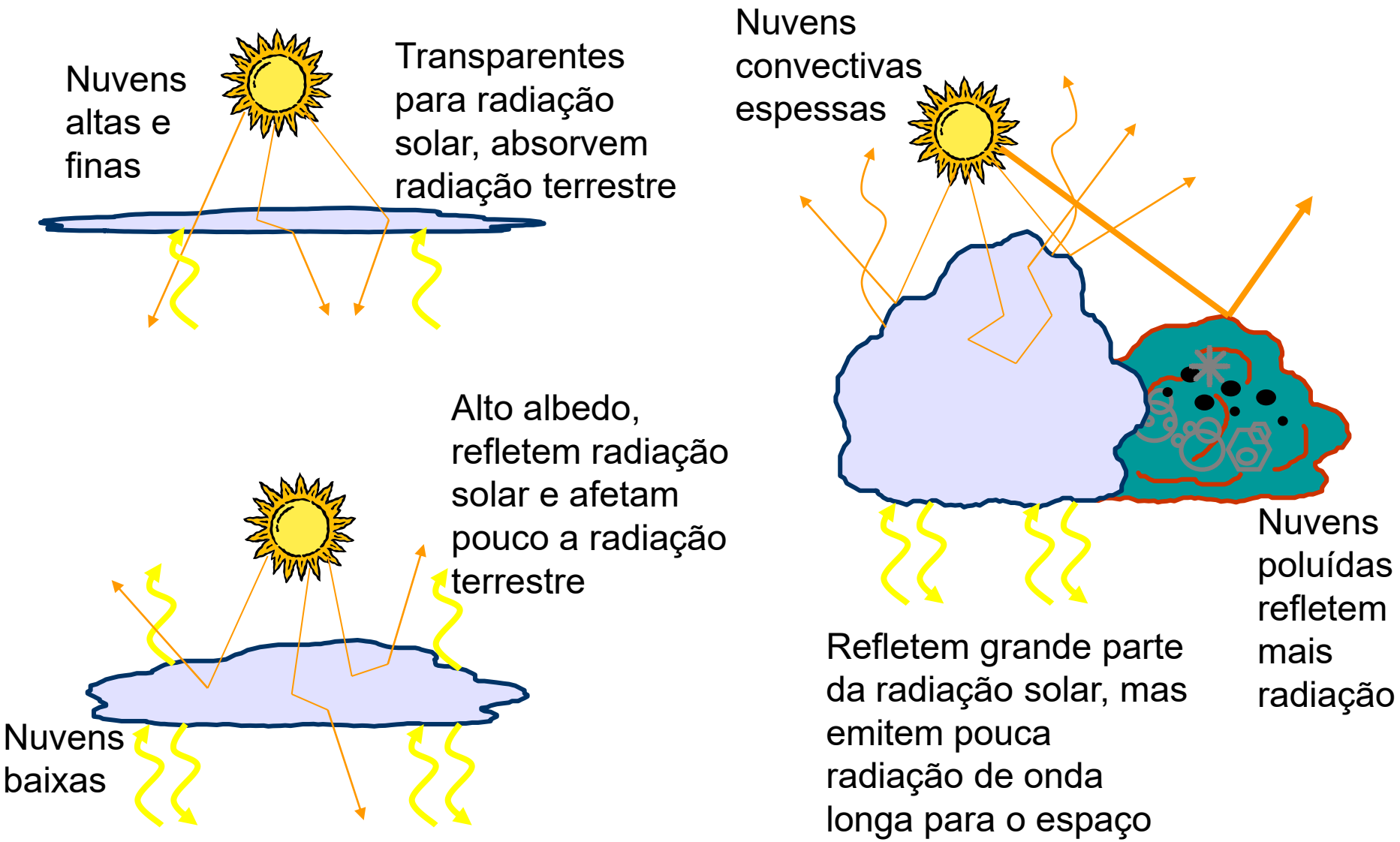


Twomey and Seton, 1980,

Albedo simples para esferas de gelo e água com raio de 5μm e 50μm

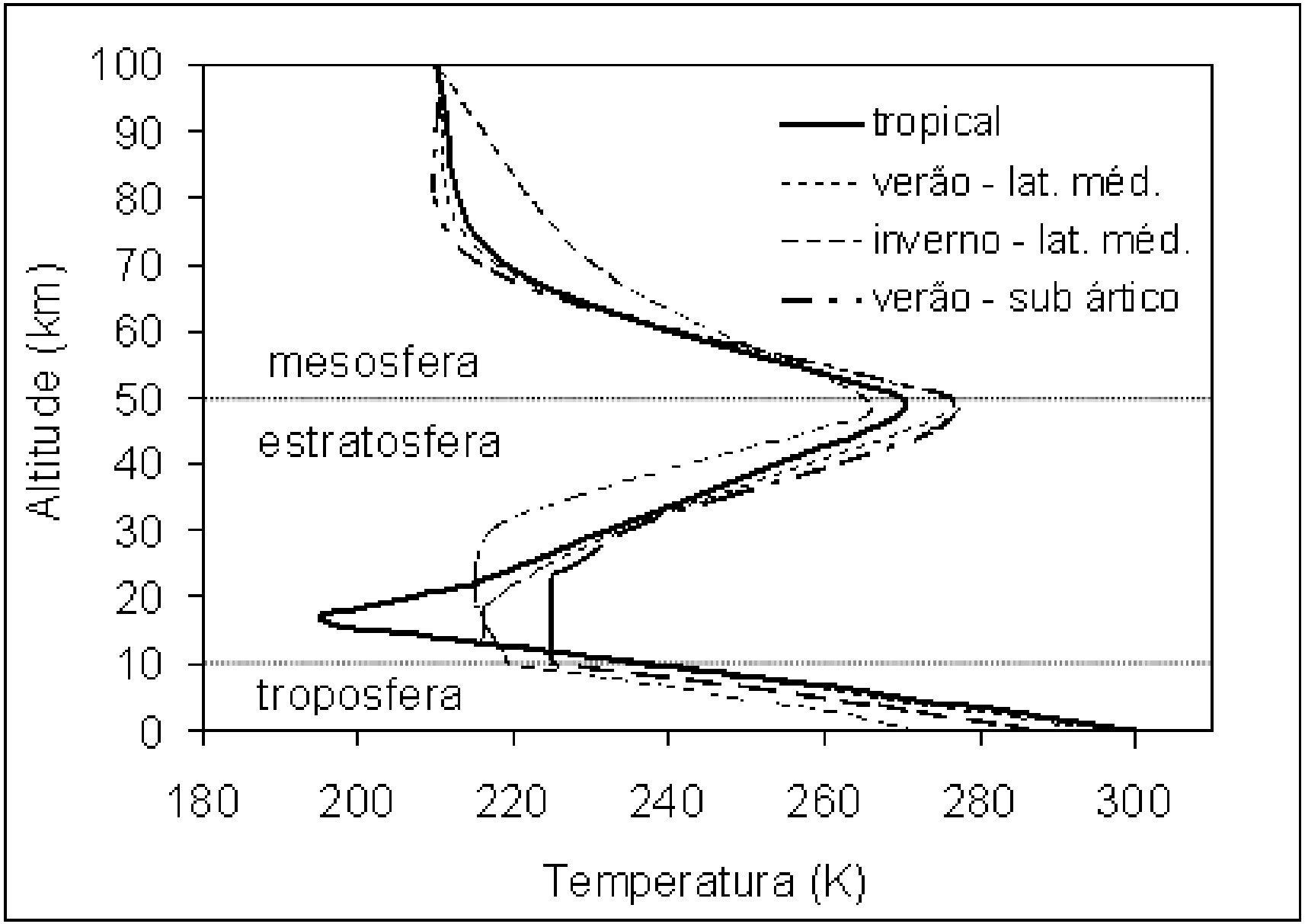
Índice de refração complexo para gelo e água

As nuvens e o balanço radiativo



(Adaptado de Protat, 2005)

As nuvens e o balanço radiativo



(Adaptado de Protat, 2005)

Espalhamento/absorção

- Distribuição de tamanho
- Índice de refração
- Conteúdo de água líquida e gelo

+ Teoria Mie (supondo que as gotas são esféricas):

- Albedo simples
- Função de fase
- Profundidade óptica

Absorção/emissão

- Perfil vertical de temperatura, água e gelo

Distribuição de tamanho

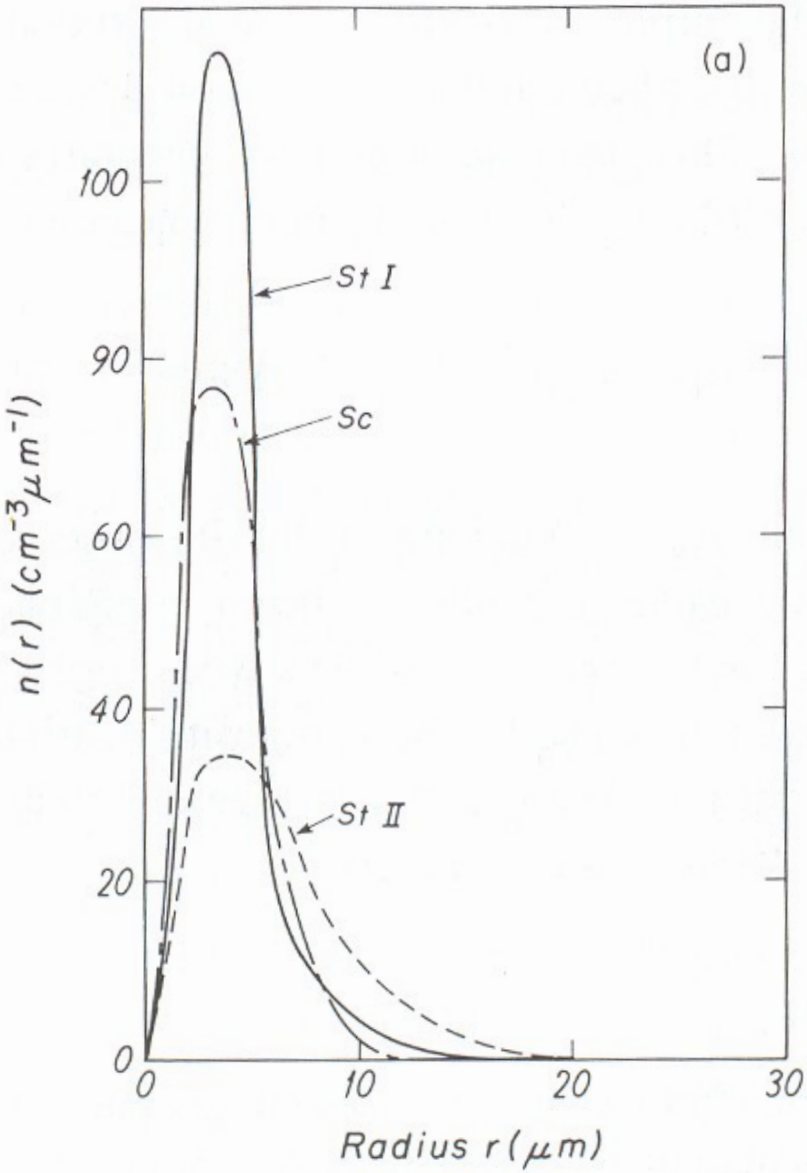


FIG. 4.10(a) Droplet size distributions of stratocumulus and stratus over land (St II) and (St I).

Liou, 1992

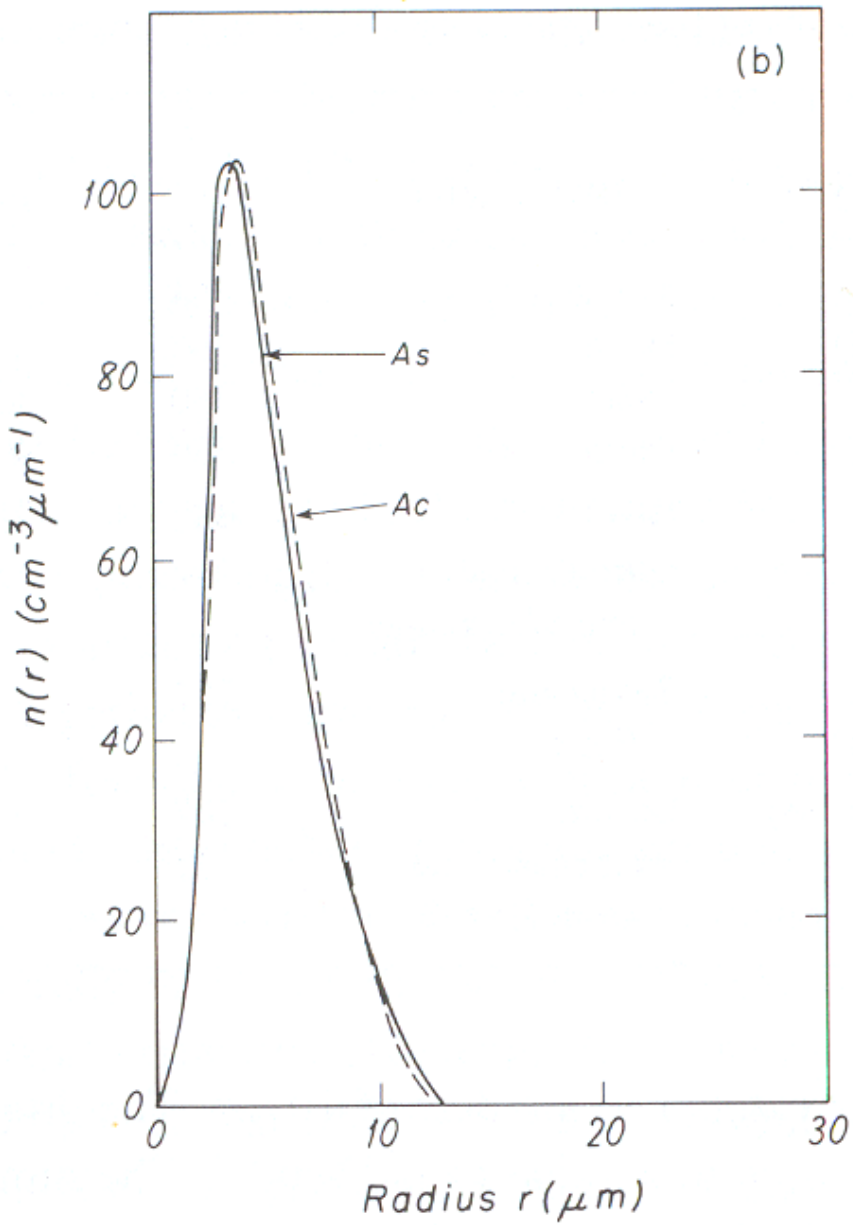


FIG. 4.10(b) Droplet size distributions of altostratus and altocumulus.

Liou, 1992

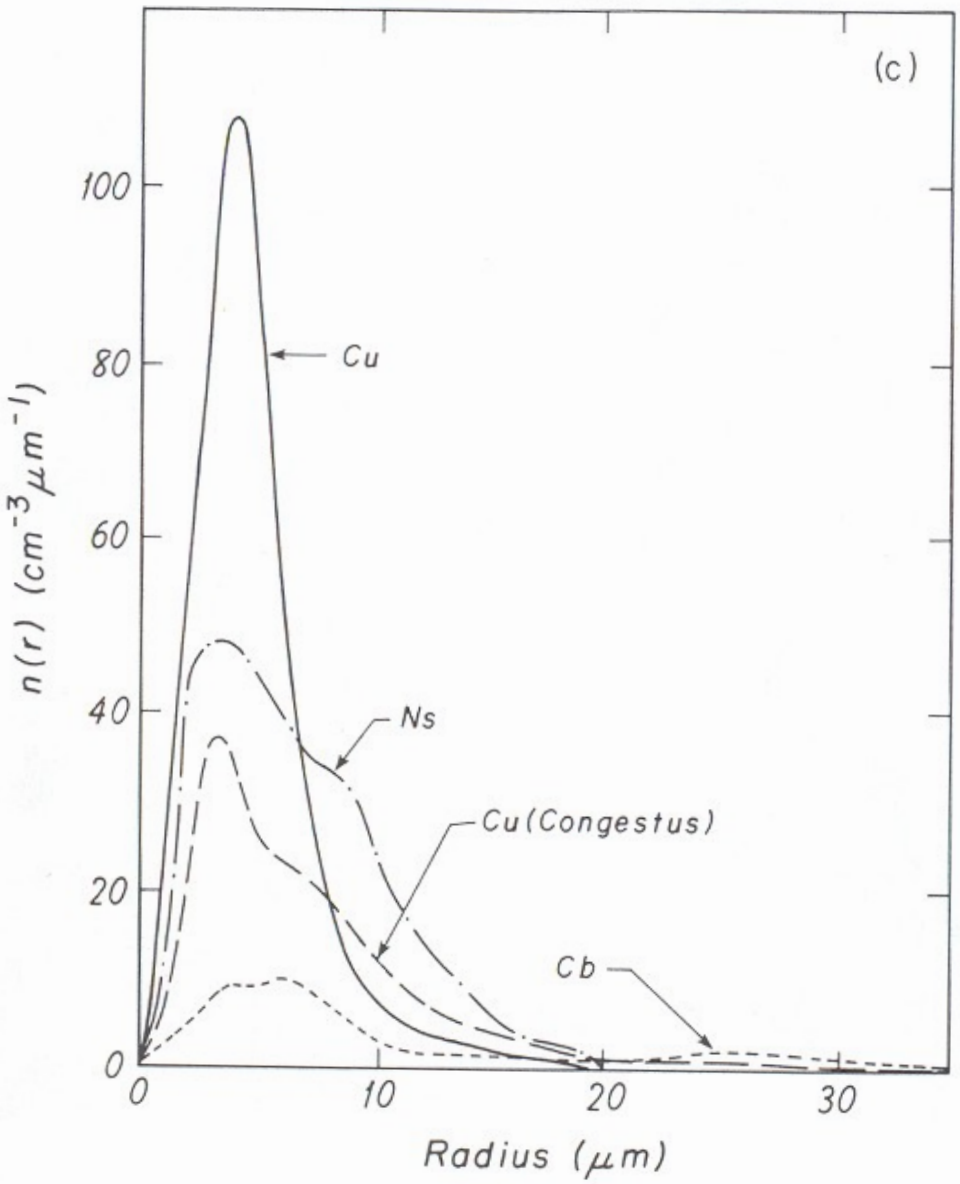


FIG. 4.10(c) Droplet size distributions of fair weather cumulus, nimbostratus, cumulus congestus, and cumulonimbus.

Liou, 1992

Liou, 1992

Dependendo do tipo de nuvem, tanto a distribuição de tamanho quanto a forma de seus hidrometeoros variam

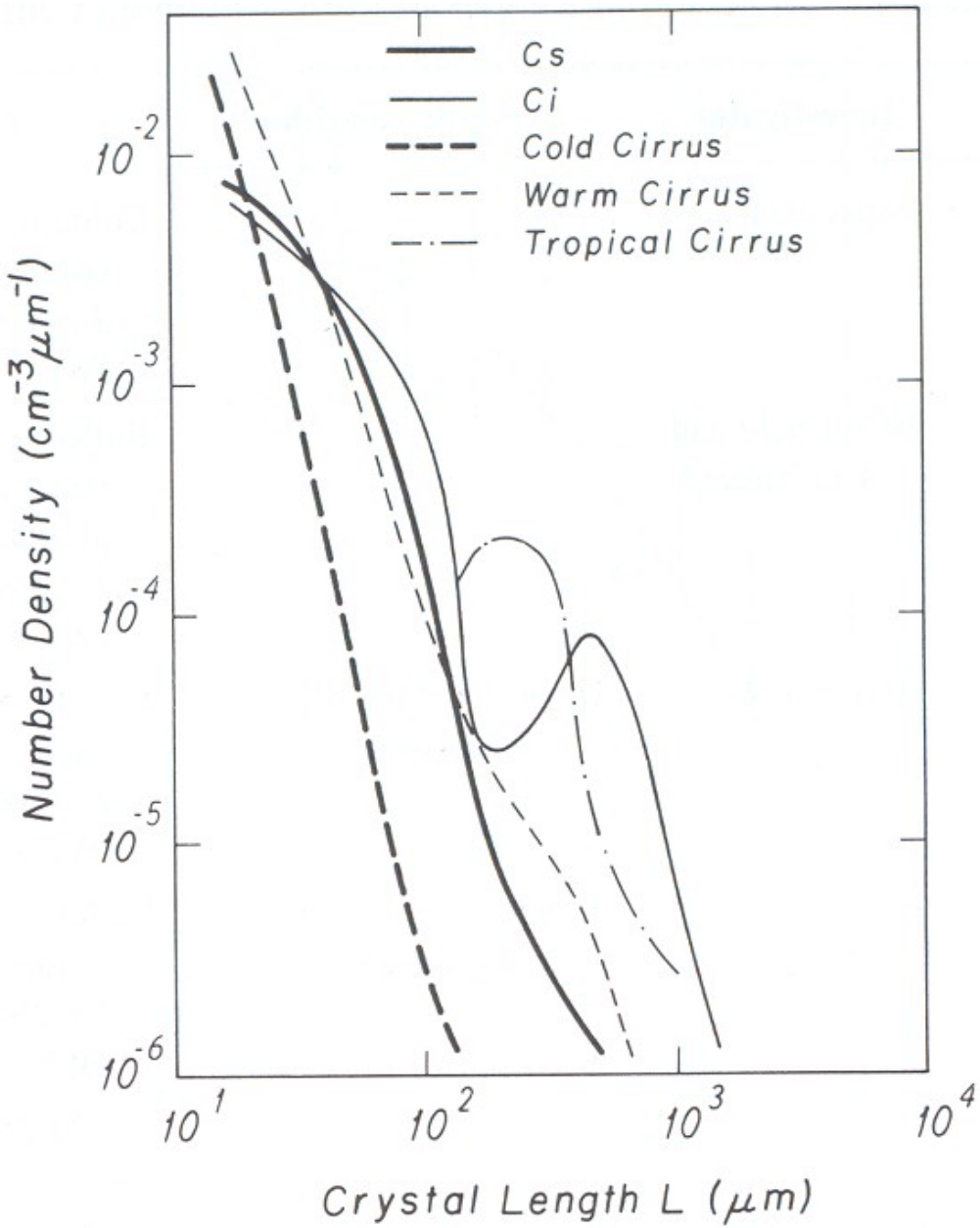
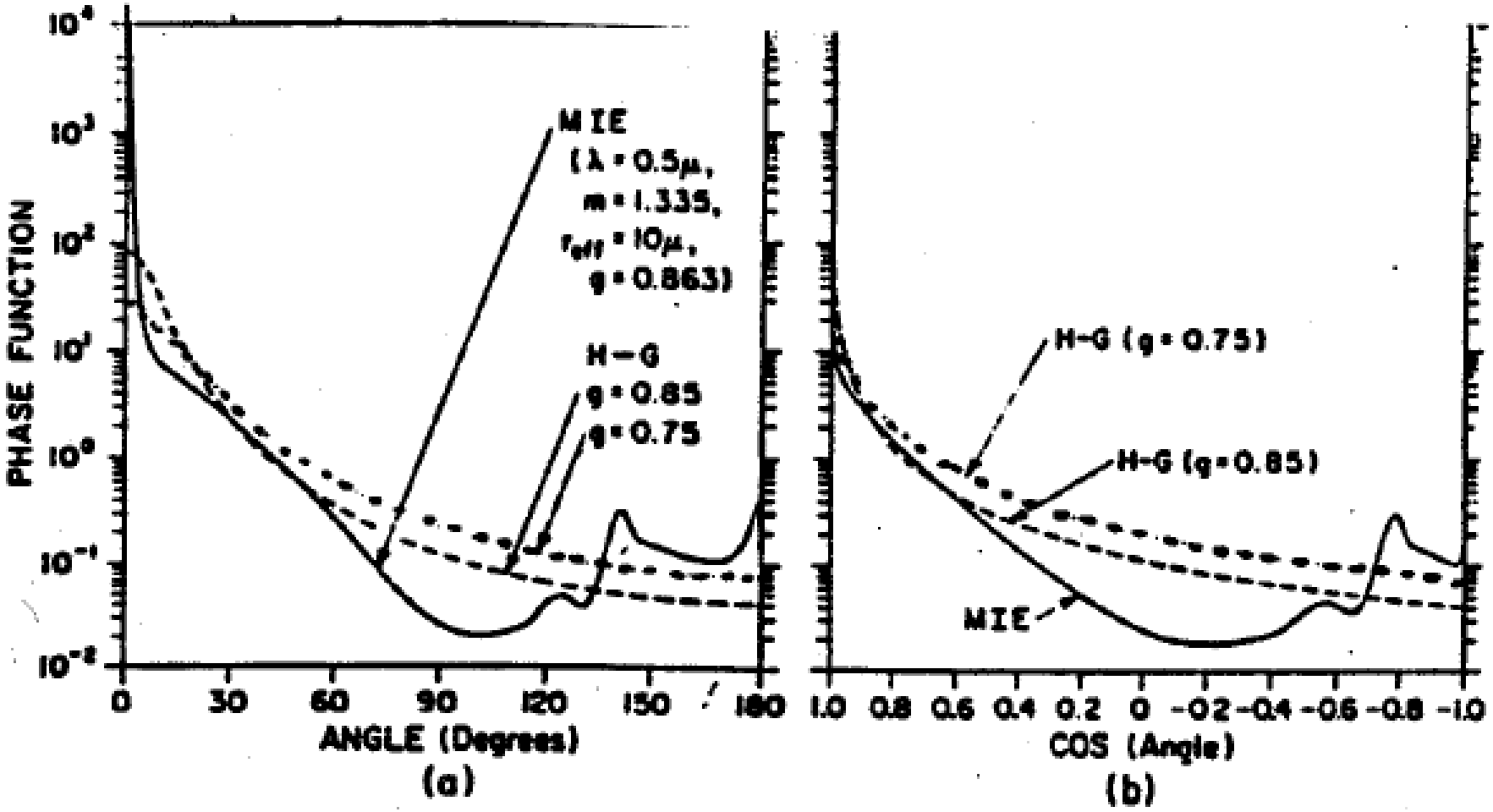
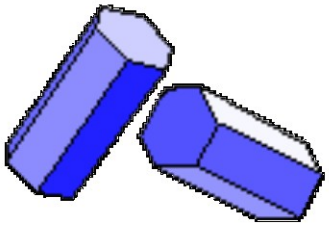
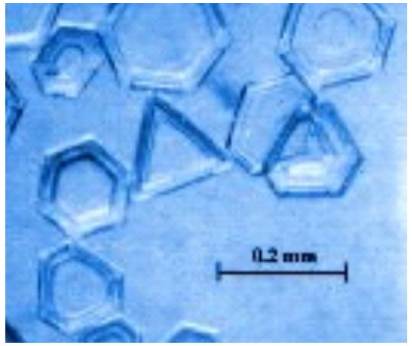


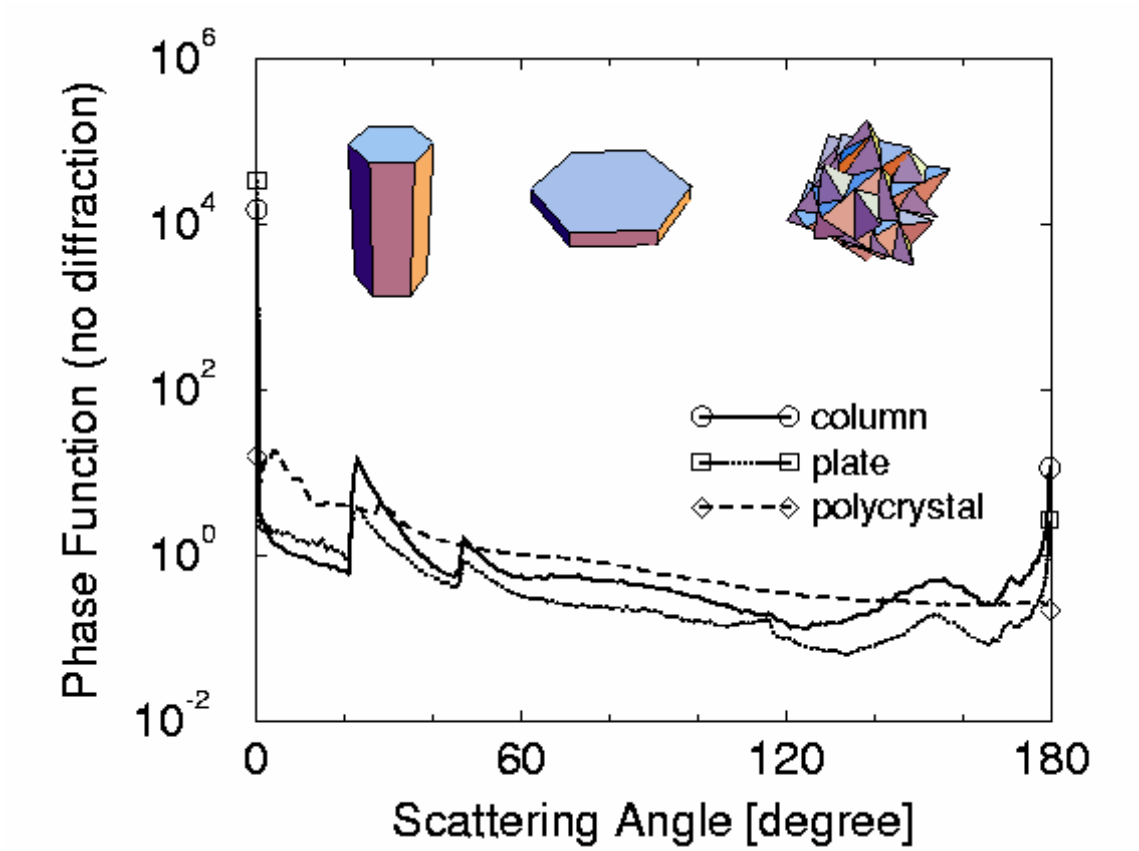
FIG. 4.12 Representative ice crystal size distributions for cirrus clouds.

Função de fase

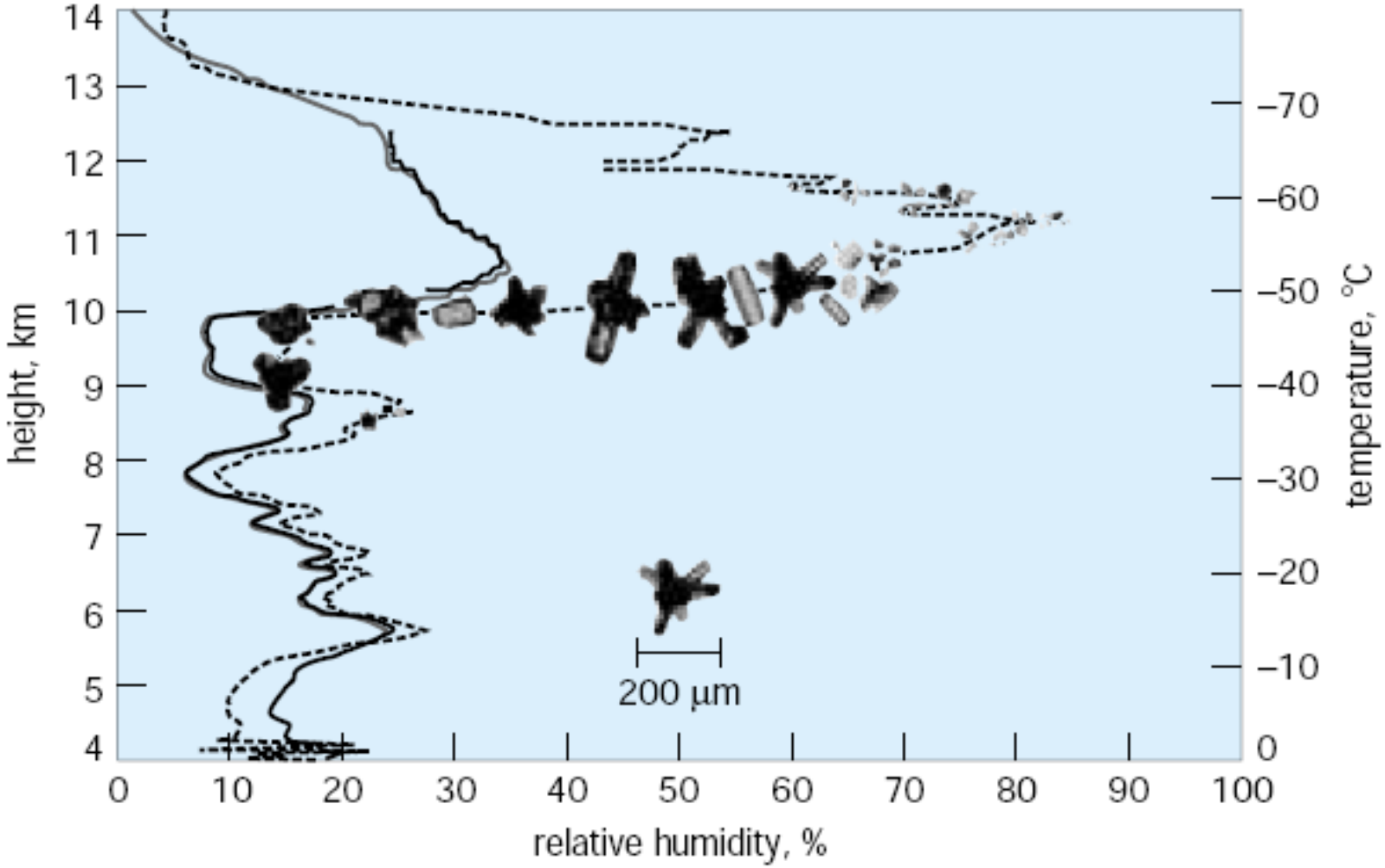





0.2 mm


Phase Function (no diffraction)
10^6
10^4
10^2
10^0
10^{-2}
0
60
120
180
Scattering Angle [degree]
column
plate
polycrystal

Protat, 2005



Ice crystal size and shape as a function of height, temperature, and relative humidity captured by a replicator balloon sounding system in Marshall, Colorado, on November 10, 1994. The broken and solid lines denote the relative humidity measured by cryogenic hygrometers and Vaisala RS80 instruments, respectively. (*Graphic by Andrew Heymsfield, National Center for Atmospheric Research. data from K. N. Liou, An Introduction to Atmospheric Radiation, 2d ed., Academic Press, 2002*)

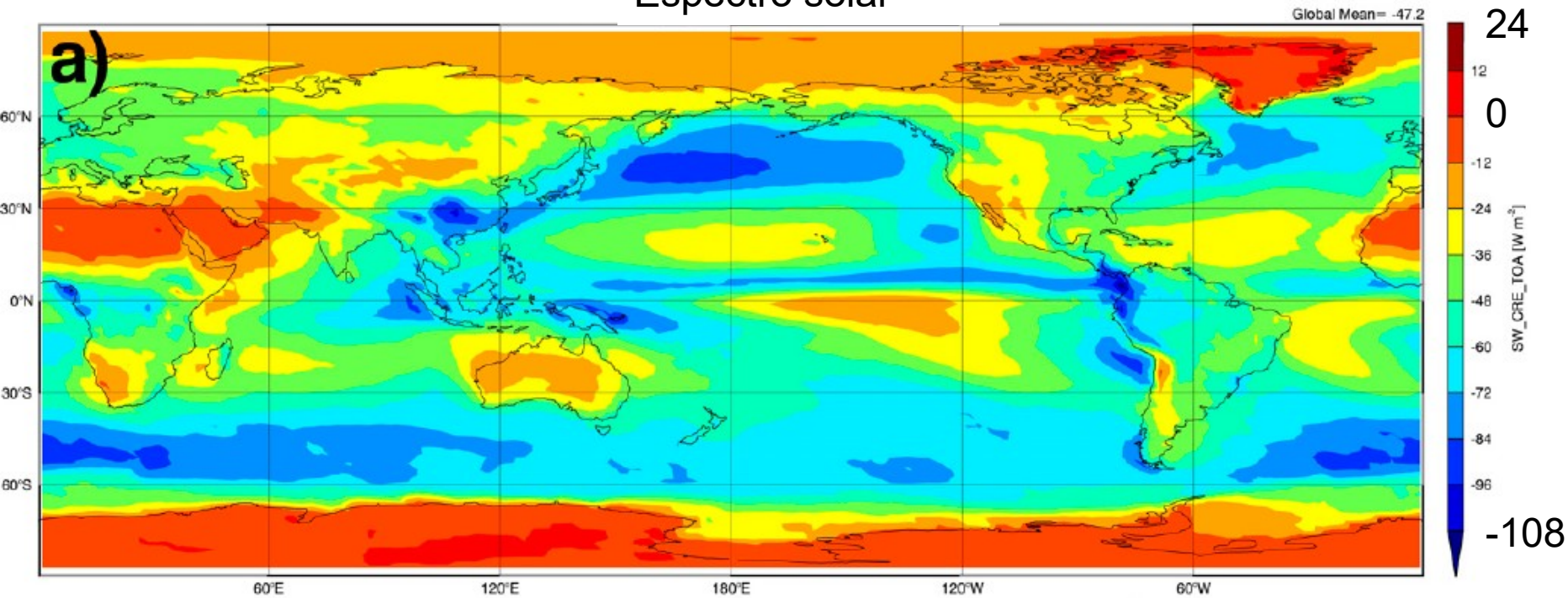
Média Anual Global do Efeito Radiativo de Nuvens (Wm^{-2}) no topo da atmosfera estimada via satélite			
	LW CRF	SW CRF	Net CRF
ERBE: 1985 – 89	+29.1	- 47.6	-18.5
ScaRaB: 1994 – 95	+27.2	- 48.2	-21.0
CERES-EBAF	+26 ± 12	- 47 ± 24	-21 ± 16

(ERBE e SCARAB: http://www.lmd.polytechnique.fr/~Scarab/english/ECRF.htm)

(CERES-EBAF: Stanfield et al. 2015. Journal of Climate 28,1842-1864)

Alta variabilidade espacial

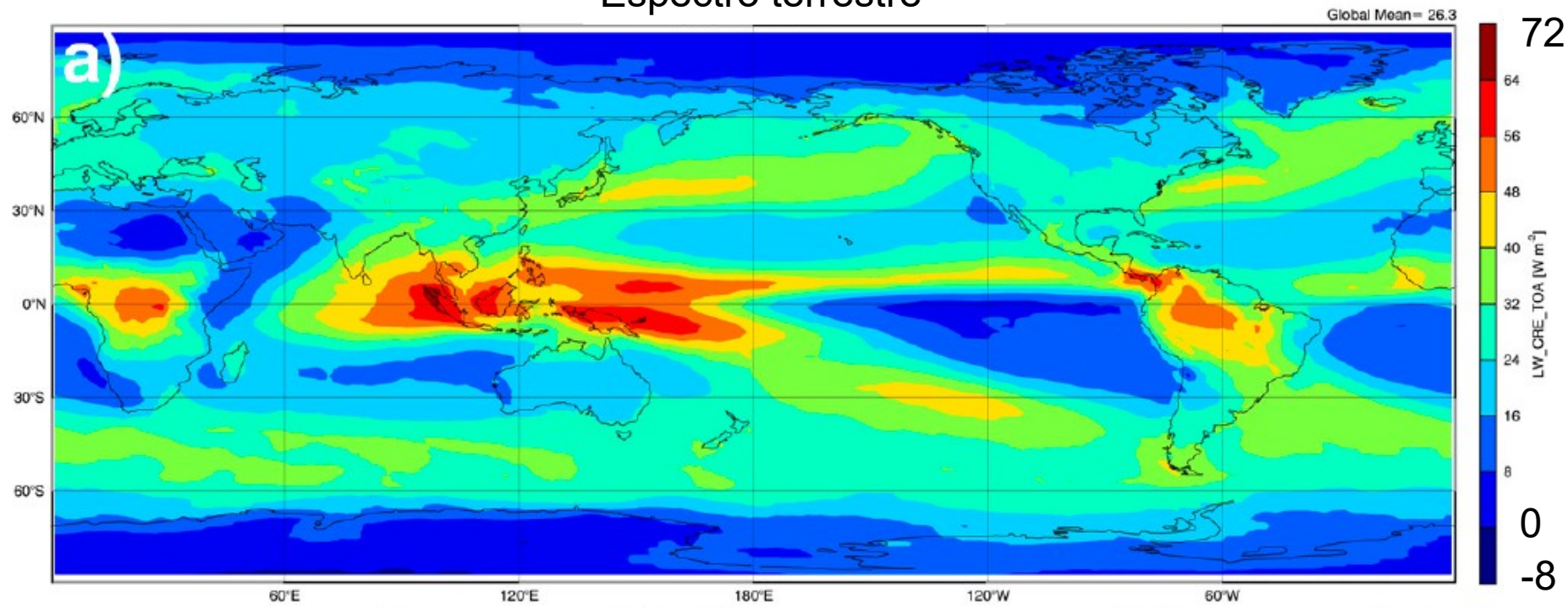
Espectro solar



(CERES-EBAF: Stanfield et al. 2015. Journal of Climate 28,1842-1864)

Alta variabilidade espacial

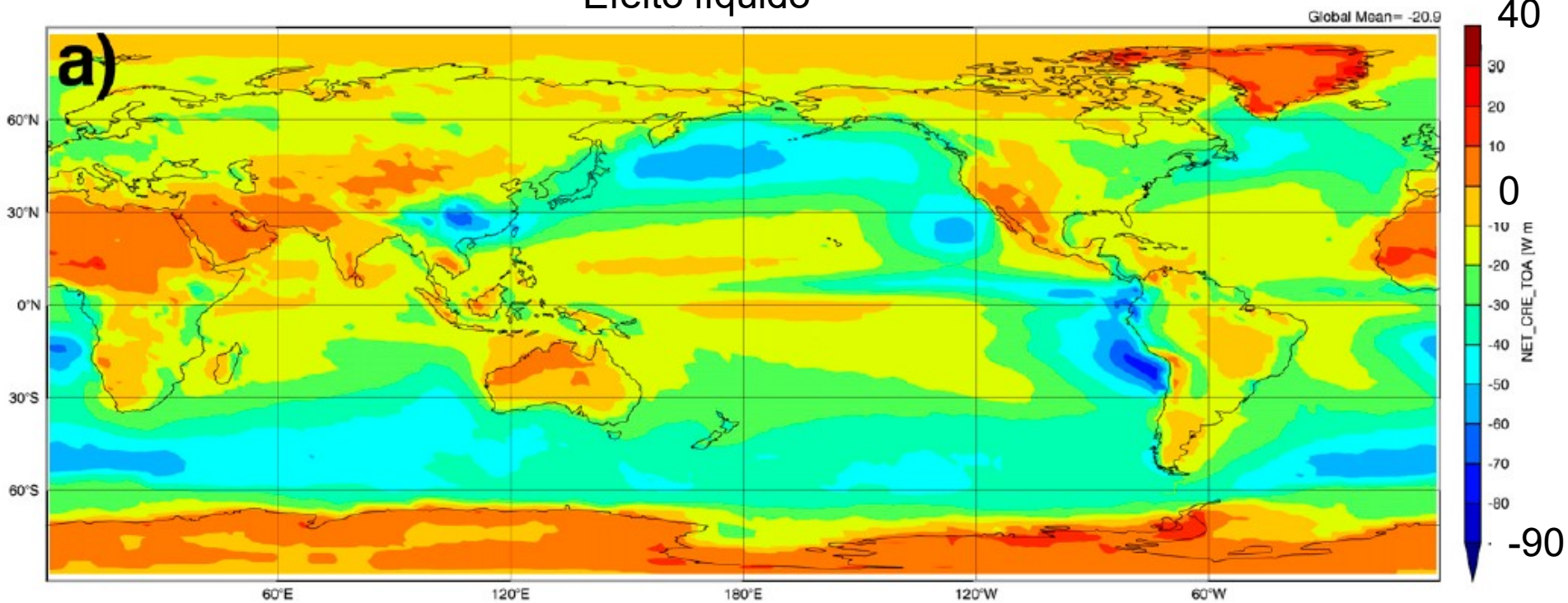
Espectro terrestre



(CERES-EBAF: Stanfield et al. 2015. Journal of Climate 28,1842-1864)

Alta variabilidade espacial

Efeito líquido



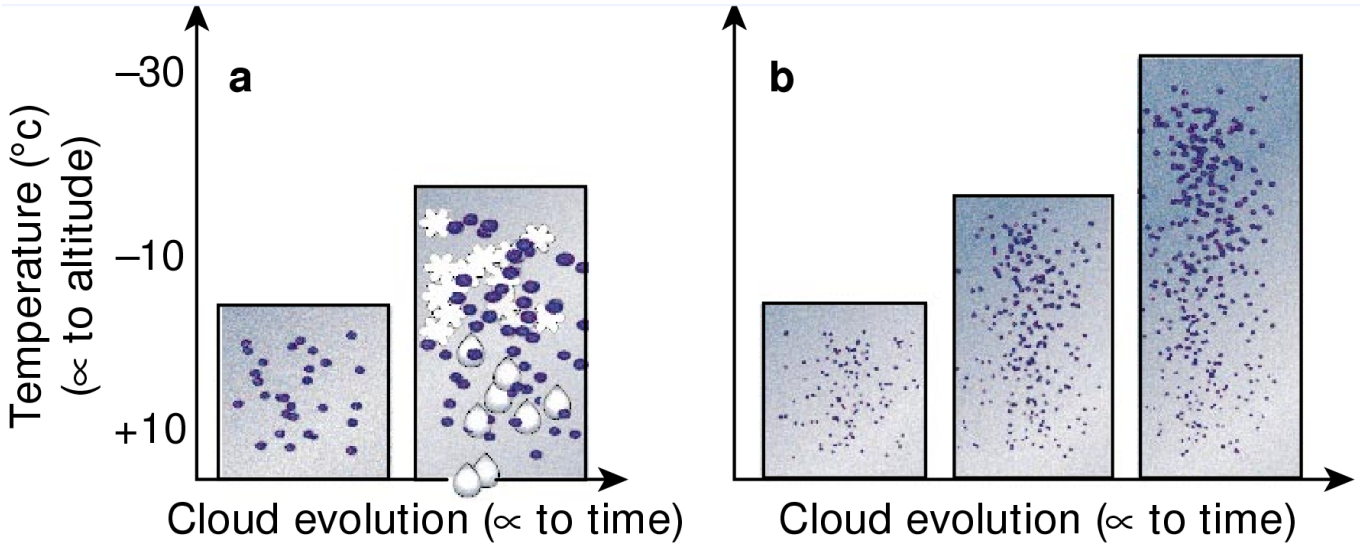
(CERES-EBAF: Stanfield et al. 2015. Journal of Climate 28,1842-1864)

Aerossol x nuvens

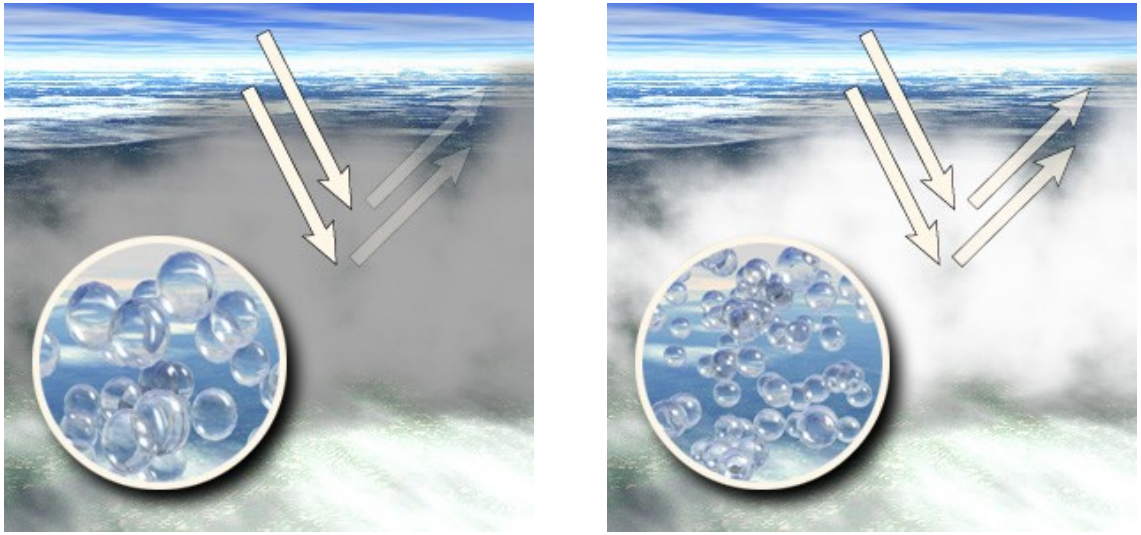
Propriedade	**Aerossol**	**Nuvens**
Região espectral	Radiação solar	radiação solar e terrestre
Vida média	~ 1 semana	minutos a dias
Distribuição geográfica	pode ser homogênea	heterogênea (localmente) (espalhamento lateral)
Profundidade óptica	< 10.0	> 100
Tipos	depende da fonte	água, gelo se em áreas poluídas, podem ter propriedades ópticas modificadas

Efeito indireto do aerossol

limpo poluído

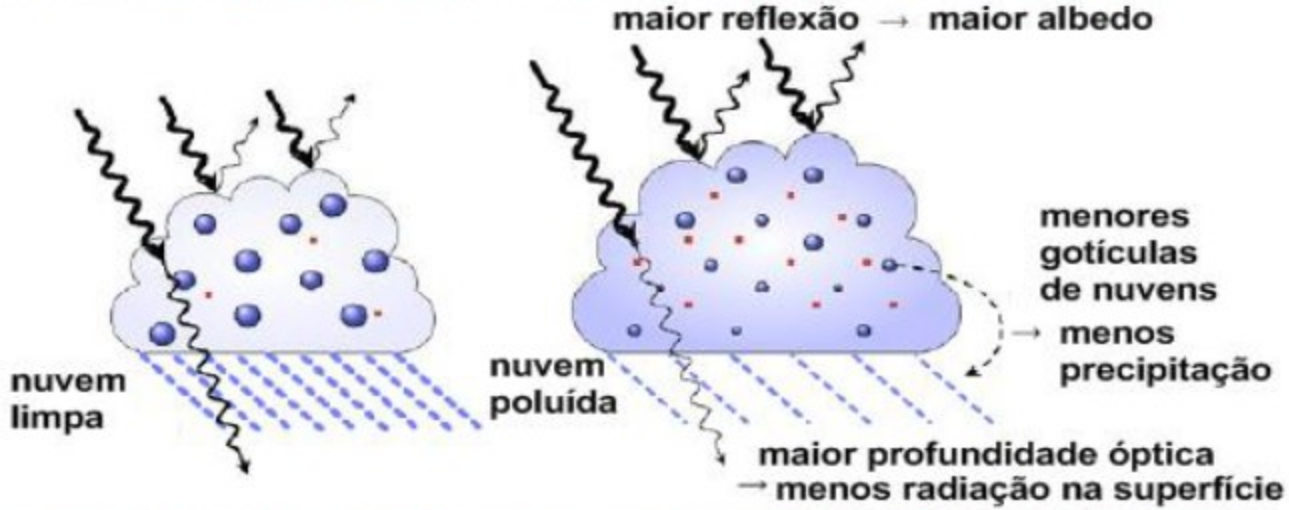


Kaufman et al., 2002

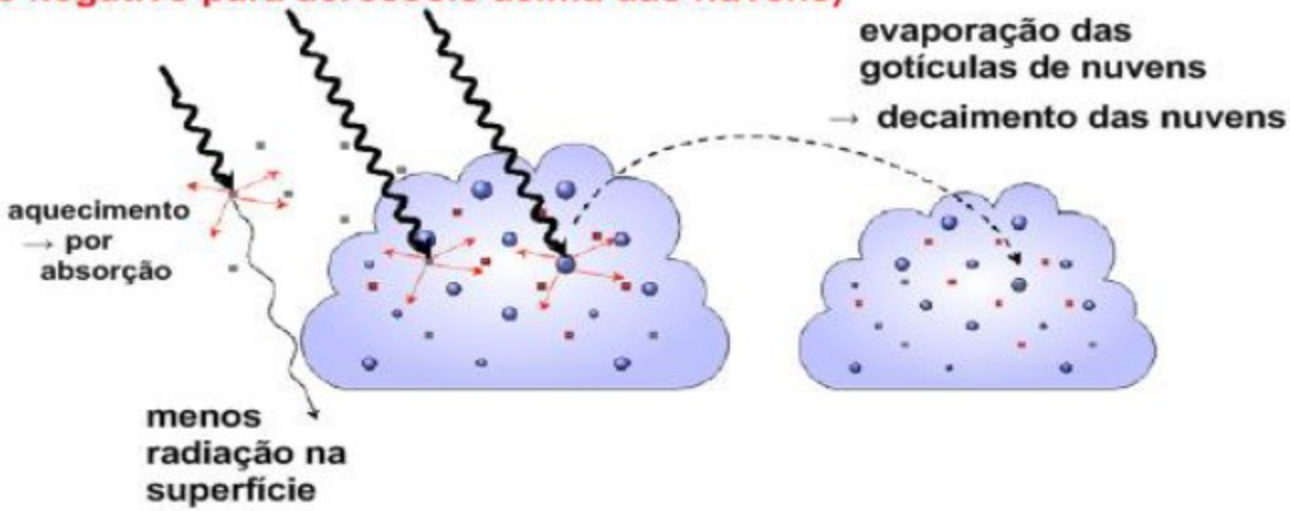


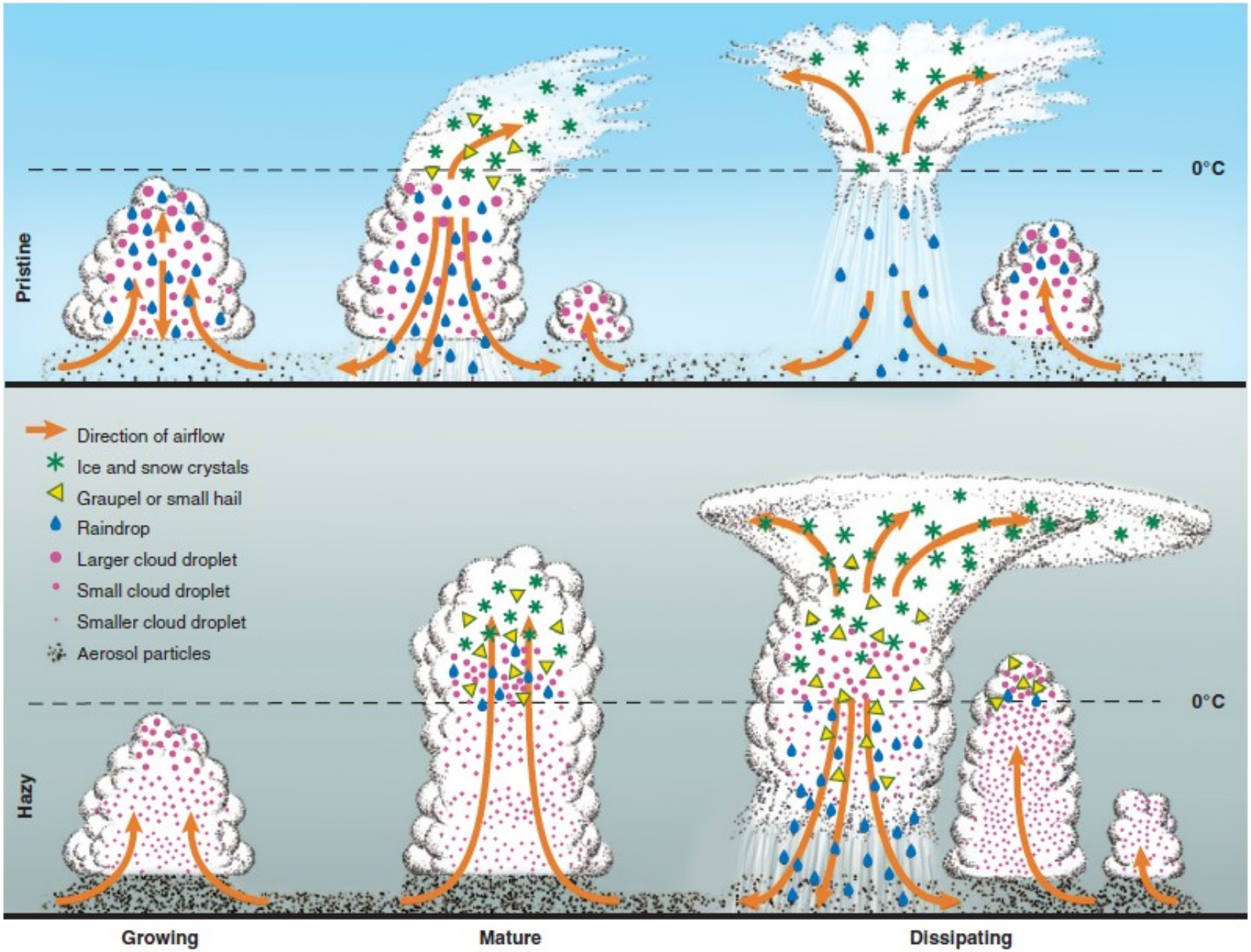
NASA earthobservatory

Efeito indireto sobre o tempo de vida e albedo das nuvens (forçante positiva no topo da atmosfera e menor precipitação)



Efeito semi-direto (forçante positiva para aerossóis dentro da nuvem e negativo para aerossóis acima das nuvens)





Rosenfeld et al. (2008)