

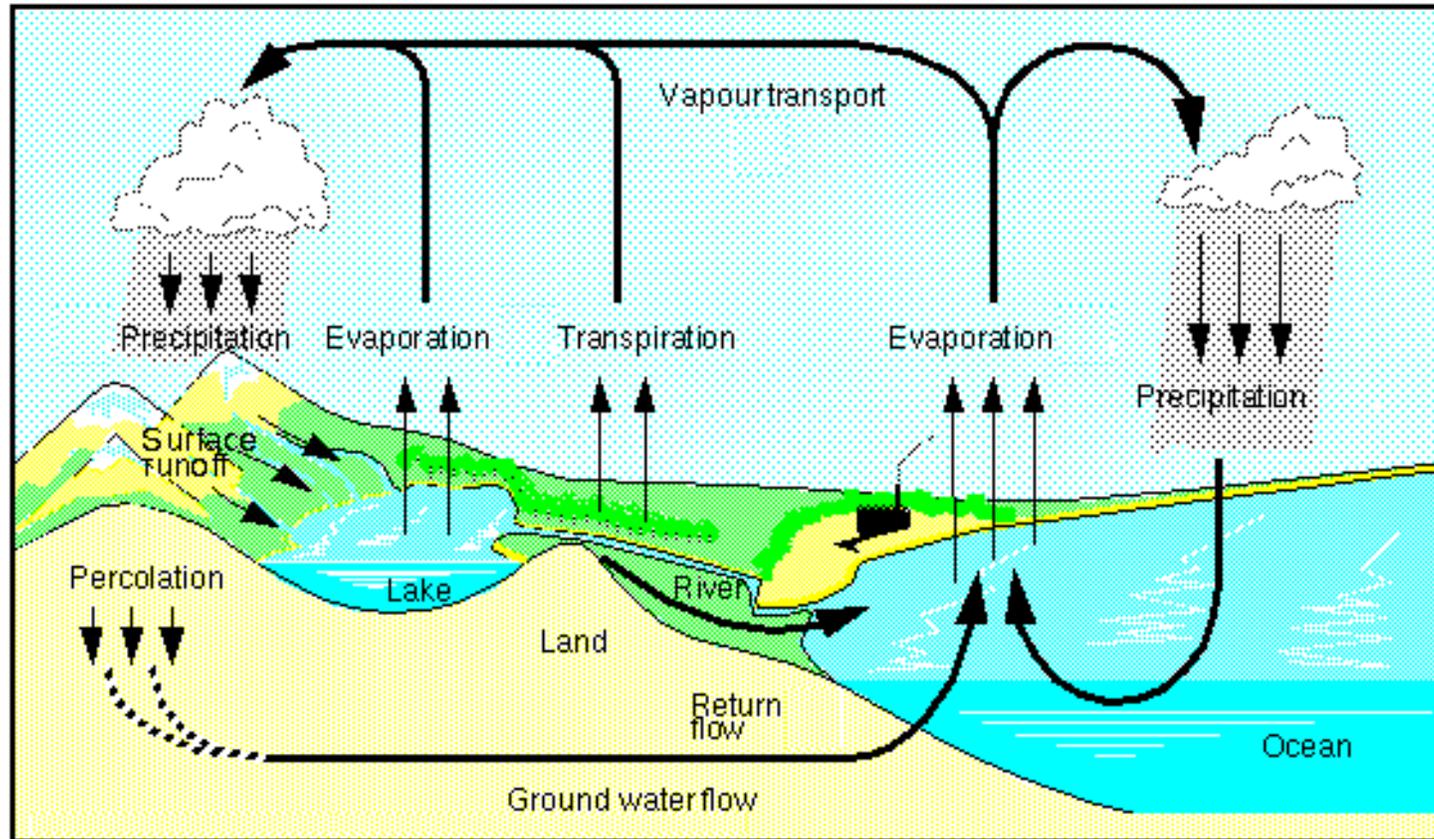
# Aula 6- Chuva

Prof. Fábio Marin

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"  
Departamento de Engenharia de Biosistemas  
LEB 306 – Meteorologia Agrícola



# Ciclo Hidrológico



Courtesy Erich Roeckner, Max Planck Institute for Meteorology

# Condensação na atmosfera

- Resfriamento e saturação da massa de ar  
**GRADIENTE ADIABÁTICO ( $\Gamma$ ):**

$$\Gamma_{\text{ar seco}} = - 0,98^{\circ}\text{C} / 100\text{m}$$

$$\Gamma_{\text{ar saturado}} = - 0,4^{\circ}\text{C} / 100\text{m}$$

$$\Gamma_{\text{ar úmido}} = - 0,6^{\circ}\text{C} / 100\text{m}$$

- Presença de núcleos de condensação
  - NaCl
  - 2-metiltreitol - floresta amazônica (RG+isopreno)



## Tipos de Chuvas: Convectivas

- **Distribuição:** localizada, com grande variabilidade espacial
- **Intensidade:** moderada a forte, dependendo do desenvolvimento vertical da nuvem
- **Predominância:** no período da tarde/início da noite
- **Duração:** curta a média (minutos a horas)

# Tipos de Chuvas: Orográficas

- Santos – P = 2153 mm/ano
- Cubatão – P = 2530 mm/ano
- Serra a 350m – P = 3151mm/ano
- Serra a 500m – P = 3387 mm/ano
- Serra a 850m – P = 3874 mm/ano
- S.C. do Sul – P = 1289 mm/ano

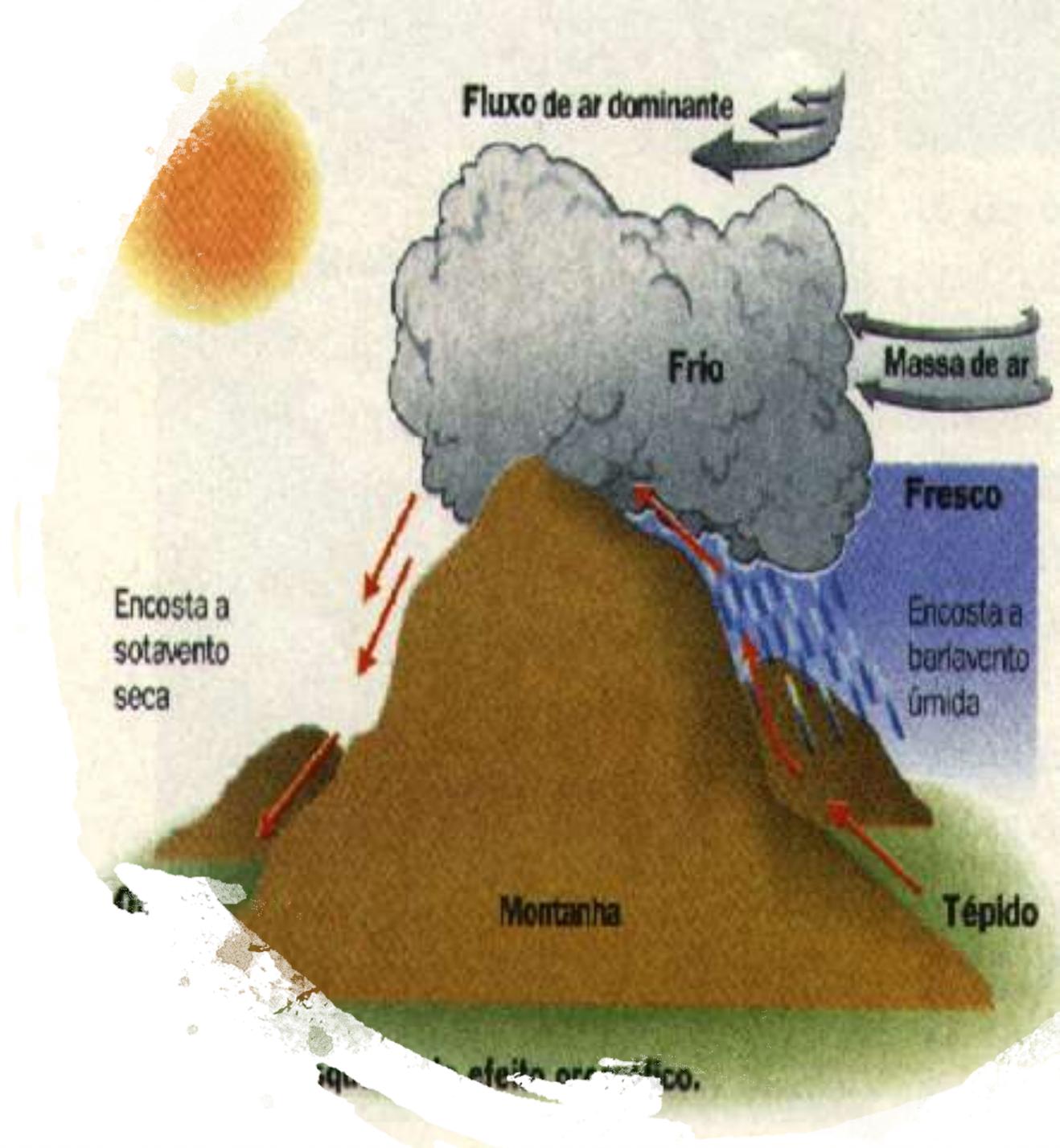


Imagem de Satélite de 03/12/2004 - 11:45Z

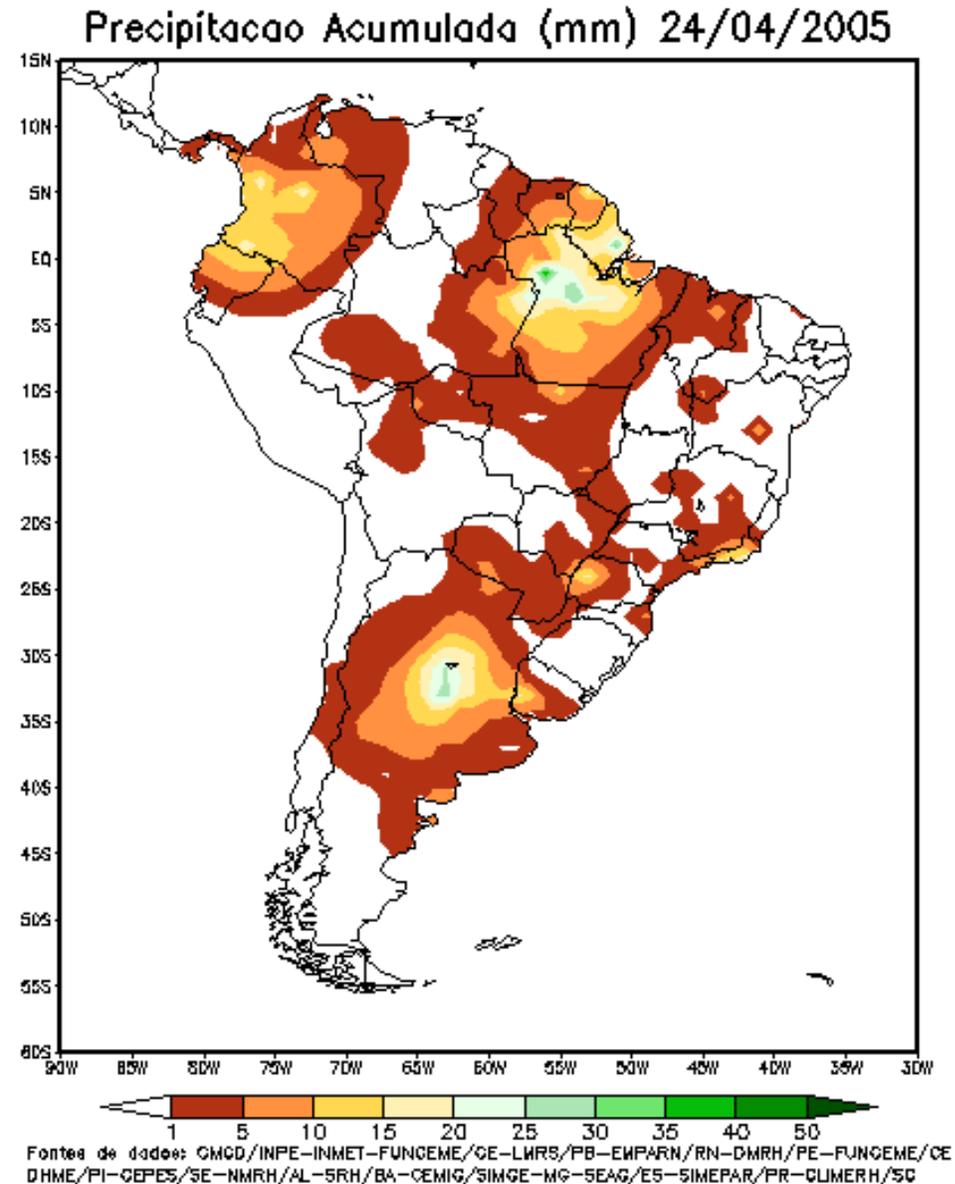


## Chuvas Frontais

- **Distribuição:** generalizada na região
- **Intensidade:** fraca a moderada, dependendo do tipo de frente
- **Predominância:** sem horário predominante
- **Duração:** média a longa (horas a dias), dependendo da velocidade de deslocamento da frente.

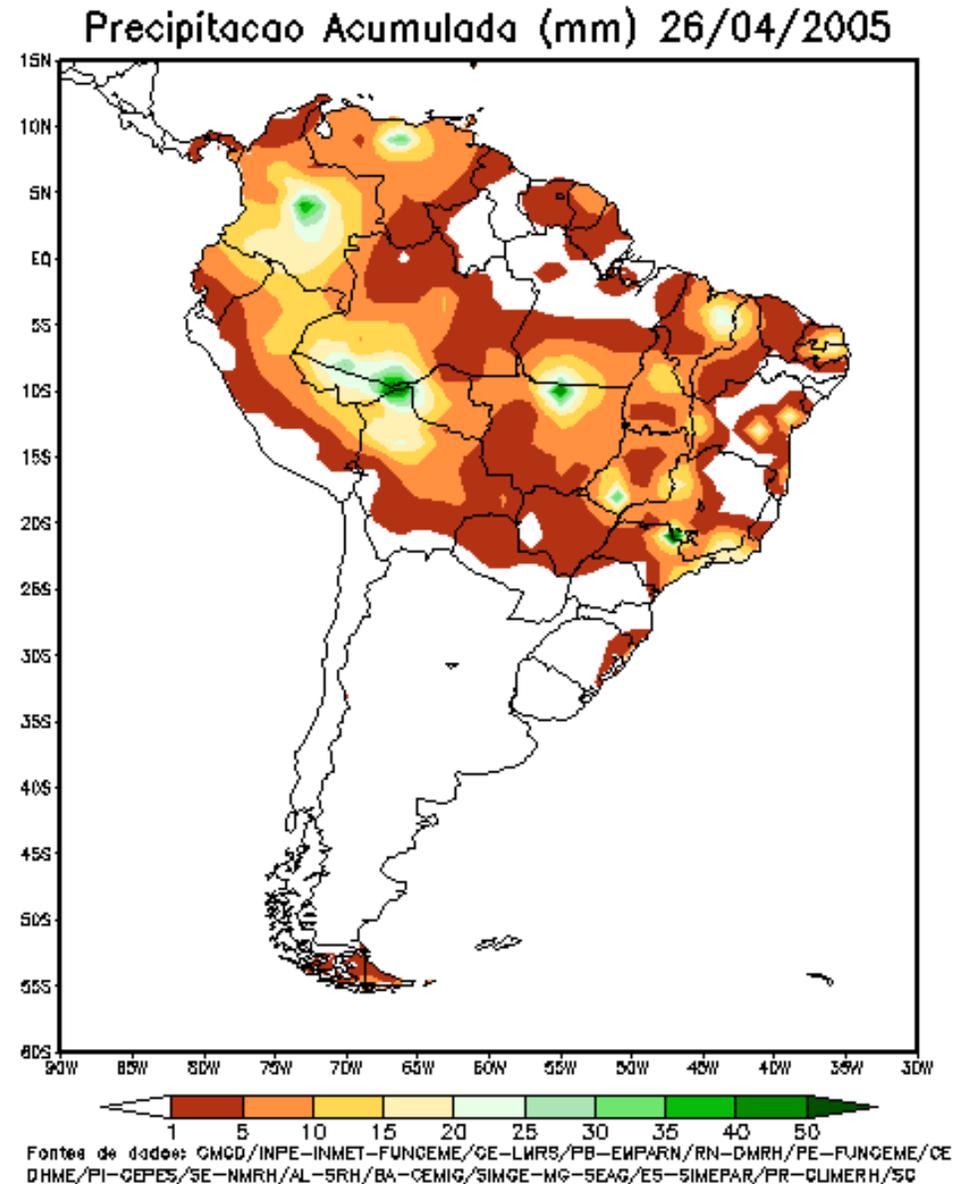
# Variabilidade espaço-temporal da chuva frontal

---



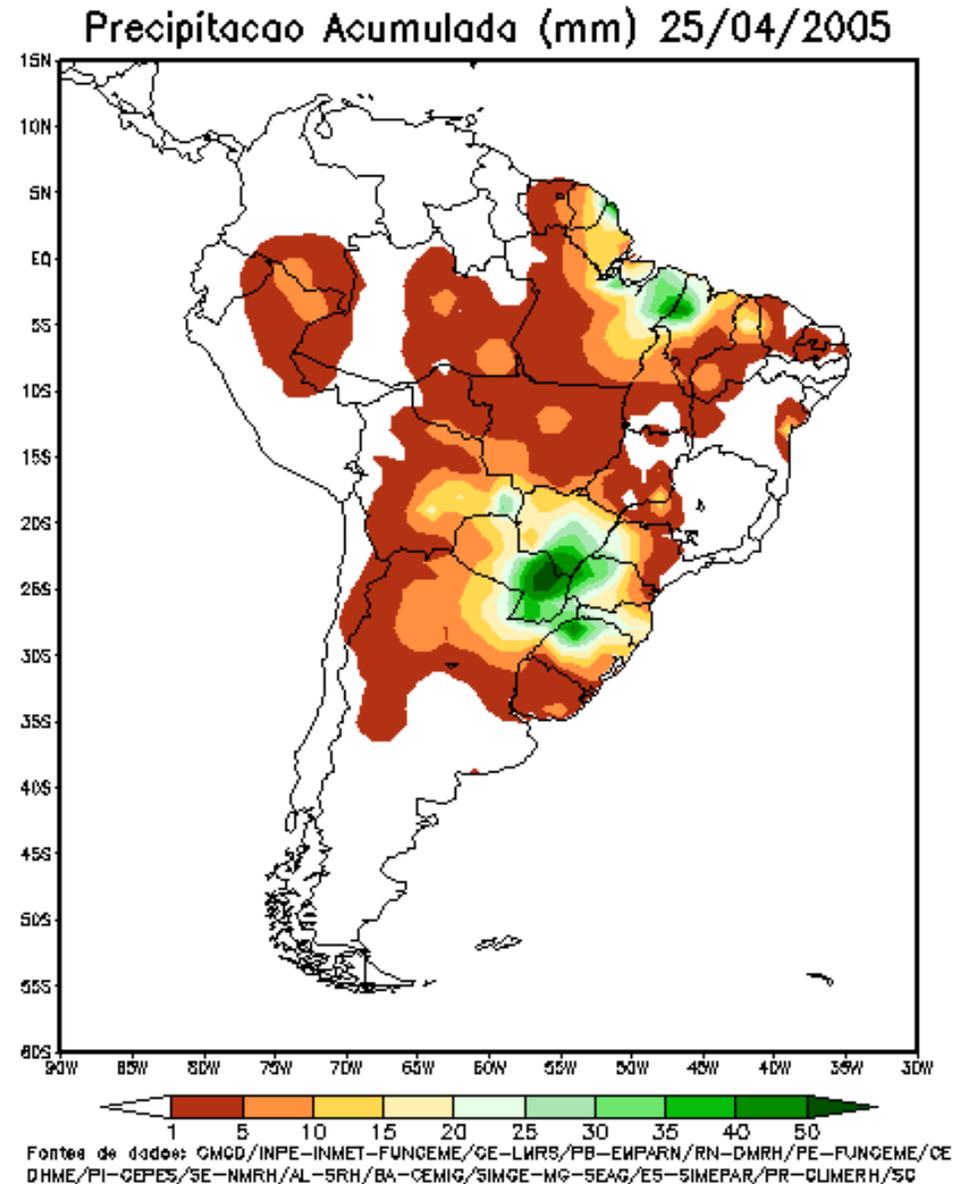
# Variabilidade espaço-temporal da chuva frontal

---



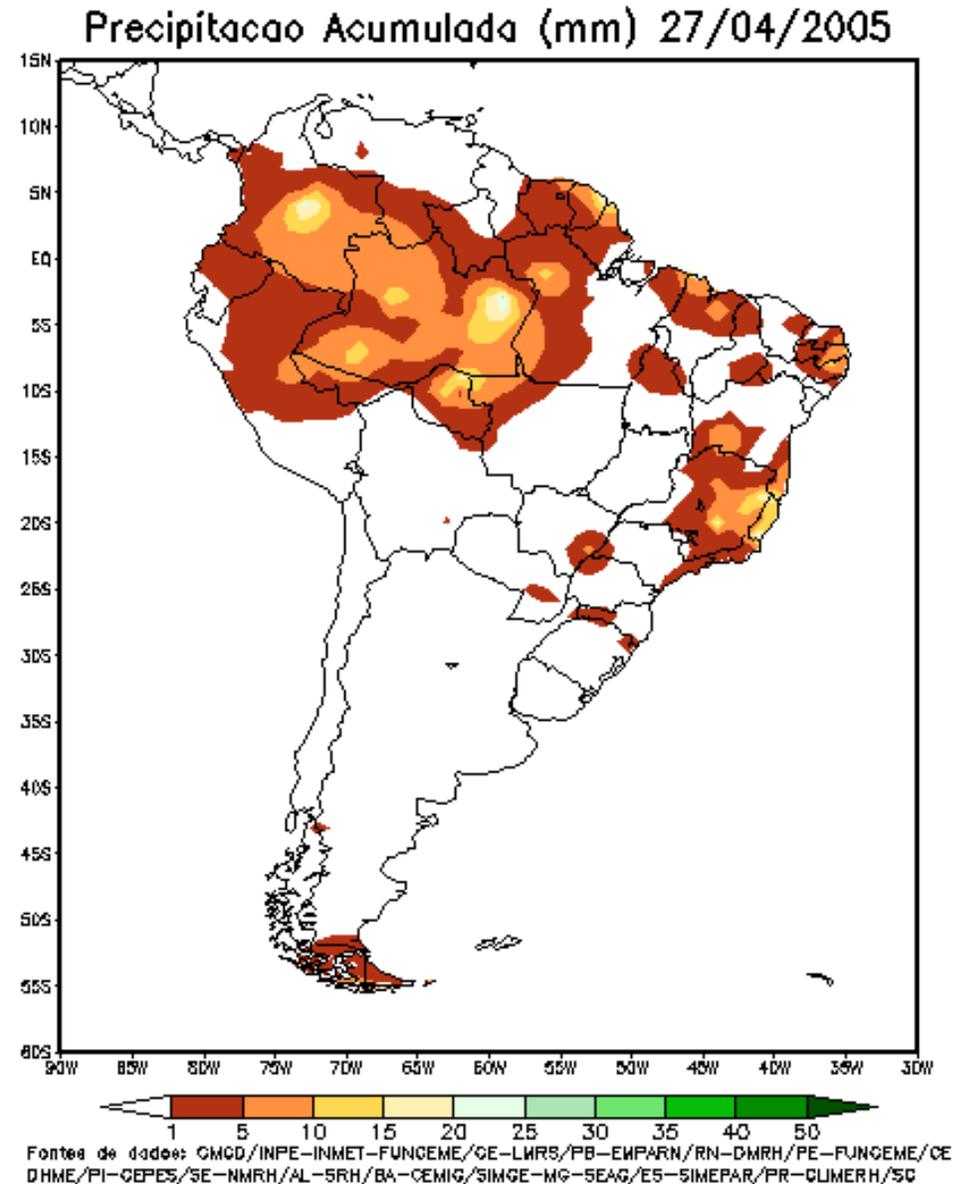
# Variabilidade espaço-temporal da chuva frontal

---



# Variabilidade espaço-temporal da chuva frontal

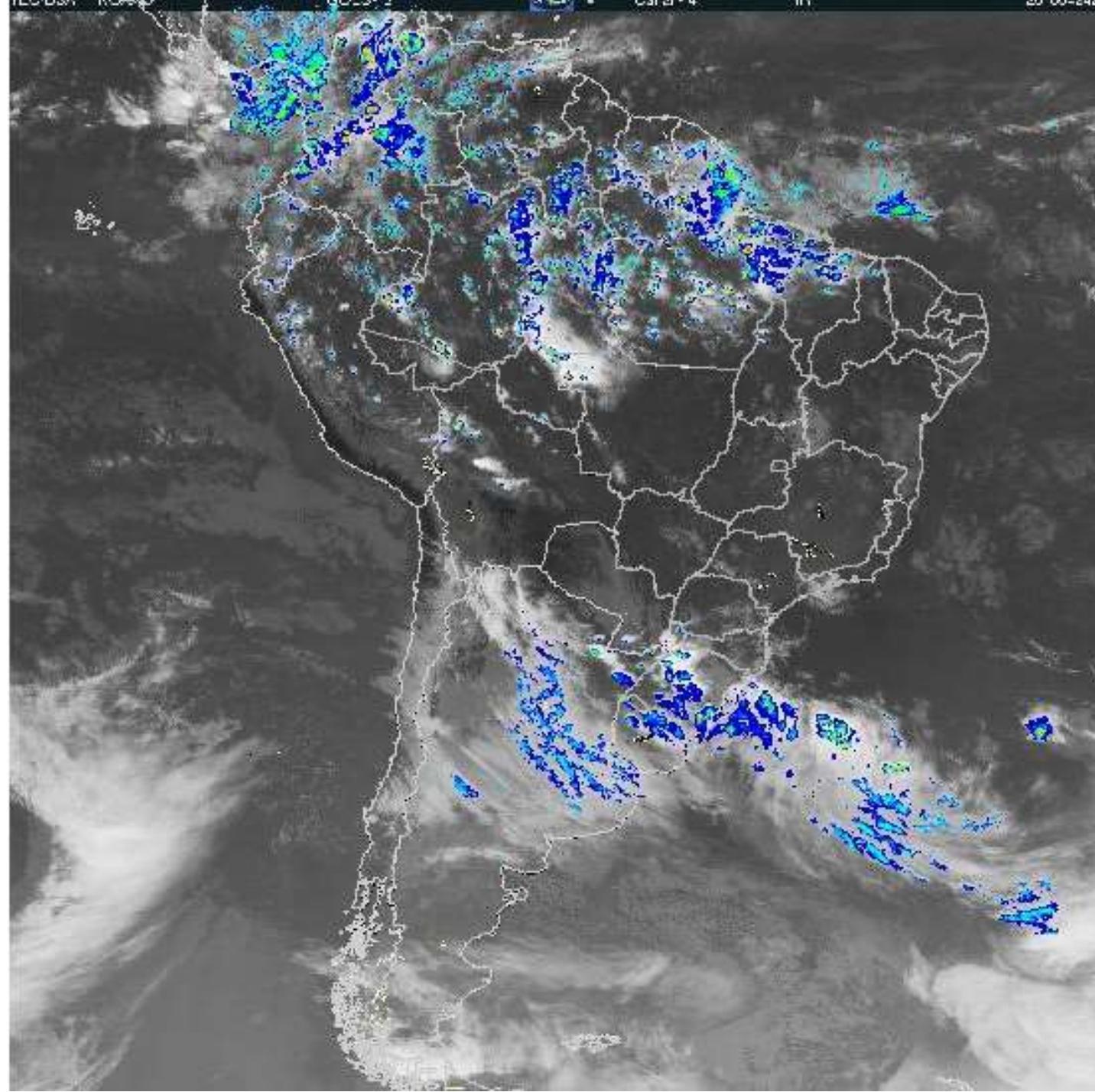
---



# Variabilidade espaço-temporal da chuva frontal

---

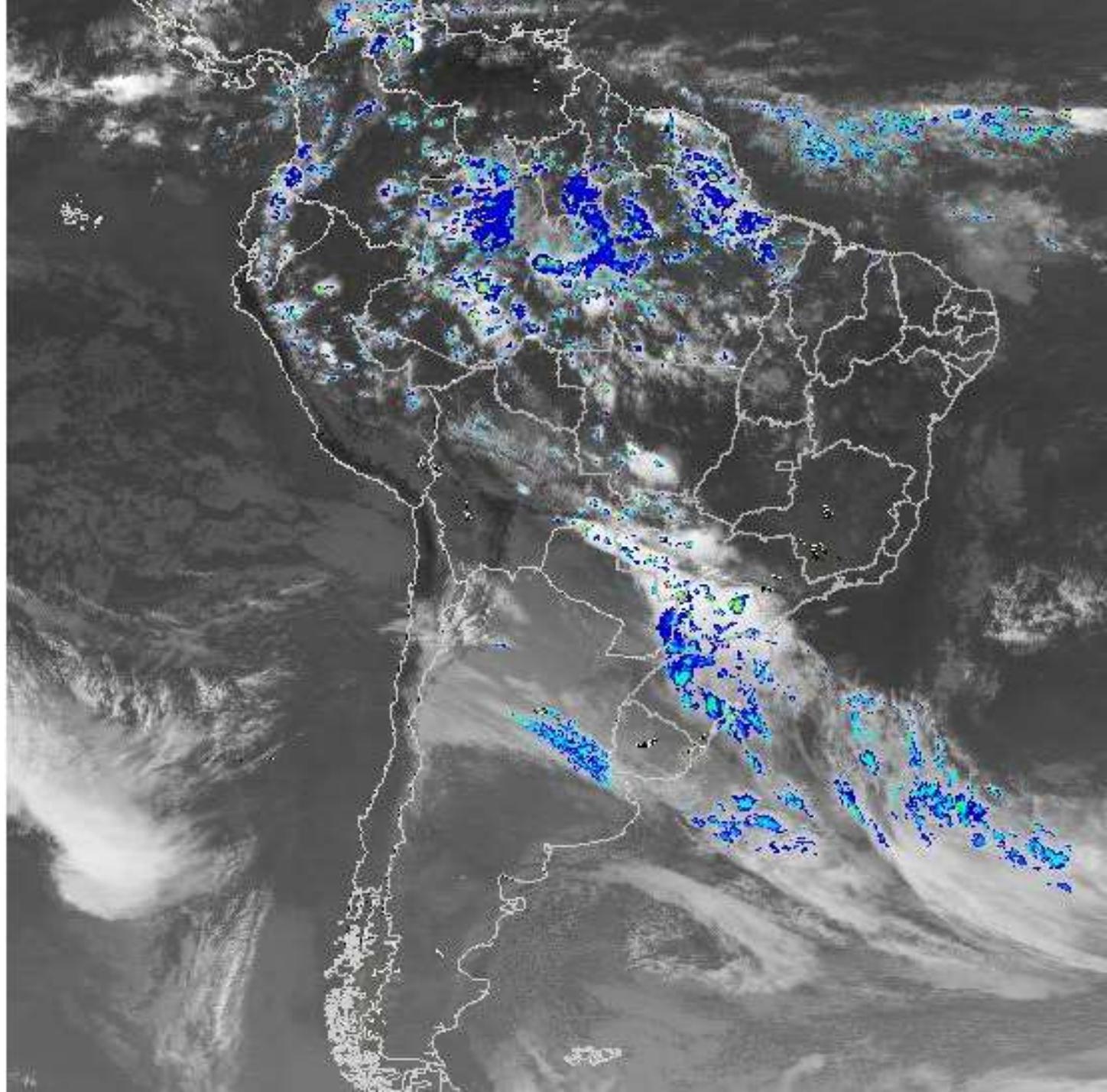
Imagem GOES 13 - INPE



# Variabilidade espaço-temporal da chuva frontal

---

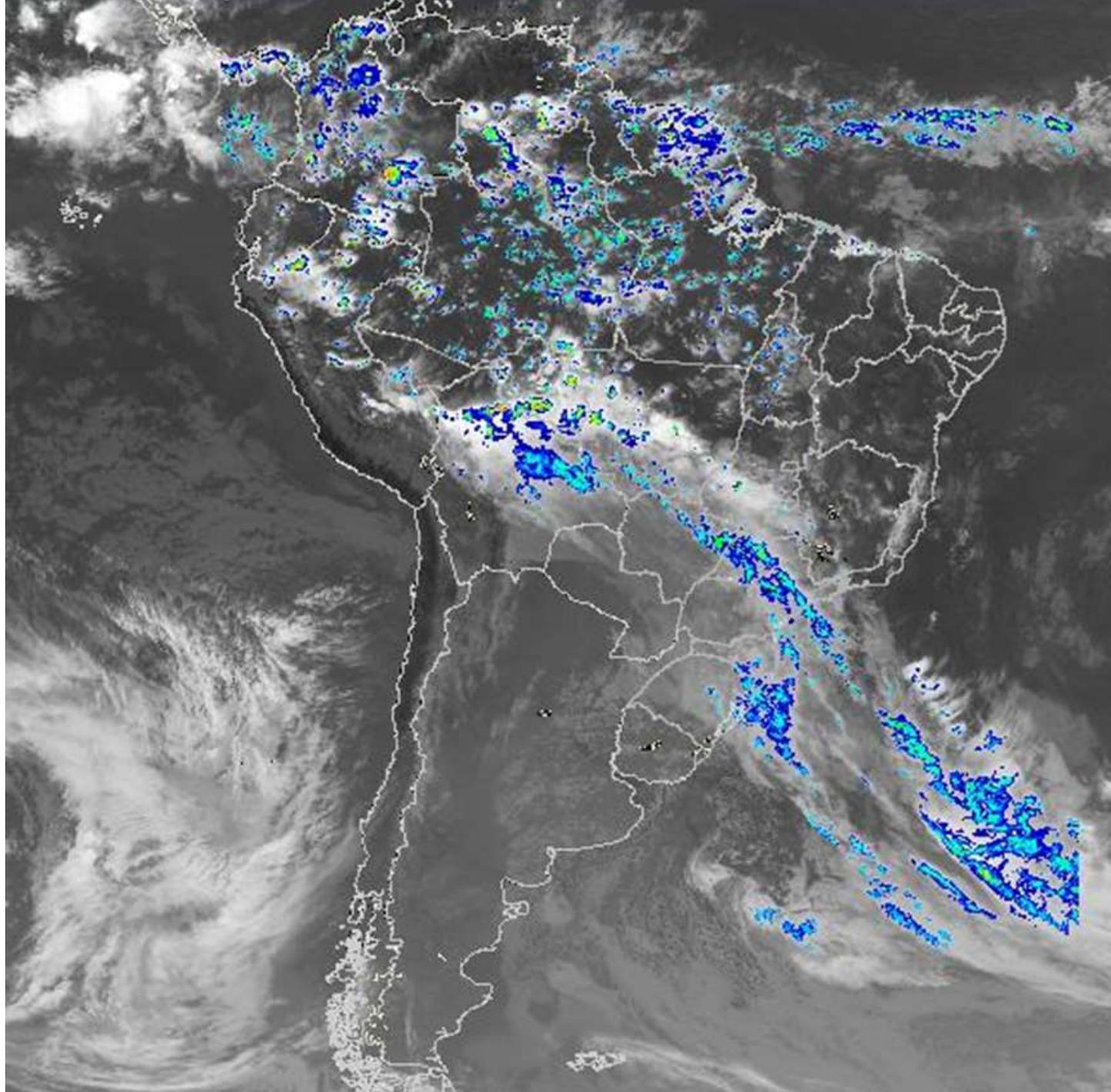
Imagem GOES 13 - INPE



# Variabilidade espaço-temporal da chuva frontal

---

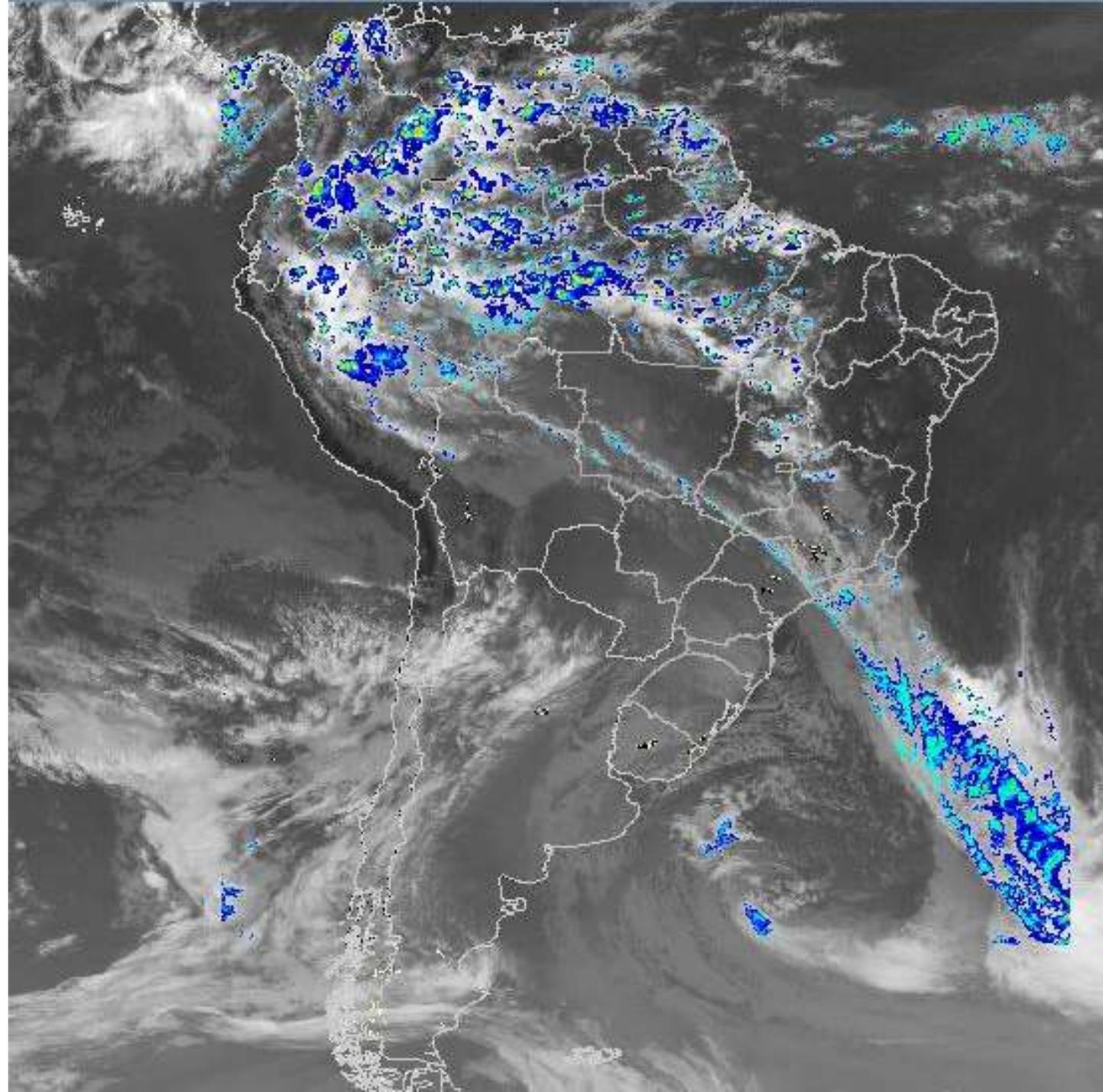
Imagem GOES 13 - INPE



# Variabilidade espaço-temporal da chuva frontal

---

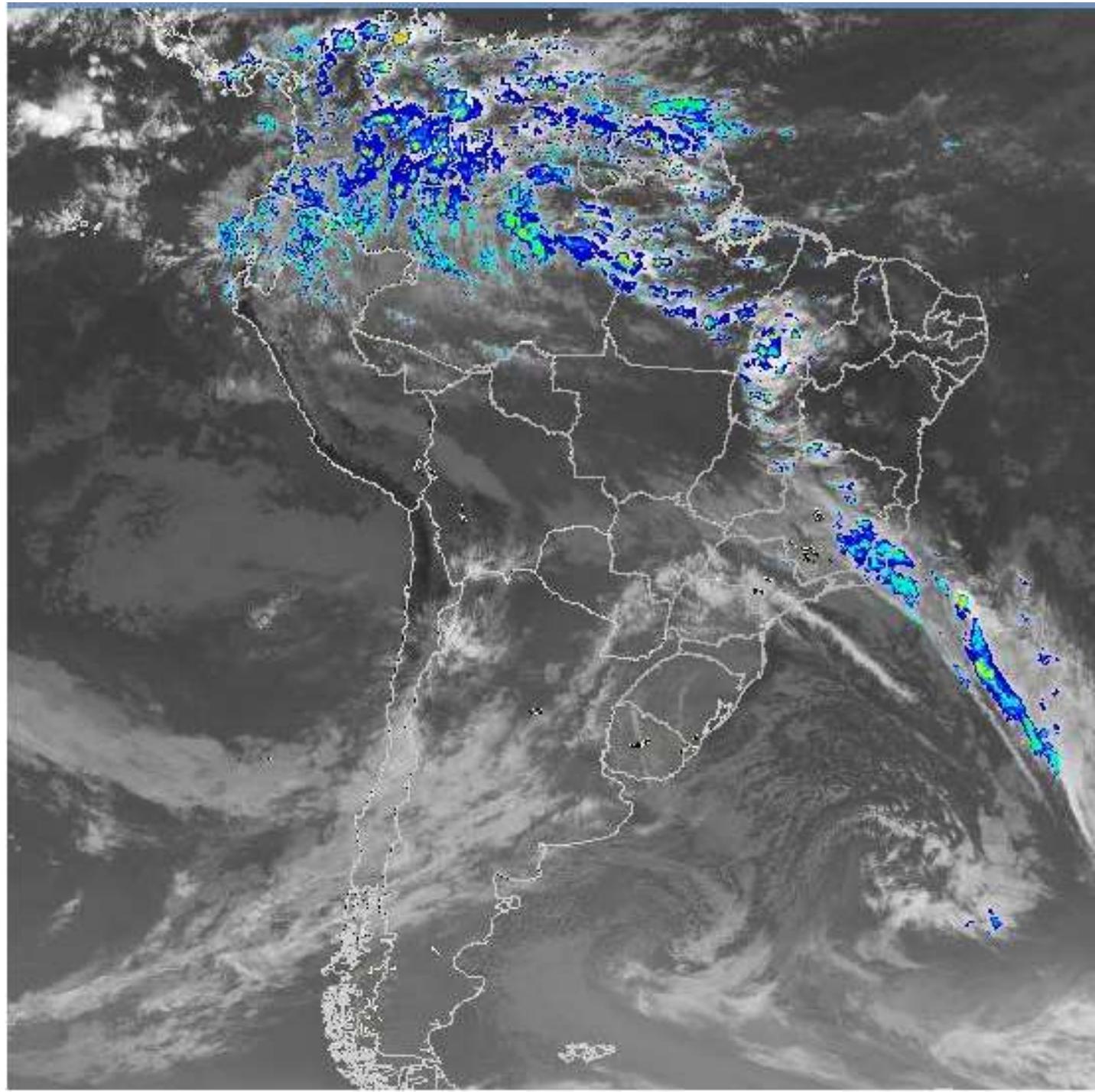
Imagem GOES 13 - INPE



# Variabilidade espaço-temporal da chuva frontal

---

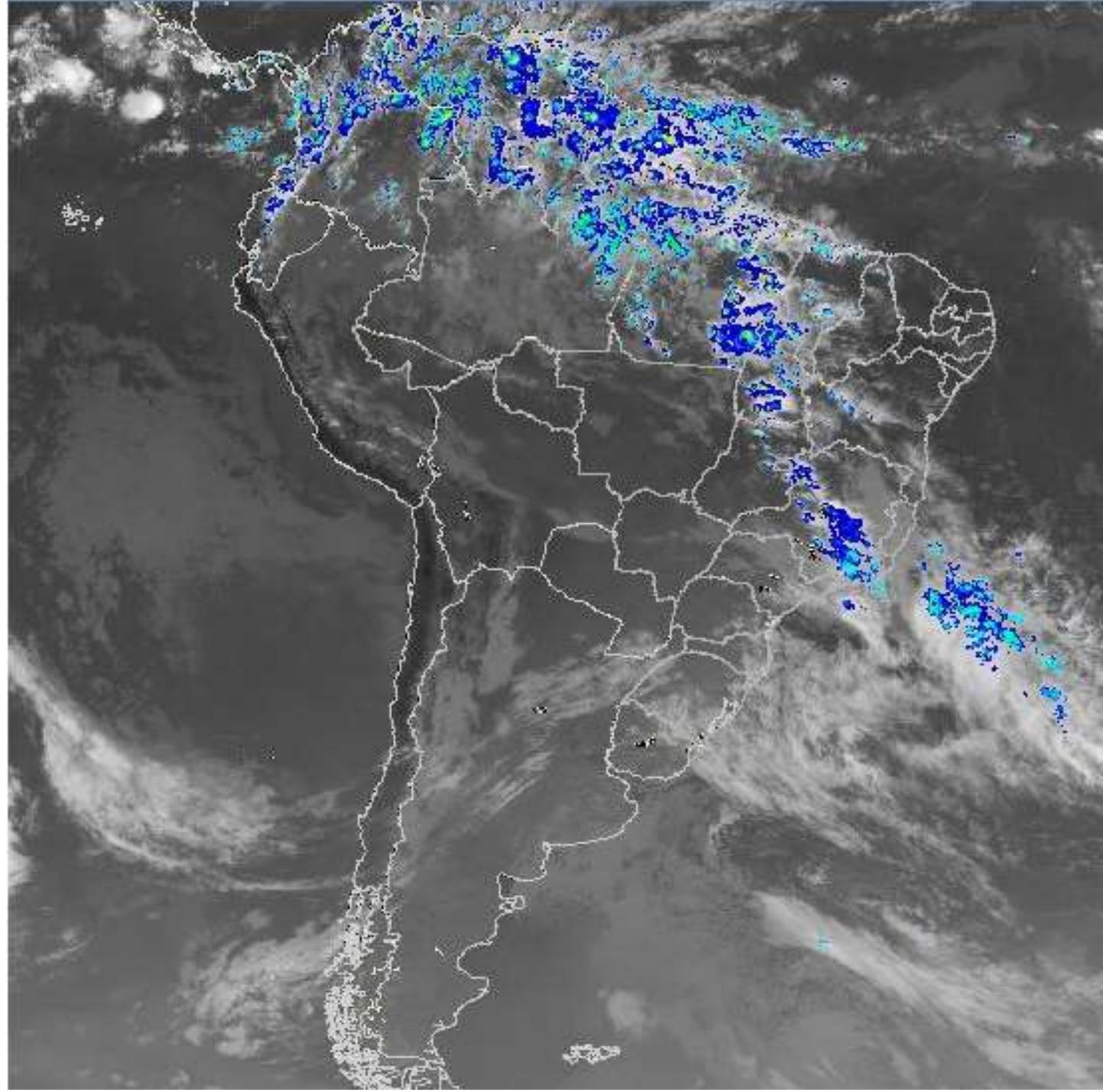
Imagem GOES 13 - INPE



# Variabilidade espaço-temporal da chuva frontal

---

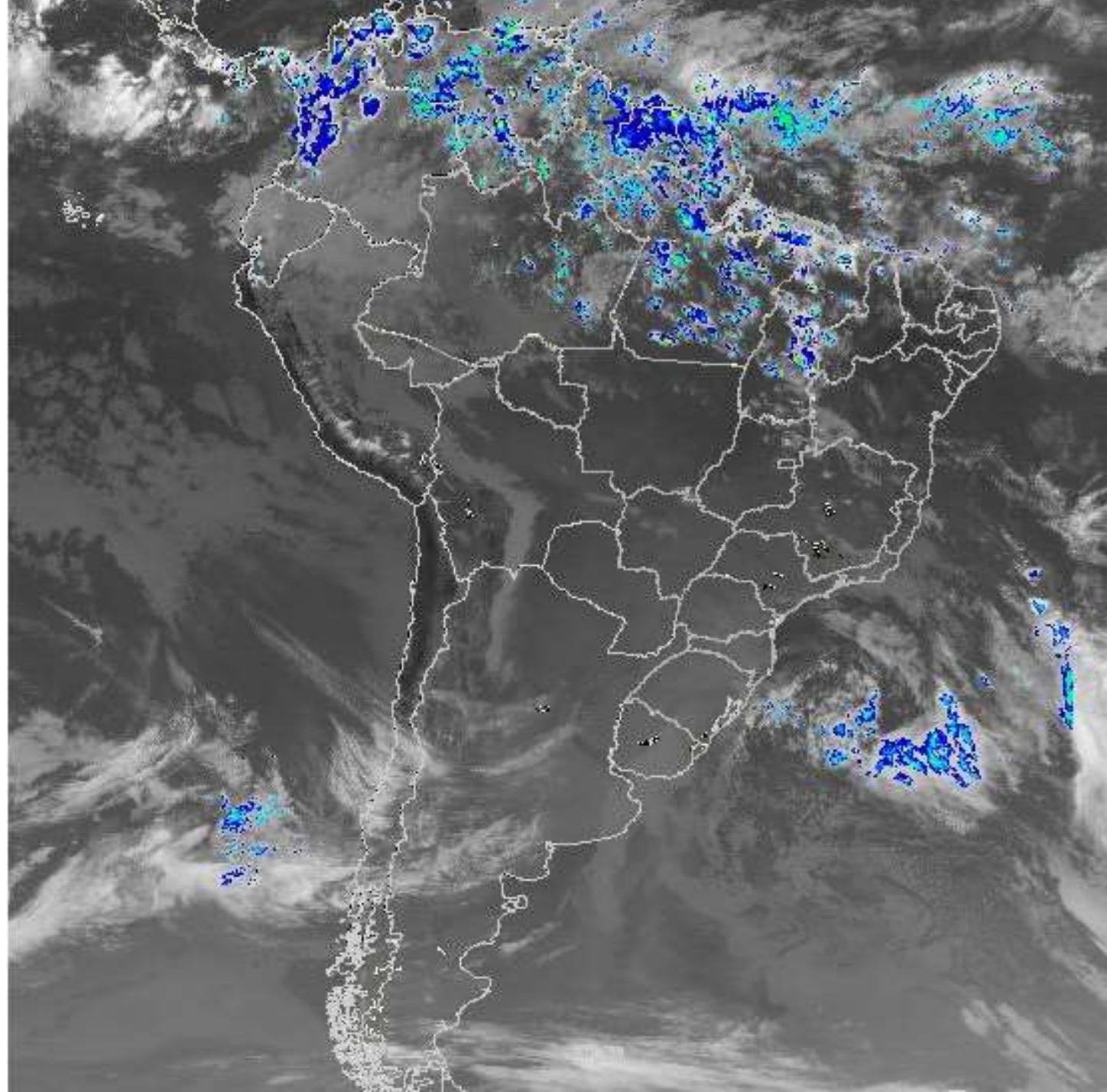
Imagem GOES 13 - INPE



# Variabilidade espaço-temporal da chuva frontal

---

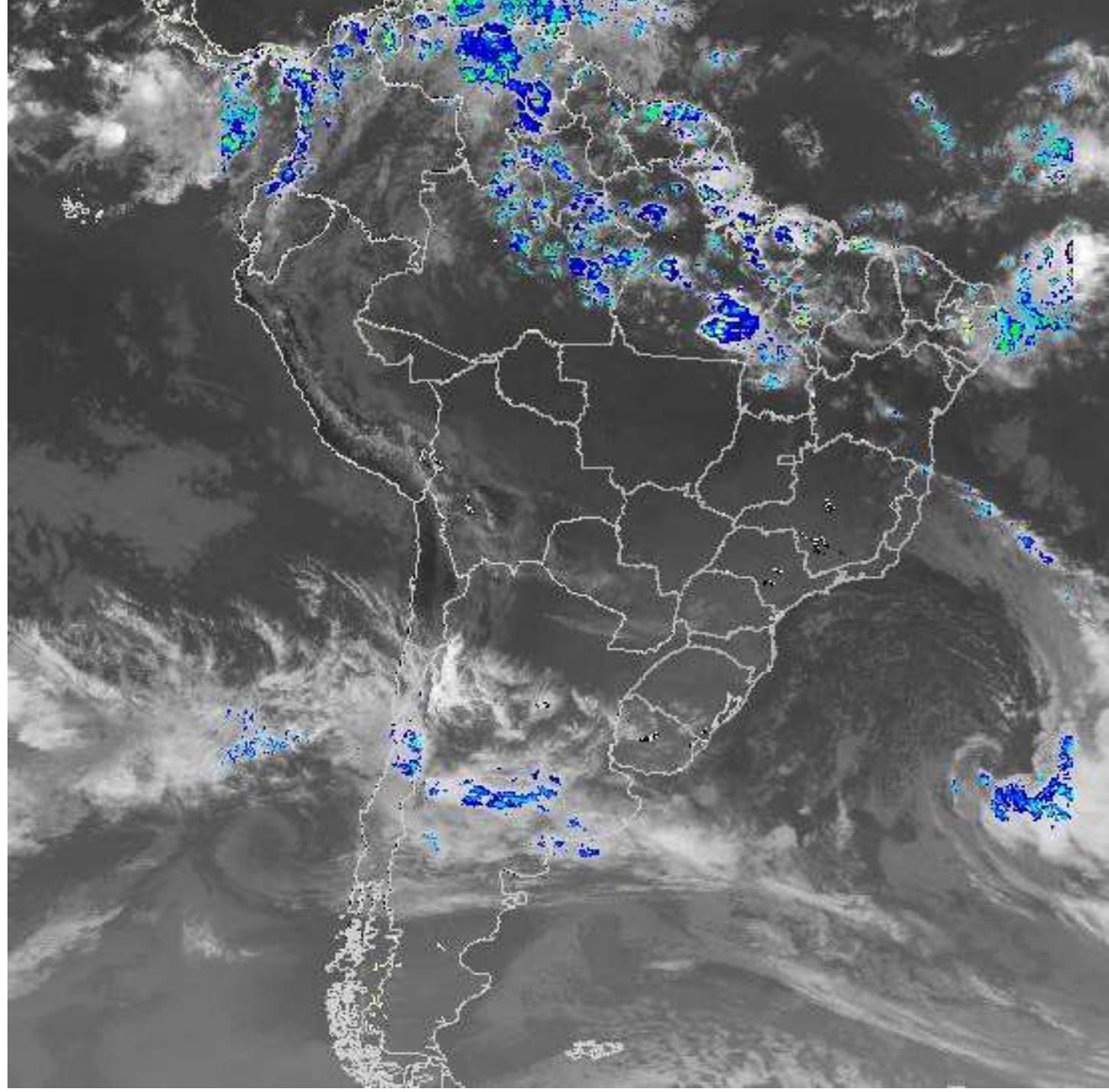
Imagem GOES 13 - INPE



# Variabilidade espaço-temporal da chuva frontal

---

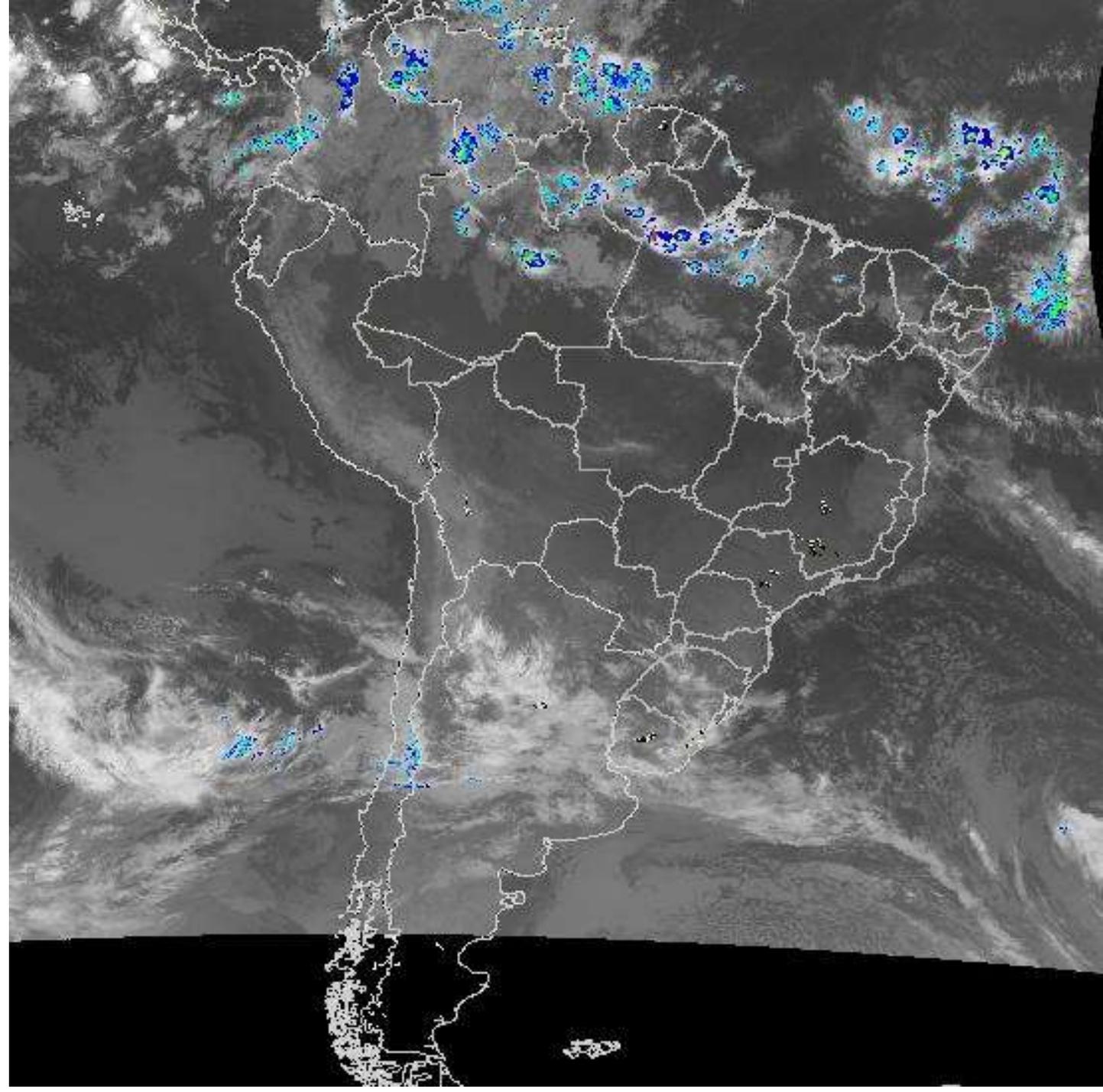
Imagem GOES 13 - INPE



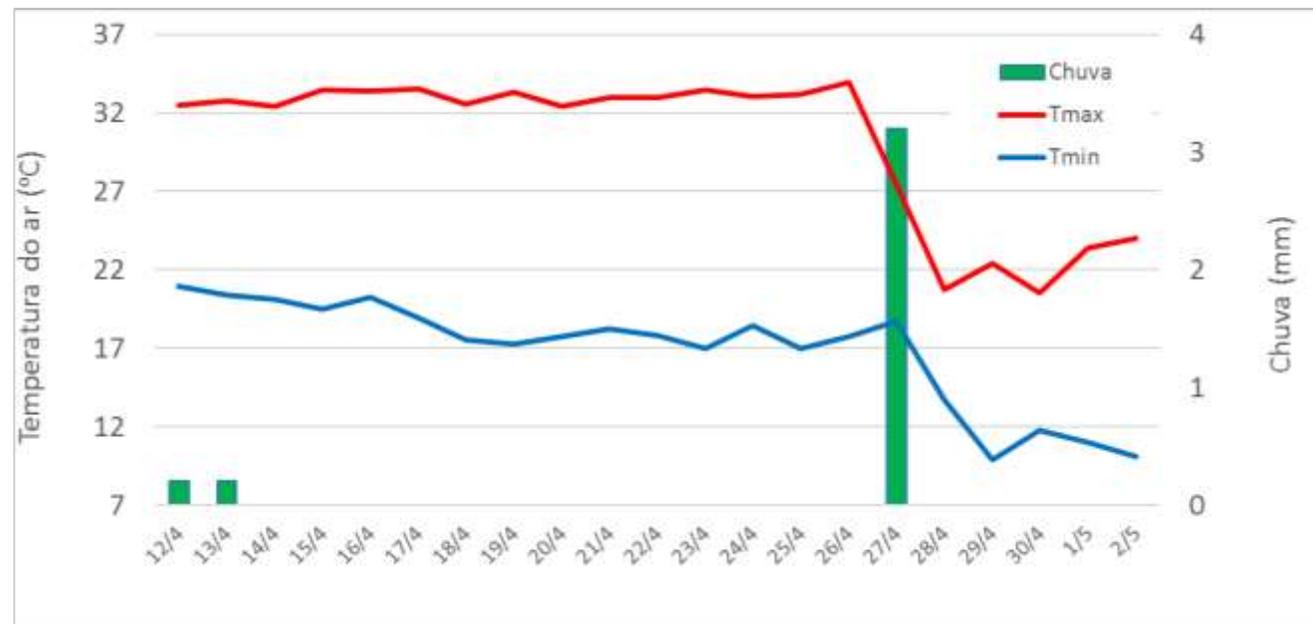
# Variabilidade espaço-temporal da chuva frontal

---

Imagem GOES 13 - INPE

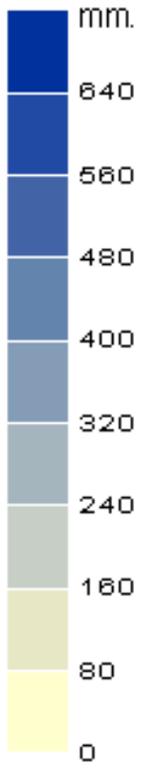
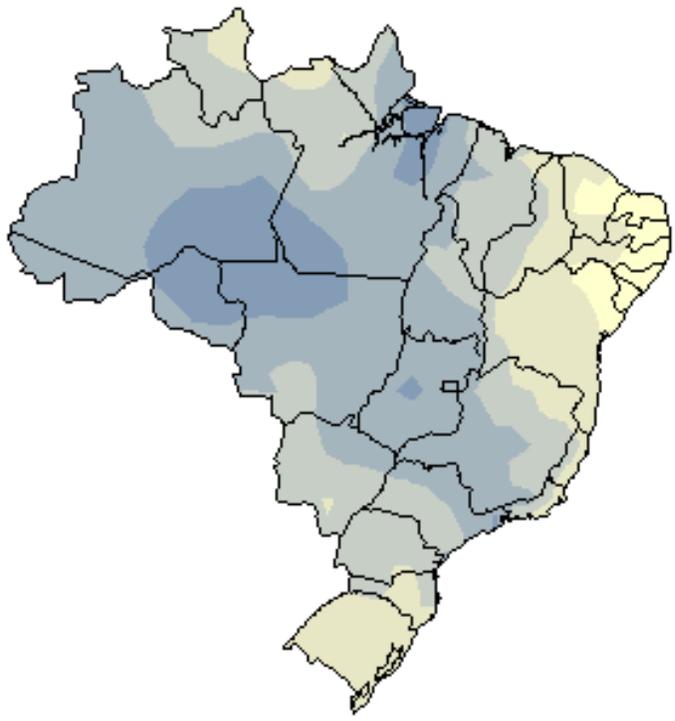


## Relação entre Chuva e Temperatura no Centro Sul do Brasil



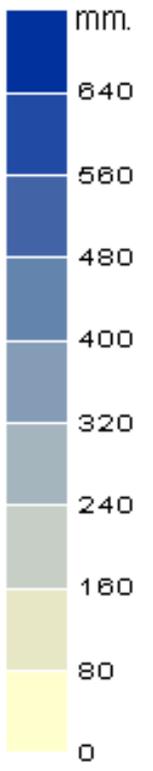
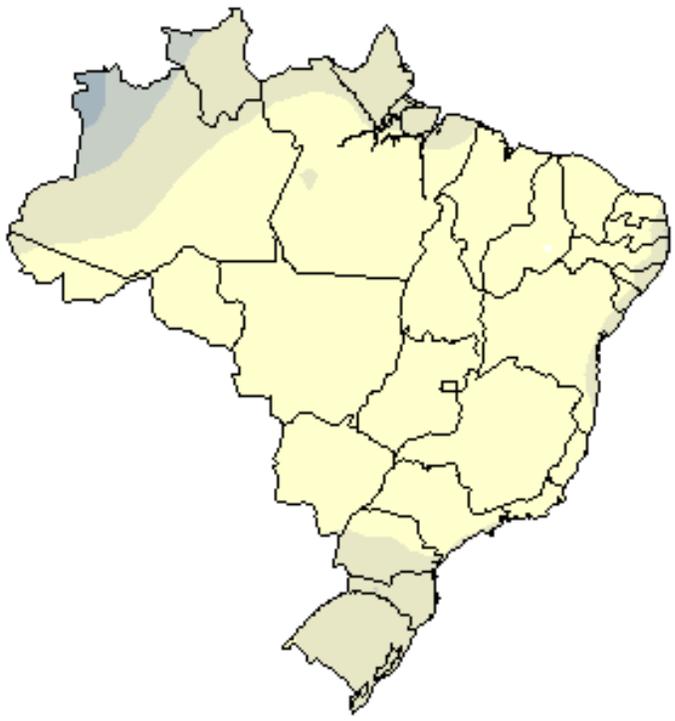
- Dados do Posto Meteorológico da ESALQ entre 12/4/2016 e 2/5/2016 [www.leb.esalq.usp.br/posto](http://www.leb.esalq.usp.br/posto)

PRECIPITAÇÃO - JANEIRO



Fonte: INMET 1931/1990

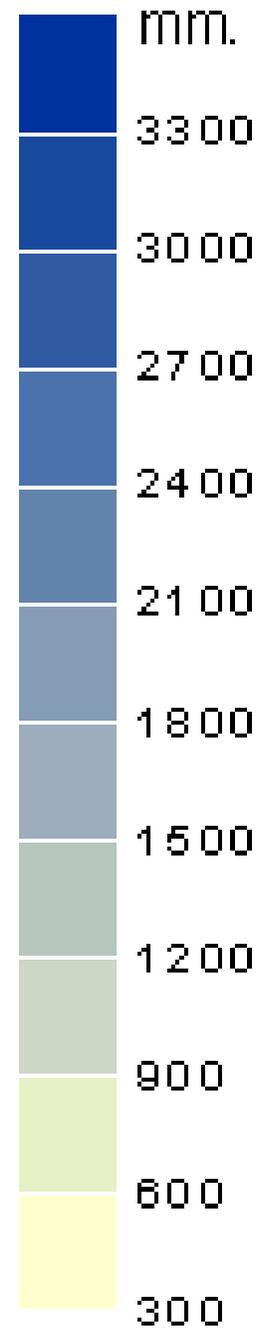
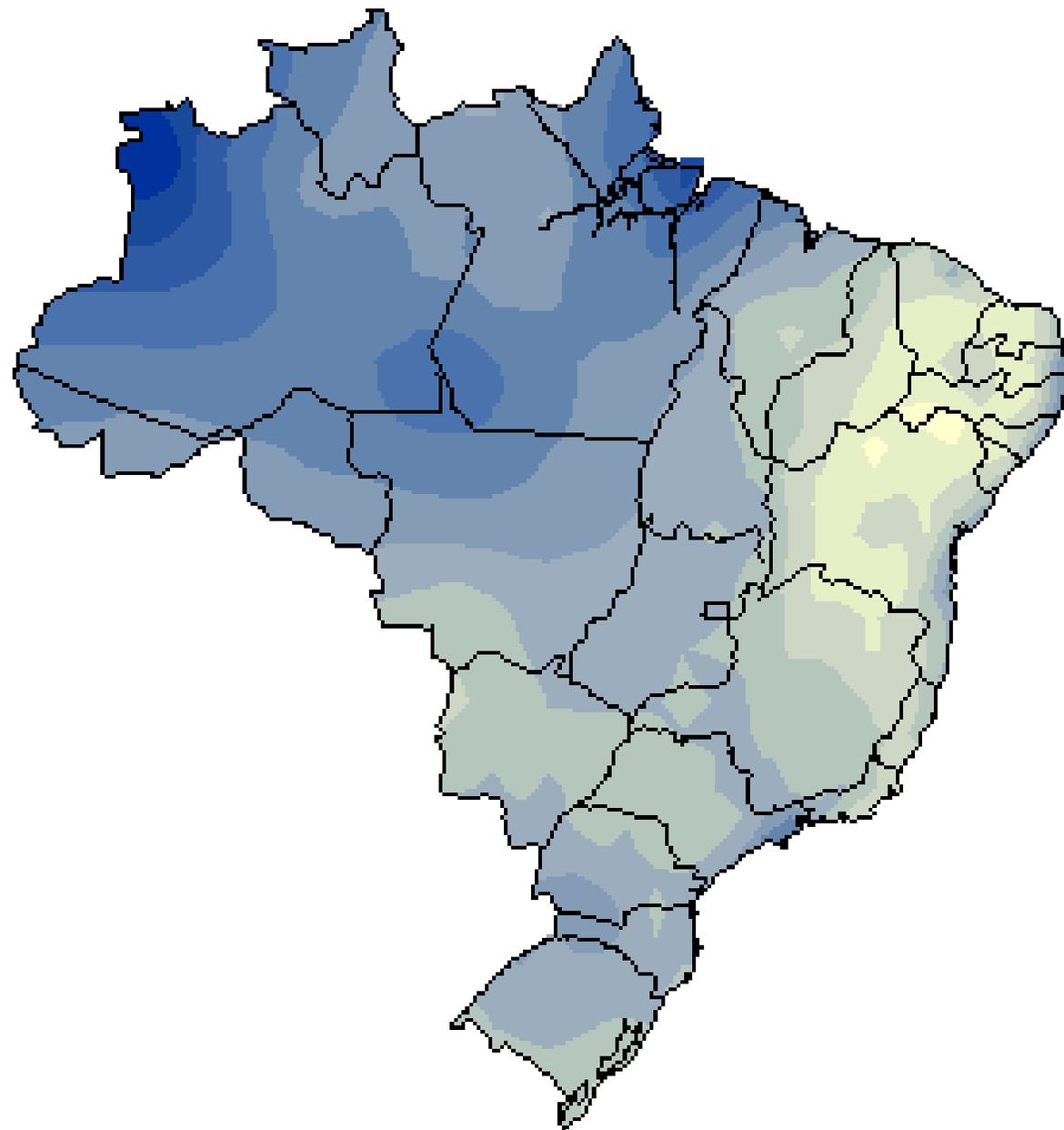
PRECIPITAÇÃO - AGOSTO



Fonte: INMET 1931/1990

# Variabilidade espaço-temporal da chuva

# PRECIPITAÇÃO ANUAL



Variabilidade  
espaço-  
temporal da  
chuva



# Medida da Chuva

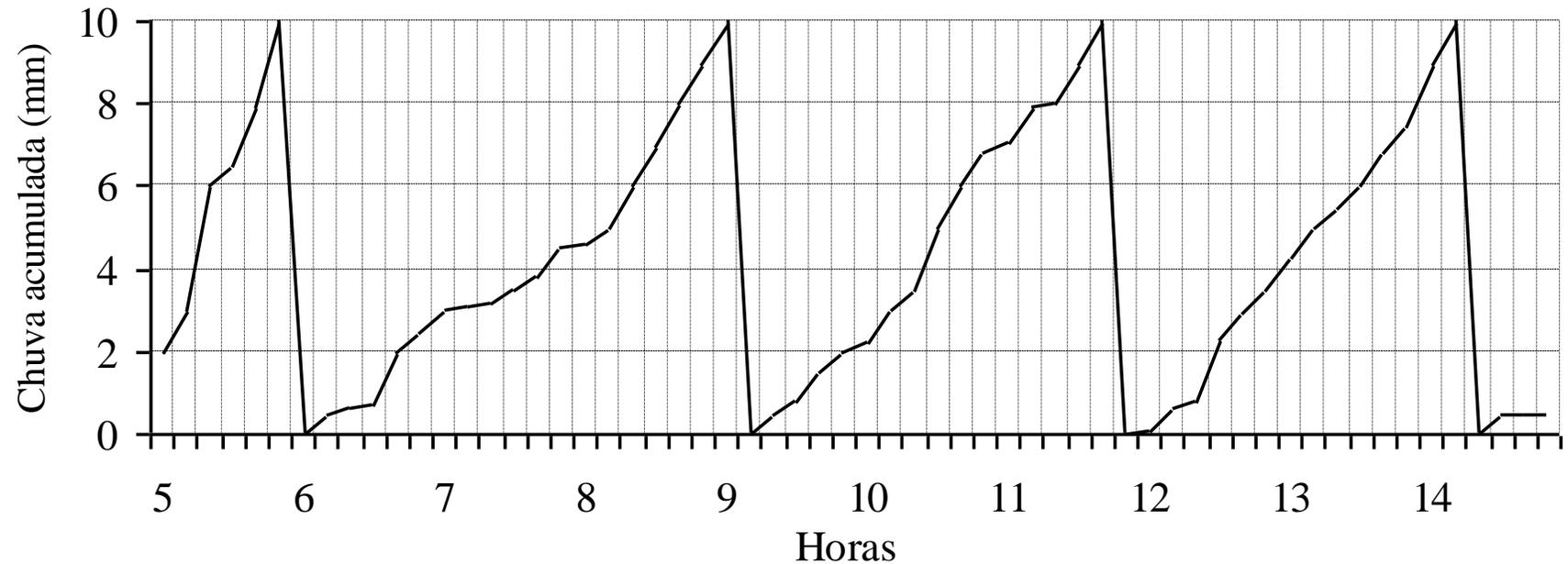
---

- $h = \text{volume precipitado} / \text{área de captação}$
- $h = 1\text{L} / 1\text{m}^2 = 1.000 \text{ cm}^3 / 10.000 \text{ cm}^2 = 0,1 \text{ cm} = 1\text{mm}$

# Intensidade da Chuva

$$I = \frac{h \text{ (vol. precipitado / área de captação)}}{t \text{ (tempo)}}$$

$$I = \frac{h \text{ (L / m}^2\text{)}}{t \text{ (hora)}} \longrightarrow I = \frac{h \text{ (mm)}}{t \text{ (hora)}}$$



# Probabilidade de Ocorrência de Chuvas

- Projetos de Irrigação e Drenagem
- Dimensionamento de sistemas de captação de água
- Métodos simples (distribuição empírica):

$$P = \frac{m}{n + 1} 100$$

em que P é a probabilidade de ocorrência de um valor de um valor crítico, m é o número de ordem dado valor escolhido na sequencia ordenada e n é o número total de dados na série.

Caso hajam valores nulos de chuva (NO) estes devem ser descartados e sugere-se utilizar a seguinte equação:

$$P = \left(1 - \frac{NO}{n}\right) \left(\frac{m}{n + 1 - NO}\right) 100$$

A probabilidade de não chover é dada por NO/n

# Exemplo (Março, Piracicaba)

Ano	1917	1918	1919	1920	1921	1922	1923	1924	1925
Chuva (mm)	62	152	30	164	17	117	311	139	84

$$n = 9$$

Re-ordenando

Ano	1921	1919	1917	1925	1922	1924	1918	1920	1923
Chuva (mm)	17	30	62	84	117	139	152	164	311
m	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P									

Qual a probabilidade de chover menos de 80mm em março em Piracicaba?

$$P = \frac{4}{9 + 1} 100$$

$$P = 40\%$$

# Exemplo (Março, Piracicaba)

Ano	1921	1919	1917	1925	1922	1924	1918	1920	1923
Chuva (mm)	17	30	62	84	117	139	152	164	311
m	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P									

Qual a probabilidade de chover mais de 150mm em março em Piracicaba?

$$P = \frac{7}{9 + 1} 100 \qquad (1 - P) = 30\%$$

# Exemplo (Julho, Piracicaba)

Ano	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960
Chuva (mm)	8	4	14	8	10	53	90	15	0	0

$n = 10$

$NO = 2$

Re-ordenando

Ano	1959	1960	52	51	54	55	53	58	56	57
Chuva (mm)	0	0	4	8	8	10	14	15	53	90
m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P										

Qual a probabilidade de chover menos de 50mm em março em Piracicaba?

$$P = \left(1 - \frac{NO}{n}\right) \left(\frac{m}{n + 1 - NO}\right) 100 \quad P = \left(1 - \frac{2}{10}\right) \left(\frac{9}{10 + 1 - 2}\right) 100 \quad P = 80\%$$

# Exemplo (Julho, Piracicaba)

Ano	1959	1960	52	51	54	55	53	58	56	57
Chuva (mm)	0	0	4	8	8	10	14	15	53	90
m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P										

Qual a probabilidade de não chover?

$$P = 20\%$$

Qual a probabilidade de chover mais de 10 mm?

$$P = \left(1 - \frac{2}{10}\right) \left(\frac{6}{10 + 1 - 2}\right) 100$$

$$P = 53\%$$

# Tempo de Retorno (t)

- Também conhecido como intervalo médio ou tempo de recorrência de um valor maior que a chuva associada a probabilidade P:  $t = 1 / (1-P)$

Exemplo:

Qual o tempo de retorno de um chuva maior que 50 mm em Julho em Piracicaba?

$$t = 1 / (1-0,8) = 5$$

ou seja, a cada 5 anos, em média, tem-se chuva de 50 mm em Piracicaba no mês de Julho.

# Exercício Rápido

1. Um pluviômetro, cujo raio da área de captação é de 11,35 cm, coletou, em 10 horas, um total de 1,2L de água da chuva. Calcule:
  - a) a altura pluviométrica (h)?
  - b) A intensidade da chuva (i), em mm/hora?

# Leitura

Obrigatória:

Pereira, Angelocci, Sentelhas. Meteorologia Agrícola. Apostila. ESALQ. 2007.  
Cap 8.

Disponível em

[http://www.ler.esalq.usp.br/aulas/lce306/MeteorAgricola\\_Apostila2007.pdf](http://www.ler.esalq.usp.br/aulas/lce306/MeteorAgricola_Apostila2007.pdf)