



WORK VIII 2025 Eta

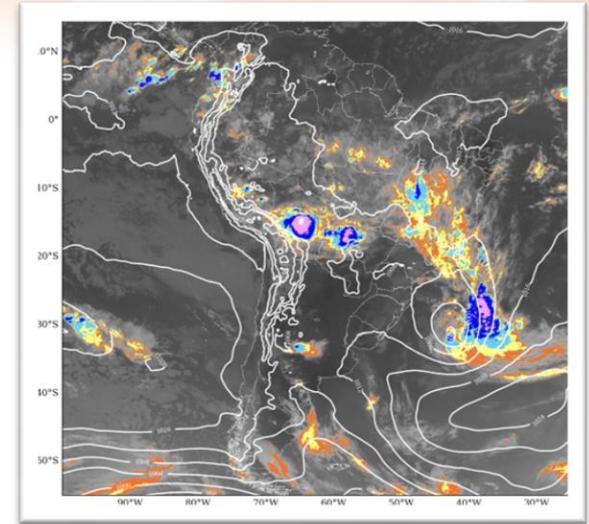
WORKSHOP EM MODELAGEM NUMÉRICA DE TEMPO, CLIMA
E MUDANÇAS CLIMÁTICAS UTILIZANDO O MODELO ETA

Simulação do Ciclone Subtropical Bapo no Atlântico Sudoeste Usando Modelo Eta

Claudine Dereczynski
Ana Clara de Almeida Marques
Chou Sin Chan
Anna Carolina Bazzanela
Jorge Gomes

Introdução

- **Ciclones Subtropicais (CS ou ciclones híbridos)**
- **Estrutura Térmica:**
 - Núcleo quente nos baixos níveis (= CTs) -> intensidade do vento reduz com altura;
 - Núcleo frio nos altos níveis (= CEs) -> intensidade do vento aumenta com altura;
 - Apresentam certa assimetria térmica nos baixos níveis (Gozzo et al. 2014: $B < 25$ m).
- **Não frontais**
- Relativamente **baixa baroclinicidade**
- **Tamanho:**
 - Diâmetro 1500 km (**maiores** do que os **CTs** ~ 800-1000 km e **menores** do que os **CEs** ~500-2000 km).
- **Aspecto nebulosidade** na imagem de satélite:
 - menos arredondada do que os CTs, em forma de vírgula invertida.
- **Duração:**
 - Entre 3 e 10 dias (Reboita et al. 2019).
 - Aprox. 4 dias (Gozzo et al. 2014).
- Têm sido observados nos **estágios iniciais dos furacões** ou tempestades tropicais.
- Início anos 2000: CSs no Atlântico Norte começaram a receber nomes da mesma lista dos CTs.
- **Impactos:**
 - Semelhantes à tempestade tropical ou **furacão**;
 - Max. Intensidade do vento localizada no lado **leste/sudoeste** do centro dos ciclones, a aprox. 300-450 km do centro do ciclone (Reboita et al. 2019);
 - **Precipitação** intensa entre 170 e 350 mm acumulada durante os eventos (Reboita et al. 2019);
 - Rápido desenvolvimento e incerteza associada com sua evolução, representam um **desafio** para **previsão do tempo**;



Bapo: 06/02/15 – 12Z

- **Área de interesse: Bacia de Santos**

- Importante área offshore de produção de óleo e gás, responsável por 50% da produção da Petrobras na camada do pré-sal;
- Intensificação no tráfego de embarcações na região;
- Ventos intensos dificultam as operações marítimas;
- Podem gerar ondas com potencial para causar acidentes em embarcações, plataformas, danificar instrumentos chegando até a impossibilitar o tráfego marinho em casos extremos.

- **Objetivo:**

- Avaliar a performance do modelo regional Eta (10 km) aninhado a Reanálise ERA5 (25 km) para simular o CS Bapo (Fevereiro 2015).

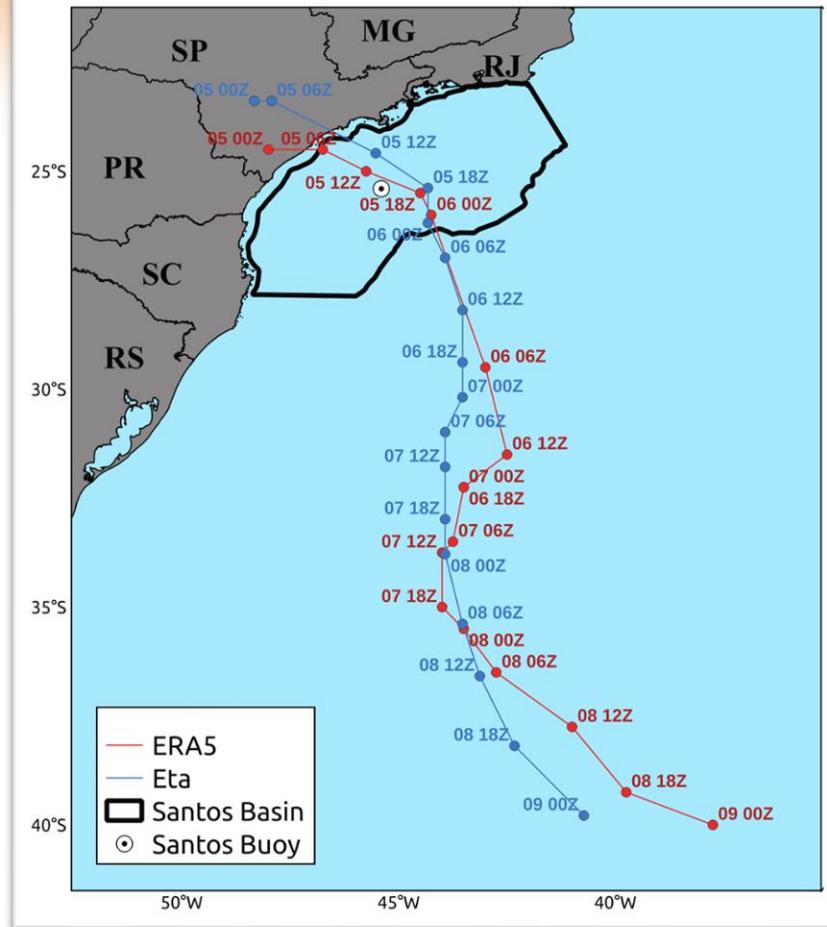


Figura 1: Trajetória do SC Bapo em 2015 a cada 6 h, desde 5 fev – 00Z até 09 fev– 00Z. A área verde delimita a Bacia de Santos. As linhas vermelha (azul) são as trajetórias do ERA5 (Eta).

Dados e Metodologia

● Dados

- Dados observados:
 - Boia Bacia de Santos: PNMM, MAG10M e DIR10M
- Dados de Precipitação: MERGE (Rozante et al. 2010)
- Reanálise ERA5:
 - Resolução horizontal: $0,25^\circ$ (~25 km)
 - Resolução vertical: 37 níveis (spf até 1 hPa)
 - Variáveis:
 - PNMM (hPa); Vento 10 m (m/s) e Precipitação (mm/dia);
 - Altura geopotencial (mgp); temperatura do ar ($^\circ\text{C}$); umidade específica (g/kg); ômega (Pa/s); vento (m/s) em vários níveis da atmosfera.

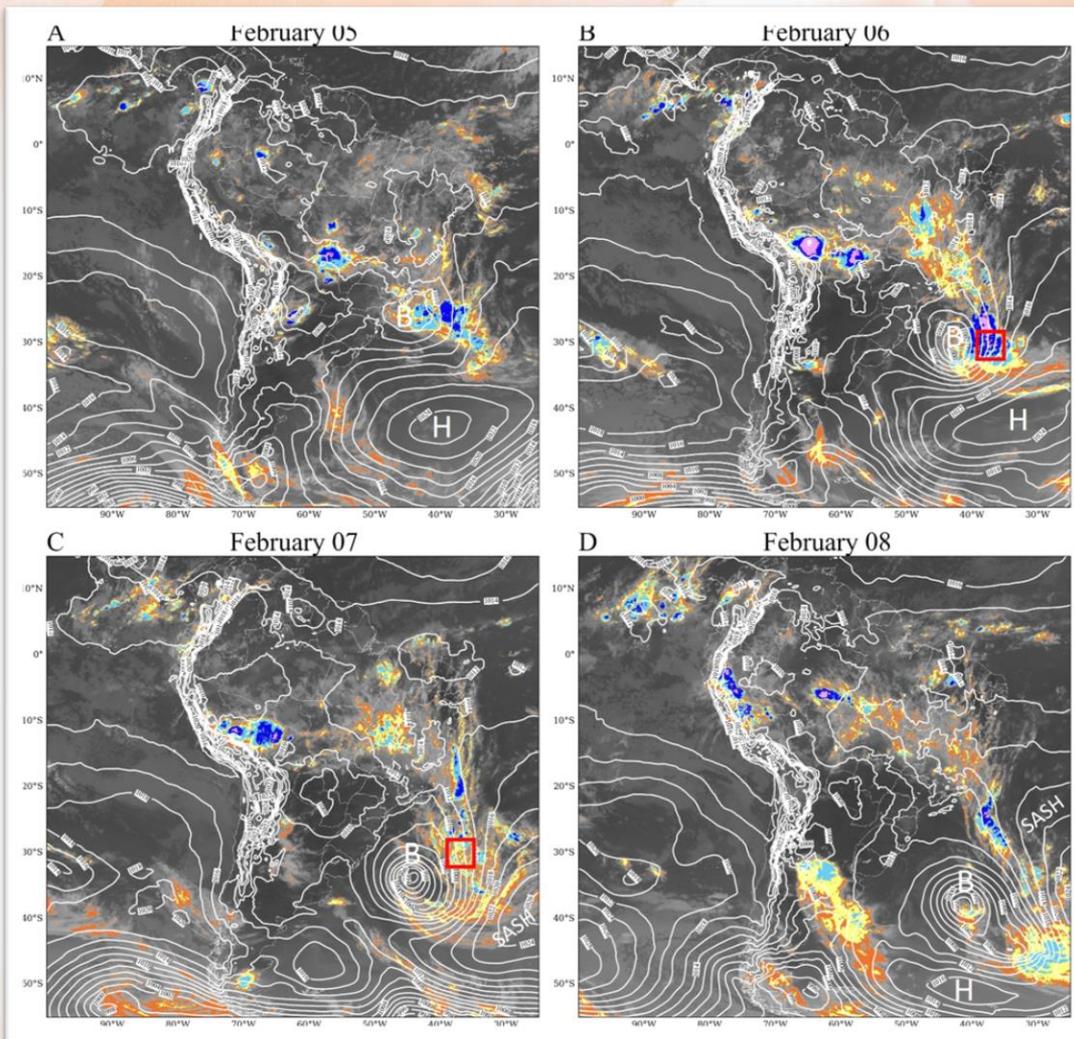
● Metodologia

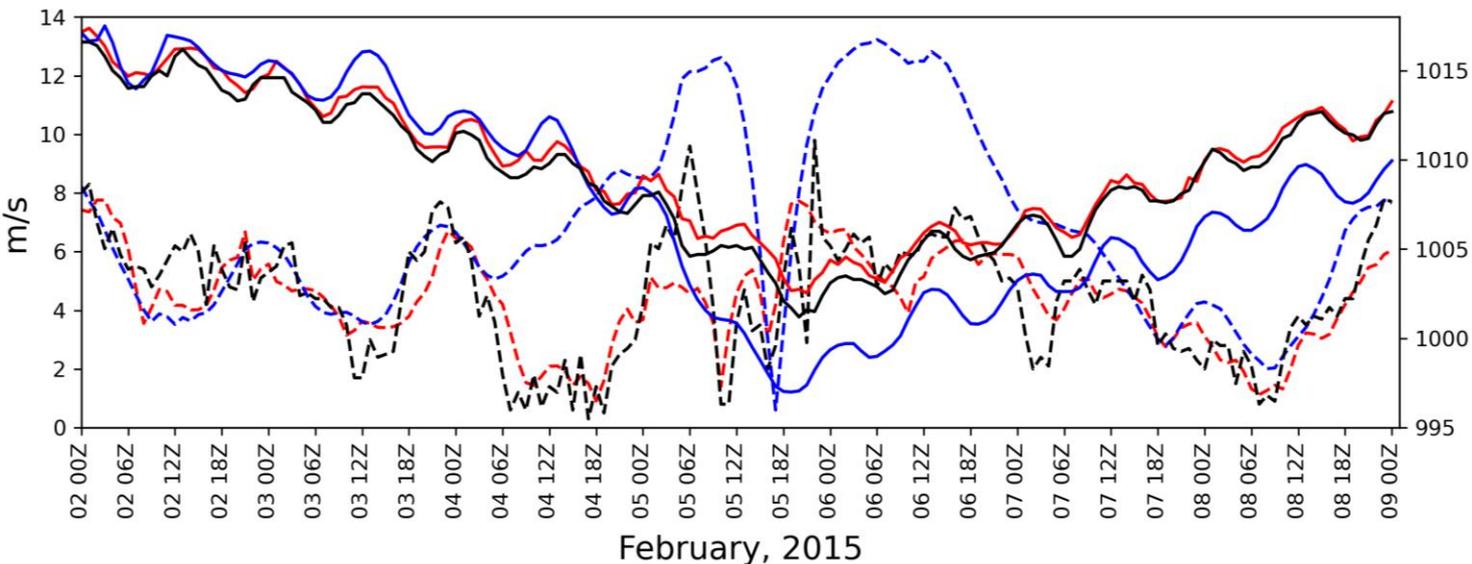
- Modelo Eta:
 - Resolução horizontal: $0,1^\circ$ (~10 km)
 - Resolução vertical: 50 camadas (até 1 hPa)
 - Parametrizações:
 - Convecção profunda e rasa: Betts-Miller (1986) modificado por Janjic (1994)
 - Microfísica de nuvens: Ferrier et al. (2002)
 - Variáveis: mesmas do ERA5
- Espaço de Fase do Ciclone (Hart 2003)

Resultados

- ZCAS: 05 a 08/02/2015;
- **Gênese:** 05/02 – 06Z - (1006 hPa – ERA5);
- 05/02 – 12Z: Alta de 1024 hPa ao sul do CS (1006 hPa) – forte grad P.;
- 06/02 – 12Z: TS Bapo (1000 hPa) – chuva > 350 mm/dia;
- **Maturidade:** 07/02 – 06Z (992 hPa) – aprofundou 14 hPa desde gênese;
- Nebulosidade forma de vírgula invertida, típico de CSs;
- ASAS conectado com Alta pressão ao sul, aumentando grad. P.

Figura 2: PNMM do ERA5 (contorno a cada 2 hPa) e imagens do satélite GOES-13 as 12Z em Feb. 2015: (A) dia 5, B: dia 6, C: dia 7, e D: dia 8. as siglas B, H e SASH significam respectivamente Bapo, Alta Pressão e Alta do Atlântico Sul. A caixa vermelha indica a região onde a precipitação atingiu 350 mm/dia de acordo com dados do MERGE, nos dias 6 e 7 de fevereiro.





--- MAG10M ERA5 - - - MAG10M Santos Buoy
 — MSLP ERA5 — MSLP Eta — MSLP Santos Buoy

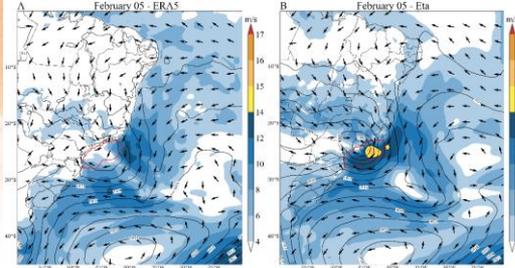
Figura 3 – Séries temporais de MSLP (linha contínua; hPa) e MAG10M (Linha pontilhada; m/s) no período 02 a 09 de fevereiro, a cada 6 h. ERA5 em vermelho, Eta em azul e Boia de Santos em preto. No ERA5 (Eta), a localização mais próxima da Boia de Santos é 25.5°S/45.5°W (25.4°S/45.5°W).

Tabela 2: Desvio Padrão (SD), correlação temporal (CORR), BIAS, e Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) da MSLP (hPa) e MAG10M (m/s), assim como o desvio padrão da correlação circular (CSD) and correlação circular (CCORR) de DIR10M. Todos os valores foram calculados com relação ao ponto de grade mais próximo à Boia de Santos (a partir do ERA5 e Eta). Foram usados dados horários 3 dias antes do evento até a dissipação do Bapo, totalizando 168 pontos de dados em cada série.

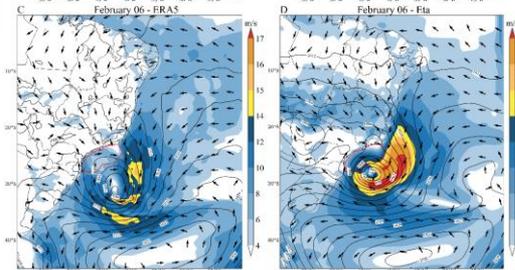
Variável		SD	CORR	BIAS	RMSE
MSLP	Santos Buoy	3.95 hPa	-	-	-
	ERA5	3.87 hPa	0.996	0.59 hPa	0.71 hPa
	Eta	5.81 hPa	0.954	-1.42 hPa	2.75 hPa
MAG10M	Santos Buoy	2.04 m/s	-	-	-
	ERA5	1.73 m/s	0.794	-0.09 m/s	1.28 m/s
	Eta	3.11 m/s	0.417	2.28 m/s	3.71 m/s
DIR10M	Santos Buoy	1.18 rad	-	-	-
	ERA5	1.03 rad	0.147	-	-
	Eta	1.05 rad	0.007	-	-

ERA5

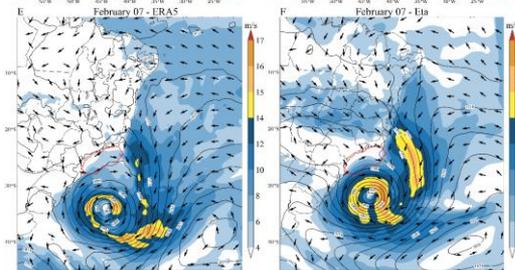
Fev 5



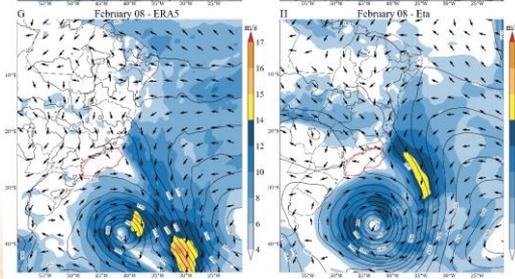
Fev 6



Fev 7



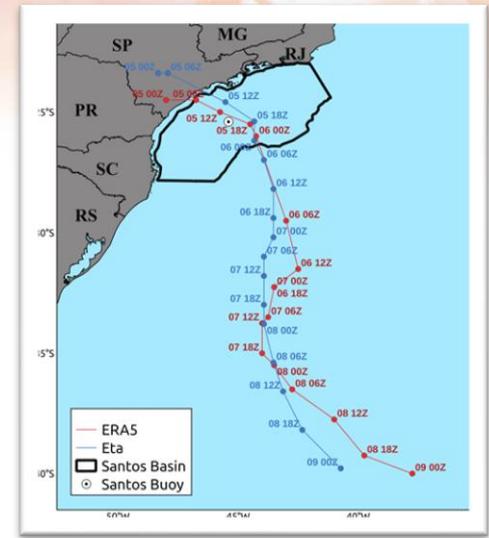
Fev 8



Eta

Figura 1: Trajetória do SC Bapo in 2015 a cada 6 h, desde 5 fev – 00Z até 09 fev–00Z.

A área verde delimita a Baía de Santos. As linhas vermelha (azul) são as trajetórias do ERA5 (Eta).

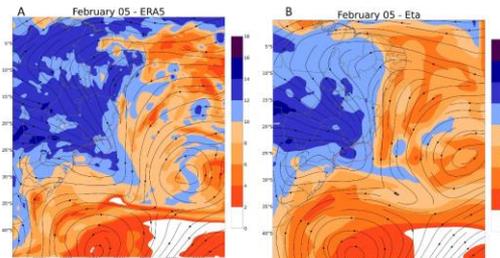


- No Eta fortes gradientes de pressão geram ventos mais intensos;
- Ventos + intensos (>17 m/s - TS) no dia 06/02 ocorreram a ~500 km a leste e 200 km a sul do centro do ciclone;
- No ERA5 região de ventos > 17 m/s em área muito reduzida;
- No centro do ciclone ventos < 6 m/s em ambas as simulações durante todo o período;
- Mínimo da PNMM no dia 07/02 (994 hPa no ERA5 e 990 hPa no Eta).

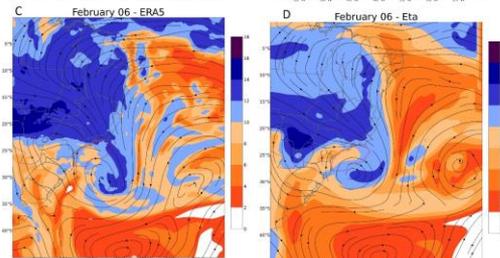
Figura 4 - MSLP (contorno a cada 2 hPa), MAG10M (sombreado, m/s) e DIR10M (vetor), as 12 Z desde 5 fev até 8 fev, 2015. Esquerda (direita) simulações do ERA5 (Eta).

ERA5

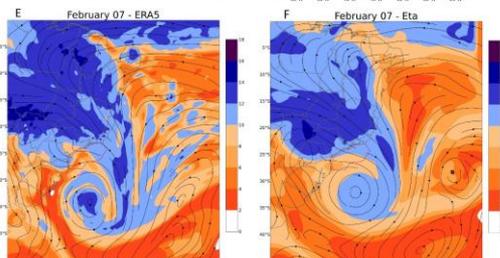
Fev 5



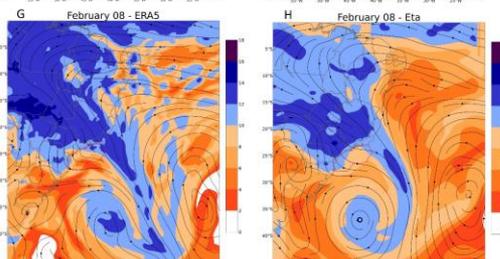
Fev 6



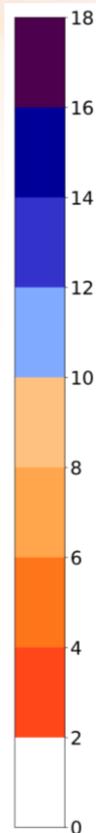
Fev 7



Fev 8



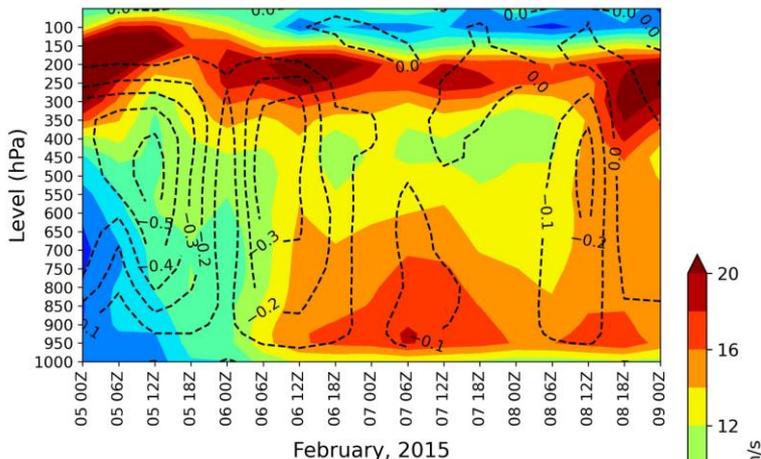
Eta



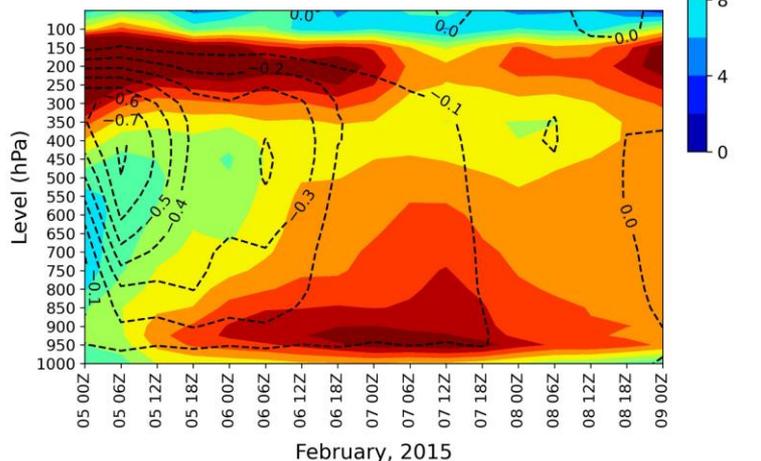
- No campo de umidade específica e ventos em 850 hPa nota-se em ambos os modelos que a umidade de partes das regiões Norte, Centro-Oeste e Sudeste, convergem para o centro do Bapo;
- O Eta simula menos umidade (em torno de 2 g/kg) do que o ERA5.

Figura 5 – Umidade específica (sombreado a cada 2 g/kg) e linhas de corrente em 500 hPa as 12Z desde 5 a 8 de fev. 2015. Esquerda (direita) simulações do ERA5 (Eta).

A. ERA5



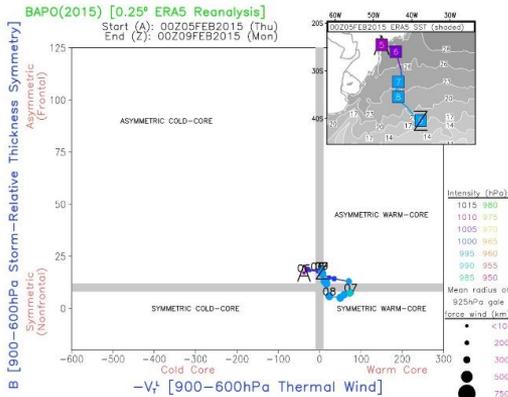
B. Eta



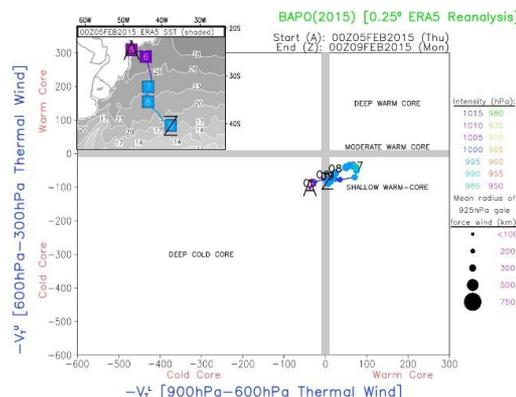
- Antes da gênese do Bapo (05/02 – 06Z):
 - ω + forte em 500 hPa ($\sim -0,6$ hPa/s);
 - vento mais fraco nos baixos níveis (850 hPa);
 - Vento mais forte nos altos níveis (200 hPa);
 - cisalhamento vertical positivo (~ 10 m/s).
- A partir da gênese do Bapo:
 - ω é reduzido;
 - vento aumenta nos baixos níveis, desde 1000 até 500 hPa e depois do estágio maduro, volta a cair;
 - No ERA5 isso só começa a ocorrer a partir de 06/02 – 06Z;
 - No Eta nota-se enfraquecimento do vento nos altos níveis no estágio maduro, no ERA5 não é tão notável;
 - Cisalhamento no Eta negativo durante estágio maduro, no ERA5 cisalhamento é reduzido, mas não chega a ser negativo.

Figura 6 – Seção vertical da velocidade do vento (sombreado a cada 2 m/s) e omega (linhas a cada 0.1 Pa/s) no centro do ciclone desde 5 – 00Z até 9 – 00Z de fevereiro de 2015 a cada 6 h. Em A. ERA5 e em B o Eta. A vel. do vento e omega médios foram calculados numa área de $\sim 5^\circ$ (i.e. uma caixa de $10^\circ \times 10^\circ$ centrada no centro do ciclone).

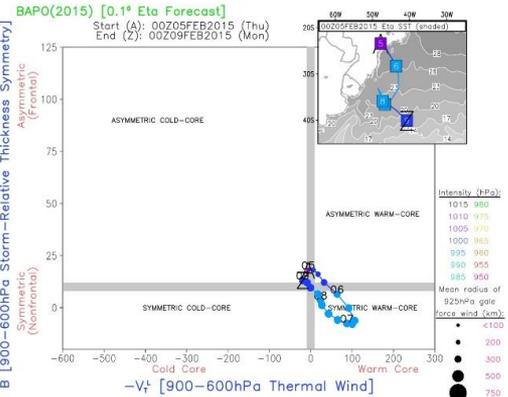
A. ERA5



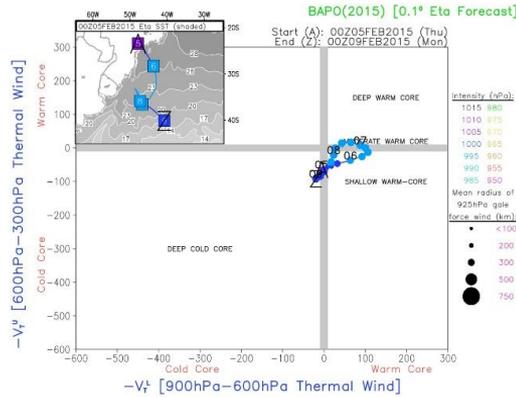
B. ERA5



C. Eta



D. Eta



• Semelhanças entre ERA5 e ETA:

- B varia entre -15 e 20 m: termicamente simétrico. Como $B > 0$ na maior parte do tempo: o lado esquerdo é mais quente do que o direito.
- Em geral (na maior parte do tempo):
- $-VTL > 0$: vento reduz com altura nos baixos níveis (quente)
- $-VTU < 0$: vento aumenta com altura nos altos níveis (frio)

• Diferenças entre ERA5 e ETA:

- No Eta o Bapo tem $-VTL > 0$ (quente) todo ciclo de vida;
- No ERA5 o Bapo começa com $-VTL < 0$ (frio);
- No Eta nos dias 7 e 8 (maduro) o $-VTU > 0$ (quente);
- No ERA5 o $-VTU < 0$ (frio) todo ciclo de vida.

Figura 9 Espaço de Fase do CS Bapo (CPS) para o período de 5 de fev. 00Z até 09 fev. – 00Z. Em A e C, parametro B versus $-V_T^L$. Em B e D, $-V_T^U$ versus $-V_T^L$. Na linha superior A e B se referem a simulação do ERA5 e na linha inferior C e D se referem a simulação do Eta.

Conclusões

- As análises objetivas comparando ERA5 e Eta com dados observados na Boia de mostrou índices piores obtidos com Eta, apesar disso o Eta:
 - Simulou corretamente a redução da PNMM e da MAG10M durante a passagem do centro do Bapo sobre a Boia de Santos, assim como o aumento de MAG10M um pouco antes e um pouco depois da passagem do centro;
 - Representou muito bem a trajetória do Bapo sobre o Atlântico Sul;
 - Começou a configurar o Bapo como um CS desde sua gênese (quente nos baixos níveis e frio nos altos níveis) enquanto o ERA5 “reconheceu” o Bapo como CS apenas 24 h após sua gênese;
 - Simulou gradientes de pressão mais forte entre o Bapo e a Alta Migratória e o ASAS, dessa forma, simulou ventos mais fortes; apesar disso, a classificação do Bapo passando de DS para TS e voltando a DS está mais de acordo com o resultado da DHN;
 - Eta simulou cisalhamento vertical negativo no estágio maduro, como encontrado por Reboita et al. (2019) usando CFSR, enquanto no ERA5 ficou positivo durante todo o período;
 - Eta simulou muito bem o Bapo durante todo o seu ciclo de vida, incluindo sua estrutura vertical, sua trajetória, precipitação em torno do vórtice, regiões de ventos fortes (>14 m/s – DS e >17 m/s - TS).
- Conclui-se que o modelo apresentou ótima performance para simular o Bapo e desta forma pode ser usado para realizar previsões na região de interesse que é a Bacia de Santos.

I WorkEta -2004



II WorkEta - 2007



III WorkEta - 2010



IV WorkEta - 2013



Obrigada!
claudine@acd.ufrj.br

VI WorkEta - 2019



VII WorkEta - 2022



V WorkEta - 2016



VIII WorkEta - 2025

