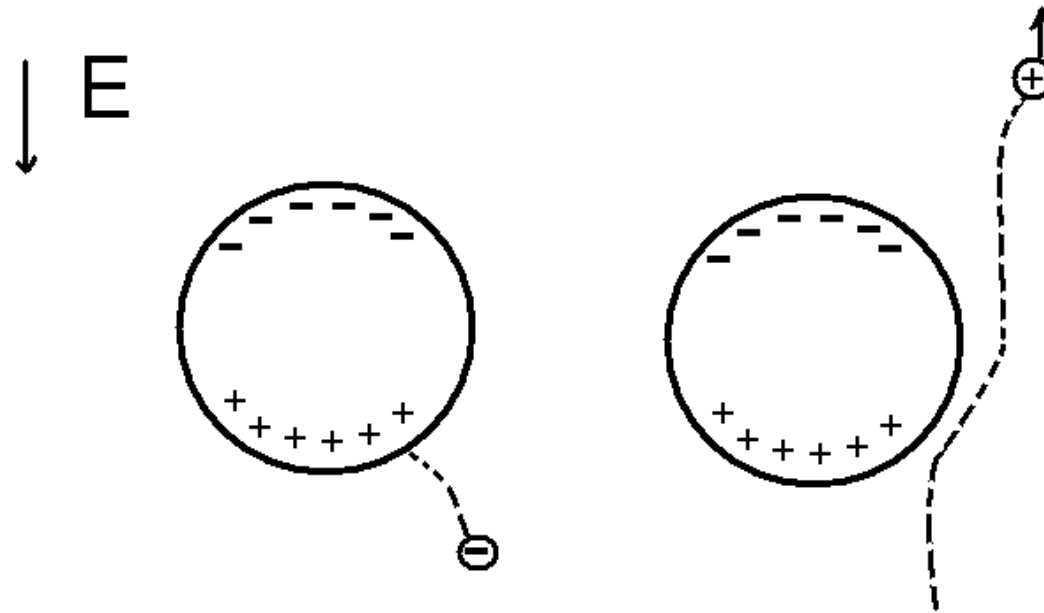


# ***Mecanismos de Eletrificação em Nuvens***

Os mecanismos de carregamento podem variar entre 0 a  $100 \times 10^{-12}$  C de carga.

# Captura de Íons (Seletivo)

- Os hidrometeoros que precipitam se tornam polarizados na presença de um Campo Elétrico, e ao caírem em relação aos íons que se movem sob a influência do vento e do Campo Elétrico, os íons de mesmo sinal, tais como na parte inferior dos hidrometeoros seriam repelidos, e os íons de sinal oposto seriam atraídos e capturados.

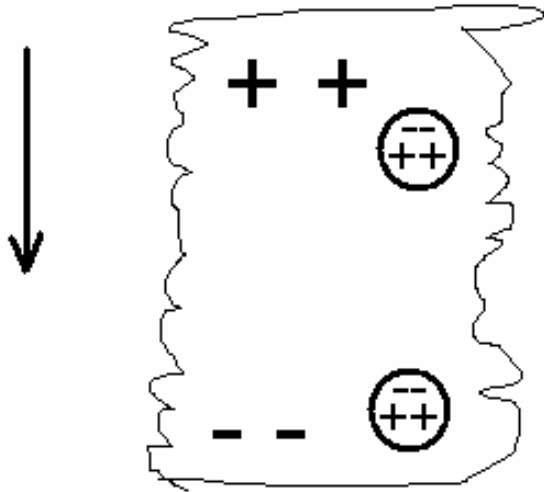


Para este mecanismo funcionar, o movimento dos íons associados ao Campo Elétrico tem que ser menor que a velocidade dos hidrometeoros. Se a velocidade de deriva dos íons for maior que a Velocidade terminal da partícula precipitante, os íons de mesma polaridade do que a parte inferior do hidrometeoro podem ser capturados na parte superior do hidrometeoro. Dessa maneira ambas as polaridades podem ser capturadas.

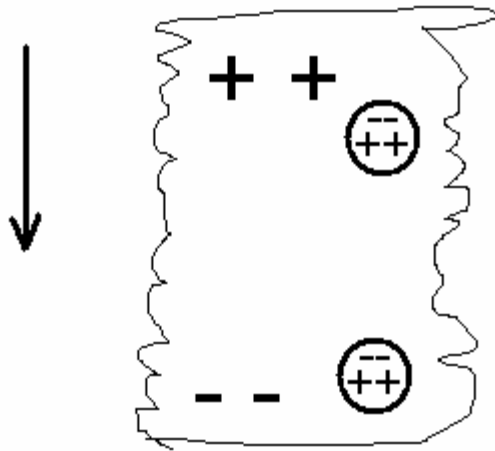
A carga máxima que pode ser acumulada em um hidrometeoro é expressa por:

$$q_{\max} = 12\pi\varepsilon \left| \vec{E} \right| r^2$$

onde  $\varepsilon$  é a permissividade elétrica da substância, e “r” é o raio da gota



- Os hidrometeoros nas camadas de região negativa capturam íons (-), os quais tendem a aumentar a carga (-) nesta região de dipolo.
- As partículas da região superior positiva devem capturar íons positivos (+), uma vez que eles são carregados para cima pelas correntes ascendentes e os íons (+) são deslocados para baixo devido a velocidade de deriva.



- Em Tempestades, entretanto, a concentração de íons é insuficiente para uma captura “seletiva” de íons, a qual faça uma contribuição substancial para o desenvolvimento do Campo Elétrico.
- Abaixo da base da nuvem a concentração de íons pode ser alta devido aos pontos de descarga.

Se os processos seletivos de captura de íons são considerados a partir das condições iniciais como as encontradas em “bom tempo” (com densidade e campo elétrico de bom tempo), simulações numéricas sugerem que o campo elétrico pode crescer até  $\sim 10$  kV/m, o que é muito pequeno quando comparado com medidas em tempestades ( $\sim 100$  kV/m).

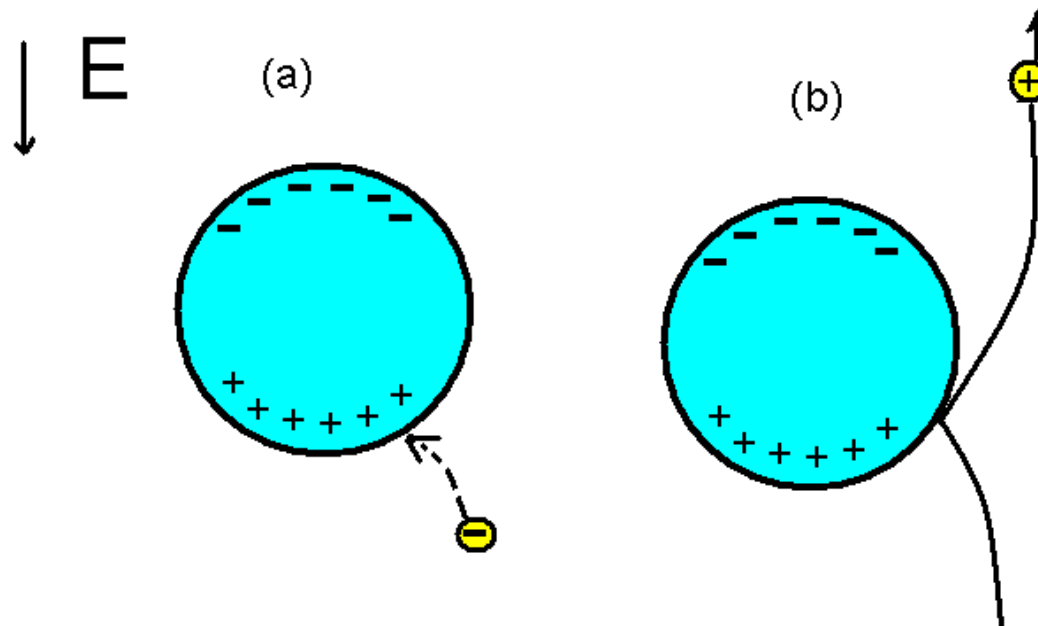
Este mecanismo é observado em nuvens eletrificadas fracamente, logo se conclui que não devem produzir relâmpagos.

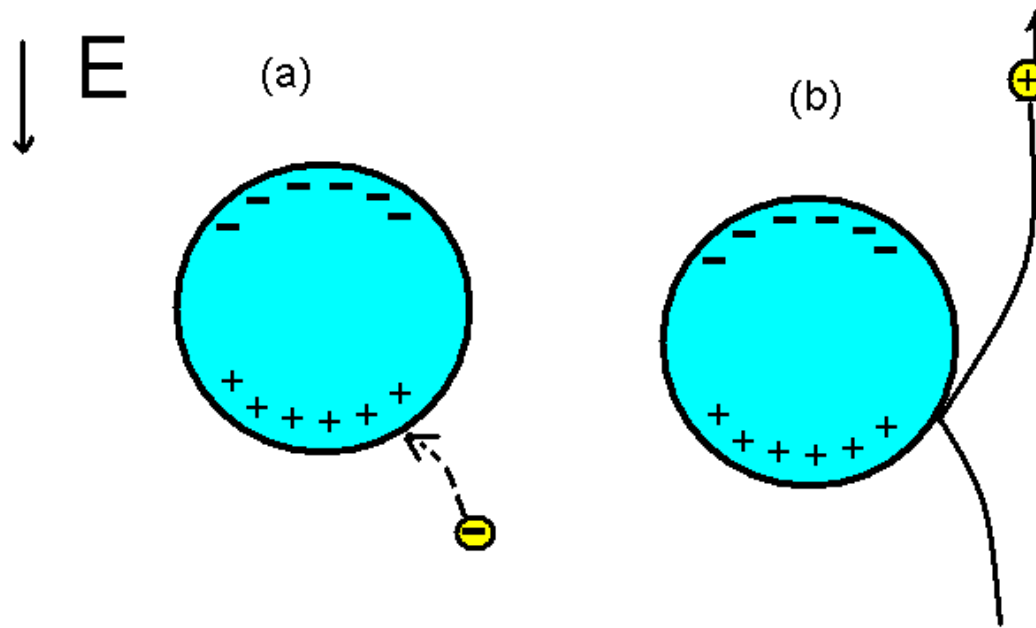
# Carregamento indutivo a partir de partículas que rebatem

- Este mecanismo também é conhecido como mecanismo indutivo de partícula-partícula.
- Este processo baseia-se em um grau de polarização prévia devido a existência de um Campo Elétrico ambiente.
- O grau de polarização é diretamente proporcional à força aplicada pelo campo elétrico.



- A transferência de carga entre 2 hidrometeoros carregados é bem complicado, pois a indução de cargas em cada hidrometeoro é modificado com a aproximação de um outro hidrometeoro.
- Em princípio as partículas de chuva ao colidirem com as partículas de nuvens, transferem cargas da seguinte forma:





(a) A partícula de nuvem (amarela negativa) recebe cargas positivas a partir da base da camada das partículas da chuva

(b) A partícula que rebate carrega uma carga positiva resultante, ou o sinal da carga da base das partículas grandes;

Vários autores sugerem que o aumento de cargas nestas partículas pode ser descrito por:

$$dq = 4\pi\epsilon\gamma_1 \left| \vec{E} \right| R_{peq}^2 \cos \theta_{E,R} + AQ_{grande} - BQ_{pequeno}$$

$AQ_{grande} - BQ_{pequeno} \implies$  Termo Indutivo

$\left| \vec{E} \right| =$  Magnitude do Campo Elétrico Ambiente

$\theta_{E,R} =$  Ângulo formado entre o vetor do “E” e o ponto de impacto na superfície da partícula grande

$Q_{pequeno} \rightarrow$  carga da partícula pequena (carga já existente)

$Q_{grande} \rightarrow$  carga da partícula grande antes do impacto

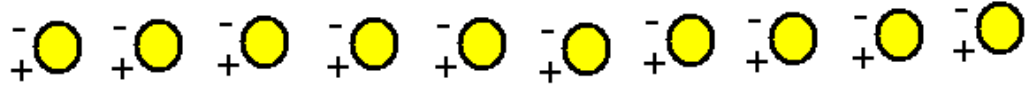
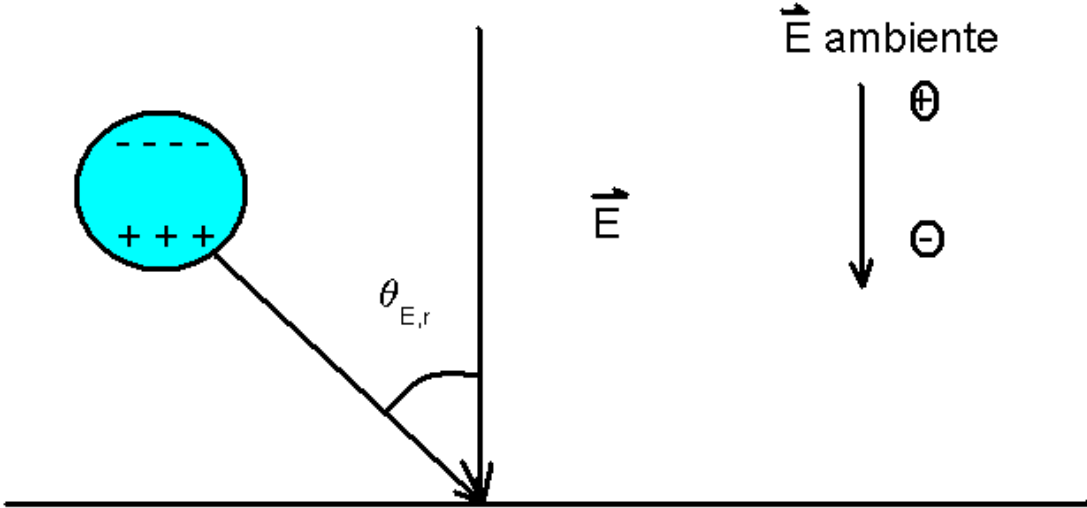
A, B e  $\gamma$  são parâmetros de escala.

$$A = \frac{\left(\frac{R_{peq}}{R_{grande}}\right)^2 \gamma_2}{1 + \left(\frac{R_{peq}}{R_{grande}}\right)^2 \gamma_2}; B = \frac{1}{1 + \left(\frac{R_{peq}}{R_{grande}}\right)^2 \gamma_2}$$

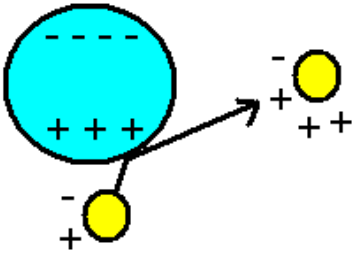
Rpeq/Rgde	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
$\gamma_1$	$\pi^2/2$	3.9	3.10	2.55	2.06	$\pi^2/6$
$\gamma_2$	$\pi^2/6$	1.36	1.21	1.11	1.04	1.0

$\gamma$  em função de Rpeq/Rgde

# Analisando a dependência angular.

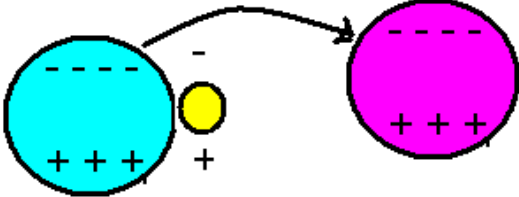


$\theta_{E,r} = 0$



Carrega Q+

$\theta_{E,r} = 90$



Processo Indutivo

- Neste mecanismo indutivo, existe uma dependência na separação das colisões. Se existe coalescência, não há um aumento no Campo Elétrico. Se o Campo Elétrico aumenta, a polaridade dos hidrometeoros cresce, o que provoca uma separação de cargas mais favorável.
- Como a coalescência varia em funções de  $\theta_{E,R}$  ?

*Coalescência aumenta com o ângulo.* Então isso pode afetar o aumento de dQ?

Se  $\theta_{E,R}$  diminui, existe uma baixa probabilidade de coalescência e um alta separação.

Se  $\theta_{E,R}$  aumenta, existe uma alta probabilidade de coalescência e baixa separação, ou seja, a probabilidade de separação de partículas decresce.

# Condições para que o mecanismo indutivo seja eficiente:

- Partículas que colidem devem se separar;
- Tempo de contato entre as partículas que colidem deve ser longo o suficiente para que as cargas se transfiram de uma superfície a outra;

O Fluxo de cargas é governado pela condutividade da superfície das partículas que colidem.

A condutividade da água é maior que a do gelo;

- 2 gotas → Tempo de contato suficiente para que a condutividade da superfície mova a carga;
- Gota e Partículas de gelo → separação a partir da colisão;
- 2 Partículas de gelo → A condutividade do gelo é muito pequeno para que o transporte seja eficiente durante o tempo de contato;
- O Graupel cresce ativamente a partir da aglutinação;

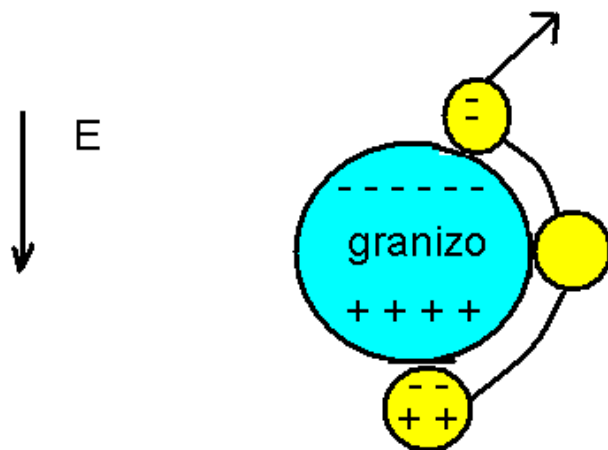


O Debate atual, é que a transferência de cargas entre o graupel e as partículas de gelo que não se aglutinam. Saunders afirma que neste processo existe suficiente transferência de cargas.

# Aumento do número de Cargas

- De forma a aumentar o número de cargas em 2 regiões vizinhas de polaridade opostas, as colisões devem transferir cargas positivas para as partículas que se movem para cima e negativa para as que se movem para baixo (assumindo um modelo de dipolo)

As incertezas ocorrem por causa do nosso pouco conhecimento da natureza das colisões entre as partículas, exemplo:



A gota circula ao longo do granizo antes de haver uma separação. Ela pode sair sem uma carga negativa resultante, o que implicaria que o Campo Elétrico ficaria fraco.

Os processos indutivos são somente considerados importantes para precipitações congeladas e gotas super-resfriadas.

Nesta situação existe um Campo Elétrico significativo para que haja uma polarização.

Aufderman e Johnson (1972) sugeriram que as colisões entre graupel e gotas (~ 1-10 rebatem a partir de ~ 1000 colisões) em Campo Elétrico  $\geq 10$  kV/m poderia ser importante para manter as tempestades eletrificadas

Finalmente, o mecanismo indutivo deve agir para sustentar Campos Elétricos Altos, mas eles não agem para criá-los.

# Mecanismo não indutivo

Qualquer mecanismo que não requer uma polarização sob a ação de um Campo Elétrico pode ser considerado um mecanismo não indutivo.

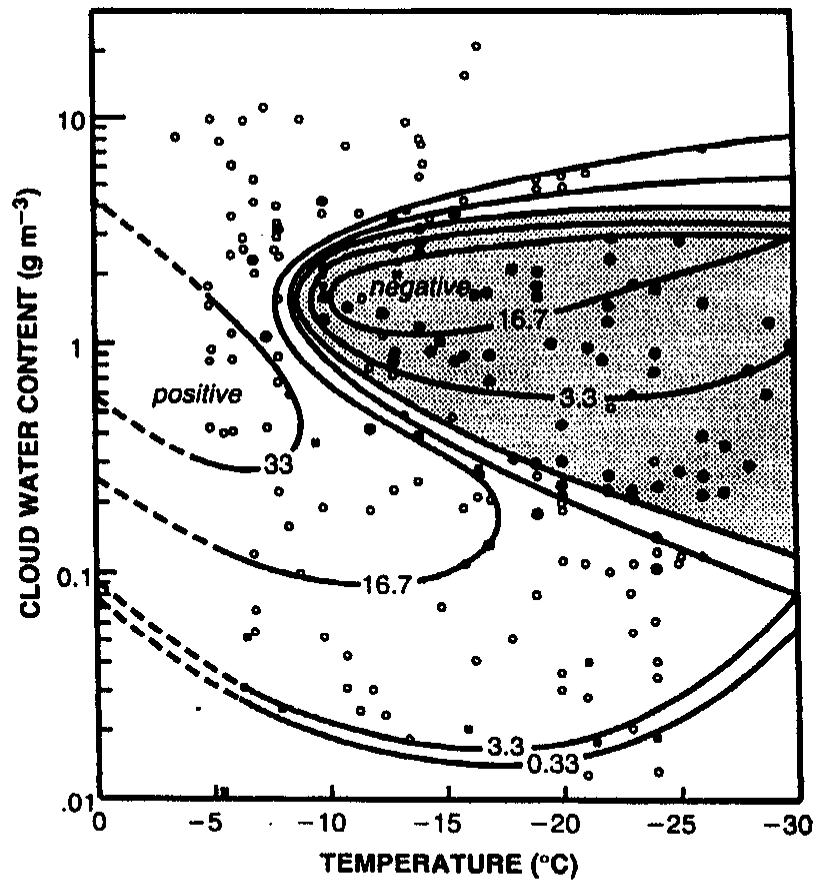
# Antigamente assumia-se que neste mecanismo incluíam-se:

- Geração de cargas entre graupel e gotas;
- Geração de cargas entre graupel e cristais de gelo;
- Geração de cargas entre graupel e cristais de gelo na presença de gotas super-resfriadas;

Estudos em laboratório realizados por Reynolds et al. (1957) focaram suas análises para os mecanismos de graupel e gelo.

# Descrição empírica do mecanismo de graupel e gelo

- Medidas em laboratório mostraram que existe uma dependência com:  
polaridade das gotículas, LWC, tamanho e polaridade dos cristais de gelo, velocidade de impacto e temperatura;

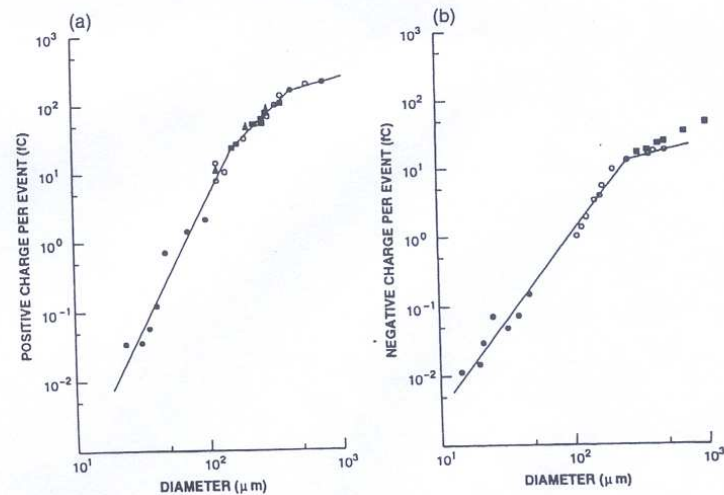


**Fig. 3.12.** Charge (in fC) gained by rimed graupel colliding with ice particles as a function of temperature and liquid water content. Open circles indicate that rimed graupel gained positive charge, solid circles indicate that it gained negative charge, and x's indicate that no charge was transferred. (Adapted from Takahashi 1978, with permission.)

Takahashi (1978) encontrou que a magnitude e o sinal da carga depositada nos graupels depende da temperatura e do LWC. O tamanho da gota líquida não tem efeito nenhum quando o LWC é constante.



Fig. 3.13. Charge per event versus crystal size. Solid circles are data points from Jayaratne et al. (1983); triangles, squares, and open circles are data points from Keith and Saunders (1990). Squares denote particles composed of bullet clusters (i.e., clusters of bullet-shaped ice crystals). (a) Positive charge per event; (b) negative charge per event. (From Keith and Saunders 1990, with permission.)



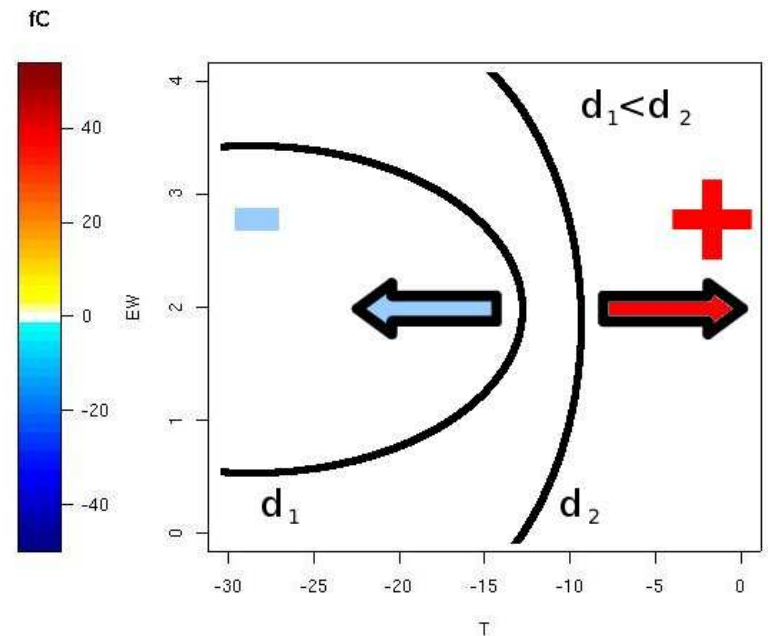
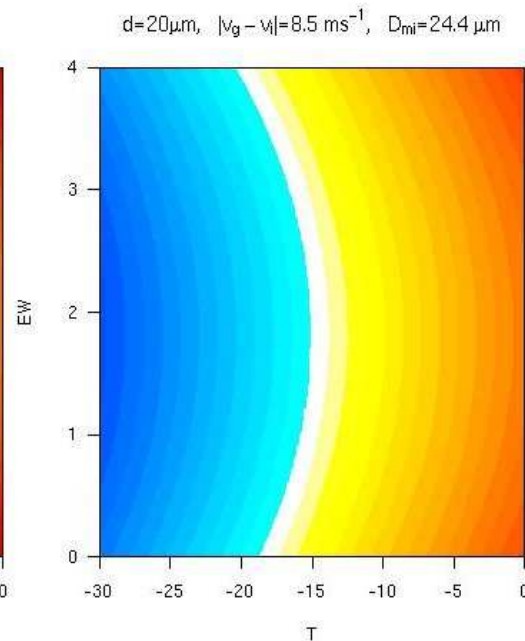
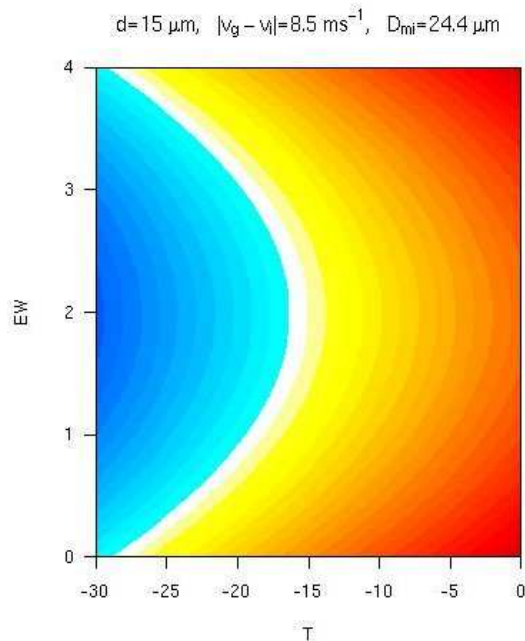
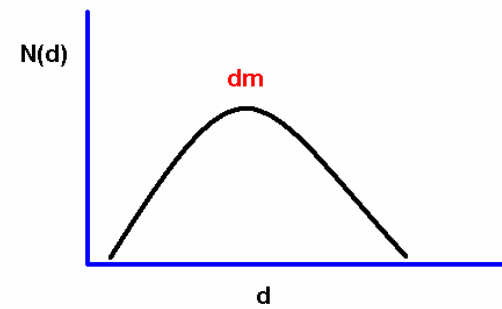
Jayaratne et al. 1983 e Keith e Saunders, 1990, mostraram que o carregamento depende adicionalmente do tamanho dos cristais de gelo que colidem com o graupel, da velocidade de impacto e das partículas contaminantes presentes nas gotas de água (CCN). Note que o aumento na transferência de cargas por colisão diminui com o crescimento do cristal de gelo.

# Avila e Pereyra (2000):

**Semelhante Takahashi, mas controla  $d$  gotículas e  $D$  cristais de gelo na câmara de nuvem.**

$d = 15 \mu\text{m}$

$d = 20 \mu\text{m}$



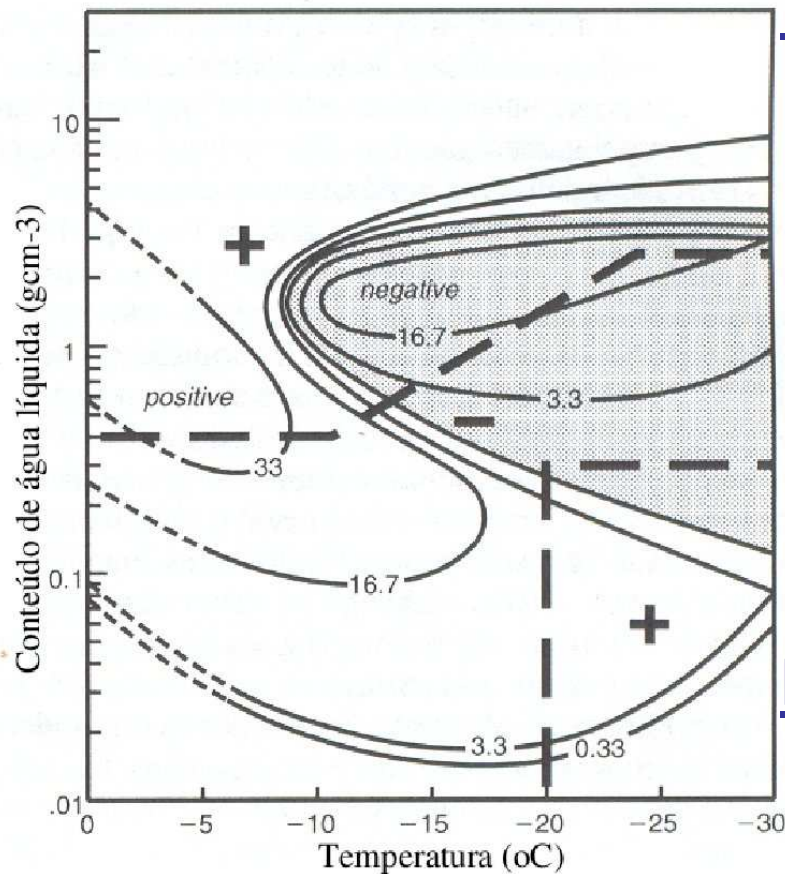
# Resultados de experimento em laboratório: Takahashi (1978), Saunders et al. (1991), Jayaratne (1983), Avila e Pereyra (2000).

## Resumo Takahashi:

- a) baixo  $LWC$ : graupel carrega (+) para todas  $T$ ;
- b) alto  $LWC$ : graupel carrega (+) para todas  $T$ ;
- c) médio  $LWC$ : graupel carrega (-) para  $T < -8^{\circ}\text{C}$ .

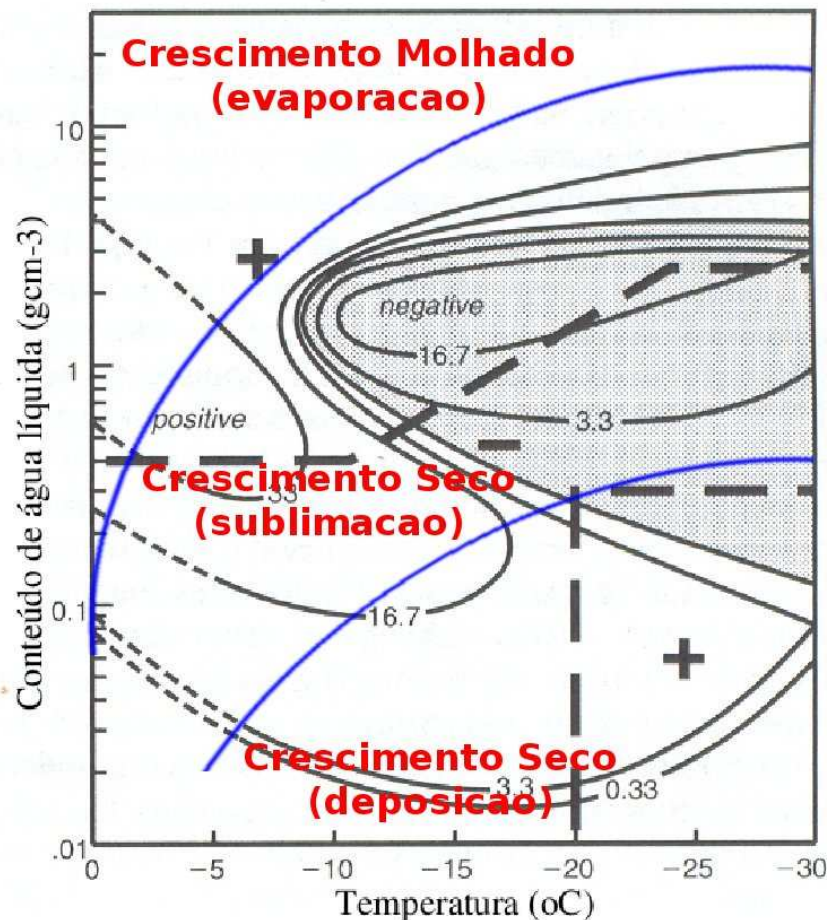
## Resumo Saunders:

- a) graupel carrega (+) ou (-) para qualquer  $T$ , depende do  $LWC$ .



## Williams et al. (1994):

### *estado de crescimento X resultados Takahashi*



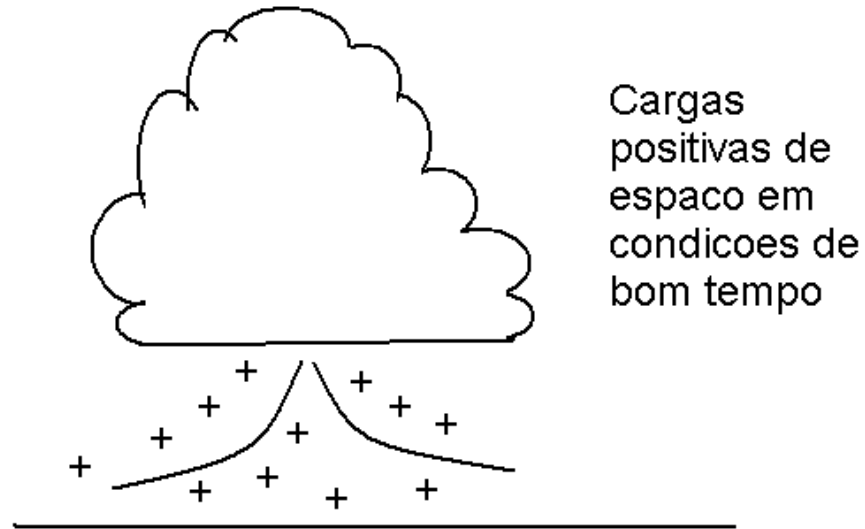
- a) baixo  $LWC$ : deposição de vapor  $\textcircled{10}$  carga (+);
- b) médio  $LWC$ : aquece por rimming (sublima)  $\textcircled{10}$  carga (-);
- c) alto  $LWC$ : crescimento molhado (forte rimming),  $\textcircled{10}$  carga (+)

$\textcircled{10}$  Estado de crescimento determina o sinal da carga???

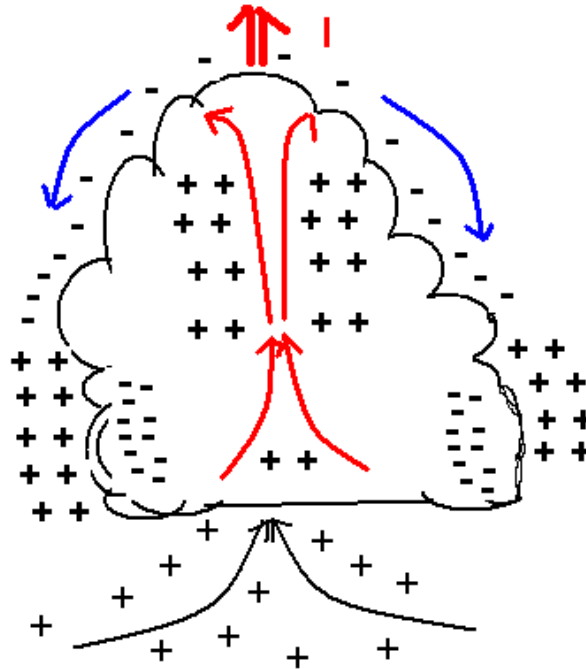
(Não há verificação experimental!)

# Eletrificação por correntes externas

- Associado ao mecanismo de convecção;

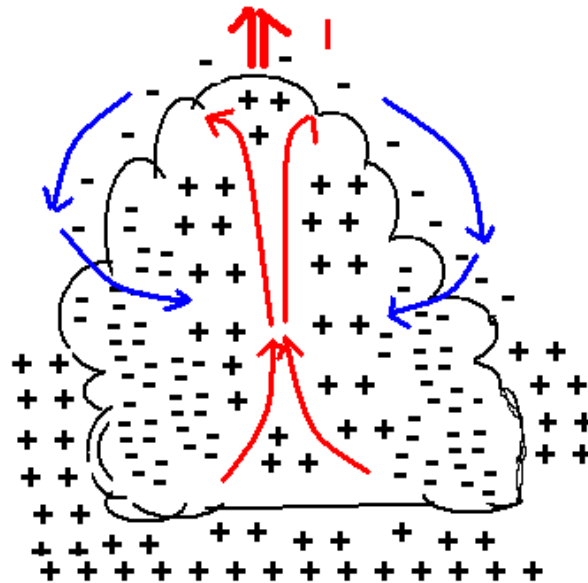


- Um pequeno cumulus começa a se desenvolver e cargas positivas de espaço são ingeridas e forma-se uma camada de blindagem negativa nas fronteiras da nuvem



- O transporte organizado de cargas negativas ocorre quando as partículas de nuvem das bordas se movem para baixo da base da nuvem.
- O fluxo de cargas positivas continua na corrente ascendente e a corrente continua a transportar para o topo da nuvem para se ajustar com as cargas positivas novas e a perda de cargas nas camadas do topo da nuvem devido ao transporte lateral para baixo

- O Campo Elétrico das cargas negativas na parte baixa da nuvem se torna forte o suficiente para produzir um efeito de corona na superfície da terra. O que conseqüentemente aumenta o fluxo de cargas positivas na base da nuvem. Observa-se muitas cargas positivas de espaço devido a corona.





# Carregamento durante o derretimento

- Dinger e Gunn (1946) e Magono e Kiknch (1965)
- Ainda existe muita contravérsia;
- Em princípio o gelo se carrega positivamente quando se derrete. O Carregamento ocorre quando bolhas de  $\text{CO}_2$  se libertam do gelo e se quebram sob a superfície molhada do gelo. Esta camada de bolha que se quebra, carrega as  $Q^-$ , o que implica que as partículas de gelo tem um excesso de  $Q^+$ .