Aula 7

Retro-espalhamento de particulas sólidas e em fase de derretimento

Battan, Capítulo 5

A. Retro espalhamento de pequenas esferas de gelo derretendo (ex. Graupel)

Ryde (1946) estudou as características do retro espalhamento de partículas esféricas em derretimento, aonde o regime de Rayleigh era válido. Naquele estudo, ele assumiu que as particulas eram uma mistura homogênea de água e gelo durante o processo de derretimento.

Portanto, de acordo com Debye (1929), as propriedades dielétricas de uma mistura homogênea (assume-se que não são absorvedoras) pode ser expressa como:

$$\frac{K}{\rho}(M_i + M_w) = \frac{K_i}{\rho_i} M_i + \frac{K_w}{\rho_w} M_w$$
 (1)

Onde i significa a fase de gelo, w a da água líquida e ρ a respectiva densidade. Conhecendo-se o índice de refração K (água = 0,93 e gelo = 0,197), temos que a seção transversal de retro espalhamento é determinada por

$$\sigma = \pi^5 \lambda^{-4} |K|^2 D_i^6$$
 (2)

Os resultados desta simulação, chamadas de modelo homogêneo, estão disponíveis na Figura 5.1 do Battan. O modelo requer a especificação do diâmetro da partícula

- •O modelo homogêneo não se aplica para a maioria das partículas de gelo. Porém é o mais adequado para agregados em derretimento onde a água líquida está entre o gelo entrelaçado ou gelo com estruturas (flocos de neve, por exemplo). Partículas de gelo com alta densidade, tal qual o graupel e granizo pequeno (tamanho de uma ervilha), desenvolvem uma película/camada de água ou uma casca de água derretida, que aumenta a espessura da partícula derretida.
- •Aden-Kerker (1951) desenvolveram uma teoria para a seção transversal de retro espalhamento de partículas com películas de água. Neste modelo, eles utilizaram uma esfera concêntrica para simular uma partícula de gelo com uma casca de água. Um dos principais resultados obtidos foi que a esfera derretida agia como um alvo de água mesmo que para uma fina camada de gelo. Dessa maneira, eles aplicaram a teoria completa de Mie para esta geometria ($\alpha << 1$) e calcularam a seção transversal de retro espalhamento σ em função do diâmetro derretido (ou fração da água) e compararam com a seção transversal de retro espalhamento equivalente de um alvo completamente derretido, σ_{m^*} Neste exemplo, uma partícula com uma película de 10% do raio age como fosse uma de água essencialmente.

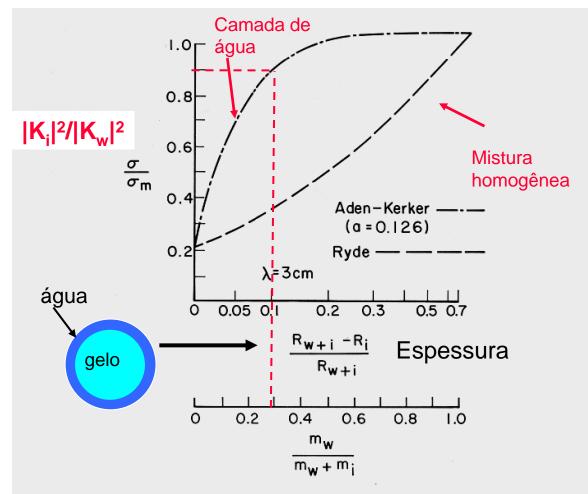


Fig. 5.1. Variation in backscattering of a melting ice sphere as a function of melted mass: dashed curve, results of calculations from Ryde's theory, which assumes that the particle consists of a homogeneous mixture of water and ice; dot-dash curve, a shell of water surrounding an ice sphere. From Langleben and Gunn (1952).

Battan (1973)

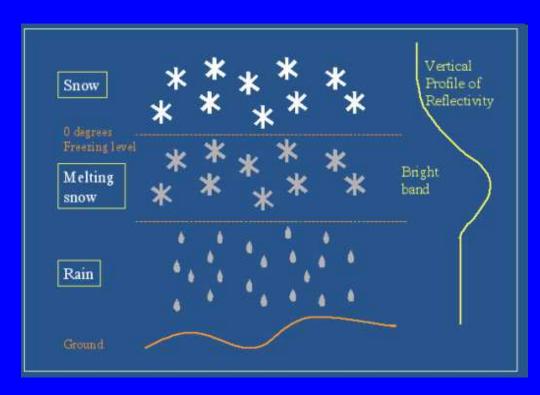
σ_m → Seção transversal de partícula derretida

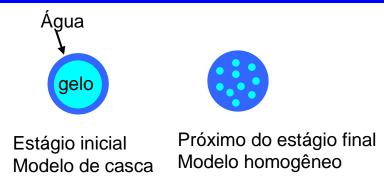
σ → Seção transversal de partícula c/ camada de água

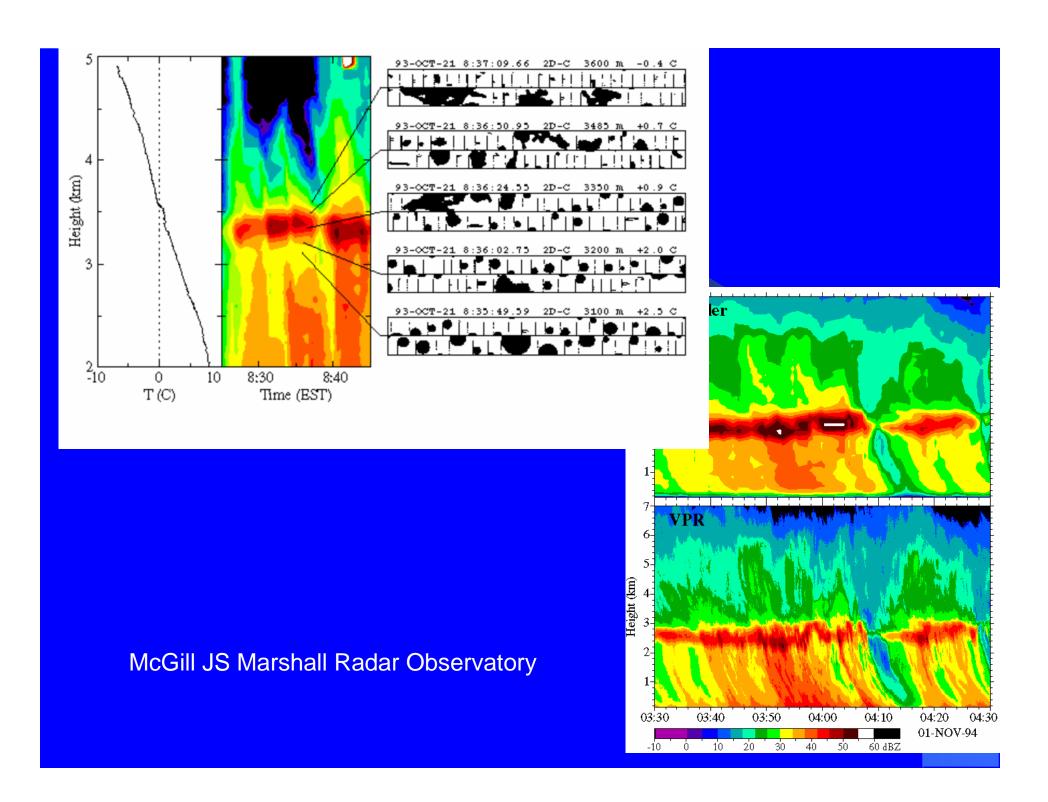
Perceba que quando um décimo da esfera já tenha derretido, o σ é 90% da de uma puramente de água. Um graupel de 0,5 mm de diâmetro agiria essencialmente como um alvo liquido se tivesse uma casca de 0,05 mm de espessura $(\lambda = 3 \text{ cm})$. Como este resultado dependende de λ, para uma banda S seria necessário uma camada de 0,165 mm de espessura.

Banda Brilhante do Radar

Uma consequência óbvia do rápido aumento da seção transversal de retro espalhamento com o derretimento do gelo é o aparacimento da banda brilhante do radar, comumente observado nas precipitações estratiformes. Nestas situações, as particulas de gelo, em geral agregados, se deslocam para baixo e sofrem derretimento dentro de uma camada de algumas centenas de metros. Bandas brilhantes bem acentuadas estão associadas com grandes agregados, os quais podem ter 1 cm de diâmetro.







Physical Mechanisms Responsible for the Radar "Bright Band" in Z

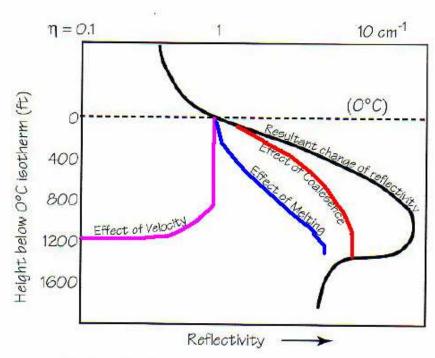


Figure 8.3 Schematic drawing showing the effects of particle coalescence, melting, and changes in the terminal velocity on radar reflectivity through the bright band. From Austin and Bemis, 1950. Zero height is the freezing level. Radar reflectivity η is given along the top of the figure.

Source: Rinehart (2004)

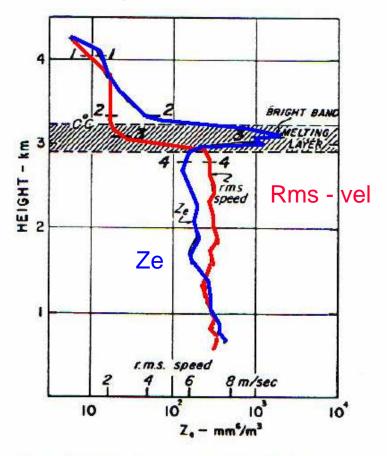
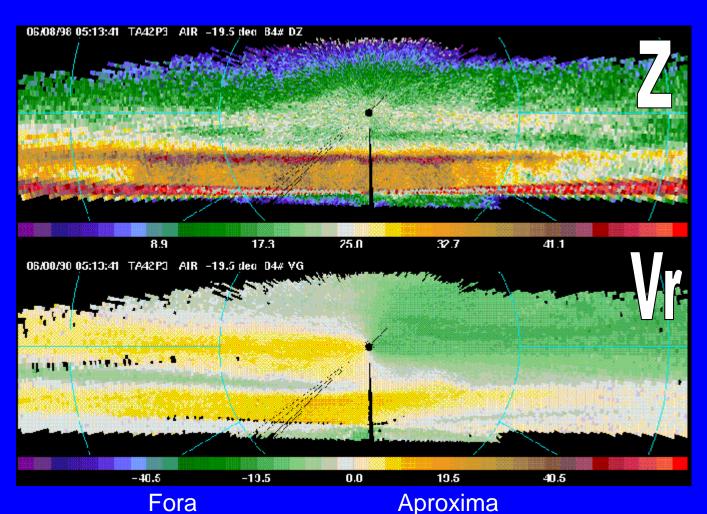


Figure 8.4 Simultaneous profiles of reflectivity factor z and root-mean-square particle fall speeds in light (1 mm/h), steady precipitation with a bright band. Based on Lhermitte and Atlas, 1963.

Banda Brilhante:

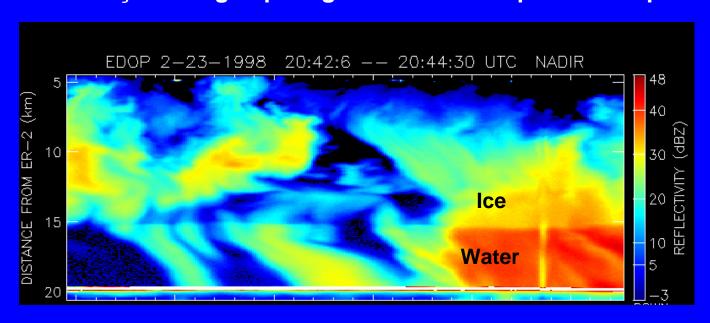
Uma caracteristica unica para radares

- 1. Derretimento, agregados com camadas de água parecem gotas grandes de água para o radar
- 2. O fator dielétrico diminui ao longo da camada de derretimento
- 3. Gotas se quebram e a velocidade de queda muda abaixo do nível de derretimento

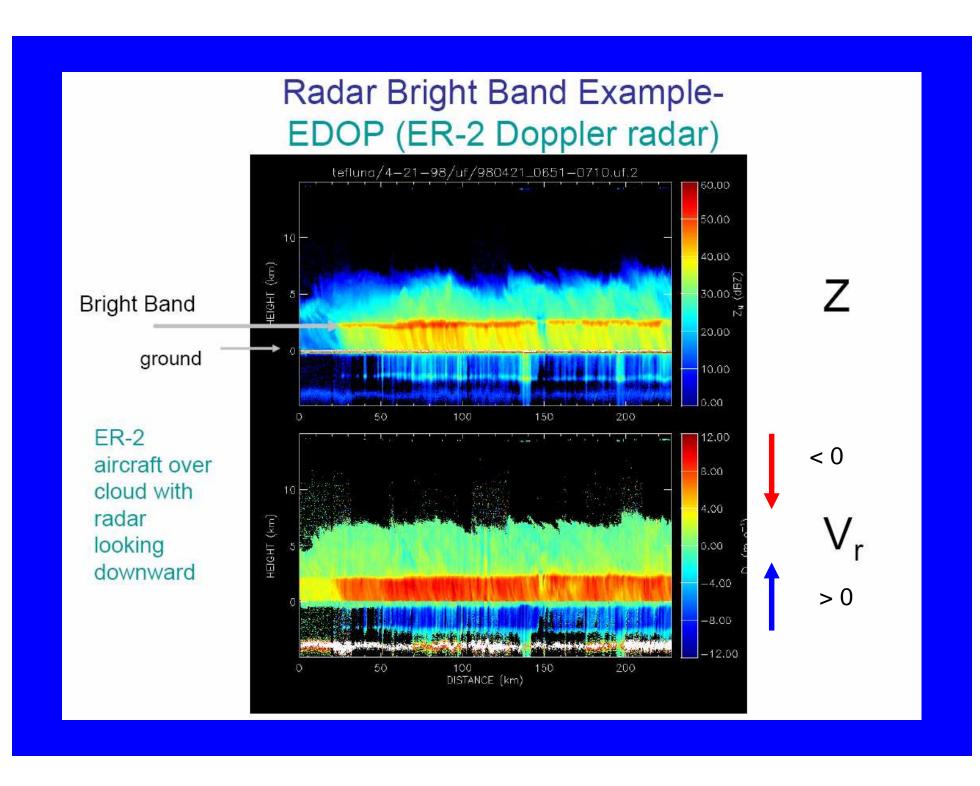


Note: Só é
necessário ~ 10%
do diâmetro da
partícula para
cobrir uma
partícula de gelo e
fazer com que ela
se assemelhe a
uma gota grande
de água.

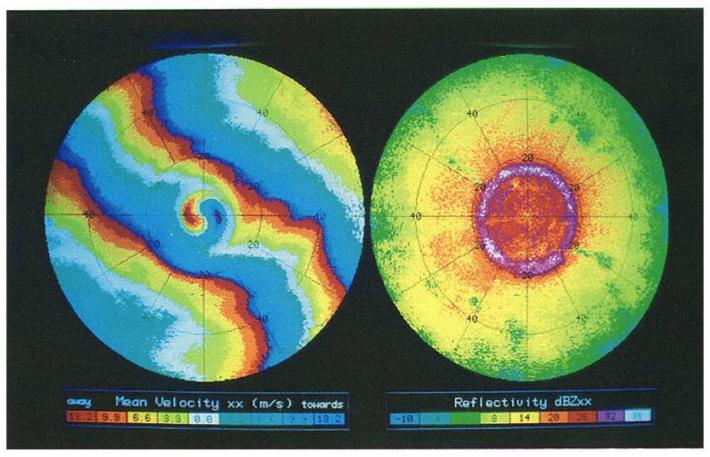
Transição de água para gelo em uma tempestade tropical



Transição ao longo do nível de derretimeto é ~ 5-10 dBZ



Radar Bright Band – Excellent PPI example



PPI, Elevation: 6.5° PRF = 1100 Hz C-band V_r

Z

Rinehart (2004) - back cover

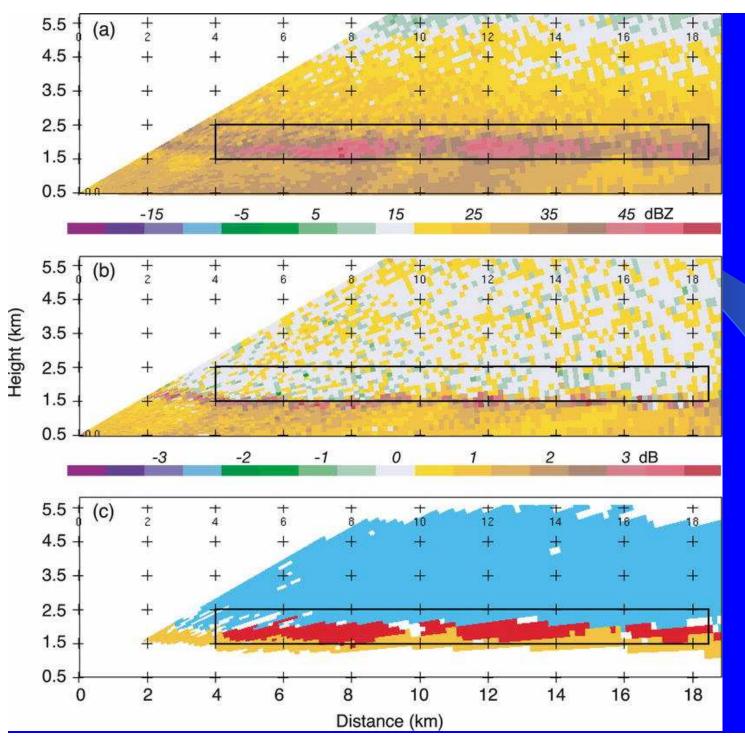
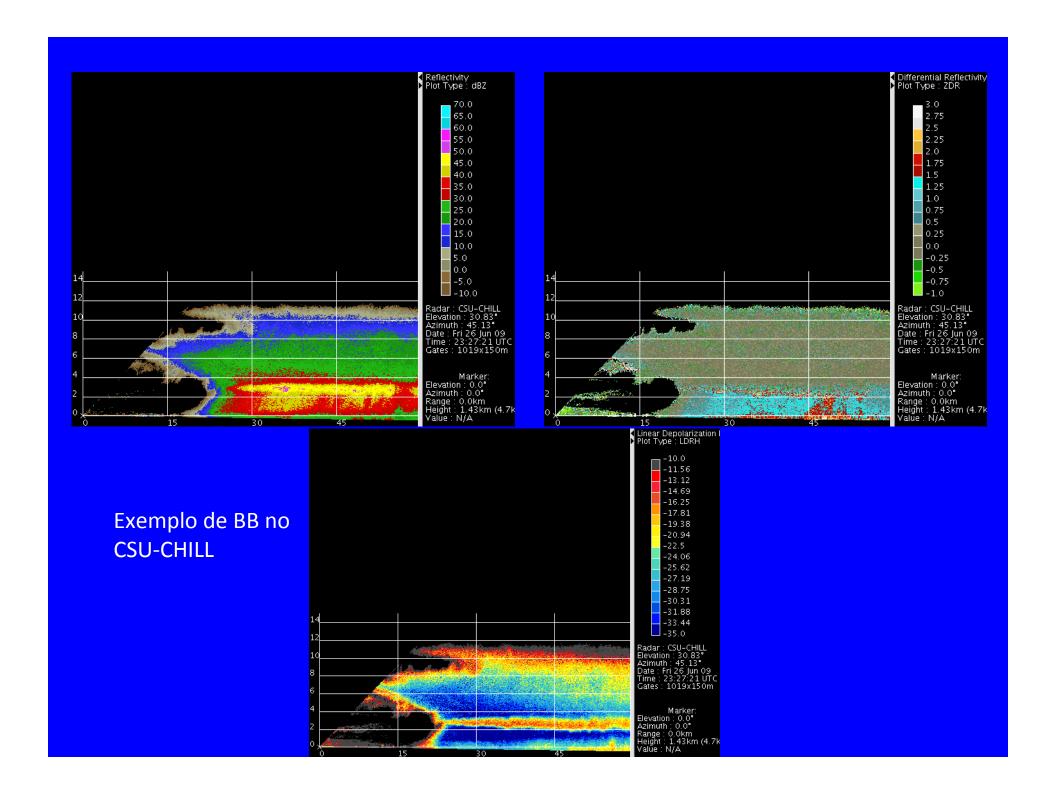
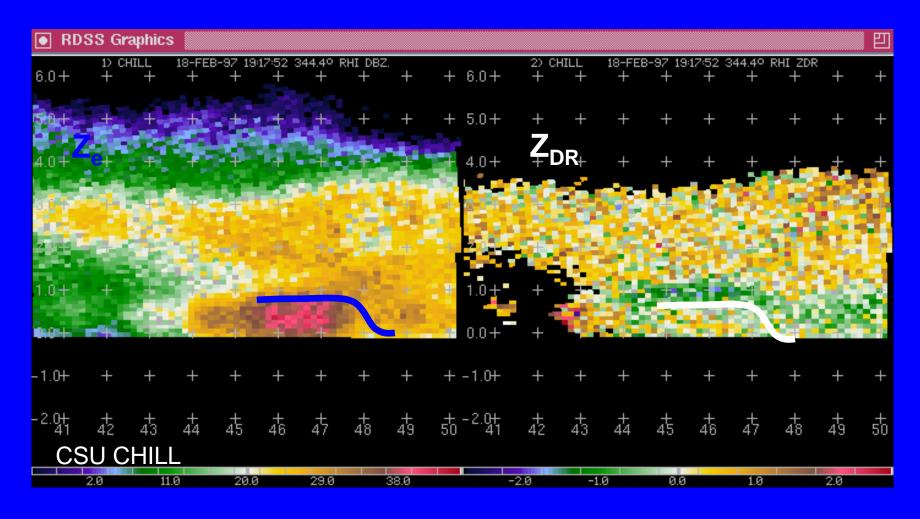


Fig. 10. NCAR S-Pol radar RHI at 2100 UTC 13 Dec 2001 for an azimuth of 80° showing (a) Z; (b) ZDR, e (c) tipo de hidrometeoro. cyan = neve vermelho = graupel ou agregado seco, laranja = agregado derretendo

Houze, Robert A., Socorro Medina, 2005: Turbulence as a Mechanism for Orographic Precipitation Enhancement. *J. Atmos. Sci.*, **62**, 3599–3623.



Chuva-Neve → aplicação de radar Polarimétrico



Retro espalhamento por partículas grandes e cobertas de água

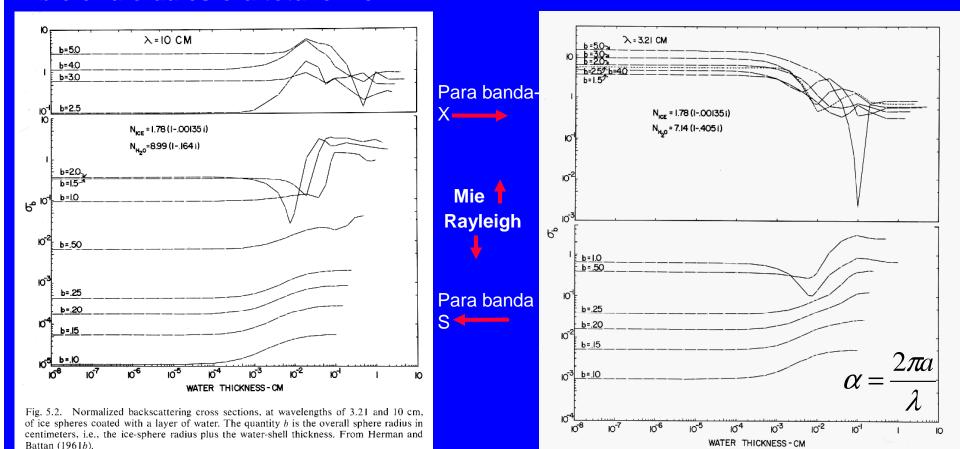
B. Retro Espalhamento por esferas grandes e no regime não Rayleigh

- Atlas et al. (1960) suspendeu artificialmente pedras grandes de granizo a partir de um balão cativo e observou o retro espalhamento destas particulas a medida que elas derretiam.
- Para grandes esferas, o retro-espalhamento diminuia a medida que o granizo era coberto com água líquida que provocava um aumento da absorção e do espalhamento na direção de propagação da onda.
- Resultados quantitativos eram difíceis de se obter neste experimento, porém qualititativos eram obtidos.

- Mais tarde, Hermann e Battan (1961) aplicaram a teoria Mie para grandes esferas de gelo cobertas com água liquida. Sendo que eles calcularam para os comprimentos de onda de 3,21, 4,67 e 10 cm e esferas de 0,2 a 8 cm. Finalmente eles calcularam a seção transversal de retro espalhamento em função da espessura da água, ou seja, desde 10-8 cm até o tamanho de uma esfera completamente de água.
- Os resultados estão disponíveis na Fig. 5.3 do Battan (1973).
- Este modelo pode ser aplicado para granizo molhado (granizo que cresce em uma regime molhado; a sua superfície é coberta por uma película de água). Sendo que neste caso, a espessura da película de água que cobre o granizo é suficiente para que o retro-espalhamento desta particula aja como se fosse um alvo de água. (Imagine uma bola de água de alguns cm!!!!)

Esferas grandes

b é o raio da esfera total em cm



Para pequenos valores de α , σ b (seção transversal normalizada) aumenta a medida que a esfera derrete. Quanto α se aproxima ou excede a unidade, as variações de σ b com a espessura da película de água tornam-se erráticas, dependendo do diâmetro e do comprimento de onda. *Este comportamento errôneo para altos valores de \alpha está associado ao efeito Mie,* incluindo a interferência de ondas refletidas pela superficie de esfera e pela transição entre água-gelo e ondas espalhadas a partir da superfície.

Granizo esponjoso

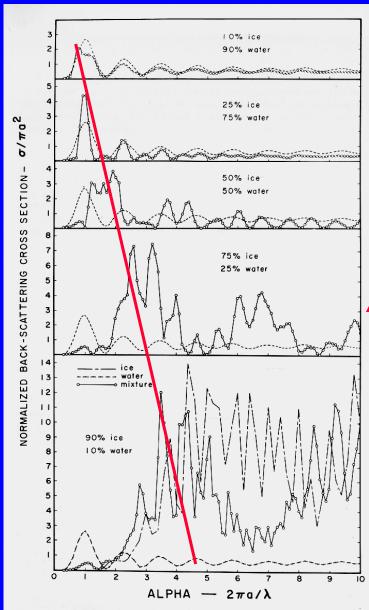


Fig. 5.3. Normalized backscattering cross sections of spongy ice spheres: dot-dashed line, solid ice; dashed line, all-water spheres. From Battan and Herman (1962).

C. Granizo esponjoso

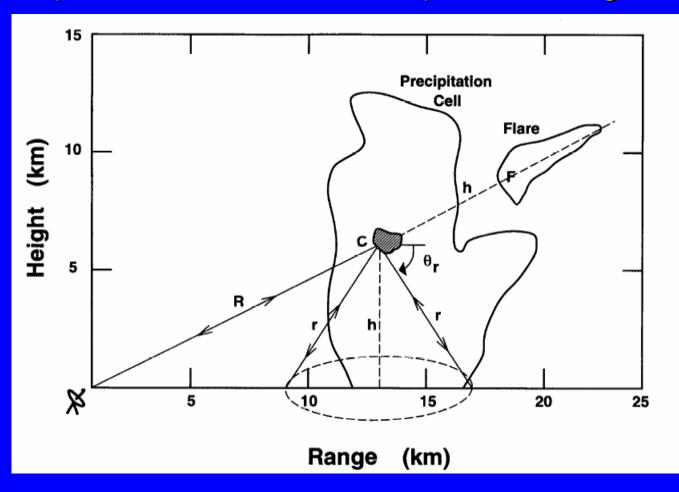
O granizo esponjoso é definido como granizo que cresce em ambiente molhado e assim tem uma mistura de gelo e água. Quando o granizo está subindo, 50% da massa pode ser água. A água é retida em uma malha de gelo. Battan e Herman (1962) calcularam a seção transversal de retro espalhamento para gelo esponjoso e esferas de gelo cobertas com gelo esponjoso. A fração de água neste gelo esponjoso variava entre 0 e 1. O fator dielétrico da rede gelo-água foi tratado como um dielétrico não absorvedor (eq 2), onde os fatores dielétricos do gelo e da água são pesados de acordo com o volume de gelo e água respectivamente. Fig. 5.3 do Battan (1973).

Fração água aumentando

A medida que a fração água aumenta, o valor máximo de σb se desloca para valores pequenos de α como resultado da absorção da água. A amplitude de σb diminui a medida que a fração de água aumenta, também devido à absorção. Estes calculos foram feitos para esferas de gelo esponjosas.

Efeitos do granizo

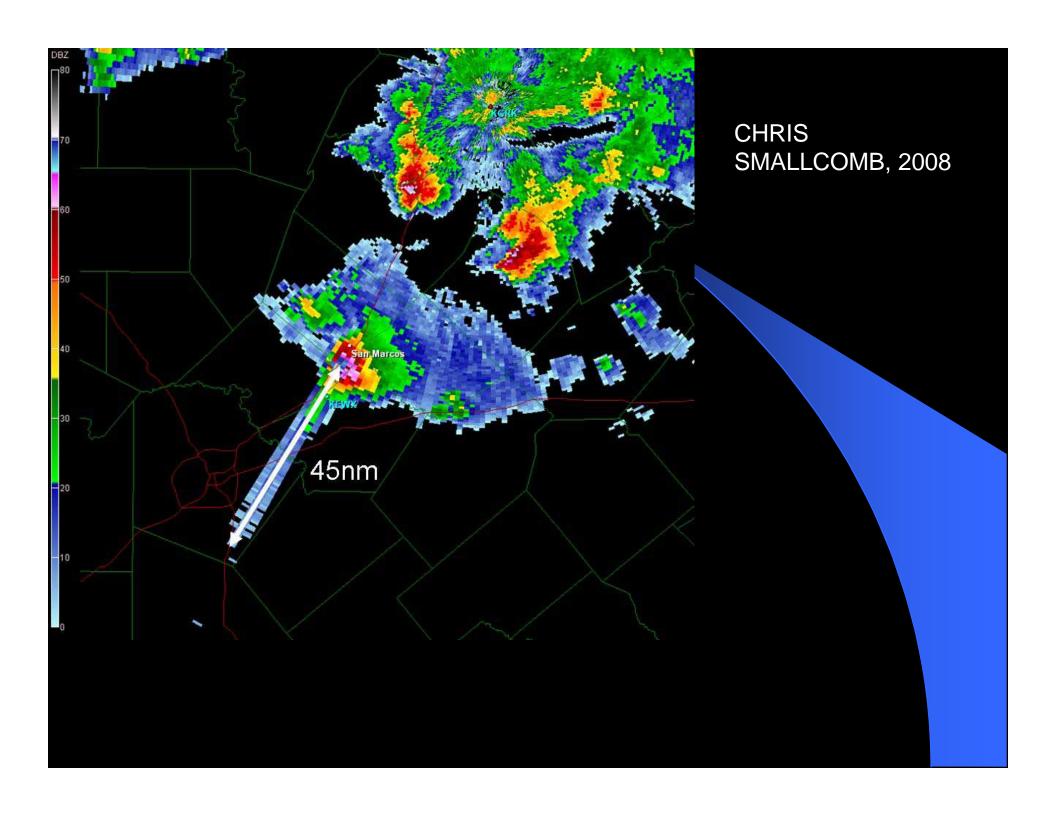
Espalhamento 3D de um corpo: Ecos de granizo alargados.



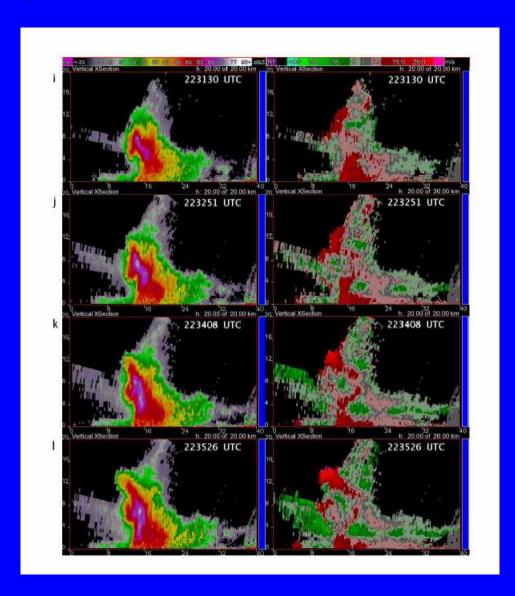
Wilson e Reum (1988)

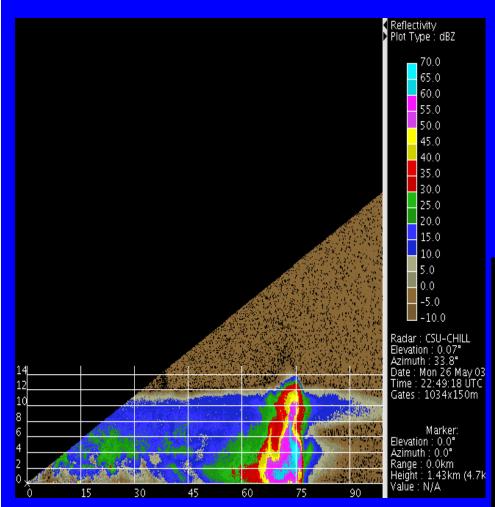
Lemon, 1998

- Espalhamento não-Rayleigh de alvos grandes
 (Banda S granizo; Banda C gotas grandes e granizo)
- Potência refletida a partir do chão é proporcional a r-3
- Granizos > 2 cm provocam este efeito em radares Banda S



Exemplo em RHIs





Hail flare echo

Hubbert and Bringi (2000)

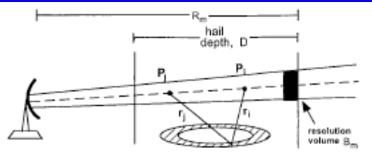
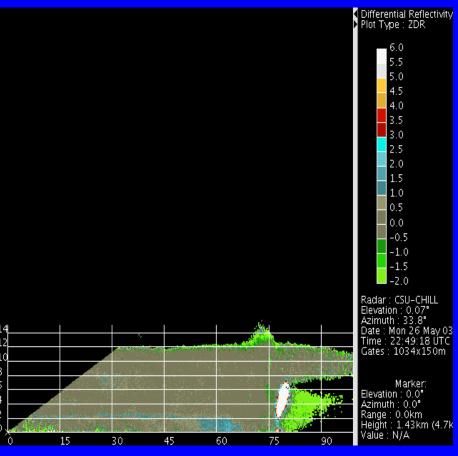
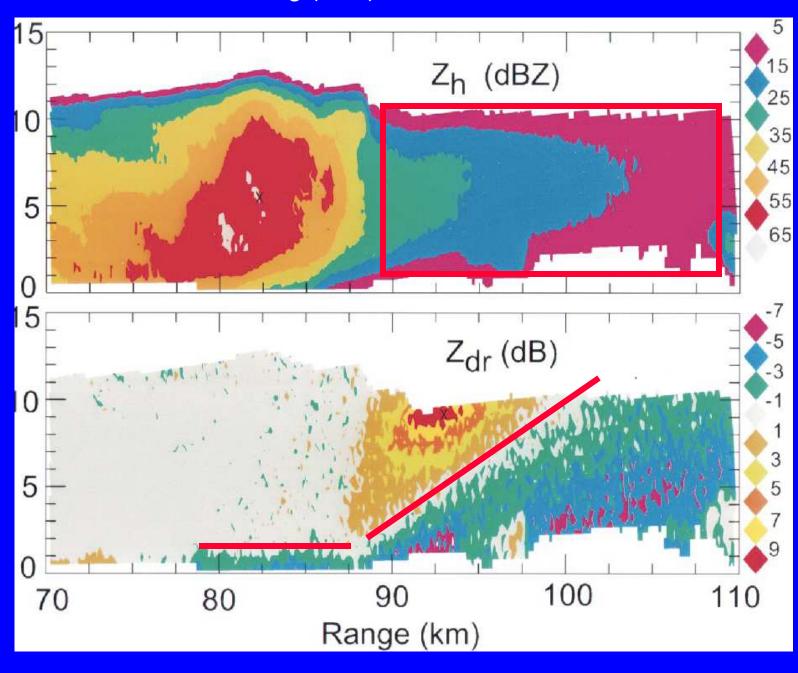


Fig. 2. A schematic of three-body scattering. Signal path: radar \rightarrow particle $P_i \rightarrow$ ground \rightarrow particle $P_j \rightarrow$ radar. The hatched area represents the area on the ground where the three-body path has the same time delay as the direct path from the radar to the resolution volume B_m .



Hubbert and Bringi (2000)



O que devemos levar em conta quando estamos observando gelo?

Sabemos que Ze está ajustado para |K|² da água. Mas o que ocorre quando estamos olhando para o gelo. (Tema da lista!!!)??

(Smith, 1984, J. Climate and Applied Met., 23, 1258-1260)?

Para gotas de água em regime Rayleigh, temos que Z = Ze. Onde Ze é aplicado para um regime Mie. Logo para o gelo temos:

$$Z_{gelo} = \frac{\left|K_{\acute{a}gua}\right|^{2}}{\left|K_{gelo}\right|^{2}} Z_{e}$$

Tirando o $10\log(X)$ e lembrando que $10\log(Z) = dBZ$, temos:

$$dBZ_{gelo} = 10\log\left\{\frac{\left|K_{agua}\right|^{2}}{\left|K_{gelo}\right|^{2}}\right\} + dBZ_{e}$$

Substituindo os valores de $|K|w^2$ e $|K|i^2$, isso implica que temos que somar ~ 7 dB nas nossas medidas em dBZ de forma a termos os valores de fator refletividade do radar adequados para o gelo.

Moral da estória

 Este efeito causa uma diminuição imediata nas medidas de dBZe quando da transição entre água e gelo e vice-versa. Logo, temos que fazer esta correção quando estamos interessados em calcular o conteúdo gelo a partir das medidas de refletividade