



Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza  
Instituto de Geociências  
Departamento de Meteorologia

## **CLIMATOLOGIA DA BACIA DE SANTOS**

Natasha Oliveira de Carvalho

Orientadora: D. Sc. Claudine Pereira Dereczynski

Monografia submetida ao corpo docente do Departamento de Meteorologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos necessários à obtenção de grau de Bacharel em Meteorologia.

Rio de Janeiro, RJ  
Setembro, 2018

# CLIMATOLOGIA DA BACIA DE SANTOS

Natasha Oliveira de Carvalho

Monografia submetida ao corpo docente do Departamento de Meteorologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos necessários à obtenção de grau de Bacharel em Meteorologia.

Aprovada por:

---

Prof.<sup>a</sup> D. Sc. Claudine Pereira Dereczynski

---

Prof.<sup>a</sup> D. Sc. Fernanda Cerqueira Vasconcellos

---

D. Sc Renato Parkinson Martins

Rio de Janeiro, RJ

Setembro, 2018

# CLIMATOLOGIA DA BACIA DE SANTOS

CARVALHO, NATASHA

CLIMATOLOGIA DA BACIA DE SANTOS [Rio de Janeiro], 2018

Monografia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Meteorologia.

1. Avaliação de Reanálise
2. Dados Observados
3. CFSR
4. Boias
5. Sistemas Frontais
6. ZCAS
7. Bacia de Santos

*“A jornada de mil léguas começa com o primeiro passo.”*

(Lao Tsé)

## **AGRADECIMENTOS**

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo descrever a climatologia da região da Bacia de Santos (BS) através dos campos médios sazonais da Pressão atmosférica ao Nível Médio do Mar (PNMM), Temperatura do ar à 2 m de altura (T2M), Umidade Relativa à 2 m de altura (UR2M) e Direção e Intensidade do vento à 10 m de altura (DIR10M e V10M) extraídos do *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR). Ademais investiga-se a climatologia da passagem de sistemas frontais (SFs) e da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) na área de estudo. Inicialmente confronta-se os dados do CFSR com os dados coletados por 4 boias do Programa Nacional de Boias fundeadas na região da BS. Os resultados dessa avaliação indicam que a variável mais bem representada pela Reanálise é a PNMM seguida da T2M. Para UR2M, DIR10M e V10M os resultados apesar de bons, apresentam valores de correlação mais baixos e viés mais elevados. O CFSR consegue representar muito bem (razoavelmente bem) os ciclos anuais e diurnos da PNMM e da T2M (UR2M e V10M). A análise das rosas dos ventos mostra que a Reanálise consegue representar bem a direção predominante do vento de nordeste, associada ao Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul e uma segunda direção predominante de quadrante sul associada à passagem de sistemas transientes, exceto para a boia de Santos, onde essa mudança na direção não foi detectada pelo CFSR. Na região da BS ocorrem anualmente em média 5 eventos de ZCAS. Ao sul (norte) da área de estudo penetram em média 3,6 (2,5) frentes por mês. Os campos climatológicos sazonais da PNMM mostram que os menores valores de pressão na BS ocorrem no verão, se elevando no outono, atingindo os máximos valores no inverno e decaindo novamente na primavera. A T2M na BS é espacialmente similar no verão. No outono um maior gradiente de T2M começa a se estabelecer, intensificando-se no inverno, quando são registradas as menores temperaturas para a região de estudo, devido à intrusão de massas de ar frio. Na primavera a T2M volta a se elevar e o gradiente começa a se enfraquecer. A UR2M varia entre 75 e 85% ao longo de todas as estações do ano na BS. Por fim, nos campos de climatologia sazonal de V10M nota-se que ao longo de todo o ano a BS fica situada na borda oeste do ASAS, onde a direção predominante do vento é de NE. As maiores intensidades do vento ocorrem durante o verão e a primavera, justamente quando os gradientes de pressão estão mais intensos.

## ABSTRACT

The objective of this work is to describe the climatology of the Santos Basin (SB) through the seasonal mean of the Sea Level atmospheric Pressure (SLP), 2-m Air Temperature (2MT), 2-m Relative Humidity (2MRH) and 10-m Direction and Velocity of the wind (10MDIR and 10MV) extracted from the Climate Forecast System Reanalysis (CFSR). In addition, we investigate the climatology of the frontal systems (FSs) and the South Atlantic Convergence Zone (SACZ) in the study area. Initially, the CFSR data are compared to the data collected by 4 buoys from the Brazilian National Buoys Programme (PNBOIA) based in the BS region. The results of this evaluation indicate that the SLP is the best represented variable by the Reanalysis, followed by the 2MT. For 2MRH, 10MDIR and 10MV the results, although good, present lower correlation values and higher BIAS. The CFSR represent very well (fairly well) the annual and daily cycles of the SLP and the 2MT (2MRH and 10MV). The analysis of the wind roses shows that CFSR can represent well the predominant direction of the northeast wind associated with the South Atlantic Subtropical Anticyclone (SASA) and the second predominant south quadrant direction associated with the passage of transient systems, except for the Santos buoy, where the change in wind direction was not detected by the CFSR. In the BS region, 5 SACZ events occur each year. In the south (north) of the study area occurs 3.6 (2.5) fronts per month in average. SLP seasonal climatological fields show that the lowest pressure values over the BS occur in the summer, rising in the autumn, peaking in winter and falling again in the spring. 2MT in BS is spatially similar in summer. In autumn, a larger 2MT gradient begins to settle, intensifying in the winter when the lowest temperatures are recorded for the study region, due to the intrusion of cold air masses. In the spring the 2MT returns to rise and the gradient begins to weaken. The 2MRH varies between 75 and 85% over the 4 seasons of the year. Finally, in the seasonal climatology fields of 10MV it is noted that throughout the year BS is located on the west edge of SASA, where the predominant wind direction is NE. The highest wind intensities occur during summer and spring, just when the pressure gradients are more intense.

## ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO .....	1
2	Revisão Bibliográfica .....	5
2.1	Avaliação de reanálises a partir de dados observacionais .....	5
2.2	Climatologia global das variáveis estudadas .....	11
2.3	Climatologia de Sistemas Frontais para a América do Sul.....	12
3	Dados e Metodologia.....	15
3.1	Dados .....	15
3.1.1	Dados Observacionais .....	15
3.1.2	Dados Gerados por Modelagem Numérica .....	18
3.2	Metodologia.....	19
3.2.1	Avaliação das Séries de Dados.....	19
3.2.2	Contagem de Sistemas Frontais e eventos de ZCAS.....	22
3.2.3	Elaboração de campos climatológicos para a Baía de Santos .....	23
4	Avaliação do CFSR .....	24
4.1	Pressão Atmosférica ao Nível Médio do Mar – PNMM.....	26
4.2	Temperatura do Ar a 2 m de altura - T2M.....	33
4.3	Umidade Relativa do Ar a 2 m de altura - UR2M .....	40
4.4	Velocidade e Direção do Vento a 10 metros de altura - V10M e DIR10M.....	46
5	Climatologia da Baía de Santos .....	55
5.1	Climatologia Sazonal da PNMM.....	55
5.2	Climatologia Sazonal da T2M .....	56
5.3	Climatologia Sazonal da UR2M .....	57
5.4	Climatologia Sazonal do Vento .....	58
5.5	Climatologia da Passagem de Sistemas Frontais na Baía de Santos.....	59
5.6	Climatologia da atuação de ZCAS na Baía de Santos .....	61
6	Conclusões.....	63

7	Referências Bibliográficas.....	68
---	---------------------------------	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Mapa com localização das bacias produtoras de petróleo marítimas (nomes em verde) e terrestres no Brasil. A BS encontra-se na porção sul da margem continental entre as cidades de Cabo-Frio (RJ) e Florianópolis (SC). Fonte: PETROBRAS.....	1
Figura 1.2 - Mapa com a delimitação da área do Pré-sal e campos de extração de jazidas petrolíferas nas Bacias de Santos e Campos. Fonte: PETROBRAS (2018).....	2
Figura 2.1 - Ilustração das caixas de grade usadas na atribuição de um valor de reanálise para comparação com o observado em uma determinada estação. O número de caixas de grade usadas depende do método de co-localização empregado. Um sistema de grade é mostrado com caixas de grade rotuladas A, B, C, D, E e F. O centro de cada caixa de grade é marcado com um ×. Uma estação é representada por um ponto e é cercada por uma região imaginária que intercepta as caixas de grade B e E (MOONEY et al. 2011).....	6
Figura 2.2 - Diagramas de Taylor para a velocidade do vento para a comparação dos diferentes produtos eólicos descritos na Tabela 2.1 com dados das quatro boias. Os contornos verdes indicam os valores RMSE e os contornos pretos indicam o desvio padrão (eixo y). (Fonte: ALVAREZ et al., (2014)).....	9
Figura 2.3 - Média anual de passagens de SFs para o período de 1979 a 2005. As áreas em branco representam locais em que a pressão a superfície é menor que a 925hPa Fonte: Tempo e Clima no Brasil (2009). .....	14
Figura 3.1 - Mapa da Bacia de Santos. As localizações das 4 Boias do PNBOIA utilizadas neste trabalho estão identificadas pelos círculos cinzas e a localização das 7 estações utilizadas para a contagem da passagem de sistemas frontais na BS estão identificadas pelo triângulo azul. ....	16
Figura 3.2 - Especificações da Boia de Santos. Destaque para a altura do sensor de temperatura do ar Fonte: PNBOIA .....	18
Figura 3.3 - Esquematização dos pontos de grade do CFSR utilizados para os cálculos e o posicionamento da boia. ....	20

Figura 3.4 - Seções estação versus tempo dos sistemas frontais que passaram pela costa brasileira em Junho/2013. Fonte: Revista Climanálise .....	22
Figura 4.1 – Séries horárias da boia de Itajaí (lilás) e do CFSR0 (azul) cujo período vai de 23/04/2009 até 15/07/2017 para as variáveis: (a) PNMM (hPa), (b) T2M (°C), (c) V10M (m/s) e (d) UR10M (%).	24
Figura 4.2 - Séries horárias da boia de Santos (lilás) e do CFSR0 (azul) cujo período vai de 12/04/2011 até 15/07/2017 para as variáveis: (a) PNMM (hPa), (b) T2M (°C), (c) V10M (m/s) e (d) UR10M (%).	25
Figura 4.3 – Séries horárias da boia de Cabo Frio (lilás) e do CFSR0 (azul) cujo período vai de 24/06/2009 até 19/09/2013 para as variáveis: (a) PNMM (hPa), (b) T2M (°C), (c) V10M (m/s) e (d) UR10M (%).	25
Figura 4.4 - Séries horárias da boia de Cabo Frio 2 (lilás) e do CFSR0 (azul) cujo período vai de 20/07/2016 até 15/07/2017 para as variáveis: (a) PNMM (hPa), (b) T2M (°C), (c) V10M (m/s) e (d) UR10M (%).	26
Figura 4.5 - Gráfico de dispersão e métricas estatísticas para os dados de PNMM (hPa) simulados pelo CFSR0 (esquerda) e CFSRPond (direita) versus observados nas boias de (a) Itajaí, (b) Santos, (c) Cabo Frio e (d) Cabo Frio 2. Para todas as figuras o eixo x representa os dados observados.	27
Figura 4.6 - Gráfico de dispersão das séries temporais de PNMM (hPa) obtidas a partir do CFSR0 (eixo x) e CFSRPond (eixo y).	29
Figura 4.7 - Ciclo anual de PNMM (hPa) para os dados de (a) Itajaí, (b) Santos, (c) Cabo Frio e (d) Cabo Frio 2: Observação (linha azul), CFSR0 (linha vermelha) e para o CFSRPond (linha verde).	30
Figura 4.8 - Ciclo diurno (0 até 23 UTC) de PNMM (hPa) para os dados de (a) Itajaí, (b) Santos, (c) Cabo Frio e (d) Cabo Frio 2: Observação (linha azul), CFSR0 (linha vermelha) e CFSRPond (linha verde).	31
Figura 4.9 - Gráfico de dispersão e métricas estatísticas para os dados de T2M (°C) observados nas boias de: (a) Itajaí, (b) Santos, (c) Cabo Frio e (d) Cabo Frio 2 versus os	

simulados pelo CFSR0 (esquerda) e CFSRPond (direita). Para todas as figuras o eixo x representa os dados observados. ....	34
Figura 4.10 - Gráfico de dispersão das séries temporais de T2M (°C) obtidas a partir do CFSR0 (eixo x) e CFSRPond (eixo y).....	36
Figura 4.11 - Ciclo anual de T2M (°C) para os dados de (a) Itajaí, (b) Santos, (c) Cabo Frio e (d) Cabo Frio 2: Observado (linha azul), CFSR0 (linha vermelha) e CFSRPond (linha verde).....	37
Figura 4.12 - Ciclo diurno (0 até 23 UTC) de T2M (°C) para os dados de (a) Itajaí, (b) Santos, (c) Cabo Frio e (d) Cabo Frio 2: Observado (linha azul), CFSR0 (linha vermelha) e CFSRPond (linha verde).....	38
Figura 4.13 - Gráfico de dispersão e métricas estatísticas para os dados de UR2M (%) observados nas boias de (a) Itajaí, (b) Santos, (c) Cabo Frio e (d) Cabo Frio 2 versus os simulados pelo CFSR0 (esquerda) e CFSRPond (direita). Para todas as figuras o eixo x representa os dados observados. ....	41
Figura 4.14 - Ciclo anual de UR2M (%) para os dados de (a) Itajaí, (b) Santos, (c) Cabo Frio e (d) Cabo Frio 2: Observado (linha azul), CFSR0 (linha vermelha) e CFSRPond (linha verde).....	43
Figura 4.15 - Ciclo diurno (0 até 23 UTC) de UR2M (%) para os dados de (a) Itajaí, (b) Santos, (c) Cabo Frio e (d) Cabo Frio 2: Observado (linha azul), CFSR0 (linha vermelha) e CFSRPond (linha verde).....	44
Figura 4.16 - Gráfico de dispersão e métricas estatísticas para os dados de V10M (m/s) observados nas boias de (a) Itajaí, (b) Santos, (c) Cabo Frio e (d) Cabo Frio 2 versus os simulados pelo CFSR0 (esquerda) e o CFSRPond (direita). Para todas as figuras o eixo x representa os dados observados. ....	47
Figura 4.17 - Ciclo anual de V10M (m/s) para os dados de (a) Itajaí, (b) Santos, (c) Cabo Frio e (d) Cabo Frio 2: Observado (linha azul), CFSR0 (linha vermelha) e CFSRPond (linha verde).....	49

Figura 4.18 - Ciclo diurno (0 até 23 UTC) de V10M (m/s) para os dados de (a) Itajaí, (b) Santos, (c) Cabo Frio e (d) Cabo Frio 2: Observado (linha azul), CFSR0 (linha vermelha) e CFSRPond (linha verde).....	50
Figura 4.19 - Rosas dos ventos elaboradas com: (a) dados da boia de Itajaí, (b) série temporal do CFSR0 e (c) série temporal do CFSRPond. ....	53
Figura 4.20 - Rosas dos ventos elaboradas com: (a) dados da boia de Santos, (b) série temporal do CFSR0 e (c) série temporal do CFSRPond. ....	53
Figura 4.21- Rosas dos ventos elaboradas com: (a) dados da boia de Cabo Frio, (b) série temporal do CFSR0 e (c) série temporal do CFSRPond. ....	54
Figura 4.22 - Rosas dos ventos elaboradas com: (a) dados da boia de Cabo Frio 2, (b) série temporal do CFSR0 e (c) série temporal do CFSRPond.....	54
Figura 5.1 - Climatologia Sazonal da PNMM (hPa) elaborada a partir do CFSR no período de 1981-2010 para (a) verão, (b)outono, (c)inverno, (d) primavera. A bacia de Santos aparece em destaque sobre o oceano. ....	56
Figura 5.2 - Climatologia sazonal da T2M (°C) no período 1981-2010 elaborada a partir de CFSR para: (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera. A região da Bacia de Santos aparece em destaque sobre o oceano. ....	57
Figura 5.3 - Climatologia sazonal da UR2M (%) no período 1980-2009 elaborada a partir de CFSR para: (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera. A Bacia de Santos aparece em destaque sobre o oceano. ....	58
Figura 5.4 - Climatologia sazonal de V10M (m/s) no período 1980-2009 elaborada a partir de CFSR para: (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera. A Bacia de Santos aparece em destaque sobre o oceano. ....	59
Figura 5.5 - Frequência anual de ocorrência de ZCAS sobre o Sudeste do Brasil (linha verde) e sobre a Bacia de Santos (linha vermelha) entre os verões de 1996 e 2013. ....	61

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1- Características dos diferentes produtos utilizados por ALVAREZ et al., (2014).....	8
Tabela 2.2 - Climatologia de SFs que passaram pelas bandas latitudinais 40 e 35°S, 35 e 25°S, 25 e 20°S e norte de 20°S (média mensal para o período de 1975 a 1984) (Fonte: Oliveira, 1986).....	13
Tabela 3.1 – Localização (latitude e longitude) e período de observação das boias do PNBOIA na Região da Bacia de Santos.....	16
Tabela 3.2 - Limiões estabelecidos para identificação de dados espúrios por estação e por variável. ....	17
Tabela 4.1 - Métricas estatísticas calculadas a partir das séries temporais de PNMM (hPa) observado na boia, CFSR0 e CFSRPond.....	28
Tabela 4.2 - Valores máximos, mínimos e amplitude da PNMM (hPa) para o CFSR0, CFSRPond e as boias de Itajaí e Santos (OBS) para a série temporal, o ciclo anual e o ciclo diurno.....	32
Tabela 4.3 - Valores máximos, mínimos e amplitude da PNMM (hPa) para o CFSR0, CFSRPond e as boias de Cabo Frio e Cabo Frio 2 (OBS) para a série temporal, o ciclo anual e o ciclo diurno.....	33
Tabela 4.4 - Métricas estatísticas calculadas a partir das séries temporais de T2M (°C) observadas nas boias, no CFSR0 e no CFSRPond. ....	35
Tabela 4.5 - Valores máximos, mínimos e amplitude da T2M (°C) para o CFSR0, CFSRPond e as boias de Itajaí e Santos (OBS) para a série temporal, o ciclo anual e o ciclo diurno.....	39
Tabela 4.6 - Valores máximos, mínimos e amplitude da T2M (°C) para o CFSR, CFSRPond e as boias de Cabo Frio e Cabo Frio 2 (OBS) para a série temporal, o ciclo anual e o ciclo diurno.....	40

Tabela 4.7 - Métricas estatísticas calculadas a partir das séries temporais de UR2M (%) observado na boia, CFSR0 e CFSRPond.....	42
Tabela 4.8 - Valores máximos, mínimos e amplitude da UR2M (%) para o CFSR0, CFSRPond e as boias de Itajaí e Santos (OBS) para a série temporal, o ciclo anual e o ciclo diurno.....	45
Tabela 4.9 - Valores máximos, mínimos e amplitude da UR2M (°C) para o CFSR0, CFSRPond e as boias de Cabo Frio e Cabo Frio 2 (OBS) para a série temporal, o ciclo anual e o ciclo diurno.....	46
Tabela 4.10 - Métricas estatísticas calculadas a partir das séries temporais de V10M (m/s) observado na boia, no CFSR0 e no CFSRPond.....	48
Tabela 4.11 - Valores máximos, mínimos e amplitude da V10M (m/s) para o CFSR0, CFSRPond e as boias de Itajaí e Santos (OBS) para a série temporal, o ciclo anual e o ciclo diurno.....	51
Tabela 4.12 - Valores máximos, mínimos e amplitude da V10M (m/s) para o CFSR0, CFSRPond e as boias de Cabo Frio e Cabo Frio 2 (OBS) para a série temporal, o ciclo anual e o ciclo diurno.....	52
Tabela 5.1 -Frequência média mensal e total anual de sistemas frontais contabilizados a partir dos dados fornecidos mensalmente pela revista Climanálise do CPTEC/INPE no período de janeiro/1996 a dezembro/2013. As células realçadas em azul mostram os meses de mínima frequência média de SF e as em amarelo a máxima frequência média. ....	60

## LISTA DE SIGLAS

- AGES - Bacia do Espírito Santo e parte Norte da Bacia de Campos
- ASAS – Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul
- BIAS – Erro médio
- BS – Bacia de Santos
- CCMP - *Cross-Calibrated Multi-Platform*
- CFSR - *Climate Forecast System Reanalysis*
- CFSv1 – *Climate Forecast System version 1*
- CFSv2 – *Climate Forecast System version 2*
- COADS - *Comprehensive Ocean-Atmospheric Data Set*
- CORR – Correlação
- CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
- DIR10M - Direção do vento a 10 metros de altura
- DP – Desvio Padrão
- ECMWF – *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*
- GFS - *Global Forecast System*
- GOES - *Geostationary Operational Environmental Satellite*
- GrADS - *Grid Analysis and Display System*
- ICOADS - *International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set*
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- M – Média aritmética
- MERRA - *Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications*
- NASA - *National Aeronautics and Space Administration*
- NC – Normais Climatológicas
- NCAR – *National Center for Atmospheric Research*
- NCEP – *National Center for Environmental Prediction*

NOAA - *National Oceanic and Atmospheric Administration*

OMM - Organização Meteorológica Mundial

PNBOIA – Programa Nacional de Boias

PNMM - Pressão atmosférica ao Nível Médio do Mar

RMSE – Raiz do Erro Quadrático Médio

SEAL – Bacia de Sergipe-Alagoas

SF – Sistemas Frontais

T2M - Temperatura do ar a 2 metros de altura

TSM – Temperatura da Superfície do Mar

UR2M – Umidade Relativa a 2 metros de altura

UTC - *Universal Time Coordinated*

V10M – Intensidade do vento a 10 metros de altura

ZCAS - Zona de Convergência do Atlântico Sul

## 1 INTRODUÇÃO

A Bacia de Santos (BS) é a maior bacia sedimentar offshore do país, com uma área total de mais de 350 mil quilômetros quadrados, localizada entre os paralelos 28 e 23°S e os meridianos 48,5 e 41°O (Figura 1.1).

### Nossas Bacias Produtoras Marítimas e Terrestres



Figura 1.1 - Mapa com localização das bacias produtoras de petróleo marítimas (nomes em verde) e terrestres no Brasil. A BS encontra-se na porção sul da margem continental entre as cidades de Cabo-Frio (RJ) e Florianópolis (SC). Fonte: PETROBRAS

Na BS encontram-se importantes áreas de exploração de óleo leve e gás, incluindo operações no pré-sal. O campo de Lula, atualmente a jazida com maior produção de óleo e gás no Brasil, e o Bloco de Libra, um dos maiores e mais promissores projetos de produção de óleo e gás já desenvolvidos pela indústria offshore, encontram-se na região de estudo (Figura 1.2). Dessa forma, a BS é economicamente importante para o país, contribuindo fortemente para o suprimento da demanda nacional de petróleo e seus derivados e também para exportação (PETROBRAS, 2018).

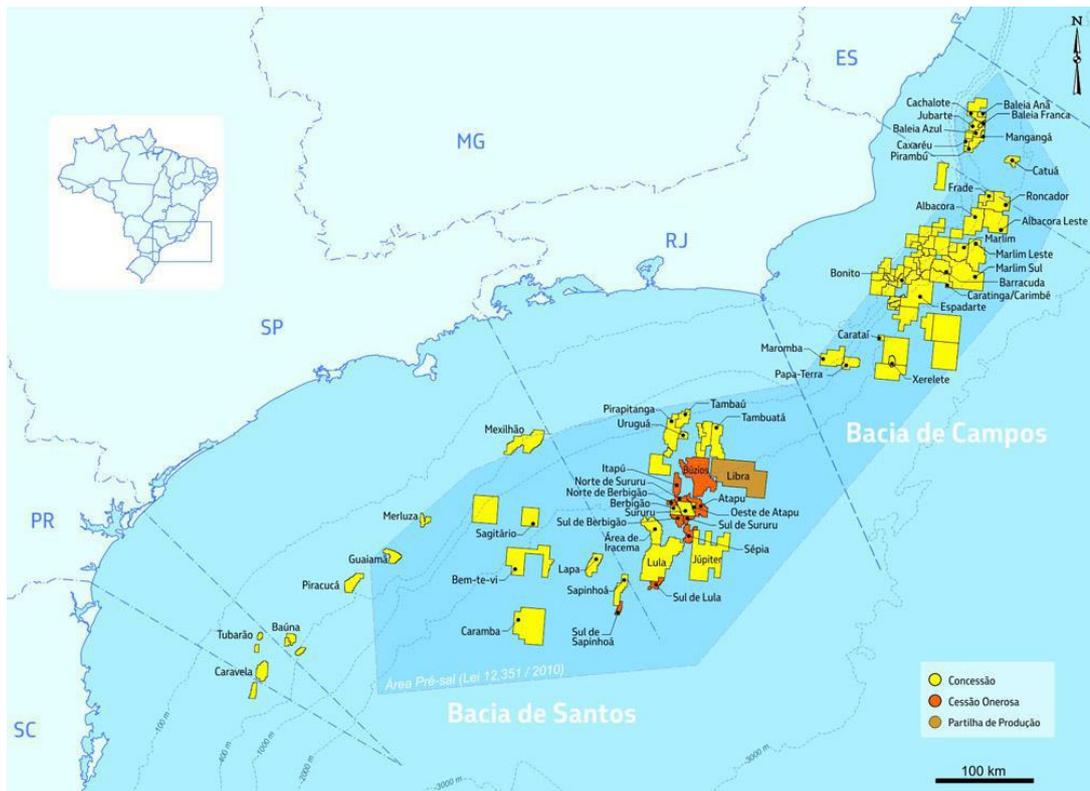


Figura 1.2 - Mapa com a delimitação da área do Pré-sal e campos de extração de jazidas petrolíferas nas Bacias de Santos e Campos. Fonte: PETROBRAS (2018).

A caracterização climática da BS é de suma importância, principalmente para as engenharias oceânica e costeira, já que as condições atmosféricas influenciam a superfície oceânica, exercendo assim grande influência sobre estruturas marinhas. As informações climatológicas são utilizadas em todas as fases de empreendimentos de engenharia no mar, sendo de grande importância para o planejamento e gestão ambiental da área.

Com o intuito de descrever com detalhes o clima de uma região, e poder compará-lo com o clima de outras partes do globo, a Organização Meteorológica Mundial (OMM) conduziu a definição de Normais Climatológicas (NC) (WMO-No. 100, 2011). As NC são utilizadas como uma referência contra a qual observações recentes ou atuais podem ser comparadas, inclusive fornecendo uma base para muitos conjuntos de dados climáticos baseados em anomalias.

Tradicionalmente, as NC se concentravam no valor médio de um elemento climático ao longo de um período de tempo, entretanto a média é uma descrição incompleta do clima e muitas aplicações exigem informações sobre outros aspectos da distribuição de frequência e comportamento estatístico desse elemento, como por exemplo, a frequência de períodos prolongados ou valores extremos de um elemento ao

longo de um período especificado. Dessa forma outros descritores estatísticos de distribuição de frequência de um elemento (como o desvio padrão e erro médio), são descritores do clima úteis e devem ser incluídos com conjuntos de dados de NC (WMO-No. 100, 2011).

Segundo a Regulamentação Técnica da OMM número 49 (WMO-No. 49, 1988), considera-se como Normais Climatológicas Padrão a média de dados observados seguindo períodos como 1º de janeiro de 1931 a 31 de dezembro de 1960, 1º de janeiro de 1961 a 31 de dezembro de 1990 e assim por diante. Levando em consideração vários problemas relatados por países associados, a OMM lançou em 2017 o ‘*Guidelines on the Calculation of Climate Normals*’ (WMO-No. 1203, 2017), em que a definição de um padrão climático normal mudou, e agora se refere ao período mais recente de 30 anos terminando em um ano que termina com 0 (1981-2010 no momento da escrita), em vez de para períodos não-sobrepostos de 30 anos (1901-1930, 1931-1960, 1961-1990 e, no futuro, 1991-2020), como era o caso anteriormente. No entanto, o período de 1961 a 1990 foi mantido como um período de referência padrão para avaliações de longo prazo das mudanças climáticas.

Como muitas estações meteorológicas não possuem registros longos, a OMM recomenda o cálculo das Normais Climatológicas Provisórias. Essas devem ser computadas para períodos com no mínimo dez anos de dados e começando em 1º de janeiro dos anos que terminem com o dígito 1. Por exemplo, 1º de janeiro de 2001 a 31 de dezembro de 2010.

A série de dados mais contínua e com maior duração dentre as boias presentes na BS é a da Boia de Santos, cujo período de dados tratados disponível se estende de 12/04/2011 até 15/07/2017, possuindo apenas 6 anos de dados, o que infelizmente impossibilita o cálculo de Normais Climatológicas Padrão ou Normais Climatológicas Provisórias. Assim, para estudos climatológicos na região, se faz necessária a utilização de dados gerados automaticamente por modelagem numérica e, para tal, é necessário confrontar os dados gerados via modelagem com os coletados por instrumentos in situ.

Este trabalho tem como objetivo elaborar uma climatologia para a região da BS, utilizando para tal a Reanálise do *National Center for Environmental Prediction* (NCEP) denominada *Climate Forecast System Reanalysis – CFSR* (SAHA et al., 2010, 2014). A Climatologia de Sistemas Frontais (SF) e a climatologia de Zonas de Convergência do

Atlântico Sul (ZCAS) para a região são elaboradas a partir de resultados das publicações mensais da Revista Climanálise do CPTEC/INPE.

A escolha do CFSR, cuja menor resolução horizontal é de  $0,5^\circ$  de latitude x  $0,5^\circ$  de longitude e resolução temporal de 1 hora, em detrimento das demais reanálises, se deve à sua maior resolução horizontal, vertical e temporal e a fácil disponibilização de dados, que podem ser obtidos após um rápido cadastro no link <https://rda.ucar.edu/>. A escolha da Revista Climanálise como fonte de dados para a Climatologia de SFs e ZCAS se deu devido a classificação desses sistemas, apesar de subjetiva, ter sido elaborada por meteorologistas, ao extenso tempo de monitoramento disponível (18 anos) e ao fácil acesso as edições através do link <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/>.

Entretanto, conforme citado anteriormente, antes do uso da Reanálise para a elaboração da climatologia de uma região faz-se necessário confrontar os dados modelados com a série temporal de dados observacionais disponíveis. Neste trabalho os dados observacionais coletados em quatro boias localizadas na BS são utilizados para avaliação das seguintes variáveis extraídas do CFSR: Pressão atmosférica ao Nível Médio do Mar (PNMM), Temperatura do ar a 2 metros de altura (T2M), Umidade Relativa do ar a 2 metros de altura (UR2M) e Intensidade (V10M) e Direção (DIR10M) do vento a 10 metros de altura.

Esta monografia está organizada em 6 capítulos. O Capítulo 2 aborda os resultados de pesquisas que tratam da avaliação de reanálises em comparação com dados observacionais e também apresenta uma revisão bibliográfica sobre a climatologia global de algumas das variáveis estudadas. No Capítulo 3 encontram-se a descrição dos dados e da metodologia para a elaboração deste estudo. Os resultados da avaliação a partir de dois diferentes métodos de extração dos dados da Reanálise CFSR para cada uma das variáveis estudadas estão no Capítulo 4. A climatologia sazonal da Reanálise CFSR sobre o Oceano Atlântico Sul e as climatologias de ZCAS e SF encontram-se no Capítulo 5. Finalmente no Capítulo 6 estão as conclusões e considerações finais.

## 2 Revisão Bibliográfica

Nesta seção são apresentados estudos que avaliam diversos conjuntos de reanálises em relação ao dado observado para várias regiões do mundo. Também são apresentados estudos sobre a climatologia global a partir de dados observados das variáveis temperatura e umidade relativa.

### 2.1 Avaliação de reanálises a partir de dados observacionais

O uso de reanálises se comprovou como uma ferramenta vantajosa para pesquisa em áreas onde os dados observacionais são esparsos ou ainda quando campos com espaçamento uniforme de determinada variável são necessários (MOONEY et al. 2011). Entretanto, tal ferramenta deve ser utilizada com parcimônia e, sempre que possível, deve ser feita uma verificação de seus dados com aqueles observados na região de estudo.

LÜPKES et al. (2010) utilizaram dados de temperatura do ar à superfície e radiossondagens coletadas em três expedições do navio alemão RV Polarstem ao Ártico nos verões de 1996, 2001 e 2007 para avaliar a Reanálise do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF), conhecida como ERA-Interim, e assim quantificar sua acurácia para latitudes entre 80 e 85°N. Em seus resultados foram encontradas diferenças consistentes entre a Reanálise e os dados observados, principalmente para a variável temperatura onde a Reanálise tendeu a superestimar os valores observados.

MOONEY et al. (2011), compararam as reanálises ERA-40, ERA-Interim e a *NCEP/NCAR Reanalysis Products-1* (Reanálise 1) com a temperatura a dois metros observada em 11 estações sinóticas de coleta de dados na Irlanda durante o período de 1989 a 2001. Posteriormente os autores compararam as reanálises ERA-Interim e a Reanálise 1 com quatro boias ao longo da costa no período de 2001 à 2005. Para facilitar a comparação com os dados das reanálises, as médias diárias foram convertidas em médias mensais, removendo assim as componentes de alta frequência da série de dados.

Para determinação do valor associado à reanálise quatro diferentes métodos de abordagem foram utilizados. O método 1 compara o valor observado pela estação com o valor da reanálise no ponto mais próximo (ponto B na Figura 2.1). O método 2 utiliza a média ponderada pela distância ao quadrado dos quatro pontos de grade mais próximos a estação para comparar com o dado coletado (pontos B, C, E e F na Figura 2.1), enquanto que o método 3 considera uma região de 30 x 30 Km centrada na estação meteorológica

e utiliza como valor a ser comparado com o observado uma média ponderada (igual a descrita no método 2) de todas as caixas de grade da reanálise englobadas por essa região quadrática (valores dos pontos B e E na Figura 2.1). Por fim, o método 4 utiliza as mesmas condições do método 2 com a ressalva de que o valor associado a reanálise será em função da máscara de uso de solo. Para um ponto “em terra” apenas caixas de grade em que a superfície seja discriminada por superfície serão utilizadas na média, ou seja, no exemplo apresentado na Figura 2.1 apenas os valores dos pontos B e C seriam utilizados para o cálculo. O mesmo se aplica para as boias ao longo da costa.

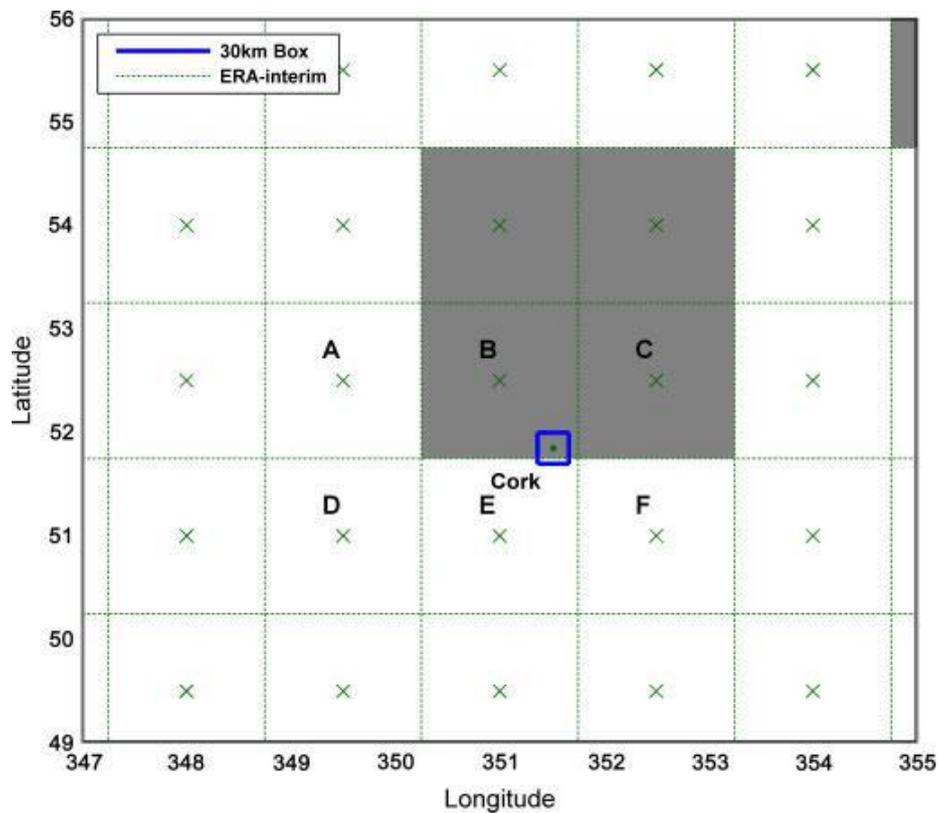


Figura 2.1 - Ilustração das caixas de grade usadas na atribuição de um valor de reanálise para comparação com o observado em uma determinada estação. O número de caixas de grade usadas depende do método de co-localização empregado. Um sistema de grade é mostrado com caixas de grade rotuladas A, B, C, D, E e F. O centro de cada caixa de grade é marcado com um x. Uma estação é representada por um ponto e é cercada por uma região imaginária que intercepta as caixas de grade B e E (MOONEY et al. 2011).

Para as estações irlandesas utilizadas, nenhum dos métodos propostos se mostrou obviamente superior a outro, e tal fato fica claro ao se comparar a média das correlações encontradas em cada método. Para a Reanálise 1 foram calculados os valores de

correlação de 0,986, 0,989, 0,988 e 0,991 para os métodos 1, 2, 3 e 4, respectivamente; para o ERA-40 0,991, 0,993, 0,991 e 0,993 e para o ERA-Interim 0,994, 0,996, 0,994 e 0,995. Dessa forma os autores decidiram apresentar os resultados usando apenas um dos métodos descritos, adotando o método 2 por utilizar uma menor quantidade de premissas.

Em seus resultados, MOONEY et al. (2011) ressaltam que as três reanálises utilizadas conseguem representar bem os dados de temperatura observados sobre a Irlanda e pelas boias fundeadas próximo à costa do país. Sazonalmente, a temperatura nos meses de verão é bem modelada pelas três reanálises, entretanto elas tendem a apresentar invernos mais quentes que o observado e nesta estação o ERA-Interim apresenta resultados ligeiramente melhores que as demais reanálises. Em relação aos dados *off-shore* as duas reanálises utilizadas tendem a modelar um inverno mais frio que o observado contrastando assim com o resultado encontrado para as estações em terra. Os autores apresentam como uma possível explicação para esse contraste, as diferenças entre o tratamento de superfícies terrestres e marítimas nos conjuntos de dados de reanálise.

Com o objetivo de avaliar diferentes produtos de dados eólicos para a Baía de Biscaia, ALVAREZ et al., (2014) compararam dez anos de dados (2000-2009) coletados por quatro boias fundeadas próximo ao litoral norte da Espanha, com dados das reanálises *National Centers for Environmental Prediction reanalysis* (NCEP Reanálise II), ERA-Interim, Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications (MERRA) e CFSR e com séries de dados estimadas por satélites como o QuikSCAT e o Cross-Calibrated Multi-Platform (CCMP). Detalhes de cada uma dessas fontes de dados são apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1- Características dos diferentes produtos utilizados por ALVAREZ et al., (2014).

Produtos	Resolução Temporal (h)	Resolução Espacial	Disponibilidade
NCEP Reanálise 2	6	1.904x1.875°	1979 – Presente
ERA-Interim	6	0.75x0.75°	1979 – Presente
MERRA	1	1/2x2/3°	1979 – Presente
CFSR	6	0.5x0.5°	1979 – Presente
QuickSCAT	12	0.25x0.25°	1999 - 2009
CCMP	6	0.25x0.25°	1987 – Presente

Para que a comparação de diferentes fontes de dados fosse possível, algumas suposições foram feitas. Para sincronizar os dados coletados pelas diferentes fontes, os autores utilizaram apenas as medidas de 06 e 18 UTC, o vento medido pelas boias a 3 metros foi convertido para vento a 10m e o valor encontrado no ponto mais próximo a localização da boia foi utilizado para comparação. Os resultados são apresentados em forma de diagrama de Taylor (Figura 2.2), permitindo que três diferentes medidas de incerteza (RMSE, correlação e desvio padrão) sejam consideradas simultaneamente. O Diagrama de Taylor torna fácil identificar o produto com melhor performance já que ele estará próximo ao ponto de referência (ponto relativo a boia).

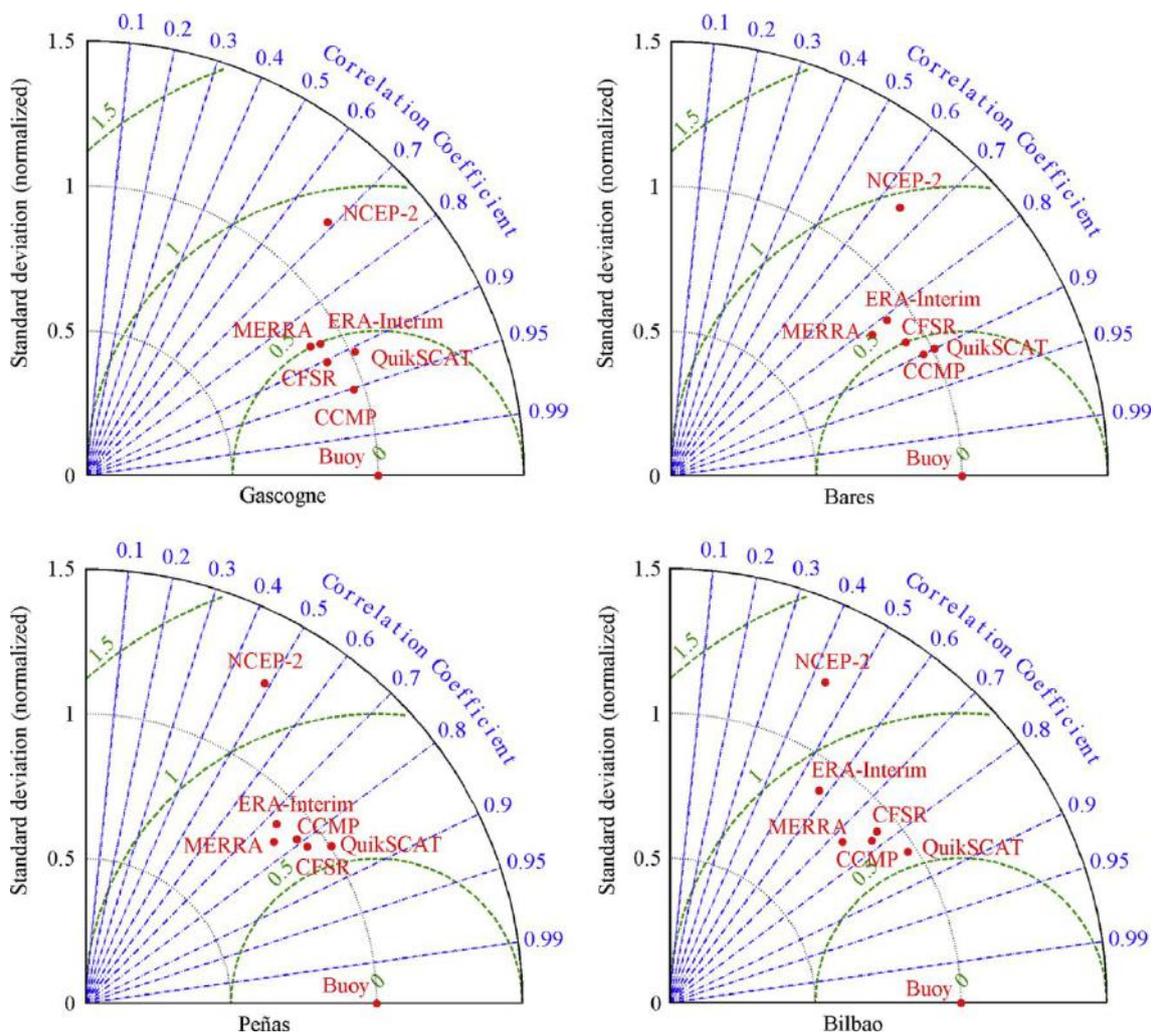


Figura 2.2 - Diagramas de Taylor para a velocidade do vento para a comparação dos diferentes produtos eólicos descritos na Tabela 2.1 com dados das quatro boias. Os contornos verdes indicam os valores RMSE e os contornos pretos indicam o desvio padrão (eixo y). (Fonte: ALVAREZ et al., (2014)).

Ao analisar os diagramas de Taylor apresentados, os autores concluem que o produto menos confiável é a Reanálise 2, com os menores valores de correlação e os maiores valores de RMSE para as quatro boias. No outro extremo, os produtos com melhor desempenho são o CFSR e as séries de dados originárias de sensoriamento remoto (QuickSCAT e CCMP), por isso uma análise mais detalhada foi realizada comparando esses três produtos. Em relação a magnitude do vento, o RMSE médio foi similar para os três conjuntos de dados, entretanto o menor valor foi encontrado para CCMP (1,67 m/s) e o menor BIAS para foi encontrado para o QuickSCAT (1,50 m/s). Em relação a direção

do vento o CFSR apresentou o menor BIAS ( $\sim 3,6^\circ$ ) e o CCMP apresentou o menor RMSE ( $\sim 37^\circ$ ).

A fim de fazer uma descrição da meteorologia da Bacia de Campos, localizada ao norte da BS, adjacente ao Estado do Rio de Janeiro, DEREZYNSKI e MENEZES, (2015) utilizam dados observados de T2M, UR2M, PNMM e Direção e Magnitude do Vento a 10M coletados por uma plataforma de extração petrolífera (FPSOBR) e dados para o mesmo horário (12 UTC) das reanálises ERA-Interim e CFSR. Os ciclos anuais das variáveis, obtidos com as duas reanálises, são confrontados com os ciclos anuais gerados a partir dos dados observacionais coletados. Os resultados encontrados mostram que em relação a FPSOBR, o CFSR superestima a PNMM e a UR2M e subestima a T2M. O ERA-Interim apresenta comportamento similar, entretanto com valores mais próximos aos observados pela FPSOBR. Os ciclos anuais das variáveis são relativamente bem representados, exceto o ciclo anual da UR2M pelo CFSR, pois essa Reanálise não exibe a redução característica nos meses de outono/inverno.

Na Bacia de Sergipe-Alagoas (SEAL), os resultados apresentados em PETROBRAS (2017) para a estação Piranema, escolhida por apresentar as séries mais longas de dados (58 meses), indicam que o CFSR superestima levemente a PNMM em todos os meses do ano enquanto subestima (superestima) a T2M entre abril e junho (agosto e dezembro), descrevendo muito bem o ciclo anual dessas duas variáveis. Para a UR2M nota-se que o CFSR não é capaz de reproduzir a redução que ocorre entre junho e setembro e, portanto, apresenta erros na representação do ciclo anual dessa variável. A intensidade do vento (V10M) em Piranema é subestimada na maior parte do ano pelo CFSR, mas o ciclo anual é razoavelmente bem reproduzido.

LOPES (2018) avaliou a performance do CFSR para caracterizar o clima na Bacia do Espírito Santo e parte Norte da Bacia de Campos (AGES). Para isso o autor comparou dados horários de T2M, UR2M, PNMM e Direção e Magnitude do Vento a 10M coletados na plataforma FPSOBR, com dados horários do ponto de grade mais próximo a estação obtidos através do CFSR. A escolha da FPSOBR se deu devido a sua maior série de dados (nov/2004 a dez/2013) quando comparadas às demais séries disponíveis na região. Em seus resultados o autor destaca que a PNMM é a variável melhor representada pelo CFSR com uma correlação de 0,98 e uma leve superestimativa de 0,89 hPa, e ciclos diurno e sazonal são bem representados pela Reanálise. A T2M também é muito bem representada pelo CFSR com uma correlação um pouco menor que a da

PNMM (0,88) e uma leve subestimativa de  $0,95^{\circ}\text{C}$  por parte da Reanálise. O ciclo sazonal dessa variável é bem modelado e também apresenta uma leve subestimativa, entretanto, o ciclo diurno não é bem representado pelo CFSR que atribui baixos valores de amplitude diurna ( $0,23^{\circ}\text{C}$ ) quando comparado a amplitude encontrada a partir dos dados da FPSOBR ( $0,73^{\circ}\text{C}$ ). O autor descreve como uma possível causa dessa diferença a presença de estruturas metálicas na plataforma, que promovem um aquecimento diferenciado ao longo do dia.

Ainda em LOPES (2018), a UR2M e V10M não apresentam resultados tão bons quanto os da PNMM e T2M, tendo ambas correlação de 0,74 e sendo ambas subestimadas significativamente pela Reanálise. Assim como ocorreu com a T2M o CFSR não conseguiu representar a amplitude do ciclo diurno da UR2M, sendo a amplitude associada a Reanálise (1,36%) bem menor do que a calculada a partir dos dados observados, 3,26%. O ciclo anual, entretanto, é bem representado apesar da subestimativa considerável. Por fim, o CFSR representa razoavelmente bem a variabilidade sazonal da V10M. Apesar da subestimativa de cerca de 1 m/s, a tendência dos dados é bem representada tal como a amplitude do ciclo anual (aproximadamente 2 m/s), assim como os períodos de ocorrência dos valores de máximo e mínimo. O ciclo diurno por sua vez também é bem representado pela Reanálise, apesar da subestimativa de 0,8 m/s.

## **2.2 Climatologia global das variáveis estudadas**

Climatologias das variáveis em estudo não foram encontradas para a região específica da BS, dessa forma fez-se necessário revisitar estudos climatológicos globais principalmente para as variáveis temperatura e umidade relativa, onde quase não foram encontrados trabalhos que comparassem essas variáveis a outras fontes de dados. Variáveis de pressão são descritas por diversos autores como muito bem modeladas por reanálises e para a variável vento existem diversos trabalhos, conforme mostrado no item anterior, que avaliam a habilidade de vários conjuntos de dados em representá-la. Dessa forma essa seção será dedicada a climatologias globais de temperatura e umidade relativa, para que posteriormente os resultados aqui revisitados sejam comparados com os encontrados neste trabalho.

LEGATES e WILLMOTT (1990) elaboraram uma climatologia global da temperatura do ar a partir de observações de estações a superfície e medidas coletadas por navios em rota. Os dados foram obtidos a partir de dez diferentes fontes de dados e

passaram por tratamento para remoção de dados espúrios e registros redundantes tendo como conjunto de dados combinado, sendo 17986 estações em terra e 6955 pontos sobre oceanos. Esses dados foram Ponderados para uma resolução de 0,5° de latitude por 0,5° de longitude utilizando um algoritmo de interpolação de base esférica. Os dados sobre a superfície oceânica foram provenientes do *Comprehensive Ocean-Atmospheric Data Set* (COADS) para o período de 1950 a 1979. Em seus resultados os autores frisaram a influência das correntes quentes e frias na temperatura do ar adjacente e citam a corrente do Brasil como exemplo de aumento da temperatura do ar devido a interação oceano-atmosfera. Para a região da BS os autores encontraram temperaturas entre 25 e 27,5°C.

DAI (2006) utilizou observações a cada 3 horas de mais de 15000 estações meteorológicas em superfície (fornecidos pelo NCAR DS464) e dados de navios e boias sobre os oceanos (fornecidos pelo ICOADS - International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set) no período de 1975 a 2005 para analisar a variação da umidade relativa em todo o globo terrestre. Em seus resultados, DAI (2006) descreve que a UR é relativamente invariante sobre os oceanos e sugere que o ar da superfície marinha tende a atingir um certo nível de saturação em relação ao vapor de água, com valores variando entre 75% e 85%. Para a região da BS, o autor encontrou valores de umidade relativa do ar que variam de 82% nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro a 70% nos meses de junho, julho e agosto. Peixoto e Oort (1996) encontraram valores similares de umidade aos de DAI (2006) para a região de estudo.

### **2.3 Climatologia de Sistemas Frontais para a América do Sul**

Historicamente, a climatologia de sistemas frontais pela América do Sul (AS) tem sido feita a partir de métodos subjetivos, como por exemplo, OLIVEIRA (1986), e objetivos, como CAVALCANTI e KOUSKY (2009) e ANDRADE (2005). Em tais climatologias são considerados diferentes períodos temporais e diferentes metodologias para detecção de SFs.

OLIVEIRA (1986) dividiu o continente sul americano em quatro bandas latitudinais, sendo a banda A entre as latitudes de 40 e 35°S, a Banda B entre 35 e 25°S, a Banda C entre 25 e 20°S e a Banda D ao norte de 20°S até o equador no período de 1975 a 1984. A BS localizada entre 28 e 23°S se encontra entre as Bandas B e C. A Tabela 2.2 sintetiza os resultados encontrados por OLIVEIRA (1986).

Tabela 2.2 - Climatologia de SFs que passaram pelas bandas latitudinais 40 e 35°S, 35 e 25°S, 25 e 20°S e norte de 20°S (média mensal para o período de 1975 a 1984) (Fonte: Oliveira, 1986).

Meses	Número de SFs			
	40°S – 35°S	35°S – 25°S	25°S – 20°S	Norte de 20°S
<b>Janeiro</b>	8,6	6,1	3,8	2,0
<b>Fevereiro</b>	7,8	5,6	2,5	1,3
<b>Março</b>	7,4	5,7	3,1	1,3
<b>Abril</b>	7,9	5,1	3,3	2,5
<b>Mai</b>	10,3	6,8	3,8	2,2
<b>Junho</b>	9,8	6,5	4,4	2,8
<b>Julho</b>	11,9	7,7	4,1	2,5
<b>Agosto</b>	9,9	6,8	4,2	2,1
<b>Setembro</b>	8,0	5,7	4,4	2,5
<b>Outubro</b>	9,6	7,4	5,4	3,1
<b>Novembro</b>	8,7	6,7	4,3	3,4
<b>Dezembro</b>	9,8	6,5	4,0	2,3

CAVALCANTI e KOUSKY (2009) utilizaram como critério objetivo para detecção de SFs: redução na temperatura do ar em 925 hPa em pelo menos 2°C, aumento na PNMM em pelo menos 2 hPa e a existência de ventos de quadrante sul com pelo menos 2 m/s de intensidade em um intervalo de 24 horas. Como fonte de dados foi utilizada a Reanálise do NCEP/NCAR CDAS com uma resolução de 2,5° x 2,5° para o período de 1979 a 2005. A Figura 2.3 apresenta a média anual de SFs encontrada pelos autores. Para a região da BS, de acordo com esse trabalho, percebe-se que o número de frentes varia entre 40 e 30 por ano.

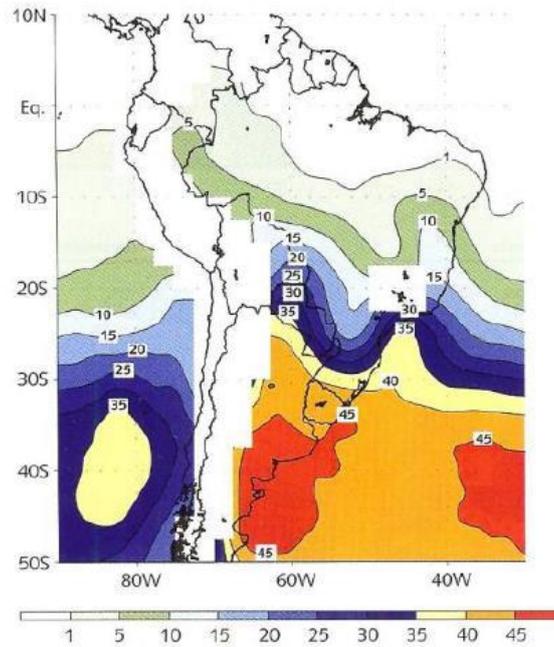


Figura 2.3 - Média anual de passagens de SFs para o período de 1979 a 2005. As áreas em branco representam locais em que a pressão a superfície é menor que a 925hPa Fonte: Tempo e Clima no Brasil (2009).

ANDRADE (2005) utilizou como fonte de dados a Reanálise do NCEP/NCAR com resolução de  $2,5^\circ \times 2,5^\circ$  para contabilizar o número de SFs sobre o Brasil. Foram então determinadas 11 regiões contendo 5 pontos de grade cada e foi utilizado como critério para a detecção de SFs em cada região determinada a queda na temperatura em 925 hPa, o aumento na PNMM e a mudança de direção no vento meridional em 925 hPa para valores positivos (vento de quadrante sul) num intervalo de 1 dia. A região 6 é a que geograficamente mais se aproximada da BS e para ela, os valores médios mensais de passagem de SFs encontrados de janeiro a dezembro, respectivamente, são de: 4, 3, 5, 5, 5, 5, 5, 4, 5, 6, 5 e 5. Ou seja, a frequência varia de 4 SF em janeiro, 5 de março a julho e 6 SFs em outubro.

### **3 Dados e Metodologia**

Neste capítulo apresentam-se os dados e as metodologias utilizados neste trabalho para: i) avaliação das séries de dados; ii) contabilização dos sistemas frontais e de Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e iii) elaboração de campos climatológicos do entorno da Bacia de Santos.

#### **3.1 Dados**

##### **3.1.1 Dados Observacionais**

O Programa Nacional de Boias (PNBOIA - <http://www.goosbrasil.org/pnboia/dados/>) tem como objetivo geral disponibilizar, em tempo quase real, dados meteorológicos e oceanográficos coletados nas áreas oceânicas de interesse do Brasil. Diversas boias fundeadas e de deriva na costa brasileira integram o PNBOIA. Na região da BS, estão localizadas 4 boias fundeadas de coleta de dados: Itajaí, Santos e Cabo Frio e Cabo Frio 2 (Figura 3.1). Cada boia possui uma série de dados horários com extensão temporal e histórico de funcionamento diferente, como pode ser observado na Tabela 3.1. A boia de Cabo Frio foi deslocada de sua posição original em julho de 2016, portanto neste trabalho a série de dados coletada após essa data é denominada de Cabo Frio 2.

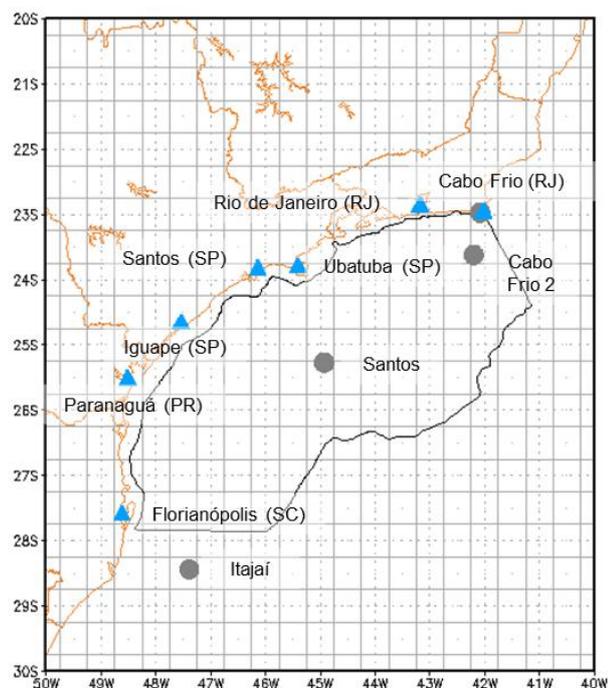


Figura 3.1 - Mapa da Bacia de Santos. As localizações das 4 Boias do PNBOIA utilizadas neste trabalho estão identificadas pelos círculos cinzas e a localização das 7 estações utilizadas para a contagem da passagem de sistemas frontais na BS estão identificadas pelo triângulo azul.

Tabela 3.1 – Localização (latitude e longitude) e período de observação das boias do PNBOIA na Região da Bacia de Santos.

<b>Boia</b>	<b>Latitude °S</b>	<b>Longitude °O</b>	<b>Período de Observação</b>
Itajaí	28,45	47,39	22/04/2009 à 12/10/2009; 17/02/2011 à 27/10/2012; 01/02/2013 à 07/10/2013; 06/11/2014 à 09/12/2015; 10/04/2016 à 15/07/2017.
Santos	25,28	44,98	12/04/2011 à 15/07/2017
Cabo Frio	22,98	42,08	24/06/2009 à 18/07/2009; 14/10/2009 à 14/04/2010; 06/03/2012 à 26/02/2013; 30/04/2013 à 19/09/2013.
Cabo Frio 2	23,63	42,20	20/07/2016 à 15/07/2017

As variáveis coletadas pelas boias e disponibilizadas horariamente são: PNMM, T2M, Temperatura do ponto de orvalho, Radiação solar, UR2M, V10M, DIR10M, Rajada do vento a 10 metros de altura, Correntes oceânicas, Temperatura da superfície do mar e parâmetros direcionais e não direcionais de ondas. Para este trabalho só foram utilizadas as variáveis PNMM, T2M, UR2M, V10M e DIR10M. É importante ressaltar que os dados utilizados foram previamente tratados pela Marinha do Brasil, através de um algoritmo de tratamento de dados. Além disso, para este trabalho foram excluídos dados visivelmente espúrios, estabelecendo-se limiares com base no desvio padrão da observação para cada variável em cada estação (ver Tabela 3.2).

Tabela 3.2 - Limiares estabelecidos para identificação de dados espúrios por estação e por variável.

Estação	Limiares			
	PNMM (hPa)	T2M (°C)	UR2M (%)	V10M (m/s)
<b>Itajaí</b>	$970 \leq \text{PNMM} \leq 1040$	$7 \leq \text{T2M} \leq 35$	$30 \leq \text{UR2M} \leq 100$	$0 \leq \text{V10M} \leq 30$
<b>Santos</b>	$970 \leq \text{PNMM} \leq 1040$	$10 \leq \text{T2M} \leq 35$	$40 \leq \text{UR2M} \leq 100$	$0 \leq \text{V10M} \leq 25$
<b>Cabo Frio</b>	$970 \leq \text{PNMM} \leq 1040$	$10 \leq \text{T2M} \leq 35$	$50 \leq \text{UR2M} \leq 100$	$0 \leq \text{V10M} \leq 20$
<b>Cabo Frio 2</b>	$970 \leq \text{PNMM} \leq 1040$	$10 \leq \text{T2M} \leq 35$	$50 \leq \text{UR2M} \leq 100$	$0 \leq \text{V10M} \leq 20$

O tratamento elaborado pela Marinha do Brasil já fornece dados de intensidade do vento convertidos para 10 metros de altura e o sensor de temperatura do ar e de umidade relativa se encontram a aproximadamente 3,3 metros de altura, como pode ser visto no desenho esquemático da Boia de Santos (Figura 3.2). Dessa forma, os dados de vento à 10 metros de altura e de temperatura e umidade relativa do ar a 2 metros de altura provenientes da Reanálise do CFSR (ver Dados Gerados por Modelagem Numérica 3.1.2), serão confrontados diretamente com os dados observacionais do PNBOIA, sem qualquer ajuste para altura.

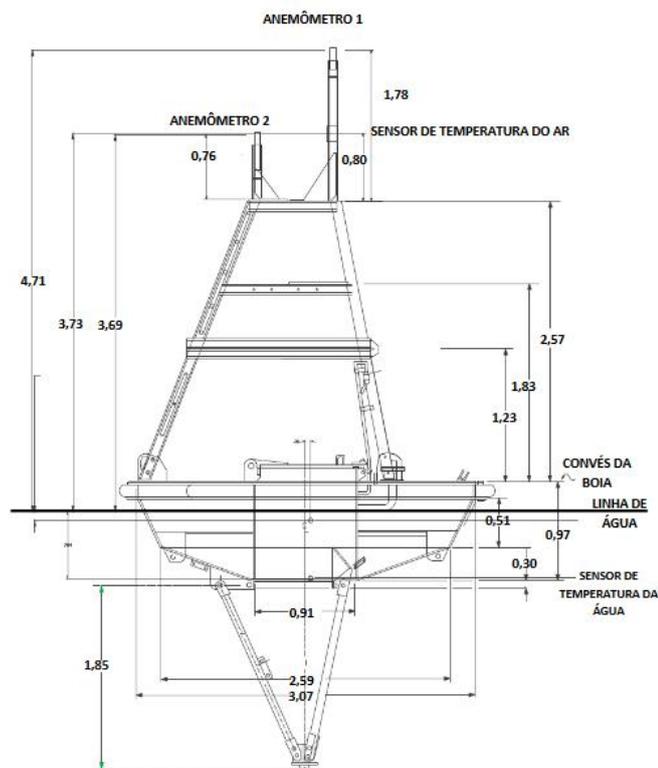


Figura 3.2 - Especificações da Boia de Santos. Destaque para a altura do sensor de temperatura do ar Fonte: PNBOIA

### 3.1.2 Dados Gerados por Modelagem Numérica

Por utilizar um sistema acoplado atmosfera-terra-oceano em suas duas versões, aqui chamadas de CFSv1 (SAHA et al., 2010) e CFSv2 (SAHA et al., 2014), o CFSR é considerado superior quando comparado a outras reanálises, sendo esse um dos motivos de sua escolha para este trabalho. O modelo atmosférico utilizado é o *Global Forecast System* (GFS) com resolução horizontal de 38 km para versão 1 e 24 km para a versão 2 além de 64 níveis verticais. A componente terrestre é o *Noah Land Surface Model* com 4 níveis verticais (EK et al., 2003) e o modelo oceânico acoplado é o *Geophysical Fluid Dynamics Laboratory Modular Ocean Model version 4* (GRIFFIES et al., 2000). A análise atmosférica é gerada a cada 6 horas, utilizando a técnica de *Gridpoint Statistical Interpolation* como utilizado na *Reanálise Modern ERA Restrospective analysis for Reserach and Applications* (MERRA) da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Apesar de separada da assimilação atmosférica, a assimilação oceânica ocorre no mesmo intervalo de tempo, ou seja, a cada 6 horas. A assimilação terrestre, por sua vez, ocorre a cada 24 horas e usa precipitação observada do *Climate Prediction Center*.

Os dados de V10M, T2M, UR2M, aquecimento turbulento e fluxo radiativo são previstos pelo modelo, e não gerados na análise.

A CFSv1 possui dados horários de jan/1979 à dez/2010 com resolução de  $0,5^\circ$  para PNMM e UR2M e  $0,312^\circ$  para T2M, V10M e DIR10M, enquanto que a CFSv2 possui dados horários de jan/2011 até o presente com resolução de  $0,5^\circ$  para PNMM e UR2M e  $0,204^\circ$  para T2M, V10M e DIR10M.

Como as séries temporais das boias começam majoritariamente no ano de 2009 fez-se necessário a utilização das duas versões disponíveis do CFSR, utilizando a maior resolução possível das variáveis para a comparação com os dados observados. Para a elaboração dos campos climatológicos foi utilizada a resolução de  $0,5^\circ$  para todas as variáveis.

As saídas do CFSv1 disponíveis possuem resolução horizontal de  $0,3$ ,  $0,5$ ,  $1,0$ ,  $1,9$  e  $2,5^\circ$  enquanto o CFSv2 possui resolução de  $0,2$ ,  $0,5$ ,  $1,0$ , e  $2,5^\circ$ . Ambos possuem 4 análises por dia (00, 06, 12 e 18 UTC) com previsões para +1 até +6 horas. Neste estudo foram utilizadas as análises de 0, 6, 12 e 18 UTC e as previsões de 1 a 5 horas entre esses horários formando um conjunto de dados horários.

Nos pontos de grade do CFSR mais próximos de cada boia e os outros oito pontos ao redor são extraídas as séries temporais horárias das variáveis PNMM, T2M, UR2M, V10M e DIR10M para o período total de coleta de cada boia.

## **3.2 Metodologia**

### **3.2.1 Avaliação das Séries de Dados**

Os dados extraídos de nove pontos de grade do CFSR, ou seja o ponto central mais próximo a localização da boia e os outros 8 pontos ao redor, são confrontados com os dados coletados nas boias presentes na área da BS. Para tal, duas metodologias de comparação são utilizadas: i) a primeira confronta apenas o ponto de grade mais próximo à localização da boia com os dados registrados pela mesma, que será referenciado ao longo do texto como CFSR0; ii) a segunda metodologia usa um método de interpolação de dados em que os nove pontos ao redor da boia são utilizados para o cálculo da média ponderada, levando em consideração a distância ao quadrado, na determinação dos pesos de cada ponto (aqui denominado CFSRPond) conforme mostrado na Figura 3.3.

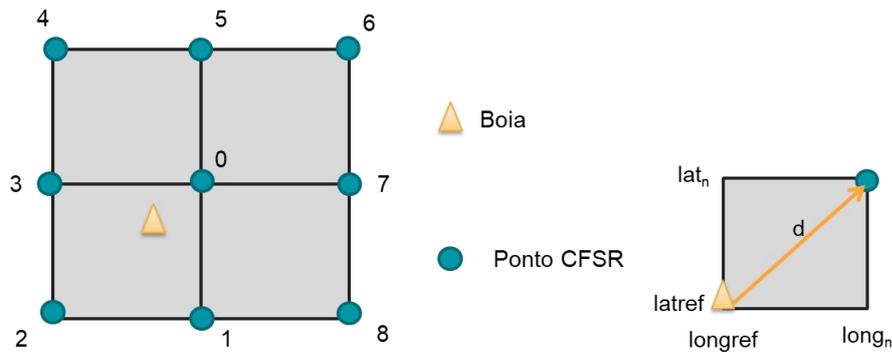


Figura 3.3 - Esquemática dos pontos de grade do CFSR utilizados para os cálculos e o posicionamento da boia.

O peso atribuído a cada ponto do CFSR em relação a cada boia é calculado pela Equação 1 e a Média ponderada de cada variável é dada pela Equação 2.

$$Peso_n = \frac{1}{d_n^2} = \frac{1}{(lat_{ref} - lat_n)^2 + (lon_{ref} - lon_n)^2} \text{ (Equação 1)}$$

$$V_{pond} = \frac{\sum_{n=0}^8 (V_n * Peso_n)}{\sum_{n=0}^8 (V_n)} \text{ (Equação 2)}$$

Onde:

n= número do ponto de grade do CFSR, variando de 0 a 8 conforme ilustrado na Figura 3.3

Peso<sub>n</sub>=peso atribuído do ponto n a partir da sua distância até a boia

lat<sub>ref</sub>= latitude média da boia

lon<sub>ref</sub>=longitude média da boia

lat<sub>n</sub>=latitude do ponto n do CFSR

lon<sub>n</sub>=longitude do ponto n do CFSR

V<sub>n</sub>=variável em análise no ponto n, exemplo: PNMM, UR2M, etc.

d<sub>n</sub>= distância entre a boia e o ponto n do CFSR

No PYTHON, para ambos os métodos de comparação, foram calculadas métricas estatísticas (WILKS, 1995) de Média aritmética (M), Erro Médio (BIAS), Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE), Correlação (CORR) e Desvio Padrão (DP), cujas fórmulas são dadas por:

$$M = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (x_i) \text{ (Equação 3)}$$

$$BIAS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m (CFSR - Boia) \text{ (Equação 4)}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m BIAS^2} \text{ (Equação 5)}$$

$$CORR = \frac{\sum_{i=1}^m (Boia_i - \overline{Boia}) \times (CFSR_i - \overline{CFSR})}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (Boia_i - \overline{Boia})^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^m (CFSR_i - \overline{CFSR})^2}} \text{ (Equação 6)}$$

$$DP = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2 \text{ (Equação 7)}$$

Onde:

$x_i$  = medida (CFSR ou Boia)

$\bar{x}$  = média (CFSR ou Boia)

CFSR = Dado extraído do ponto 0 do CFSR ou média ponderada dos 9 pontos do CFSR

Boia = Dado Observado

m = numero de observações presentes na série de dados

A média aritmética (M) é uma medida estatística de tendência amplamente utilizada para dar uma ideia central sobre a série de dados.

O BIAS é simplesmente a média das diferenças entre o previsto (CFSR) e o observado (boia) e indica apenas se a variável em estudo está sendo subestimada ou superestimada pois não fornece nenhum tipo de informação sobre a magnitude do erro, para isso utiliza-se a RMSE.

Como a RMSE é calculada elevando o valor do erro ao quadrado, ela se torna mais sensível aos maiores erros e a dados espúrios, tendo como resultados necessariamente valores positivos, logo a RMSE aumenta a partir do zero (para previsões perfeitas) até grandes valores positivos quando a diferença entre a previsão e a observação é muito grande.

A CORR por sua vez, é uma medida de valor único que mostra o quanto a Reanálise consegue representar a tendência dos dados observados, seu valor pode variar entre -1 e 1 sendo que se CORR=-1 tem-se uma perfeita associação negativa entre as séries comparadas, ou seja, os dados são inversamente proporcionais. Similarmente, se CORR=1 tem-se uma perfeita associação positiva entre as séries de dados.

Por fim, o Desvio Padrão (DP) é uma medida que fornece uma ideia da dispersão da série de dados. Altos valores de desvio padrão indicam que os valores presentes na série de dados tendem a estar mais distantes da média, ou seja, tem-se uma série mais espalhada, enquanto que o oposto é válido para pequenos valores de DP.

Para todos os cálculos presentes neste trabalho foram utilizados o programa EXCEL e a linguagem de programação PYTHON. Para a composição de figuras foram

utilizados tanto o PYTHON como o ‘Grid Analysis and Display System’ (GrADS). Para a confecção das rosas dos ventos foi utilizada a rotina do PYTHON chamada ‘windrose’, disponível em <https://pypi.org/project/windrose/>.

### 3.2.2 Contagem de Sistemas Frontais e eventos de ZCAS

A contagem de sistemas frontais foi feita manualmente a partir das figuras mensais de passagem de frentes frias no litoral brasileiro, exemplificada na Figura 3.4, fornecida mensalmente pela Revista Climanálise no período de 1996 a 2013.

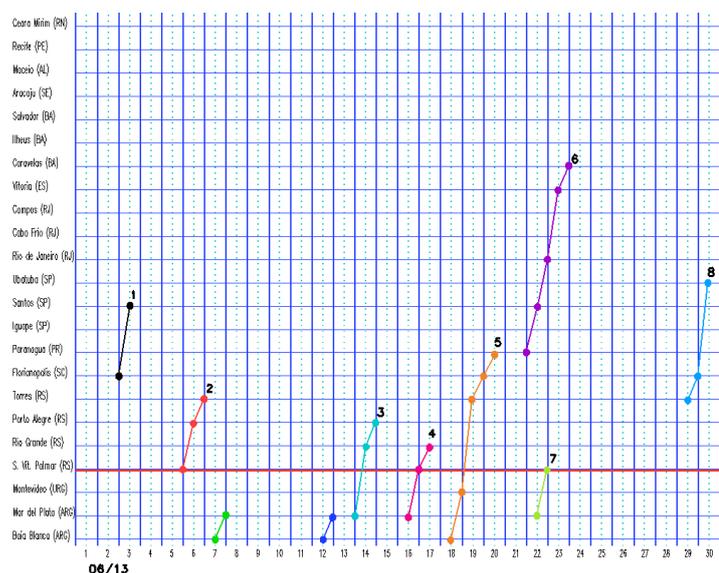


Figura 3.4 - Seções estação versus tempo dos sistemas frontais que passaram pela costa brasileira em Junho/2013. Fonte: Revista Climanálise

Para este trabalho foram selecionadas apenas as estações de interesse, ou seja, aquelas que se encontram ao longo da extensão da BS (conforme ilustrado na Figura 3.1), sendo elas: Florianópolis, Paranaguá, Iguape, Santos, Ubatuba, Rio de Janeiro e Cabo Frio. Para a elaboração dos gráficos e tabelas foi utilizado o programa EXCEL.

Assim como para os sistemas frontais, os eventos de ZCAS foram listados a partir dos relatos da Revista Climanálise para o período chuvoso (outubro a abril) do mesmo período, de 1996 a 2013. Seu posicionamento foi confirmado subjetivamente a partir de imagens de temperatura de brilho de satélites da série *Geostationary Operational Environmental Satellite* (GOES) do *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) e cartas sinóticas elaboradas pela Marinha do Brasil.

### **3.2.3 Elaboração de campos climatológicos para a Bacia de Santos**

A partir dos dados da versão 1 do CFSR, utilizando rotinas shell no programa GRADs, foram elaborados campos climatológicos para as variáveis PNMM, T2M, UR2M, V10M e DIR10M no período de 1981-2010 (30 anos).

A resolução foi a mesma para todas as variáveis, 0,5°, e para as variáveis que não possuem análise (T2M e o vento a 10 metros) foi utilizada a previsão de +1 a +6 horas. Foi elaborado um campo climatológico total para os trinta anos e também campos sazonais, onde são considerados como verão a média dos meses de: dezembro, janeiro e fevereiro; outono: março, abril e maio; inverno: junho, julho e agosto; e primavera: setembro, outubro e novembro.

## 4 Avaliação do CFSR

Neste capítulo são apresentados os resultados da comparação da Reanálise CFSR, com os dados do PNBOIA considerando o comportamento das variáveis: i) PNMM; ii) T2M; iii) UR2M e iv) V10M e DIR10M.

Uma primeira avaliação dos dados é feita de forma subjetiva, visualmente, comparando os dados extraídos da reanálise com os dados observados nas boias, conforme proposto por ANSCOMBE (1973), que mostra em seu trabalho a importância da apresentação dos gráficos das séries de dados utilizadas no lugar de apenas os seus resultados estatísticos. Dessa forma, as quatro figuras a seguir exibem as séries horárias utilizadas para cada boia após a exclusão dos dados espúrios detectados pela utilização dos limiares descritos na Metodologia (ver Figura 4.1, Figura 4.2, Figura 4.3 e Figura 4.4).

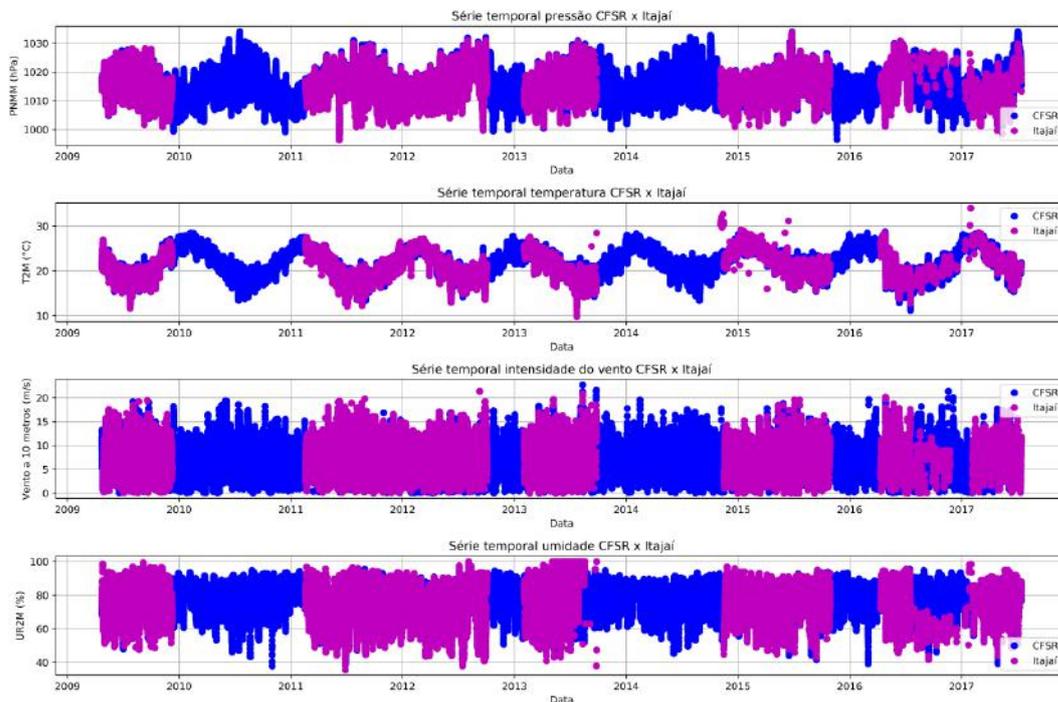


Figura 4.1 – Séries horárias da boia de Itajaí (lilás) e do CFSR0 (azul) cujo período vai de 23/04/2009 até 15/07/2017 para as variáveis: (a) PNMM (hPa), (b) T2M (°C), (c) V10M (m/s) e (d) UR10M (%).

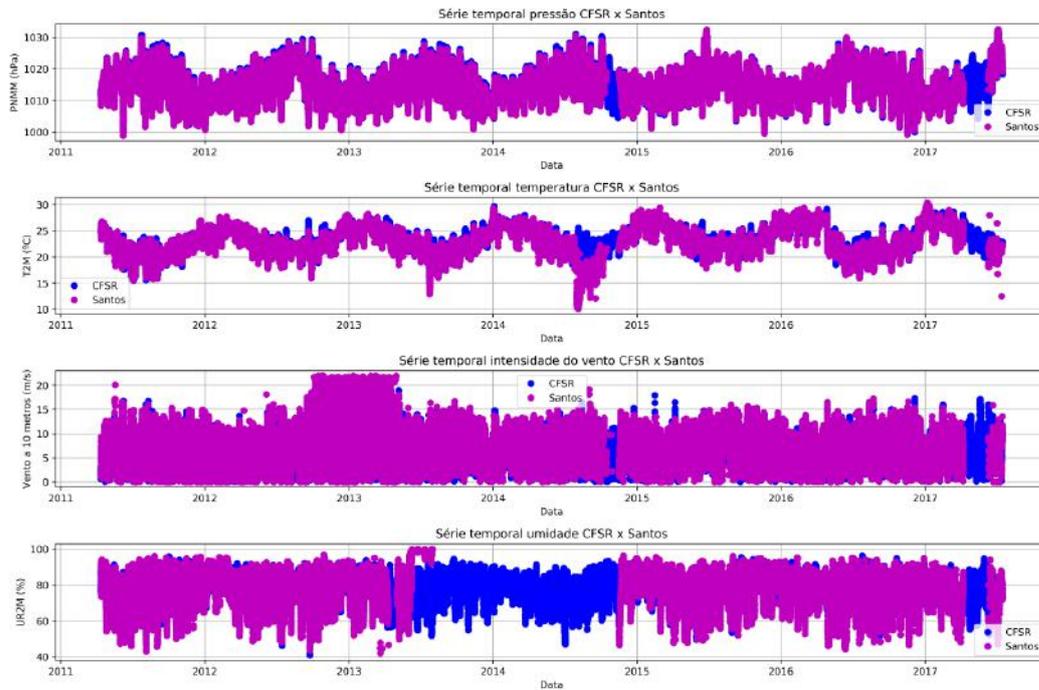


Figura 4.2 - Séries horárias da boia de Santos (lilás) e do CFSR0 (azul) cujo período vai de 12/04/2011 até 15/07/2017 para as variáveis: (a) PNMM (hPa), (b) T2M (°C), (c) V10M (m/s) e (d) UR10M (%).

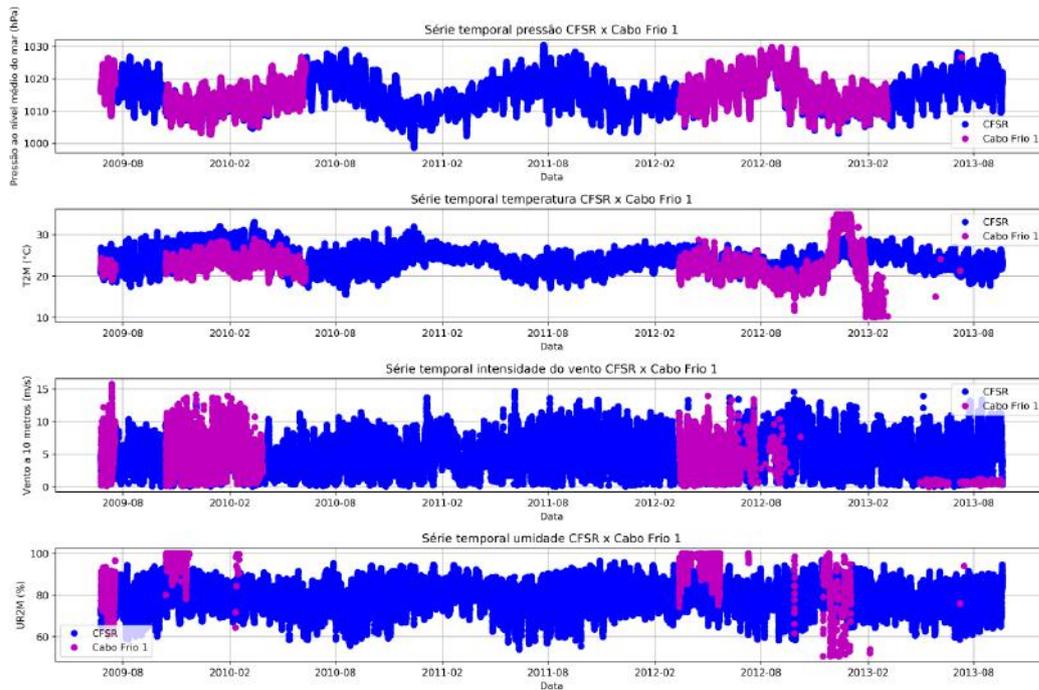


Figura 4.3 – Séries horárias da boia de Cabo Frio (lilás) e do CFSR0 (azul) cujo período vai de 24/06/2009 até 19/09/2013 para as variáveis: (a) PNMM (hPa), (b) T2M (°C), (c) V10M (m/s) e (d) UR10M (%).

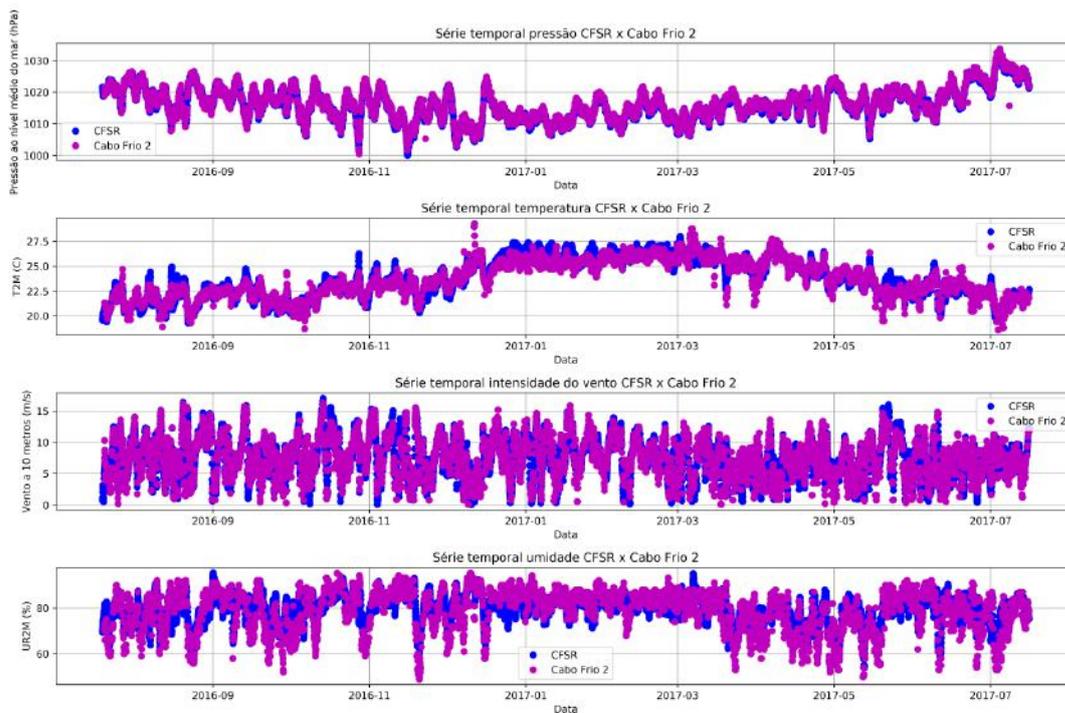


Figura 4.4 - Séries horárias da boia de Cabo Frio 2 (lilás) e do CFSR0 (azul) cujo período vai de 20/07/2016 até 15/07/2017 para as variáveis: (a) PNMM (hPa), (b) T2M (°C), (c) V10M (m/s) e (d) UR10M (%).

Através da avaliação subjetiva nota-se que mesmo após o tratamento de dados elaborado na Marinha do Brasil e após a exclusão dos dados espúrios que estão fora dos limites estabelecidos na Tabela 3.2, ainda existem dados que estão visivelmente errados, que ocorrem principalmente nas séries de T2M. Além disso, os períodos com falhas nos dados observacionais ficam mais evidentes. Nota-se que as séries mais completas são as das boias de Itajaí e Santos e que a boia de Cabo Frio, muito importante para representação da parte norte da BS, possui grades períodos de falta de dados. A boia de Cabo Frio 2, que possui uma curta série temporal também apresenta falhas em horários recorrentes, por exemplo as 14 h UTC. Ressalta-se que apesar do objetivo deste capítulo ser a avaliação dos dados da Reanálise, em várias ocasiões a lógica se inverte, sendo a Reanálise utilizada para indicar prováveis erros nos dados observacionais.

#### 4.1 Pressão Atmosférica ao Nível Médio do Mar – PNMM

Os gráficos de dispersão dos dados de PNMM simulados pelo CFSR0 e os calculados pelo CFSRPond versus o observado nas boias do PNBOIA são apresentados na Figura 4.5. Nessa figura, cada quadrante exibe os dados de uma boia com dois gráficos

de dispersão, sendo o da esquerda elaborado a partir da série temporal do CFSR0 e o da direita, a partir da série temporal CFSRPond. Tal padrão se repetirá ao longo de todo o texto.

A Tabela 4.1 apresenta as métricas estatísticas calculadas para a PNMM Observada, para CFSR0 e CFSRPond. De maneira geral, é possível notar uma elevada correlação entre as séries de dados, onde o menor valor encontrado, CORR=0,98 para a boia de Itajaí, configura um altíssimo valor de correlação. Tal fato também pode ser notado visualmente na Figura 4.5 onde a reta ajustada para cada boia é muito próxima à reta de correlação perfeita. O BIAS e a inclinação da reta ajustada mostram uma superestimativa para as boias de Itajaí e Santos e uma subestimativa para Cabo Frio e Cabo Frio 2. O valor de RMSE é baixo quando comparado ao valor do desvio padrão da observação em cada boia. Ademais nota-se que a diferença entre as métricas estatísticas calculadas a partir do CFSR0 e do CFSRPond são muito pequenas, sendo os resultados para o CFSRPond ligeiramente superiores ao CFSR0.

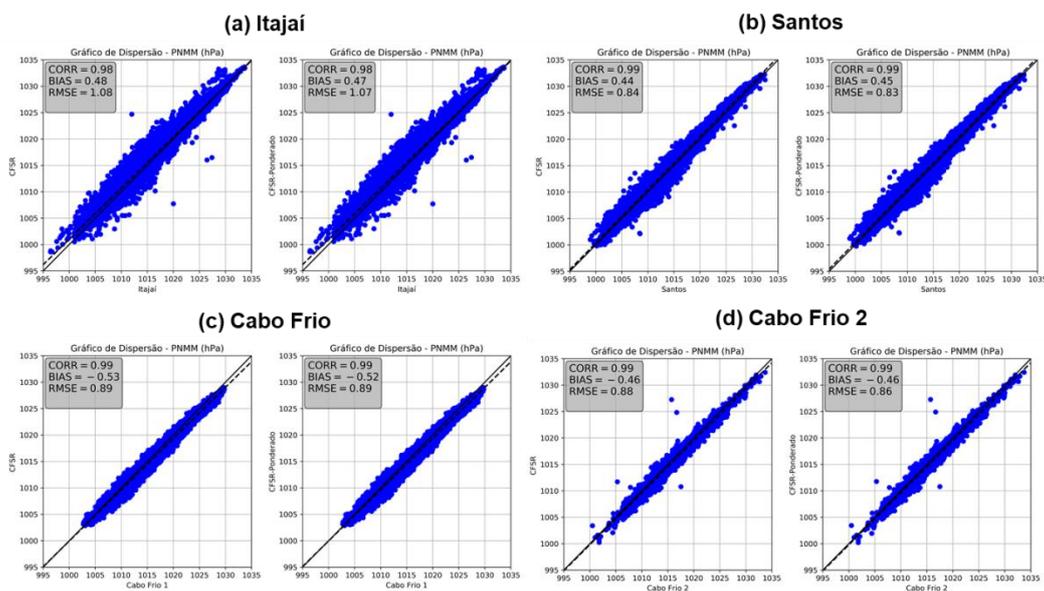


Figura 4.5 - Gráfico de dispersão e métricas estatísticas para os dados de PNMM (hPa) simulados pelo CFSR0 (esquerda) e CFSRPond (direita) versus observados nas boias de (a) Itajaí, (b) Santos, (c) Cabo Frio e (d) Cabo Frio 2. Para todas as figuras o eixo x representa os dados observados.

Tabela 4.1 - Métricas estatísticas calculadas a partir das séries temporais de PNMM (hPa) observado na boia, CFSR0 e CFSRPond.

Estação		Métricas estatísticas - PNMM				
		Média (hPa)	DP (hPa)	BIAS (hPa)	RMSE (hPa)	CORR
Itajaí	Observado	1016,29	5,26	-	-	-
	CFSR0	1015,97	5,36	0,48	1,08	0,98
	CFSRPond	1015,97	5,35	0,47	1,07	0,98
Santos	Observado	1014,96	4,81	-	-	-
	CFSR0	1015,49	4,91	0,44	0,84	0,99
	CFSRPond	1015,50	4,89	0,45	0,83	0,99
Cabo Frio	Observado	1015,45	4,84	-	-	-
	CFSR0	1015,59	4,85	-0,53	0,89	0,99
	CFSRPond	1015,60	4,85	-0,52	0,89	0,99
Cabo Frio 2	Observado	1016,37	4,98	-	-	-
	CFSR0	1016,14	4,99	-0,46	0,88	0,99
	CFSRPond	1016,14	4,99	-0,46	0,86	0,99

A comparação entre os gráficos de dispersão das séries de dados CFSR0 versus CFSRPond (Figura 4.6) também mostra a diferença ínfima entre as séries de dados, entretanto, tem-se que ressaltar que a diferença entre o custo computacional para a extração de tais séries não é desprezível. Para a boia de Itajaí com um período de dados entre 2009 e 2017, o script de extração levou aproximadamente 5 min para ser executado no caso do CFSR0 e 30 min no caso CFSRPond.

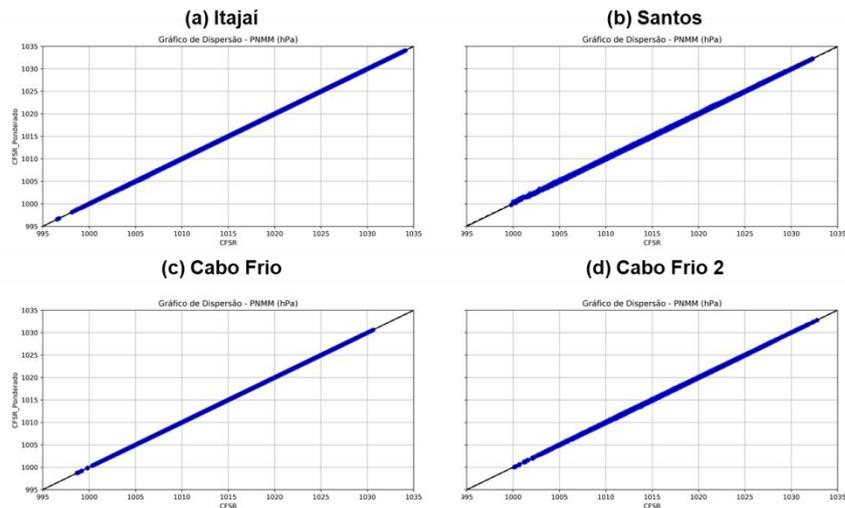


Figura 4.6 - Gráfico de dispersão das séries temporais de PNMM (hPa) obtidas a partir do CFSR0 (eixo x) e CFSRPond (eixo y).

A Figura 4.7 e a Figura 4.8, apresentam respectivamente o ciclo anual e o ciclo diurno da PNMM. Nota-se que em ambas as figuras as curvas de CFSR0 e CFSRPond estão na maior parte dos gráficos sobrepostas, portanto apenas a curva verde (CFSRPond) plotada por último aparece nas figuras. É necessário ressaltar que a série temporal de Cabo Frio 2 tem aproximadamente um ano de dados, logo os ciclos anual e diurno de todas as variáveis medidas nessa boia refletem apenas o período entre 20/07/2016 e 15/07/2017. A série temporal de Cabo Frio, por sua vez, apresenta um grande período de falhas conforme mostrado na Tabela 3.1 e na Figura 4.3, por isso em todas as variáveis seu ciclo anual não apresenta uma curva suave como em Itajaí e Santos.

No ciclo anual (Figura 4.7) observa-se uma leve superestimativa do CFSR nas boias de Itajaí e Santos e uma leve subestimativa em Cabo Frio e Cabo Frio 2, coerente com os valores de BIAS apresentados na Tabela 4.1. De maneira geral, para as quatro boias, é possível notar que o CFSR consegue representar bem a variabilidade anual da PNMM, onde os maiores valores ocorrem no inverno, mais precisamente no mês de Julho (7) e os menores valores ocorrem no verão, mais precisamente em dezembro (12) para as boias de Santos, Cabo Frio e Cabo Frio 2 e em fevereiro (2) para Itajaí. Na boia de Cabo Frio os dados observacionais apresentam um pico de PNMM em agosto que está aparentemente errado. Tal aspecto será investigado em trabalhos futuros.

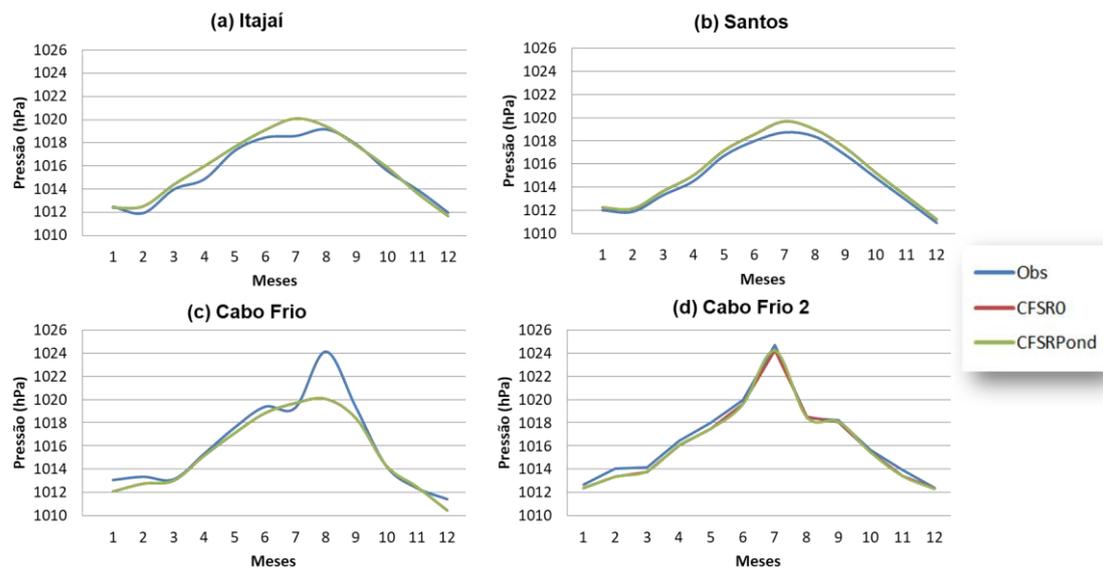


Figura 4.7 - Ciclo anual de PNMM (hPa) para os dados de (a) Itajaí, (b) Santos, (c) Cabo Frio e (d) Cabo Frio 2: Observação (linha azul), CFSR0 (linha vermelha) e para o CFSRPond (linha verde).

No ciclo diurno (Figura 4.8) observa-se que o CFSR consegue representar bem a variação diurna da pressão, com uma leve superestimativa nas boias de Santos e Cabo Frio e uma leve subestimativa em Itajaí. A série de Cabo Frio 2 apresenta ciclo diurno visivelmente errado, provavelmente devido à falhas nos dados em determinados horários. Para as boias Itajaí, Santos e Cabo Frio observa-se nas três curvas, o primeiro máximo de pressão do ciclo diurno entre 0 e 2 UTC, o primeiro mínimo entre 6 e 8 UTC, o segundo máximo entre 12 e 14 UTC e o segundo mínimo entre 18 e 22 UTC.

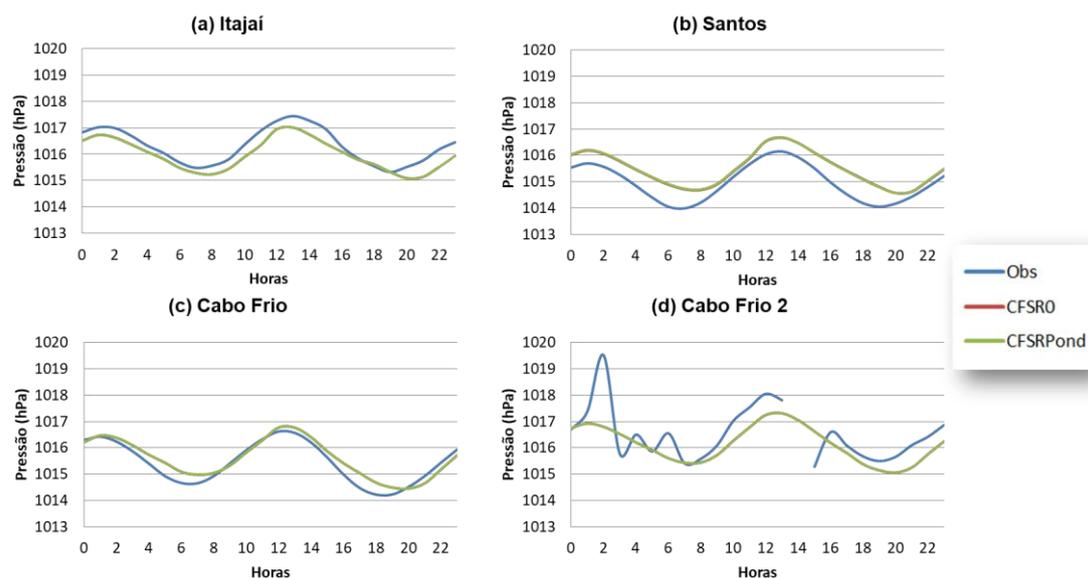


Figura 4.8 - Ciclo diurno (0 até 23 UTC) de PNMM (hPa) para os dados de (a) Itajaí, (b) Santos, (c) Cabo Frio e (d) Cabo Frio 2: Observação (linha azul), CFSR0 (linha vermelha) e CFSRPond (linha verde).

A Tabela 4.2 e a Tabela 4.3 apresentam respectivamente para Itajaí e Santos e para Cabo Frio e Cabo Frio 2, uma síntese dos valores climatológicos da PNMM (hPa) simulados pelo CFSR e observados nas boias, onde é possível observar em geral um ótimo desempenho da Reanálise. Nota-se que as amplitudes do ciclo diurno observado em Cabo Frio 2 e do ciclo anual observado em Cabo Frio são superiores as amplitudes simuladas pela Reanálise, o que necessita de maiores investigações em trabalhos futuros.

Tabela 4.2 - Valores máximos, mínimos e amplitude da PNMM (hPa) para o CFSR0, CFSRPond e as boias de Itajaí e Santos (OBS) para a série temporal, o ciclo anual e o ciclo diurno.

	PNMM (hPa)					
	Itajaí			Santos		
	OBS	CFSR0	CFSRPond	OBS	CFSR0	CFSRPond
<b>Máx/Mín série temporal</b>	1033,70/ 996,39	1034,09/ 996,56	1034,07/ 996,58	1032,50/ 998,93	1032,30/ 999,79	1032,32/ 999,76
<b>Amplitude série temporal</b>	37,31	37,53	37,49	33,57	32,51	32,56
<b>Máx/Mín Ciclo Anual</b>	1019,17/ 1011,95	1020,11/ 1011,68	1020,10/ 1011,68	1018,74/ 1010,92	1019,68/ 1011,21	1019,70/ 1011,23
<b>Amplitude Ciclo Anual</b>	7,22	8,43	8,42	7,82	8,47	8,47
<b>Máx/Mín Ciclo Diurno</b>	1017,45/ 1015,32	1017,01/ 1015,09	1017,01/ 1015,08	1016,15/ 1013,99	1016,67/ 1014,57	1016,68/ 1014,57
<b>Amplitude Ciclo Diurno</b>	2,13	1,92	1,93	2,16	2,10	2,11

Tabela 4.3 - Valores máximos, mínimos e amplitude da PNMM (hPa) para o CFSR0, CFSRPond e as boias de Cabo Frio e Cabo Frio 2 (OBS) para a série temporal, o ciclo anual e o ciclo diurno.

	PNMM (hPa)					
	Cabo Frio			Cabo Frio 2		
	OBS	CFSR0	CFSRPond	OBS	CFSR0	CFSRPond
<b>Máx/Mín série temporal</b>	1029,79/ 1002,71	1030,61/ 998,70	1030,61/ 998,70	1033,70/ 1000,50	1032,78/ 1000,12	1032,78/ 1000,01
<b>Amplitude série temporal</b>	27,08	31,91	31,91	33,20	32,66	32,77
<b>Máx/Mín Ciclo Anual</b>	1024,15/ 1011,40	1020,06/ 1010,42	1020,06/ 1010,43	1024,74/ 1012,38	1024,23/ 1012,29	1024,22/ 1012,29
<b>Amplitude Ciclo Anual</b>	12,75	9,64	9,63	12,36	11,94	11,93
<b>Máx/Mín Ciclo Diurno</b>	1016,62/ 1014,22	1016,77/ 1014,45	1016,78/ 1014,45	1019,51/ 1015,28	1017,31/ 1015,05	1017,30/ 1015,06
<b>Amplitude Ciclo Diurno</b>	2,40	2,32	2,33	4,23	2,26	2,25

#### 4.2 Temperatura do Ar a 2 m de altura - T2M

Na Figura 4.9 são apresentados os gráficos de dispersão dos dados de T2M simulados pelo CFSR e observados nas boias. Na Tabela 4.4 estão as métricas estatísticas calculadas. Nota-se uma elevada correlação entre as séries de dados para as boias de Itajaí, Santos e Cabo Frio 2 ( $CORR > 0,90$ ), e uma correlação mediana na boia de Cabo Frio ( $CORR = 0,52$  para o CFSRPond), provavelmente devido a série temporal curta, irregular e com dados suspeitos para essa variável especificamente. Visivelmente nota-se na Figura 4.9 que as retas ajustadas das estações Itajaí, Santos e Cabo Frio 2 são mais próximas à reta de correlação perfeita do que a reta ajustada a partir dos dados de Cabo Frio. Assim, apesar de inferior à CORR da PNMM, a T2M também é muito bem representada pelos dois métodos de extração de dados a partir do CFSR. Nota-se também na Tabela 4.4 uma subestimativa do CFSR para simular a T2M na boia de Itajaí e uma superestimativa para as boias de Santos, Cabo Frio e Cabo Frio 2. Excluindo-se Cabo Frio, o valor de RMSE

é pequeno quando comparado ao valor do desvio padrão da observação (apresentado na Tabela 4.4).

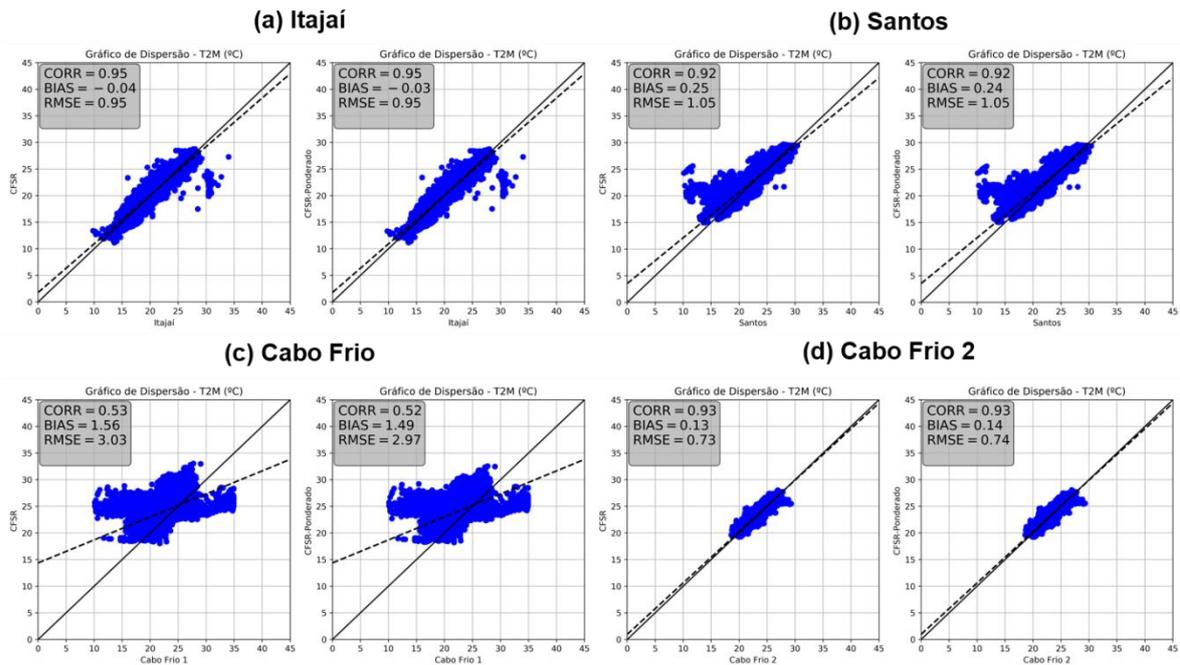


Figura 4.9 - Gráfico de dispersão e métricas estatísticas para os dados de T2M (°C) observados nas boias de: (a) Itajaí, (b) Santos, (c) Cabo Frio e (d) Cabo Frio 2 versus os simulados pelo CFSR0 (esquerda) e CFSRPond (direita). Para todas as figuras o eixo x representa os dados observados.

Tabela 4.4 - Métricas estatísticas calculadas a partir das séries temporais de T2M (°C) observadas nas boias, no CFSR0 e no CFSRPond.

Estação		Métricas estatísticas – T2M				
		Média (°C)	DP (°C)	BIAS (°C)	RMSE (°C)	CORR
Itajaí	Observado	21,28	3,05	-	-	-
	CFSR0	21,92	2,99	-0,04	0,95	0,95
	CFSRPond	21,93	2,98	-0,03	0,95	0,95
Santos	Observado	23,20	2,55	-	-	-
	CFSR0	23,43	2,34	0,25	1,05	0,92
	CFSRPond	23,41	2,34	0,24	1,05	0,92
Cabo Frio	Observado	22,55	2,89	-	-	-
	CFSR0	23,52	2,33	1,56	3,03	0,53
	CFSRPond	23,47	2,30	1,49	2,97	0,52
Cabo Frio 2	Observado	23,65	1,86	-	-	-
	CFSR0	23,73	1,93	0,13	0,73	0,93
	CFSRPond	23,74	1,95	0,14	0,74	0,93

Assim como na PNMM, a comparação entre os gráficos de dispersão da série de dados extraída do CFSR0 versus a série CFSRPond (Figura 4.10) mostra a diferença ínfima entre as séries de dados para o alto custo computacional associado à série CFSRPond, sendo esse padrão repetido em todas as variáveis estudadas e não mais apresentado no decorrer do texto.

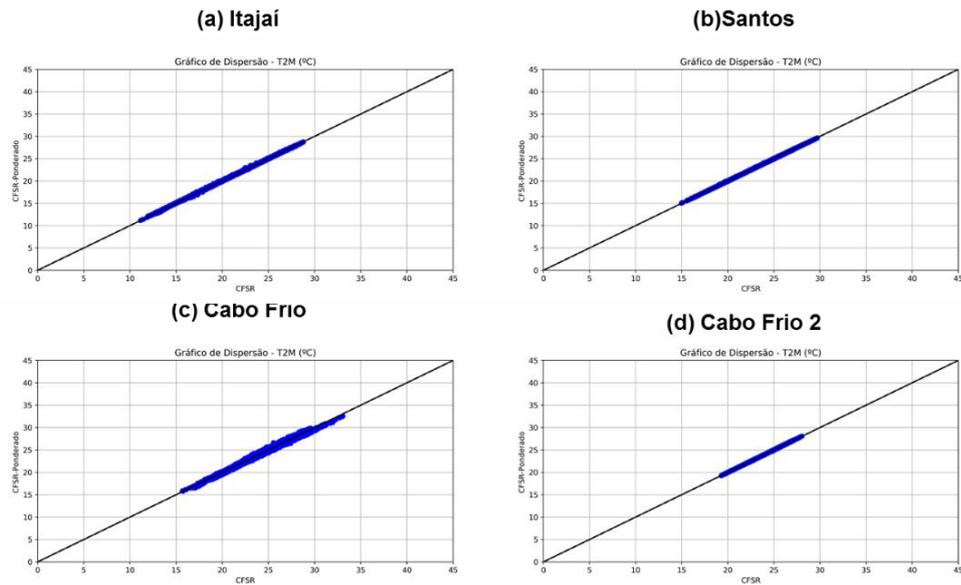


Figura 4.10 - Gráfico de dispersão das séries temporais de T2M (°C) obtidas a partir do CFSR0 (eixo x) e CFSRPond (eixo y).

A Figura 4.11 apresenta o ciclo anual da T2M simulado pelos 2 métodos de extração de dados do CFSR e observado nas boias em estudo. Nota-se que o CFSR representa corretamente a variabilidade sazonal da T2M, com as temperaturas máximas ocorrendo no mês de fevereiro e as mínimas ocorrendo entre julho e agosto, exceto para a boia de Cabo Frio, onde não se observa um ciclo anual bem marcado como nas demais boias devido a problemas já descritos em sua série temporal. Para as boias de Itajaí e Santos a reanálise superestima os valores de máxima e mínima, mas para o restante do ciclo anual representa muito bem a magnitude da T2M.

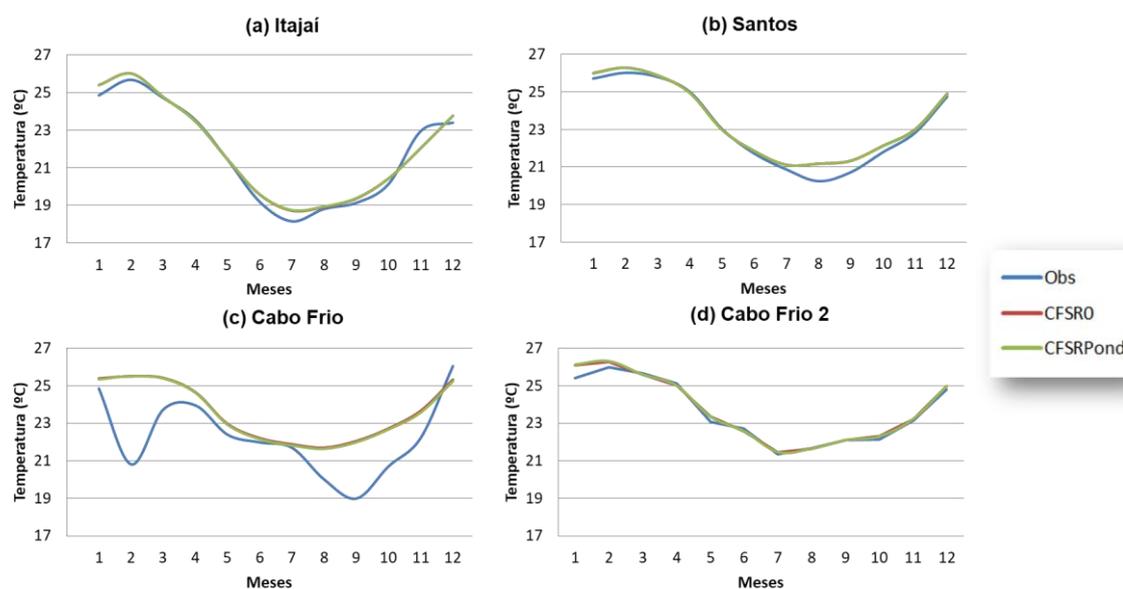


Figura 4.11 - Ciclo anual de T2M (°C) para os dados de (a) Itajaí, (b) Santos, (c) Cabo Frio e (d) Cabo Frio 2: Observado (linha azul), CFSR0 (linha vermelha) e CFSRPond (linha verde).

No ciclo diurno da T2M (Figura 4.12) o CFSR tende a superestimar levemente a temperatura observada, mas consegue representar bem a baixa amplitude do ciclo diurno nas boias mais afastadas do continente, onde a temperatura varia menos ao longo do dia devido a maior regulação térmica feita pelo oceano, já que seu calor específico é maior quando comparado ao da superfície continental. A boia de Cabo Frio, por ser mais próxima do litoral, apresenta uma amplitude maior que as demais estações sendo possível a identificação dos horários de máxima temperatura (16 UTC) e mínima (8 UTC), com uma amplitude de 1,32°C. A boia de Cabo Frio 2 por ter apenas um ano de dados e falhas em alguns horários específicos não apresenta um ciclo diurno compatível com o encontrado na literatura, e apesar de apresentada na Tabela 4.6, o ciclo diurno dessa boia foi desconsiderado para fins de análise.

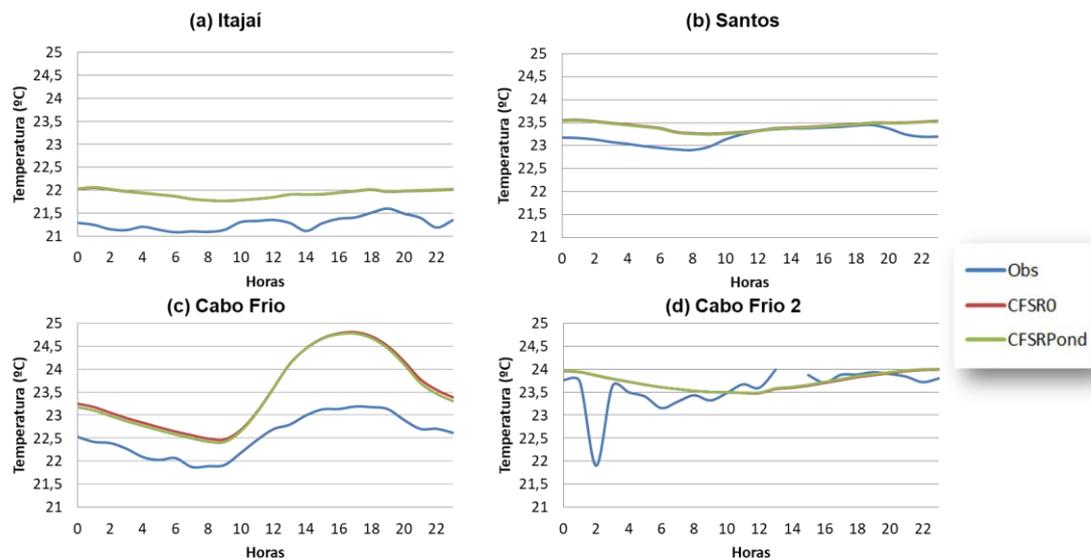


Figura 4.12 - Ciclo diurno (0 até 23 UTC) de T2M (°C) para os dados de (a) Itajaí, (b) Santos, (c) Cabo Frio e (d) Cabo Frio 2: Observado (linha azul), CFSR0 (linha vermelha) e CFSRPond (linha verde).

As demais amplitudes e valores de máximos e mínimos dos ciclos anual e diurno para a T2M estão listadas na Tabela 4.5 e na Tabela 4.6.

Tabela 4.5 - Valores máximos, mínimos e amplitude da T2M (°C) para o CFSR0, CFSRPond e as boias de Itajaí e Santos (OBS) para a série temporal, o ciclo anual e o ciclo diurno.

	T2M (°C)					
	Itajaí			Santos		
	OBS	CFSR0	CFSRPond	OBS	CFSR0	CFSRPond
<b>Máx/Mín série temporal</b>	34,00/ 9,80	28,78/ 11,15	28,76/ 11,17	30,40/ 10,10	29,71/ 14,96	29,66/ 15,04
<b>Amplitude série temporal</b>	24,20	17,63	17,59	20,30	14,75	14,62
<b>Máx/Mín Ciclo Anual</b>	25,68/ 18,14	26,02/ 18,74	26,02/ 18,74	26,01/ 20,24	26,29/ 21,12	26,28/ 21,12
<b>Amplitude Ciclo Anual</b>	7,54	7,31	7,28	5,77	5,17	5,16
<b>Máx/Mín Ciclo Diurno</b>	21,60/ 21,09	22,05/ 21,77	22,07/ 21,77	23,45/ 22,90	23,56/ 23,26	23,55/ 23,24
<b>Amplitude Ciclo Diurno</b>	0,51	0,28	0,30	0,55	0,30	0,31

Tabela 4.6 - Valores máximos, mínimos e amplitude da T2M (°C) para o CFSR, CFSRPond e as boias de Cabo Frio e Cabo Frio 2 (OBS) para a série temporal, o ciclo anual e o ciclo diurno.

	T2M (°C)					
	Cabo Frio			Cabo Frio 2		
	OBS	CFSR0	CFSRPond	OBS	CFSR0	CFSRPond
<b>Máx/Mín série temporal</b>	34,90/ 10,10	33,05/ 15,67	32,55/ 15,80	29,30/ 18,60	28,03/ 19,27	28,08/ 19,24
<b>Amplitude série temporal</b>	24,80	17,38	16,75	10,70	8,76	8,84
<b>Máx/Mín Ciclo Anual</b>	26,05/ 19,00	25,51/ 21,70	25,52/ 21,65	25,99/ 21,34	26,28/ 21,47	26,31/ 21,47
<b>Amplitude Ciclo Anual</b>	7,05	3,81	3,87	4,65	4,81	4,84
<b>Máx/Mín Ciclo Diurno</b>	23,19/ 21,87	24,81/ 22,47	24,78/ 22,42	23,99/ 21,90	23,99/ 23,48	24,01/ 23,49
<b>Amplitude Ciclo Diurno</b>	1,32	2,34	2,36	2,09	0,51	0,52

### 4.3 Umidade Relativa do Ar a 2 m de altura - UR2M

Na Figura 4.13 é apresentado o gráfico de dispersão dos dados de UR2M simulados pelo CFSR e observados nas boias de Itajaí (Figura 4.13a), Santos (Figura 4.13b), Cabo Frio (Figura 4.13c) e Cabo Frio 2 (Figura 4.13d). Observa-se uma boa correlação entre as séries para as boias de Itajaí, Santos e Cabo Frio 2, contudo os dados de Cabo Frio apresentam uma grande defasagem em relação a Reanálise. Dentre as 3 boias (Itajaí, Santos e Cabo Frio 2) o menor valor de correlação encontrado foi CORR=0,79 na boia de Cabo Frio 2, que apesar de inferior à CORR da PNMM e da T2M pode ser considerado com um bom resultado para essa métrica estatística. Ainda para essas três boias o BIAS

é positivo o que indica uma superestimativa por parte do CFSR. O RMSE, apesar de um pouco elevado, é menor do que o DP da observação, como mostra a Tabela 4.7.

Assim como na T2M, a série temporal de UR2M da boia de Cabo Frio é curta, irregular e com dados suspeitos para essa variável. Para essa boia, o maior valor de correlação encontrado foi de 0,18 para o CFSR0, um valor que é muito próximo a zero, significando quase nenhuma correlação entre as séries de dados. As demais métricas de Cabo Frio também apresentam resultados considerados ruins ao serem comparados com a Reanálise. Tanto para o CFSRPond quanto para o CFSR0, os valores de BIAS e RMSE são elevados. Dessa forma, apesar de apresentados, os dados de UR2M da Boia de Cabo Frio não serão utilizados para nenhum tipo de análise.

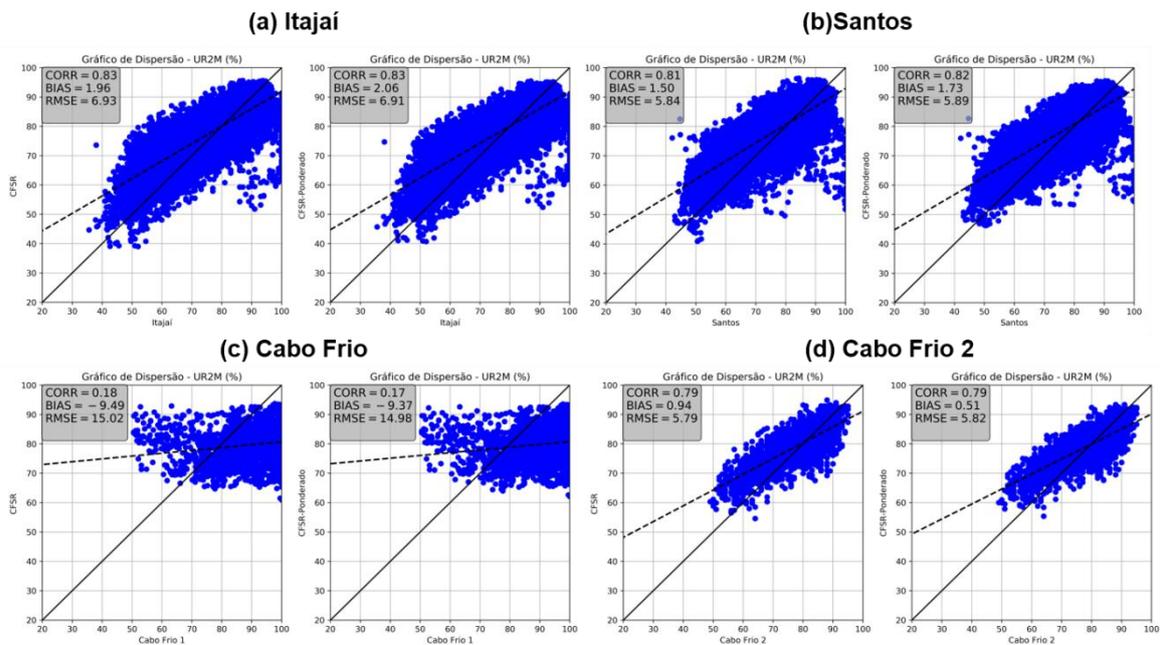


Figura 4.13 - Gráfico de dispersão e métricas estatísticas para os dados de UR2M (%) observados nas boias de (a) Itajaí, (b) Santos, (c) Cabo Frio e (d) Cabo Frio 2 versus os simulados pelo CFSR0 (esquerda) e CFSRPond (direita). Para todas as figuras o eixo x representa os dados observados.

Tabela 4.7 - Métricas estatísticas calculadas a partir das séries temporais de UR2M (%) observado na boia, CFSR0 e CFSRPond.

Estação		Métricas estatísticas – UR2M				
		Média (%)	DP (%)	BIAS (%)	RMSE (%)	CORR
Itajaí	Observado	75,22	11,62	-	-	-
	CFSR0	77,80	8,02	1,96	6,93	0,83
	CFSRPond	77,90	7,91	2,06	6,91	0,83
Santos	Observado	77,53	9,67	-	-	-
	CFSR0	78,67	7,33	1,50	5,84	0,81
	CFSRPond	78,91	7,07	1,73	5,89	0,82
Cabo Frio	Observado	89,11	11,05	-	-	-
	CFSR0	79,67	6,58	-9,49	15,02	0,18
	CFSRPond	79,74	6,56	-9,37	14,98	0,17
Cabo Frio 2	Observado	78,80	9,24	-	-	-
	CFSR0	79,63	6,24	0,94	5,79	0,79
	CFSRPond	79,18	5,94	0,51	5,82	0,79

O ciclo anual da UR2M, apresentado na Figura 4.14, evidencia que o CFSR representa razoavelmente bem a pequena variabilidade sazonal da UR2M, apesar de não tão acurado como para as demais variáveis já apresentadas. Também é possível notar uma superestimativa dos valores por parte do CFSR, o que concorda com o apresentado anteriormente no gráfico de dispersão. O valor máximo de UR2M é observado em agosto na boia de Itajaí (79,36%) e dezembro em Santos (82,24%) e Cabo Frio 2 (84,55%). O mínimo é apresentado em março para Itajaí (71,83%), maio em Santos (71,64%) e abril em Cabo Frio 2 (71,54%).

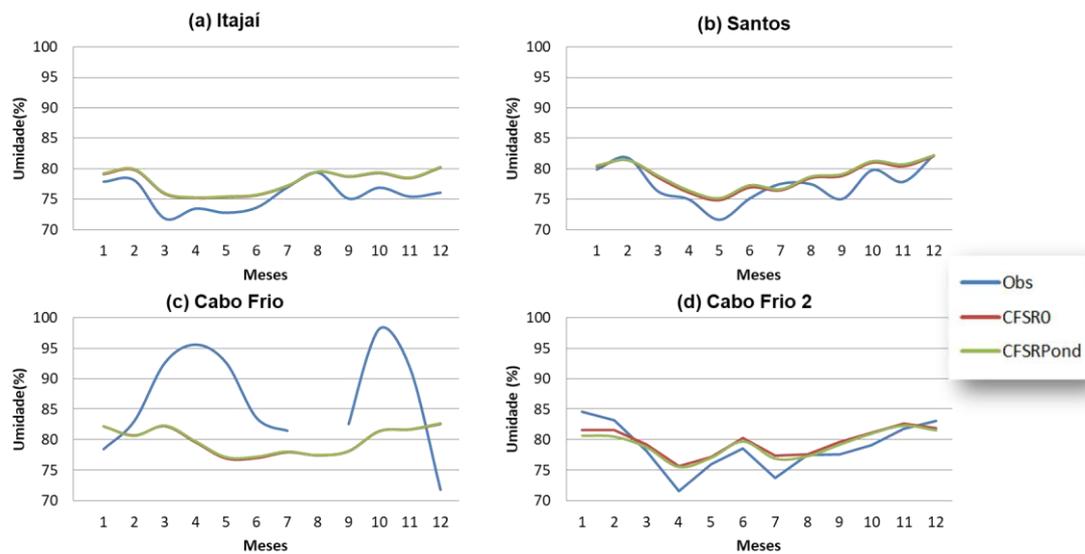


Figura 4.14 - Ciclo anual de UR2M (%) para os dados de (a) Itajaí, (b) Santos, (c) Cabo Frio e (d) Cabo Frio 2: Observado (linha azul), CFSR0 (linha vermelha) e CFSRPond (linha verde).

A Figura 4.15 apresenta o ciclo diurno da umidade relativa do ar à 2 metros. Assim como para a T2M, a UR2M por estar sobre uma superfície oceânica quase não varia ao longo do dia. Dessa forma, a amplitude do ciclo diurno é muito pequena, sendo de 1,71% em Itajaí, 1,93% em Santos e 3,75% em Cabo Frio 2. Ainda assim é possível notar máximos e mínimos nas boias de Itajaí e Santos, sendo os maiores valores de UR2M durante a noite e madrugada até o horário de 9 UTC (6 h local), e os menores valores durante parte da manhã e da tarde devido ao aquecimento diurno. Para as 3 boias apresentadas o CFSR representa bem a baixa amplitude do ciclo diurno e apresenta uma superestimativa em relação aos valores observados. Por fim, tem-se que lembrar que por possuir apenas um ano de dados a série de Cabo Frio 2 não possui um ciclo diurno tão suave quanto as demais boias.

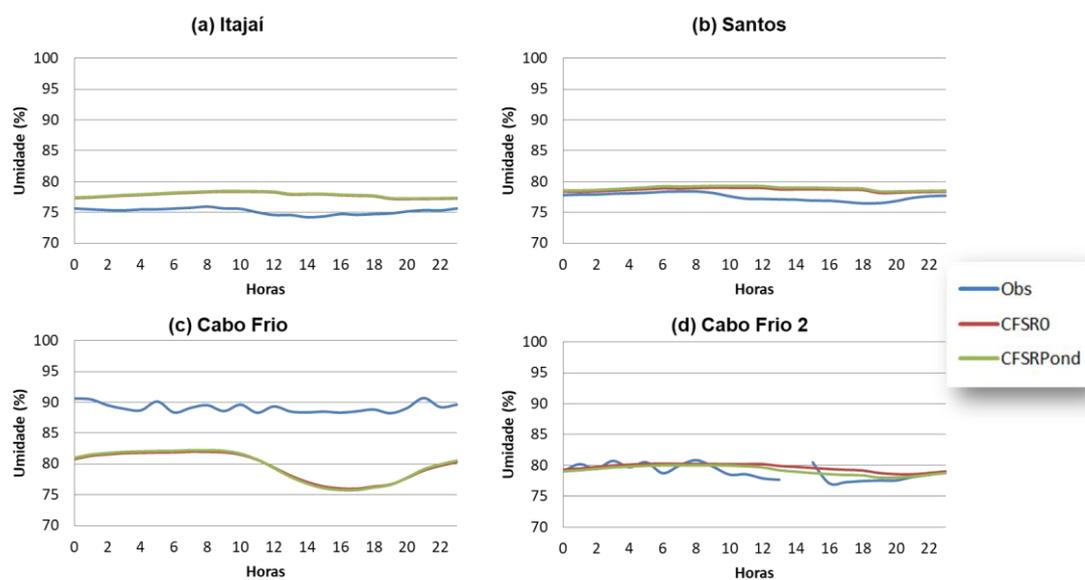


Figura 4.15 - Ciclo diurno (0 até 23 UTC) de UR2M (%) para os dados de (a) Itajaí, (b) Santos, (c) Cabo Frio e (d) Cabo Frio 2: Observado (linha azul), CFSR0 (linha vermelha) e CFSRPond (linha verde).

A Tabela 4.8 e a Tabela 4.9 apresentam uma síntese dos valores climatológicos da UR2M (%) observados nas boias em estudo e simulados pelo CFSR0 e CFSRPond. Nelas é possível notar um desempenho razoável da Reanálise para essa variável, apesar de que a Reanálise nunca atinge a saturação (100% de UR2M).

Tabela 4.8 - Valores máximos, mínimos e amplitude da UR2M (%) para o CFSR0, CFSRPond e as boias de Itajaí e Santos (OBS) para a série temporal, o ciclo anual e o ciclo diurno.

	UR2M (%)					
	Itajaí			Santos		
	OBS	CFSR0	CFSRPond	OBS	CFSR0	CFSRPond
<b>Máx/Mín série temporal</b>	100,00/ 35,60	95,60/ 37,80	95,43/ 39,80	100,00/ 42,10	96,40/ 40,90	95,50/ 46,27
<b>Amplitude série temporal</b>	64,40	57,80	55,64	57,90	55,50	49,23
<b>Máx/Mín Ciclo Anual</b>	79,36/ 71,83	80,20/ 75,22	80,30/ 75,30	82,24/ 71,64	82,07/ 74,84	82,20/ 75,17
<b>Amplitude Ciclo Anual</b>	7,53	4,98	5,00	10,60	7,23	7,03
<b>Máx/Mín Ciclo Diurno</b>	75,96/ 74,25	78,40/ 77,19	78,50/ 77,28	78,42/ 76,49	79,04/ 78,19	79,31/ 78,42
<b>Amplitude Ciclo Diurno</b>	1,71	1,21	1,22	1,93	0,85	0,89

Tabela 4.9 - Valores máximos, mínimos e amplitude da UR2M (°C) para o CFSR0, CFSRPond e as boias de Cabo Frio e Cabo Frio 2 (OBS) para a série temporal, o ciclo anual e o ciclo diurno.

	UR2M (%)					
	Cabo Frio			Cabo Frio 2		
	OBS	CFSR0	CFSRPond	OBS	CFSR0	CFSRPond
<b>Máx/Mín série temporal</b>	100,00/ 50,50	96,80/ 53,80	96,58/ 54,72	95,00/ 49,00	95,20/ 53,80	94,00/ 54,76
<b>Amplitude série temporal</b>	49,50	43,00	41,86	46,00	41,40	39,24
<b>Máx/Mín Ciclo Anual</b>	98,18/ 71,75	82,55/ 76,90	82,67/ 77,12	84,55/ 71,54	82,65/ 15,59	82,29/ 75,51
<b>Amplitude Ciclo Anual</b>	26,43	5,65	5,55	13,01	7,06	6,78
<b>Máx/Mín Ciclo Diurno</b>	90,70/ 88,24	82,01/ 76,00	82,25/ 75,78	80,85/ 77,10	80,29/ 78,56	80,02/ 78,03
<b>Amplitude Ciclo Diurno</b>	2,46	6,01	6,47	3,75	1,73	1,99

#### 4.4 Velocidade e Direção do Vento a 10 metros de altura - V10M e DIR10M

A Figura 4.16 apresenta os gráficos de dispersão dos dados de V10M simulados pelo CFSR0 e CFSRPond versus os dados observados nas boias em estudo. Nota-se uma boa correlação entre as séries de dados para as boias de Itajaí (CORR=0,78, para o CFSRPond) e Cabo Frio 2 (CORR=0,85, para o CFSRPond), já para a boia de Santos a correlação cai ligeiramente, resultando em um valor de CORR=0,70. A Boia de Cabo Frio é a que apresenta os menores, e conseqüentemente piores, valores de correlação (CORR=0,46, para o CFSR0). O BIAS indica uma subestimativa para as boias de Santos, Itajaí e Cabo Frio e uma superestimativa em relação ao observado em Cabo Frio 2. O

valor de RMSE é menor que o DP da observação para as quatro boias, como pode ser visto na Tabela 4.10.

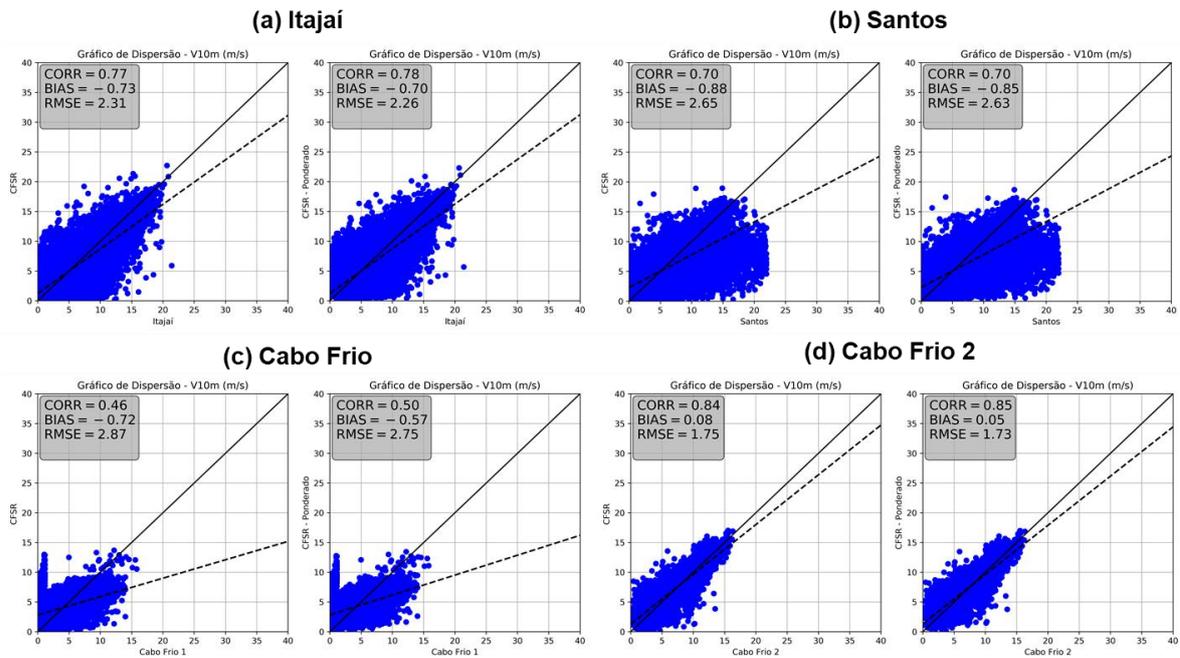


Figura 4.16 - Gráfico de dispersão e métricas estatísticas para os dados de V10M (m/s) observados nas boias de (a) Itajaí, (b) Santos, (c) Cabo Frio e (d) Cabo Frio 2 versus os simulados pelo CFSR0 (esquerda) e o CFSRPond (direita). Para todas as figuras o eixo x representa os dados observados.

Tabela 4.10 - Métricas estatísticas calculadas a partir das séries temporais de V10M (m/s) observado na boia, no CFSR0 e no CFSRPond.

Estação		Métricas estatísticas – V10M				
		Média (m/s)	DP (m/s)	BIAS (m/s)	RMSE (m/s)	CORR
Itajaí	Observado	7,81	3,26	-	-	-
	CFSR0	7,17	3,06	-0,73	2,31	0,77
	CFSRPond	7,20	3,03	-0,70	2,26	0,78
Santos	Observado	7,06	3,45	-	-	-
	CFSR0	6,23	2,73	-0,88	2,65	0,70
	CFSRPond	6,25	2,72	-0,85	2,63	0,70
Cabo Frio	Observado	5,12	3,06	-	-	-
	CFSR0	5,17	2,40	-0,72	2,87	0,46
	CFSRPond	5,25	2,35	-0,57	2,75	0,50
Cabo Frio 2	Observado	7,42	3,14	-	-	-
	CFSR0	7,51	3,14	0,08	1,75	0,84
	CFSRPond	7,48	3,09	0,05	1,73	0,85

Na Figura 4.17 é apresentado o ciclo anual de V10M para as boias, CFSR0 e CFSRPond. Fica evidenciado que o CFSR representa razoavelmente bem a variabilidade sazonal da V10M, apesar da subestimativa de cerca de 1 m/s nas boias de Itajaí e Santos. Mais uma vez, nota-se problemas no ciclo anual dessa variável para a boia de Cabo Frio. Os valores máximos do ciclo anual foram registrados em agosto na boia de Itajaí (8,77 m/s), novembro em Santos (7,99 m/s) e janeiro em Cabo Frio 2 (8,37 m/s). Os valores mínimos foram registrados em maio em Itajaí (7,23), fevereiro em Santos (6,47 m/s) e junho em Cabo Frio 2 (6,59 m/s). Como será visto no Capítulo 5, as estações mais ao norte na BS apresentam concordância com a climatologia sazonal de V10M, em relação aos meses de ocorrência dos meses de máximo e mínimo de V10M.

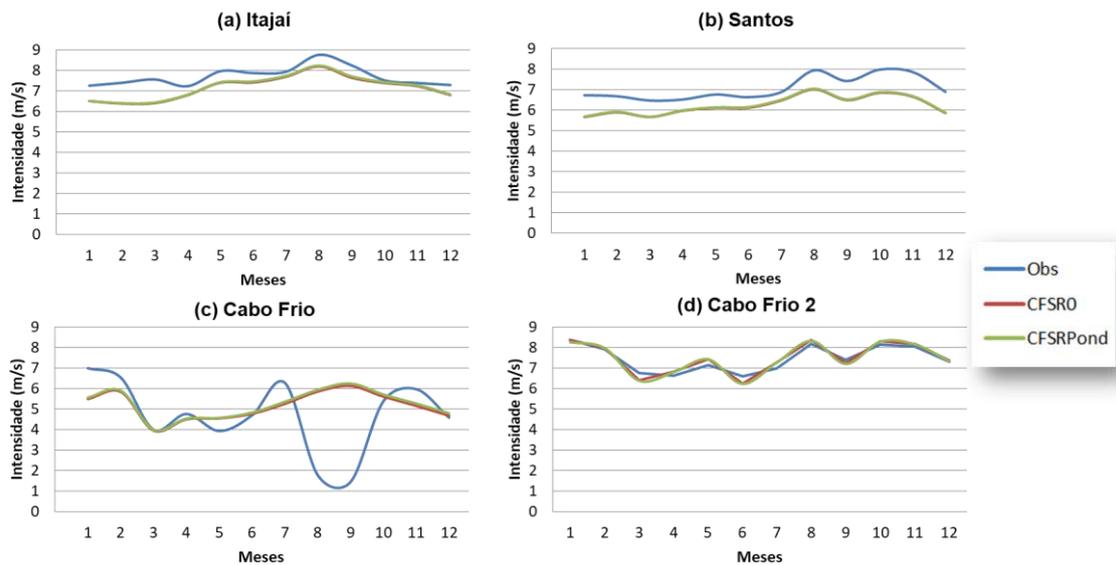


Figura 4.17 - Ciclo anual de V10M (m/s) para os dados de (a) Itajaí, (b) Santos, (c) Cabo Frio e (d) Cabo Frio 2: Observado (linha azul), CFSR0 (linha vermelha) e CFSRPond (linha verde).

O ciclo diurno da V10M observado nas boias e simulado pelo CFSR é apresentado na Figura 4.18. Nota-se uma representação razoavelmente boa por parte do CFSR para todas as boias. Apesar da Reanálise não conseguir representar pequenas variações bruscas entre os horários e subestimar os valores observados, ela consegue acompanhar a tendência dos dados. A amplitude do ciclo diurno não é muito grande, porém nota-se um mínimo entre 10 e 12 UTC (7 e 9 horas local) para as boias de Itajaí e Cabo Frio, às 19 UTC (15 horas local) para a boia de Santos e às 15 UTC (12 horas local) na boia de Cabo Frio 2. Os valores de máximo não são tão distinguíveis sendo registrados durante a noite nas 4 boias. Nota-se mais uma vez problemas na boia Cabo Frio 2 para representar o ciclo diurno de V10M.

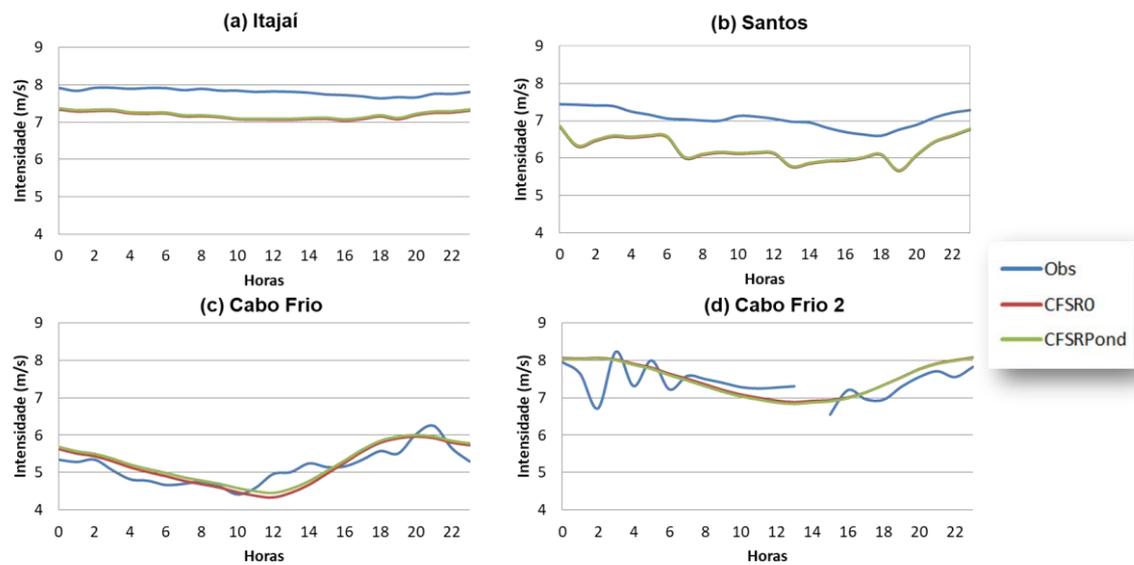


Figura 4.18 - Ciclo diurno (0 até 23 UTC) de V10M (m/s) para os dados de (a) Itajaí, (b) Santos, (c) Cabo Frio e (d) Cabo Frio 2: Observado (linha azul), CFSR0 (linha vermelha) e CFSRPond (linha verde).

A Tabela 4.11 e a Tabela 4.12 apresentam uma síntese dos valores climatológicos da V10M (m/s) observados e simulados pelo CFSR0 e CFSRPond, onde nota-se um bom desempenho da Reanálise para representar essa variável, considerada de difícil representação numérica.

Tabela 4.11 - Valores máximos, mínimos e amplitude da V10M (m/s) para o CFSR0, CFSRPond e as boias de Itajaí e Santos (OBS) para a série temporal, o ciclo anual e o ciclo diurno.

	V10M (m/s)					
	Itajaí			Santos		
	OBS	CFSR0	CFSRPond	OBS	CFSR0	CFSRPond
<b>Máx/Mín série temporal</b>	21,40/ 0,00	22,71/ 0,02	22,32/ 0,21	21,95/ 0,00	18,96/ 0,04	18,70/ 0,13
<b>Amplitude série temporal</b>	21,40	22,69	22,11	21,95	18,92	18,57
<b>Máx/Mín Ciclo Anual</b>	8,77/ 7,23	8,21/ 6,39	8,24/ 6,40	7,99/ 6,47	7,02/ 5,67	7,05/ 5,68
<b>Amplitude Ciclo Anual</b>	1,54	1,82	1,84	1,52	1,35	1,37
<b>Máx/Mín Ciclo Diurno</b>	7,92/ 7,64	7,34/ 7,04	7,37/ 7,08	7,44/ 6,60	6,85/ 5,66	6,87/ 5,68
<b>Amplitude Ciclo Diurno</b>	0,28	0,30	0,29	0,84	1,19	1,19

Tabela 4.12 - Valores máximos, mínimos e amplitude da V10M (m/s) para o CFSR0, CFSRPond e as boias de Cabo Frio e Cabo Frio 2 (OBS) para a série temporal, o ciclo anual e o ciclo diurno.

	V10M (m/s)					
	Cabo Frio			Cabo Frio 2		
	OBS	CFSR0	CFSRPond	OBS	CFSR0	CFSRPond
<b>Máx/Mín série temporal</b>	15,80/ 0,00	14,68/ 0,01	14,47/ 0,13	16,30/ 0,11	17,03/ 0,08	16,99/ 0,20
<b>Amplitude série temporal</b>	15,80	14,67	14,34	16,19	16,95	16,79
<b>Máx/Mín Ciclo Anual</b>	6,99/ 1,44	6,13/ 3,95	6,25/ 3,99	8,37/ 6,59	8,37/ 6,25	8,33/ 6,23
<b>Amplitude Ciclo Anual</b>	5,55	2,18	2,26	1,78	2,12	2,10
<b>Máx/Mín Ciclo Diurno</b>	6,25/ 4,41	5,96/ 4,33	6,00/ 4,45	8,23/ 6,55	8,08/ 6,88	8,06/ 6,84
<b>Amplitude Ciclo Diurno</b>	1,83	1,63	1,55	1,68	1,20	1,22

As Figura 4.19 a Figura 4.22 apresentam as rosas dos ventos para o observado em cada boia, para o simulado pelo CFSR0 e simulado pelo CFSRPond. Para a Boia de Itajaí (Figura 4.19), nota-se na observação uma predominância de vento nos octantes N, NE e E associado ao ASAS, e de SW associado à passagem de sistemas transientes. O CFSR por sua vez não apresenta grandes distinções entre os dois métodos de extração de dados utilizados e representa de maneira satisfatória os ventos na boia de Itajaí, apesar da distribuição da frequência de ocorrência não ser exatamente como observada. Como exemplo tem-se que os ventos de NE associados ao ASAS apresentam-se ligeiramente deslocados, sendo a maior frequência registrada pela Reanálise no octante N e não no

octante NE. Além disso, o CFSR subestima a quantidade de eventos com maiores intensidades registrados pela boia nos octantes N e SW.

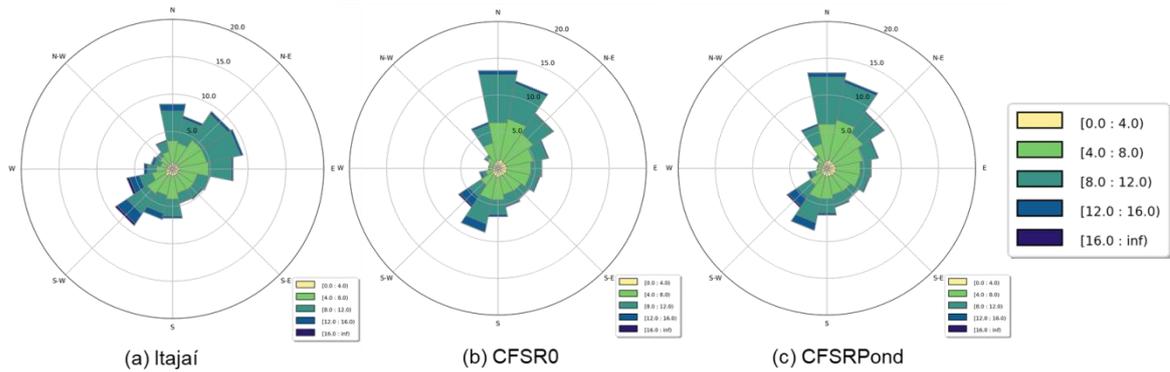


Figura 4.19 - Rosas dos ventos elaboradas com: (a) dados da boia de Itajaí, (b) série temporal do CFSR0 e (c) série temporal do CFSRPond.

Para a Boia de Santos (Figura 4.20), nota-se na observação uma predominância de vento no quadrante E, influenciado pelo ASAS, e na direção SSW promovida pela influência de sistemas transientes. Para ambos os métodos utilizados, o CFSR não consegue representar a virada do vento para S/SW associada à passagem de sistemas transientes, e coloca o vento predominantemente de NE na maior parte do tempo. A Reanálise também subestima a intensidade do vento em praticamente todas as direções

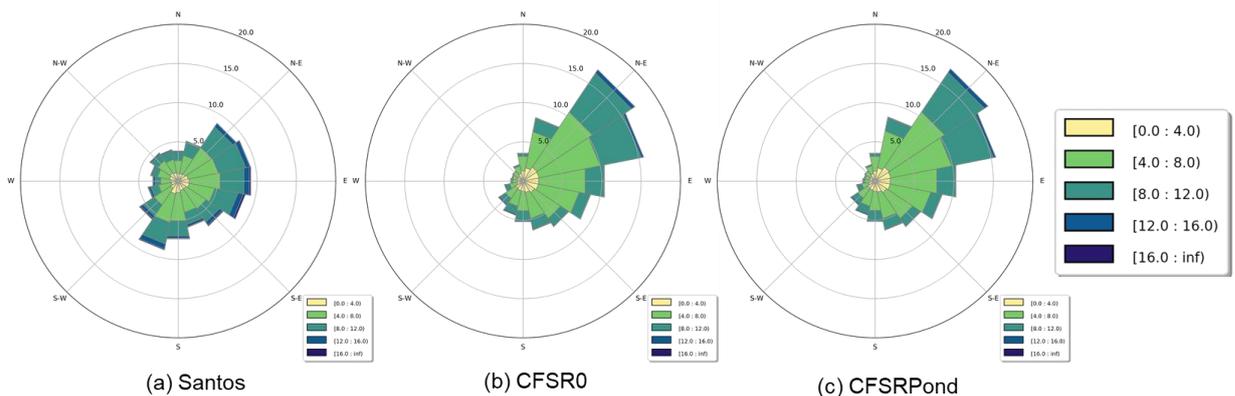


Figura 4.20 - Rosas dos ventos elaboradas com: (a) dados da boia de Santos, (b) série temporal do CFSR0 e (c) série temporal do CFSRPond.

A Reanálise consegue representar muito bem o regime de ventos na boia de Cabo Frio, como pode ser visto na Figura 4.21. Nota-se nas três rosas apresentadas a predominância do vento entre NE e NNE e uma segunda direção predominante de SW. Assim como nas boias anteriores, tem-se o ASAS associado aos ventos de NE e os sistemas transientes ao de SW. Existem pequenas diferenças entre a simulação e a

observação, como por exemplo o fato da Reanálise distribuir mais o vento no entorno da direção NE.

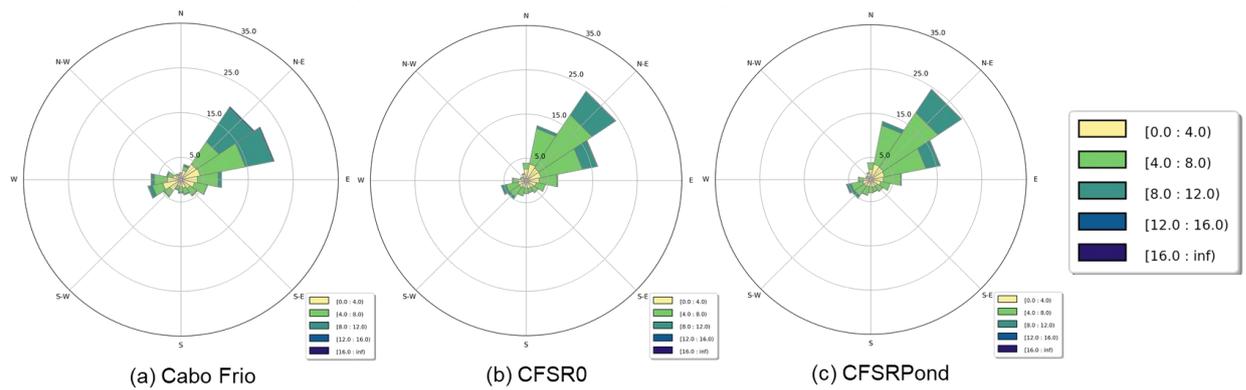


Figura 4.21- Rosas dos ventos elaboradas com: (a) dados da boia de Cabo Frio, (b) série temporal do CFSR0 e (c) série temporal do CFSRPond.

Por fim, o regime de ventos da boia de Cabo Frio 2 também é muito bem representado pela Reanálise (Figura 4.22). Assim como nas demais, essa boia possui um vento predominante de NE associado ao ASAS, mas não possui como segunda direção predominante o SW, apesar de nessa direção, ao analisarmos a rosa com os dados observados, ser possível notar a incidência de ventos fortes. A grande diferença entre o observado e a Reanálise fica na incidência de ventos no quadrante SE, em que a Reanálise retrata pouquíssima incidência de vento quando comparado ao observado.

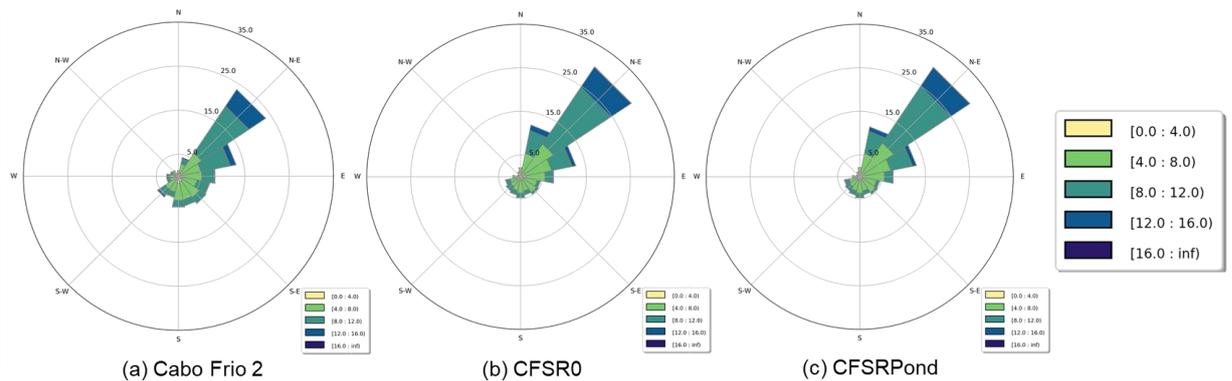


Figura 4.22 - Rosas dos ventos elaboradas com: (a) dados da boia de Cabo Frio 2, (b) série temporal do CFSR0 e (c) série temporal do CFSRPond.

## **5 Climatologia da Bacia de Santos**

Neste capítulo apresentam-se as climatologias sazonais dos campos de PNMM, T2M, UR2M e vento obtido com a Reanálise CFSR sobre o Oceano Atlântico. A seguir são mostrados os resultados da climatologia da passagem de sistemas frontais e de ocorrência de ZCAS pela Bacia de Santos, contabilizados a partir da revista mensal Climanálise do CPTEC/INPE.

### **5.1 Climatologia Sazonal da PNMM**

Na Figura 5.1 são apresentados os campos climatológicos sazonais da PNMM para a região do Atlântico Sul e parte do território brasileiro, tendo em destaque a BS sobre o oceano. No verão (Figura 5.1a), é possível observar menores valores de PNMM sobre a região em estudo (entre 1012 e 1013 hPa), onde tais valores configuram um pequeno centro de baixa pressão que engloba praticamente toda a região de interesse. Isso ocorre justamente quando o centro do ASAS encontra-se em sua posição mais a sul e mais afastado do continente. Também é possível observar nessa estação do ano um gradiente de pressão horizontal mais intenso do que nas demais estações, principalmente entre o litoral brasileiro e a longitude de 30°O, com exceção apenas da região equatorial, onde quase não há gradiente horizontal de PNMM. Durante o outono (Figura 5.1b) o ASAS começa a se deslocar em direção ao continente sul-americano e a pressão atmosférica na BS aumenta significativamente, atingindo valores entre 1014 e 1016 hPa. Ainda é possível notar a presença do centro de baixa pressão na região, agora com menor extensão e valores entre 1014 e 1015 hPa. No inverno (Figura 5.1c), o centro do ASAS encontra-se em sua posição mais ao norte e mais próximo ao continente, ocasionando os maiores valores médios de PNMM na BS, entre 1019 e 1020 hPa. É importante ressaltar que nessa estação o centro de baixa pressão não se encontra mais configurado. Por fim, na primavera (Figura 5.1d), a PNMM volta a diminuir, oscilando entre 1015 e 1017 hPa na BS, o gradiente horizontal de pressão volta a se intensificar à medida que o centro do ASAS se afasta do continente e o centro de baixa pressão ainda não está completamente formado, sendo possível notar apenas uma área de baixa pressão nas partes norte e central da BS.

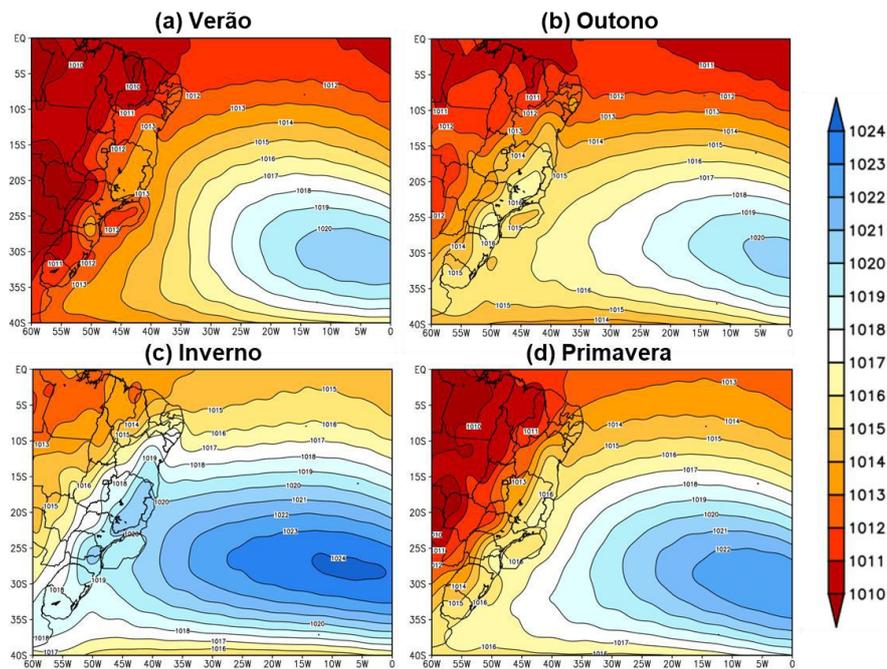


Figura 5.1 - Climatologia Sazonal da PNMM (hPa) elaborada a partir do CFSR no período de 1981-2010 para (a) verão, (b)outono, (c)inverno, (d) primavera. A bacia de Santos aparece em destaque sobre o oceano.

## 5.2 Climatologia Sazonal da T2M

A climatologia sazonal da T2M é apresentada na Figura 5.2, sendo a característica mais marcante dessa variável o gradiente norte-sul da temperatura, promovido pela diferença entre as quantidades de radiação que chegam ao equador e ao polo, devido a inclinação do eixo da Terra. De maneira geral, quase não há gradiente horizontal de temperatura entre a costa brasileira e a longitude de 30°O, entretanto existe uma grande diferença entre a T2M sobre a superfície oceânica e a continental, devido à diferença de aquecimento provocada por diferenças entre os valores de calor específico dessas duas superfícies. Por fim, também é possível notar em todas as estações do ano, a presença de uma crista nas isotermas junto à costa brasileira, associada à Temperatura da Superfície do Mar (TSM) que é mais elevada junto ao litoral. As águas aquecidas ao longo da costa brasileira atuam como uma importante fonte de calor aquecendo o ar próximo a superfície e elevando também sua umidade.

No verão sobre a BS (Figura 5.2a), a temperatura varia entre 25 e 26°C e a exceção fica no extremo sul da bacia onde as temperaturas médias apresentam uma diferença de 1°C, variando entre 24 e 25°C. No outono (Figura 5.2b), nota-se um maior gradiente de

T2M na BS, com temperaturas variando entre 23 e 26°C. No inverno (Figura 5.2c), a T2M atinge valores entre 18 e 22°C na região da BS. Por fim na primavera (Figura 5.2d) a temperatura média na BS volta a se elevar, variando entre 20 e 22°C ao longo de sua extensão.

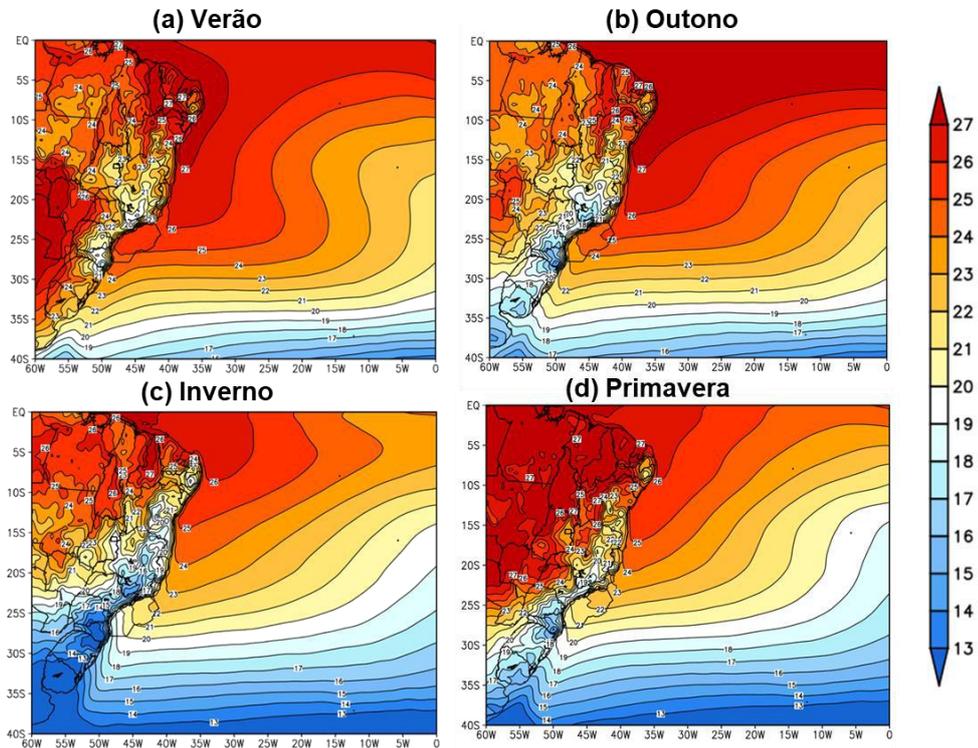


Figura 5.2 - Climatologia sazonal da T2M (°C) no período 1981-2010 elaborada a partir de CFSR para: (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera. A região da Bacia de Santos aparece em destaque sobre o oceano.

### 5.3 Climatologia Sazonal da UR2M

A climatologia sazonal da UR2M é apresentada na Figura 5.3. Diferentemente do que ocorre na superfície continental, a UR2M não apresenta grandes variações espaciais e temporais sobre o oceano. Como essa variável é função da temperatura e da quantidade de vapor d'água presente no ar, com o oceano fornecendo continuamente umidade para a atmosfera, a diferença entre os valores de UR2M se dão majoritariamente devido à variação na temperatura do ar. Na região equatorial, sempre mais aquecida, a atmosfera é capaz de conter maior quantidade de vapor d'água. O oceano, também mais aquecido, libera maiores quantidades de água no estado de vapor para a atmosfera, por isso os

maiores valores de UR2M são encontrados nessa região. Sazonalmente percebe-se esse mesmo efeito, ou seja, as estações onde a temperatura é mais elevada (verão e primavera) apresentam maiores valores de UR2M do que aquelas em que a temperatura é mais amena (outono e inverno). Para a BS a UR2M varia entre 75 e 85% ao longo de todo o ano. No verão (Figura 5.3a), e na primavera (Figura 5.3d) a maior parte da extensão da BS apresenta valores médios de umidade acima de 80% enquanto que no outono (Figura 5.3b) e no inverno (Figura 5.3c) a umidade não ultrapassa o limiar de 80% na região de estudo.

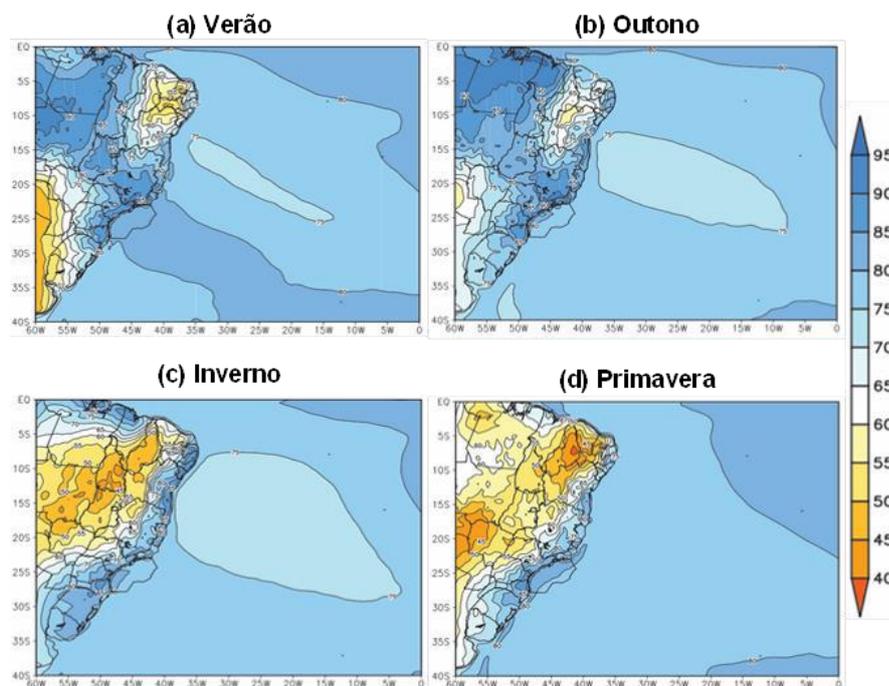


Figura 5.3 - Climatologia sazonal da UR2M (%) no período 1980-2009 elaborada a partir de CFSR para: (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera. A Baía de Santos aparece em destaque sobre o oceano.

#### 5.4 Climatologia Sazonal do Vento

A climatologia sazonal do vento a 10 metros de altura é apresentada na Figura 5.4. Ao longo de todo o ano a BS fica situada na borda oeste do ASAS, onde a direção predominante do vento é de nordeste (NE). As maiores intensidades de V10M para a área de estudo ocorrem durante a primavera (Figura 5.4d) e no verão (Figura 5.4a) atingindo valores médios de 4,5 m/s, justamente devido ao gradiente de pressão mais intenso nessas estações do ano. No outono (Figura 5.4b), conforme o ASAS se desloca em direção ao interior do continente Sul-Americano, a intensidade do vento na BS se reduz até que

atinge o mínimo (1,5 m/s) no inverno (Figura 5.4c), quando posição do ASAS, mais para o interior do continente, reduz o gradiente de pressão. Finalmente, quando o centro do ASAS começa a se afastar do continente durante a primavera (Figura 5.4d), o vento torna a se intensificar.

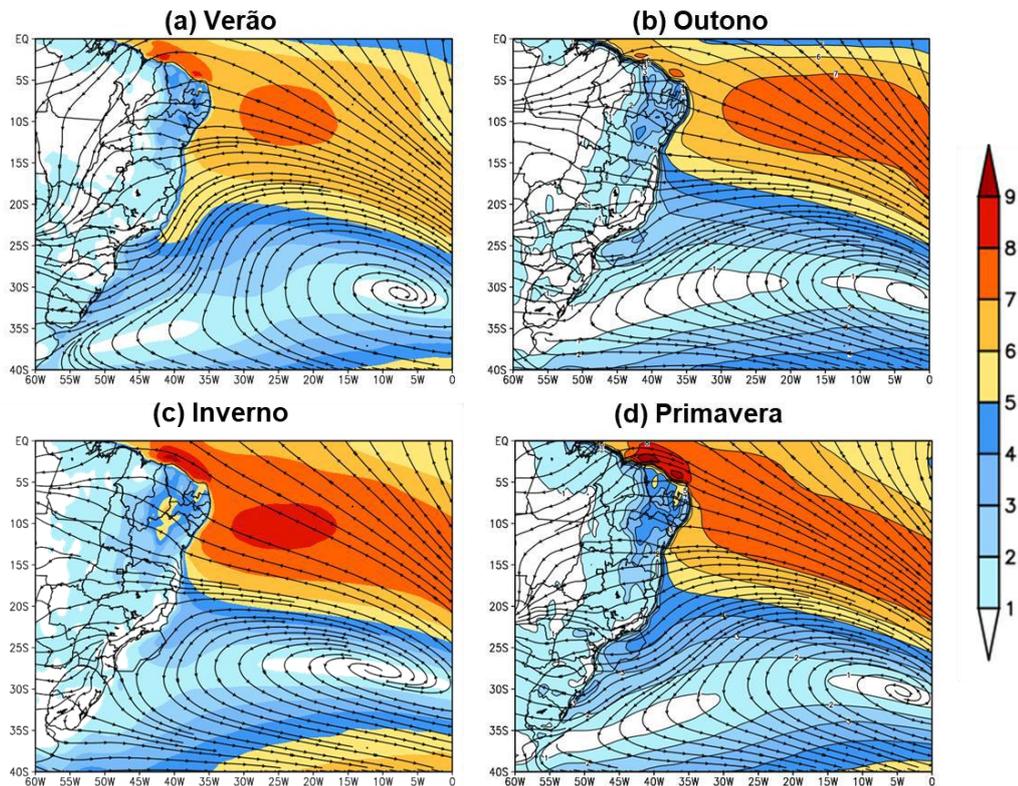


Figura 5.4 - Climatologia sazonal de V10M (m/s) no período 1980-2009 elaborada a partir de CFSR para: (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera. A Baía de Santos aparece em destaque sobre o oceano.

## 5.5 Climatologia da Passagem de Sistemas Frontais na Baía de Santos

A Tabela 5.1 apresenta a média mensal e o total médio anual (soma das médias mensais) de sistemas frontais (SFs) contabilizados a partir das informações fornecidas pela revista Climanálise do CPTEC/INPE para as estações localizadas no domínio da BS, conforme apresentado na metodologia, para o período de jan/1996 a dez/2013 (18 anos). Para a estação mais ao sul da BS (Florianópolis/SC) a média geral de passagens de sistemas frontais foi de 3,6 sistemas por mês, enquanto que para a estação mais ao norte (Cabo Frio/RJ) a média foi de 2,5 sistemas por mês. Nota-se que as estações mais ao sul (Paranaguá e Florianópolis) apresentam maior número de passagem de sistemas frontais no mês de julho enquanto as demais estações apresentam maior frequência de passagem

de SF em setembro. Em algumas estações, as menores médias mensais se repetem em dois meses distintos, mas de maneira geral, todas as estações tem uma menor frequência no mês de janeiro, exceto Florianópolis, onde a menor frequência é registrada no mês de fevereiro. É importante ressaltar que os SFs não são os únicos sistemas que ocasionam precipitação na região de estudo, logo mesmo janeiro e fevereiro sendo os meses com menor incidência desse sistema, os acumulados de precipitação da região são elevados. Concordando com a literatura, o total médio anual é maior nas estações localizadas mais a sul e diminui com a redução da latitude.

Tabela 5.1 -Frequência média mensal e total anual de sistemas frontais contabilizados a partir dos dados fornecidos mensalmente pela revista Climanálise do CPTEC/INPE no período de janeiro/1996 a dezembro/2013. As células realçadas em azul mostram os meses de mínima frequência média de SF e as em amarelo a máxima frequência média.

	Estações						
	Cabo Frio (RJ)	Rio de Janeiro (RJ)	Ubatuba (SP)	Santos (SP)	Iguape (SP)	Paranaguá (PR)	Florianópolis (SC)
<b>Janeiro</b>	1,4	1,7	2,1	2,4	2,6	2,7	3,0
<b>Fevereiro</b>	1,4	1,8	2,2	2,6	2,7	2,7	2,7
<b>Março</b>	1,6	2,0	2,1	2,4	2,6	2,8	3,0
<b>Abril</b>	2,4	2,6	2,8	2,8	2,8	2,9	3,1
<b>Maiο</b>	3,3	3,6	3,5	3,4	3,4	3,2	3,6
<b>Junho</b>	2,6	3,1	3,4	3,8	3,8	3,6	3,8
<b>Julho</b>	3,1	3,4	3,8	3,9	4,1	4,2	4,5
<b>Agosto</b>	2,9	3,3	3,5	3,8	3,8	3,7	4,2
<b>Setembro</b>	3,5	3,8	4,2	4,3	4,3	4,1	4,3
<b>Outubro</b>	3,1	3,4	3,7	4,0	4,1	4,1	4,1
<b>Novembro</b>	2,7	3,2	3,3	3,7	3,7	3,7	3,9
<b>Dezembro</b>	2,6	3,1	3,3	3,4	3,7	3,7	3,9
<b>Total anual</b>	30,4	35,0	37,8	40,6	41,5	41,3	44,0

Os valores aqui encontrados concordam parcialmente com os apresentados por OLIVEIRA (1986) para a região da banda C, principalmente para as estações de maior latitude (Florianópolis e Paranaguá). As estações de menor latitude (Rio de Janeiro e Cabo Frio) apresentam resultados mais próximos da Banda D. Os resultados de CAVALCANTE e KOUSKY (2003) para toda a América do Sul mostram que a maior ocorrência de SFs ocorre de maio a setembro, mas para as estações na BS percebe-se um

período um pouco menor, de julho a setembro. O período de menor frequência de SF encontrado por esses autores vai de dezembro a fevereiro, mas neste estudo encontrou-se um período ligeiramente defasado, entre janeiro e março.

Comparando os resultados da Tabela 5.1 com os encontrados para a região 6 de ANDRADE (2005) percebe-se que o método aplicado por essa autora identifica um maior número de SF na região do que o monitoramento efetuado pela revista *Climá nálise* do CPTEC/INPE.

## 5.6 Climatologia da atuação de ZCAS na Bacia de Santos

Nesta subseção são apresentados os resultados da climatologia anual de ZCAS que atuaram sobre o Brasil e sobre a BS no período de outubro de 1995 a abril de 2013 (18 verões). A Figura 5.5 mostra a quantidade total de eventos observados no Brasil em cada verão e o número de eventos onde o eixo da ZCAS esteve configurado sobre a região da BS e continente adjacente. Como a área da BS é muito extensa, apenas casos em que o eixo da ZCAS se localizou sobre a região central do estado do Espírito Santo ou mais ao norte foram excluídos da contabilização. Nota-se, portanto uma frequência ligeiramente inferior de eventos de ZCAS sobre a BS, em comparação com o número total de eventos. Em média são registrados 7 eventos de ZCAS por verão sobre o Brasil sendo que 5 deles se estabelecem sobre a BS. A Figura 4.23 exibe uma grande variabilidade interanual no número de eventos de ZCAS, com apenas 1 evento sobre a BS no verão de 1999 enquanto 10 se estabeleceram no verão de 2009.

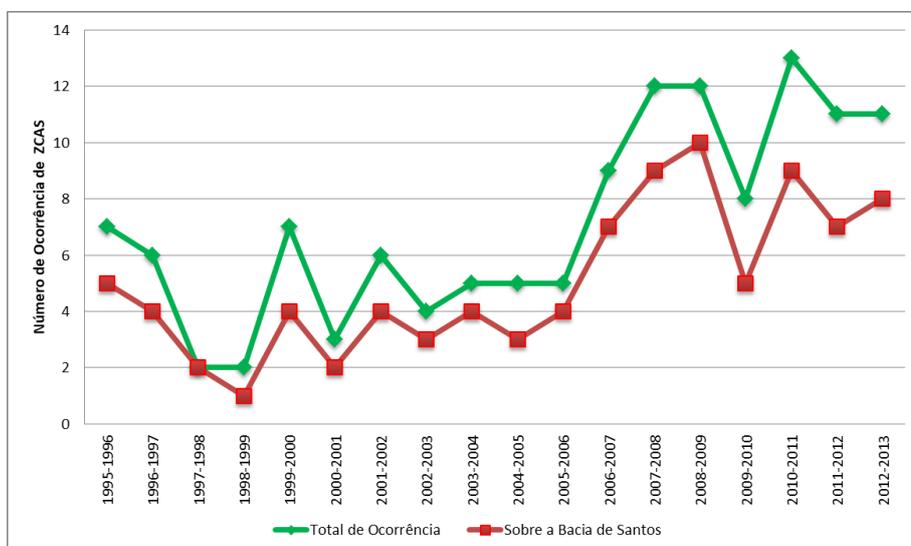


Figura 5.5 - Frequência anual de ocorrência de ZCAS sobre o Sudeste do Brasil (linha verde) e sobre a Bacia de Santos (linha vermelha) entre os verões de 1996 e 2013.

Também é possível notar na Figura 5.5 um aumento no número de ZCAS ao longo do tempo, principalmente a partir de 2006. Tal aspecto precisa ser examinado com cautela, uma vez que o método utilizado para detecção do evento e registrado no Boletim Climanalise do CPTEC/INPE, é subjetivo. Dessa forma, provavelmente esse aumento recente do número de ZCAS, pode estar relacionado ao maior entendimento sobre o fenômeno, que foi descrito pela primeira vez em KOUSKY (1988). Ademais, atualmente alguns centros de previsão, incluindo o CPTEC/INPE, utilizam a modelagem numérica como ferramenta de auxílio na sua detecção, permitindo ao previsor registrar sua ocorrência antecipadamente e, portanto reportando um número maior de eventos do que na década de 1990.

## 6 Conclusões

Neste trabalho elabora-se uma climatologia da BS. Inicialmente avalia-se a performance da Reanálise CFSR para representar o clima da região de estudo. Os dados de PNMM, T2M, UR2M, DIR10 e V10M do CFSR, obtidos através de 2 métodos, são comparados com aqueles registrados por quatro boias do PNBOIA fundeadas na região em estudo. O primeiro método utiliza apenas o valor do ponto de grade da Reanálise mais próximo à cada boia (CFSR0). O segundo método utiliza nove pontos de grade (8 ao redor da boia e o ponto mais próximo) e a partir de uma interpolação, levando em consideração a distância ao quadrado, obtêm-se um valor representativo do CFSR (CFSRPond).

A avaliação do CFSR é feita objetivamente através das métricas estatísticas CORR, BIAS, RMSE e DP e subjetivamente através da inspeção visual dos gráficos de dispersão, ciclos diurno e anual. A seguir são elaborados campos climatológicos sazonais do período 1981-2010 para cada variável em estudo e uma climatologia de passagem de SFs e de ocorrência de ZCAS sobre a BS no período de 1996 à 2013, a partir das edições mensais da Revista Climanálise do CPTEC/INPE.

Os resultados da avaliação do CFSR utilizando os métodos CFSR0 e CFSRPond indicam diferenças pouco significativas entre os dois. Dessa forma, o aumento do custo computacional associado ao método CFSRPond não se justifica.

Durante a etapa de avaliação do CFSR foi possível identificar alguns problemas nos dados observacionais das boias de Cabo Frio e Cabo Frio 2 invertendo-se, portanto, a lógica esperada nesta etapa do trabalho. Para a boia de Cabo Frio, sua série temporal com grandes períodos de falhas, limita a elaboração do ciclo anual de todas as variáveis. No caso da boia de Cabo Frio 2, seu curto período de observação, com ausência de dados em horários recorrentes, limita a elaboração de seu ciclo diurno.

Os resultados da avaliação do CFSR indicam que a PNMM é a variável melhor representada, com valor de CORR superior a 0,98 nas quatro boias utilizadas na avaliação. Os valores de BIAS encontrados mostram uma superestimativa para as boias de Itajaí e Santos e uma subestimativa para Cabo Frio e Cabo Frio 2. Os valores de RMSE encontrados, da ordem de 1 hPa, são pequenos quando comparados ao DP da observação (em torno de 5 hPa). Nota-se no ciclo anual uma superestimativa para Itajaí e Santos e uma subestimativa para Cabo Frio 2, mas de maneira geral, a Reanálise consegue representar bem a variação da PNMM ao longo do ano. O máximo anual de PNMM

ocorre no mês de julho para todas as boias e o mínimo ocorre em dezembro para as boias de Santos e Cabo Frio 2 e em Fevereiro para Itajaí. Com relação ao ciclo diurno da PNM, nota-se que o CFSR consegue representar bem as marés semi-diurnas dessa variável, com os máximos (mínimos) ocorrendo entre 0 e 2 UTC (6 e 8 UTC) e entre 12 e 14 UTC (18 e 22 UTC).

Na avaliação de T2M nota-se que o CFSR também apresenta bom desempenho para representar essa variável, com elevada CORR (superior a 0,92) e reduzido RMSE ( $\sim 1^{\circ}\text{C}$ ) quando comparado ao desvio padrão da observação ( $\sim 3^{\circ}\text{C}$ ). O Bias indica uma superestimativa para as boias de Santos e Cabo Frio 2 e uma subestimativa em Itajaí. Os valores de correlação encontrados neste estudo são maiores que os encontrados por Lopes (2018) para a AGES, corroborando com a hipótese levantada pelo autor de que as estruturas metálicas presentes na plataforma de petróleo poderiam interferir na medida da T2M. Com relação ao ciclo anual da T2M, o CFSR consegue representar bem a variação sazonal dessa variável, com as temperaturas máximas ocorrendo no mês de fevereiro e as mínimas ocorrendo entre julho e agosto, entretanto a reanálise tende a superestimar os valores máximo e mínimo desse ciclo nas boias de Itajaí e Santos. Na análise do ciclo diurno percebe-se que a Reanálise tende a superestimar a temperatura observada, mas consegue representar bem a baixa amplitude do ciclo diurno devido a influencia do elevado calor específico do oceano que impede grandes variações na temperatura do ar à superfície. A boia de Cabo Frio, por ser mais próxima do litoral, apresenta uma amplitude maior que as demais boias, sendo possível a identificação dos horários de máxima (16 UTC) e mínima temperatura (8 UTC), com uma amplitude de  $1,32^{\circ}\text{C}$ .

Com relação à avaliação de UR2M nota-se valores de CORR de aproximadamente 0,80 nas boias de Itajaí, Santos e Cabo Frio 2. A série temporal de UR2M da boia de Cabo Frio apresenta irregularidades e, portanto, não será utilizada neste trabalho. Para as três boias avaliadas o BIAS indica uma superestimativa, e o RMSE é ligeiramente elevado (aproximadamente 6%), quando comparado ao DP da observação (em torno de 10%). O CFSR consegue representar razoavelmente bem o ciclo anual da UR2M, apresentando uma superestimativa em relação ao dado observado. Os valores máximos (mínimos) foram observados em agosto (março) na boia de Itajaí, em dezembro (maio) em Santos e em dezembro (abril) Cabo Frio 2. A pequena variabilidade inter-sazonal da UR2M encontrada neste trabalho, concorda com DAI (2006), que descreve a UR como relativamente invariante sobre os oceanos. O ciclo diurno apresenta uma variação ínfima

para a UR2M, sendo as amplitudes encontradas de 1,71% em Itajaí, 1,93% em Santos e 3,75% em Cabo Frio 2. Ainda assim é possível notar ciclos de máxima e mínima nas boias de Itajaí e Santos, sendo os maiores valores de UR2M durante a noite e madrugada até o horário de 9 UTC (6 h local), e os menores valores durante parte da manhã e da tarde quando o aquecimento diurno auxilia na diminuição da UR2M.

Para V10M encontrou-se valores discrepantes de correlação entre as boias em estudo. O maior valor foi encontrado para a boia de Cabo Frio 2 (0,85), seguido por Itajaí (0,78) e Santos (0,70). A boia de Cabo Frio apresentou o menor índice de correlação, 0,46. Em relação ao BIAS, nota-se uma subestimativa para as boias de Santos, Itajaí e Cabo Frio e uma superestimativa em relação ao observado em Cabo Frio 2. O RMSE apresenta valores altos, próximos ao DP da observação. Com relação ao ciclo anual, o CFSR representa razoavelmente bem a variabilidade sazonal da V10M, apesar da subestimativa de cerca de 1 m/s nas boias de Itajaí e Santos. Os valores máximos do ciclo anual foram registrados tanto pelo CFSR, quanto pelos dados observados em agosto na boia de Itajaí, novembro em Santos, janeiro em Cabo Frio e Cabo Frio 2, enquanto que os valores mínimos foram registrados em maio em Itajaí, fevereiro em Santos, setembro em Cabo Frio e junho em Cabo Frio 2. Vale ressaltar que os valores de máximo e mínimo encontrados para as boias mais ao norte da BS (Cabo Frio e Cabo Frio 2) concordam com a climatologia elaborada no Capítulo 5. Com relação ao ciclo diurno, apesar da Reanálise não conseguir representar pequenas variações bruscas entre os horários e subestimar os valores observados, ela consegue acompanhar a tendência dos dados, assim como a pequena amplitude desse ciclo, que varia menos de 1m/s no decorrer do dia para todas as boias.

Na análise das rosas dos ventos das 4 boias, nota-se na observação uma predominância de vento na direção nordeste associado ao ASAS, e no octante SO associado a passagem de sistemas transientes. Para a boia de Itajaí o CFSR representa de maneira satisfatória a intensidade e direção do vento, entretanto os ventos de NE associados ao ASAS apresentam-se ligeiramente deslocados, sendo a maior frequência registrada pela Reanálise na direção N e não de NE. Para a Boia de Santos os ventos associados a entrada de sistemas transientes de direção S/SO não são representados pelo CFSR, que coloca apenas uma direção predominante de vento, na direção NE associado ao ASAS. A Reanálise consegue representar muito bem o regime de ventos na boia de Cabo Frio, onde, foi possível perceber a predominância do vento entre as direções NE e

NNE e uma segunda direção predominante de SO. Essa foi a boia em que o regime de vento foi melhor representado pela Reanálise. Por fim, a boia de Cabo Frio 2 também tem seu regime de ventos muito bem representado pelo CFSR. Essa boia apresenta um vento predominante de NE associado ao ASAS, mas não exibe como segunda direção predominante o SW, apesar de nessa direção, ao analisarmos a rosa com os dados observados, ser possível notar a incidência de ventos fortes.

Os campos climatológicos sazonais da PNMM mostram que os menores valores de PNMM na BS ocorrem no verão, quando é possível notar uma região de baixa pressão que engloba toda a região. Nessa estação do ano também são encontrados os maiores gradientes horizontais de pressão. No outono, quando ASAS começa a se deslocar em direção ao continente a PNMM começa a se elevar, atingindo os máximos valores no inverno quando o ASAS está em sua posição mais ao norte e mais próximo ao continente Sul-Americano. Na primavera a pressão diminui e o gradiente horizontal de pressão volta a se intensificar a medida que o centro do ASAS se afasta do continente.

Para os campos de T2M, a climatologia sazonal elaborada a partir do CFSR mostra que quase não há gradiente horizontal de temperatura entre a costa brasileira e a longitude de 30°O, entretanto existe uma grande diferença entre a temperatura sobre a superfície oceânica e a continental, devido à diferença entre os valores de calor específico dessas duas superfícies. Em todas as estações do ano é possível notar a influência da Corrente quente do Brasil na T2M ao longo da costa brasileira, conforme descrito por LEGATES e WILLMOTT (1990). No verão a temperatura na BS varia entre 24 e 26°C. Um maior gradiente de temperatura começa a surgir na região durante o outono, com temperaturas variando entre 23 e 26°C e se intensifica no inverno, sendo encontrado uma variação de T2M de 18 e 22°C na região. Na primavera o gradiente de temperatura na BS diminui e a temperatura volta a se elevar atingindo valores entre 20 e 22°C. Os resultados aqui encontrados discordam da climatologia de LEGATES e WILLMOTT (1990), que atribuem para a região temperaturas médias variando entre 25 e 27,5°C. Tal diferença pode estar associada a quantidade de dados disponíveis para a interpolação daquele artigo.

Com relação a UR2M, os campos climatológicos mostram uma variação entre 75 e 85% sobre a região da BS ao longo de todas as estações do ano, concordando com os valores climatológicos encontrados por DAI (2006) e PEIXOTO e OORT (1996). Sazonalmente, tem-se que no verão e na primavera a maior parte da extensão da BS

apresenta valores médios de umidade acima de 80% enquanto que no outono e no inverno a umidade não ultrapassa o limiar de 80% na região de estudo.

Nos campos de climatologia sazonal de V10M nota-se que ao longo de todo o ano a BS fica situada na borda oeste do ASAS, onde a direção predominante do vento é de NE. Os maiores valores de intensidade do vento foram encontrados durante o verão e a primavera, justamente quando os gradientes de pressão estão mais intensos. Durante o outono conforme o ASAS se desloca em direção ao interior do continente Sul-Americano, a intensidade do vento na BS reduz-se até que atinge o mínimo (1,5 m/s) no inverno, tornando a se intensificar na primavera.

Os resultados da climatologia de SFs mostram uma maior frequência de passagem desses sistemas nas estações mais ao sul, concordando com os valores associados a banda C descrita por OLIVEIRA (1986) enquanto que a frequência encontrada para as estações mais ao norte estão mais próximas aos valores associados a banda D descrita nesse mesmo trabalho. Uma provável causa para essa diferença é a localização das estações mais ao norte, muito próximas a interface entre as bandas C e D. Os meses de maior (menor) frequência de SF concordam parcialmente com o encontrado por CAVALCANTE e KOUSKY (2009), sendo julho, agosto e setembro (janeiro, fevereiro e março).

A climatologia da ZCAS mostra que em média são registrados 7 eventos de ZCAS por verão sendo 5 deles sobre a BS. Vale ressaltar que como a BS é muito extensa, apenas casos em que o eixo da ZCAS se localizou sobre a região central do estado do Espírito Santo ou mais ao norte não foram contabilizados, dessa forma é possível observar que grande parte das ZCAS registradas atuaram na área de interesse.

Por fim, apesar dos problemas pontuados, considera-se que a Reanálise CFSR apresenta bons resultados para a representação das variáveis analisadas na região da BS, sendo seus dados úteis e viáveis para estudos na região.

## 7 Referências Bibliográficas

- ALVAREZ, I. et al. Comparison of different wind products and buoy wind data with seasonality and interannual climate variability in the southern Bay of Biscay (2000–2009). *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, [s. l.], v. 106, p. 38–48, 2014. Disponível em:  
<<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S096706451300369X>>
- ANDRADE, K.M. Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul. Dissertação de Mestrado - INPE/SJC, São José dos Campos – SP, 2005.
- ANSCOMBE, F. J. Graphs in Statistical Analysis. *The American Statistician*, [s. l.], v. 27, n. 1, p. 17, 1973. Disponível em:  
<<https://www.jstor.org/stable/2682899?origin=crossref>>
- BROCK, F. V; RICHARDSON, S. J. C. N.-Q. . B. 2001. *Meteorological measurement systems*. New York: Oxford University Press, 2001.
- CAVALCANTI, I.F.A., KOUSKY, V. Tempo e Clima no Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. Frentes frias sobre o Brasil, pp. 135-145.
- DAI, A. Recent Climatology, Variability, and Trends in Global Surface Humidity. *Journal of Climate*, [s. l.], v. 19, n. 15, p. 3589–3606, 2006. Disponível em:  
<<http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/JCLI3816.1>>
- DERECZYNSKI, C. P.; MENEZES, W. F. METEOROLOGIA DA BACIA DE CAMPOS. In: *Meteorologia e Oceanografia*. [s.l.] : Elsevier, 2015. p. 1–54.
- Ek, M. B., et al., 2003: Implementation of Noah land surface model advances in the National Centers for Environmental Prediction operational mesoscale Eta model. *J. Geophys. Res.*, 2003.
- GRIFFIES, S. M. et al. Developments in ocean climate modelling. *Ocean Modelling*, [s. l.], v. 2, n. 3–4, p. 123–192, 2000. Disponível em:  
<<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1463500300000147>>
- KOUSKY, V. E. Pentad Outgoing Longwave Radiation Climatology for the South

American Sector. Revista Brasileira de Meteorologia, 1988, v. 3, p. 217–231.

LEGATES, D. R.; WILLMOTT, C. J. Mean seasonal and spatial variability in global surface air temperature. Theoretical and Applied Climatology, [s. l.], v. 41, n. 1–2, p. 11–21, 1990. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/BF00866198>>

LOPES, I.R. Avaliação da performance da Reanálise CFSR para caracterizar o clima da Bacia do Espírito Santo e parte norte da Bacia de Campos. Monografia – Departamento de Meteorologia/UFRJ, Rio de Janeiro – RJ, 2018.

LÜPKES, C. et al. Meteorological observations from ship cruises during summer to the central Arctic: A comparison with reanalysis data. Geophysical Research Letters, [s. l.], v. 37, n. 9, p. n/a-n/a, 2010. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1029/2010GL042724>>

MOONEY, P. A.; MULLIGAN, F. J.; FEALY, R. Comparison of ERA-40, ERA-Interim and NCEP/NCAR reanalysis data with observed surface air temperatures over Ireland. International Journal of Climatology, [s. l.], v. 31, n. 4, p. 545–557, 2011. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/joc.2098>>

OLIVEIRA, A. S. Interações entre sistemas frontais na América do Sul e a convecção na Amazônia. Dissertação de Mestrado - INPE/SJC, São José dos Campos – SP, p. 115, 1986.

PEIXOTO, J.; OORT, A. H. The Climatology of Relative Humidity in the Atmosphere. Journal of Climate, [s. l.], v. 9, n. 12, p. 3443–3463, 1996. Disponível em: <<http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0442%281996%29009%3C3443%3ATCORHI%3E2.0.CO%3B2>>

PETROBRAS, Projeto de caracterização regional da área geográfica da bacia do Espírito Santo e parte norte da bacia de Campos. Petrobras, Rio de Janeiro, 2016, Relatório I.

PETROBRAS, Projeto de caracterização regional da bacia de Sergipe-Alagoas. Petrobras, Rio de Janeiro, 2017, Etapa III, Relatório IV.

PETROBRAS. Bacias. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/principais-operacoes/bacias/>>.

PETROBRAS. Pré-Sal. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/areas-de-atuacao/exploracao-e-producao-de-petroleo-e-gas/pre-sal/>>.

SAHA, S. et al. The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, [s. l.], v. 91, n. 8, p. 1015–1058, 2010. Disponível em: <<http://journals.ametsoc.org/doi/10.1175/2010BAMS3001.1>>

SAHA, S. et al. The NCEP Climate Forecast System Version 2. *Journal of Climate*, [s. l.], v. 27, n. 6, p. 2185–2208, 2014. Disponível em: <<http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/JCLI-D-12-00823.1>>

WILKS, D. S. *Statistical methods in the atmospheric sciences*. 2nd ed ed. Amsterdam ; Boston: Academic Press, 1995.

WORLD METEOROLOGY ORGANIZATION. *General meteorological standards and recommended practices*. WMO n° 49. Secretariat of the World Meteorological Organization. Geneva, 2017

WORLD METEOROLOGY ORGANIZATION. *Guide to Climatological Practices*. WMO n° 100. Secretariat of the World Meteorological Organization. Geneva, 2011

WORLD METEOROLOGY ORGANIZATION. *Guidelines on the Calculation of Climate Normals*. WMO n° 1203. Secretariat of the World Meteorological Organization. Geneva, 2017