

PGF-5321

Introdução à Física

Atmosférica

Processos de formação de nuvens

Fernando G Morais

Resumo

- Formação de nuvens
- Núcleos de condensação
 - Curvas de Kohler
 - Crescimento de gotículas
- Tipos de Nuvens
- Instrumentos de medida



Formação de nuvens

A formação de nuvens depende:

Instabilidade
atmosférica

Movimento
vertical

Processos de
microescala

Núcleos de condensação

Quando o ar resfria abaixo do ponto de orvalho ele se torna supersaturado (umidade > 100%)

A condensação ocorre com mais dificuldade no ar *limpo*

Exemplo:

Para manter uma gota de água pura de $0,001\mu\text{m}$ exige umidade relativa de 320%.

Para manter uma gota de água de $0,1\mu\text{m}$ exige umidade relativa de 101%.



Núcleos de condensação

A condensação começa em *núcleos higroscópicos*

Partículas microscópicas – aerossóis – que tem a propriedade de absorver a umidade do ar

Exemplos: poeira, fumaça, sais e compostos químicos.

Esses núcleos variam em tamanho:

0,001 μm (grande supersaturação necessária)

-

>10 μm (tempo de vida curto)

Núcleos de condensação

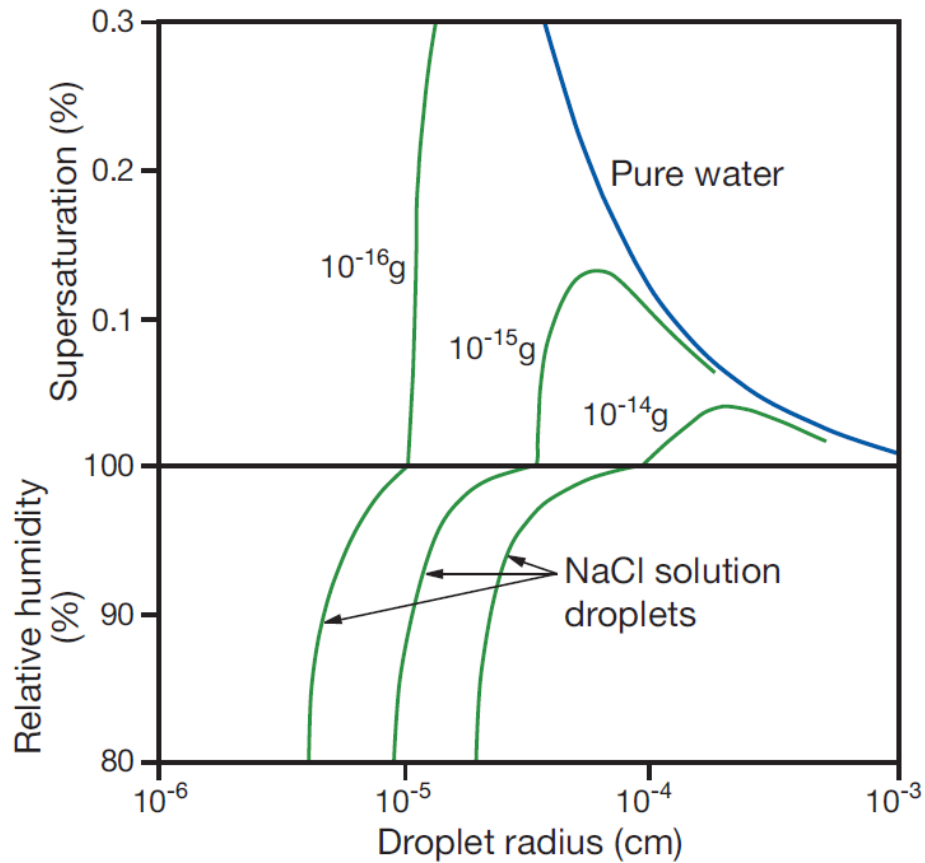
Aerossóis higroscópicos são solúveis

Pressão de vapor de saturação gotícula de solução é menor do que sobre uma gota de água pura de mesmo tamanho e temperatura

De fato, a condensação sobre partículas higroscópicas começa antes de o ar estar saturado.

Umidade relativa para núcleos de NaCl = 78%

Curvas de Kohler

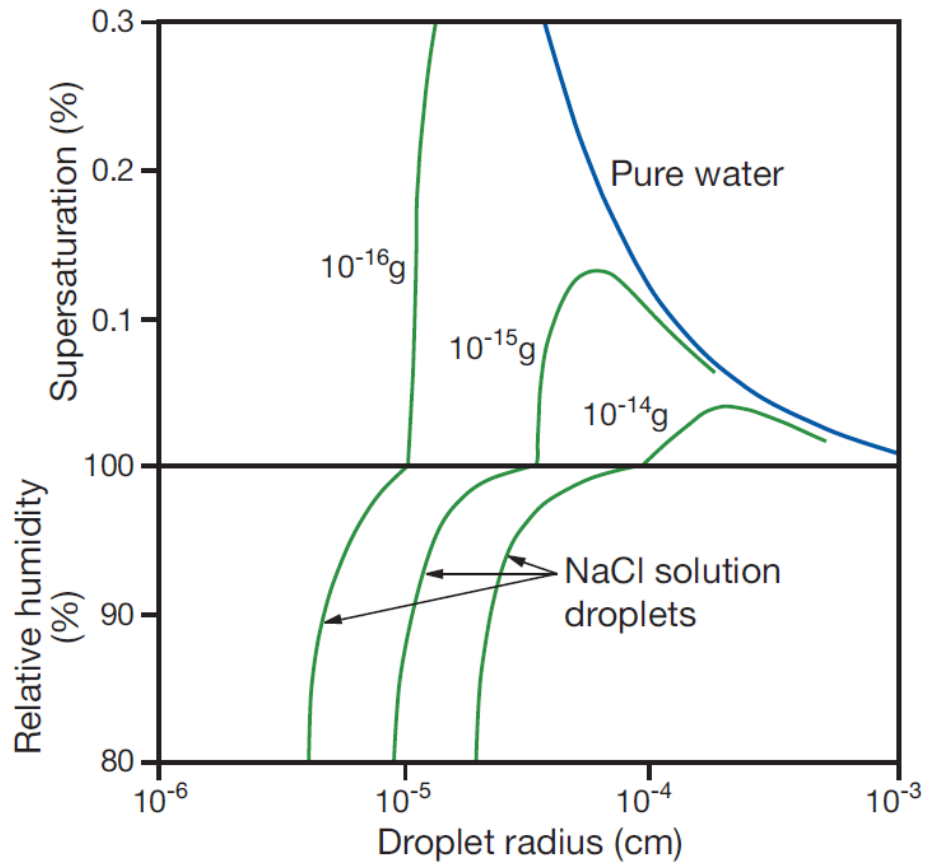


Curvas de Kohler mostrando a variação da supersaturação ou umidade relativa em equilíbrio (%) com o raio da gotícula, para água pura e gotas de solução de NaCl.

Os números mostram a massa de NaCl (Curvas semelhantes para soluções de sulfato).

A linha da gotícula de água pura ilustra o efeito da curvatura

Curvas de Kohler

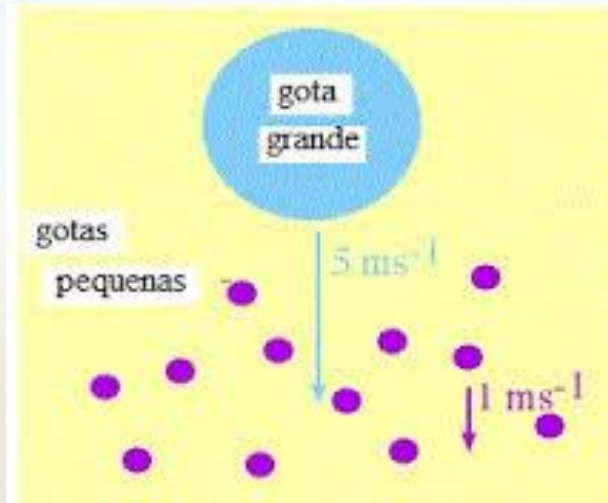


A supersaturação em nuvens raramente $>1\%$

Gotículas $<0,1\mu\text{m}$ evaporam com facilidade.

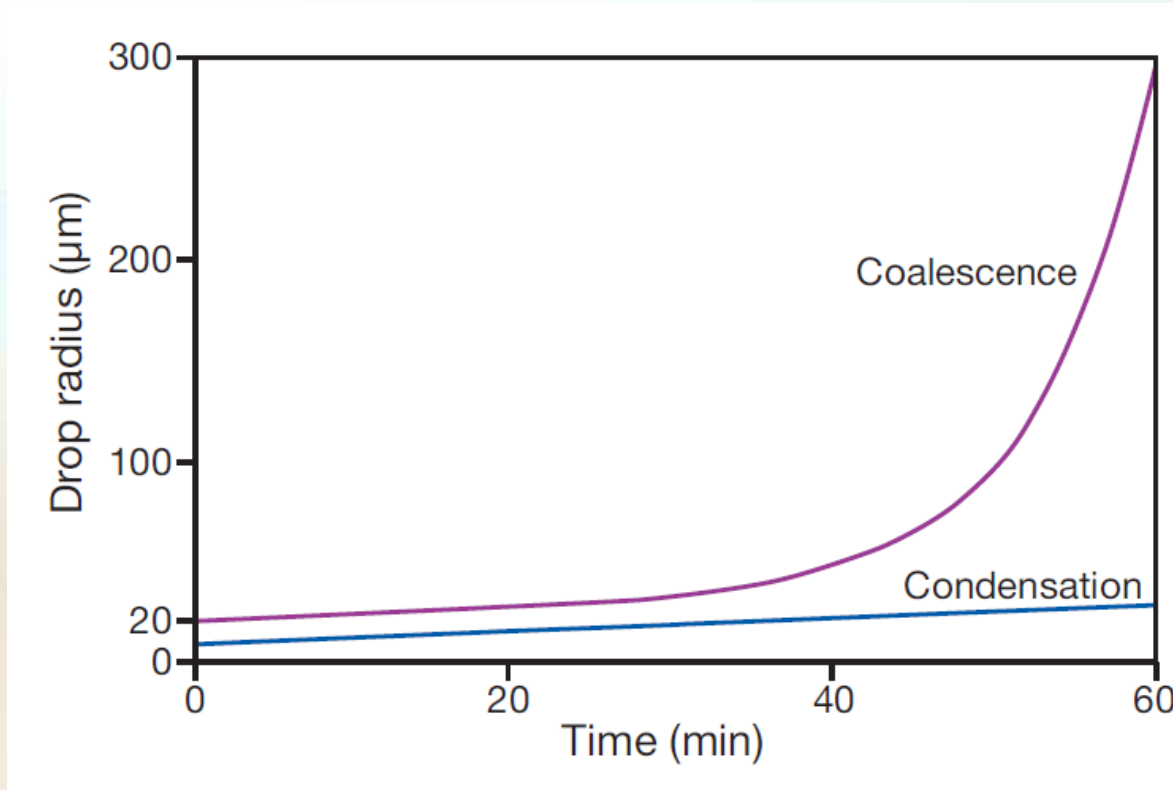
No início, o efeito da solução é predominante, e as pequenas gotículas crescem mais rapidamente do que as grandes, mas conforme aumenta o tamanho de uma gotícula, sua taxa de crescimento por condensação diminui.

Coalescência



- O conceito de coalescência, que tem origem no vocábulo latino *coalescens*, é a propriedade de as coisas se fundirem ou unirem. As substâncias ou os materiais coalescentes são aqueles que se podem unir num único corpo.
- A coalescência implica um processo através do qual dois domínios de fase de composição essencialmente idêntica têm um contato e formam um domínio de fase maior. Os materiais, desta forma, estabelecem uma otimização da sua superfície para minimizar o gasto de energia.

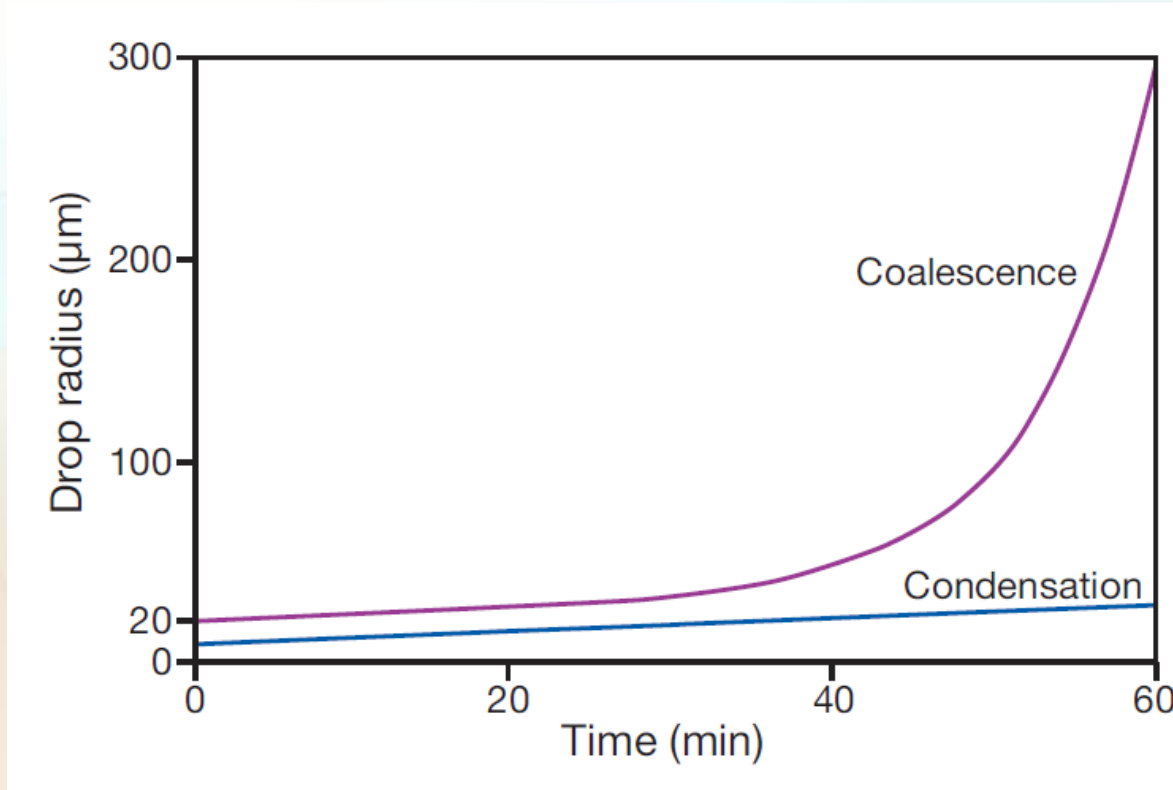
Crescimento de gotículas



A figura ilustra o crescimento lento de gotículas de água por condensação – nesse caso, a 0,2% de supersaturação a partir de uma raio inicial de 10 μm

Fonte: Jonas (1994a). Reimpresso da Weather com permissão da Royal Meteorological Society

Crescimento de gotículas



Fonte: Jonas (1994a). Reimpresso da Weather com permissão da Royal Meteorological Society

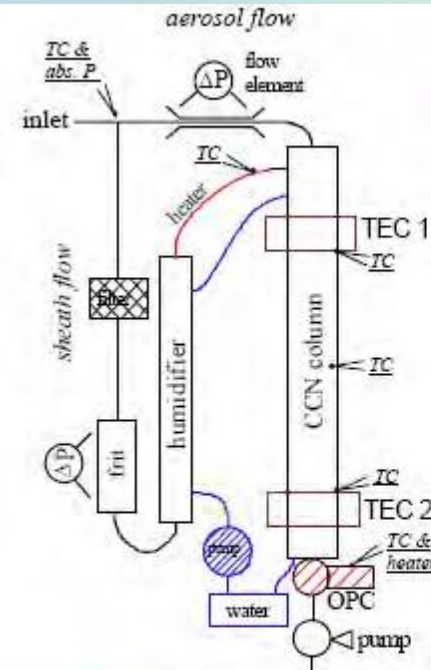
- A Taxa de crescimento radial diminui conforme aumenta o tamanho da gota (área superficial cada vez maior).
- A Taxa de condensação é limitada pela velocidade com que o calor latente liberado pode ser perdido da gota por condução para o ar.
- Competição entre gotículas pela umidade disponível atua para reduzir o grau de supersaturação

Droplet Measurement Technologies

Continuous Flow CCN Chamber



O CCN Counter é uma câmara de difusão de gradiente térmico de fluxo contínuo para medir aerossóis que podem atuar como núcleos de condensação de nuvens.



Streamwise CCN instrument

- Temperature profile along streamwise axis generates uniform supersaturation.
- Simple cylindrical geometry reduces size and buoyancy effects
- Continuous flow allows fast sampling (1 Hz measurements)
- Droplets larger than 1 μm diameter counted as CCN

Figure 1: Operational and flow schematic of the CCN instrument.

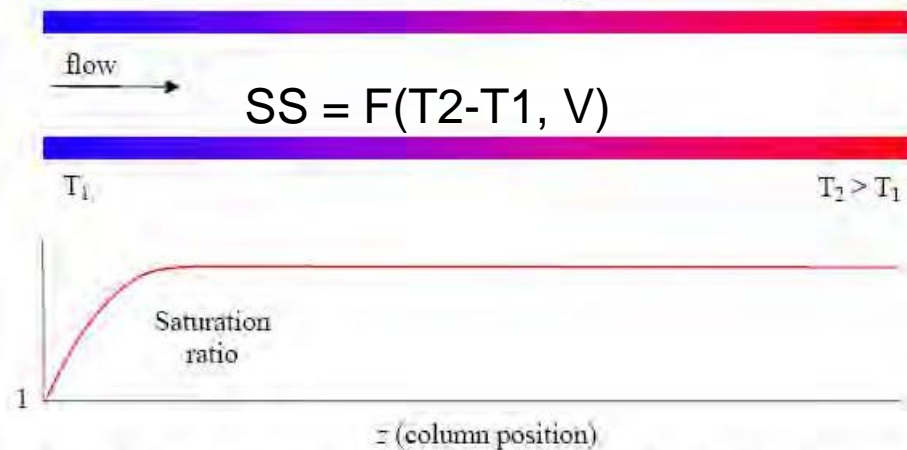
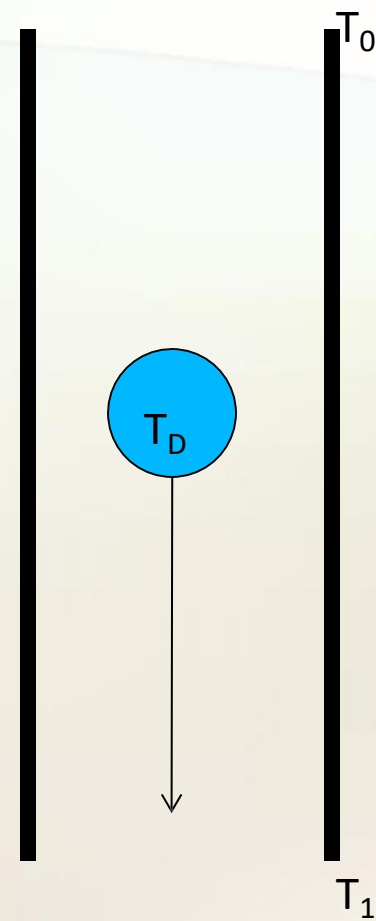
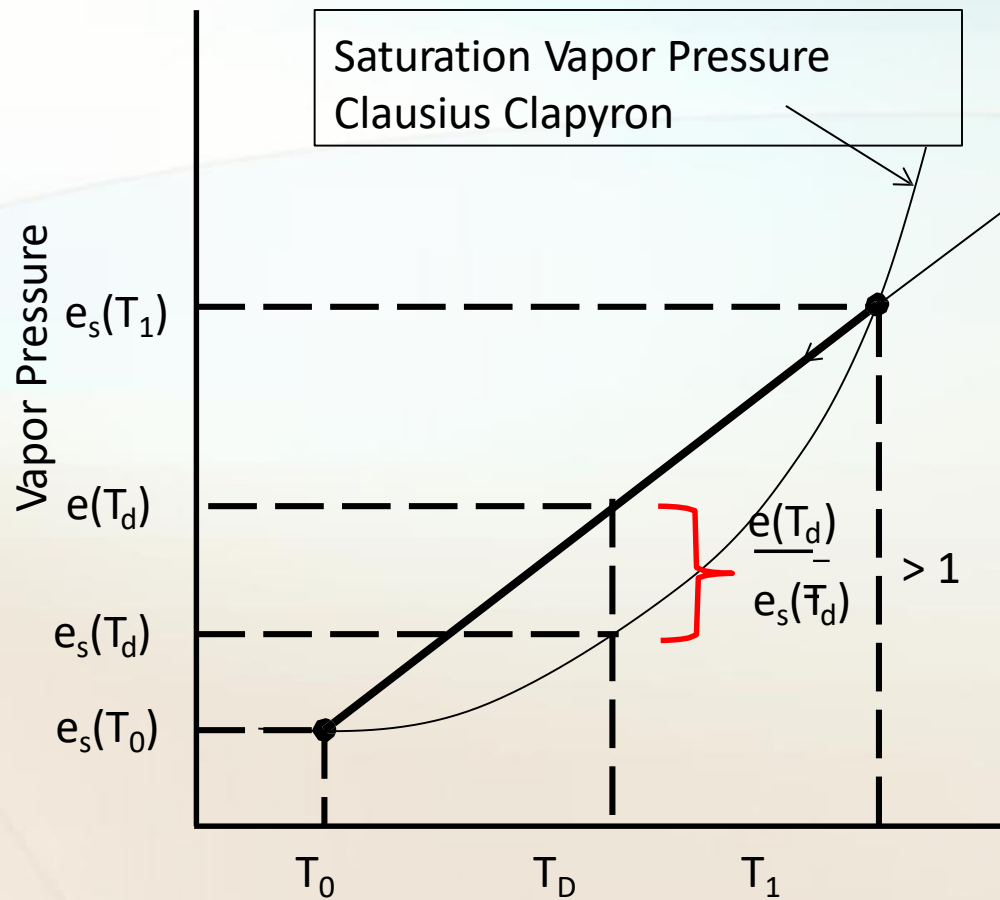


Figure 1b: Instrument design from Roberts and Nenes where a flow is introduced into a wet-walled condenser at T_1 which monotonically increases to T_2 where $T_2 > T_1$. The saturation ratio at the centerline is nearly constant for the length of the condenser.

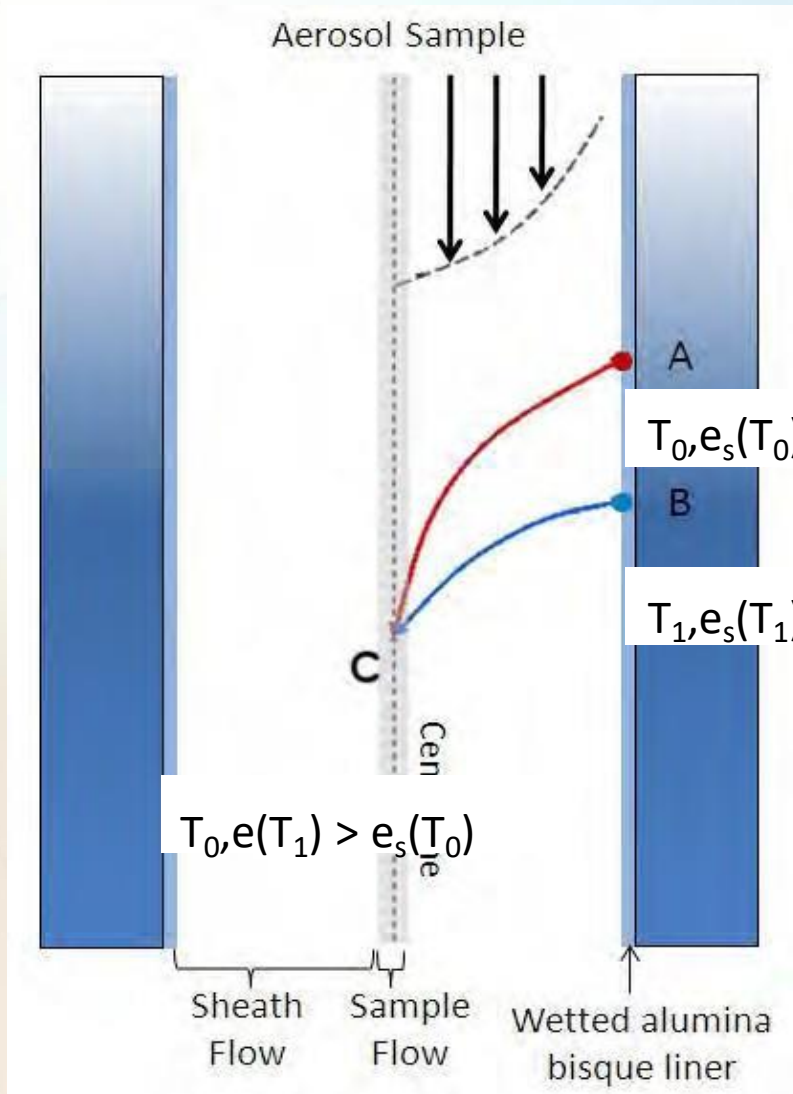
CCN Theory of Operation



$e_s(T)$ = Saturation vapor pressure at temperature T

$e(T)$ = Vapor pressure at temperature T

CCN Theory Applied



Dentro da coluna é criada uma condição de vapor de água termodinamicamente instável e supersaturada, aproveitando a diferença nas taxas de difusão entre o vapor de água e o calor.

O vapor de água se difunde das paredes quentes e úmidas da coluna em direção à linha central a uma taxa mais rápida que o calor. A temperatura da parede ao longo da coluna aumenta gradualmente para criar uma supersaturação da linha central bem controlada e quase uniforme. Por meio de controles de software, o usuário pode modificar o gradiente de temperatura e a taxa de fluxo para alterar supersaturações e obter o espectro CCN.

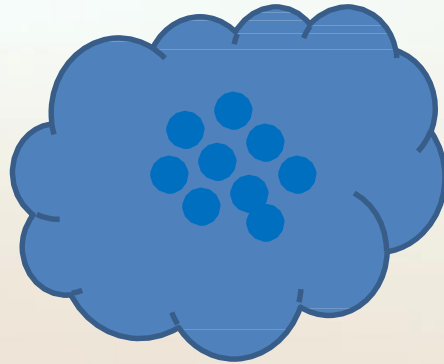
Buscando o equilíbrio, o vapor d'água supersaturado se condensa nos núcleos de condensação da nuvem no ar da amostra para formar gotículas, assim como gotas de nuvens se formam na atmosfera. Um Contador Óptico de Partículas (OPC) conta e dimensiona as gotículas ativadas

Why adding more CCN decreases average droplet size and increases cloud lifetime

Low concentration of CCN



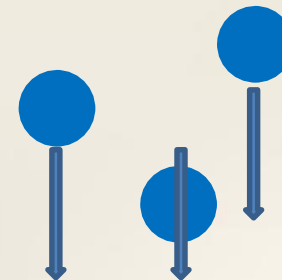
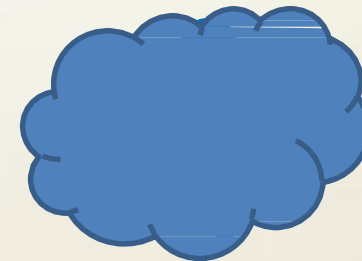
Form cloud droplets in supersaturated environment



That grow until environment is no longer supersaturated



Some grow to raindrops that fall out and cloud dissipates

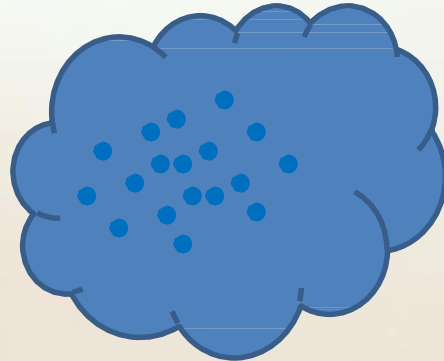


Why adding more CCN decreases average droplet size and increases cloud lifetime

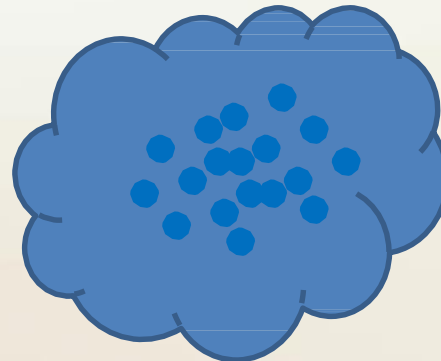
High concentration of CCN



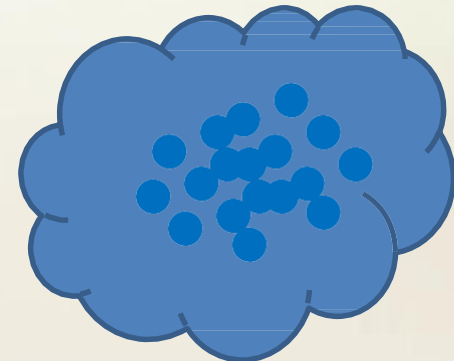
Form cloud droplets in supersaturated environment



That grow much slower as they compete for available vapor



No rain forms, cloud lasts longer



Tipos de Nuvens

O sistema adotado internacionalmente para classificação de nuvens se baseia em:



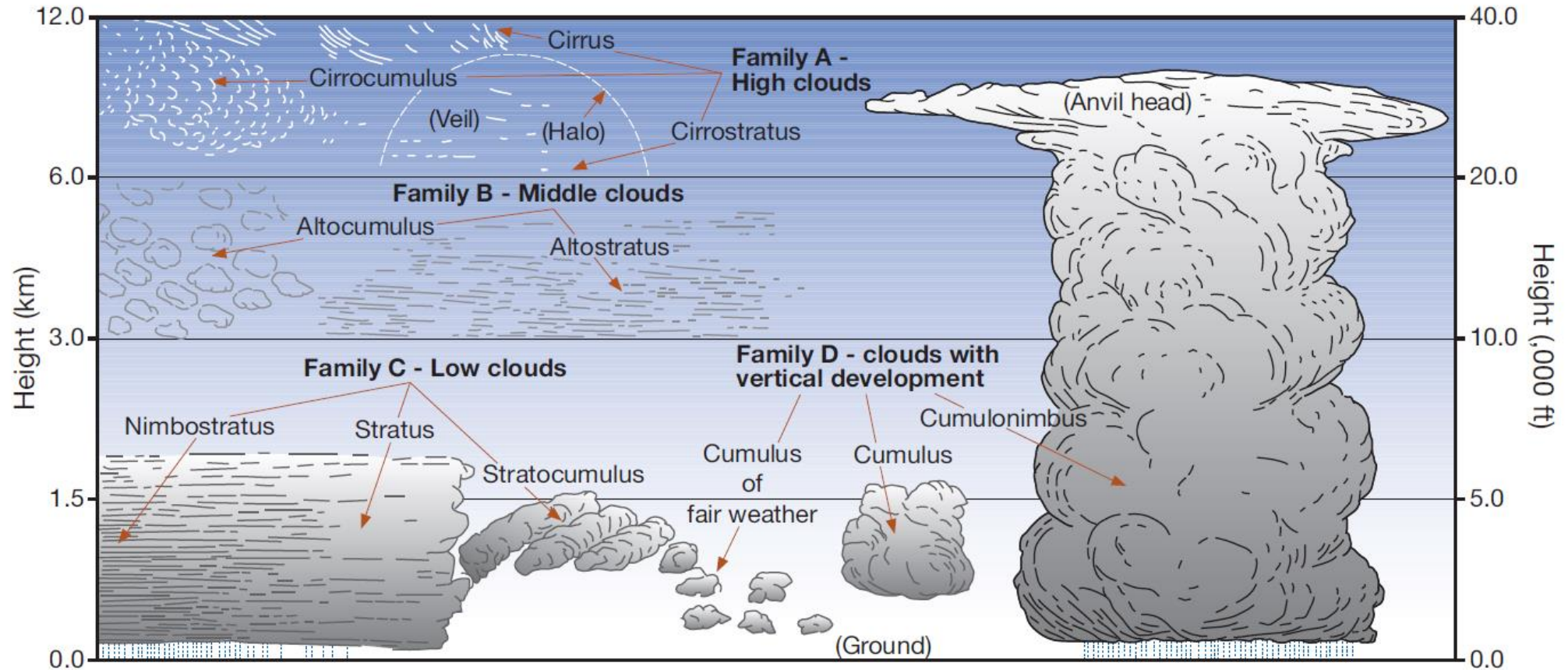
Na forma geral,
estrutura e extensão
vertical das nuvens.



Em sua altitude.

Essa abordagem foi desenvolvida por Luke Howard em 1803

Tipos de Nuvens



Os 10 grupos básicos de nuvens classificadas segundo altitude e forma. Strahler (1965)

Tipos de Nuvens

- As nuvens altas **cirrifformes** são compostas de cristais de gelo, conferindo aparência fibrosa.
- Nuvens **estratifformes** dispõem em camadas.
- Nuvens **cumuliformes** tem aparência amontoadada.
 - Prefixo *alto* para nuvens de nível médio
 - Prefixo *nimbo* para nuvens espessas e baixas, com aspecto cinza-escuro e com chuvas contínuas

Nuvens Altas - Cirrocumulus



Nuvens brancas compostas quase exclusivamente por cristais de gelo agrupados em grânulos semi-transparentes.

Cirrocumulus. Foto: allou / Shutterstock.com

Nuvens Altas - Cirrus



Nuvens com brilho sedoso, isoladas e formadas por cristais de gelo parecendo convergir para o horizonte. Podem se formar da evolução da bigorna da cumulusnimbus.

Nuvens Altas - Cirrostratus



Nuvens parecidas com um véu transparente que dão ao céu um aspecto leitoso. Constituída por cristais de gelo.

Cirrostratus. Foto: Karen Faljyan / Shutterstock.com

Nuvens Médias - Altocumulus



Altocumulus. Foto: Lawrence Wee / Shutterstock.com

Nuvem cinza (às vezes branca) que apresenta sombras próprias e tem a forma de rolos ou lâminas fibrosas ou difusas. Raramente contém cristais de gelo e por entre as nuvens deste tipo é possível enxergar pedaços do céu claro.

Nuvens Médias - Altostratus



Altostratus. Foto: Ustyuzhanin Andrey Anatolyevitch / Shutterstock.com

Assemelham-se a um lençol cinzento, às vezes azulado, sempre tem umas partes finas que permitem ver o sol. É formada por gotas de chuvas e cristais de gelo.

Nuvens baixas - Nimbostratus



Nuvens de grande extensão e base difusa formadas por gotas de chuva, cristais ou flocos de gelo com cor bastante escura.

Nimbostratus. Foto: Pi-Lens / Shutterstock.com

Nuvens baixas - Stratus



Nuvem cinzenta que provoca chuvisco. De cor cinza forte com base uniforme, costuma encobrir o sol ou a lua.

Stratus. Foto: [NOAA](#)

Nuvens baixas - Stratocumulus



Cinzentas ou esbranquiçadas é formada por gotículas de água e estão associadas a chuvas fracas.

Stratocumulus. Foto: [NOAA](#)

Nuvens baixas - Cumulus



Fair weather cumulus over Coconut Creek, Florida, December 1977.
Source: National Weather Service (NWS) Collection. Photographer:
Ralph F. Kresge #0655.

Nuvens isoladas que apresentam uma base sensivelmente horizontal, tem contornos bem definidos, uma cor bem branca quando iluminada pelo sol, provoca chuvas na forma de pancadas, constituídas principalmente por gotículas de água, mas podem conter cristais de gelo no topo.

Variações: humilis, quando apresentam desenvolvimento vertical; mediocris, quando possuem o topo arredondado; fractocumulus, quando se desmancham por causa de alguma turbulência

Nuvens baixas – Cumulonimbus

Desenvolvimento vertical



<http://minhapaixaoeaviaoeaviacao.blogspot.com/2015/08/cumulus-nimbus-oque-isso.html>

Com grande desenvolvimento vertical apresenta a forma de uma montanha e sua forma só pode ser vista de longe devido ao seu tamanho.

No topo, geralmente apresenta a forma característica de uma bigorna. É uma nuvem mais escura formada por grandes gotas de água e granizo, podendo conter cristais de gelo no topo. Está associada a tempestades fortes com raios e trovões.

Altura da base da Nuvem

	Tropics	Mid- latitudes	High latitudes
High cloud	6–18	5–13	3–8
Medium cloud	2–8	2–7	2–4
Low cloud	Below 3	Below 2	Below 2

Altura da base da nuvem (x1000 m)

Medidas de altura da base da nuvem



Ceilômetro Luft CHM 15K do LFA IFUSP em funcionamento em Campinas

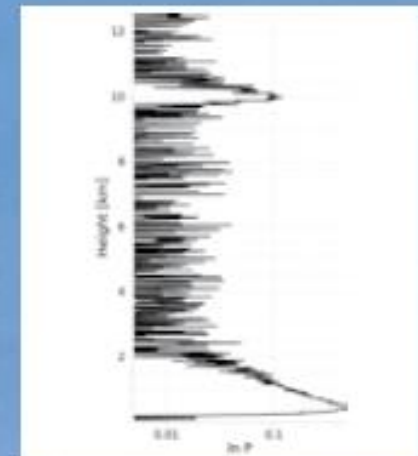
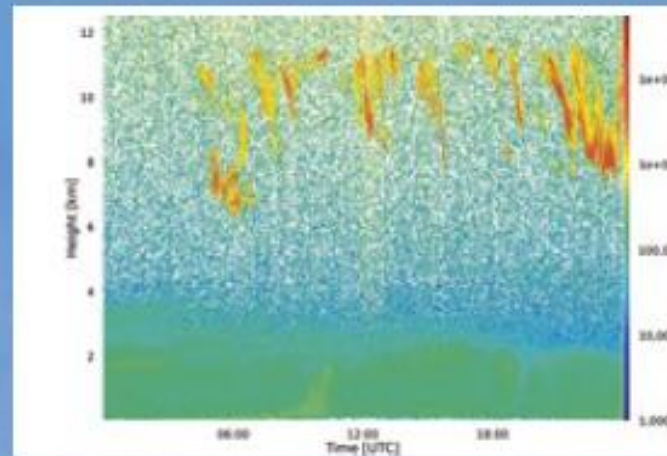
O **ceilômetro Lufft CHM 15k** é um *one-wavelength backscatter lidar* simplificado

Faixa de operação de até 15Km, detecta com segurança várias camadas de nuvens, nuvens cirrus e camadas de aerossol.

O sinal é obtido por um laser de Nd: YAG de comprimento de onda estável e largura estreita de 1064 nm.

Permite uma eficiente supressão da luz do dia e minimiza flutuações de temperatura.

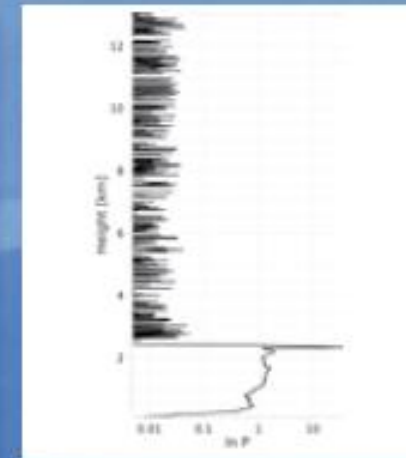
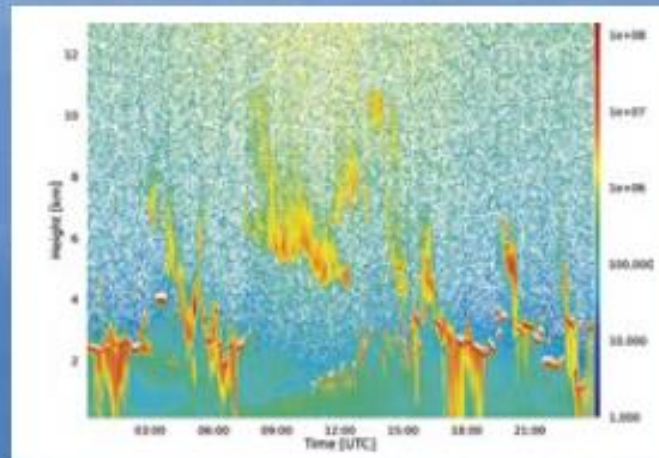
Medições de eventos meteorológicos



Cirrus Clouds Cirrus clouds were photographed on October 10th, 2005. The graphical view for backscatter intensity shows a similar cirrus cloud structure over the day between 6 and 12km and an aerosol layer structure until 2km altitude. The related height profile at 9pm is shown in the right diagram.

Utilizando o **ceilômetro Lufft CHM 15k**

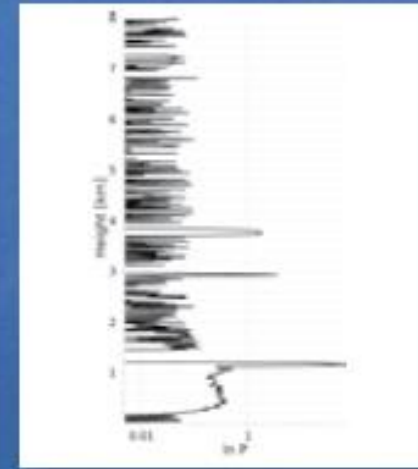
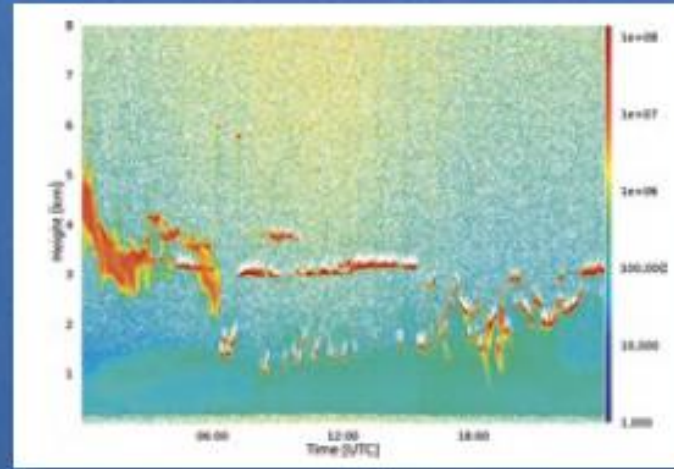
Medições de eventos meteorológicos



Rain The graphic shows a rain situation. A certain drop in cloud height and an increase in cloud mass and volume can easily be perceived in the graphical view by evaluation of the height profile (at 18:30 UTC) shown in the right subarea of the graphical view, one can identify precipitation and appraise the intensity of a likely precipitation event.

Utilizando o **ceilômetro Lufft CHM 15k**

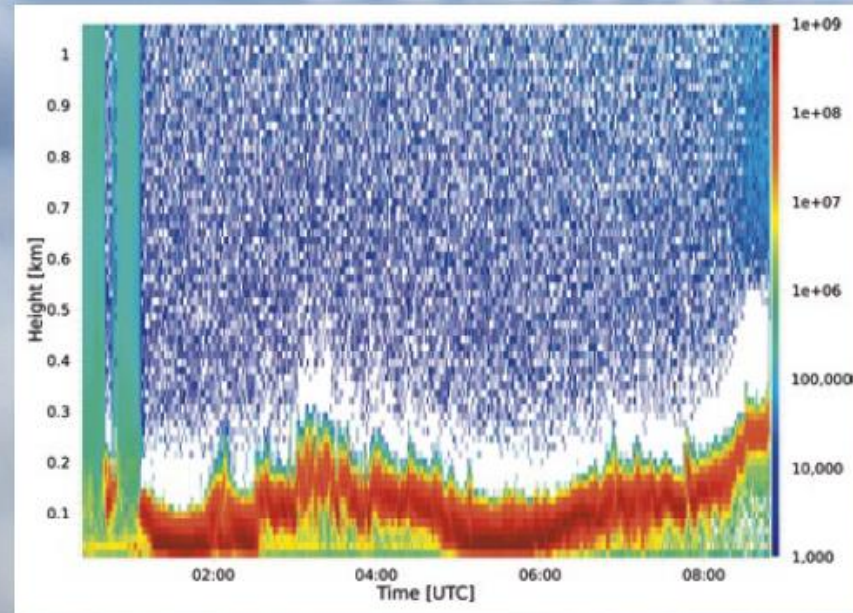
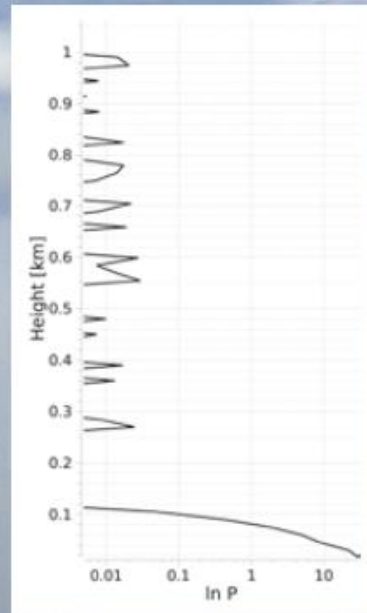
Medições de eventos meteorológicos



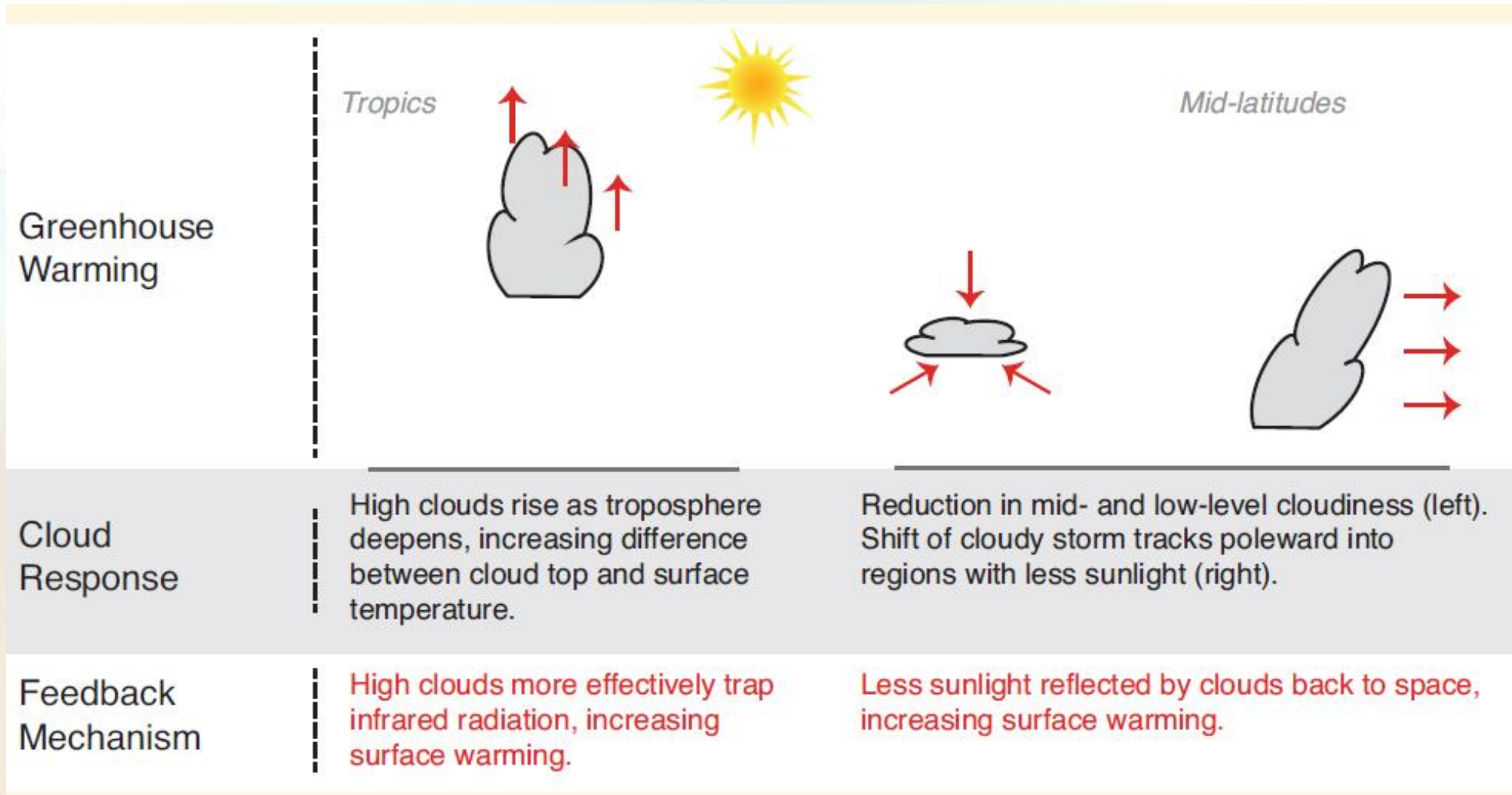
Multiple Cloud Layers The photo above shows a snapshot of several cloud layers at different altitudes. The measurement example on the right hand side illustrates the CHM 15k detecting four to five different cloud layers.

Utilizando o **ceilômetro Lufft CHM 15k**

Fog event of April, 2, 2014. Shown is a time progress chart from 2am to roughly 9am local time (CEST). During this time interval, the vertical visibility (VOR) varied between 80m and 200m (265ft and 655ft). The detection signal in this event is most of all generated by multiple scattering of the laser beam. By evaluation of the height profile, the fog event is detected.



How do clouds affect climate and climate change?



Como as nuvens afetam o clima e a mudança climática?

As nuvens afetam fortemente o clima atual, mas essas observações por si só não nos dizem como elas afetarão um futuro clima que seja mais quente.

Requer um modelo de clima global que considere como as nuvens mudarão em um clima mais quente.

Referências bibliográficas

- Livro Atmosfera, Tempo e Clima. Roger G. Barry e Richard J. Chorley. 9ª Edição Bookman
- Relatório IPCC 2013, AR5. Capítulo 7 - Clouds and Aerosols
- <https://www.infoescola.com/meteorologia/tipos-de-nuvens/>
- Notas de aula Darrel Baumgardner
- <https://conceito.de/coalescencia>

OBRIGADO!

