



# XIX CBMET

CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA

JOÃO PESSOA PB | 07 A 11 DE NOVEMBRO DE 2016

METEOROLOGIA: TEMPO, ÁGUA E ENERGIA



## O que determina a altura do início de formação de chuva e gelo em nuvens convectivas sobre a Amazônia?

**Autores:** Ramon Campos Braga (ramonbraga87@gmail.com), Daniel Rosenfeld, Rachel I. Albrecht and Daniel A. Vila.

### 1. INTRODUÇÃO

Nós investigamos a dependência da altura de iniciação de formação de chuva ( $D_c$ ) e gelo ( $D_i$ ) na evolução vertical do tamanho e concentração de gotículas de nuvem através de medições de distribuição de tamanhos de hidrometeoros de cumulus convectivos em desenvolvimento. As medidas foram feitas no avião HALO (High Altitude and Long Range Research Aircraft) [Figura 1] durante a campanha ACRIDICON-CHUVA, que foi realizada sob a Amazônia durante Setembro de 2014.

### 2. METODOLOGIA

O perfil vertical do raio efetivo adiabático ( $r_{ea}$ ) é usado para estimar a altura acima da base da nuvem na qual a iniciação de chuva ocorre. A dominância de mistura não-homogênea do ar com a nuvem resulta na observação de um perfil vertical de raio efetivo ( $r_e$ ) similar ao observado em nuvens que crescem adiabaticamente, dominadas pelo número de gotículas nucleadas na base da nuvem  $N_d$  (Freud et al., 2011). Isso significa que a altura acima da base da nuvem em que  $r_e$  é  $\sim 13$ - $14 \mu\text{m}$  ( $D_{13}$ ), que é necessária para iniciação de chuva, é também determinada por  $N_d$  (Freud and Rosenfeld, 2012). As propriedades microfísicas de nuvens neste estudo são determinadas através dos sensores CCP-CDP e CCP-CIP montados no HALO (Figura 2).



Figura 1. Aeronave HALO (High Altitude and Long Range Research Aircraft) utilizada no experimento ACRIDICON-CHUVA



Figura 2. Instrumentos CCP-CDP/CCP-CIP

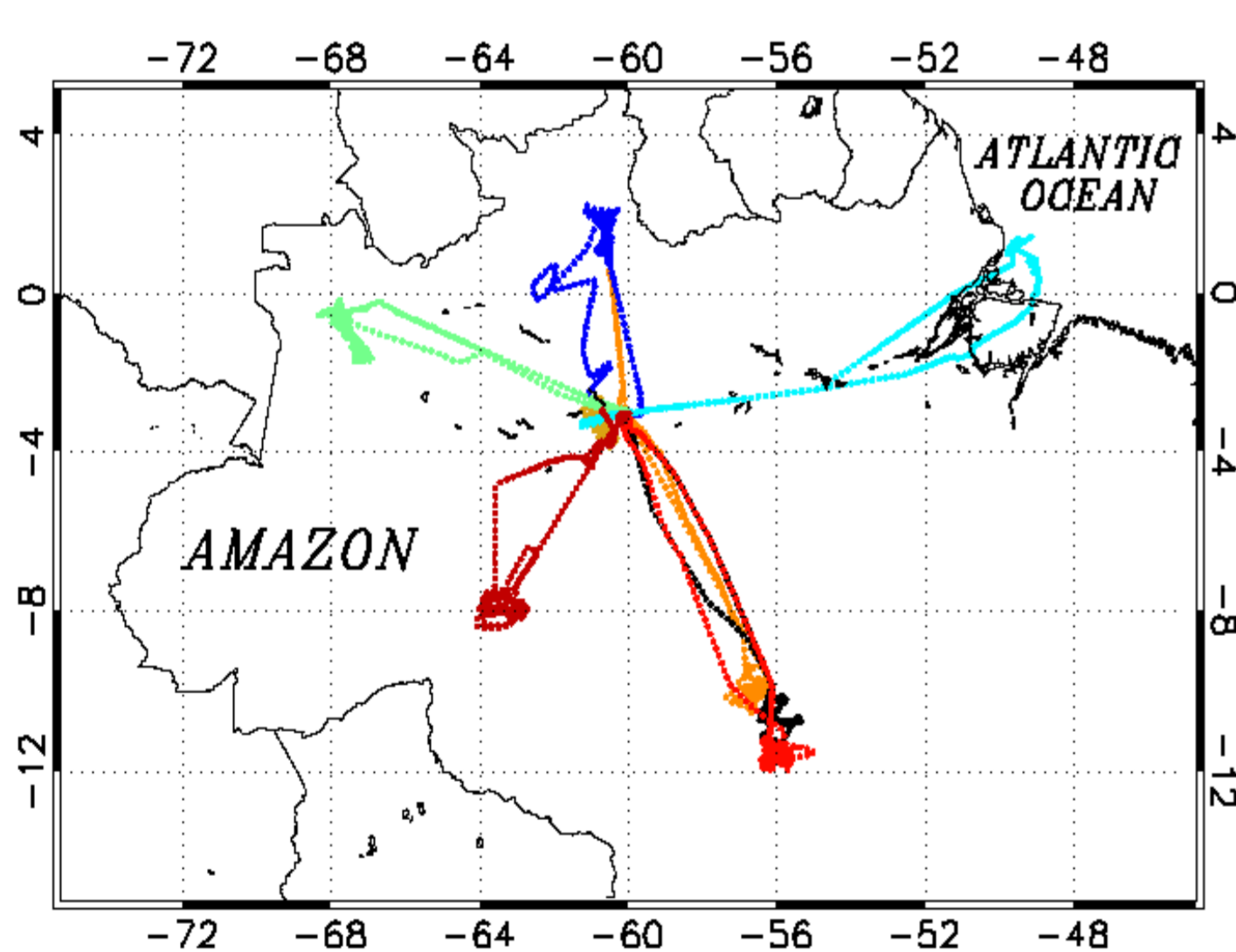


Figura 3. Regiões de vôos do HALO durante o experimento ACRIDICON-CHUVA.

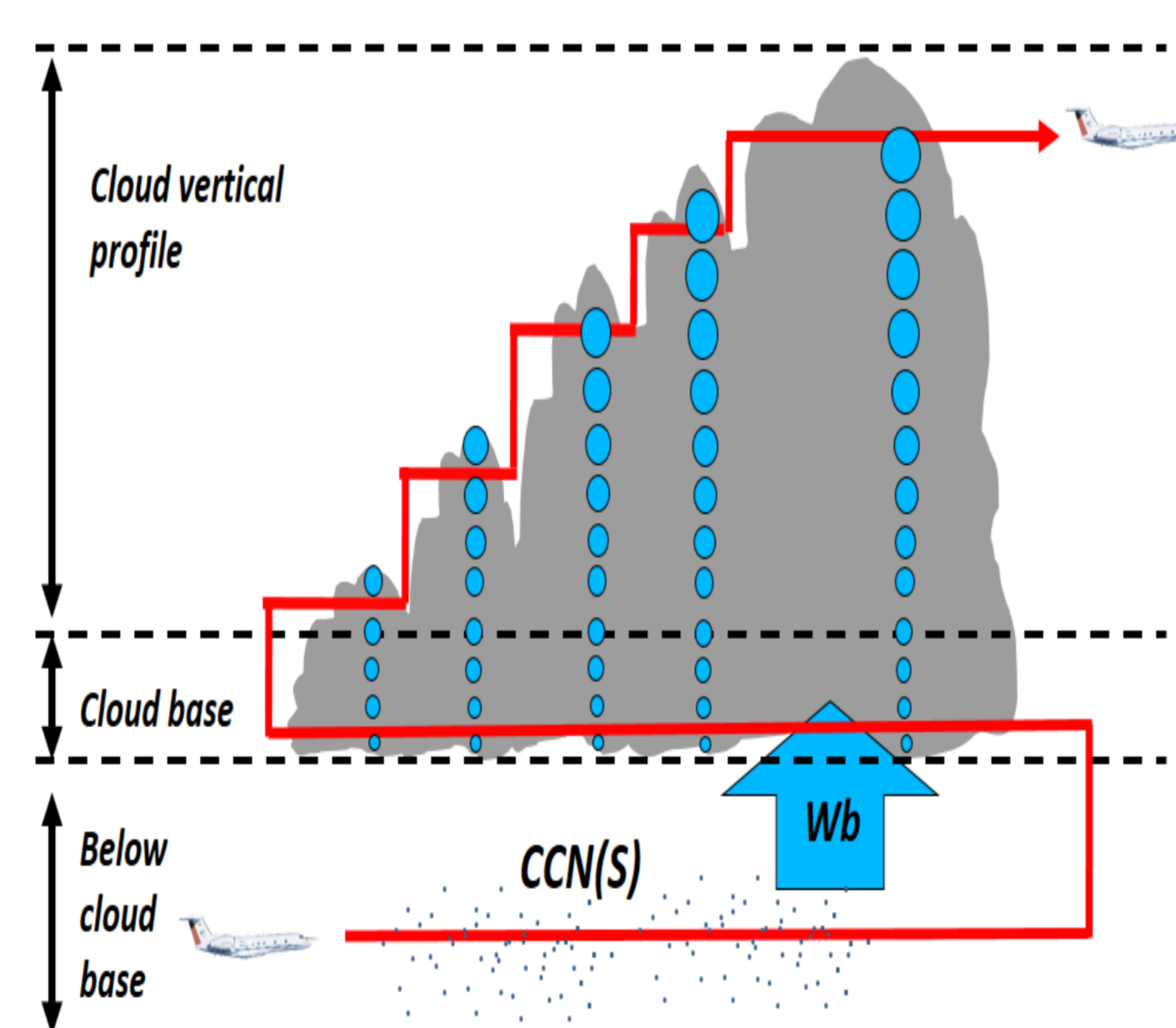


Figura 4. Padrão de vôo em nuvens convectivas.

### 3. RESULTADOS

Tabela 1. Classificação de cada vôo em função do número adiabático estimado de gotículas para base da nuvem ( $N_d$ ). Os valores de  $D_{13}$ ,  $D_r$  e  $D_i$  em m também são mostrados.

Vôo	$N_d$ ( $\text{cm}^{-3}$ )	$D_{13}$ (m)	$D_r$ (m)	$D_i$ (m)	Classificação
AC07	963	4500	-	4537	muito poluído
AC08	920	3900	-	-	muito poluído
AC09	566	2400	3000	5217	poluído
AC12	1546	9000	-	-	muito poluído
AC13	1080	5500	-	4800	muito poluído
AC18	666	2900	3800	-	poluído
AC19	276	1000	1660	-	limpo
AC20	987	5000	-	-	muito poluído

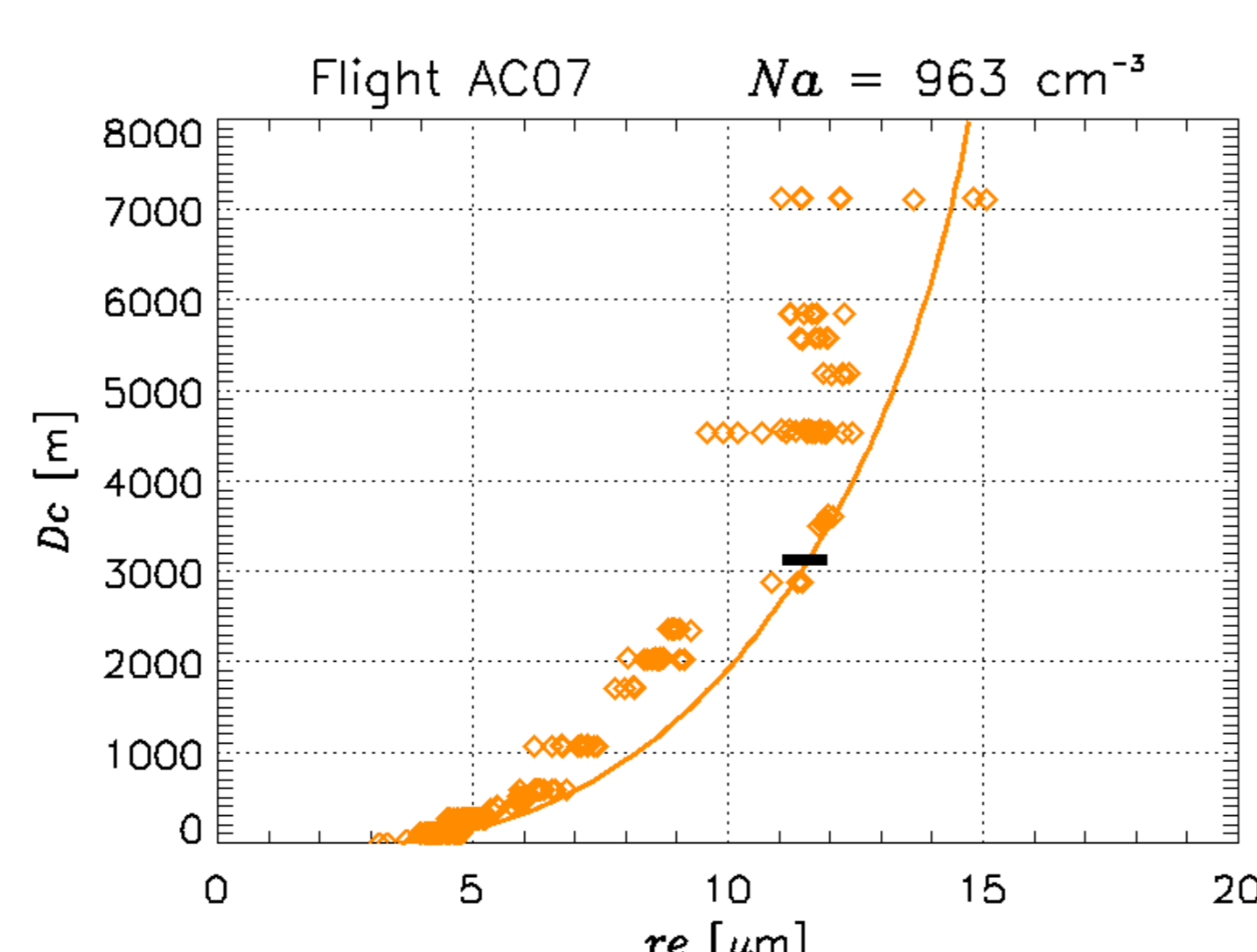


Figura 5. Raio efetivo ( $r_e$ ) versus profundidade de nuvem convectiva ( $D_c$ ). Os pontos indicam as medições de  $r_e$  com CCP-CDP e a linha os valores estimados de  $r_{e,ea}$ .

### - Arco do desflorestamento (poluído)

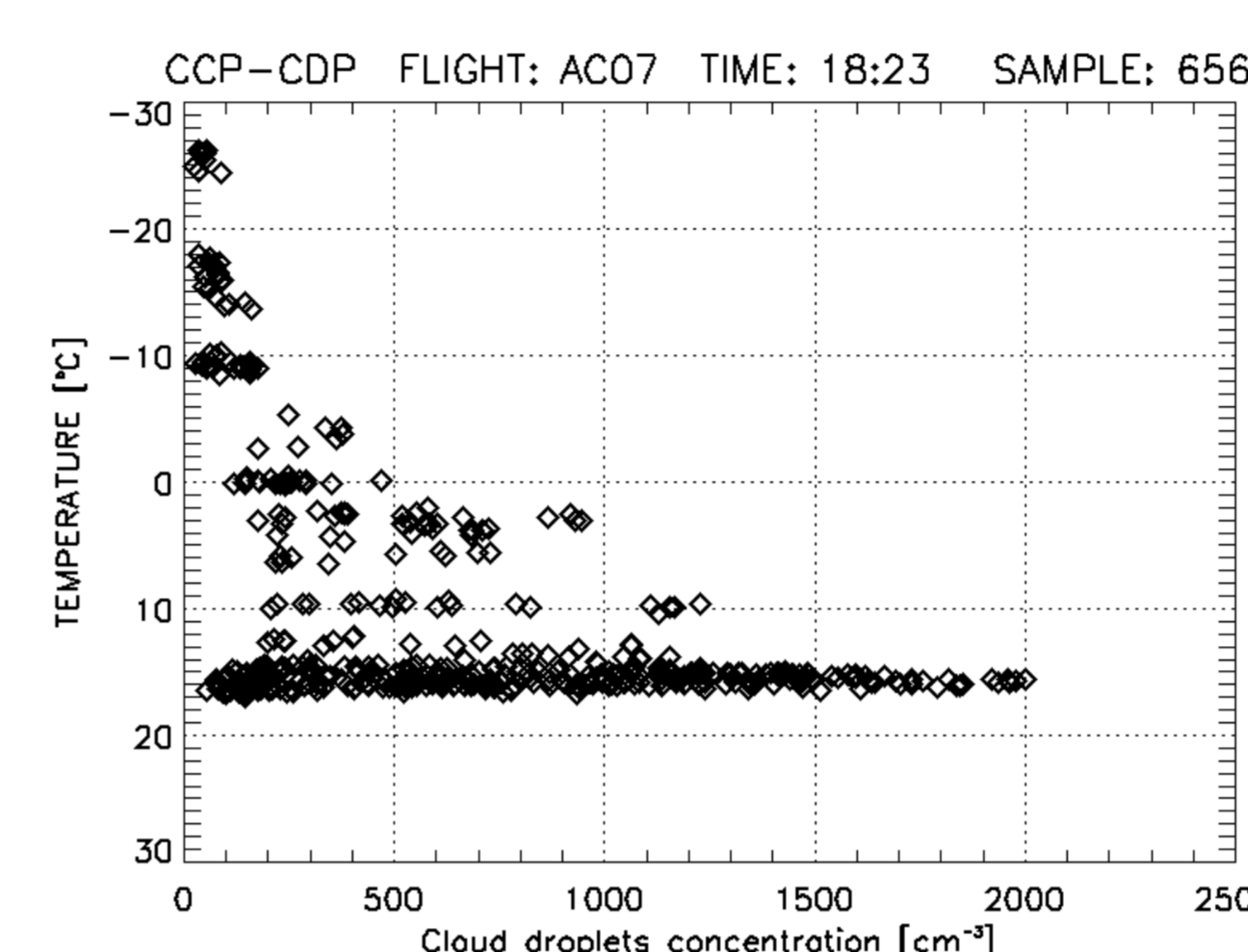


Figura 6. Concentração de gotículas de nuvem em função da temperatura para o vôo AC07.



Figura 8. Foto da cabine do HALO antes de entrar em uma nuvem convectiva com ocorrência de raios.

### - Oceano Atlântico (limpo)

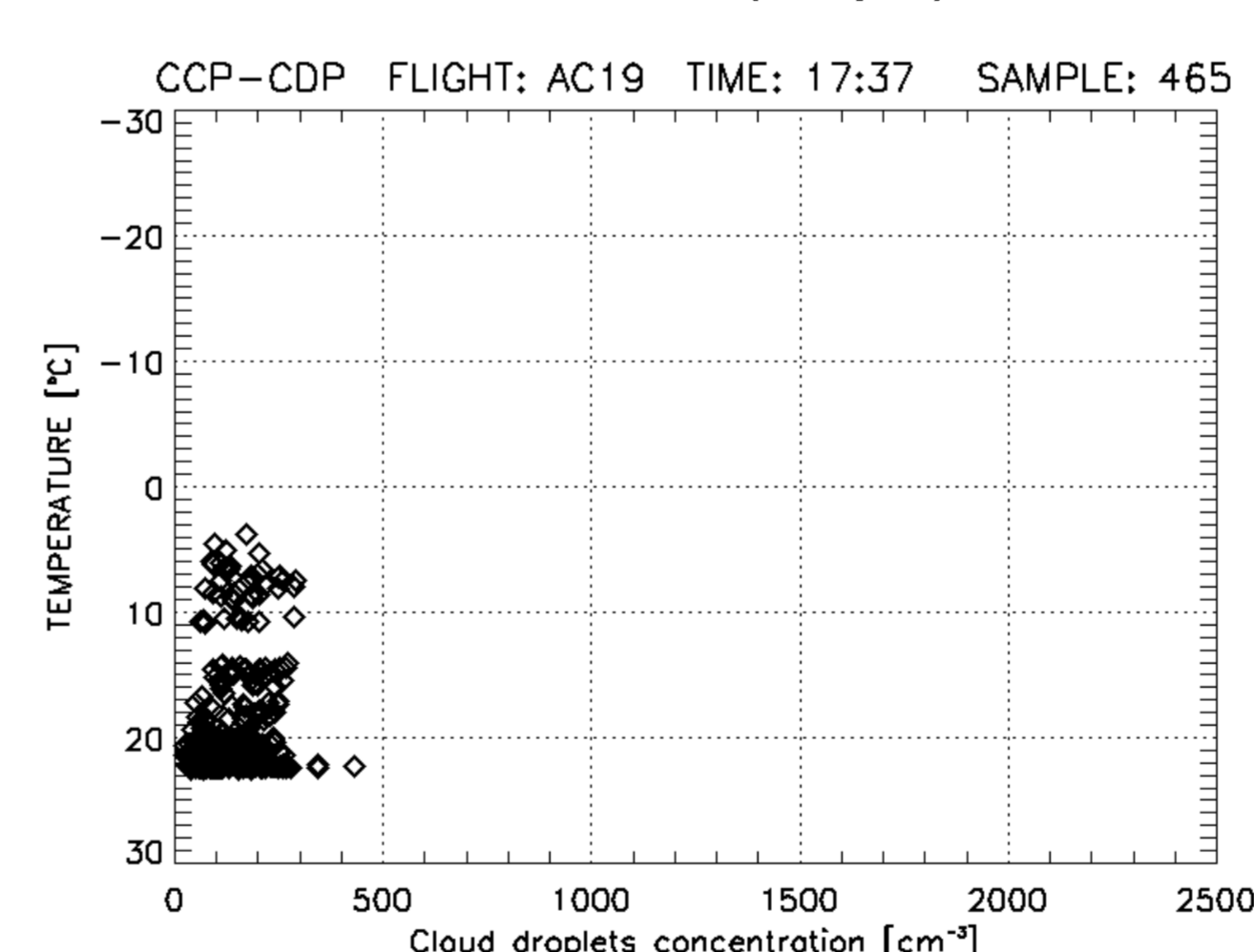


Figura 10. Semelhante a Figura 6 para o vôo AC19.

### 4. CONCLUSÕES

- $D_r$  tem alta correlação com  $N_d$  na base da nuvem onde:  $D_r \approx 5 \cdot N_d$ ;
- Para  $N_d > 1000 \text{ cm}^{-3}$  e  $D_r > 5 \text{ km}$  não há formação de gotas de chuva, apenas grande partículas de gelo;
- A formação de gelo ocorre em  $D_i$  maiores para condições poluídas;
- O perfil vertical de  $r_{e,ea}$  é similar as medidas de  $r_e$  para nuvens convectivas, suportando a teoria de mistura não-homogênea entre nuvens convectivas e o ar seco.
- Esses resultados mostram que mesmo conteúdos moderados de fumaça, que cobrem a Amazônia na estação seca são suficientes para suprimir a formação de precipitação e elevar a sua iniciação para níveis acima de  $0^\circ\text{C}$ .

### 5. REFERÊNCIAS

- Freud, E., Rosenfeld, D. and Kulkarni, J. R.: Resolving both entrainment-mixing and number of activated CCN in deep convective clouds, Atmos. Chem. Phys., 11(24), 12887–12900, doi:10.5194/acp-11-12887-2011, 2011.
- Freud, E. and Rosenfeld, D.: Linear relation between convective cloud drop number concentration and depth for rain initiation, J. Geophys. Res. Atmos., 117(2), 1–13, doi:10.1029/2011JD016457, 2012.

### AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece à CAPES e ao CNPQ pelo apoio financeiro durante sua pesquisa de doutorado em Meteorologia no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

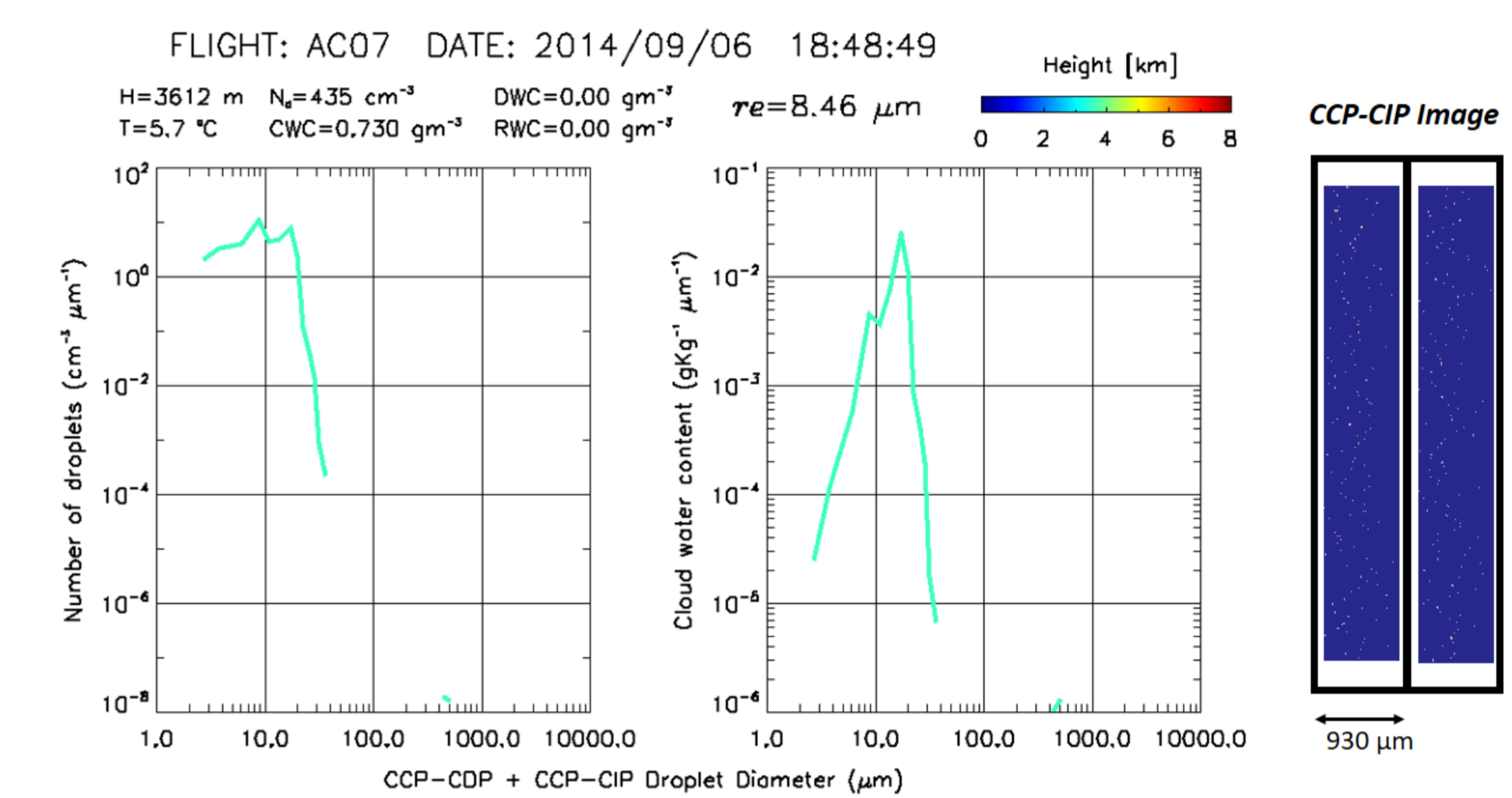


Figura 7. Distribuição de tamanho de gotículas de nuvem e chuva (painel esquerdo) a partir de dados dos sensores CCP-CDP e CCP-CIP. O mesmo para conteúdo de água de nuvem (CWC) no painel direito. Demais variáveis são mostradas no topo da figura: temperatura (T) e altitude (H), valor médio de  $N_d$ , CWC, conteúdo de água de chuva (DWC), conteúdo de água de chuva (RWC) e  $r_e$ . Imagens de hidrometeoros capturadas com CCP-CIP durante uma passagem de alguns segundos em nuvens são mostradas ao lado direito.

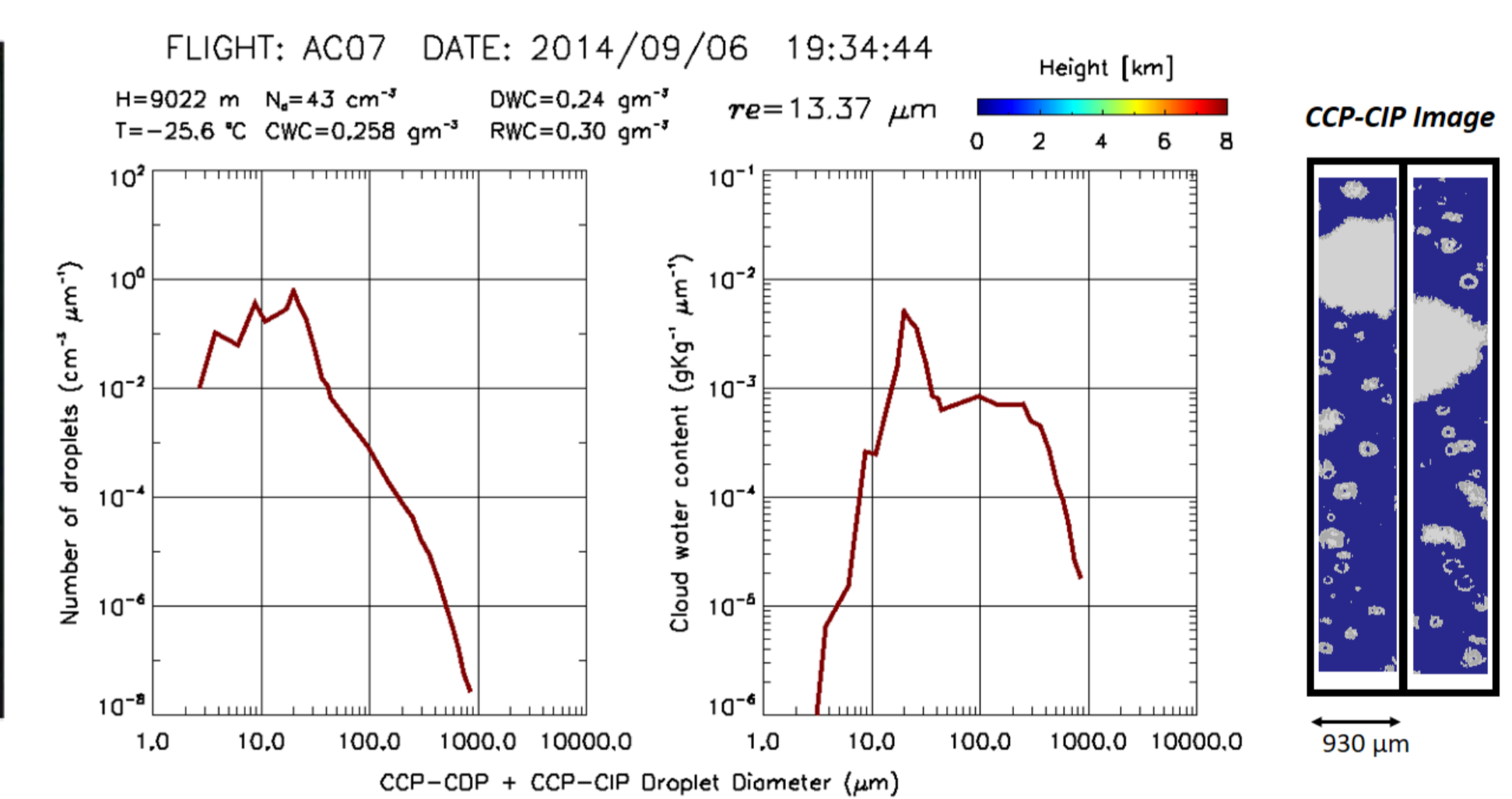


Figura 9. Semelhante a Figura 7 para a passagem da nuvem ilustrada na Figura 8.

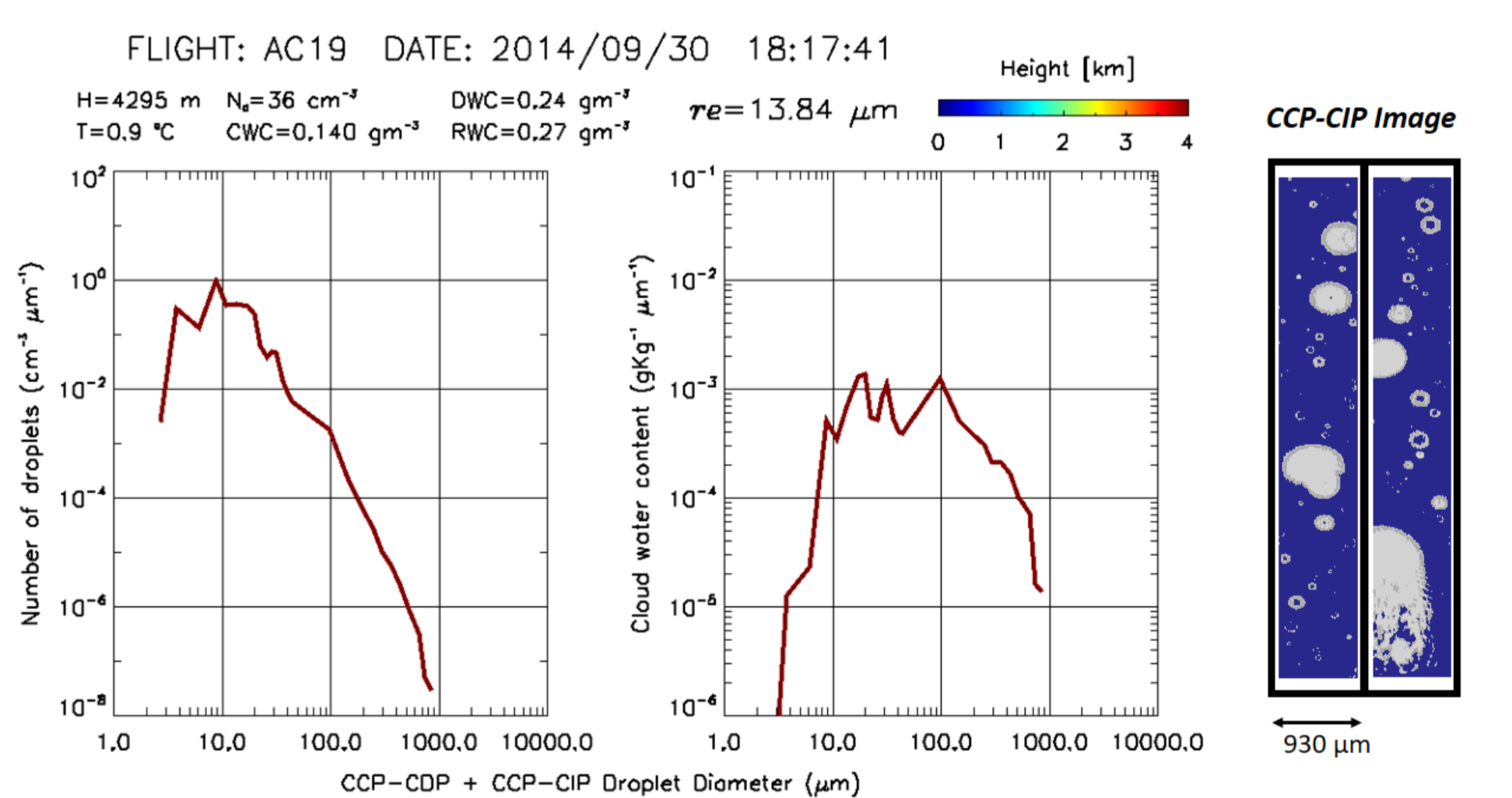


Figura 11. Semelhante a Figura 7 para uma passagem durante o vôo AC19.

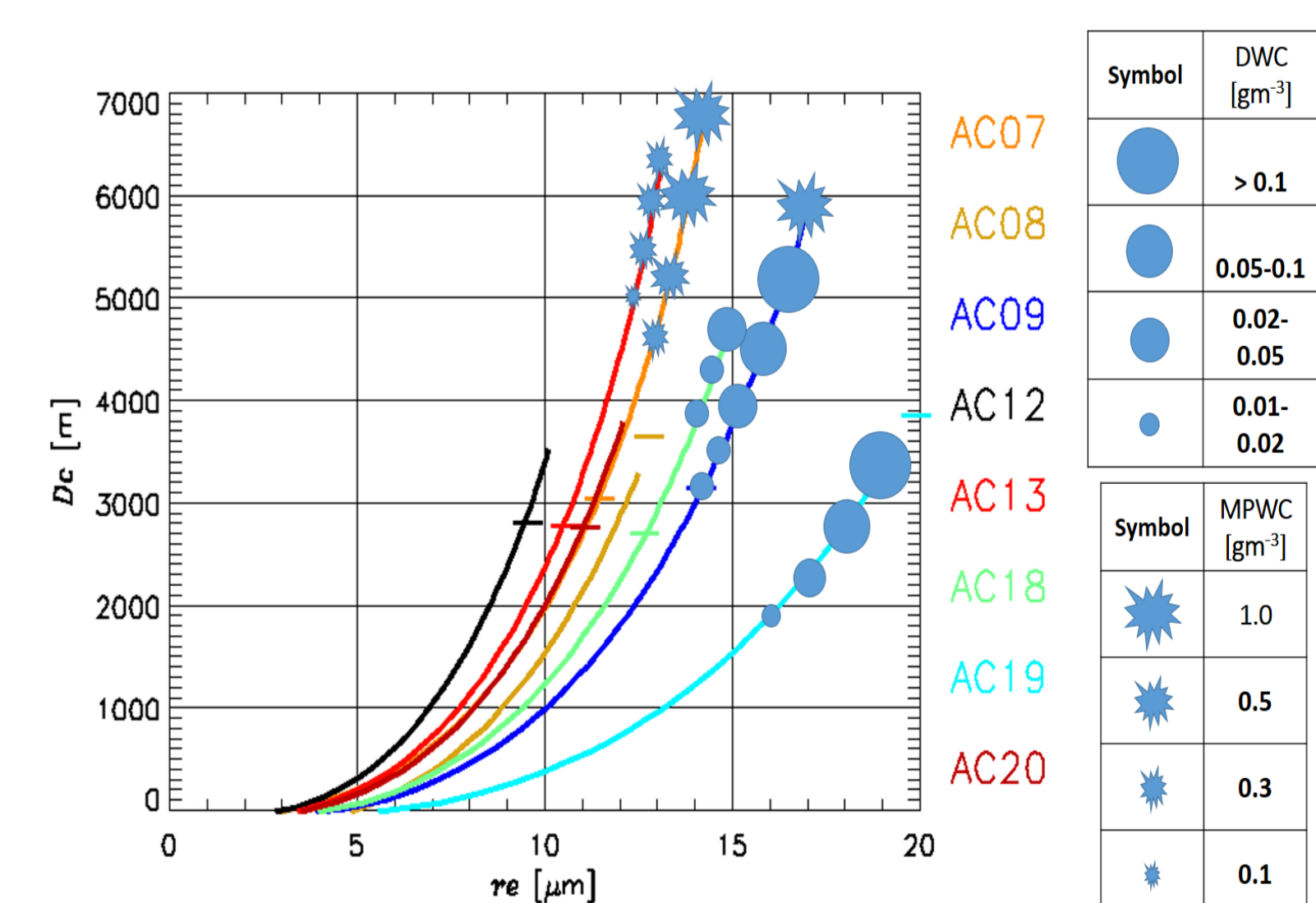


Figura 12.  $r_{e,ea}$  versus  $D_c$  para todos os vôos (indicados por cores). Altura de  $0^\circ\text{C}$  está indicada por uma linha horizontal. Os símbolos da figura estão relacionados ao conteúdo líquido de chuva (DWC) e de particulados na fase mista (MPWC) observados em nuvens convectivas para cada vôo (indicados nas tabelas ao lado da figura).