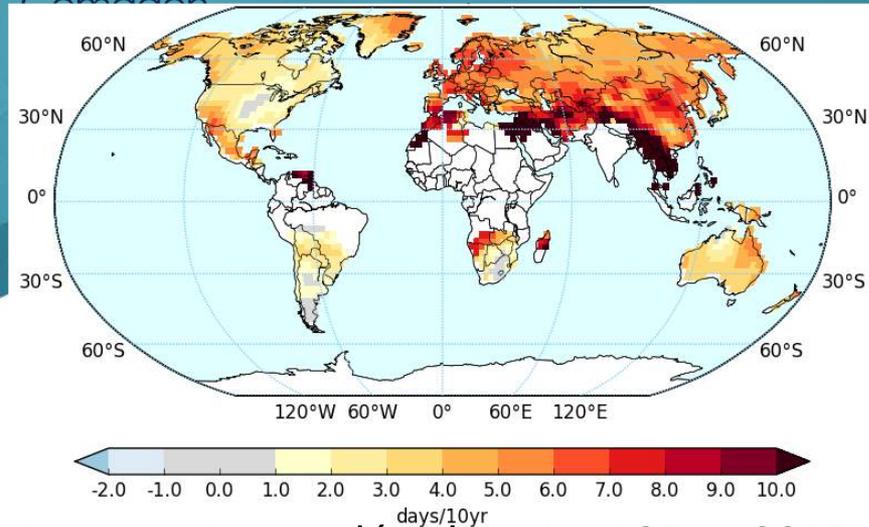


# Centro Nacional de Monitoreo y Alertas de Desastres Naturales - CEMADEN

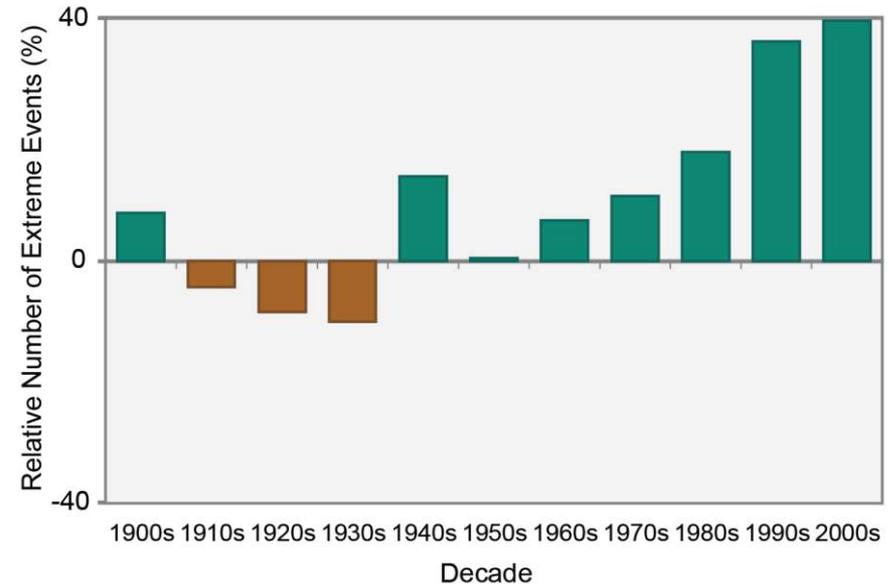
Javier Tomasella



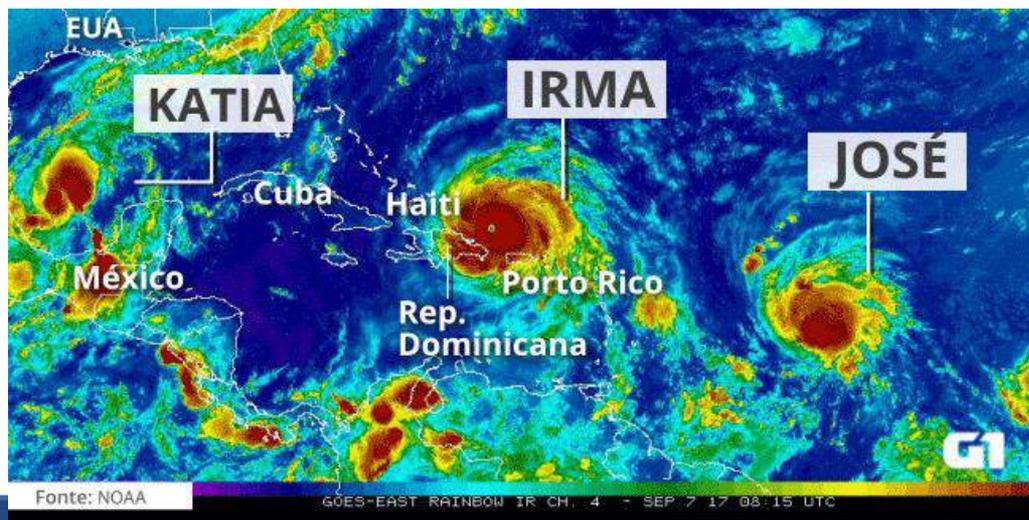
# Porque los desastres naturales están en evidencia?



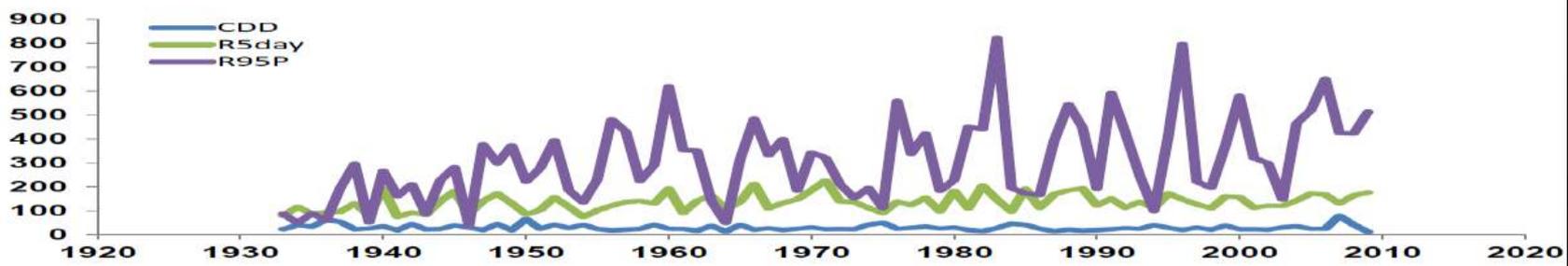
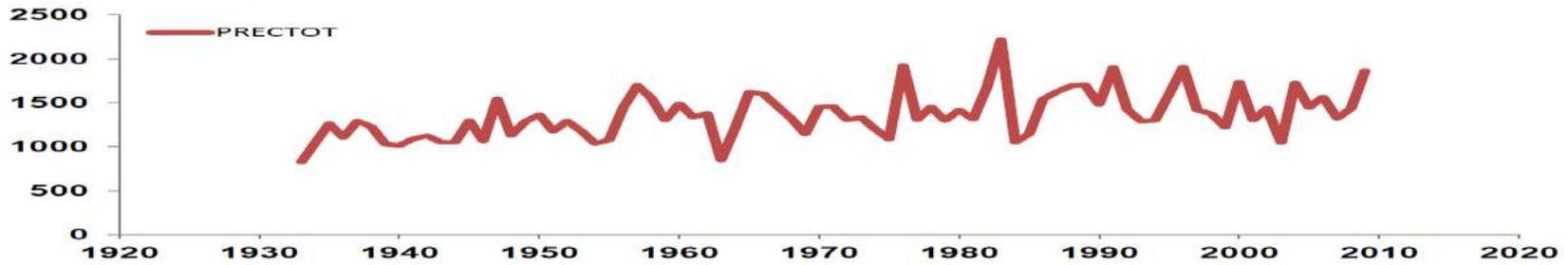
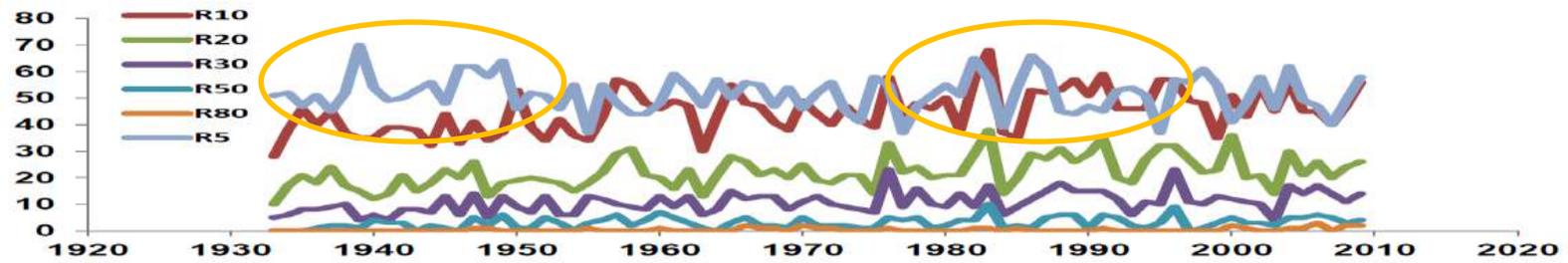
## Observed U.S. Trend in Heavy Precipitation



Número relativo de eventos de precipitación en el cual el total precipitado en dos días excede la media una vez cada 5 años (adaptado de Kunkel et al. 2013).



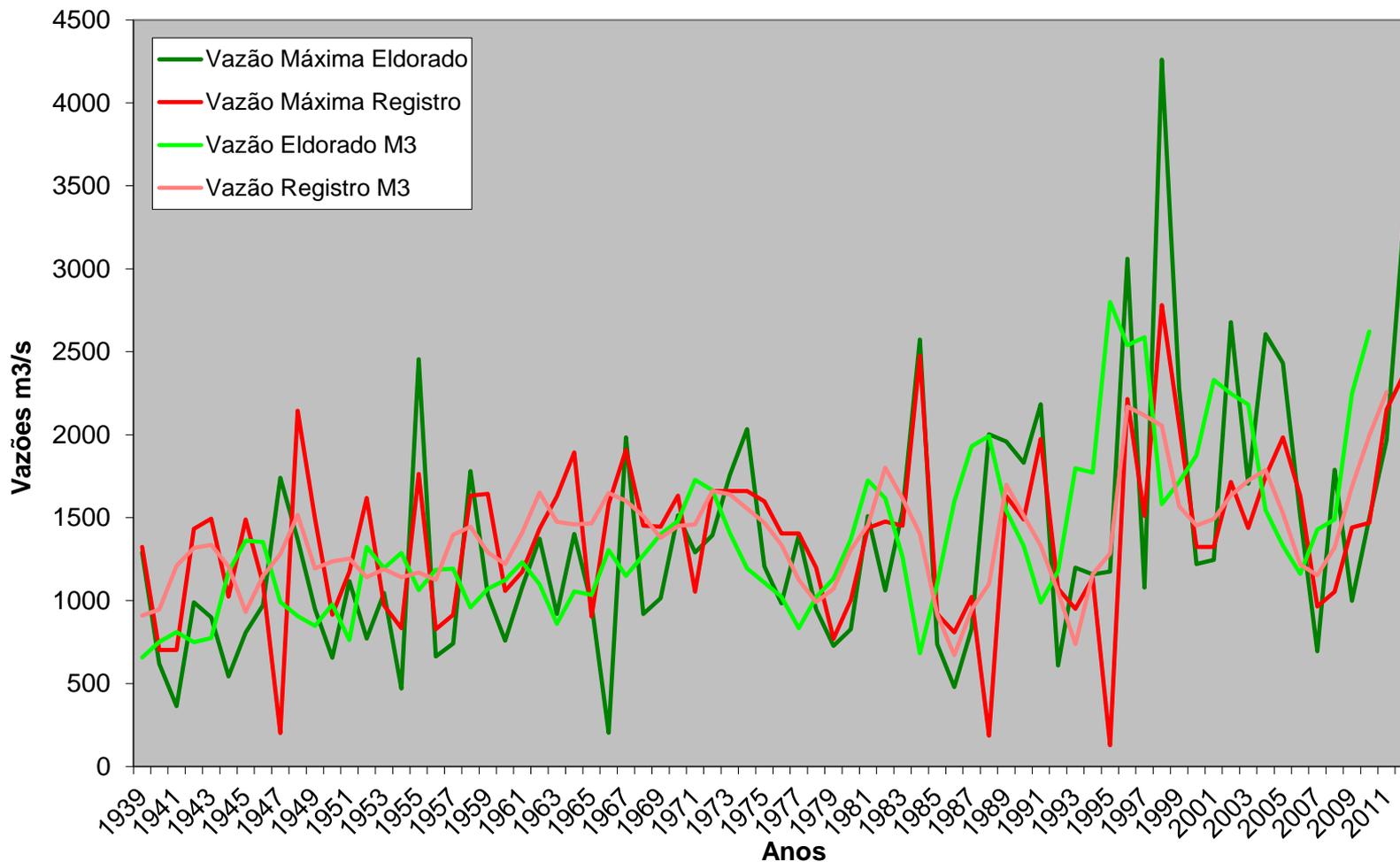
# Incremento significativo de eventos extremos



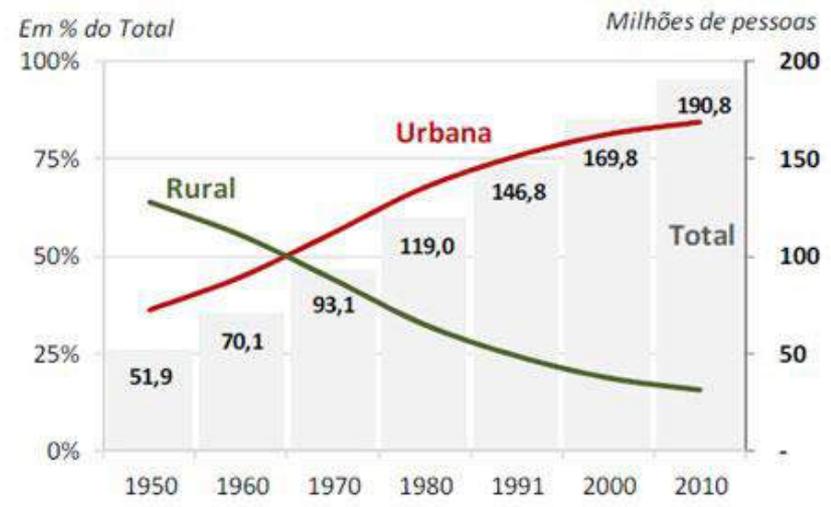
**Extremos de lluvia - Estación USP IAG Água Funda**

# Y el consecuente impacto en el régimen hidrológico de los ríos

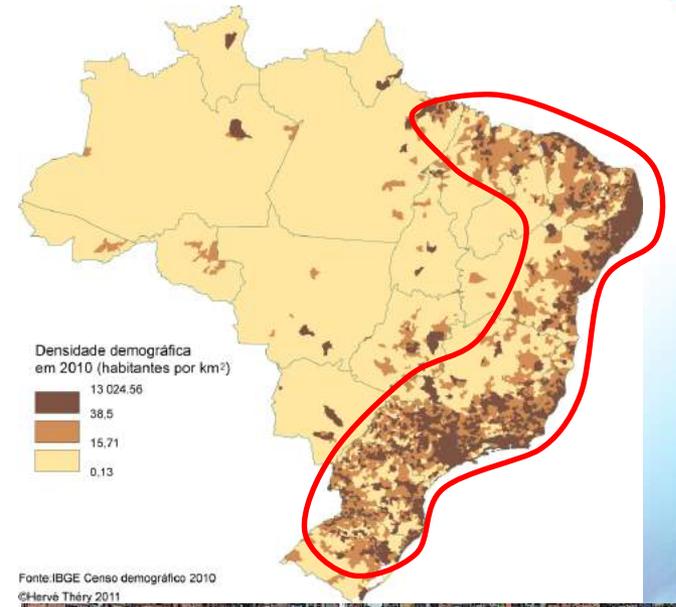
## Vazões Máximas Rio Ribeira de Iguape



# Tendencias demográficas en el Brasil

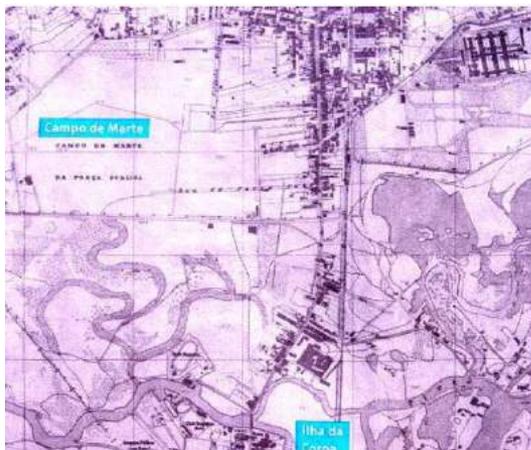


Fonte: IBGE, 2010  
www.beefpoint.com.br



Fonte: IBGE Censo demográfico 2010  
©Hervé Théry 2011

## Anhembi, São Paulo

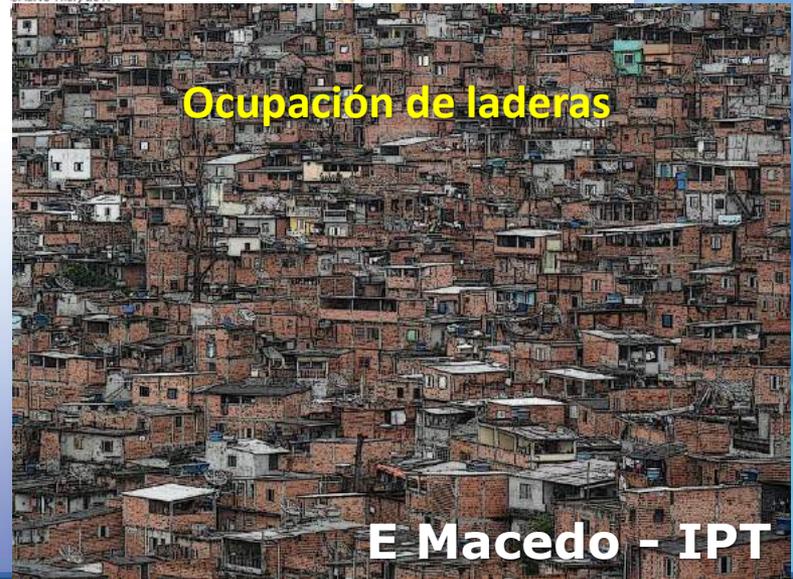


1930



2010

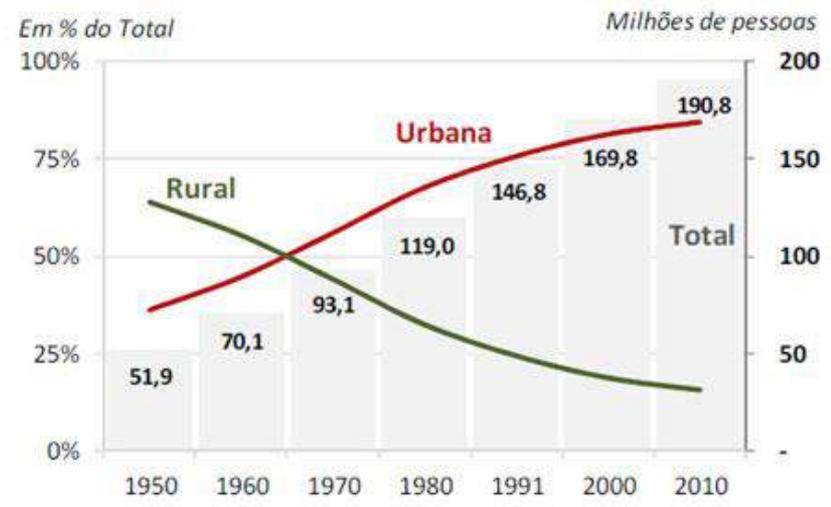
Ocupación de la planicie de inundación



Ocupación de laderas

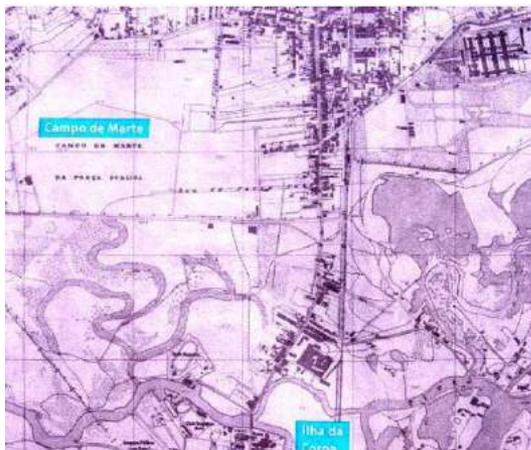
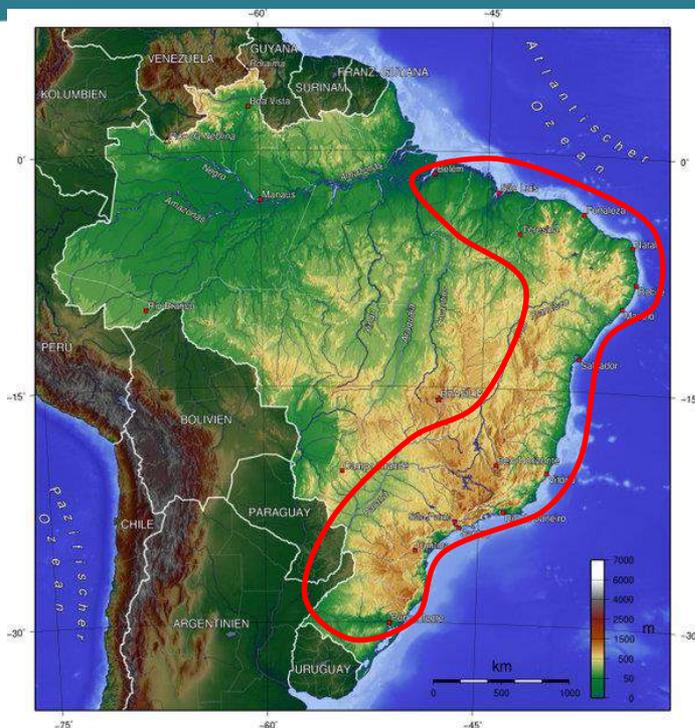
E Macedo - IPT

# Tendencias demográficas en el Brasil



Fonte: IBGE, 2010  
www.beefpoint.com.br

Anhembi, São Paulo

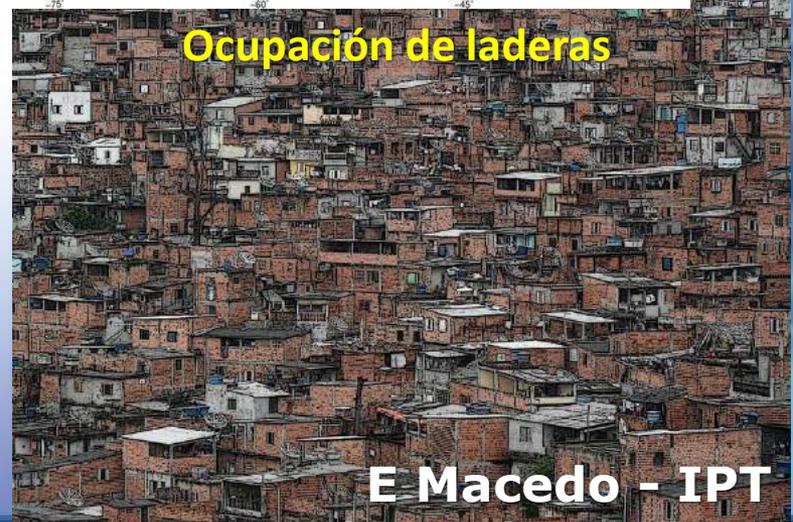


1930



2010

Ocupación de la planicie de inundación

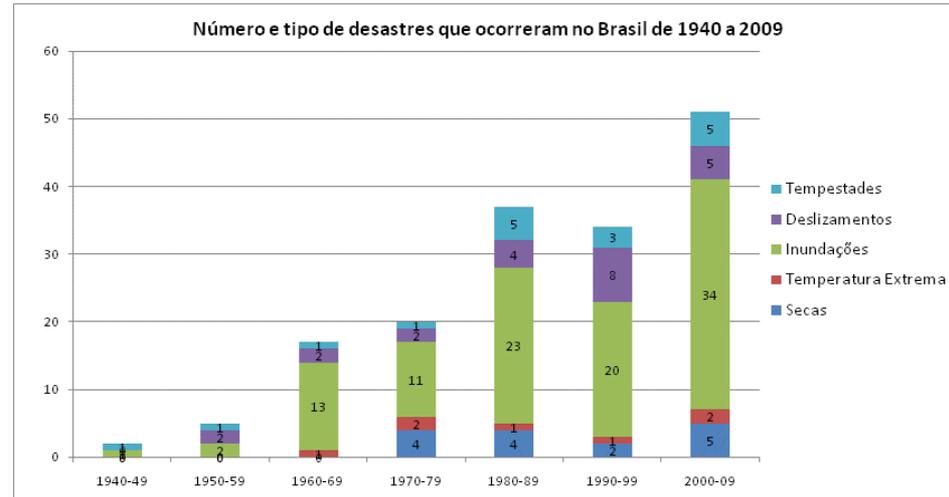
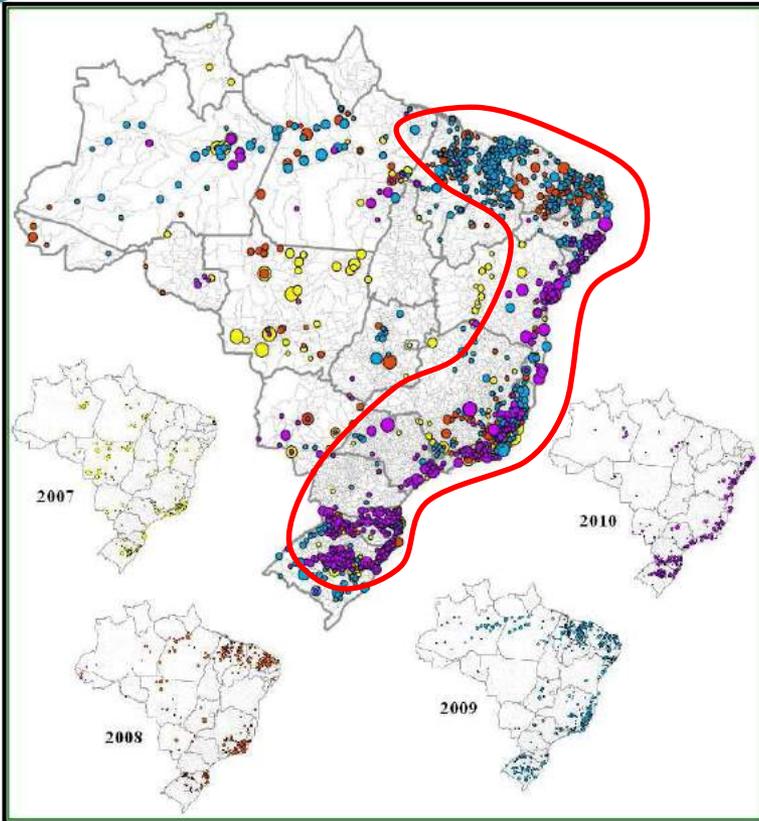


Ocupación de laderas

E Macedo - IPT

# Aumento significativo del riesgo

## Evolución de los Desastres Naturales en el Brasil

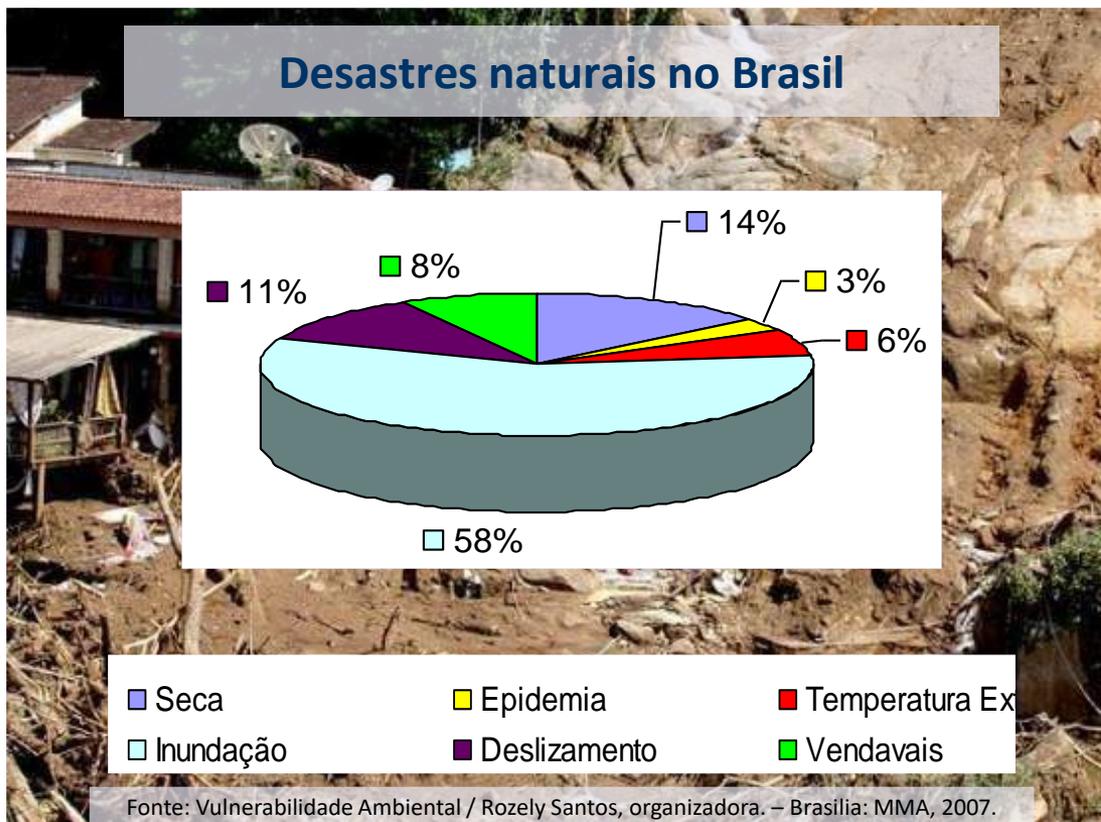


Fonte: Defesa Civil Nacional e MPOG

# Riesgo = SUSCEPTIBILIDAD X EXPOSICIÓN

# Distribución de los desastres naturales en el Brasil

- Inundaciones y deslizamientos/derrumbes = 69% de las ocurrencias
  - Mayor número de muertes = deslizamientos de tierra



# Centro Nacional de Monitoreo y Alertas de Desastres Naturales

Creado en 2011, su principal misión es llevar a cabo el **monitoreo y alerta de las amenazas naturales** en las áreas de los municipios brasileños susceptibles en la ocurrencia de desastres naturales, además de **realizar las investigaciones y innovaciones tecnológicas que ayudan a mejorar el alerta temprana**, con el objetivo de reducir el número de víctimas fatales y daños materiales en todo el país.

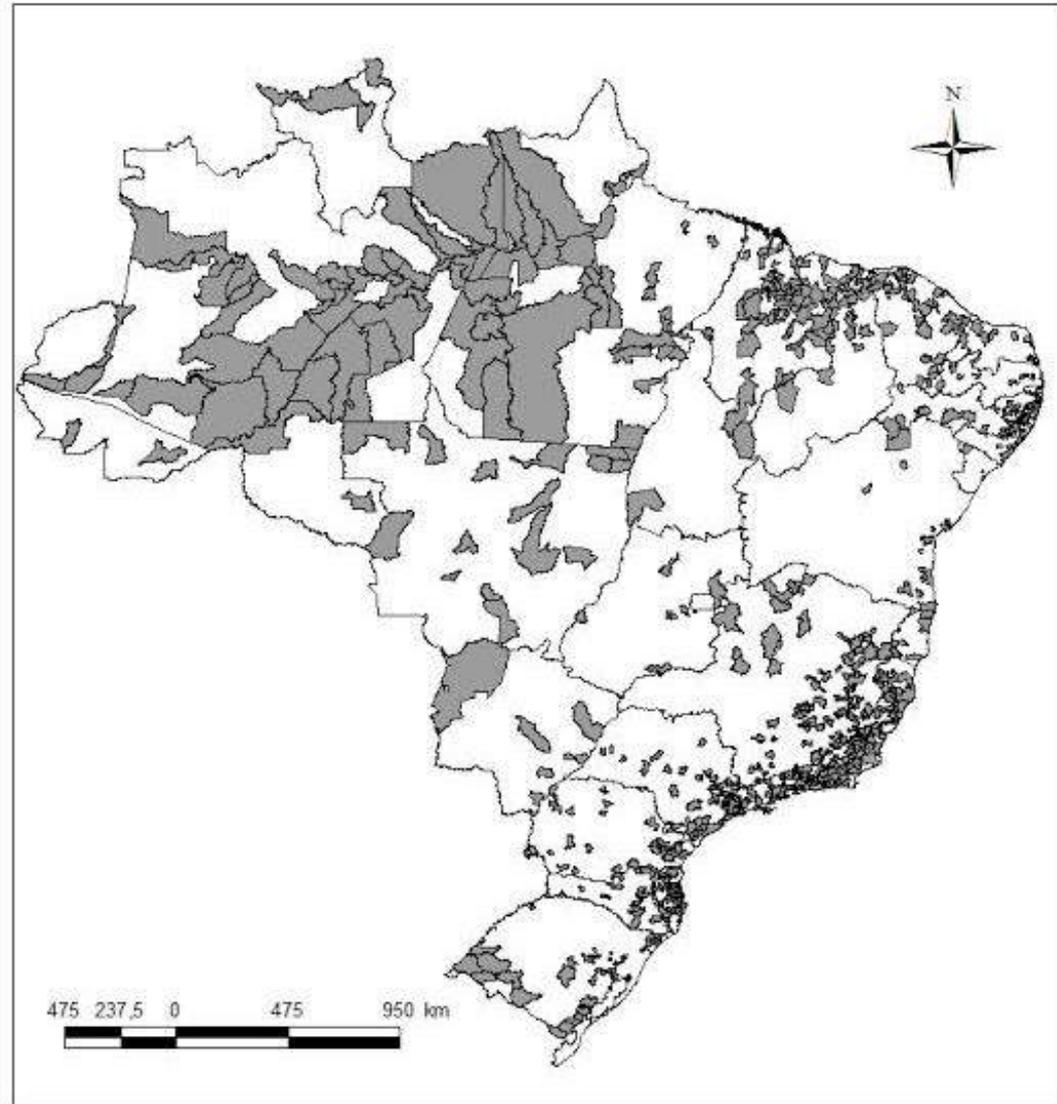


# CEMADEN MARCOS HISTÓRICOS



Brasil se divide en 5570 municipalidades

Con base en los registros históricos de desastres fueron seleccionados 958 municipalidades que incluyen más del 95% de todas las ocurrencias registradas



# Plan Nacional de Gerenciamiento de Riesgos y Respuestas a Desastres Naturales

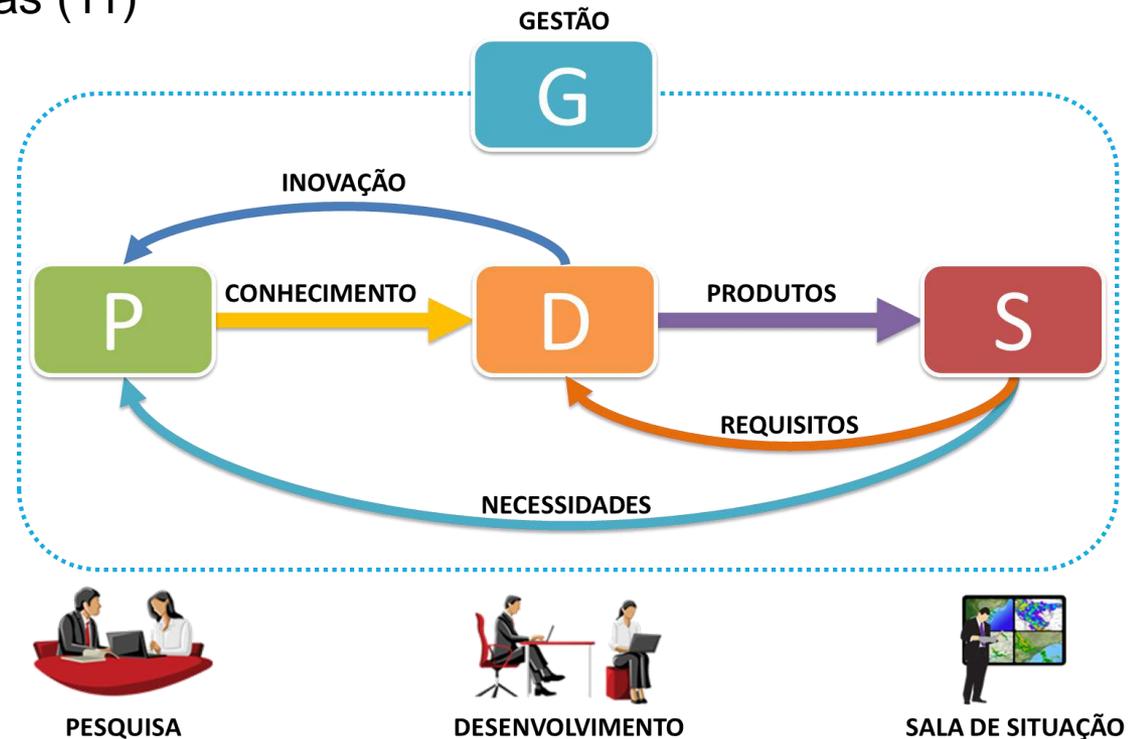


## Sala de Situación 24/7

- Tecnólogos (45)
  - Desastres Naturales (10)
  - Geodinámica de Desastres Naturales (11)
  - Extremos Hidrológicos (12)
  - Extremos Meteorológicos (12)



- **Tecnólogos (15)**
  - Desenvolvimento de Sistemas (11)
  - Infraestrutura de TIC (2)
  - Engenharia (2)
- **Técnico (1)**
  - Engenharia (1)
- **Investigadores (20)**
  - Agro-meteorologia (2)
  - Desastres Naturales (3)
  - Incendios Forestales (1)
  - Geodinámica (3)
  - Hidrología (5)
  - Meteorología (3)
  - Modelaje de Desastres Naturales (3)



+ **24 Administrativos**, Trainees, Becarios, Outros servicios tercerizados...

# Líneas de investigación en el Cemaden

## Procesos geodinámicos aplicados a desastres naturales

- Umbrales de lluvia para la alerta de deslizamientos
- Caracterización de tipos de deslizamientos basados en las características de las precipitaciones

## Extremos meteorológicos y climatológicos aplicados a los desastres naturales

- Estimaciones de lluvia y nowcasting usando radar
- Aplicaciones de previsiones meteorológicas en escala sinóptica e estacional
- Causas e impactos de extremos y tendencias climáticas

## Extremos hidrológicos aplicados a los desastres naturales

- Previsión probabilística de caudal
- Pronóstico estadístico de inundaciones bruscas

## Extremos agro-meteorológicos, sequías y incendios forestales

- Monitoreo de sequías usando satélites
- Vigilancia de los riesgos de incendios forestales y sus impactos en los ecosistemas y comunidades

## Vulnerabilidad y peligros naturales

- Comunicación y difusión de alertas tempranas
- Mapeo de la vulnerabilidad social a los desastres naturales

## Modelaje Integrada de Desastres Naturales

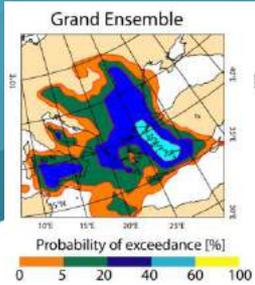
- Desarrollo de interfaces de software

- La previsión hidrológica de inundaciones extremas es objeto de constantes estudios, ya que estos eventos están asociados a la mayoría de los desastres naturales.
- Con el objetivo de una mayor antecendencia y alcance de la previsión hidrológica, los campos de precipitación generados por modelos numéricos de previsión de tiempo son utilizado como datos de entrada de modelos hidrológicos.

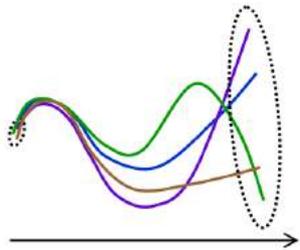
- La previsión numérica de tiempo presenta diversas incertidumbres, siendo una de las principales incertidumbres asociadas al carácter no lineal de la atmósfera.
- Una forma de cuantificar esas incertidumbres es a través de la previsión meteorológica por conjuntos.
- Los miembros de la previsión meteorológica por conjunto, usadas como datos de entrada de un modelo hidrológico, generan un conjunto de previsiones hidrológicas estadísticamente probables, cuya dispersión refleja las incertidumbres asociadas a la previsión de lluvia

# Alertas Hidrológicas: diseño conceptual

## Antecedencias mayores que 24 hs

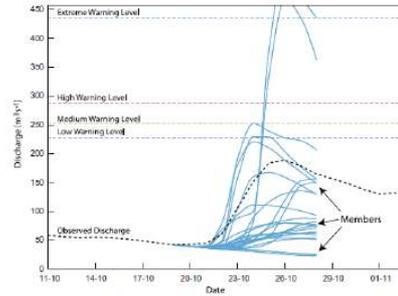
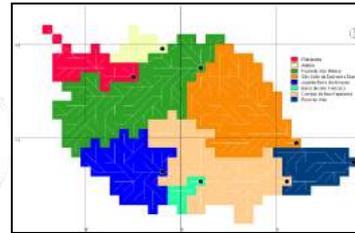


Modelo  
Hidrológico



Sistema de  
Previsión por  
conjunto

Pre-Procesamiento



Post-Procesamiento

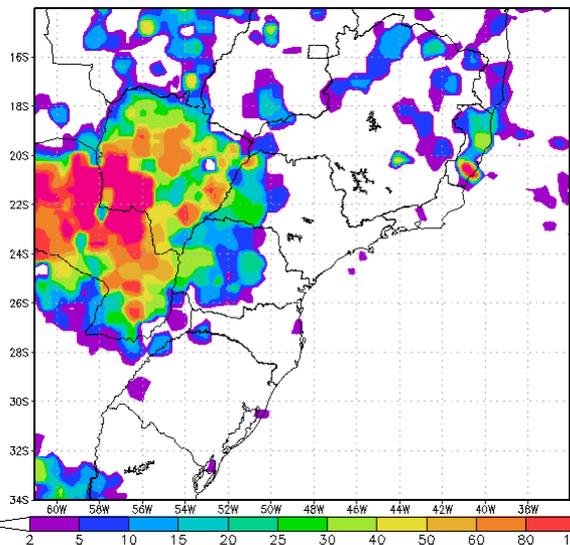
Niveles de  
Alerta

-  **Muito Alto**
-  **Alto**
-  **Moderado**
-  **Observação**

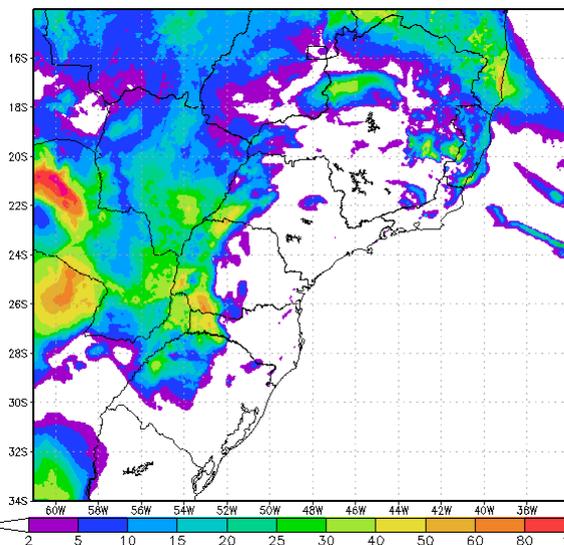
# Ejemplo: Previsión de Precipitación Acumulada en 24 horas – EtaSSE 5km – Fct+24h

## Válida para 30/11/2012 12UTC

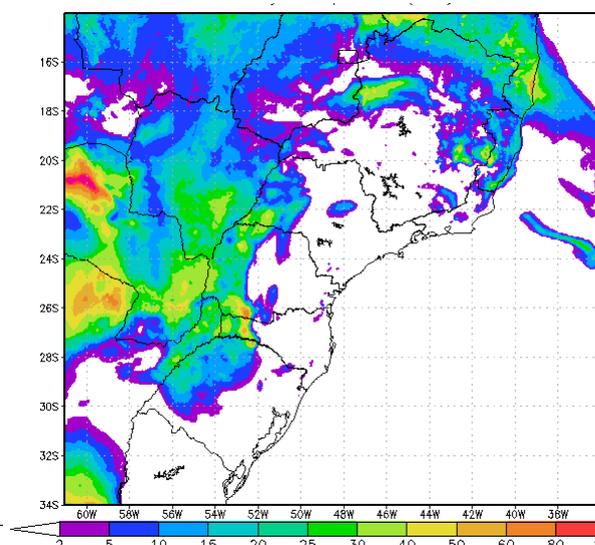
### Observação



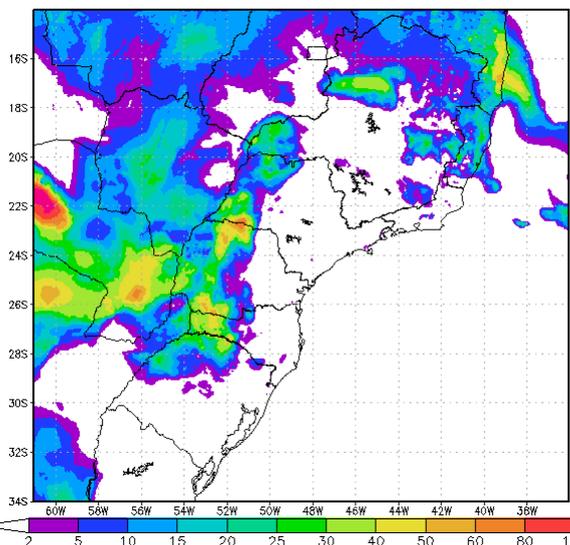
### BMJ\_Ferrier



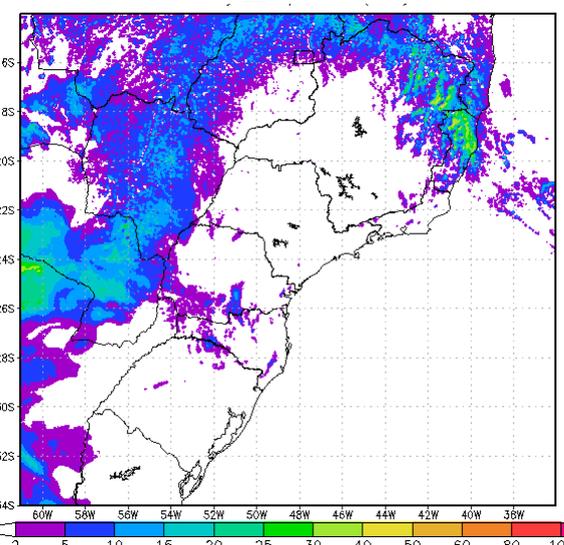
### BMJ\_Zhao



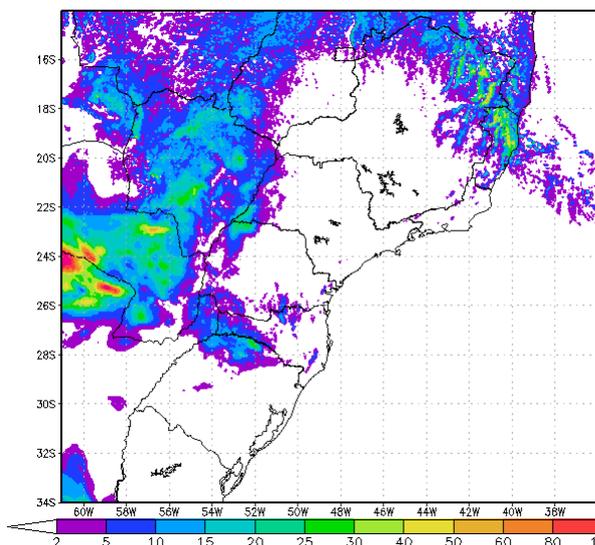
### BMJ\_Ferrier\_GFS



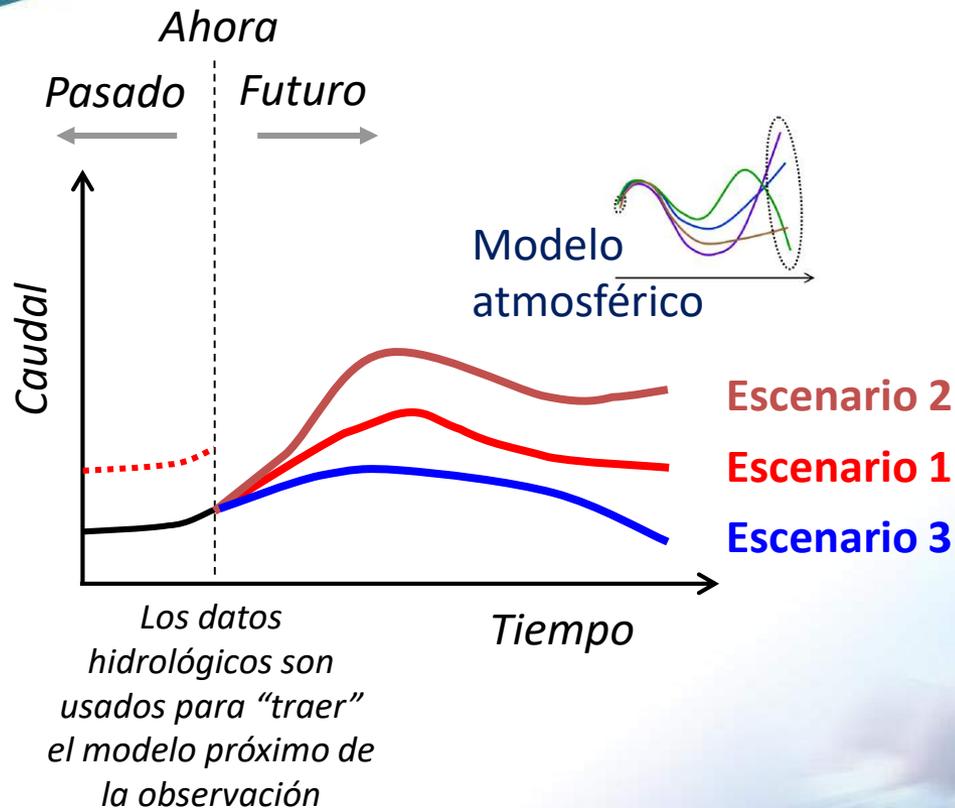
### KF\_Ferrier



### KFFM\_Ferrier



# La técnica de previsión por conjunto



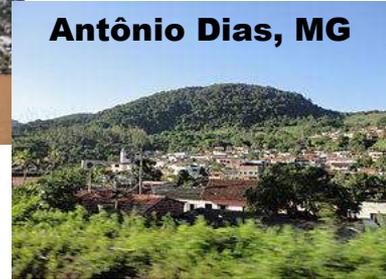
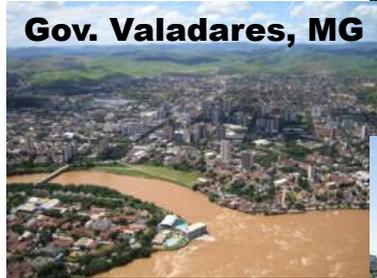
Os resultados son usados en análisis estadísticas para generar previsiones con valores probabilísticos asociados.



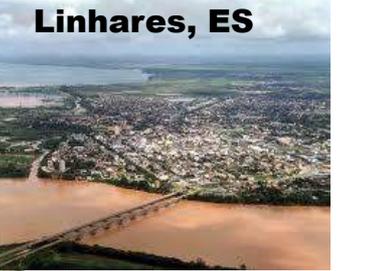
83.400

# Cuenca del Rio Doce

3,2 millones de habitantes = 70% urbana  
 93% municipalidades con menos de 20 mil habitantes



Vale do Aço  
 adensamiento  
 populacional



Uso intensivo del suelo  
 Urbanización inadecuada

## Eventos históricos

Influencia de la ZCAS  
Precipitación media: 900 a 1500 mm  
Sobrecarga hídrica e procesos de erosión

Sistema de Alerta Hidrológico del Rio Doce  
CPRM + ANA + IGAM  
12 municipios en MG e 3 municipios en ES.

### Inundación de 2003

#### Caratinga:

2.800 desalojados  
120 deslizamientos  
4 victimas fatales.

Ubaporanga: 350 desalojados

Dom Cavati: 1.300 desabrigados



### Inundación de 2008

Rio Piranga subió 8 metros

### Inundación de 1979

47.776 desalojados  
74 victimas fatales  
4.424 residencias  
afectadas

### Inundación de 1997

57.705 desalojados  
2 victimas fatales  
7.225 residencias  
afectadas



### Inundación de 2004

#### Manhuaçu:

983 desalojados

#### Caratinga:

Prejuicio de R\$ 72



### Inundación de 2013

#### Espírito Santo:

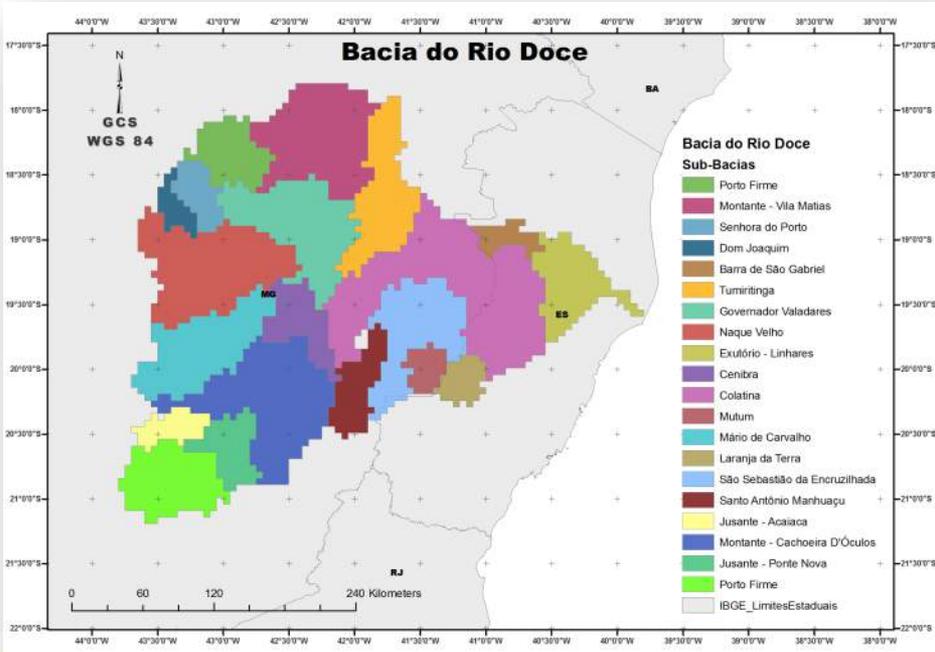
41.520 desalojados



Fonte C Linhares

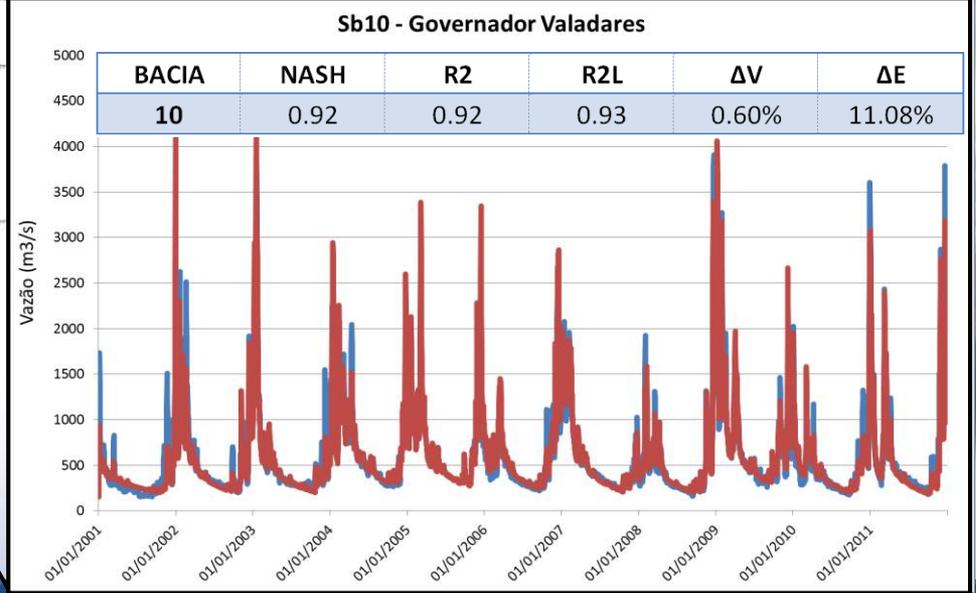
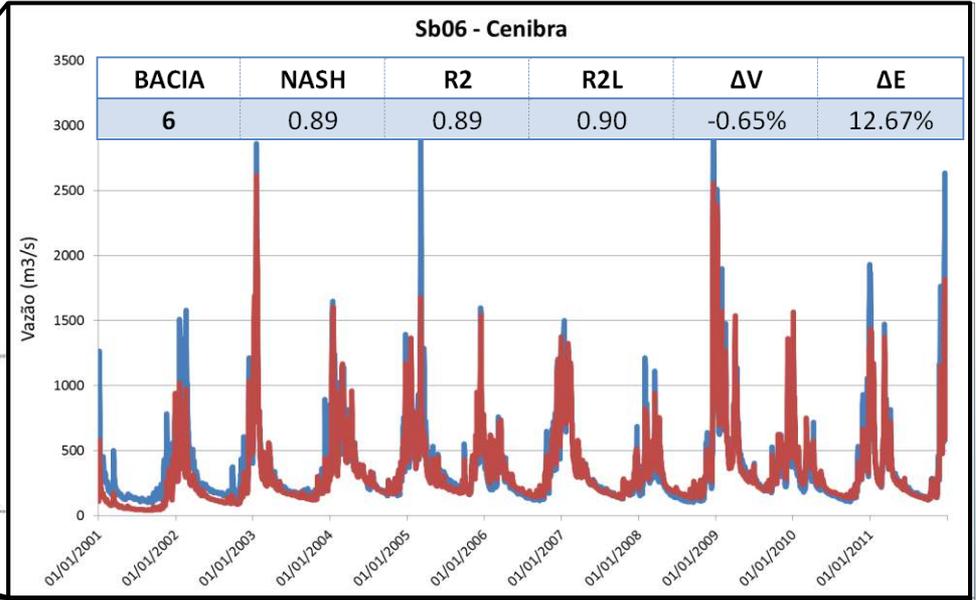
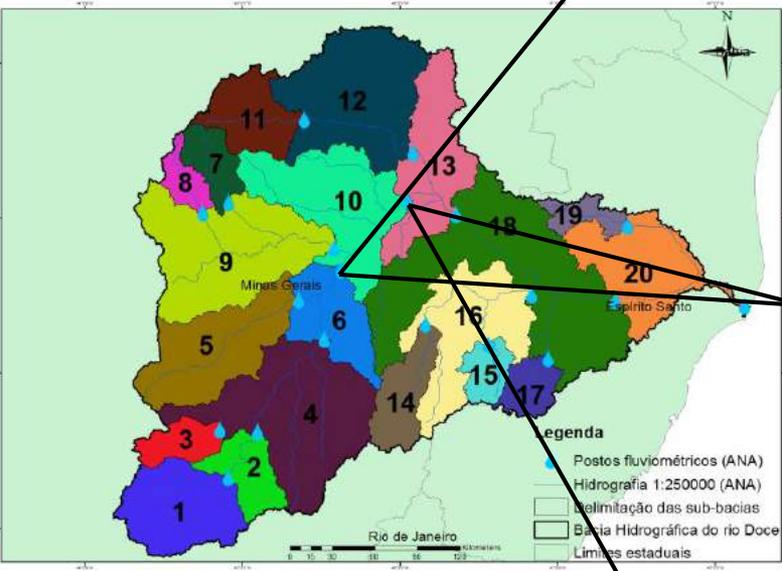
# Aplicación del Modelo Hidrológico

- La cuenca del Rio Doce fue subdividida em 20 sub-cuencas e discretizada en células de 5 km
- El modelo hidrológico MHD-INPE fue calibrado en 19 sub-cuencas en el período 2000-2013



Código	Nome	Rio	Latitude	Longitude	Área (km <sup>2</sup> )
56335001	Acaiaca Jusante	Do Carmo	-20.36	-43.14	1370.00
56997000	Barra de São Gabriel	São José	-19.04	-40.53	1070.00
56539000	Cachoeira dos Óculos Montante	Doce	-19.78	-42.48	15900.00
56719998	Cenibra	Doce	-19.33	-42.37	24200.00
56994500	Colatina	Doce	-19.53	-40.63	76400.00
56765000	Dom Joaquim	Do Peixe	-18.96	-43.24	976.00
56850000	Governador Valadares	Doce	-18.88	-41.95	40500.00
56991500	Laranja da Terra	Guandu	-19.90	-41.06	1330.00
56998200	Linhares Cais do Porto	Doce	-19.42	-40.08	82100.00
56696000	Mário de Carvalho	Piracicaba	-19.52	-42.64	5270.00
56989001	Mutum	São Manoel	-19.81	-41.44	1180.00
56825000	Naque Velho	Santo Antônio	-19.19	-42.42	10200.00
56110005	Ponte Nova Jusante	Piranga	-20.38	-42.90	6230.00
56075000	Porto Firme	Piranga	-20.67	-43.09	4260.00
56978000	Santo Antônio do Manhuaçu	Manhuaçu	-19.68	-41.84	2350.00
56860000	São Pedro do Suaçuí	Suaçuí Grande	-18.36	-42.61	2570.00
56990000	São Sebastião da Encruzilhada	Manhuaçu	-19.49	-41.16	8720.00
56800000	Senhora do Porto	Guanhaes	-18.89	-43.08	1520.00
56920000	Tumiritinga	Doce	-18.97	-41.64	55100.00
56891900	Vila Matias Montante	Suaçuí Grande	-18.57	-41.92	9770.00

Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA)



## Modelo atmosférico 1: Regional Eta

**Resolución:** 5 km/50 niveles (no hidrostático).

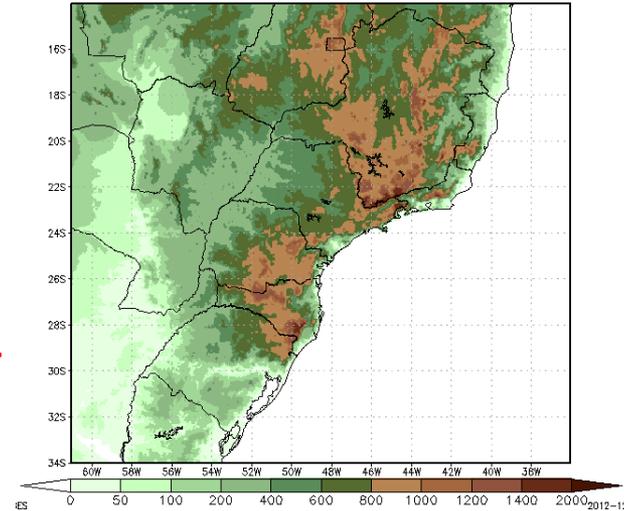
**Alcance de la previsión:** 120 horas

**Condiciones Iniciales:** análisis GFS T213L28.

**Condiciones de Contorno Lateral:** Eta 40km o GFS.

**Número de Miembros:** 4

**Dominio:** Regiones Sul e Sudeste do Brasil



## Modelo atmosférico 2: Centro Europeu (ECMWF).

**Dominio:** Global

**Resolução** 32 km

**Número de membros** 51!

**Alcance de la previsión:** 11 días

# Diseño experimental

Con base en las series históricas de caudal, fueron establecidos umbrales de caudal para frecuencias experimentales de 0,95; 0,98; 0,99 e 0,995 para cada una das 19 sub-cuencas

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14	B15	B16	B17	B18	B19
0.9	129.27	179	50.52	445.4	152.99	666	34.72	34.149	312.66	1121.45	45.17	131.3	1257.78	93.74	28.07	183	32.96	1822	28.65
0.95	183.5	247	70.48	606.396	208.32	927.5	50.302	49.63	470.7	1531.75	68.92	189.6	1774.4	132.61	44.75	268.05	49.24	2544	42.25
0.98	255.8	361.8	106.05	797.15	324.9	1336.8	76.62	74.12	786.6	2115.58	98.41	283.2	2413	177.15	70.55	373.6	82.86	3569.5	64.12
0.99	311	461.15	137.7	959.7	424.82	1640.75	100.282	105.4	1100.47	2664.291	121.25	378.5	3025.5	225.8	91.2	490	114	4368.37	91.224
0.995	366.8	543.4	177.95	1191.18	531.02	2040.5	118.96	135.57	1409	3194.195	155.45	511.5	3589.7	283.62	121.8	623	145.7	5010.92	120.4

Se hicieron simulaciones con los modelo atmosféricos para inundaciones del período 2000-2013, de manera de completar aproximadamente 10 eventos en cada sub-cuenca

Cada simulación fue usada para alimentar el modelo hidrológico y fueron generadas estadísticas de desempeño, de carácter numérico e categórico/dicotómico

# Algunas Estadísticas

Fueros utilizados varios estadísticos categóricos y numéricos

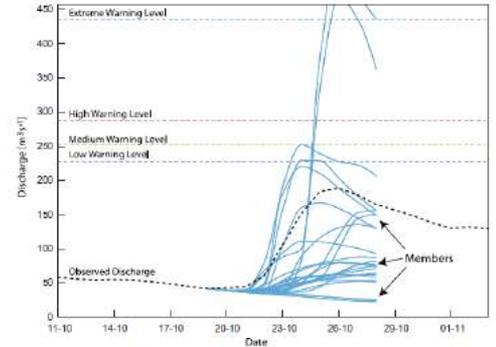
## Tablas de contingencia

Tasa de acierto – Hit Rate

$$HR = \frac{a}{a + c}$$

Tasa de Falsa Alarma – False Alarm Rate

$$FAR = \frac{b}{b + d}$$

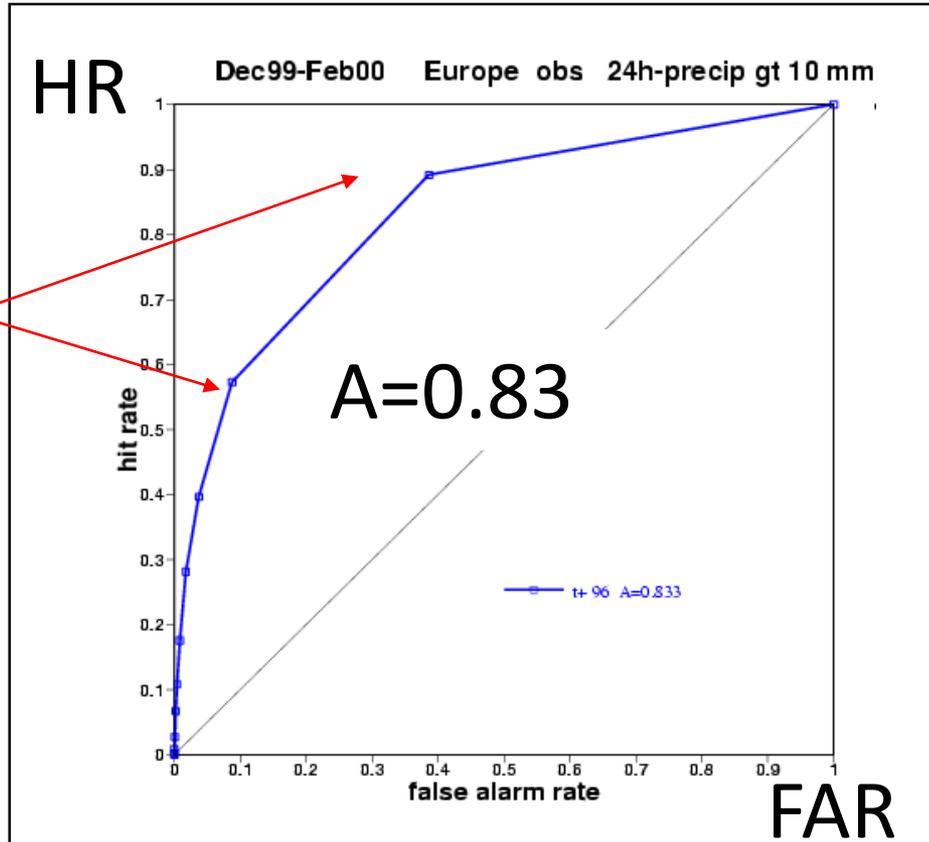


		Evento observado		total
		Sí	No	
Evento previsto	Sí	a	b	a+b
	No	c	d	c+d
Total		a+c	b+d	a+b+c+d=n

# Algunas Estadísticas

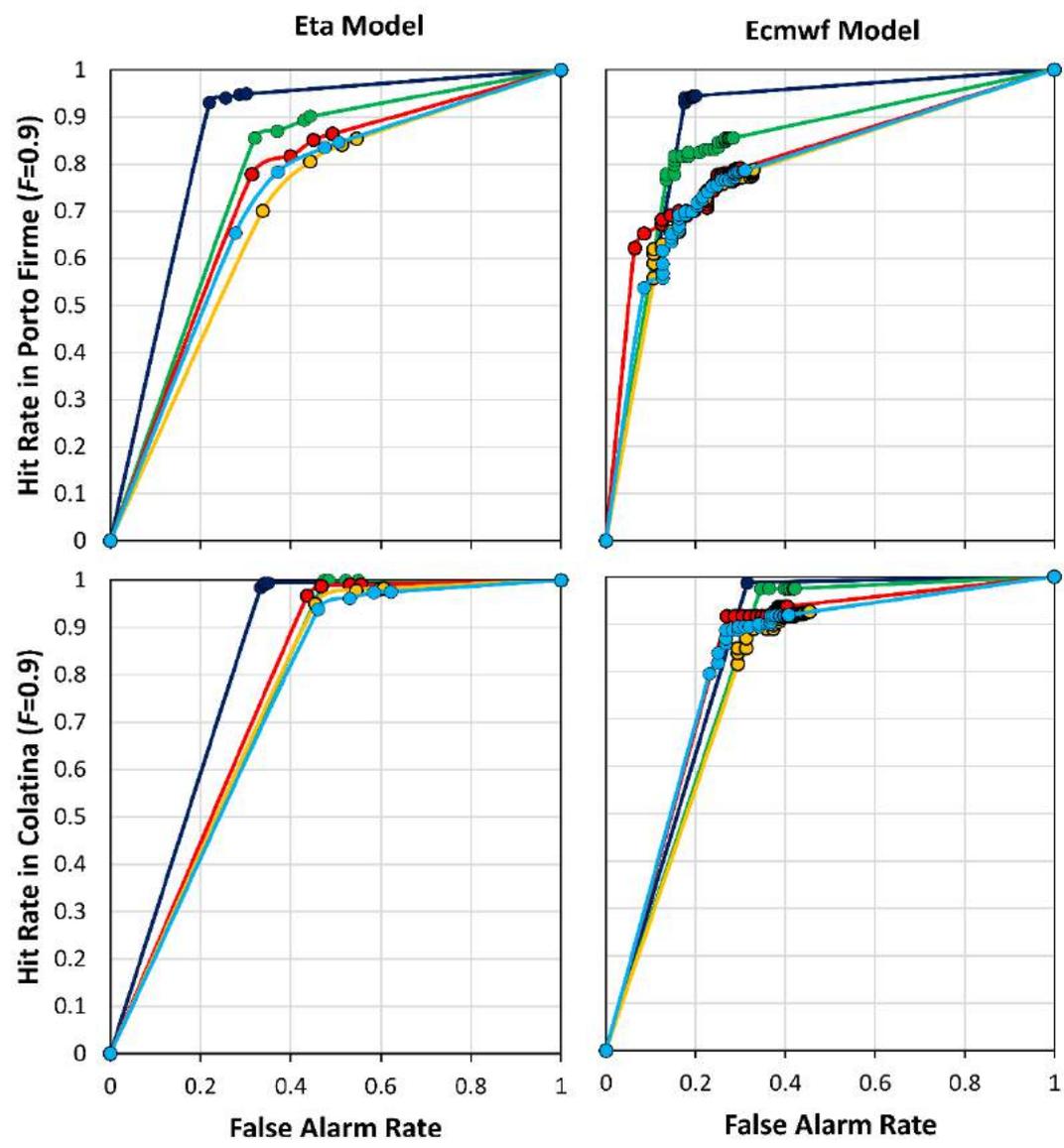
Tablas de contingencia permiten crear **diagramas ROC** (Relative operation characteristics)

Niveles de probabilidad asociados a cada previsión

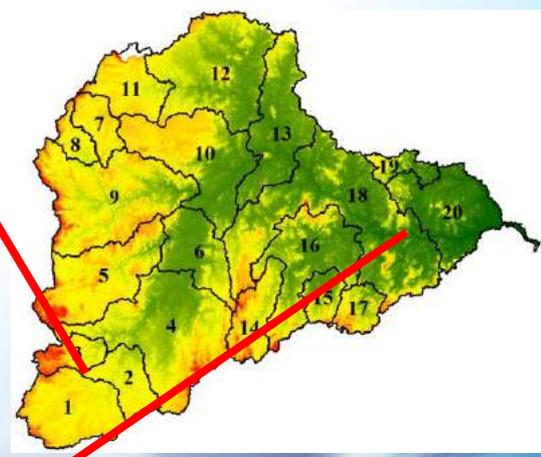


- El área bajo de la curva ROC es una medida de la destreza (Skill) de la previsión  
 $A=0.5$  (sin destreza),  $A=1$  (previsión determinística perfecta)

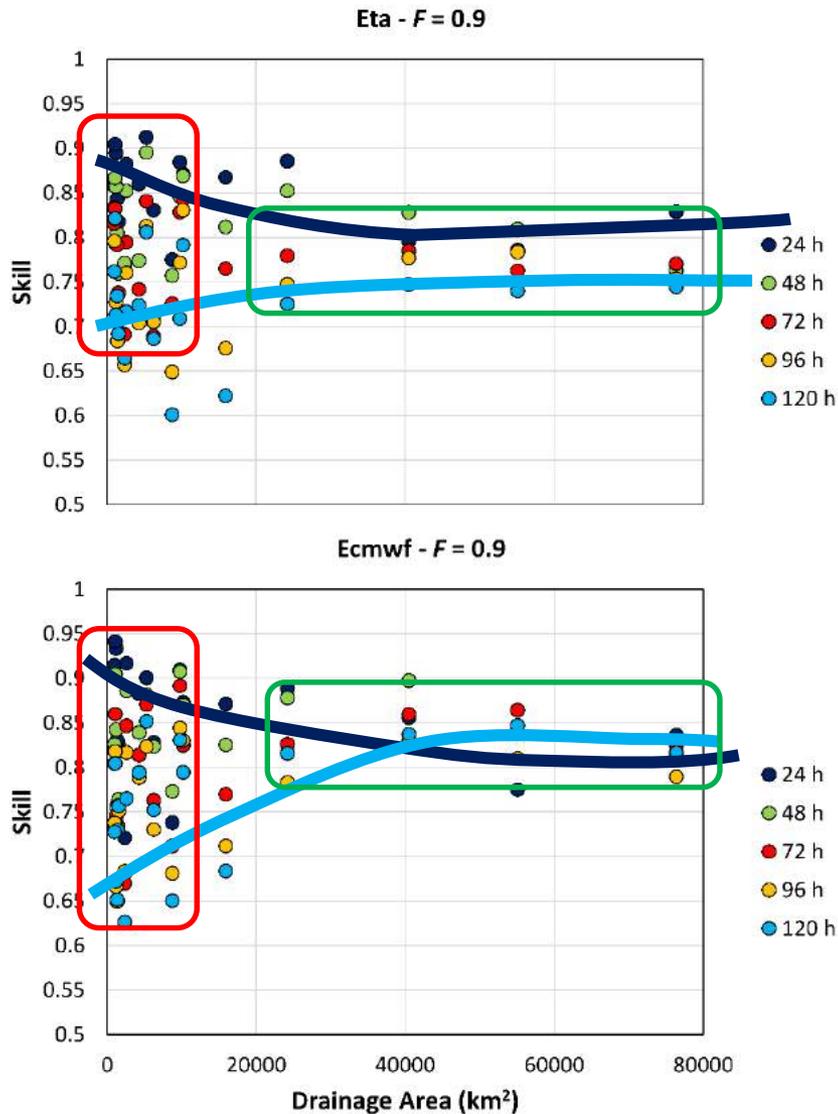
# Diagramas ROC



- 24 h
- 48 h
- 72 h
- 96 h
- 120 h



# Diagramas de destreza para diferentes áreas de drenajes

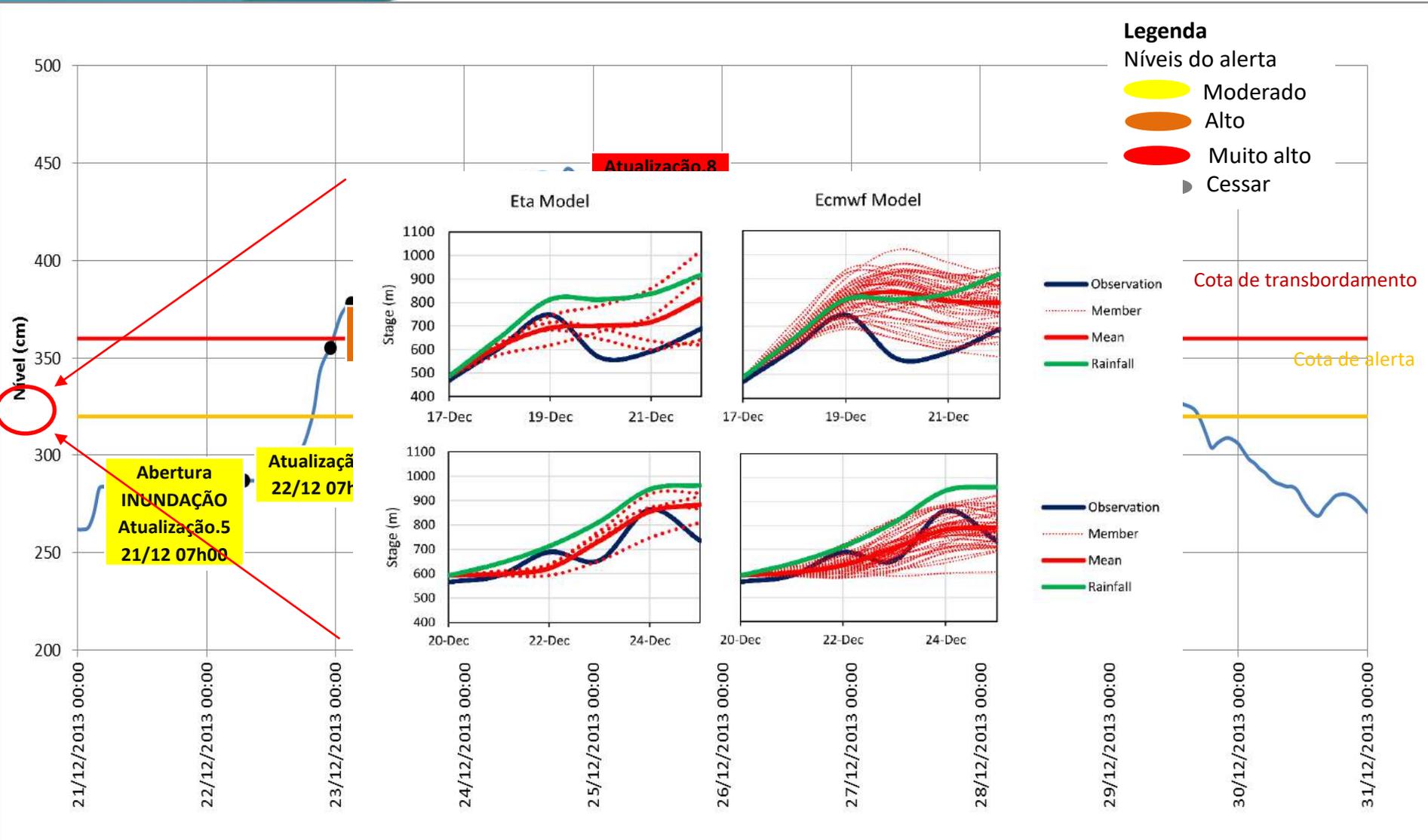


- Para previsiones de 24 h, la destreza es menor en cuencas mayores
- Para previsiones de mayor alcance, la destreza de la previsión es menor en las sub-cuencas menores
- El modelo ETA tiene desempeño ligeramente mejor en sub-cuencas pequeñas
- El modelo ECMWF es mejor para cuencas mayores que 20000 km<sup>2</sup>

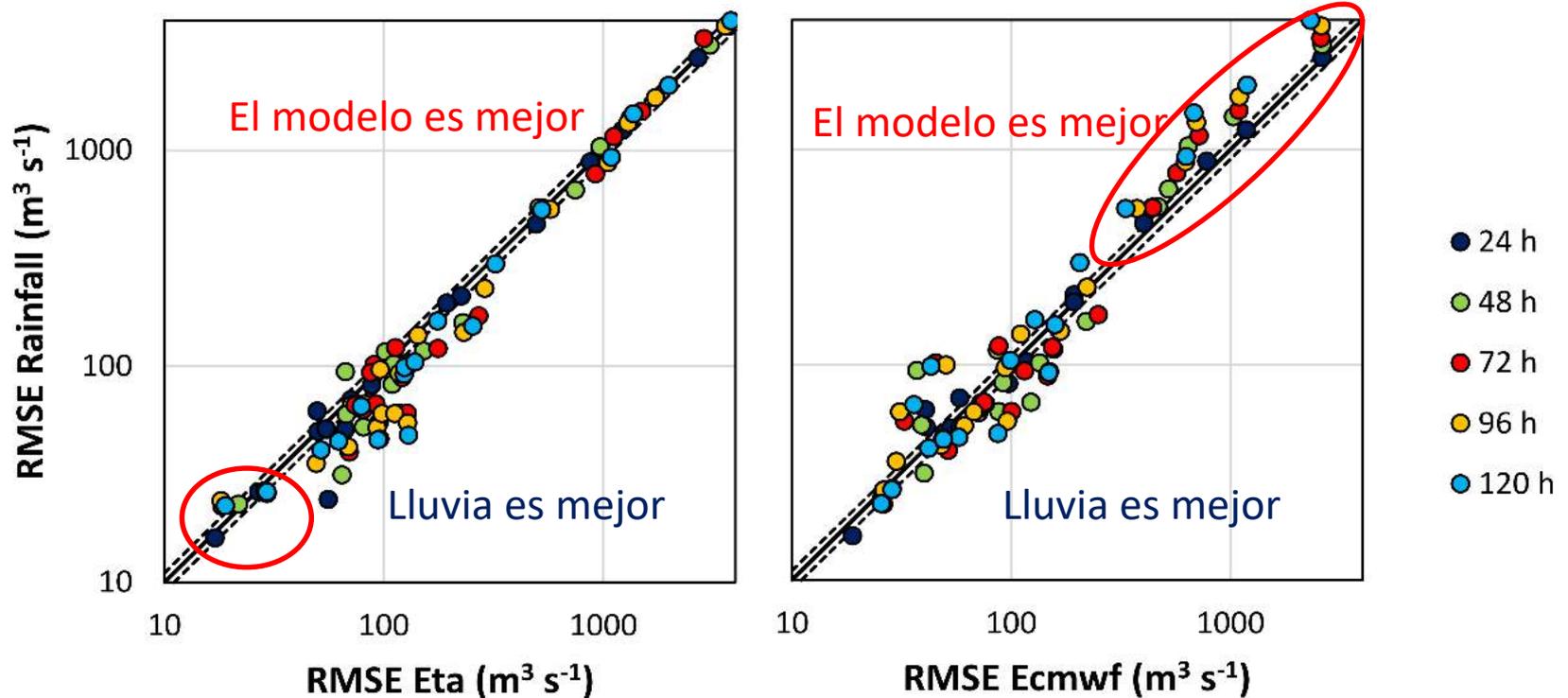
# Linea de Tiempo Alerta 836 - Governador Valadares/MG



## Inundación de 2013

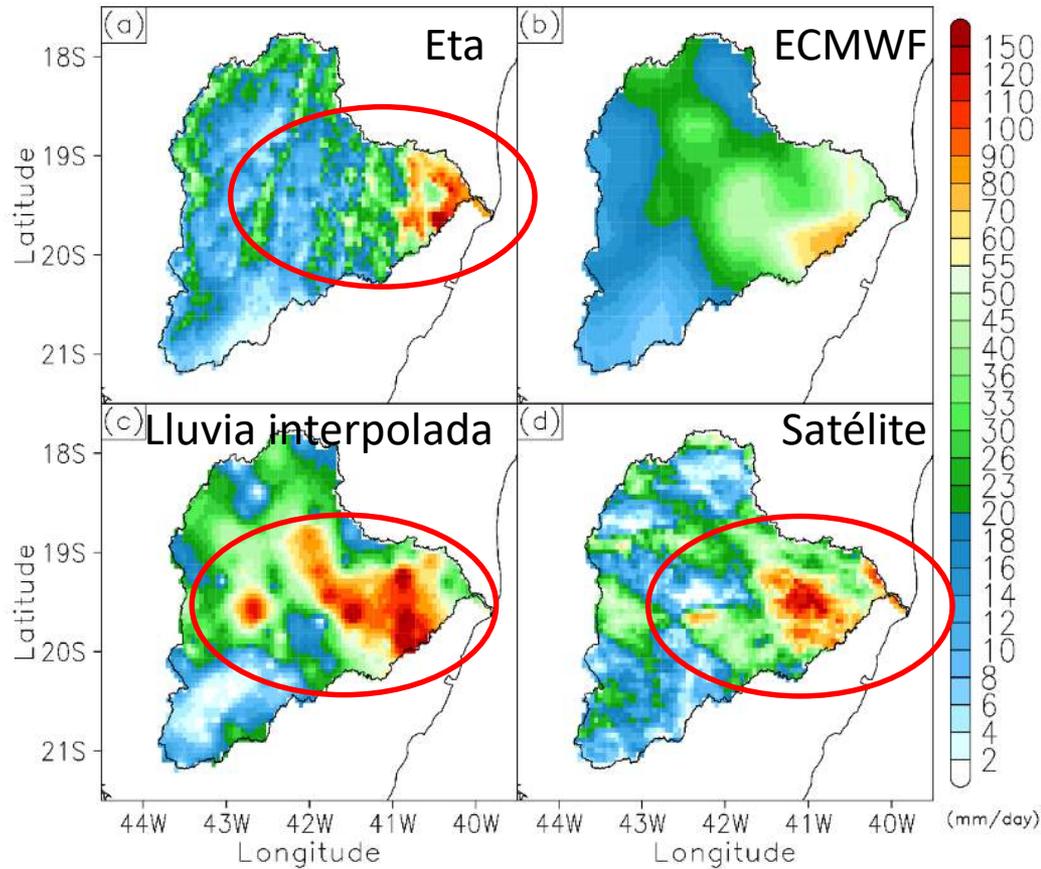


Comparación del desempeño del modelo hidrológico usando lluvia interpolada como dato de entrada versus modelos atmosféricos en función del erro medio cuadrático de los caudales



# Desempeño del sistema en la inundación de 2013

Issued @ 12Z20Dec2013 Valid @ 12Z21Dec2013

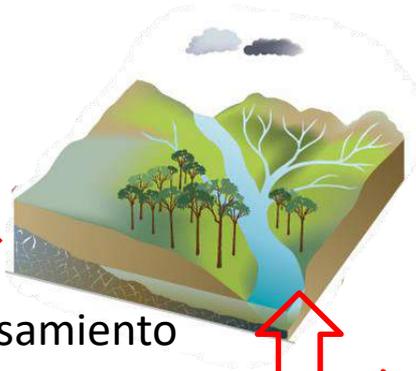


# Alertas Hidrológicas: diseño conceptual

## Antecedencias entre 2-12 hs



Modelo  
Hidrológico



Pre-Procesamiento



Dados hidrológicos

Niveles de  
Alerta

-  **Muito Alto**
-  **Alto**
-  **Moderado**
-  **Observação**

Pos-Procesamiento

Estimativas  
de lluvia de  
radar e/ou  
satélite e/ou  
pluviómetros

# Pronósticos de inundaciones bruscas utilizando conjunto de previsiones de corto plazo de radar meteorológico.



Disertación de Maestría de Luiz Bacelar 2017  
([luiz.bacelar@cemaden.gov.br](mailto:luiz.bacelar@cemaden.gov.br))



Animações: Inundação Brusca – São José do Vale do Rio Preto (Região Serrana - RJ)  
12/01/2011

# OBJETIVO

- Evaluar si la metodología de cross-correlación para previsión de la precipitación a corto plazo (nowcasting) del Radar Meteorológico Pico del Couto puede ser aplicada al Modelo Hidrológico Distribuido (MHD-INPE) para pronósticos de inundaciones bruscas en una cuenca urbana del municipio de Nova Friburgo (RJ).
- Las incertidumbres del nowcasting de la lluvia fueron investigadas con metodologías de previsión por conjunto por time-lagged (TLAG) y modelado geoestadístico por el algoritmo francés Turning Band Method (SAMPO-TBM).

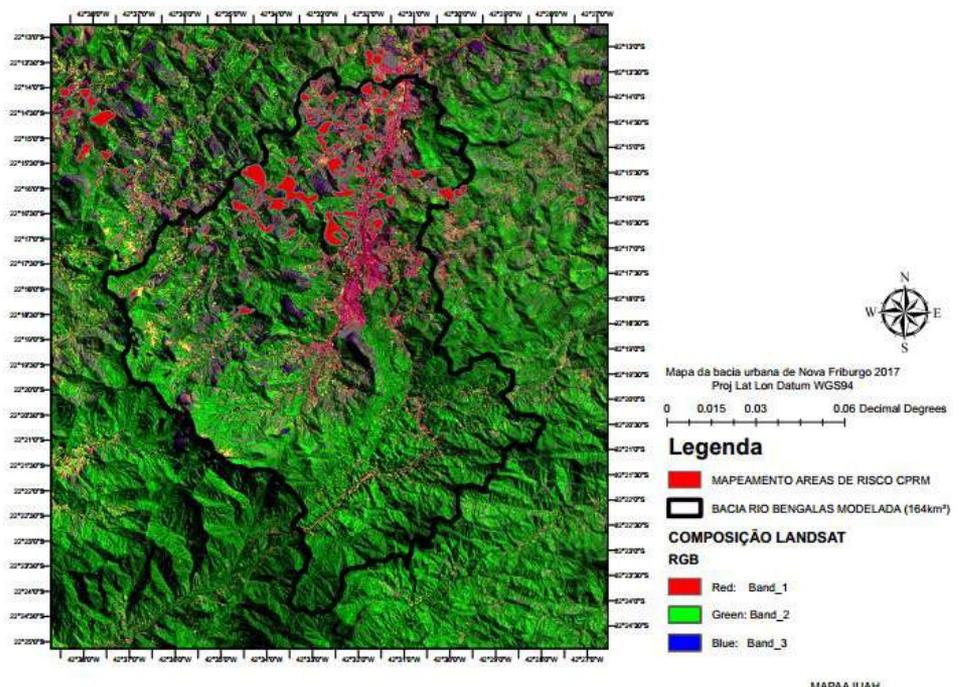
Condicionantes para las inundaciones bruscas:  
región serrana (alta declividad), suelo arcilloso y  
poco espeso.

La media de precipitación (1961 a 2012) anual:  
2500-2800 mm (Silva et al, 2014)

Cuenca urbana del municipio de Nova Friburgo -  
RJ  
Área de drenaje: 168 km<sup>2</sup> - Tiempo concentración  
~ 1h 40min

Más de 40 mil personas viviendo en áreas de  
riesgo de desastres naturales (CPRM, 2012).

Figura 2.1 - Mapa com áreas de risco hidrológico e geológico de Nova Friburgo na bacia urbana do Rio Bengalas.



# Área estudiada

**Estación Hidrológica (INEA)  
Conselheiro Paulino (a.d. ~168km<sup>2</sup>)**

**Radar Pico do Couto  
(DECEA) Raio(250km)  
– res.esp. ~1km**

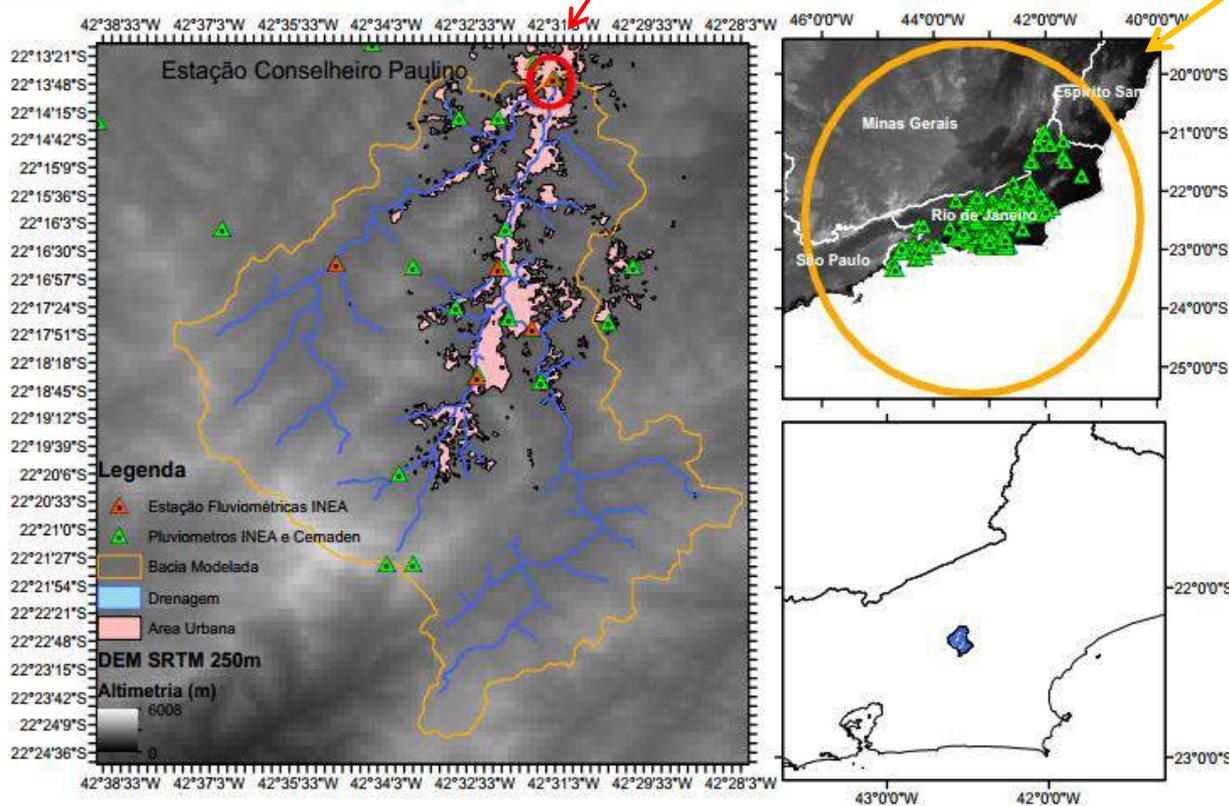


Tabela 3.1 - Especificações técnicas do Radar Pico do Couto

Especificações do Radar	Banda S
Frequência	2.7 a 2.9 GHz
Comprimento de Onda	10.9 cm
Potência	850 kW
Alcance Máximo	400 km
Alcance Quantitativo	250 km
Resolução do Alcance	500 m
Resolução Angular	1 grau
Largura de feixe	2 graus
Resolução do dado	Z, uZ, V e W
Rotação	18 graus/segundo
Elevação das Varreduras	0.5, 1.0, 1.9, 2.9, 3.9, 4.9, 5.9, 6.9, 7.9, 8.9, 9.9, 12, 14, 16 e 18 graus

- El método de pronóstico de los campos de lluvia utiliza una técnica conocida como "cross correlation" (correlación cruzada) para estimar campos futuras de precipitación basándose en el movimiento de las células convectivas entre una imagen en el tiempo pasado y otra en el presente.
- Los algoritmos de rastreo generalmente dividen una cuadrícula cartesiana de reflectividad del radar (o tasa de lluvia) en una serie y, a continuación, estiman la advección que maximiza la correlación cruzada (o alguna otra medida en similitud) entre etapas de tiempo sucesivas en los datos.
- El vector de advección media para cada grilla que contiene lluvia es entonces calculado aplicando alguna forma de restricción para minimizar la divergencia de los vectores resultantes

## Nowcasting

Centroides de precipitación

$$\bar{C} = \frac{\int w(\vec{r}) \cdot \vec{r} \cdot da}{\int w(\vec{r}) \cdot da}$$

Umbrales de precipitación

Incertidumbre del Direccionamento (km)

$$R_{ij} = R_o + a \cdot u_i \cdot \Delta t + b \frac{r_i + r_j}{2}$$

p/ Pico do couto; Ro=3km; a= 0.3; b=1

Raio de la célula de lluvia

Posicionamiento del centroide

$$\|\varphi_i - \pi_i\| > R_{ij}$$

Posicionamento final

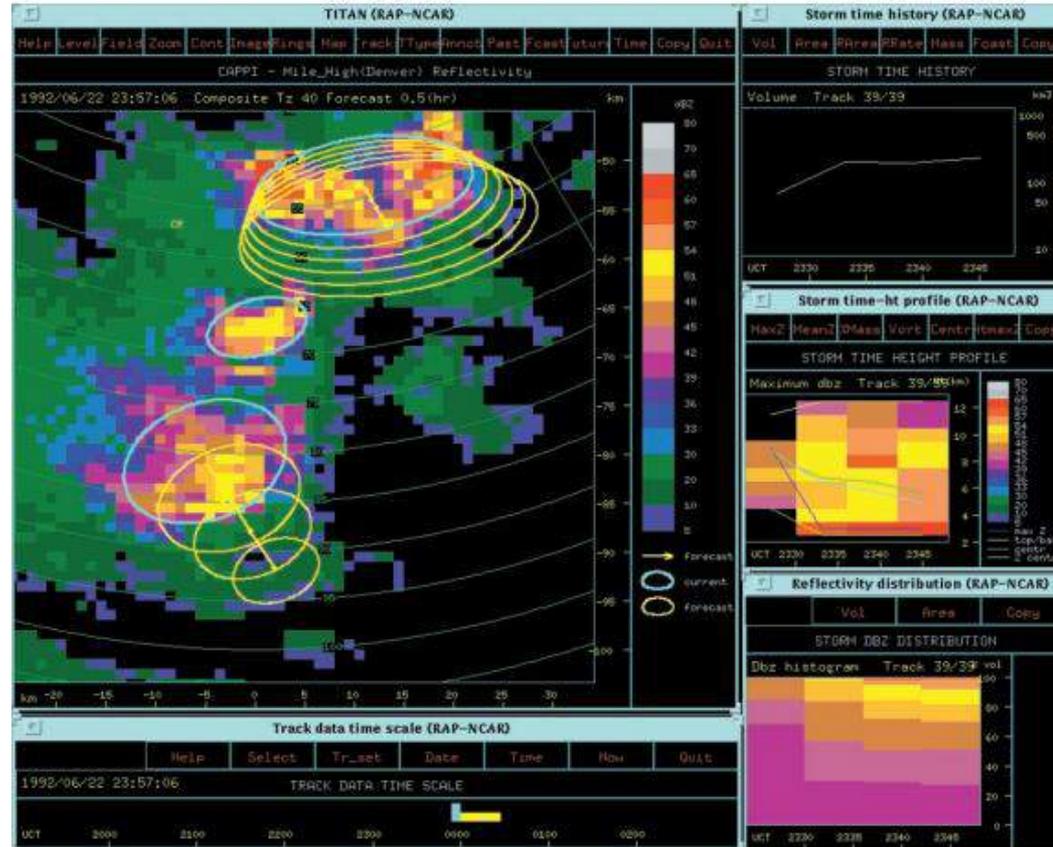
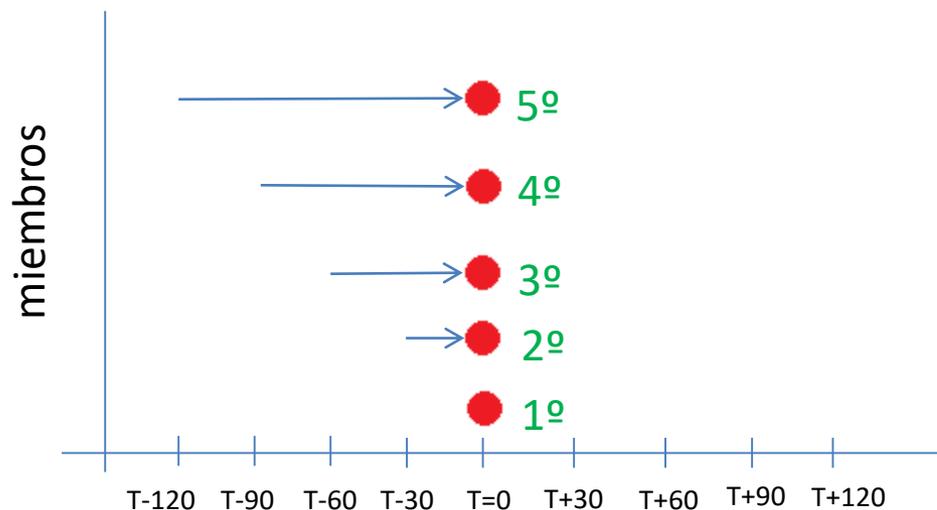


Figura: Software TITAN(Thunderstorm Identification, Tracking, Analysis and Nowcasting). Dixon and Wiener (1993)

# Time-Lagged para generar los miembros

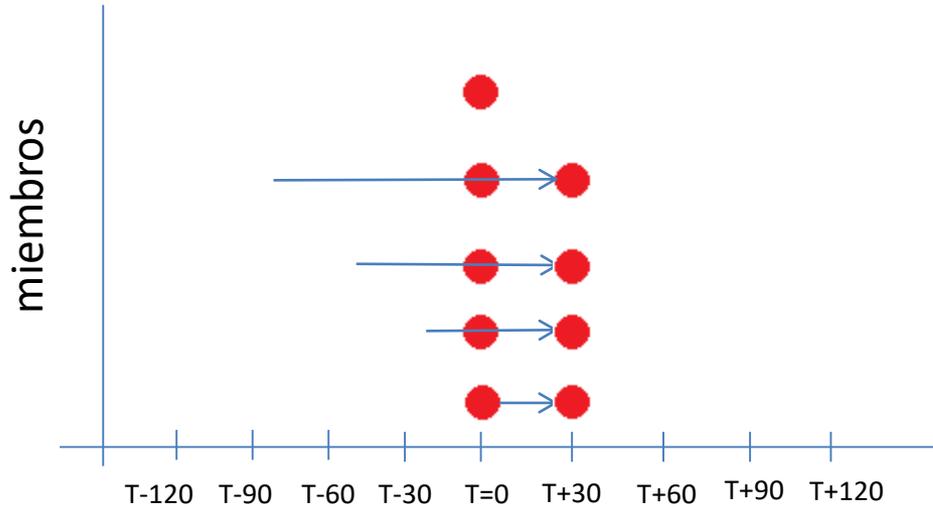


**TLAG 00 – 5 miembros**

Prev. 120 min	Prev. Ini. 6:00 p/ 8:00	Prev. Ini. 6:30 p/ 8:30	Prev. Ini. 7:00 p/ 9:00	Prev. Ini. 7:30 p/ 9:30	Prev. Ini. 8:00 p/ 10:00
Prev. 90 min	Prev. Ini. 6:30 p/ 8:00	Prev. Ini. 7:00 p/ 8:30	Prev. Ini. 7:30 p/ 8:00	Prev. Ini. 8:00 p/ 9:30	
Prev. 60 min	Prev. Ini. 7:00 p/ 8:00	Prev. Ini. 7:30 p/ 8:30	Prev. Ini. 8:00 p/ 9:00		
Prev. 30 min	Prev. Ini. 7:30 p/ 8:00	Prev. Ini. 8:00 p/ 8:30			
diagnóstico	Observado 8:00				
	T=0	T +30 min	T +60 min	T +90 min	T +120 min


  
Horizontes futuros para previsão

Figura 3.5 - Representação do método de time-lagged para uma previsão com início as 8:00 para as 10:00

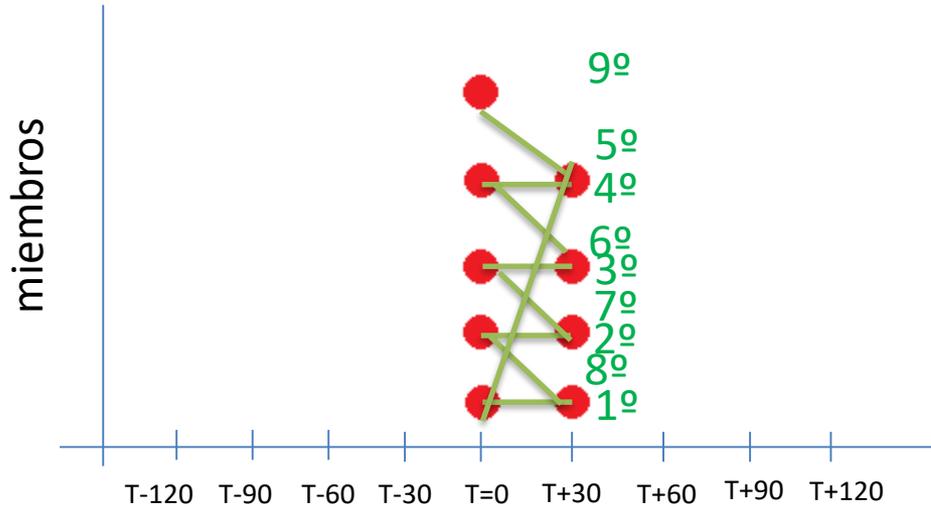


**TLAG 30 – 20  
miembros**

Prev. 120 min	Prev. Ini. 6:00 p/ 8:00	Prev. Ini. 6:30 p/ 8:30	Prev. Ini. 7:00 p/ 9:00	Prev. Ini. 7:30 p/ 9:30	Prev. Ini. 8:00 p/ 10:00
Prev. 90 min	Prev. Ini. 6:30 p/ 8:00	Prev. Ini. 7:00 p/ 8:30	Prev. Ini. 7:30 p/ 8:00	Prev. Ini. 8:00 p/ 9:30	
Prev. 60 min	Prev. Ini. 7:00 p/ 8:00	Prev. Ini. 7:30 p/ 8:30	Prev. Ini. 8:00 p/ 9:00		
Prev. 30 min	Prev. Ini. 7:30 p/ 8:00	Prev. Ini. 8:00 p/ 8:30			
diagnóstico	Observado 8:00				
	T=0	T +30 min	T +60 min	T +90 min	T +120 min


  
Horizontes futuros para previsão

Figura 3.5 - Representação do método de time-lagged para uma previsão com início as 8:00 para as 10:00

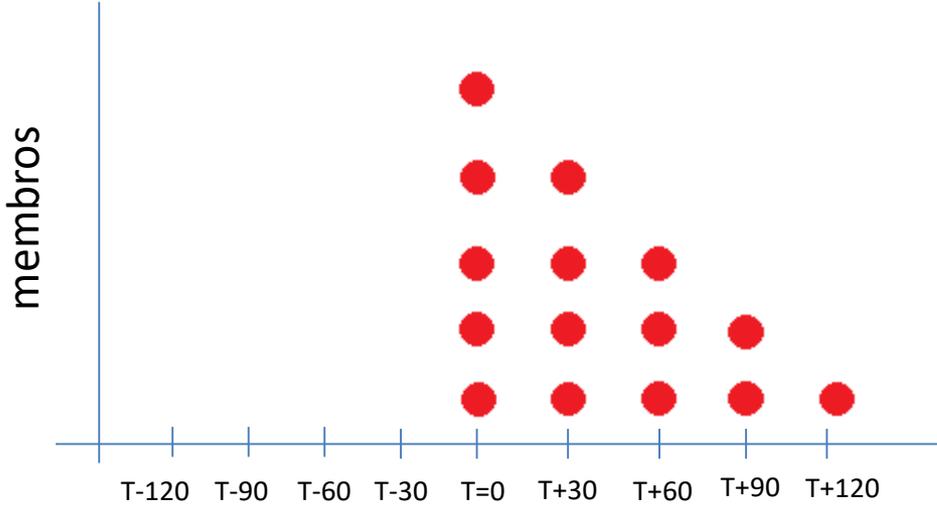


**TLAG 30 – 20 miembros**  
**Horizonte de previsión de 30 minutos**  
**T=0 y T+30**

Prev. 120 min	Prev. Ini. 6:00 p/ 8:00	Prev. Ini. 6:30 p/ 8:30	Prev. Ini. 7:00 p/ 9:00	Prev. Ini. 7:30 p/ 9:30	Prev. Ini. 8:00 p/ 10:00
Prev. 90 min	Prev. Ini. 6:30 p/ 8:00	Prev. Ini. 7:00 p/ 8:30	Prev. Ini. 7:30 p/ 8:00	Prev. Ini. 8:00 p/ 9:30	
Prev. 60 min	Prev. Ini. 7:00 p/ 8:00	Prev. Ini. 7:30 p/ 8:30	Prev. Ini. 8:00 p/ 9:00		
Prev. 30 min	Prev. Ini. 7:30 p/ 8:00	Prev. Ini. 8:00 p/ 8:30			
diagnóstico	Observado 8:00				
	T=0	T +30 min	T +60 min	T +90 min	T +120 min

Horizontes futuros para previsión →

Figura 3.5 - Representação do método de time-lagged para uma previsão com início as 8:00 para as 10:00



Prev. 120 min	Prev. Ini. 6:00 p/ 8:00	Prev. Ini. 6:30 p/ 8:30	Prev. Ini. 7:00 p/ 9:00	Prev. Ini. 7:30 p/ 9:30	Prev. Ini. 8:00 p/ 10:00
Prev. 90 min	Prev. Ini. 6:30 p/ 8:00	Prev. Ini. 7:00 p/ 8:30	Prev. Ini. 7:30 p/ 8:00	Prev. Ini. 8:00 p/ 9:30	
Prev. 60 min	Prev. Ini. 7:00 p/ 8:00	Prev. Ini. 7:30 p/ 8:30	Prev. Ini. 8:00 p/ 9:00		
Prev. 30 min	Prev. Ini. 7:30 p/ 8:00	Prev. Ini. 8:00 p/ 8:30			
diagnóstico	Observado 8:00				
	T=0	T +30 min	T +60 min	T +90 min	T +120 min

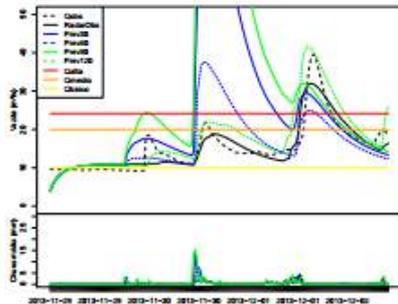
Horizontes futuros para previsão →

Figura 3.5 - Representação do método de time-lagged para uma previsão com início as 8:00 para as 10:00

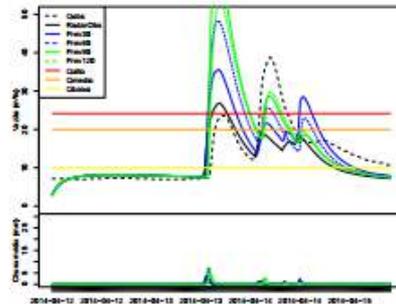
- TLAG 60 – 60 miembros**
- Horizonte de previsão 60 minutos**
- T=0, T+30 e T+60**
- TLAG 90 – 120 miembros**
- Horizonte de previsão 60 minutos**
- T=0, T+30, T+60 e T90**

Modelo  
Hidrológico  
calibrado con Previsiones hidrológicas  
imágenes de usando o nowcasting sim  
radar el conjunto

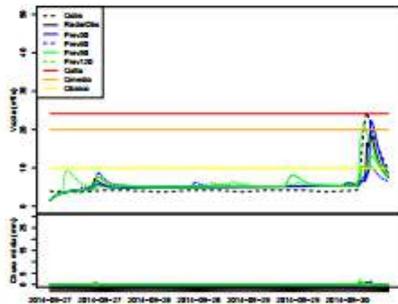
Figura 4.20 - Hidrogramas e hietogramas das simulações com dados observados de radar e seus prognósticos para 30, 60, 90 e 120 minutos para os eventos de inundação brusca com início em (a) 29/11/2013, (b) 12/04/2014, (c) 27/09/2014 e (d) 02/01/2015.



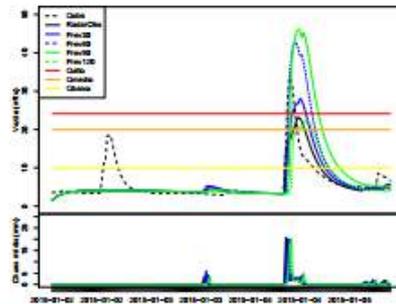
(a) 29/11/2013



(b) 12/04/2014



(c) 27/09/2014



(d) 02/01/2015

Tabela 4.4 - Índices estatísticos para as simulações hidrológicas com dados de prognóstico do radar meteorológico.

		qobs x radar obs.	qobs x prev. 30 min.	qobs x prev.60 min.	qobs x prev.90 min.	qobs x prev. 120 min.	
29/11/2013	r2	0.80	0.05	0.30	0.03	0.70	
	rmse	2.70	22.30	6.63	31.88	4.35	
	pbias	-1.60	66.90	7.10	107.00	15.00	
		nash	0.56	-1.65	0.01	-2.89	0.34
12/04/2014	r2	0.39	0.44	0.41	0.32	0.43	
	rmse	5.75	6.19	7.98	10.93	8.45	
	pbias	-13.70	2.00	7.80	16.20	10.70	
		nash	0.41	0.34	0.19	0.06	0.19
27/09/2014	r2	0.66	0.53	0.39	0.57	0.78	
	rmse	2.17	2.45	3.03	2.57	2.01	
	pbias	8.80	8.80	6.70	11.00	20.80	
		nash	0.38	0.32	0.04	0.13	0.16
02/01/2015	r2	0.44	0.45	0.46	0.29	0.16	
	rmse	3.58	4.07	6.01	8.25	5.09	
	pbias	-9.10	-1.40	15.50	28.20	-8.70	
		nash	0.47	0.37	0.15	-0.17	0.27

Modelo  
Hidrológico  
calibrado con  
imágenes de  
radar

Previsiones hidrológicas  
usando o nowcasting con  
la técnica de conjunto

Figura 4.21 - Média dos conjuntos de time-lagged para dos horizontes de previsão de 00, 30, 60, 90 e 120 minutos ao longo de todo os eventos de inundação brusca para início em (a) 29/11/2013, (b) 12/04/2014, (c) 27/09/2014 e (d) 02/01/2015.

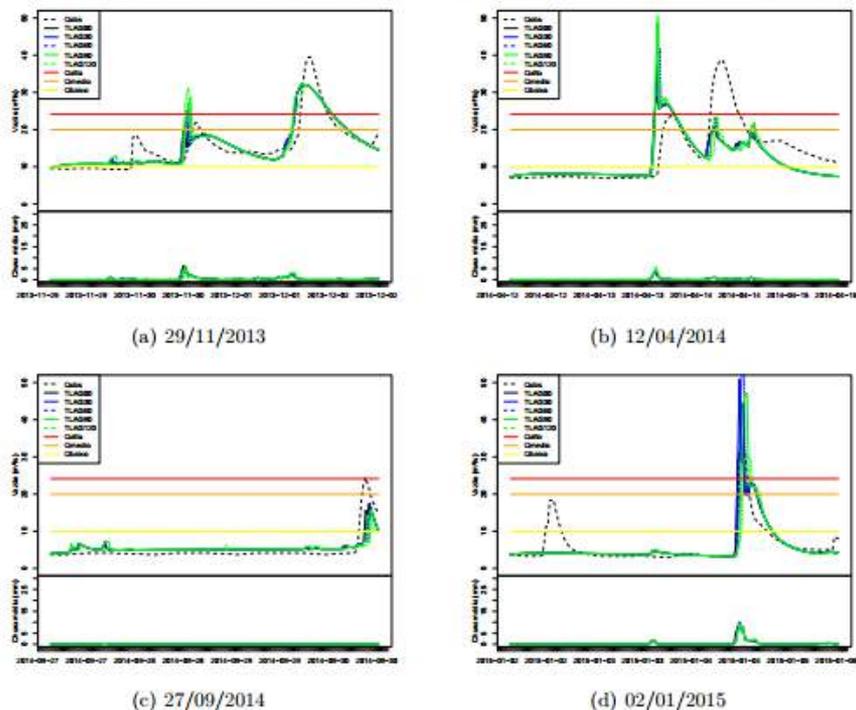


Tabela 4.6 - Índices estatísticos para as series vazões em modo de previsão. Comparação entre a vazão observada e média dos *ensembles* do time-lagged.

		Qobs x radar	Qobs x tlag00	Qobs x tlag30	Qobs x tlag60	Qobs x tlag90	Qobs x tlag120
29/11/2013	r2	0.80	0.78	0.77	0.76	0.74	0.73
	rmse	2.70	2.95	3.00	3.09	3.29	3.29
	pbias	-1.60	0.60	0.90	0.90	1.70	0.80
	nash	0.56	0.55	0.54	0.54	0.52	0.53
12/04/2014	r2	0.39	0.31	0.29	0.26	0.25	0.22
	rmse	5.75	6.35	6.51	6.79	6.97	7.18
	pbias	-13.70	-12.50	-12.30	-11.90	-11.40	-12.30
	nash	0.41	0.39	0.38	0.36	0.35	0.34
27/09/2014	r2	0.66	0.67	0.55	0.46	0.37	0.48
	rmse	2.17	2.31	2.62	2.77	2.98	2.85
	pbias	8.88	11.70	10.30	10.10	9.40	9.30
	nash	0.28	0.17	0.13	0.11	0.06	0.07
02/01/2015	r2	0.44	0.59	0.64	0.60	0.61	0.42
	rmse	3.58	3.29	3.81	4.68	4.08	4.06
	pbias	-9.10	-4.60	-1.60	-0.90	-2.70	-7.30
	nash	0.47	0.53	0.49	0.45	0.46	0.46

Como conclusión, en los 4 eventos de inundación brusca analizados, las previsiones por conjunto de precipitación ayudaron a prever los caudales de desbordamiento 2 horas antes de sus ocurrencias en la cuenca del río Bengalas.

Las combinaciones de escenarios de lluvia por el método time-lagged, lograron predecir mejor los caudales, para los horizontes de 30, 60, 90 y 120 minutos.

Sin embargo, los caudales simulados y calibrados con datos de lluvia de pluviómetros y diagnóstico del radar, mostraron limitaciones del modelo MHD-INPE en describir los hidrogramas de las inundaciones bruscas.

Al utilizar los pronósticos de la lluvia por cross-correlación, las simulaciones continuas de los caudales demuestran que, en algunos casos, las inundaciones pudieron ser representadas mejor que en el modo diagnóstico.

# Líneas de investigación en el Cemaden

## Procesos geodinámicos aplicados a desastres naturales

- Umbrales de lluvia para alerta de deslizamientos
- Caracterización de tipos de deslizamientos basados en las características de las precipitaciones

## Extremos meteorológicos y climatológicos aplicados a los desastres naturales

- Estimaciones de lluvia y nowcasting usando radar
- Aplicaciones de previsiones meteorológicas en escala sinóptica e estacional
- Causas e impactos de extremos y tendencias climáticas

## Extremos hidrológicos aplicados a los desastres naturales

- Previsión probabilística de caudal
- Pronóstico estadístico de inundaciones bruscas

## Extremos agro-meteorológicos, sequías y incendios forestales

- Monitoreo de sequías usando satélites
- Vigilancia de los riesgos de incendios forestales y sus impactos en los ecosistemas y comunidades

## Vulnerabilidad y peligros naturales

- Comunicación y difusión de alertas tempranas
- Mapeo de la vulnerabilidad social a los desastres naturales

## Modelaje Integrada de Desastres Naturales

- Desarrollo de interfaces de software

# COISAS IMPORTANTES A APRENDER COM A ARCA DE NOÉ



**Planeje para o futuro. Não estava chovendo quando Noé construiu a Arca.**

**Joaquim Gondim ANA**

Fin – Fim

Gracias! Obrigado!

[javier.tomasella@cemaden.gov.br](mailto:javier.tomasella@cemaden.gov.br)