

Introdução a Física Atmosférica - PGF5321

Professor Dr. Henrique de Melo Jorge Barbosa

Nuvens

Alex Sandro Alves de Araujo

Instituto de Física da USP - IFUSP

alex.fate2000@gmail.com

21 de junho de 2018

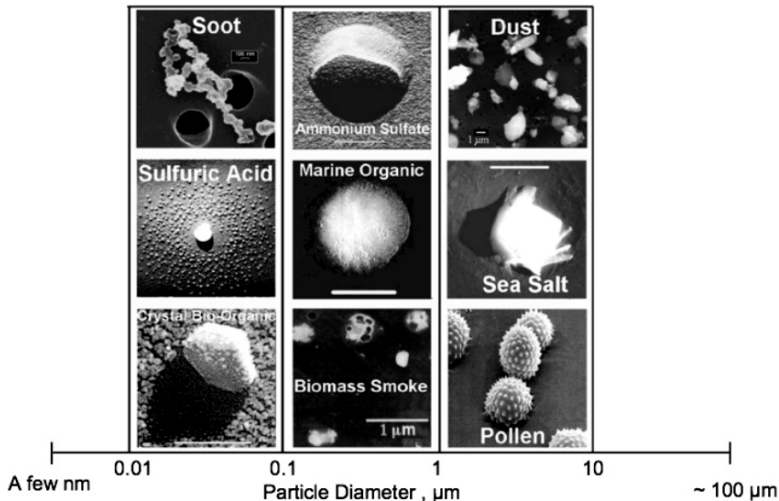
Estrutura da Apresentação

IPCC 2013 (Boucher et al., 2013)

- Introdução
 - Aerossol e nuvens na atmosfera
 - Razões para estudar aerossol, nuvens e suas interações
- Nuvens
 - Forçantes, ajustes e feedbacks
 - Formação, tipos e climatologia
 - Efeitos radiativos
- Modelos
 - Modelos globais
- Referências

Aerossol atmosférico

- Exemplos de partículas comumente encontradas na atmosfera.



Adaptado de [Brasseur et al. \(2003\)](#).

Aerossol atmosférico

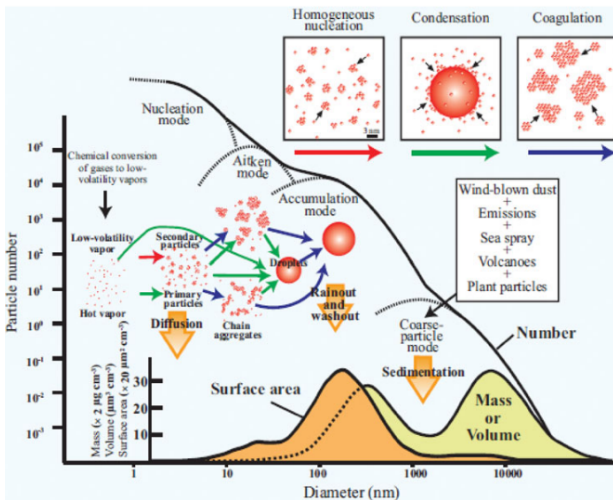
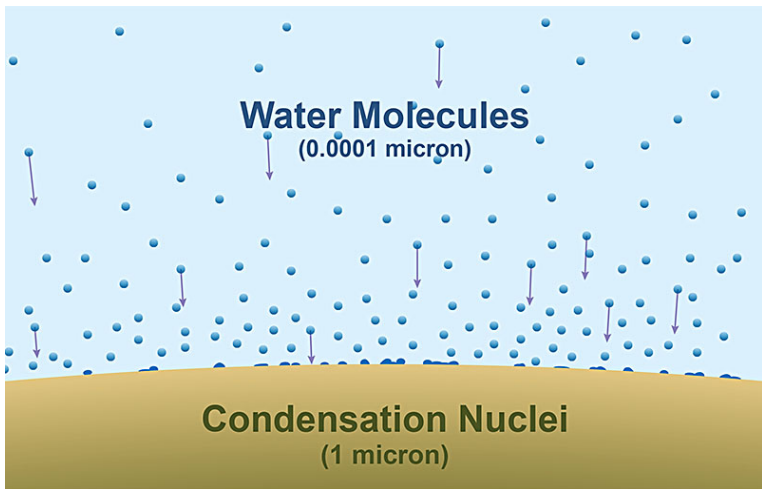


Diagrama esquemático das distribuições de tamanho das partículas de aerossol e de seus mecanismos de formação para uma amostra idealizada (Bakshi et al., 2015).

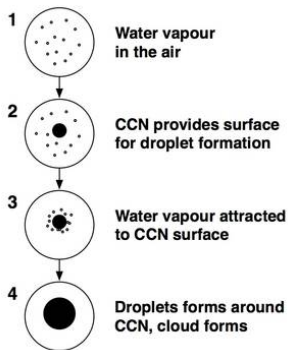
Núcleos de condensação de nuvem

- Depende do tamanho e da composição química (*Cloud Condensation Nuclei CCN*).



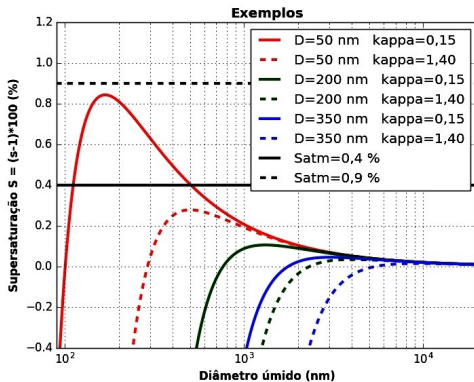
Crescimento por condensação

- Para se formarem as nuvens, o ar deve se resfriar ou umedecer até que a supersaturação necessária seja atingida para ativar alguns dos núcleos de condensação ou de congelamento disponíveis.



Cloud condensation nuclei (CCN).

► The naked scientists



Curvas de Köhler.

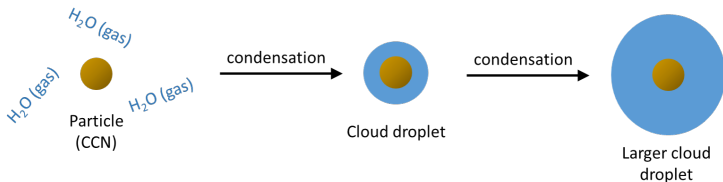
Crescimento por condensação

- A principal equação do nosso modelo de parcela de nuvem descreve a taxa de crescimento da gotícula de solução aquosa:

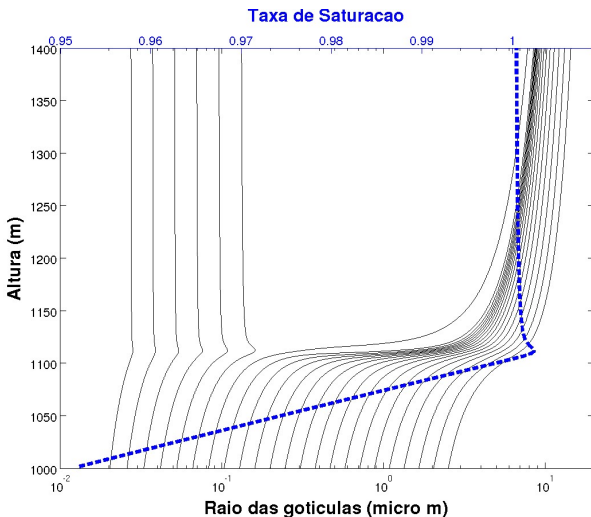
$$\frac{dD_{wet}}{dt} = \frac{1}{D_{wet}} \left\{ \frac{4[s_{atm} - s(D_{wet})]}{\frac{\rho_w RT}{P^\circ(T)D'_v M_w} + \frac{\Delta H_v \rho_w}{k'_a T} \left(\frac{\Delta H_v M_w}{TR} - 1 \right)} \right\}$$

lembrando que a saturação $s(D_{wet})$ na superfície da gotícula é dada pelo modelo κ -Köhler:

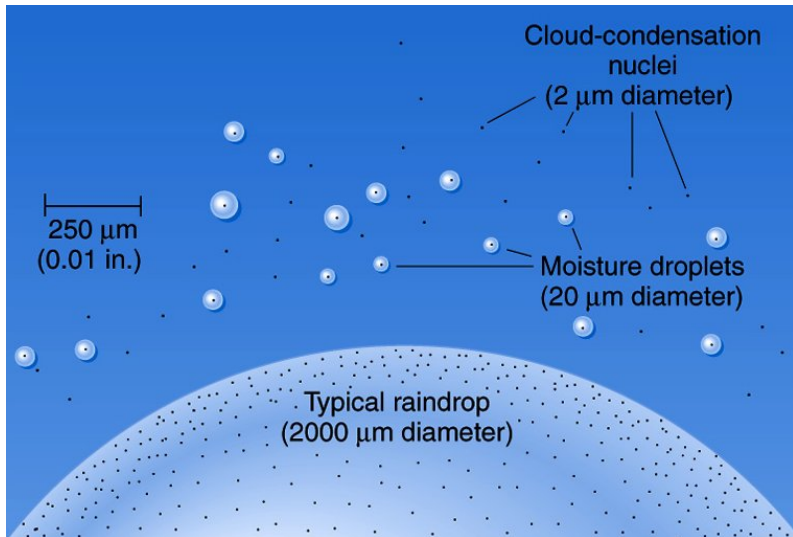
$$s(D_{wet}) = \frac{D_{wet}^3 - D^3}{D_{wet}^3 - D^3(1 - \kappa)} \exp\left(\frac{4\sigma_{sol} M_w}{RT \rho_w D_{wet}}\right)$$



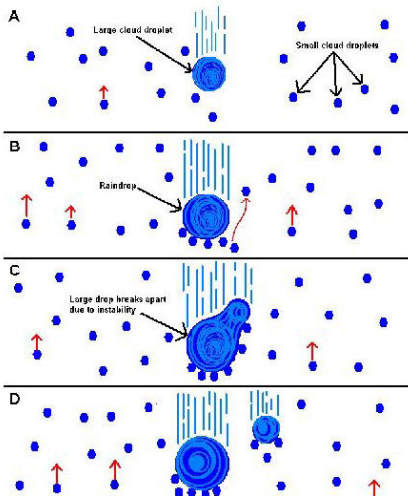
Primeiras etapas de crescimento de uma nuvem



Crescimento por condensação



Crescimento por colisão-coalescência



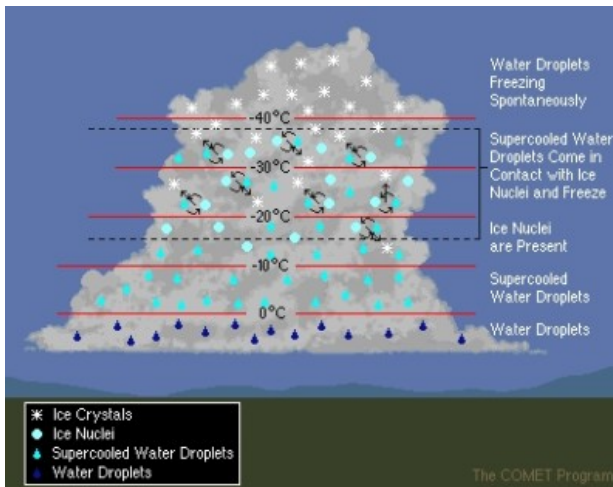
- O processo de colisão-coalescência é um importante mecanismo de formação das **nuvens quentes**.

- Nessas nuvens, as gotas de chuva se formam **exclusivamente** por esse processo. A maioria das chuvas tropicais são assim formadas.

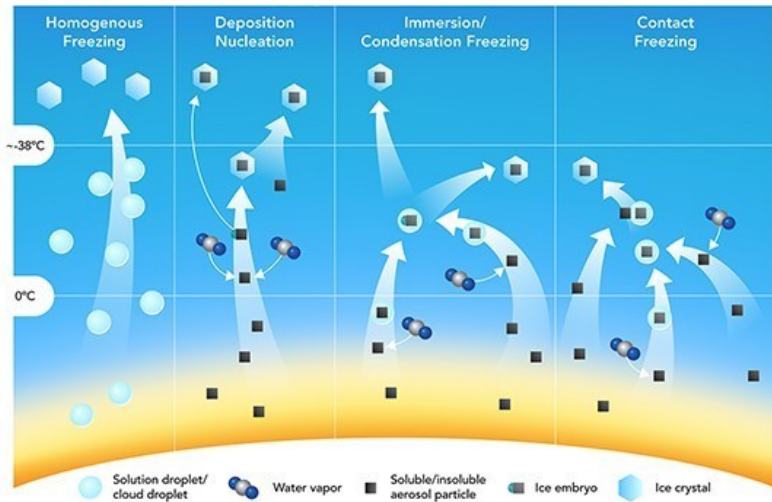
- Esse processo é de pouca importância relativa nas altas e médias altitudes onde, mesmo no verão, a precipitação começa nas partes altas das nuvens, cujas temperaturas estão bem abaixo do congelamento e o mecanismo de precipitação dominante é o chamado processo de Bergerson.

Fases da água nas nuvens

- As nuvens podem ser compostas por **água líquida** (possivelmente supercongelada), por **gelo** ou **ambos**.

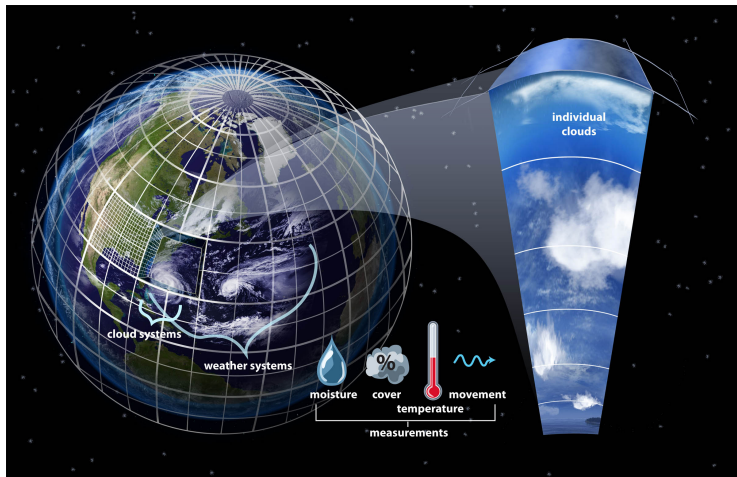


Mecanismos da nucleação do gelo na atmosfera

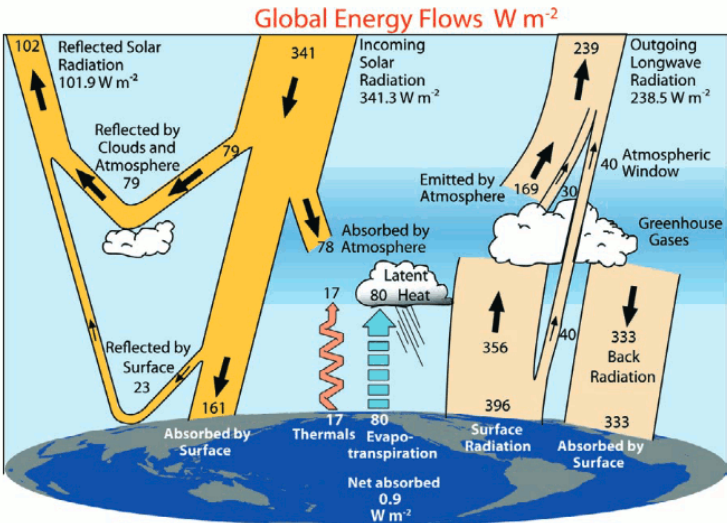


Razões: representação das nuvens

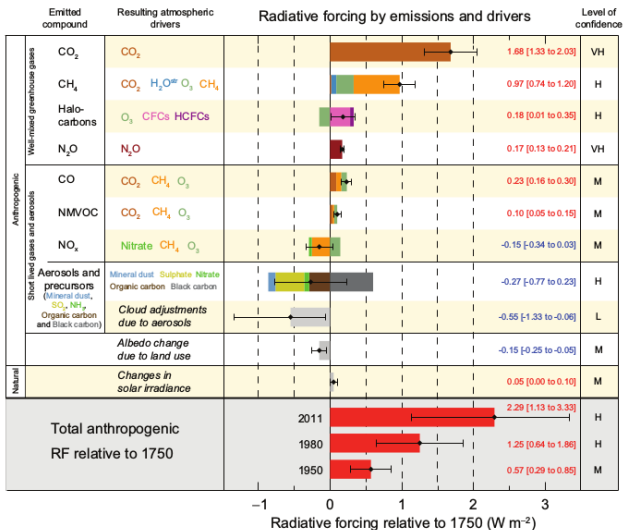
- A representação das nuvens nos modelos climáticos é uma fonte **dominante de incerteza** no nosso entendimento das mudanças no sistema climático.



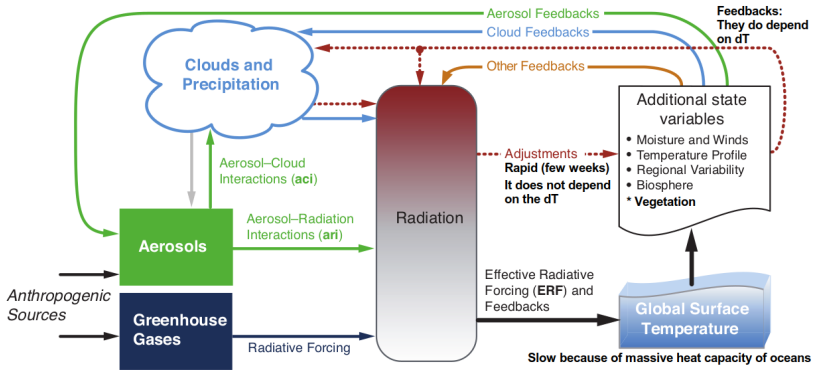
Razões: balanço de energia



Estimativa da média global da forçante radiativa antrópica e natural

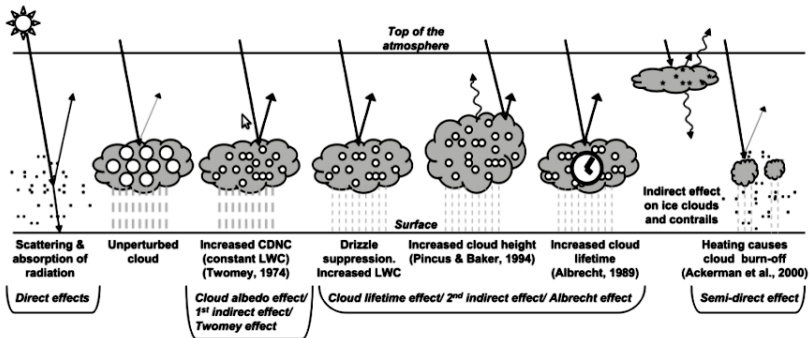


Forçantes, ajustes e feedbacks



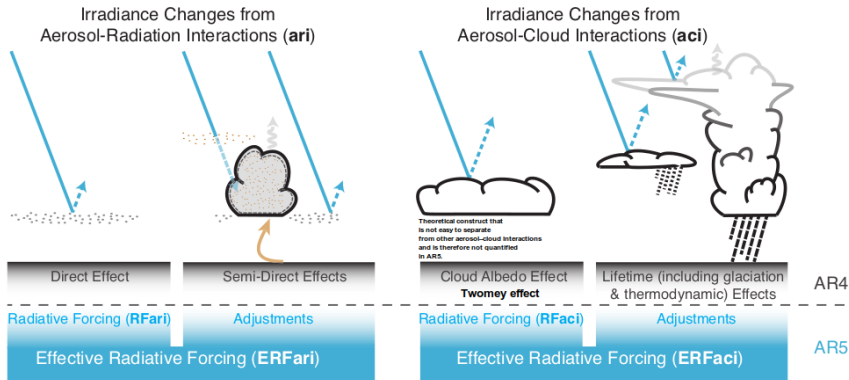
Visão geral das forçantes, *feedbacks* e ajustes rápidos envolvendo nuvens, aerossóis e gases de efeito estufa. A resposta da temperatura final depende da forçante radiativa efetiva (*effective radiative forcing ERF*), depois de se ter levado em conta os *feedbacks* e os ajustes rápidos. Adaptado de [Boucher et al. \(2013\)](#).

Efeitos das partículas de aerossol no balanço radiativo (AR4)



Adaptado de [Haywood and Boucher \(2000\)](#).

Forçantes, ajustes e feedbacks

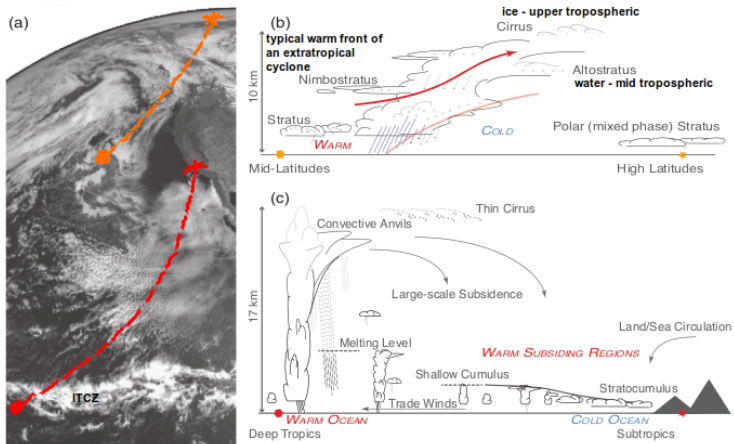


Esquema da nova terminologia (AR5) para as interações dos aerossóis com a radiação e dos aerossóis com as nuvens, e de que como esse nova terminologia se relaciona com a anterior (AR4). Adaptado de [Boucher et al. \(2013\)](#).

Formação

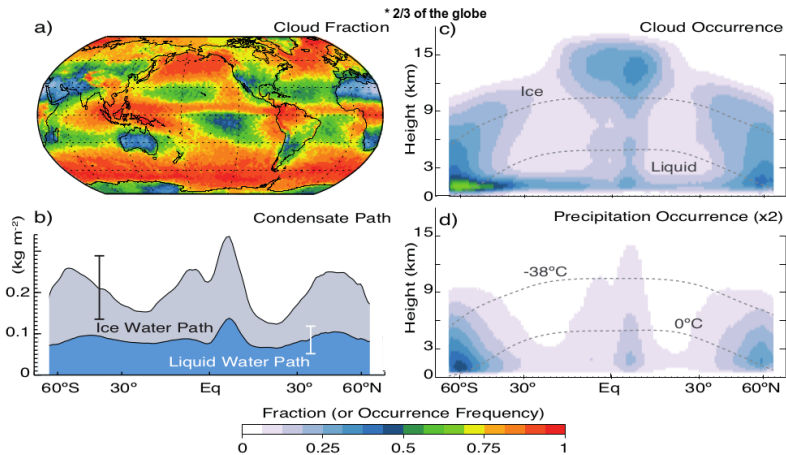
- Para se formarem as nuvens, o ar deve se resfriar ou umedecer até que a supersaturação necessária seja atingida para ativar alguns dos núcleos de condensação ou de congelamento disponíveis.
- As nuvens podem ser compostas de água líquida (possivelmente **supercongelada**), por gelo ou por ambos os estados (fase mista).
- As partículas nucleadas (em ambas as fases) são inicialmente pequenas, mas crescem rápido por condensação.
- Outros processos microfísicos dependem da fase da nuvem, por exemplo, colisão-coalescência para gotículas líquidas, cobrir com geada (*riming*) e processos de Wegener–Bergeron–Findeisen para nuvens de fase mista e agregação de cristais em nuvens de gelo. Tais processos produzem um largo espectro de tamanhos e tipos de partículas.
- A mistura turbulenta produz mais variações nas propriedades das nuvens em escalas indo de quilômetros a menos de centímetros.
- Quando e se as partículas se tornam grandes o suficiente, elas caem da nuvem em forma de precipitação.

Regime de nuvens



Diversos regimes de nuvens, como tipicamente podem ser vistos por imagens de satélites geoestacionários, com seus respectivos regimes meteorológicos. Adaptado de [Boucher et al. \(2013\)](#).

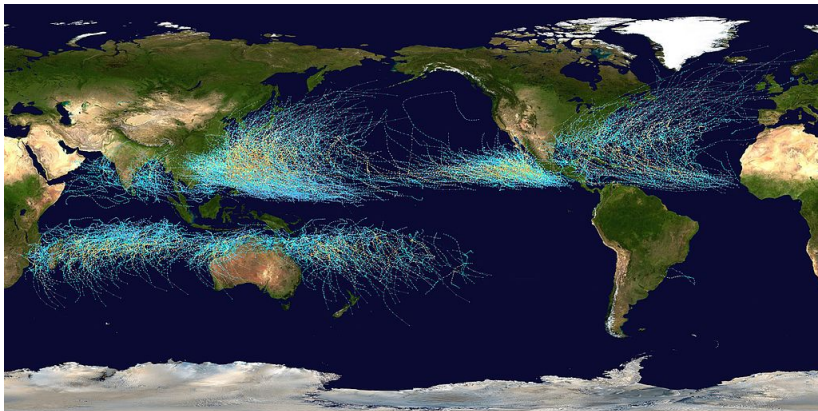
Médias anuais



(a): Fração de nuvens; (b): Média zonal do conteúdo de água líquida e do total de água; (c): Média zonal da seção latitude - altura da ocorrência de nuvens e (d): de precipitação. Adaptado de [Boucher et al. \(2013\)](#).

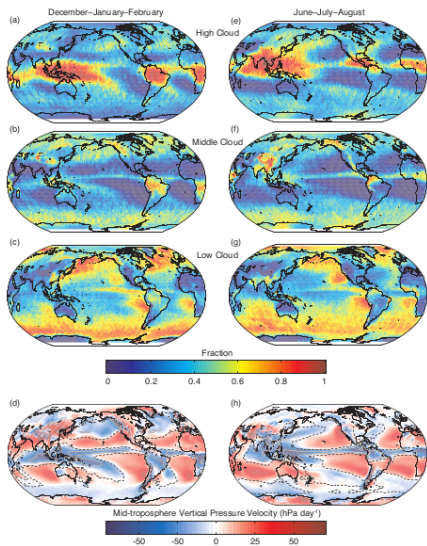
Storm tracks

- *Storm tracks are the relatively narrow zones in seas and oceans where storms travel driven by the prevailing winds.*



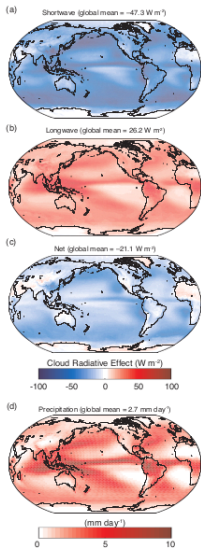
Caminhos globais dos ciclones tropicais entre 1985 e 2005, indicando as áreas onde os ciclones tropicais usualmente se desenvolvem. [► Wikipedia](#)

Cobertura



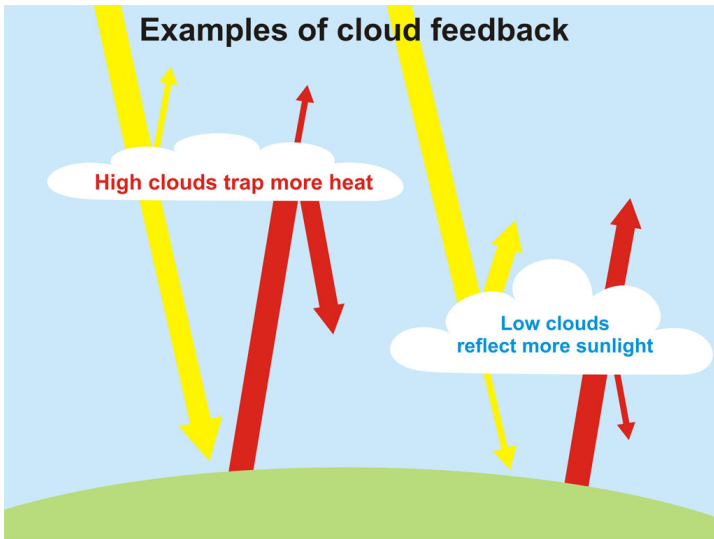
- As nuvens acima do nível de 440 hPa são consideradas altas, as abaixo de 680 hPa, baixas, e aquelas nos níveis intermediários são consideradas intermediárias.
- A maioria das nuvens altas ocorrem próximas do equador e sobre as regiões tropicais continentais, mas também podem ser vistas nas regiões *storm tracks*, e sobre as regiões continentais de médias latitudes no verão.
- As nuvens médias são proeminentes nas regiões de *storm tracks* e algumas ocorrem na zona de convergência inter-tropical.
- As nuvens baixas ocorrem essencialmente sobre todos os oceanos, sendo mais prevalentes sobre os oceanos subtropicais mais frios e nas regiões polares. São menos comuns sobre os continentes, exceto à noite e no inverno.

Efeitos radiativos no topo da atmosfera



- Os efeitos líquidos de radiação das nuvens, na média, implicam um resfriamento global do clima atual (-20 W/m^2).
- As nuvens altas, que são frias se comparadas ao céu limpo, dominam os padrões de LWCRE (*Longwave Cloud Radiative Effect*), enquanto que o SWCRE (*Shortwave Cloud Radiative Effect*) é sensível às nuvens opticamente ativas em todas altitudes.
- Regiões de nuvens profundas e grossas (com altos valores positivos de LWCRE e com altos valores negativos de SWCRE) tendem a acompanhar a precipitação.
- O efeito líquido da radiação das nuvens é negativo sobre a maioria do globo, e mais negativo ainda nas regiões de nuvens baixas extensas (stratus e stratocumulus).

Efeitos em função da altura



Como as nuvens afetam o clima e a mudança climática (modelagem)

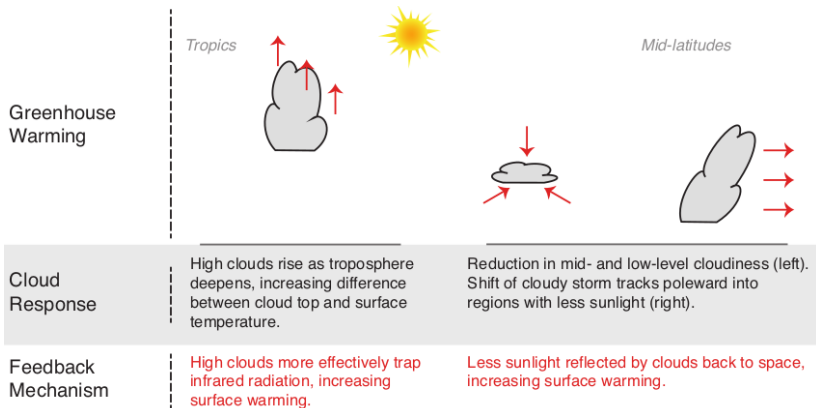


Diagrama dos mecanismos importantes de *feedback* das nuvens **Boucher et al. (2013)**.

Modelando os processos de nuvens

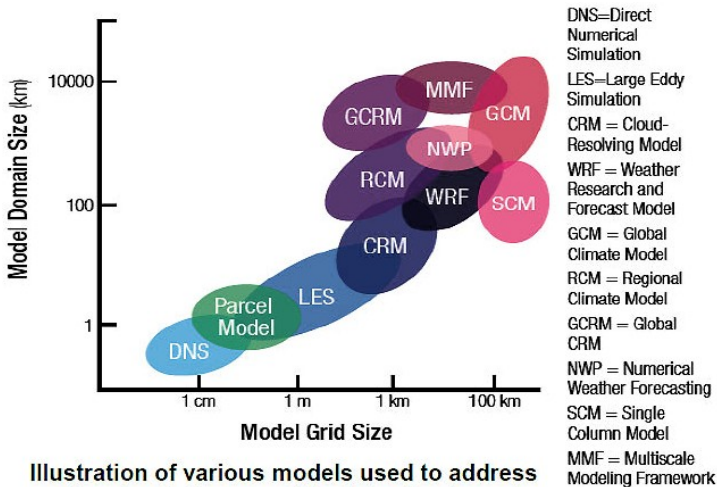
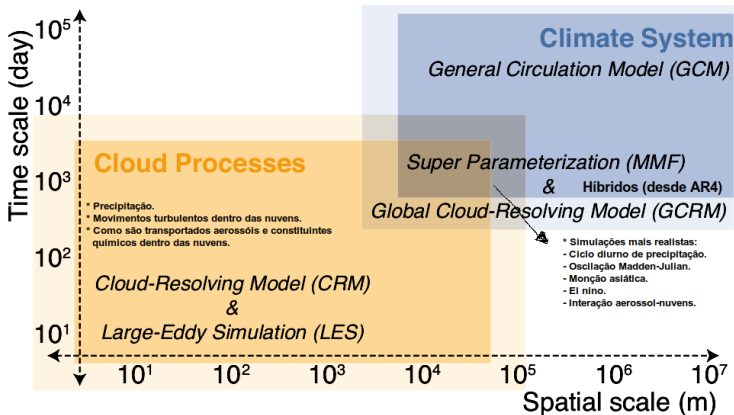


Illustration of various models used to address multiscale challenges of Earth's climate system.

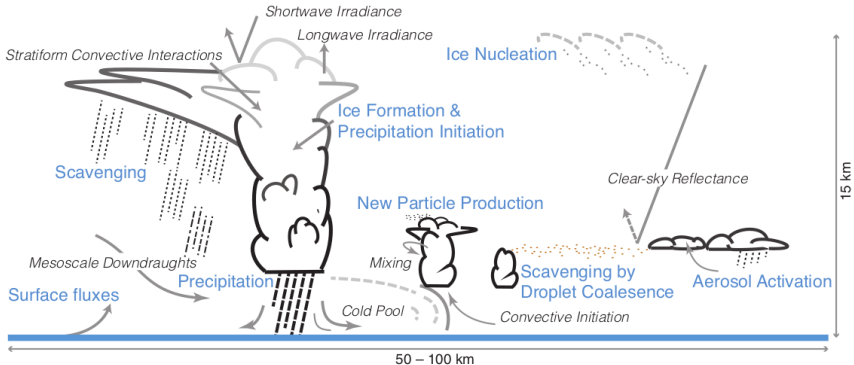
Modelando os processos de nuvens

- *Cloud microphysics, precipitation and aerosol interactions are treated with varying levels of sophistication, and remain a weak point in all models regardless of resolution.*



Estratégias para representar o sistema climático em diferentes escalas temporais e espaciais. Adaptado de [Boucher et al. \(2013\)](#).

Modelando os processos de nuvens



Quadro conceitual mostrando os processos relacionados às interações entre aerossóis, nuvens e precipitação, e que são tipicamente modelados nos modelos de circulação global (Boucher et al., 2013).

Referências



Boucher, O., D. Randall, P. Artaxo, C. Bretherton, G. Feingold, P. Forster, V.-M. Kerminen, Y. Kondo, H. Liao, U. Lohmann, P. Rasch, S.K. Satheesh, S. Sherwood, B. Stevens and X.Y. Zhang, 2013: Clouds and Aerosols. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.



Santanu Bakshi, Zhenli L. He, and Willie G. Harris (2015) Natural Nanoparticles: Implications for Environment and Human Health, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 45:8, 861-904, DOI: 10.1080/10643389.2014.921975



Trenberth, K. E., Fasullo, J. T., and Kiehl, J. (2009). Earth's global energy budget. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 90(3):311.



Haywood, J. and Boucher, O. (2000). Estimates of the direct and indirect radiative forcing due to tropospheric aerosols: A review. *Reviews of geophysics*, 38(4):513–543.

FIM

OBRIGADO !