

‘Nuvens: formação, tipos, importância e fenômenos relacionados

G4

Importância das Nuvens

- Nuvens cobrem ~ 60% da superfície da Terra
- Refletem, absorvem e transmitem a radiação solar
- Participam do ciclo da água
- O processo de precipitação que ocorre nas nuvens é essencial para a vida e o meio ambiente

O ciclo hidrológico

O ciclo da água, conhecido cientificamente como o ciclo hidrológico, refere-se à troca contínua de água na hidrosfera, entre a atmosfera, a água do solo, águas superficiais, subterrâneas e das plantas. A ciência que estuda o ciclo hidrológico é a hidrologia.

A água se move perpetuamente através de cada uma destas regiões no ciclo da água constituindo os seguintes processos principais de transferência:

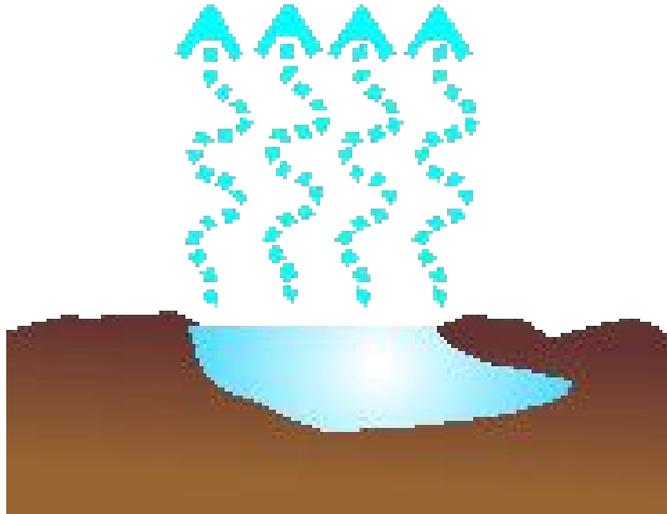
- Evaporação dos oceanos e outros corpos d'água (rios, lagos e lagoas) no ar e a evapotranspiração das plantas terrestres e animais para o ar.
- Precipitação, pela condensação do vapor de água do ar e caindo diretamente na terra ou no mar.
- Escoamento superficial sobre a terra, geralmente atingem o mar.

Ciclo da Água

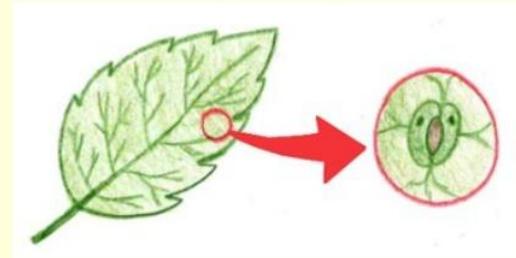


U.S. Department of the Interior
U.S. Geological Survey
<http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycle.html>

O ciclo da água inicia-se com a energia solar que incide na Terra. A transferência da água da superfície terrestre para a atmosfera, passando do estado líquido ao estado gasoso, processa-se através da evaporação direta, por transpiração das plantas e dos animais e por sublimação (passagem direta da água da fase sólida para a de vapor). A vegetação tem um papel importante neste ciclo



Transpiração Vegetal



Nuvens

Nuvem é um conjunto visível de partículas diminutas de gelo ou água em seu estado líquido ou ainda de ambos ao mesmo tempo (mistas), que se encontram em suspensão na atmosfera, após terem se condensado ou liquefeito em virtude de fenômenos atmosféricos. A nuvem pode também conter partículas de água líquida ou de gelo em maiores dimensões e partículas procedentes, por exemplo, de vapores industriais, de fumaças ou de poeiras.

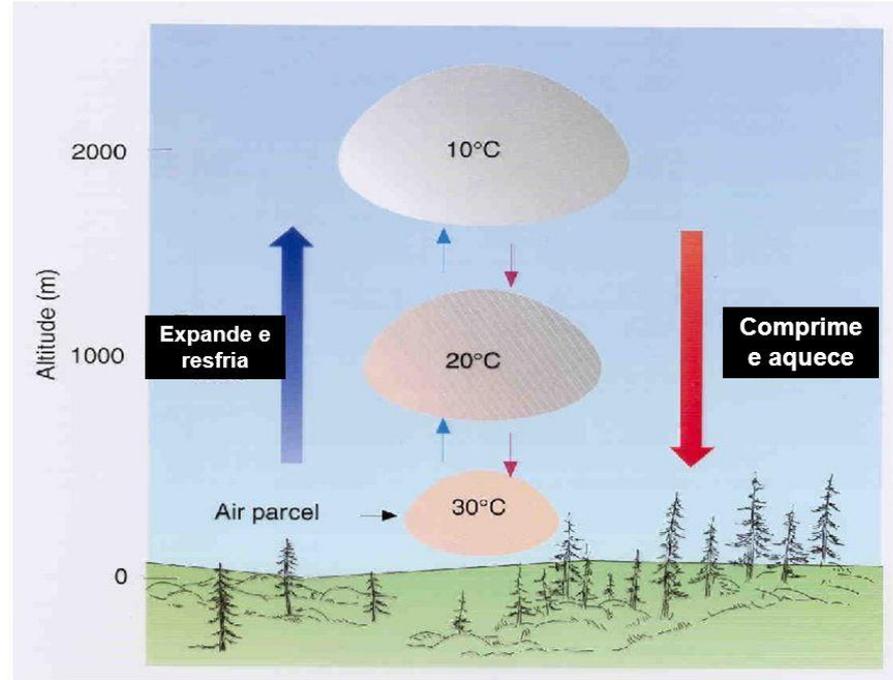


O vapor d'água é um gás invisível, mas os produtos da condensação e deposição de vapor d'água são visíveis. As nuvens são manifestações visíveis da condensação e deposição de vapor d'água na atmosfera.

Formação de nuvens

As nuvens são causadas pelo arrefecimento do ar até a condensação da água, devido à subida e expansão do ar. É o que sucede quando uma parcela de ar sobe para níveis onde a pressão atmosférica é cada vez menor e o volume de ar se expande. Esta expansão requer energia que é absorvida do calor da parcela, e, por isso, a temperatura desce. Este fenómeno é conhecido por resfriamento adiabático.

Processo adiabático



Formação de nuvens

No processo de condensação, duas coisas são necessárias:

Primeiro, o ar deve estar saturado. Segundo, deve haver geralmente uma superfície sobre a qual o vapor d'água possa condensar.

Quando a condensação ocorre no ar acima do solo, minúsculas partículas conhecidas como núcleos de condensação servem como superfície sobre a qual o vapor d'água condensa.

Estudos de laboratório demonstraram que no ar limpo, livre de poeira e outros aerossóis, a condensação (ou deposição) de vapor d'água é extremamente improvável, exceto sob condições supersaturadas (isto é, umidade relativa acima de 100%).

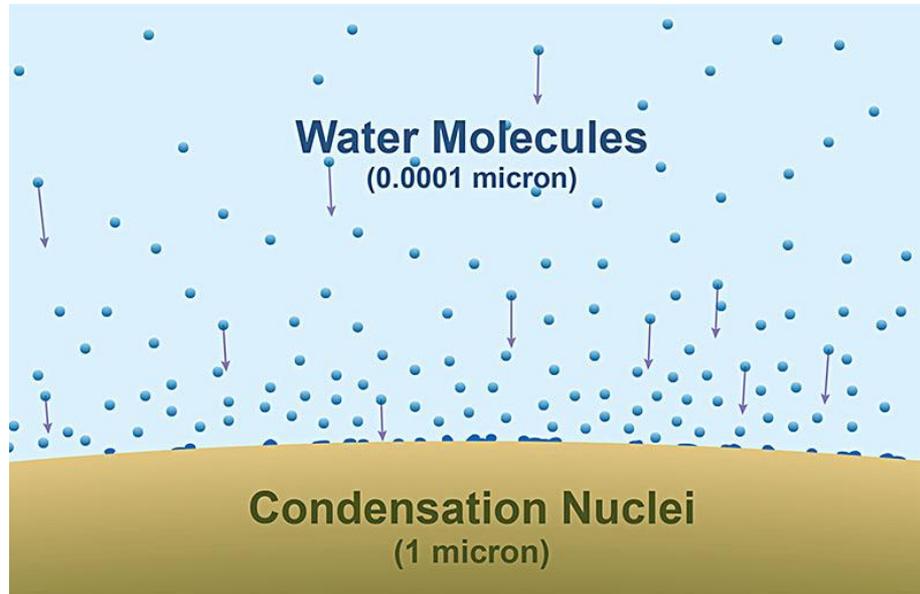
Formação de nuvens

A formação de gotículas com raio de 0,10 micrometro (μm) requer uma supersaturação de aproximadamente 340%. Em contraste, gotículas relativamente grandes, com raio maior que 1 μm , necessitam apenas pequena supersaturação para se formar ($\sim 101\%$).

Na atmosfera as gotículas de nuvem não crescem a partir de gotículas menores porque o alto grau de supersaturação necessário para a condensação de gotículas muito pequenas não ocorre na atmosfera real. A atmosfera contém abundância de **núcleos de condensação**, como partículas microscópicas de poeira, fumaça e sal, que fornecem superfícies relativamente grandes sobre as quais a condensação ou deposição pode ocorrer. Muitos núcleos tem raios maiores que 1 μm , o que significa que os núcleos são suficientemente grandes para facilitar a condensação das gotículas em umidades relativas que raramente excedem 101%.

Núcleos de condensação

Podem ser formados de poeira, gotículas de água, partículas de gelo, aerossóis, partículas de sais e de ácidos que são encontradas na atmosfera, partículas produzidas de emissões biogênicas de enxofre, produtos de queima de vegetação, poluentes da queima de materiais fósseis



Núcleos de condensação

✓ O que são ?

- Partículas em torno das quais o vapor de água se condensa. Geralmente são substâncias higroscópicas como o sal marinho (cloreto de sódio, NaCl), os produtos de combustão que contêm ácido nítrico (HNO_3) e ácido sulfúrico (H_2SO_4) ou pequenas partículas de poeiras e pólen.
- Sigla: CCN. Do inglês, *cloud condensation nuclei*
- São ditos ativos quando promovem condensação

✓ Por que são necessários ?

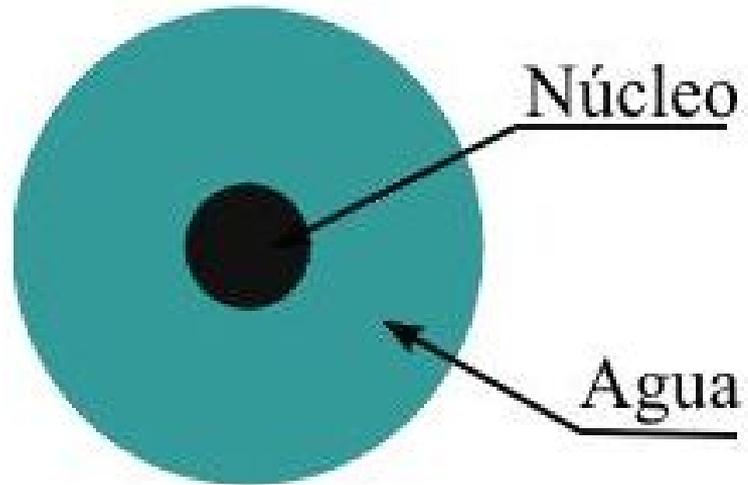
- No ar limpo, a condensação do vapor de água só é possível em situações de supersaturação \rightarrow UR > 100%.
- Além disso, o grau de saturação necessário para desenvolvimento de nuvens aumenta rapidamente (supersaturação) a medida que o raio das gotículas diminui.
 - Se o raio da gotícula $R \approx 0,1 \mu\text{m}$ – saturação com UR $\approx 350\%$
 - Se o raio da gotícula $R \approx 1,0 \mu\text{m}$ – saturação com UR $\approx 101\%$

Núcleos de condensação

Dependendo de sua formação específica, os núcleos são classificados em um de dois tipos: núcleos de condensação de nuvens e núcleos de formação de gelo. Os núcleos de condensação de nuvens são ativos (isto é, promovem condensação) em temperaturas tanto acima como abaixo da temperatura de congelamento porque gotículas de água condensam e permanecem líquidas mesmo quando a temperatura da nuvem está abaixo de 0° C. Estas são as gotículas de água superesfriadas. Núcleos de formação de gelo são menos abundantes e tornam-se ativos apenas em temperaturas bem abaixo do congelamento.

Núcleos higroscópicos

Mais importante que a presença de núcleos relativamente grandes, contudo, é a presença de núcleos higroscópicos, que tem uma afinidade química especial (atração) por moléculas de água (por exemplo, sais marinhos). A condensação começa sobre estes núcleos em umidades relativas abaixo de 100%.



Composição das nuvens

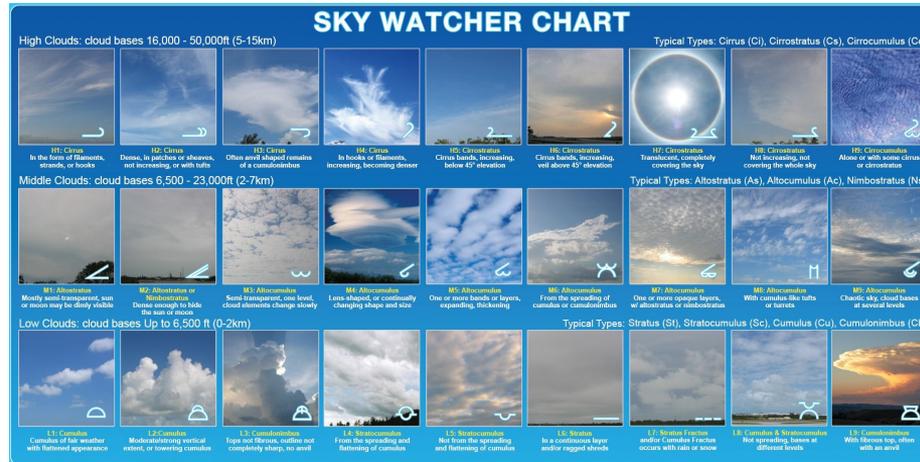
Uma nuvem pode ser formada por água, por gelo, ou até por ambos simultaneamente. Quando suspensas na atmosfera, gotículas de água não congelam a 0° , e sim a temperaturas mais baixas. As gotas de água superesfriada podem conviver com o gelo dentro das nuvens.

De um modo geral, nuvens altas são compostas exclusivamente de gelo, nuvens médias são mistas e as nuvens baixas são formadas apenas por água.



Classificação das nuvens

Apesar de os astrônomos antigos terem atribuído nomes às maiores constelações há cerca de 2000 anos, as nuvens não foram devidamente identificadas e classificadas até inícios do século XIX. O naturalista francês Lamarck (1744-1829) propôs o primeiro sistema de classificação de nuvens em 1802, não tendo o seu trabalho sido reconhecido. Um ano mais tarde, foi a vez do inglês Luke Howard apresentar um novo sistema, sendo este aceite pela comunidade científica.



Nuvens são classificadas com base em dois critérios: aparência e altitude.

Com base na aparência, distinguem-se três tipos: cirrus, cumulus e stratus. Cirrus são nuvens fibrosas, altas, brancas e finas. Stratus são camadas que cobrem grande parte ou todo o céu. Cumulus são massas individuais globulares de nuvens, com aparência de domos salientes. Qualquer nuvem reflete uma destas formas básicas ou é combinação delas.

Com base na altitude, as nuvens mais comum na troposfera são agrupadas em quatro famílias: Nuvens altas, médias, baixas e nuvens com desenvolvimento vertical.

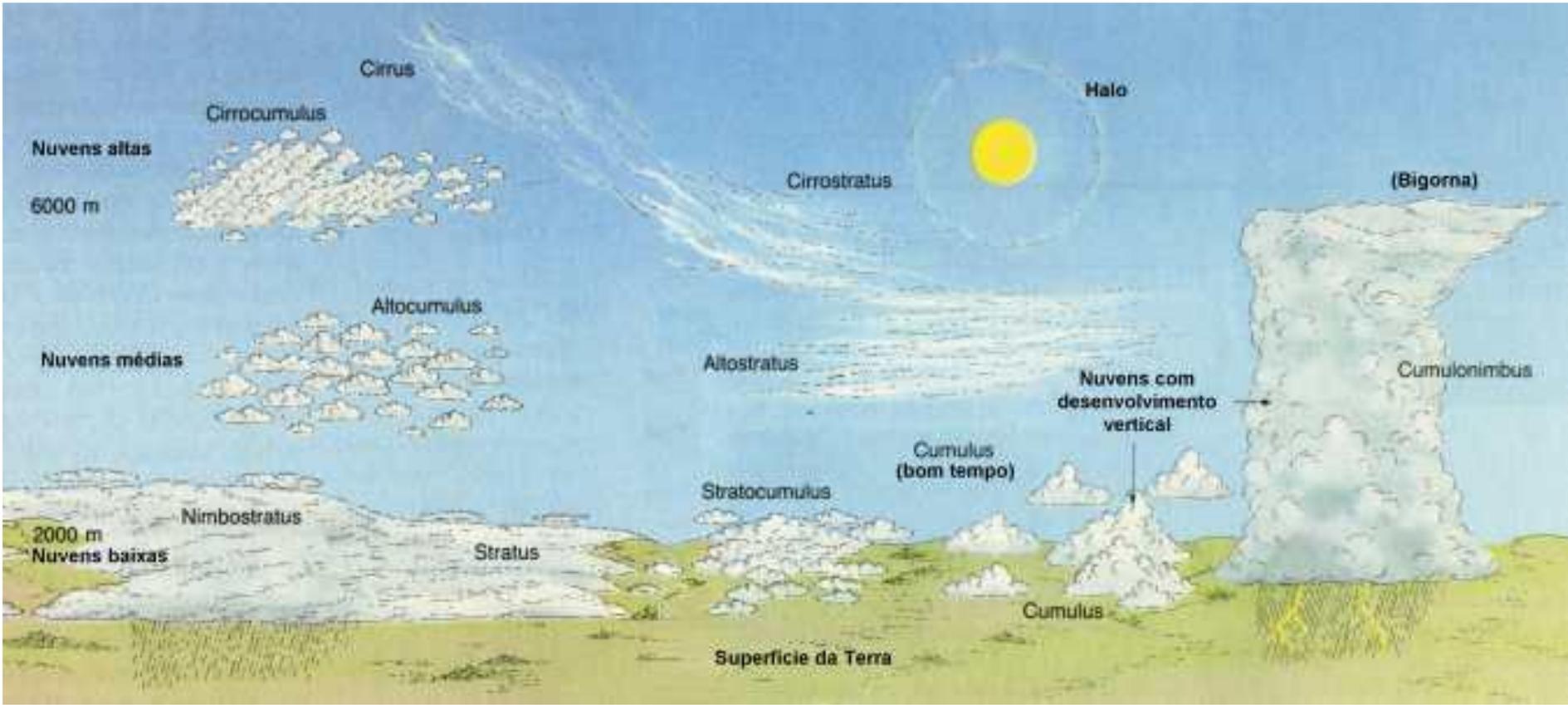
Nuvens altas normalmente tem bases acima de 6000 m; nuvens médias geralmente tem base entre 2000 a 6000 m ; nuvens baixas tem base até 2000 m.

Segundo a classificação atual, há 10 tipos de nuvens.

Apesar de parecerem muitos tipos, basta notar que resultam da combinação de algumas características básicas:

- As nuvens altas são sempre antecedidas do prefixo cirro porque apresentam sempre um aspecto ténue e fibroso;
- As nuvens médias apresentam o prefixo alto;
- A designação estrato entra nas nuvens de maior extensão horizontal, enquanto a designação cumulo entra nas de maior desenvolvimento vertical;
- As nuvens capazes de produzir precipitação identificam-se com o termo nimbo.

Classe	Designação	Símbolo	Altura da base (km)
Nuvens Altas	Cirrus (Cirro)	Ci	7-18
	Cirrocumulus (Cirrocumulo)	Cc	7-18
	Cirrostratus (Cirrostrato)	Cs	7-18
Nuvens Médias	Altostratus (Altostrato)	As	2-7
	Alto cumulus (Alto cumulo)	Ac	2-7
Nuvens Baixas	Stratus (Estrato)	St	0-2
	Stratocumulus (Estratocumulo)	Sc	0-2
	Nimbostratus (Nimbostrato)	Ns	0-4
Nuvens com desenvolvimento vertical	Cumulonimbus (Cumulonimbo)	Cb	0-3
	Cumulus (Cumulo)	Cu	0-3



Identificação de nuvens

Cada tipo de nuvem tem um aspecto característico.

Algumas considerações:

- Do latim **stratum** significa camada ou folha.
- **Cumulus**, em latim, significa massa.

Todas as nuvens altas são formadas exclusivamente de gelo.

Cirrus

São as nuvens altas mais comuns. São finas e compridas e formam-se no topo da troposfera. Formam estruturas alongadas e são compostas por cristais de gelo. Têm cor branca brilhante.



Cirrocumulus

A menos vista das nuvens altas. Podem surgir individualmente ou em longas fileiras. Normalmente ocupam uma grande porção de céu. Indicam turbulência.



Cirrostratus

São as nuvens finas que cobrem a totalidade do céu, causando uma diminuição da visibilidade. Como a luz atravessa os cristais de gelo que as constituem, dá-se refração, dando origem a halos solares. Na aproximação de uma forte tempestade, estas nuvens surgem muito frequentemente e portanto dão uma pista para a previsão de chuva ou neve em 12 - 24h.



Alto cumulus

São nuvens médias que são compostas na sua maioria por gotículas de água e quase nunca ultrapassam o 1 km de espessura. Têm a forma de pequenos tufo de algodão, e constituem o “céu encarneirado”. Podem ser brancas e/ou cinzentas.



Altostratus

São muito semelhantes aos *cirrostratus*, sendo muito mais espessas e com a base numa altitude mais baixa. Cobrem em geral a totalidade do céu quando estão presentes. O Sol fica muito ténue e não se formam halos como nos *cirrostratus*. Compostas de gotículas superesfriadas.



Nimbostratus

Nuvens baixas, escuras. Estão associados aos períodos de chuva contínua (de intensidade fraca a moderada). Normalmente nunca se vê o Sol através deles.



Stratocumulus

Nuvens baixas que aparecem em filas, ou agrupadas noutras formas. Normalmente consegue ver-se céu azul nos espaços entre elas. Quando em voo, há turbulência dentro da nuvem.



Stratus

É uma camada uniforme de nuvens que habitualmente cobre todo o céu e lembra um nevoeiro que não chega a tocar no chão. Aliás, se um nevoeiro espesso ascender, originam-se nuvens deste tipo. Originam precipitação sob a forma de chuvisco. Não deixam passar a luz do Sol.



Cumulus

São as nuvens mais comuns de todas e aparecem com uma grande variedade de formas, sendo a mais vulgar a de um bocado de algodão. A base pode ir desde o branco até ao cinzento claro e pode localizar-se a partir dos 1000m de altitude (em dias úmidos).



Cumulonimbus

São nuvens de tempestade, onde os fenômenos atmosféricos mais interessantes têm lugar (trovoadas, aguaceiros, granizo e até tornados). Estendem-se desde os 600 m até 12.000 m. São formadas por água superesfriada, cristais de gelo, flocos de neve e granizo.



Formação de precipitação

As gotículas da nuvem são minúsculas. Devido ao pequeno tamanho, sua velocidade de queda seria tão pequena de modo que, mesmo na ausência de correntes ascendentes, ela se evaporaria poucos metros abaixo da base da nuvem. Segundo, as nuvens consistem de muitas destas gotículas, todas competindo pela água disponível; assim, seu crescimento via condensação é pequeno.

As correntes ascendentes são capazes de sustentar as gotículas menores, no entanto, a partir de certo tamanho, não é mais possível. É nessa situação que ocorre a precipitação.



Velocidade de queda

A velocidade de queda de uma gotícula de nuvem ou cristal de gelo através do ar calmo depende de duas forças: a força da gravidade (peso) e o atrito com o ar. Quando a partícula é acelerada para baixo pela força da gravidade, sua velocidade cresce e a resistência do ar cresce até eventualmente igualar a força da gravidade e então a partícula cairá com velocidade constante, chamada velocidade terminal. Considerando uma partícula esférica com raio r , a força de atrito é dada pela lei de Stokes:

$$\vec{F} = -6\pi r\eta\vec{v}$$

onde:

\vec{F} é a força de fricção,

r é o raio de Stokes da partícula,

η é a viscosidade do fluido, e

\vec{v} é a velocidade da partícula.

No equilíbrio, quando a velocidade for constante:

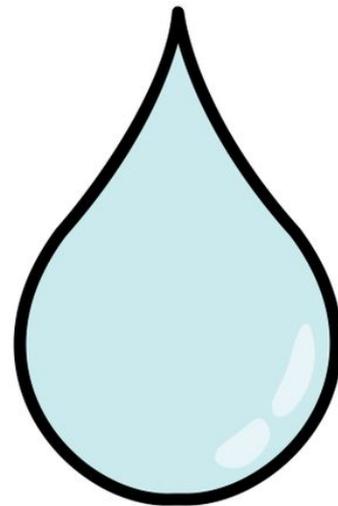
$$6 \pi r \eta v = mg$$

Lembrando que a massa m é igual ao produto da densidade pelo volume, onde $v = \frac{4}{3} \pi r^3$

$$6 \pi r \eta v = \rho \frac{4}{3} \pi r^3 g \quad \longrightarrow \quad v = \frac{2 \rho r^2 g}{9 \eta}$$

Da equação da velocidade vê-se que quanto maior o raio da gotícula, maior a velocidade terminal. Gotículas que compõem a nuvem tem velocidade terminal em torno de 1,2 cm/s (levaria mais de 50 horas para cair 2200 m). Esta velocidade terminal é facilmente compensada pelas correntes ascendentes dentro da nuvem, que são usualmente fortes o suficiente para impedir as partículas de nuvem de deixar a base da nuvem. Mesmo que elas descessem da nuvem, sua velocidade é tão pequena que elas percorreriam apenas uma pequena distância antes de se evaporarem no ar não saturado abaixo da nuvem.

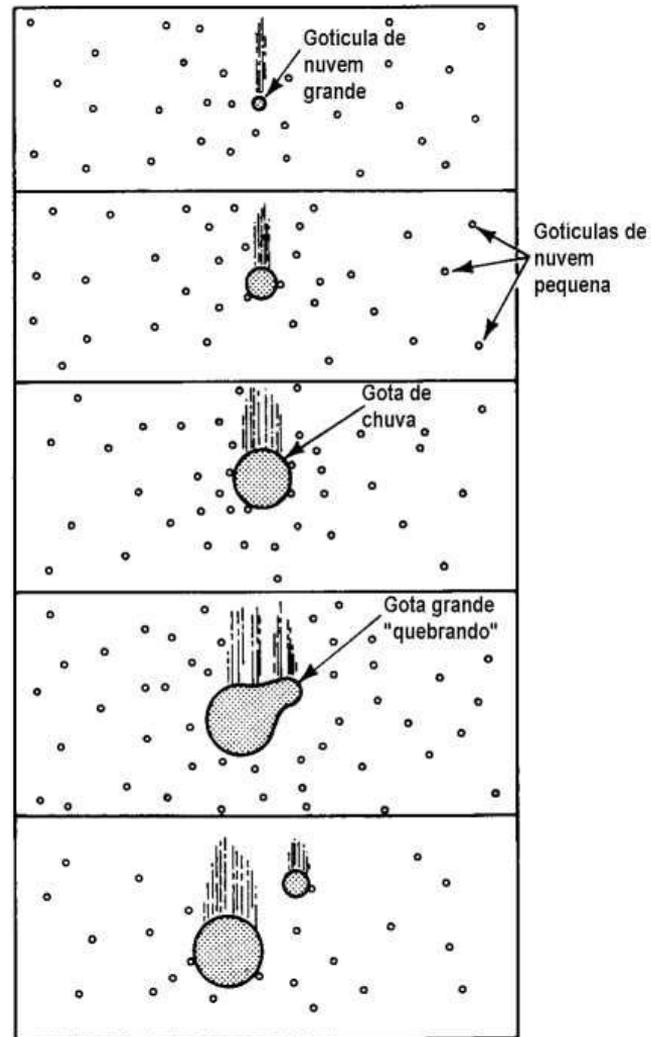
Portanto, as gotículas de nuvem precisam crescer o suficiente para vencer as correntes ascendentes nas nuvens e sobreviver como gotas ou flocos de neve a uma descida até a superfície sem se evaporar. Para isso, seria necessário juntar em torno de um milhão de gotículas de nuvem numa gota de chuva.



Formação das gotas

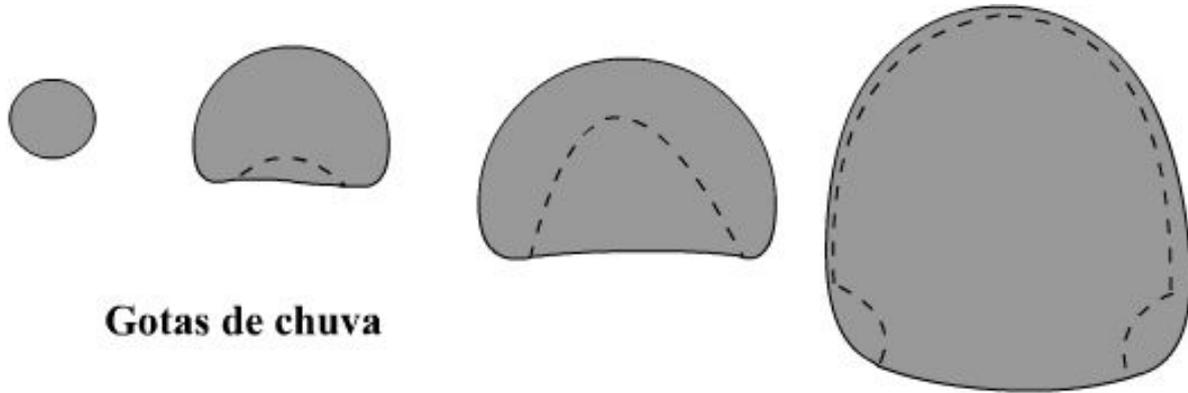
Durante o fenômeno da precipitação, gotas pequenas crescem por condensação de vapor de água. A seguir, elas podem crescer por captura de gotas menores que se encontram em sua trajetória de queda, ou por outros fenômenos.

Quando duas pequenas gotas d'água se unem e, com isto, formam somente uma gota que possui dimensões maiores, dizemos que ocorreu um fenômeno denominado "coalescência".



As menores, com menos de 1 milímetro de raio, na verdade são esféricas. As que crescem mais, começam-se a deformar na parte de baixo, porque a pressão do ar puxando para cima na queda começa a conseguir contrariar a tensão superficial que a tenta manter esférica. Quando o raio excede a cerca de 4 milímetros, o buraco interior cresce tanto que a gota, antes de se partir em gotas menores, adquire uma forma semelhante à de um paraquedas, ou seja, a forma de um saco de paredes finas voltado para baixo, com um anel mais grosso de água em roda da abertura inferior.

As gotas de chuva são muito maiores do que as gotículas das nuvens, que são geralmente menores que 15 micra e podem ficar suspensas no ar por muito tempo. Já as gotas de chuva, por serem muito maiores e mais pesadas, não podem ficar suspensas no ar e, portanto, ocorre a precipitação.



Gotas de chuva

Granizo

O granizo é um caso extremo do processo de coalescência, e ocorre apenas em temperaturas negativas em nuvens do tipo cumulonimbus. Na sua formação, um pequeno pedaço de gelo “passeia” pela nuvem, com fortes correntes ascendentes agregando ao seu redor gotas de água superesfriada através de choques, e congelando-as.



Nuvens e a radiação

Em média, sobre o espectro solar,
as nuvens refletem 74%,
absorvem 10%,
e transmitem 16% da radiação incidente.

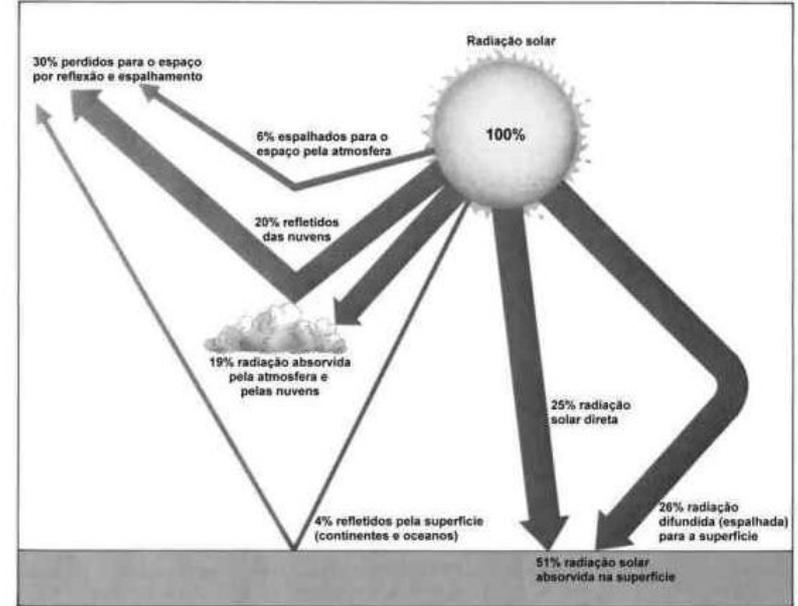
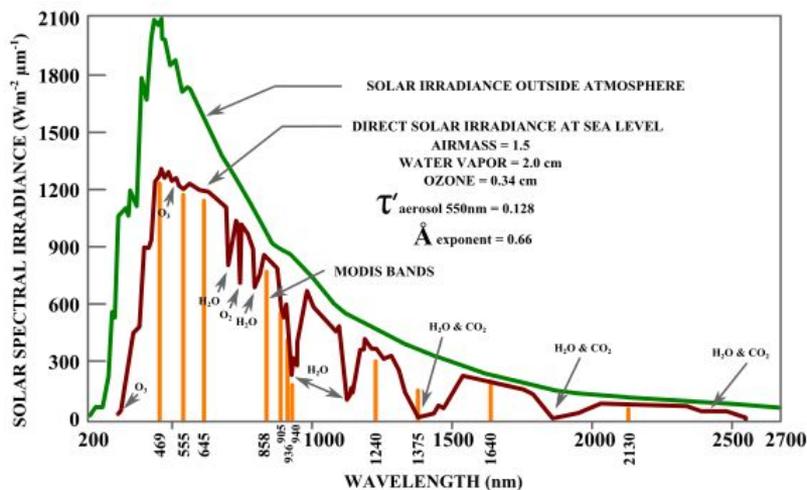


Fig. 2.10 - Distribuição percentual da radiação solar incidente

Nuvens e a radiação



Absorção

- 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

Absorção

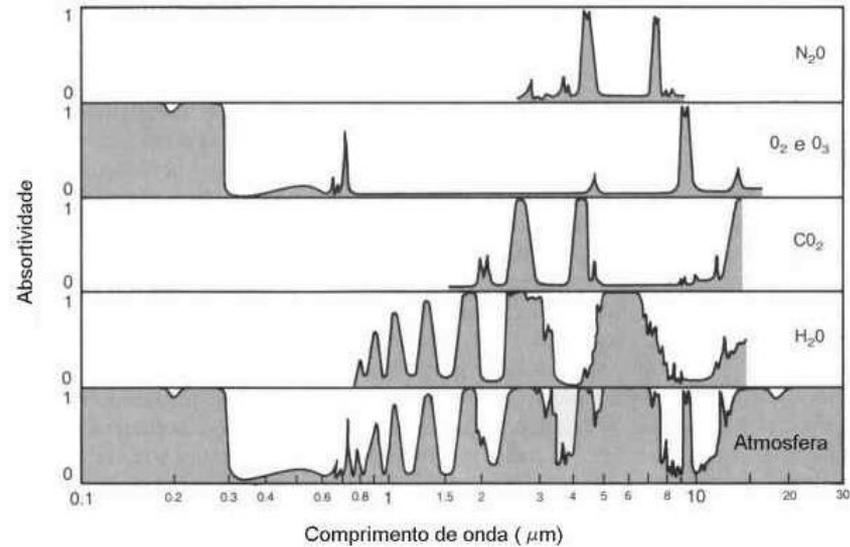


Fig. 2.11 - Absortividade de alguns gases da atmosfera e da atmosfera como um todo.

Radiação refletida

Parte substancial da energia recebida sobre a superfície terrestre é reenviada para o espaço.

As nuvens, as massas de gelo e neve e a própria superfície terrestre são razoáveis refletores, reenviando para o espaço entre 30 e 40% da radiação recebida (enquanto a Lua reflete apenas 7 a 12% da radiação incidente).

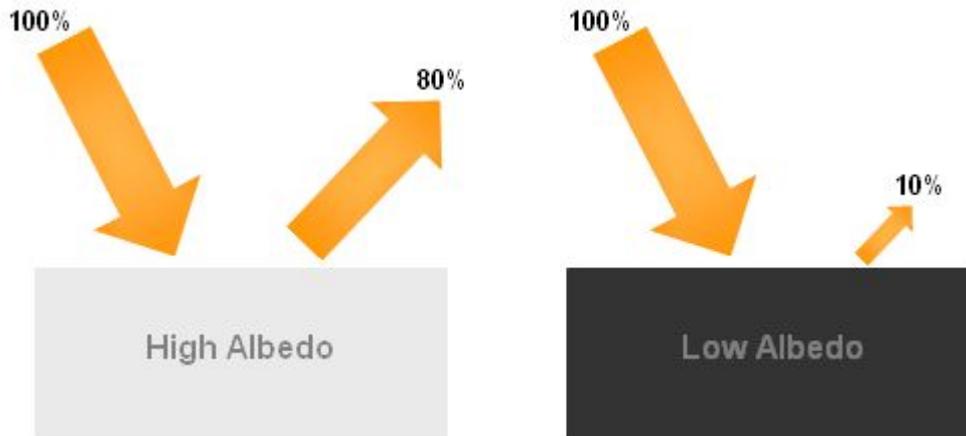
A razão entre a radiação refletida e incidente chama-se albedo.

Radiação refletida

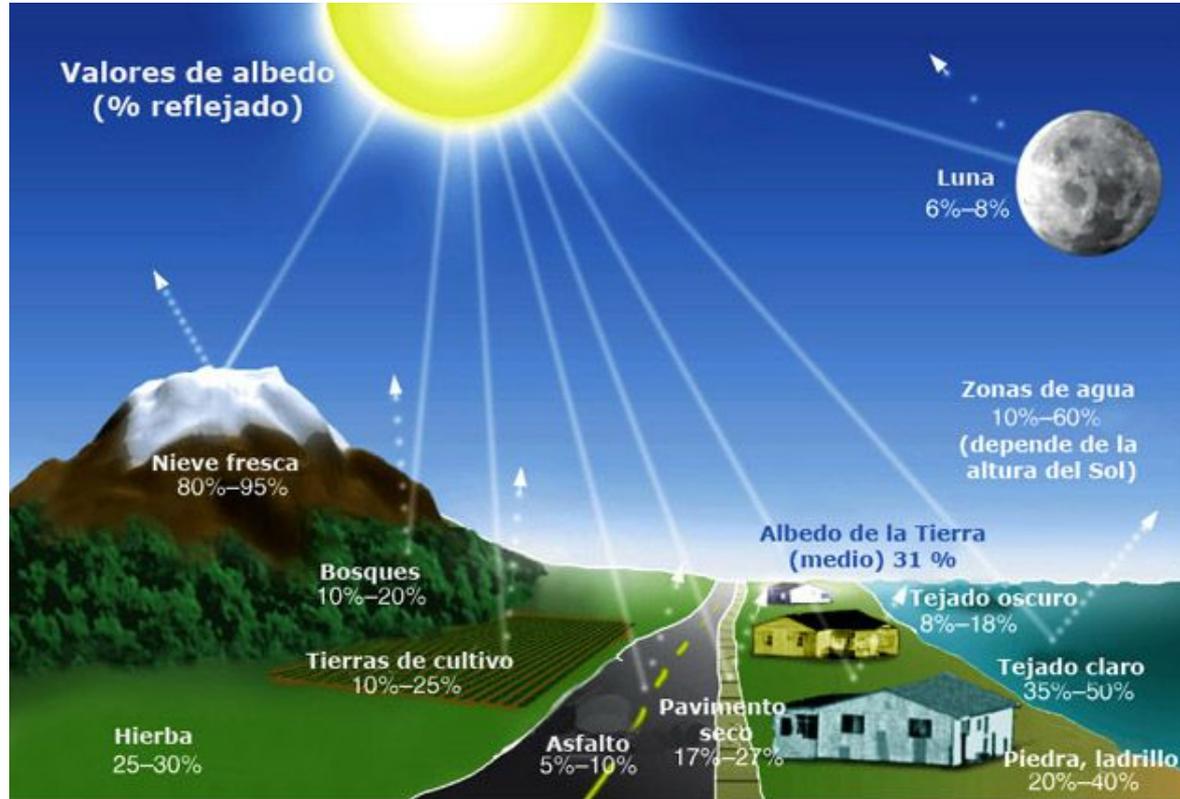
Albedo - poder de reflexão de uma superfície. Ela é a razão entre a radiação refletida pela superfície e a radiação incidente sobre ela

Exemplos de albedos

Superfície	Albedo típico
Asfalto novo	0,04 ^[3]
Asfalto gasto	0,12 ^[3]
Floresta de coníferas (Verão)	0,08, ^[4] 0,09 a 0,15 ^[5]
Árvores caducifólias	0,15 a 0,18 ^[5]
Solo nu	0,17 ^[6]
Gramma verde	0,25 ^[6]
Areia de deserto	0,40 ^[7]
Concreto novo	0,55 ^[6]
Gelo oceânico	0,5-0,7 ^[6]
Neve recente	0,80-0,90 ^[6]

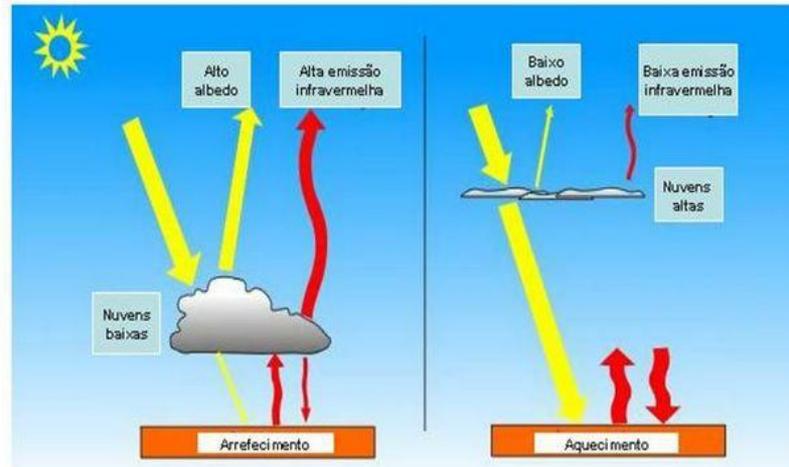


Albedo

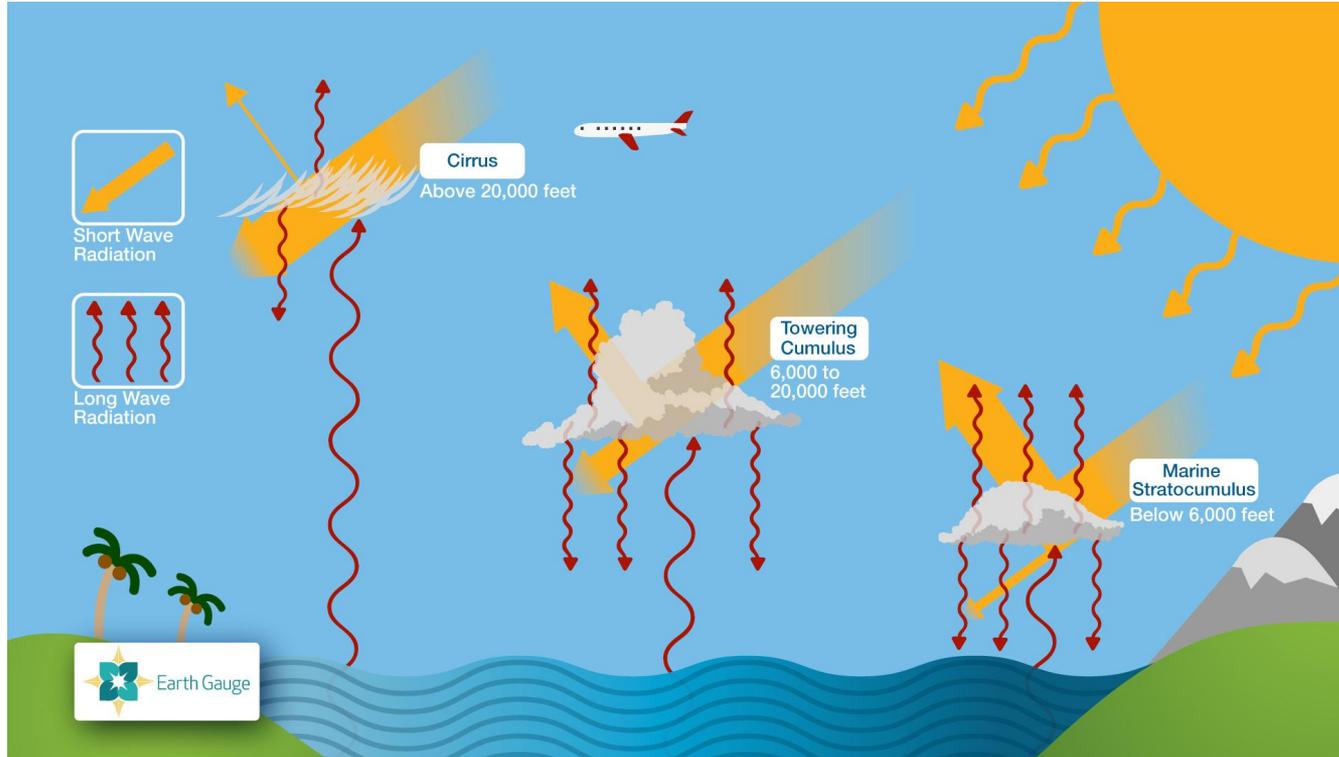


Radiação refletida

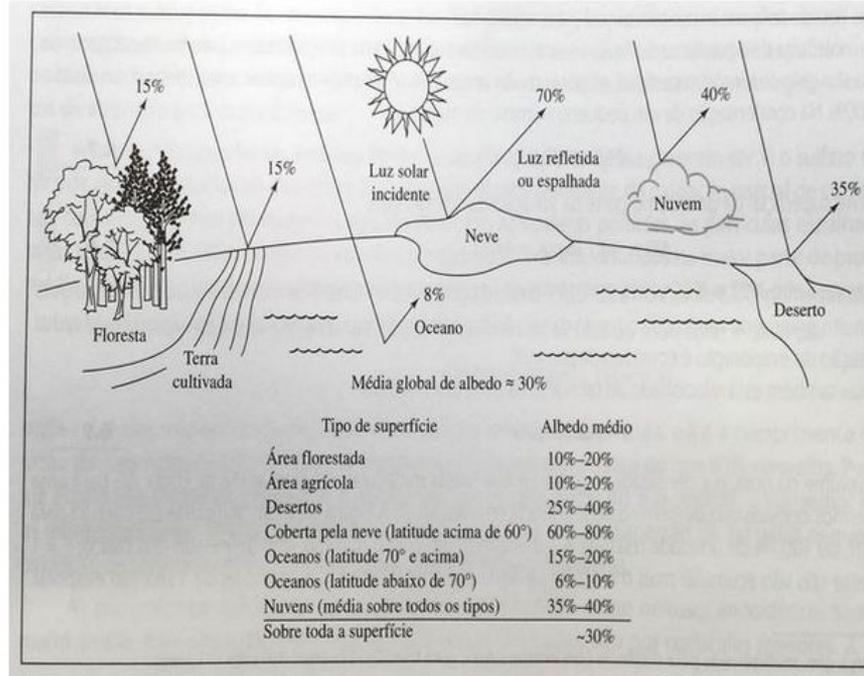
O albedo das nuvens tem influência substancial nas temperaturas atmosféricas. Tipos diferentes de nuvens possuem reflexividades diferentes, teoricamente variando em albedo de perto de zero para um máximo que se aproxima de 0,8.



Radiação refletida



Radiação refletida



Conclusão

“As nuvens continuam sendo uma das áreas de maior incerteza nos modelos climáticos.”

As nuvens têm papel crucial no ciclo da água e participam de diversos processos importantes para a vida e o meio ambiente.

As nuvens aprisionam o calor radiante da Terra, causando o aquecimento. As nuvens refletem a luz solar impedindo-o de atingir a Terra, causando resfriamento. As nuvens também transportam o calor da superfície da Terra até o topo da troposfera, fazendo com que a superfície se esfrie.