



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

DESEMPENHO DAS PREVISÕES SAZONAIS DO MODELO ETA ANINHADO AO MODELO BESM DO INPE

Roberto Leo dos Santos Baltazar

Relatório Final de Iniciação Científica do
programa PIBIC/INPE, orientada pela PhD.
Chou Sin Chan e Dra. Claudine Pereira
Dereczynski.

INPE
São José dos Campos
2021

RESUMO

Modelos climáticos globais são ferramentas importantes para a simulação do tempo e clima, porém as baixas resoluções de suas previsões sazonais fornecem informações limitadas para o planejamento e atuação em áreas de interesse de escala local. Modelos climáticos regionais permitem a redução da escala e o detalhamento adicional das previsões geradas por modelos globais, o que possibilita previsões destinadas a áreas mais limitadas e com fins mais específicos. O aumento da resolução também permite uma maior capacidade de prever eventos extremos, importante na gestão de crises hídricas e na prevenção de perdas de vidas em desastres naturais. O objetivo deste trabalho é avaliar as previsões climáticas sazonais do modelo regional Eta aninhado ao modelo global BESM, ambos modelos desenvolvidos pelo INPE, em eventos extremos no país, assim como a investigação das forçantes climáticas predominantes durante os eventos de extremos climáticos ocorridos na região da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. O modelo regional Eta fornece previsões climáticas sazonais cobrindo todo o território do Brasil em uma resolução de 40 km. As previsões sazonais consideradas do modelo Eta-40km utilizam as temperaturas da superfície do mar (TSM) previstas pelo modelo BESM. A avaliação das previsões sazonais climáticas do modelo Eta40km-BESM consistiu na comparação de índices de desempenho das previsões para um conjunto de anos de eventos de extrema seca e de extremo chuvoso na região Sudeste, sendo considerado apenas os meses de dezembro, janeiro e fevereiro da estação chuvosa, dos anos de 1987 a 2010. Os índices foram calculados a partir da comparação dos valores previstos pelo modelo e valores de reanálise do ERA5 para temperatura do ar, temperatura a 2m, pressão a nível médio do mar, movimento vertical e altura geopotencial. Comparou-se a precipitação prevista com as observações do Multi-Source Weighted-Ensemble Precipitation (MSWEP). Foram calculadas as métricas: ME, RMSE, anomalia, desvio padrão e coeficiente de correlação de Pearson para previsões nos horários de 00, 06, 12 e 18 UTC de cada variável. Os resultados preliminares indicam que o sistema Eta40km-BESM foi capaz de prever os 3 eventos extremos chuvosos identificados no período estudado, falhou em prever o evento seco mais intenso e previu o segundo seco mais intenso. Em geral, houve subestimativa de precipitação prevista em anos de anomalias positivas observadas e superestimativa de chuva na previsão de anos com anomalias negativas observadas. Nas próximas etapas do trabalho a série estudada será para incluir mais casos extremos, será realizada a investigação das origens das anomalias de chuva e identificação de possíveis padrões.

Palavras-chave: Previsões climáticas. América do Sul. Avaliação de modelos.

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 4.1 - Anomalias de precipitação (mm) previstas pelo Eta40km-BESM e observadas pelo MSWEP na América do Sul, para o período de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) dos anos de 1988 até 2010.	7
Figura 4.2 - Erro médio de precipitação (mm) das previsões do Eta40km-BESM para o período de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) dos anos de 1988 até 2010.	10
Figura 4.3 – Coeficientes de correlação entre as previsões de precipitação do Eta40km-BESM e a precipitação observada pelo MSWEP, para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro do período de 1988-2010.	11
Figura 4.4 - Anomalias de precipitação (mm) previstas pelo Eta40km-BESM e observadas pelo MSWEP no Sudeste do Brasil, para o período de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) dos anos de 1988 até 2010.	12
Figura 4.5 - Série temporal de anomalias padronizadas de precipitação do MSWEP no Sudeste, para o período de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) dos anos de 1988 até 2010. Tons de azul e vermelho escuros indicam anos em que a anomalia observada ultrapassou o valor de ± 1 desvio padrão.	14
Figura 4.6 - Série temporal de anomalias padronizadas de precipitação do Eta40km-BESM e do MSWEP no Sudeste, para o período de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) dos anos de 1988 até 2010. Tons de azul e vermelho escuros indicam anos em que a anomalia prevista ou observada ultrapassou o valor de ± 1 desvio padrão.	16
Figura 4.7 – Anomalias médias de temperatura do ar a 2m ($^{\circ}\text{C}$) previstas pelo Eta40km-BESM e observadas pelo ERA5 na América do Sul, para o período de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) dos anos de 1988 até 2010.	18
Figura 4.8 – Erro médio de temperatura do ar a 2m ($^{\circ}\text{C}$) das previsões do Eta40km-BESM, para o período de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) dos anos de 1988 até 2010.	21
Figura 4.9 - Coeficientes de correlação entre as previsões de temperatura do ar a 2m do Eta40km-BESM e valores observados pelo ERA5, para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro do período de 1988-2010.	22

Figura 4.10 - Anomalias médias de temperatura do ar a 850 hPa (°C) previstas pelo Eta40km-BESM e observadas pelo ERA5 na América do Sul, para o período de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) dos anos de 1988 até 2010.	25
Figura 4.11 - Erro médio de temperatura a 850 hPa (°C) das previsões do Eta40km-BESM, para o período de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) dos anos de 1988 até 2010.	28
Figura 4.12 - Coeficientes de correlação entre as previsões de temperatura do ar a 850 hPa do Eta40km-BESM e valores observados pelo ERA5, para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro do período de 1988-2010.	29
Figura 4.13 - Anomalias médias de temperatura do ar a 500 hPa (°C) previstas pelo Eta40km-BESM e observadas pelo ERA5 na América do Sul, para o período de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) dos anos de 1988 até 2010, exceto 1991.	31
Figura 4.14 - Erro médio de temperatura a 500 hPa (°C) das previsões do Eta40km-BESM, para o período de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) dos anos de 1988 até 2010, exceto 1991.	34
Figura 4.15 - Coeficientes de correlação entre as previsões de temperatura do ar a 500 hPa do Eta40km-BESM e valores observados pelo ERA5, para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro do período de 1988-2010, exceto 1991.	35
Figura 4.16 - Anomalias médias de temperatura do ar a 250 hPa (°C) previstas pelo Eta40km-BESM e observadas pelo ERA5 na América do Sul, para o período de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) dos anos de 1988 até 2010, exceto 1991 e 200. ...	37
Figura 4.17 - Erro médio de temperatura do ar a 250 hPa (°C) das previsões do Eta40km-BESM, para o período de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) dos anos de 1988 até 2010, exceto 1991 e 2010.	40
Figura 4.18 - Coeficientes de correlação entre as previsões de temperatura do ar a 250 hPa do Eta40km-BESM e valores observados pelo ERA5, para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro do período de 1988-2010, exceto 1991 e 2010.	41
Figura 4.19 - Anomalias médias de pressão a nível médio do mar (hPa) previstas pelo Eta40km-BESM e observadas pelo ERA5 na América do Sul, para o período de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) dos anos de 1988 até 2010.	43

Figura 4.20 - Erro médio de pressão a nível médio do mar (hPa) das previsões do Eta40km-BESM, para o período de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) dos anos de 1988 até 2010.	46
Figura 4.21 - Coeficientes de correlação entre as previsões de pressão a nível médio do mar do Eta40km-BESM e valores observados pelo ERA5, para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro do período de 1988-2010.	47
Figura 4.22 - Anomalias médias de movimento vertical a 500 hPa (Pa/s) previstas pelo Eta40km-BESM e observadas pelo ERA5 na América do Sul, para o período de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) dos anos de 1988 até 2010.	49
Figura 4.23 - Erro médio de movimento vertical a 500 hPa (Pa/s) das previsões do Eta40km-BESM, para o período de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) dos anos de 1988 até 2010.	52
Figura 4.24 - Coeficientes de correlação entre as previsões de movimento vertical a 500 hPa do Eta40km-BESM e valores observados pelo ERA5, para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro do período de 1988-2010.	53
Figura 4.25 - Anomalias médias de altura geopotencial a 850 hPa (mgp) previstas pelo Eta40km-BESM e observadas pelo ERA5 na América do Sul, para o período de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) dos anos de 1988 até 2010, exceto 1995 e 2003. .	55
Figura 4.26 - Erro médio de altura geopotencial a 850 hPa (mgp) das previsões do Eta40km-BESM, para o período de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) dos anos de 1988 até 2010, exceto 1995 e 2003.	57
Figura 4.27 - Coeficientes de correlação entre as previsões de altura geopotencial a 850 hPa do Eta40km-BESM e valores observados pelo ERA5, para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro do período de 1988-2010, exceto 1995 e 2003.	58
Figura 4.28 - Anomalias médias de altura geopotencial a 500 hPa (mgp) previstas pelo Eta40km-BESM e observadas pelo ERA5 na América do Sul, para o período de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) dos anos de 1988 até 2010.	60
Figura 4.29 - Erro médio de altura geopotencial a 500 hPa (mgp) das previsões do Eta40km-BESM, para o período de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) dos anos de 1988 até 2010.	62

Figura 4.30 - Coeficientes de correlação entre as previsões de altura geopotencial a 500 hPa do Eta40km-BESM e valores observados pelo ERA5, para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro do período de 1988-2010. 63

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
BESM	Modelo Brasileiro do Sistema Terrestre
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
EM	Erro médio

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos Gerais e Específicos.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
3 DADOS E METODOLOGIA	3
4 RESULTADOS	5
4.1 Precipitação – DJF	5
4.2 Precipitação no Sudeste – DJF	11
4.3 Temperatura a 2 metros – DJF	16
4.4 Temperatura do ar em níveis de pressão – DJF	22
4.4.1 Temperatura do ar a 850 hPa	22
4.4.2 Temperatura do ar a 500 hPa	29
4.4.3 Temperatura do ar a 250 hPa	35
4.5 Pressão a nível médio do mar – DJF	41
4.6 Movimento vertical a 500 hPa – DJF	47
4.7 Altura geopotencial em níveis de pressão – DJF	53
4.7.1 Altura geopotencial a 850 hPa	53
4.7.2 Altura geopotencial a 500 hPa	58
5 CONCLUSÃO	63
5.1 Próximos Passos.....	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66

1 INTRODUÇÃO

A variabilidade climática se refere a flutuações do clima acima ou abaixo da média climatológica a longo prazo. Essas oscilações podem apresentar valores extremos, geralmente resultando em grandes prejuízos e perdas de vidas quando enfrentados com despreparo. Eventos extremos de variabilidade climática na precipitação podem ocasionar em crises hídricas e, conseqüentemente, energéticas em períodos de seca extrema, enquanto períodos extremos chuvosos podem causar desastres como inundações, deslizamentos e escorregamentos de terra. Nesse sentido, previsões sazonais de precipitação, geradas através de modelos numéricos, são muito úteis pois permitem identificar a qualidade da estação chuvosa com alguns meses de antecedência.

Modelos climáticos globais são instrumentos capazes de realizar previsões de tempo e clima em grande escala, porém suas baixas resoluções resultam em previsões sazonais consideradas grosseiras para o planejamento e atuação em escala local. A redução da escala das previsões se torna possível através da implementação de modelos regionais climáticos, que adicionam detalhamento adicional às previsões dos modelos globais. Os modelos regionais utilizam condições iniciais, de contorno lateral e inferior fornecidas pelos modelos globais, que introduzem informações sobre a circulação atmosférica de grande escala enquanto o modelo regional agrega informações detalhadas do clima em escala local. O aumento da resolução permite que previsões sejam feitas para áreas mais limitadas e com fins mais específicos, além de permitir uma melhor reprodução de eventos extremos climáticos.

1.1 Objetivos Gerais e Específicos

Este trabalho tem como objetivo geral estudar o desempenho das previsões sazonais do modelo climático regional Eta (Mesinger et al., 2012; Chou et al., 2020) aninhado ao modelo global BESM, ambos desenvolvidos pelo INPE. Com isso em mente, constatam-se os seguintes objetivos específicos:

I. Avaliar as previsões climáticas sazonais do modelo Eta aninhado ao modelo BESM em eventos extremos no país;

II. Investigar as forçantes climáticas predominantes durante os eventos de extremos climáticos ocorridos na região da bacia Hidrográfica do Rio São Francisco.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Previsões sazonais geradas por modelos climáticos globais geralmente possuem detalhamento insuficiente para a tomada de ações em escalas locais, devido à baixa resolução dos modelos. Ao mesmo tempo, a utilização de modelos climáticos globais de alta resolução exige recursos computacionais cujo acesso ainda é bastante limitado, tornando a redução de escala através de modelos climáticos regionais uma opção mais viável para gerar previsões sazonais mais detalhadas (Laprise et al. 2000). A primeira tentativa de explorar a aplicação de modelos regionais para a redução da escala de previsões na América do Sul foi feita por Chou et al. (2000), aninhando o modelo regional Eta ao modelo global do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). Chou et al. (2000), assim como Menéndez et al. (2001), Nicolini et al. (2002) e Misra et al. (2002), conseguiram demonstrar que as previsões do modelo climático global foram melhoradas pelo modelo regional Eta, sendo capaz de reproduzir anomalias climáticas observadas. Os autores também destacaram a utilidade de modelos regionais climáticos aninhados a modelos globais para previsões climáticas.

Chou et al. (2020) avaliou 10 anos de previsões retrospectivas regionais sobre a América do Sul do modelo climático regional Eta com resolução 40km, aninhado ao modelo global do CPTEC, realizando comparações a dados observacionais. Chou et al. (2020) encontrou que as previsões subestimaram os valores de precipitação na porção central do Brasil durante o verão, enquanto superestimou a precipitação no Sul e ao longo da costa leste brasileira durante o inverno. Resultados de *skill score* também indicaram a habilidade do modelo de reproduzir a variabilidade interanual das anomalias de precipitação na porção norte do continente sul-americano. No Brasil, a habilidade de previsão encontrada foi mais alta nas regiões Norte e Nordeste, com o Sul demonstrando habilidade moderada e o Sudeste valores mais baixos. O estudo também encontrou que as habilidades de previsão

durante os eventos extremos de El Niño e La Niña se mostraram mais altas do que durante anos neutros, além de demonstrar maior habilidade em comparação a previsões de modelos climáticos globais. Em geral, Chou et al. (2020) encontrou que o processo de redução de escala das previsões a partir da aplicação do modelo regional Eta ao modelo global do CPTEC adicionou valor às previsões sazonais sobre a América do Sul, com efeito visível durante as estações chuvosas de DJF a MAM, assim como durante a estação de transição SON. Concluiu-se que as previsões sobre a América do Sul com o modelo climático regional Eta acoplado ao modelo climático global do CPTEC demonstraram maior resolução, provendo informações mais detalhadas e uma maior habilidade de previsão sazonal de precipitação.

Anteriormente, Chou et al. (2005) gerou e avaliou em seu trabalho previsões sazonais do modelo Eta sobre a América do Sul, focando na previsibilidade de precipitação em períodos de tempo em escalas sazonais, mensais e semanais. O modelo constava de uma resolução de 40 km e utilizou previsões do modelo climático global do CPTEC como contorno lateral. Chou et al. (2005) encontrou que as previsões sazonais do modelo Eta apresentavam valores totais comparáveis aos observados, além de representar bem os sistemas de precipitação de larga escala sobre a América do Sul, como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). As previsões do modelo Eta demonstraram maior habilidade de previsão de precipitação sobre a região amazônica e menor sobre o nordeste brasileiro. Valores totais de precipitação indicaram que o modelo conseguiu capturar a variabilidade intrasazonal, como o início da monção. Comparações com as previsões do modelo climático global do CPTEC demonstraram uma melhora ao utilizar o modelo Eta em suas previsões, e comparações com a climatologia indicaram que as previsões sazonais do modelo Eta produziram informações úteis adicionais.

3 DADOS E METODOLOGIA

O Modelo Brasileiro do Sistema Terrestre (BESM - *Brazilian Earth System Model*) é um modelo climático global acoplado oceano-atmosfera que vem sendo desenvolvido e aprimorado pelo INPE (Nobre et al., 2013), cuja versão mais recente possui componente

atmosférica de resolução T62L28 (resolução horizontal de aproximadamente 200 km e 28 níveis verticais) representada pelo modelo de circulação geral atmosférico do INPE. A sua componente oceânica é representada pelo MOM5 (Modular Ocean Model version 5), modelo de circulação geral oceânica do GFDL (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory) que possui 50 níveis e resolução horizontal variando 0,25° entre 10°S e 10°N, 1° entre 10°N/S e 45°N/S e 2° entre 45°N/S e 90°N/S. A resolução do modelo é constante de 1° em longitude.

O modelo Eta se trata de um modelo climático regional desenvolvido pela Universidade de Belgrado junto ao Instituto de Hidrometeorologia da Iugoslávia (Mesinger et al. 1988), que entrou em operação no National Centers for Environmental Prediction (NCEP) (Black 1994) e foi implementado em 1996 no Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), onde tem gerado previsões sazonais desde 2001. (Chou et al., 2020; Chou et al 2005; Chou, 1996).

Foram consideradas neste trabalho as previsões do modelo regional Eta aninhado ao modelo global BESM, realizadas para as variáveis de precipitação, temperatura do ar a 2 metros, temperatura do ar em 850, 500 e 250 hPa, pressão a nível médio do mar, movimento vertical a 500 hPa e altura geopotencial a 850 e 500 hPa. Foram geradas previsões nos horários de 00, 06, 12 e 18Z para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro no período de 1988-2010 (23 anos), cobrindo o domínio da América do Sul. As previsões do modelo Eta40km-BESM foram comparadas aos dados observacionais de mesmo horário e período para a avaliação de seu desempenho. Foram utilizados dados de observação obtidos pelo *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts ReAnalysis 5* (ERA5) (Hersbach et al., 2020) para as variáveis de temperatura a 2 metros, temperatura do ar, pressão a nível médio do mar, movimento vertical e altura geopotencial, enquanto dados do *Multi-Source Weighted-Ensemble Precipitation* (MSWEP) (Beck et al., 2019) foram utilizados para precipitação. Para cada variável, foram calculadas as métricas de erro médio, raiz do erro quadrático médio, anomalia, desvio padrão e coeficiente de correlação de Pearson.

Para a avaliação dos eventos extremos de precipitação, foram calculadas médias espaciais dos valores de anomalia padronizada em um recorte da região Sudeste do Brasil (26°-14°S e 53°-39°W) para cada ano estudado, obtendo-se uma série de valores

unidimensionais de anomalia padronizada do Eta40km-BESM e do MSWEP. Os anos de eventos extremos foram definidos através da série do MSWEP, como aqueles cujo valor da anomalia ultrapassou 1 desvio padrão positivo (extremo chuvoso) ou negativo (extremo seco). Foram encontrados 3 anos de eventos extremos chuvosos e 2 anos de eventos extremos secos, sendo que o objetivo inicial do trabalho visava selecionar pelo menos 10 anos para cada tipo de extremo. Nas etapas futuras, busca-se estender a série de anos das previsões a fim de se obter uma amostra maior de eventos extremos.

A série atual do trabalho foi definida pela disponibilidade de anos com previsões retrospectivas do modelo Eta40km-BESM e originalmente constava de 30 anos, possuindo período de 1981-2010, porém precisou ser reduzida por conta de erros detectados na configuração das previsões dos anos de 1981-1986.

4 RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados de avaliação do modelo Eta40km-BESM para a temperatura do ar a 2 metros de altura (T2m) e precipitação no período de verão (Dez-Jan-Fev), confrontando-os com os dados da Reanálise ERA5.

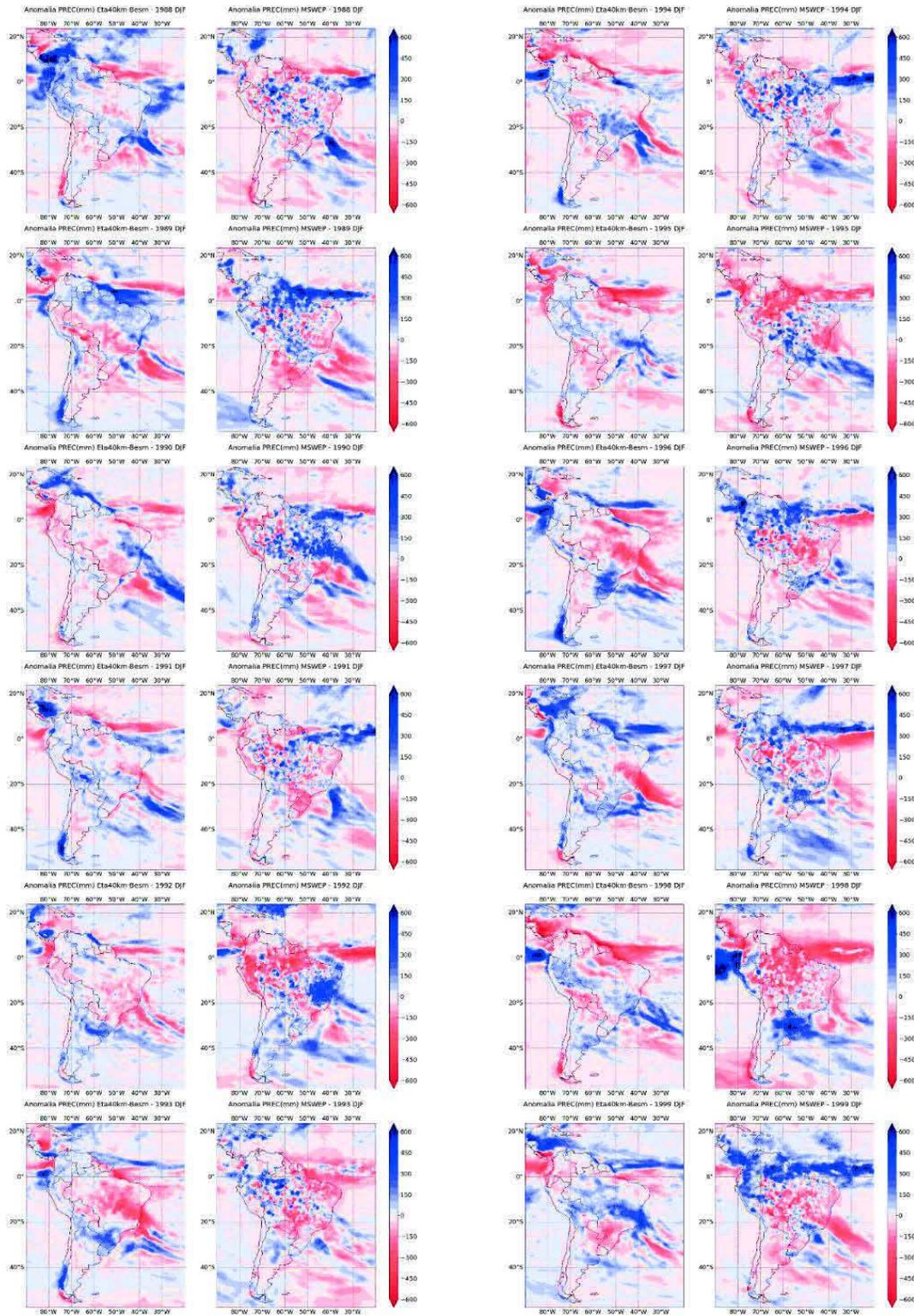
4.1 Precipitação – DJF

A figura 4.1 mostra a comparação entre a previsão das anomalias de precipitação do Eta40km-BESM e das observações do MSWEP para Dez-Jan-Fev dos anos de 1988 até 2010 (23 anos). Os EM para o mesmo período são apresentados na Figura 4.2. Os coeficientes de correlação entre as previsões e observações da variável para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro são apresentados na figura 4.3.

Na figura 4.1, é possível notar que as previsões do modelo climático regional Eta40km-BESM não foram capazes de reproduzir todas as variações de anomalias observadas na região amazônica pela observação do MSWEP. As previsões simularam um mesmo sinal (positivo ou negativo) homogêneo de anomalia para porções extensas da região, enquanto

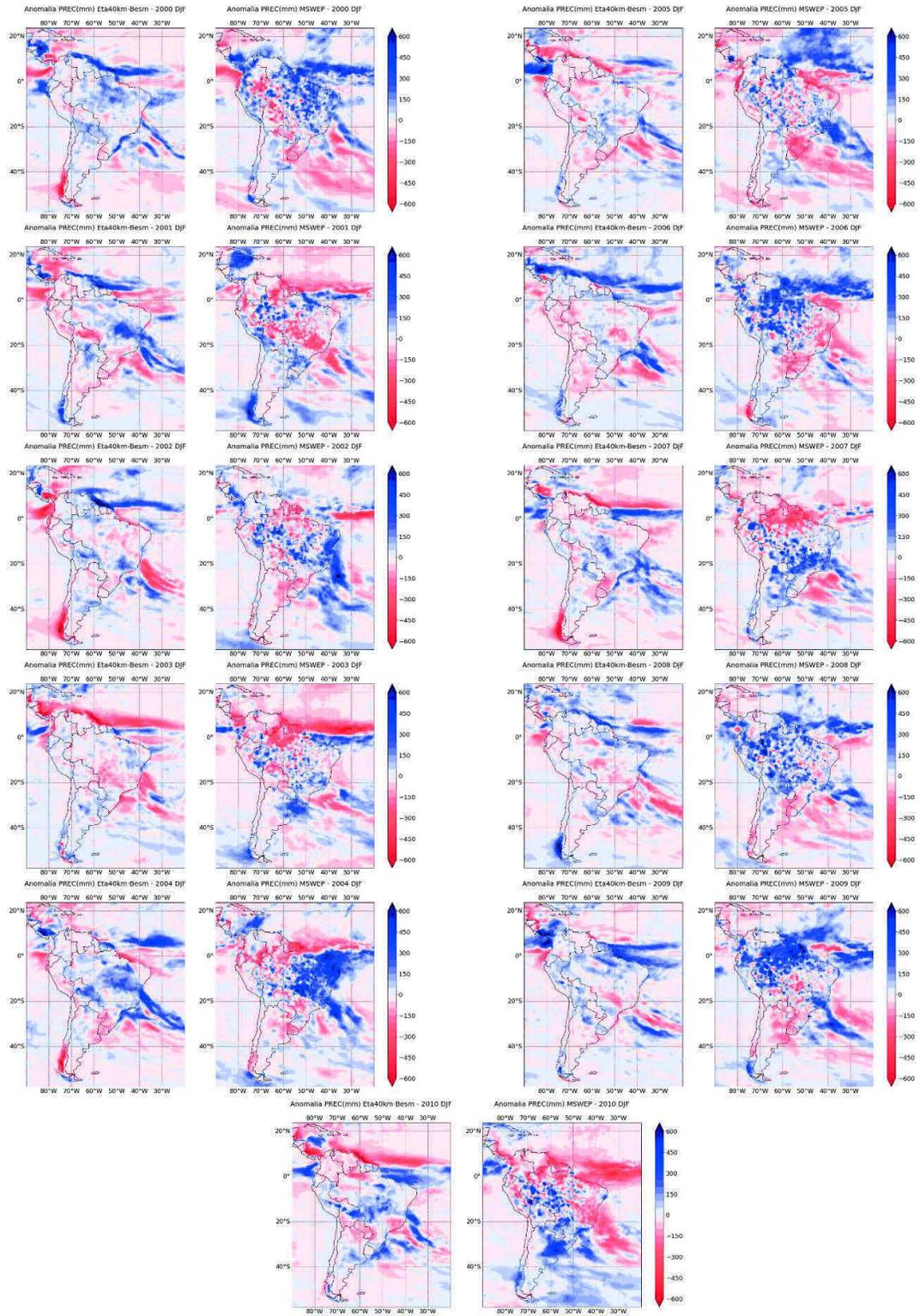
os valores observados de precipitação demonstraram pequenos núcleos de anomalias com grande variabilidade tanto em sinal quanto intensidade. Apesar disso, o modelo Eta40km-BESM demonstrou capacidade de prever os padrões predominantes de anomalia de precipitação sobre a América do Sul, salvo exceções. Como exemplo disso, tem-se o ano de 1996, onde o modelo previu corretamente anomalias negativas de precipitação no sudeste, centro-oeste e nordeste brasileiro e anomalias positivas no sul do país, mas não previu anomalias positivas no norte brasileiro e sobre o oceano Atlântico Sul. O modelo regional Eta40km-BESM também se mostrou capaz de simular os padrões de precipitação e posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

Figura 4.1 - Anomalias de precipitação (mm) previstas pelo Eta40km-BESM e observadas pelo MSWEP na América do Sul, para o período de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) dos anos de 1988 até 2010.



(Continua)

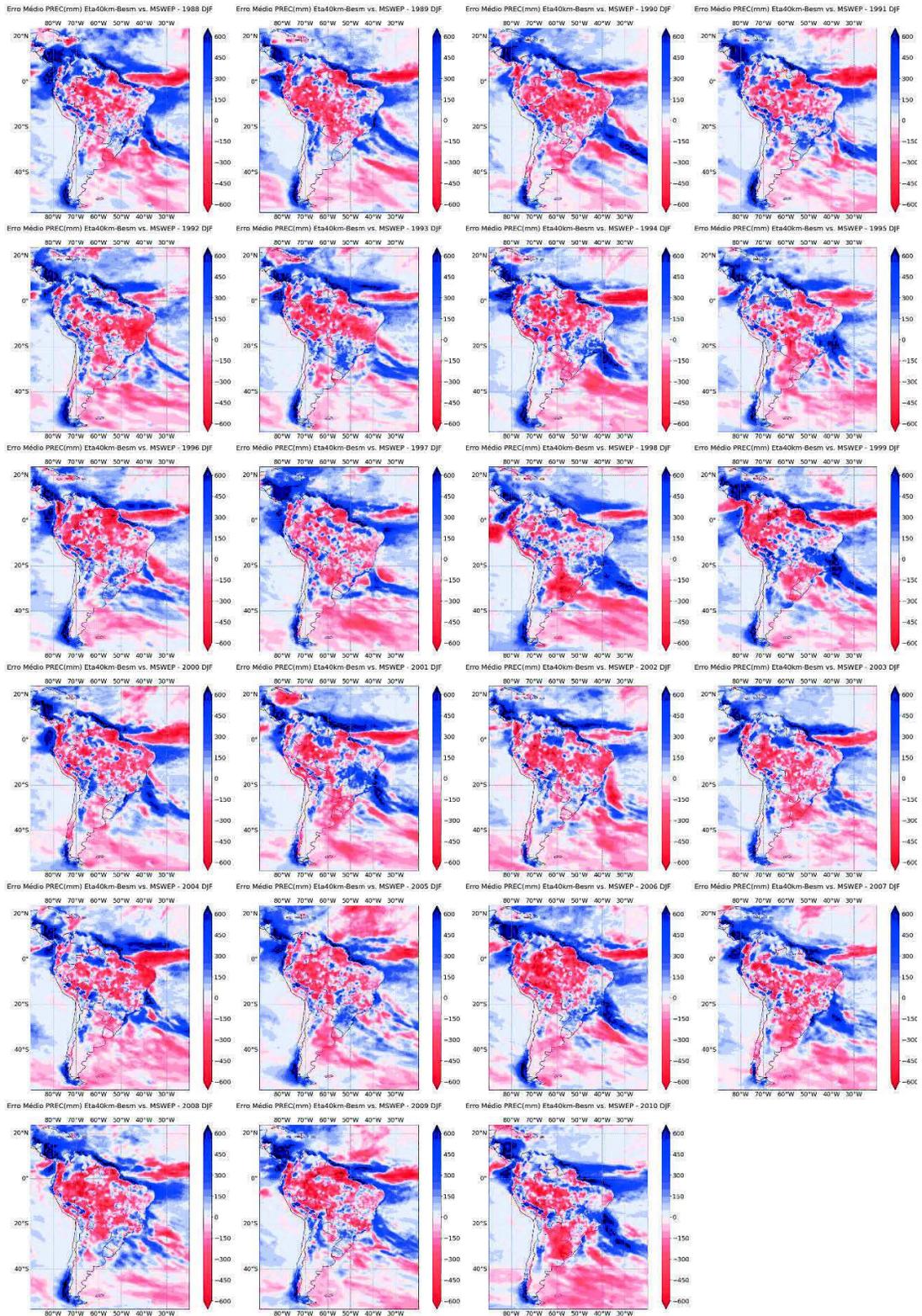
Figura 4.1 – Continuação.



Na figura 4.2 pode-se visualizar o erro médio calculado para as previsões de precipitação do modelo Eta40km-BESM em relação aos dados observados do MSWEP, onde regiões com valores positivos de erro médio indicam que o modelo regional previu valores de precipitação superiores aos observados (superestimativa), enquanto valores negativos sugerem uma previsão de chuva menor do que foi observado (subestimativa). A figura indica padrões de valores negativos de EM predominantes na região Norte e porções do Nordeste e Centro-Oeste do Brasil, que se mostram presentes em todos os anos da série, sugerindo uma tendência do modelo Eta40km-BESM de subestimar a precipitação nessas regiões. É possível também perceber manchas de EM positivo no norte do Amazonas, próximas ao Pico da Neblina, que se mostram quase estacionárias ao longo dos anos, variando apenas em extensão. Nas regiões Sul e Sudeste, os sinais do EM das previsões demonstram maior variação, com alguns anos exibindo predominância de erro médio positivo enquanto outros exibem valores negativos.

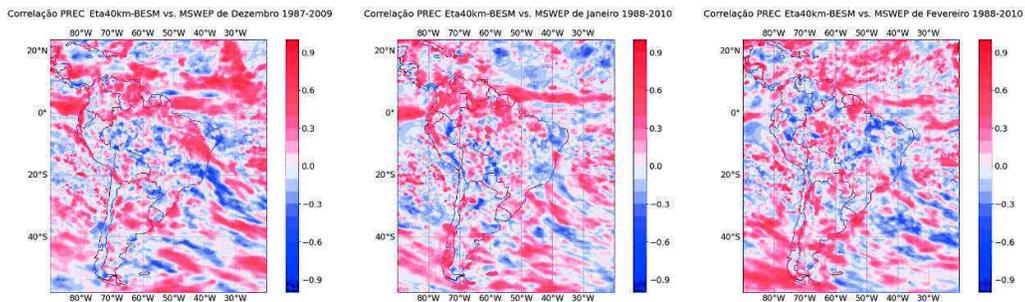
Sobre o mar, pode-se notar altos valores de erro médio na região da ZCIT, geralmente configurados como faixas extensas de EM positivo na altura da costa norte e nordeste do Brasil com uma faixa de EM negativo no meio, indicando previsões que subestimam o valor de precipitação na ZCIT e superestimam a precipitação em seu entorno. É possível também notar regiões de EM na extensão da ZCAS sobre o oceano, que aparece como uma faixa de EM positivo com valores negativos acima, abaixo ou em ambos os lados, dependendo do ano. Já mais ao sul, por volta de 40° S em diante, as previsões do modelo Eta40km-BESM de todos os anos apresentam padrões de EM negativo sobre o oceano Atlântico.

Figura 4.2 - Erro médio de precipitação (mm) das previsões do Eta40km-BESM para o período de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) dos anos de 1988 até 2010.



Na figura 4.3, é possível notar correlação positiva predominante no norte do Brasil e na região da ZCIT, presente em todos os 3 meses, enquanto correlações mais negativas são vistas no sudeste do país. Na região Nordeste, valores correlação negativos predominantes são vistos em janeiro e fevereiro, mas uma extensa região de correlação positiva é notada no mês de dezembro.

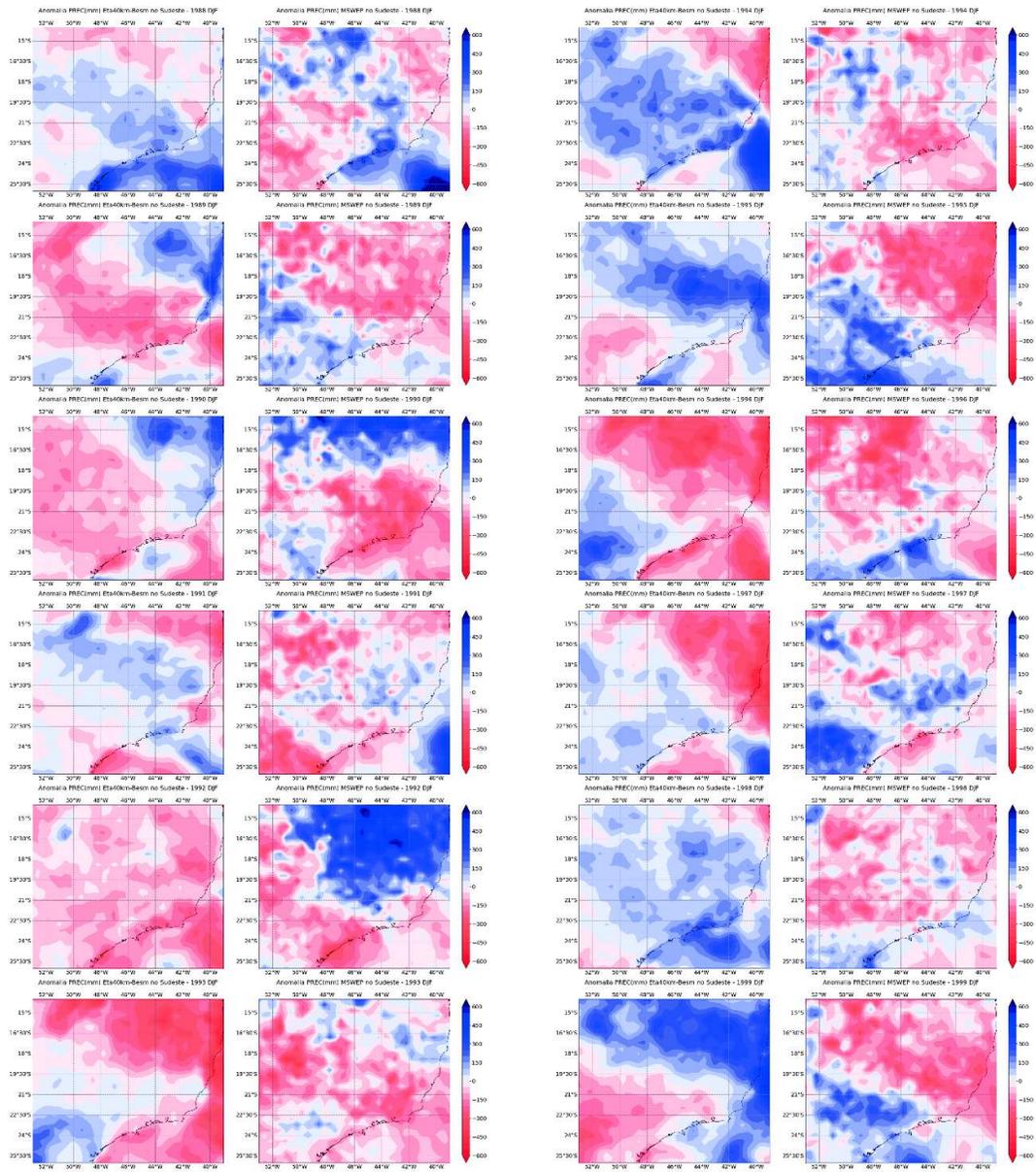
Figura 4.3 – Coeficientes de correlação entre as previsões de precipitação do Eta40km-BESM e a precipitação observada pelo MSWEP, para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro do período de 1988-2010.



4.2 Precipitação no Sudeste – DJF

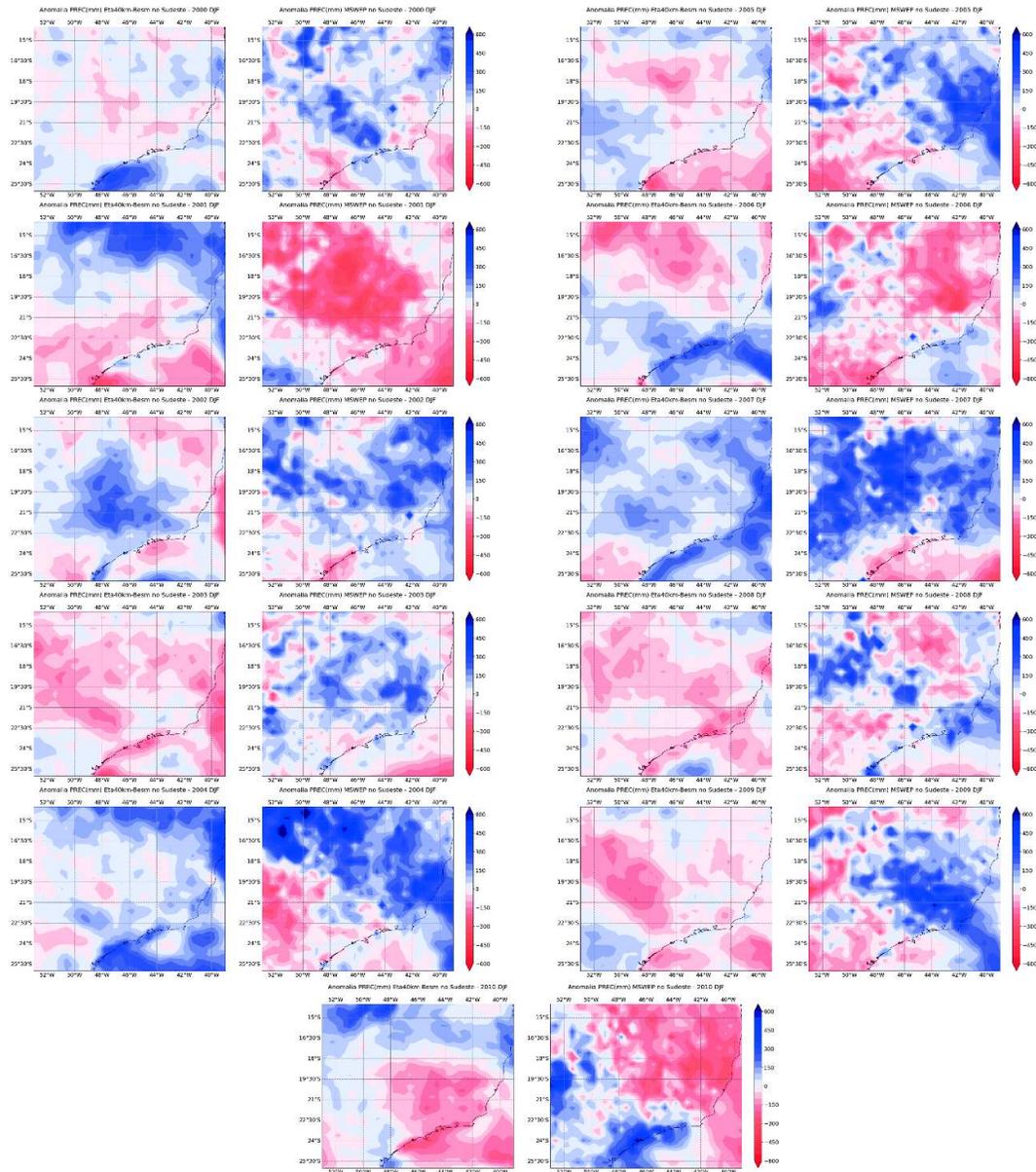
Para a região Sudeste do Brasil, foram analisadas as anomalias de precipitação previstas pelo modelo regional climático Eta40km-BESM e observadas pelo produto MSWEP para o trimestre de dezembro, janeiro e fevereiro. Na figura 4.4, é possível notar a tendência do modelo de simular regiões com sinais de anomalia homogêneos e distribuição espacial bem delimitada, enquanto os dados observados demonstraram uma maior interação e mesclagem de anomalias com sinais opostos entre regiões de anomalias predominantes. O modelo Eta40km-BESM se demonstrou capaz de prever padrões dominantes de anomalia de precipitação no Sudeste, com a habilidade de indicar a ocorrência de chuvas acima ou abaixo da média climatológica da região, porém subestimando ou superestimando a intensidade das anomalias. Essa habilidade pôde ser vista nos anos de 1988, 1990, 1991, 1996, 2000, 2004 e 2007. Apesar de não simular corretamente a intensidade das anomalias de chuva, as previsões desses anos conseguiram apontar a ocorrência de anomalias secas ou chuvosas no trimestre estudado.

Figura 4.4 - Anomalias de precipitação (mm) previstas pelo Eta40km-BESM e observadas pelo MSWEP no Sudeste do Brasil, para o período de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) dos anos de 1988 até 2010.



(Continua)

Figura 4.4 – Continuação.



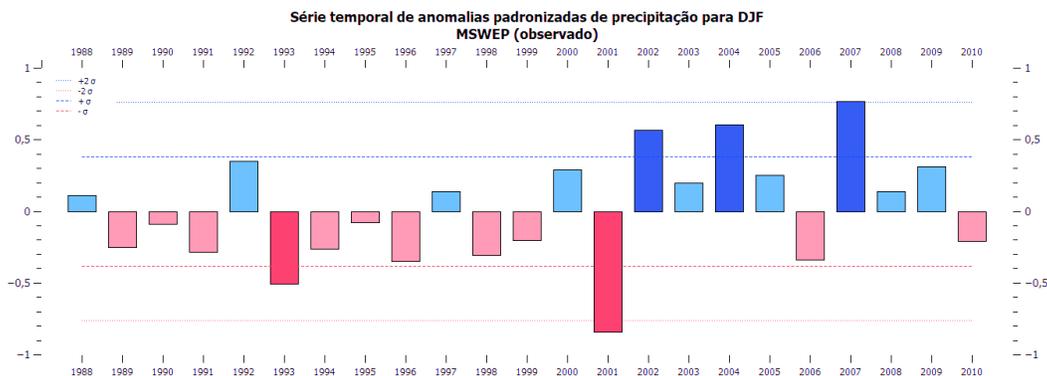
A figura 4.5 apresenta um gráfico da série temporal de anomalias padronizadas de PREC do MSWEP no Sudeste para Dez-Jan-Fev dos anos de 1988 até 2010 (23 anos). Para cada ano estudado, foi realizada uma média espacial dos valores de anomalia padronizada de precipitação para a região Sudeste do Brasil. Os valores de um e dois desvios padrões estão apresentados como linhas tracejadas e pontilhadas, respectivamente. A figura 4.6

apresenta uma comparação dos dados da figura 4.5 aos previstos pelo modelo Eta40km-BESM, para o mesmo campo e período.

Na figura 4.5, é possível identificar os anos de 2007, 2004 e 2002 como anos de extremos chuvosos na região Sudeste, uma vez que suas anomalias positivas de precipitação registraram valores superiores ao desvio padrão da série. Para extremos secos, se destacam os anos de 2001 e 1993, cujas anomalias negativas também excederam o desvio padrão. Dentre os anos extremos identificados, somente 2007 (chuvoso) e 2001 (seco) registraram valores de anomalia acima de dois desvios padrões. Apesar de não serem considerados extremos, destacam-se também os anos de 1992 e 2009 como períodos chuvosos e os anos de 1996, 1998 e 2006 como períodos secos que demonstraram anomalias significativas de precipitação, porém inferiores ao limite de corte definido.

É possível também notar que os anos com anomalias positivas ou negativas de precipitação predominantes não estão distribuídos uniformemente ao longo do período estudado. Dos 12 anos que demonstraram anomalias negativas no gráfico, 10 deles se encontram no intervalo de 1988 a 2001, enquanto as anomalias positivas parecem se concentrar mais no período de 2002 a 2010, com 7 dos 11 anos chuvosos ocorrendo nesse intervalo.

Figura 4.5 - Série temporal de anomalias padronizadas de precipitação do MSWEP no Sudeste, para o período de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) dos anos de 1988 até 2010. Tons de azul e vermelho escuros indicam anos em que a anomalia observada ultrapassou o valor de ± 1 desvio padrão.

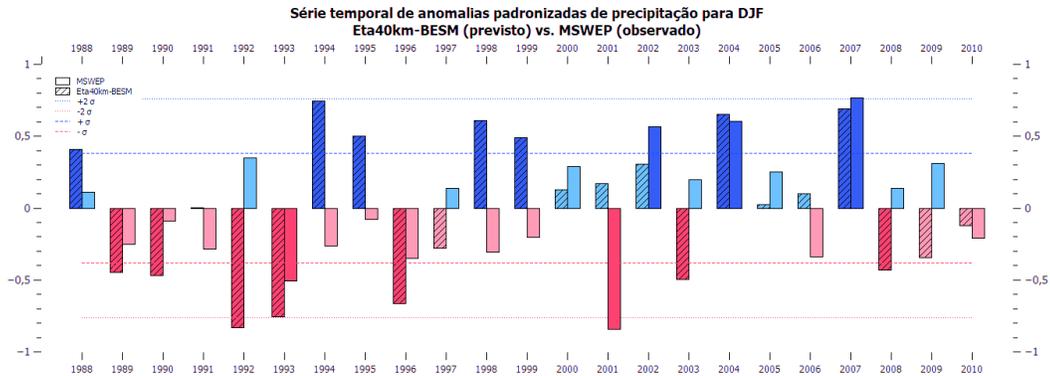


Na figura 4.6, é possível notar que o modelo regional climático Eta40km-BESM foi capaz de simular sinais (positivo, negativo) de anomalias iguais aos observados nos anos de 1988, 1989, 1990, 1993, 1996, 2000, 2002, 2004, 2005, 2007 e 2010, totalizando 11 dos 23 anos estudados na série. Para os anos extremos chuvosos identificados no estudo (2002, 2007 e 2004), o modelo previu anomalias positivas de precipitação para todos os três. Os valores de anomalia previstos para 2007 e 2004, os dois anos de extremos chuvosos mais intensos, se mostraram muito próximos aos observados e também ultrapassaram a marca de 1 desvio padrão, indicando que o modelo Eta40km-BESM previu corretamente a ocorrência de chuvas extremas nesses anos. Já em 2002, a previsão subestimou a intensidade da anomalia positiva de precipitação, simulando chuva que não chegaria a ser considerada extrema para a região. Para os anos extremos secos, o modelo previu anomalias negativas de chuva para o ano de 1993, mas errou ao prever anomalias positivas para 2001, que acabou sendo o ano extremo seco mais intenso da série. A previsão de 1993 conseguiu prever corretamente a ocorrência de um ano extremo seco no Sudeste, porém superestimou a intensidade da anomalia negativa de chuva, indicando um valor que atinge a marca de dois desvios padrões, enquanto o observado atinge apenas um.

É possível notar também que o modelo Eta40km-BESM simulou valores de anomalias equivalentes a eventos extremos em 11 anos cujas anomalias observadas não foram consideradas extremas. Desses eventos de “falso alarme”, 3 foram previsões de extremos secos para anos com anomalias positivas de precipitação e 4 foram previsões de extremos chuvosos para anos com anomalias negativas observadas.

Analisando os resultados tanto para anos extremos quanto não-extremos, o gráfico indica que as previsões do modelo climático regional Eta40km-BESM demonstraram tendência de subestimar a precipitação para anos em que anomalias positivas foram observadas, enquanto superestimou a precipitação para anos com anomalias negativas. Isso pôde ser notado nos anos de 1992, 1997, 2000, 2002, 2003, 2005, 2007, 2008 e 2009, em que foram observadas anomalias positivas de chuva superiores aos valores previstos, e nos anos de 1991, 1994, 1995, 1998, 1999, 2001, 2004, 2006 e 2010, que registraram anomalias negativas mais intensas do que foi previsto pelo modelo.

Figura 4.6 - Série temporal de anomalias padronizadas de precipitação do Eta40km-BESM e do MSWEP no Sudeste, para o período de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) dos anos de 1988 até 2010. Tons de azul e vermelho escuros indicam anos em que a anomalia prevista ou observada ultrapassou o valor de ± 1 desvio padrão.



4.3 Temperatura a 2 metros – DJF

A figura 4.7 apresenta as anomalias de temperatura a 2m obtidas com Eta40km-BESM e com ERA5 para Dez-Jan-Fev dos anos de 1988 até 2010 (23 anos). Os EM para o mesmo período são apresentados na figura 4.8. Tais previsões foram elaboradas partindo do horário de 00Z do modelo Eta40km-BESM. Foram obtidas as anomalias para os horários de 06, 12 e 18Z (Figuras não apresentadas). Os coeficientes de correlação entre as previsões e observações da variável para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro são apresentados na figura 4.9.

Na figura 4.7, é possível notar que as previsões do modelo Eta40km-BESM possuem capacidade de reproduzir sinal semelhante ao observado, prevendo anomalias negativas (positivas) de temperatura em regiões onde anomalias negativas (positivas) foram observadas naquele ano, salvo exceções. Porém, as previsões tendem a não representar corretamente a intensidade das anomalias observadas quando prevê corretamente seus sinais. Tem-se como exemplo o verão de 1989, em que a previsão apontou valores positivos de anomalia de temperatura no sul e negativos no norte da América do Sul, apresentando variações de até 1,5 °C positivo e negativo que subestimam a intensidade das anomalias indicadas pela reanálise, onde anomalias positivas atingiram valores de

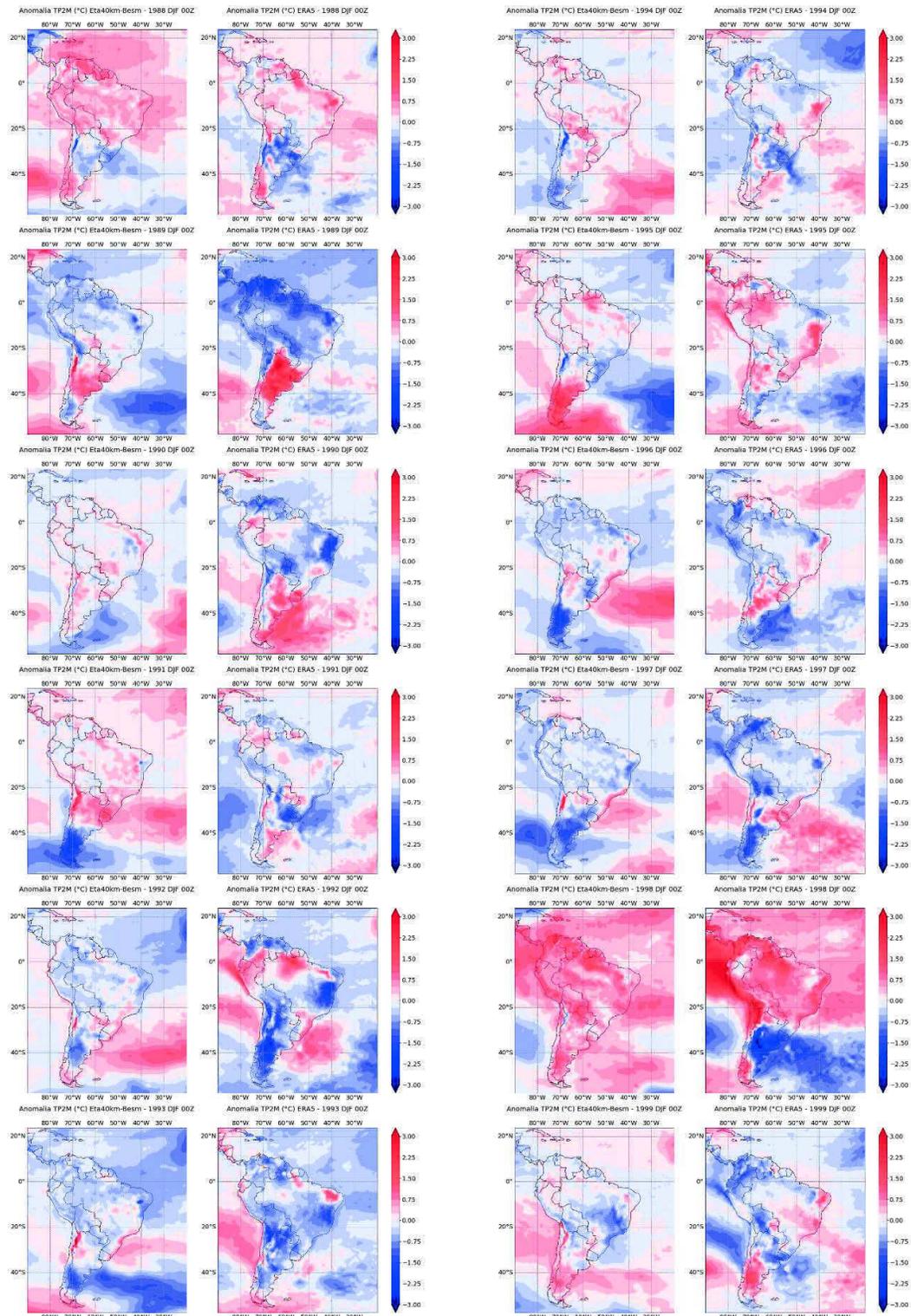
mais de 3 °C na região sul e valores negativos de até -2,25 °C no norte do continente. Essa subestimativa também pode ser observada nos anos de 1992, 1998, 2005, 2007 e 2010.

Para o horário de 06Z (não ilustrado), não foram notadas muitas mudanças, podendo ainda ser percebida a mesma capacidade do modelo regional Eta40km-BESM de simular anomalias de temperatura a 2 metros com os mesmos sinais dos valores observados pelo ERA5, assim como a tendência do modelo de subestimar a intensidade das temperaturas anômalas. Os padrões espaciais de anomalia se mantiveram similares ao do horário anterior para ambos o modelo e a reanálise, exceto por variações no grau de anomalia observada pelo ERA5, que se mostrou mais fraca do que 00Z em alguns anos, enquanto as previsões do Eta40km-BESM não indicaram mudança significativa. Consequentemente, essa redução de intensidade das anomalias observadas junto à estagnação dos valores de anomalias previstas levou as previsões realizadas pelo modelo regional climático Eta40k-BESM a terem uma menor subestimação da intensidade no horário de 06Z do que em 00Z.

No horário de 12Z (não ilustrado), os padrões de anomalia de temperatura a 2 metros permaneceram similares aos identificados no horário anterior (06Z) para ambas as previsões do modelo regional Eta40km-BESM e reanálises do ERA5, podendo ainda ser notada a capacidade do modelo de simular os sinais de anomalia. As previsões também continuaram a indicar valores subestimados de anomalia em relação ao observado, tanto para anomalias positivas quanto negativas.

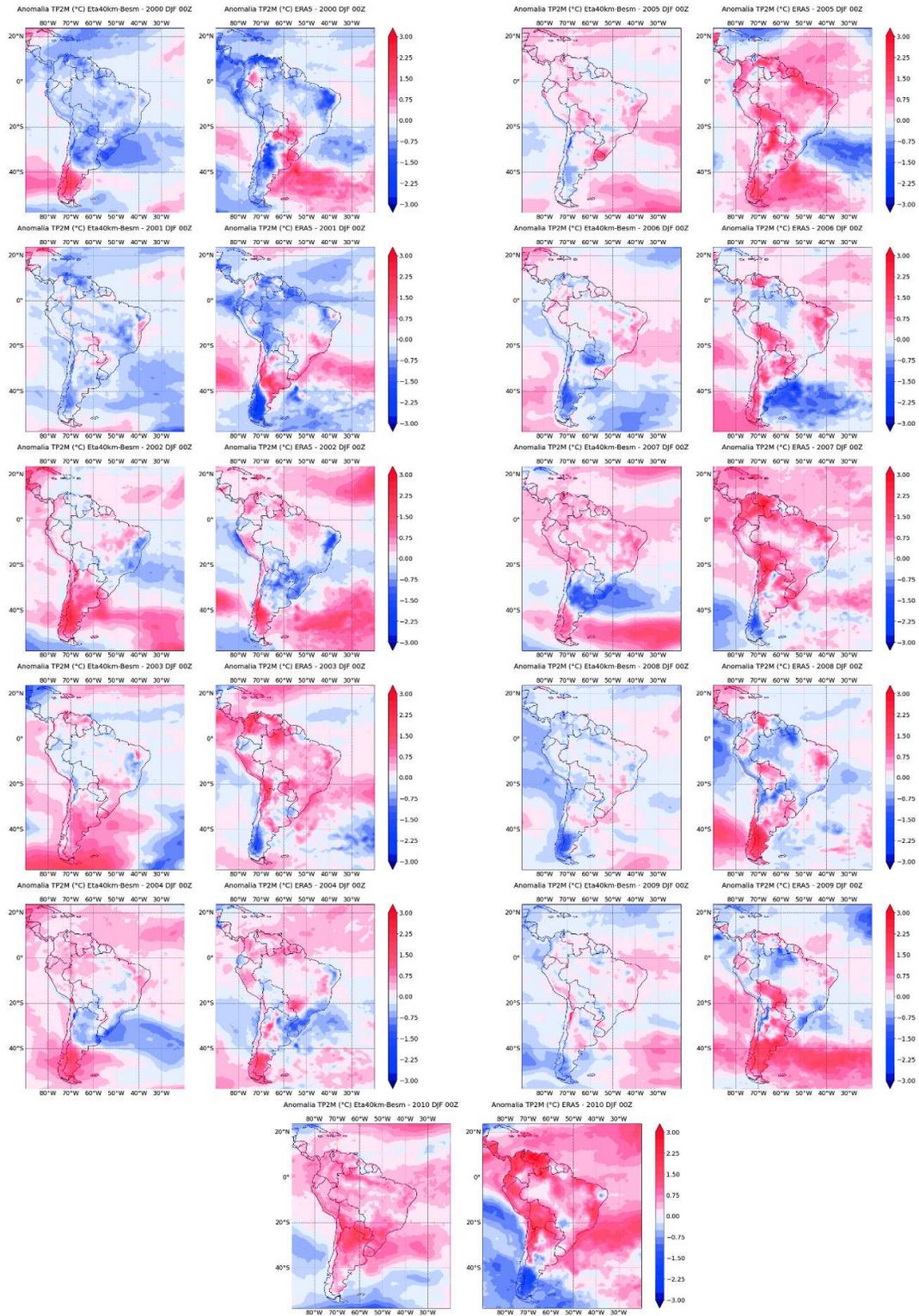
As anomalias de TP2M do horário de 18Z (não ilustrado) demonstraram uma intensificação do grau de anomalia observada pela reanálise do ERA5 em relação aos horários anteriores, que havia enfraquecido nos períodos de 06Z e 12Z. Esse aumento ocorreu tanto para anomalias positivas quanto negativas de temperatura. Embora as anomalias das previsões do modelo regional Eta40km-BESM não tenham sofrido uma redução similar nos horários anteriores, seus valores também indicaram um aumento na intensidade das temperaturas anômalas no horário de 18Z, se tornando o horário com as anomalias mais acentuadas. Os mesmos padrões identificados anteriormente se mantêm verdadeiros para esse horário, com o modelo Eta40km-BESM reproduzindo sinais de anomalia semelhantes aos observados, porém com valores menos anômalos.

Figura 4.7 – Anomalias médias de temperatura do ar a 2m (°C) previstas pelo Eta40km-BESM e observadas pelo ERA5 na América do Sul, para o período de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) dos anos de 1988 até 2010.



(Continua)

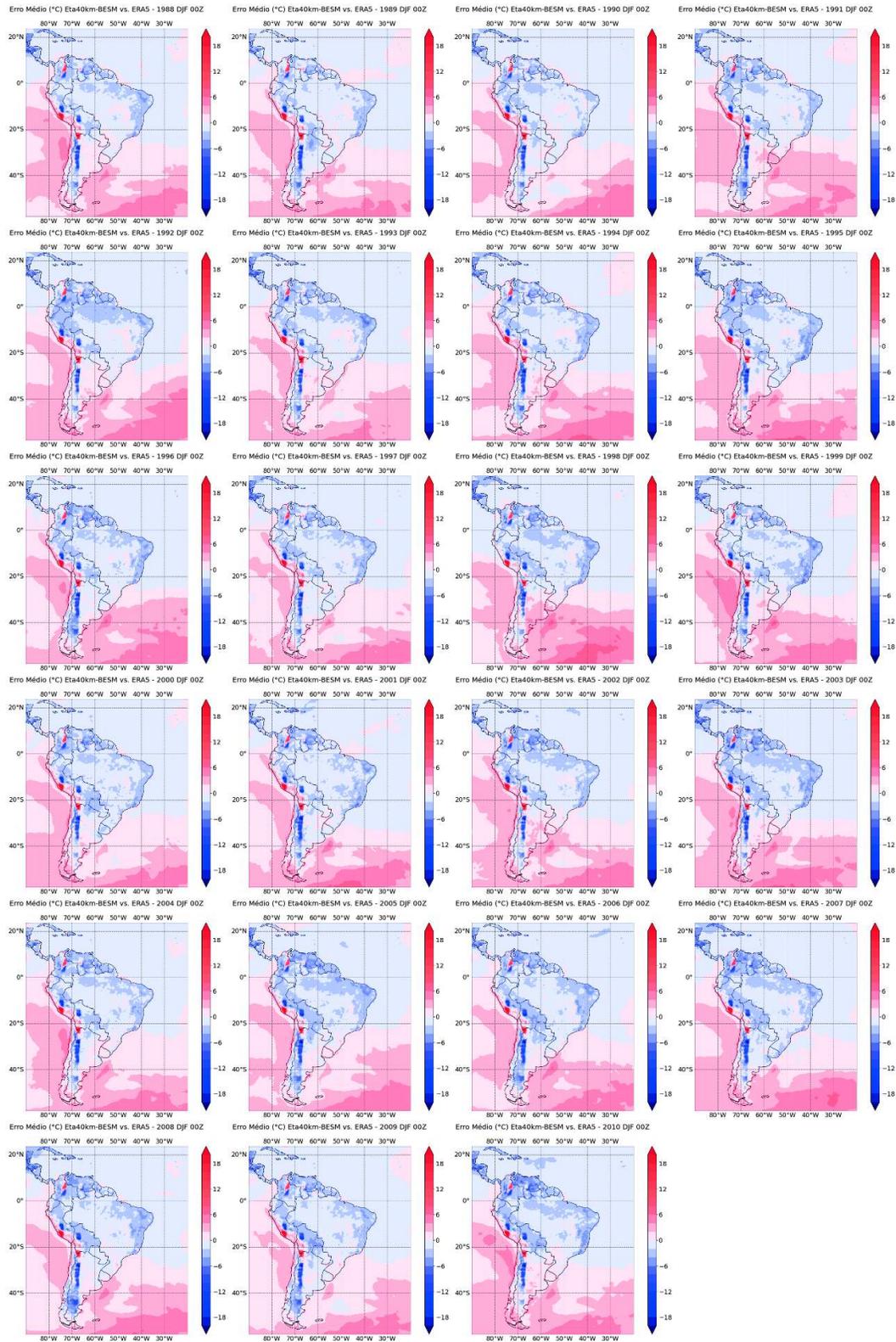
Figura 4.7 – Continuação.



A partir das previsões do modelo regional Eta-40km-BESM e dos dados de reanálise do ERA5 de temperatura a 2 metros, foi também calculado o erro médio das previsões de cada ano para o horário de 00Z (figura 4.8). É possível notar uma predominância de EM negativo sobre a região continental da América do Sul, com valores mais intensos no norte, noroeste e nordeste do continente, variando entre $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$, enquanto o interior do continente mantém valores mais próximos de zero. Nota-se também a tendência das previsões de apresentarem valores negativos de EM em regiões de latitudes baixas, que se tornam positivos e crescentes à medida que se aproximam de latitudes mais altas. Essa tendência foi observada em todos os anos e horários analisados.

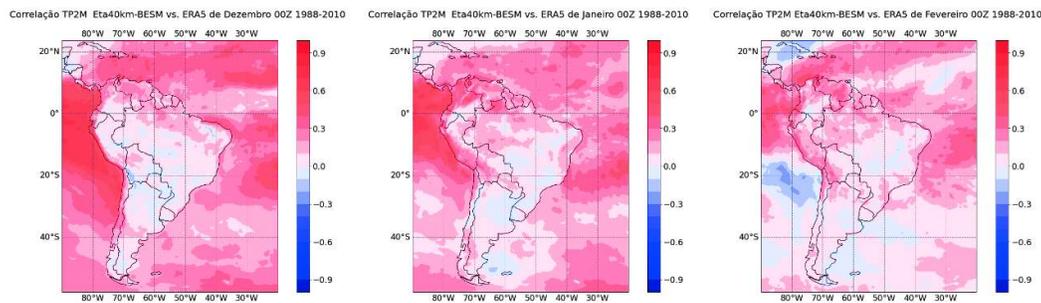
A figura 4.8 também mostra a presença de erros de configuração das rodadas do modelo regional Eta40km-BESM, visíveis como seções retas e retangulares sobre a Cordilheira dos Andes onde os valores de erro médio se mostram extremamente elevados.

Figura 4.8 – Erro médio de temperatura do ar a 2m (°C) das previsões do Eta40km-BESM, para o período de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) dos anos de 1988 até 2010.



A figura 4.9 permite visualizar os coeficientes de correlação entre os valores previstos pelo Eta40km-BESM e observados pelo ERA5, calculados para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro. É possível notar uma predominância de correlação positiva sobre os oceanos, com valores mais fortes em latitudes baixas e mais fracos em latitudes médias (chegando a ficar negativo em fevereiro), voltando a intensificar em latitudes altas. Sobre o continente, é notada uma predominância de valores próximos de zero, variando entre sinais positivos e negativos. Na porção norte do continente, os valores de correlação se mostram um pouco maiores e positivos. Valores fracos de correlação positiva podem ser vistos nas regiões Norte e Nordeste do Brasil nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, contando também com partes do Sudeste e Sul em fevereiro.

Figura 4.9 - Coeficientes de correlação entre as previsões de temperatura do ar a 2m do Eta40km-BESM e valores observados pelo ERA5, para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro do período de 1988-2010.



4.4 Temperatura do ar em níveis de pressão – DJF

4.4.1 Temperatura do ar a 850 hPa

A figura 4.10 apresenta as anomalias de temperatura do ar a 850 hPa obtidos com Eta40km-BESM e com ERA5 para Dez-Jan-Fev dos anos de 1988 até 2010 (23 anos). Os EM para o mesmo período são apresentados na figura 4.11. Tais previsões foram elaboradas partindo do horário de 00Z do modelo Eta40km-BESM. Foram obtidas as

anomalias para os horários de 06, 12 e 18Z (figuras não apresentadas). Os coeficientes de correlação entre as previsões e observações da variável para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro são apresentados na figura 4.12.

É possível notar na figura 4.10 que o modelo regional climático Eta40km-BESM foi capaz de simular sinais de anomalia de temperatura similares aos da reanálise do ERA5, com distribuições espaciais que se assemelham às observadas. Apesar disso, mesmo em anos de previsões majoritariamente bem sucedidas, ainda puderam ser notadas regiões em que a anomalia prevista não condisse em sinal e/ou intensidade ao valor observado. Em anos de fracasso, as previsões simularam sinais de anomalia opostos ao da reanálise, como pôde ser visto no ano de 1991, 2001, 2008. Também se destacam casos de previsões que acertaram os sinais, mas subestimaram a intensidade das anomalias, como visto nos anos de 1989, 1998, 2002 e 2010.

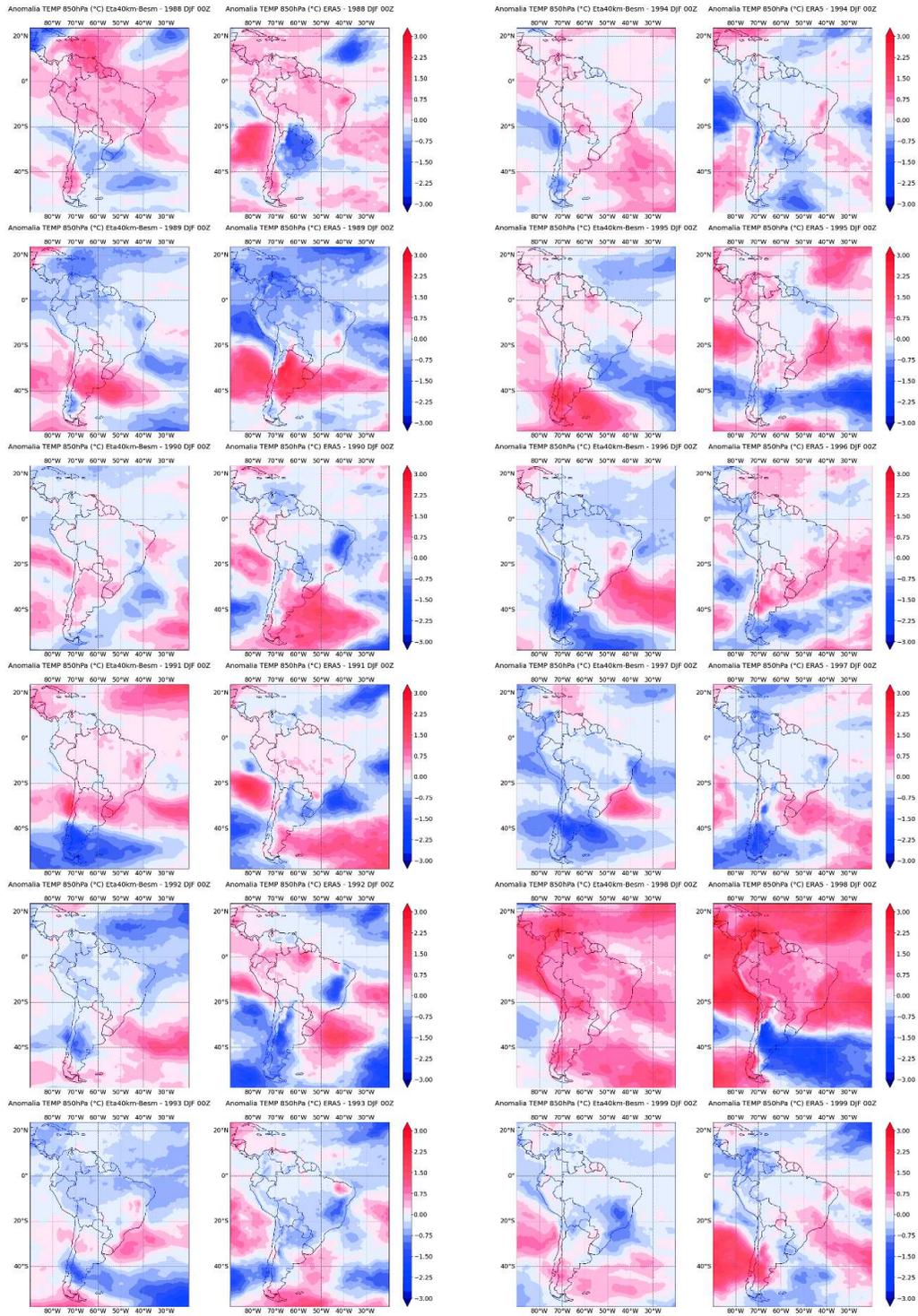
No horário de 06Z (não ilustrado), as previsões do modelo Eta40km-BESM não demonstraram mudanças significativas em relação ao horário anterior, mantendo os mesmos padrões de anomalia, tanto em intensidade quanto em distribuição espacial. As anomalias da reanálise do ERA5 também não mostraram alterações significativas, porém foi possível notar pequenas variações na intensidade das anomalias em alguns anos da série. Essa variação foi percebida tanto para anomalias positivas quanto negativas, que se mostraram menos intensas sobre o continente, indicando alteração de 1 escala ($\pm 0,25$ °C) no centro da anomalia.

Para o horário de 12Z (não ilustrado), percebe-se nas anomalias o mesmo comportamento observado nos compostos do horário anterior. As previsões do Eta40km-BESM novamente não indicam mudanças significativas, mantendo intensidades e padrões espaciais similares aos dos horários de 00Z e 06Z. Já as anomalias do ERA5 continuam a demonstrar o mesmo comportamento anteriormente visto, apresentando uma leve redução na intensidade das anomalias positivas e negativas observadas sobre o continente. Essa redução é referente não apenas às observações de 00Z, mas também às de 06Z.

Nas anomalias de 18Z, é possível notar que as previsões do modelo regional Eta40km-BESM continuaram semelhantes às dos horários anteriores, sem mudanças significativas. Por outro lado, percebeu-se uma reintensificação das anomalias observadas pelo ERA5,

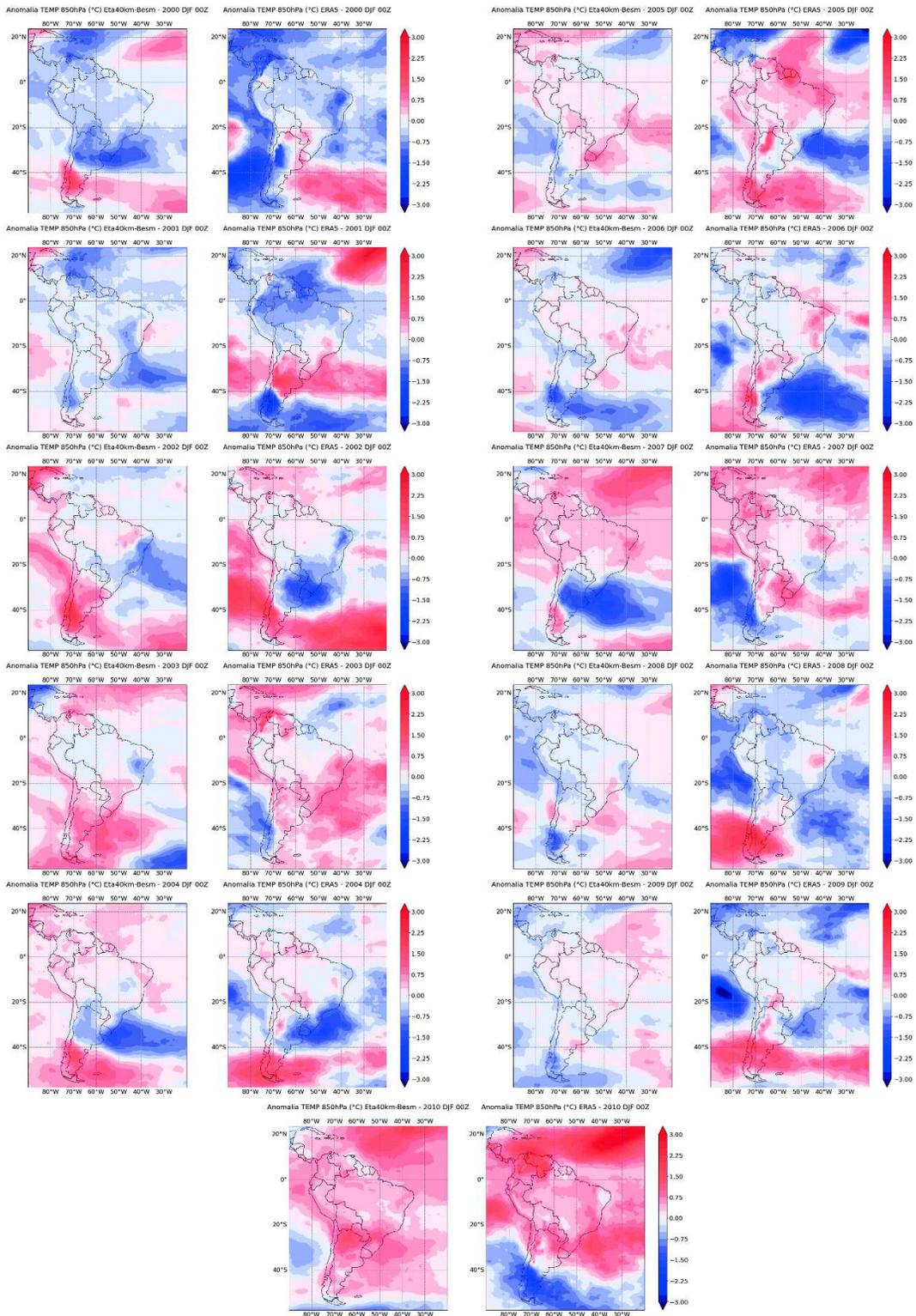
que voltaram a se assemelhar às registradas no horário de 00Z, tanto em padrões espaciais quanto em intensidade. Dessa forma, as anomalias de temperatura a 850 hPa observadas no horário de 18Z se mostraram mais intensas do que às de 12 e 06Z, mesmo que as mudanças apresentadas sejam sutis.

Figura 4.10 - Anomalias médias de temperatura do ar a 850 hPa (°C) previstas pelo Eta40km-BESM e observadas pelo ERA5 na América do Sul, para o período de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) dos anos de 1988 até 2010.



(Continua)

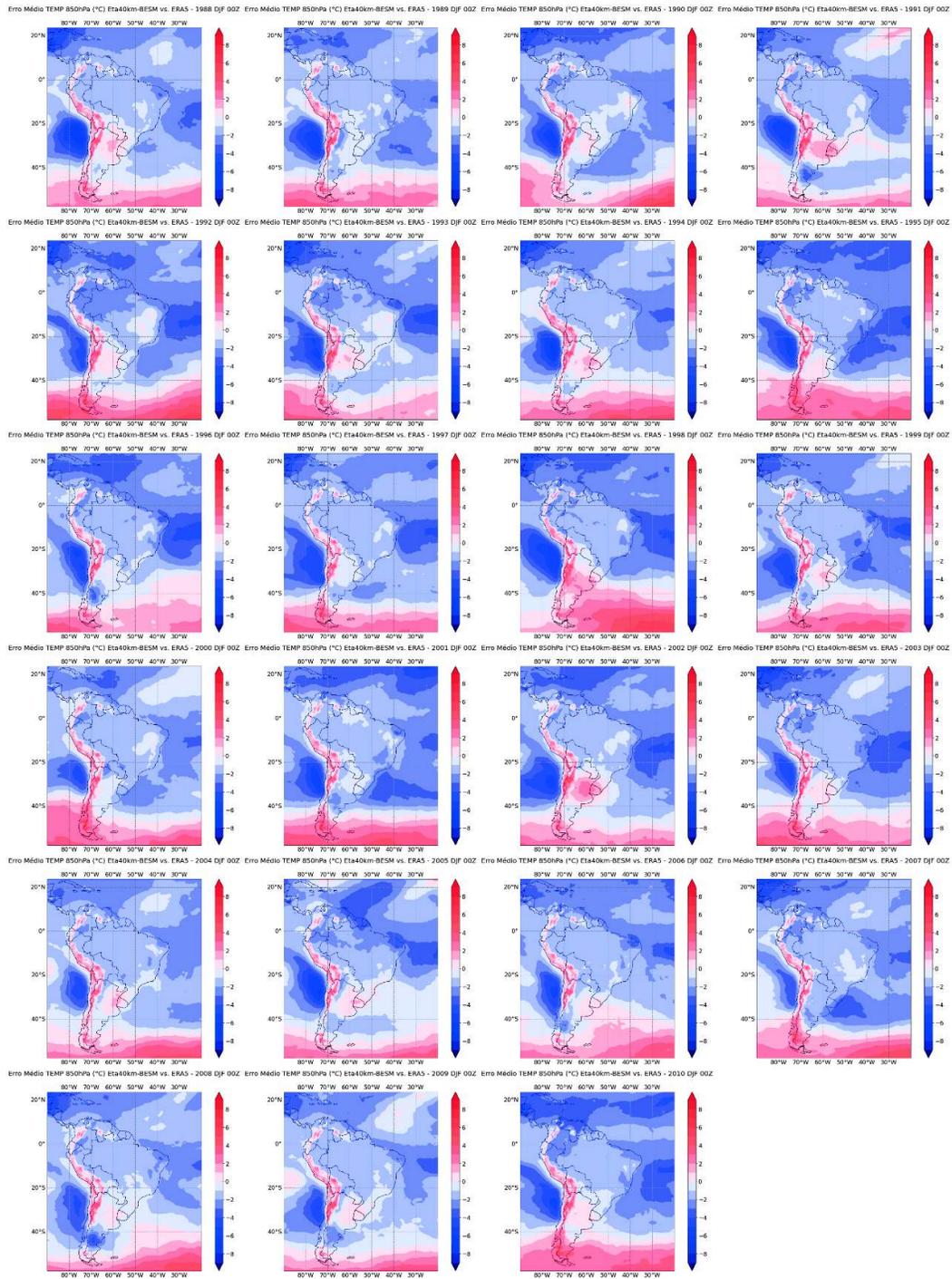
Figura 4.10 – Continuação.



Na figura 4.11, pode-se visualizar os campos de erro médio de temperatura do ar a 850 hPa, que indicam uma tendência do modelo regional Eta40km-BESM de subestimar o valor da temperatura do ar em suas previsões. Essa subestimação pode ser notada em todos os anos da série, com variações em intensidade e cobertura espacial de ano para ano. Por volta de 40° Sul, os sinais de EM passaram a se inverter, demonstrando uma superestimação da temperatura do ar prevista em latitudes mais altas, crescendo em intensidade à medida que se aproxima mais ao sul. Valores positivos de EM também foram vistos na região da cordilheira dos Andes, presentes em todos os anos da série. É possível notar também que as regiões continentais tenderam a apresentar valor de erro médio mais baixo do que as regiões oceânicas de mesma latitude, como é o caso do Brasil, onde o EM geralmente variou entre 0°C e -3°C, enquanto o oceano Atlântico variou de -1°C a -4°C na mesma latitude. Sobre o território brasileiro, os valores mais baixos de EM se encontraram na região Sul, com alguns anos se estendendo até partes do Centro-Oeste, Sudeste e Nordeste. No oceano Pacífico, pode ser vista uma mancha estacionária de forte EM negativo localizada na costa do Chile, variando em intensidade e extensão de ano para ano, com valores que podem chegar a -7°C.

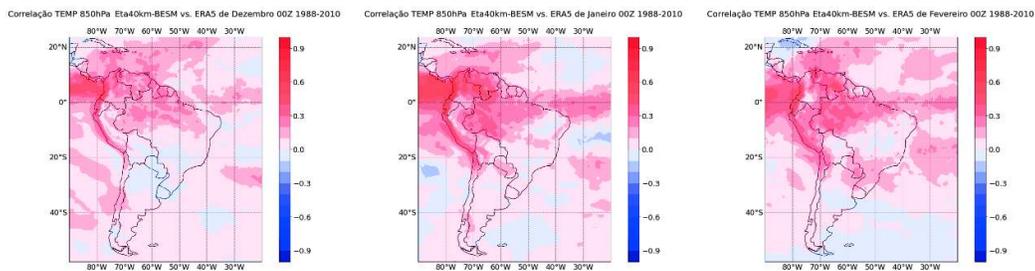
As observações feitas sobre os erros médios de temperatura do ar a 850 hPa para o horário de 00Z também se aplicam aos horários de 06, 12 e 18Z.

Figura 4.11 - Erro médio de temperatura a 850 hPa (°C) das previsões do Eta40km-BESM, para o período de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) dos anos de 1988 até 2010.



Na figura 4.12, pode-se notar valores positivos de correlação, embora não muito fortes, cruzando o continente e oceanos na região da ZCIT, que se tornam mais intensos a noroeste do continente sul-americano. No Brasil, as correlações positivas mais fortes de temperatura do ar a 850 hPa podem ser vistas no norte do país, sobre a região amazônica, demonstrando padrões espaciais vistos em todos os três meses.

Figura 4.12 - Coeficientes de correlação entre as previsões de temperatura do ar a 850 hPa do Eta40km-BESM e valores observados pelo ERA5, para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro do período de 1988-2010.



4.4.2 Temperatura do ar a 500 hPa

A figura 4.13 apresenta as anomalias de temperatura do ar a 500 hPa obtidas com Eta40km-BESM e com ERA5 para Dez-Jan-Fev dos anos de 1988 até 2010, exceto o ano de 1991 (22 anos). Os EM para o mesmo período são apresentados na figura 4.14. Tais previsões foram elaboradas partindo do horário de 00Z do modelo Eta40km-BESM. Foram obtidas as anomalias para os horários de 06, 12 e 18Z (figuras não apresentadas). Os coeficientes de correlação entre as previsões e observações da variável para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro são apresentados na figura 4.15.

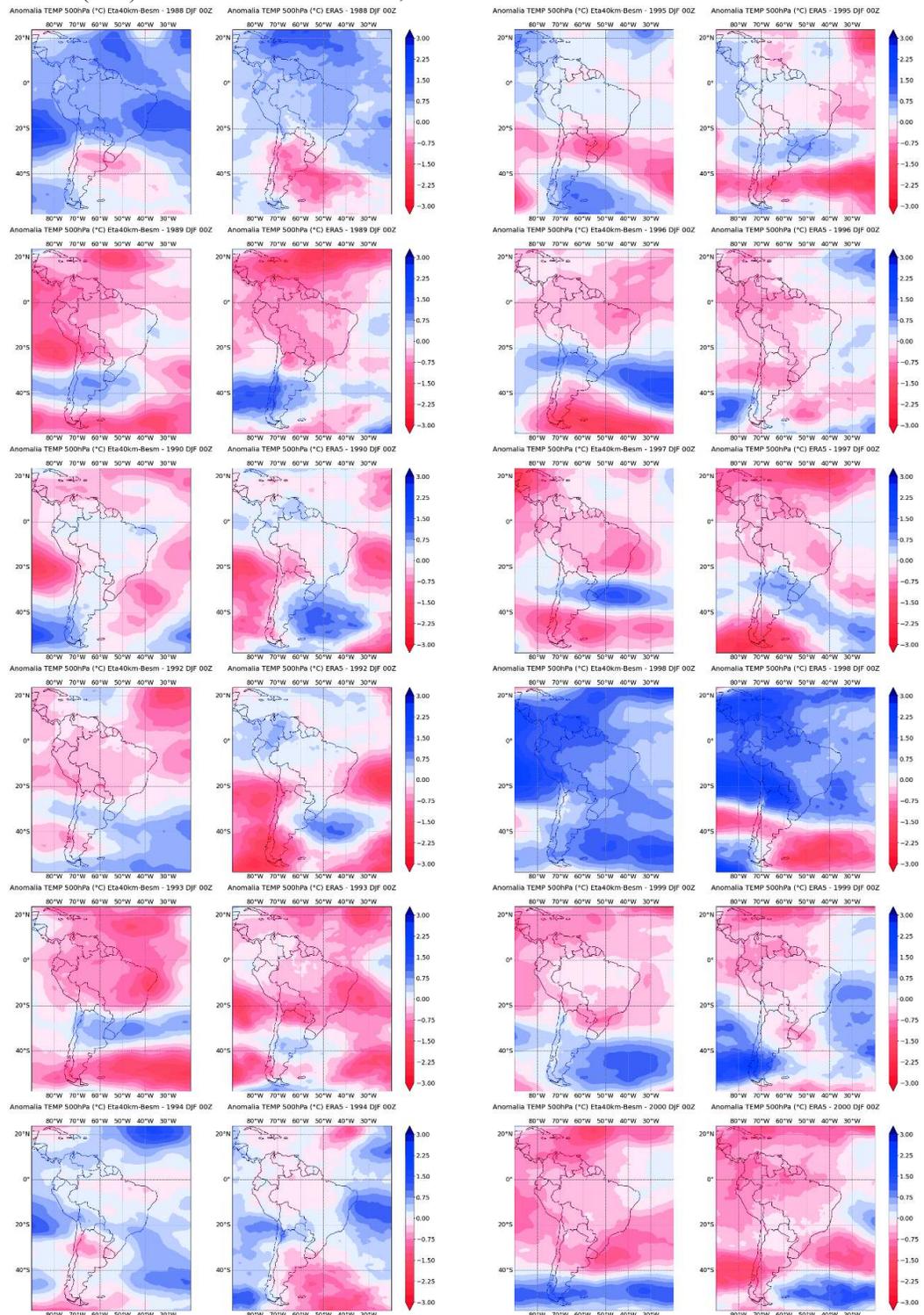
Pode-se notar na figura 4.13 a capacidade do modelo Eta40km-BESM de reproduzir anomalias de temperatura do ar a 500 hPa semelhantes às anomalias observadas, assim como foi encontrado para as previsões a 850 hPa. As previsões do modelo simulam corretamente os sinais predominantes de anomalia para o domínio da América do Sul em cada ano da série estudada, apresentando, porém, diferenças em intensidade, posicionamento e extensão das regiões anômalas. São identificados também anos em que

as anomalias simuladas pelo modelo não refletem o comportamento observado em nenhuma parte do domínio estudado.

Para o horário de 06Z (não ilustrado), não são notadas mudanças significativas nas previsões do Eta40km-BESM ou nos dados de reanálise do ERA5, apresentando apenas pequenas variações em extensão e intensidade das anomalias observadas no horário anterior. Diferentemente das anomalias de temperatura do ar a 850 hPa, as variações vistas em 500 hPa às 06Z não indicam uma tendência de enfraquecimento ou intensificação das anomalias em relação ao horário interior.

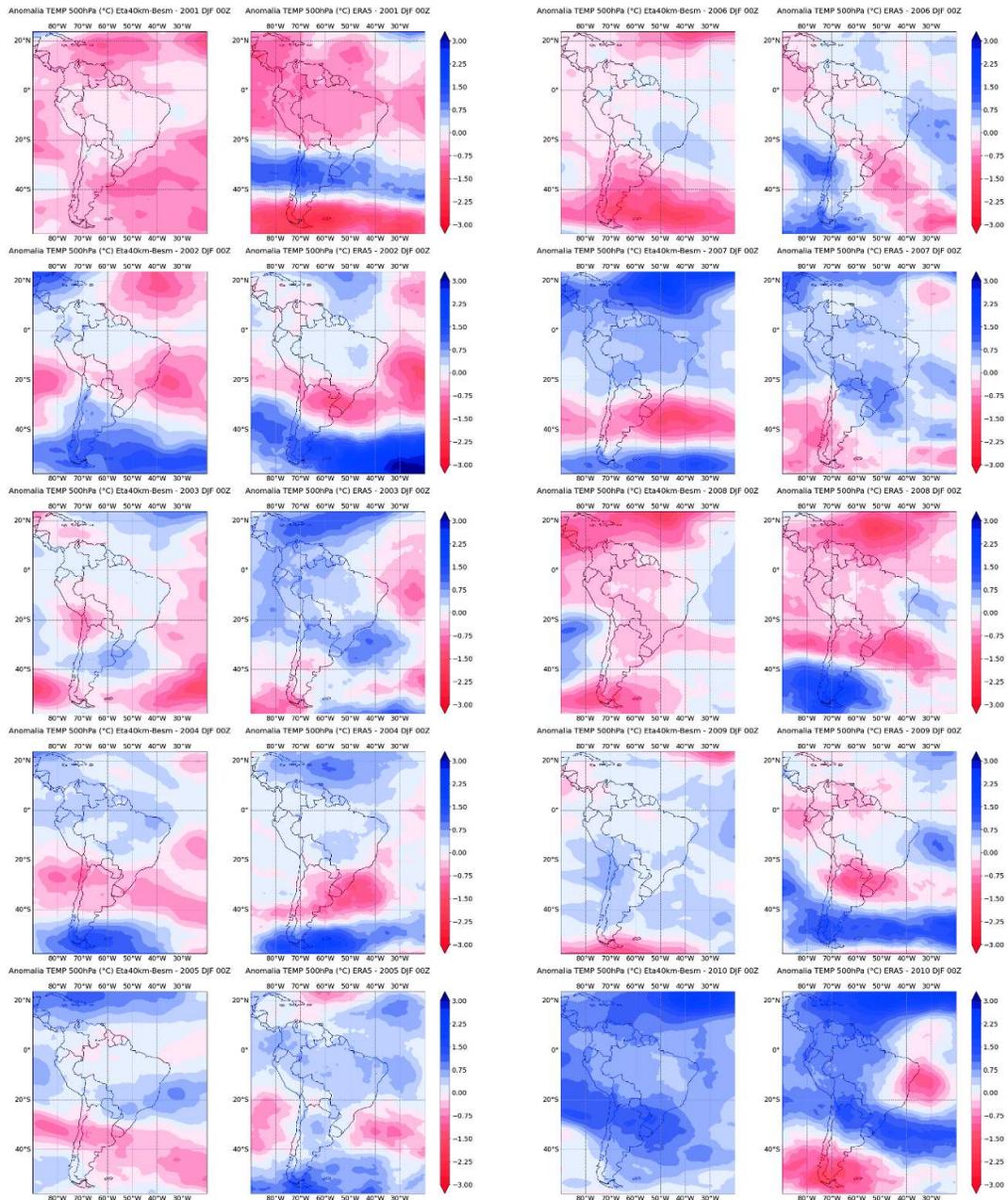
As análises feitas a respeito dos campos de 06Z também se aplicam aos de 12Z e 18Z.

Figura 4.13 - Anomalias médias de temperatura do ar a 500 hPa (°C) previstas pelo Eta40km-BESM e observadas pelo ERA5 na América do Sul, para o período de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) dos anos de 1988 até 2010, exceto 1991.



(Continua)

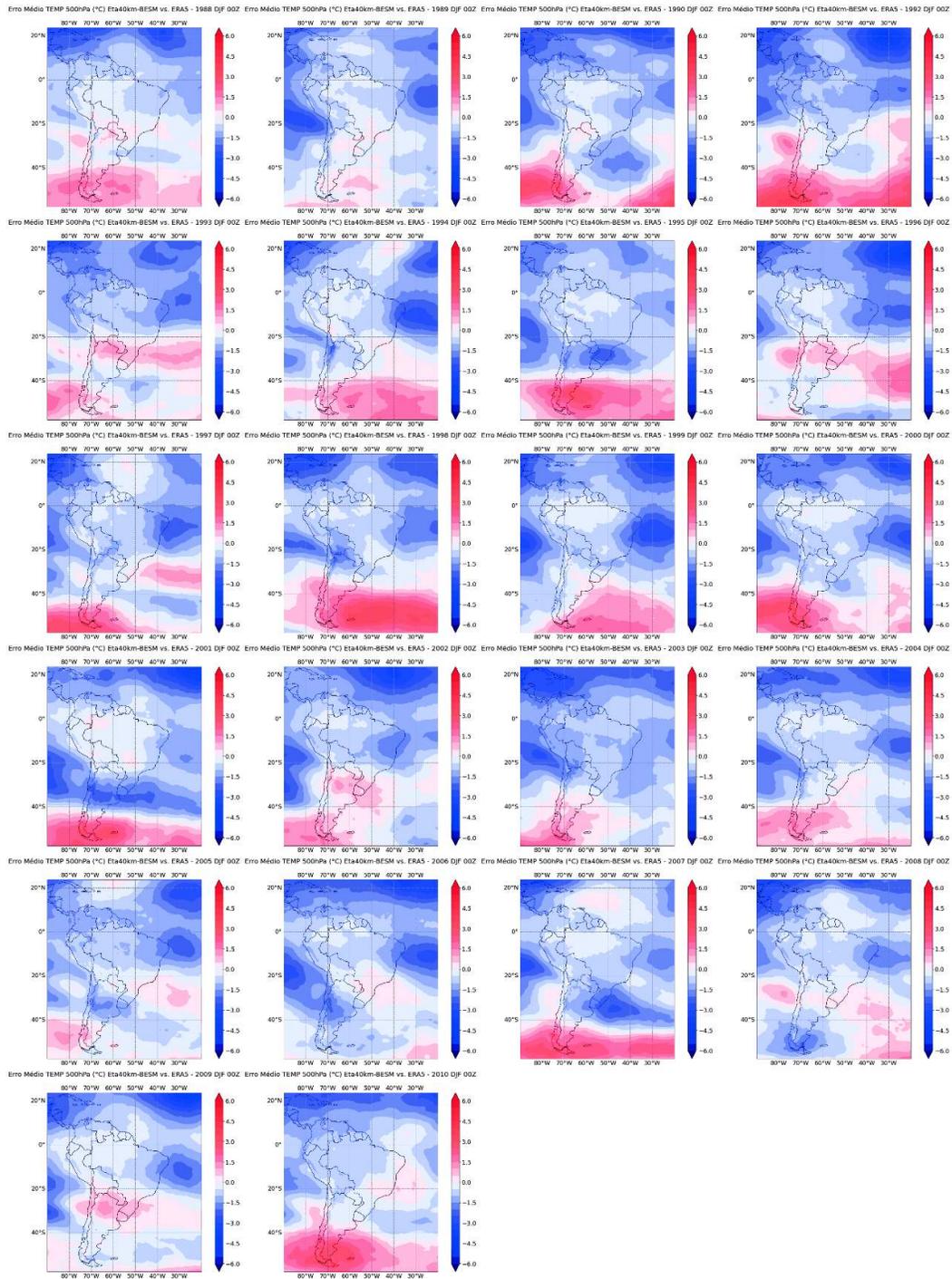
Figura 4.13 – Continuação.



A partir dos campos de erro médio de temperatura do ar a 500 hPa do modelo regional Eta40km-BESM e do ERA5 ilustrados na figura 4.14, é possível notar a tendência do modelo de subestimar a temperatura do ar em suas previsões nas latitudes baixas, apresentando valores de EM negativos nessas regiões, enquanto latitudes mais altas

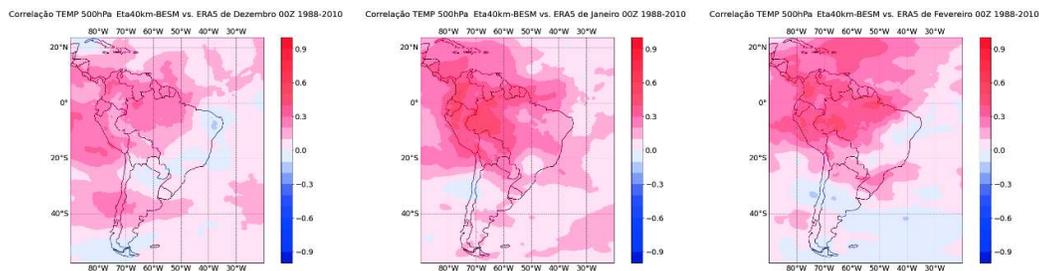
indicaram valores de EM positivos, superestimando os valores previstos. Essa inversão de sinais com a latitude se mostrou de forma gradual, com as latitudes médias apresentando valores de EM que vão ficando cada vez menos negativos até se tornarem positivos nas latitudes altas. Os padrões de erro médio negativo em latitudes baixas se mantiveram relativamente constantes ao longo dos anos da série, não demonstrando muitas alterações e estando sempre presentes, apesar de variações na intensidade. Os erros médios positivos, por outro lado, demonstraram grande variabilidade de ano para ano, atingindo valores de até 3,5 °C e início em 40° S durante alguns anos, enquanto outros apresentaram quase nenhum EM positivo.

Figura 4.14 - Erro médio de temperatura a 500 hPa (°C) das previsões do Eta40km-BESM, para o período de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) dos anos de 1988 até 2010, exceto 1991.



A figura 4.15 permite visualizar a correlação entre as previsões e observações para cada mês da estação chuvosa estudada, indicando valores positivos de correlação predominantes na porção norte do continente sul-americano. No Brasil, a correlação mais forte pôde ser vista na região Norte e parte do Centro-Oeste, se mostrando mais forte em janeiro e fevereiro. Embora fracos, valores positivos de correlação apareceram na região Sul durante os meses de janeiro e fevereiro.

Figura 4.15 - Coeficientes de correlação entre as previsões de temperatura do ar a 500 hPa do Eta40km-BESM e valores observados pelo ERA5, para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro do período de 1988-2010, exceto 1991.



4.4.3 Temperatura do ar a 250 hPa

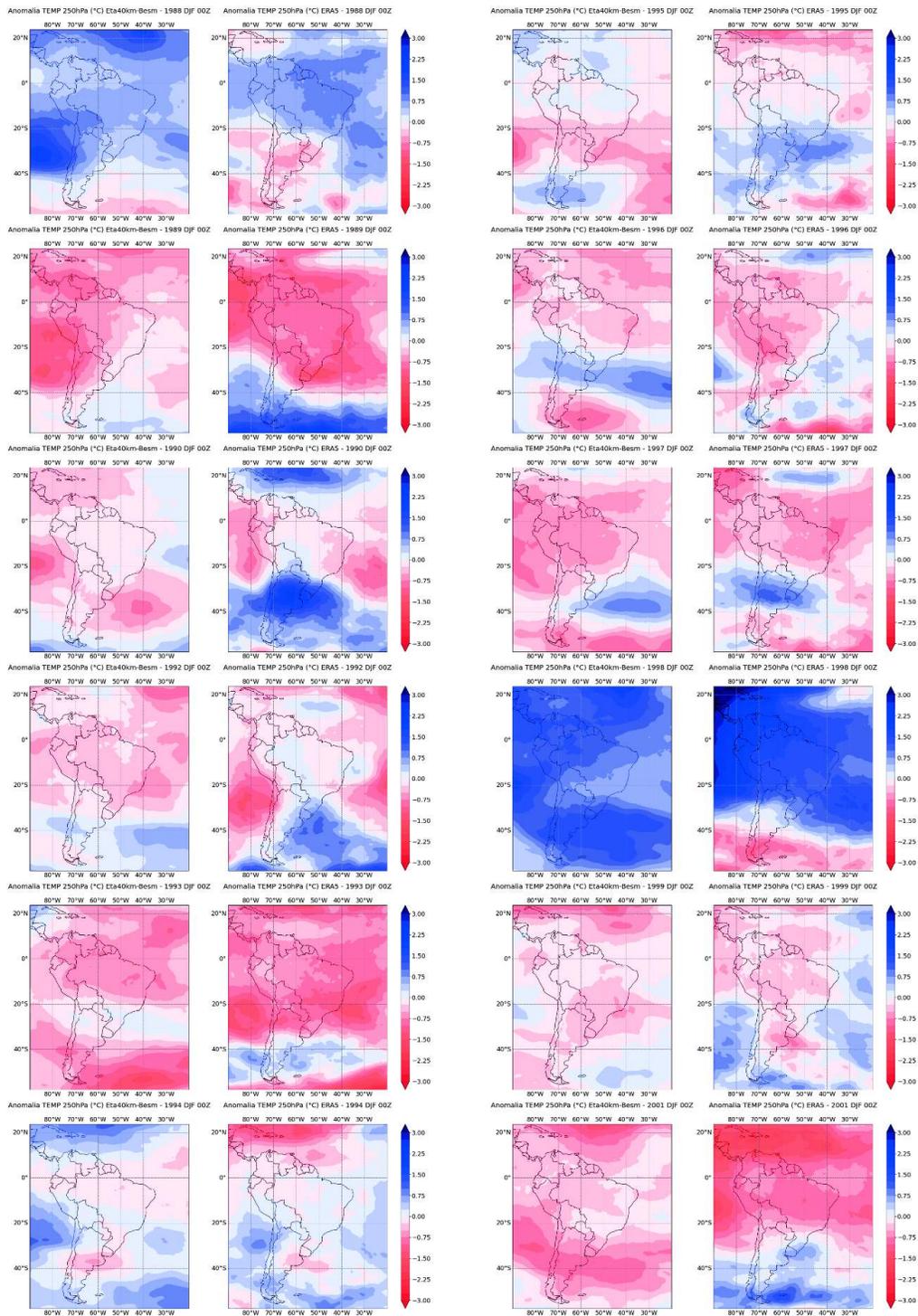
A figura 4.16 apresenta as anomalias de temperatura do ar a 250 hPa obtidas com Eta40km-BESM e com ERA5 para Dez-Jan-Fev dos anos de 1988 até 2010, exceto os anos de 1991 e 2000 (21 anos). Os EM para o mesmo período são apresentados na figura 4.17. Tais previsões foram elaboradas partindo do horário de 00Z do modelo Eta40km-BESM. Foram obtidas anomalias para os horários de 06, 12 e 18Z (figuras não apresentadas). Os coeficientes de correlação entre as previsões e observações da variável para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro são apresentados na figura 4.18.

É possível notar na figura 4.16 a habilidade do modelo regional Eta40km-BESM de prever sinais de anomalia de temperatura do ar predominantes similares aos observados pelo ERA5, assim como foi visto para os níveis de pressão anteriores. Essa habilidade, porém, não está aparente em todas os anos da série estudada, de modo que as previsões do modelo nem sempre reproduzem sinais compatíveis com o observado. As previsões

também não conseguiram reproduzir todas as anomalias na mesma intensidade dos valores observados, resultando em anos onde os sinais predominantes foram satisfatoriamente previstos, mas subestimaram ou superestimaram os valores de anomalia de temperatura do ar para algumas regiões.

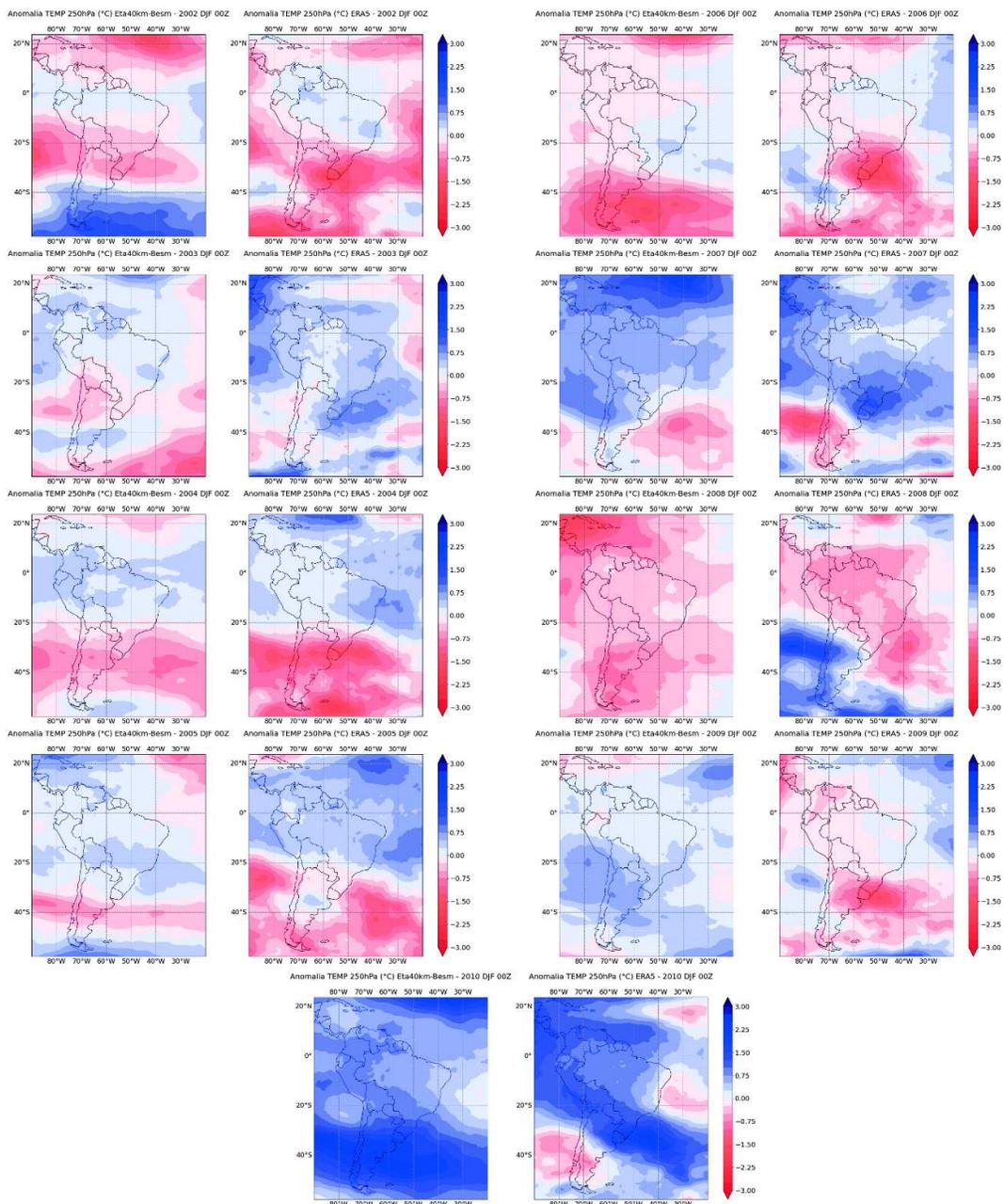
Para as previsões dos horários de 06, 12 e 18Z, não foram notadas variações significativas nos padrões ou valores de anomalia de temperatura do ar. As anomalias observadas pelo ERA5 também não demonstraram grandes mudanças, se resumindo apenas a pequenas variações que não indicam tendências de fortalecimento ou enfraquecimento das anomalias em relação aos horários anteriores.

Figura 4.16 - Anomalias médias de temperatura do ar a 250 hPa (°C) previstas pelo Eta40km-BESM e observadas pelo ERA5 na América do Sul, para o período de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) dos anos de 1988 até 2010, exceto 1991 e 2000.



(Continua)

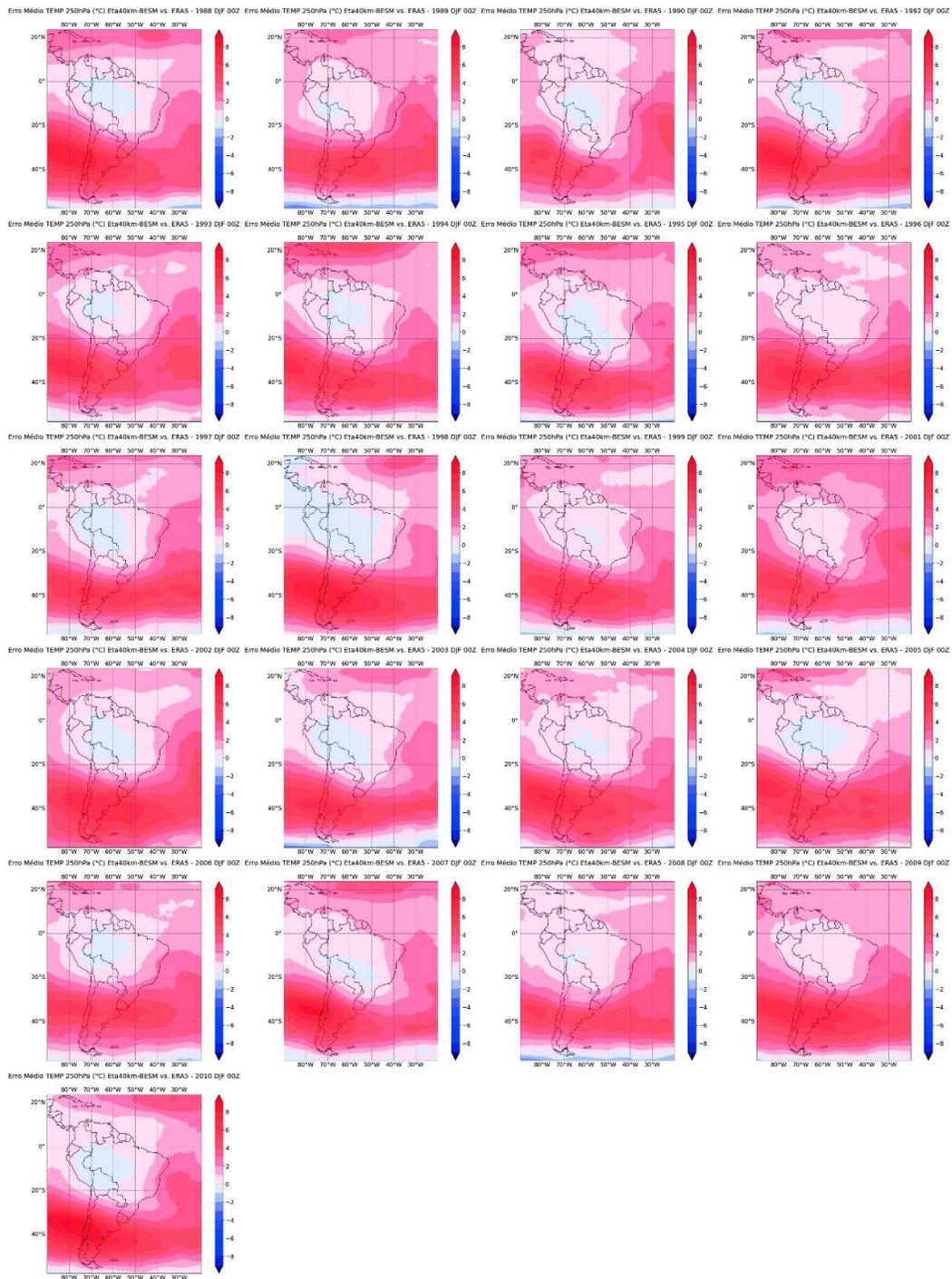
Figura 4.16 – Continuação.



Na figura 4.17 estão os valores de erro médio das previsões de temperatura do ar a 250 hPa do Eta40km-BESM, em comparação aos dados de reanálise do ERA5. É possível notar valores positivos de EM em todo o domínio da América do Sul, sugerindo a tendência do modelo Eta40km-BESM de superestimar os valores de temperatura do ar

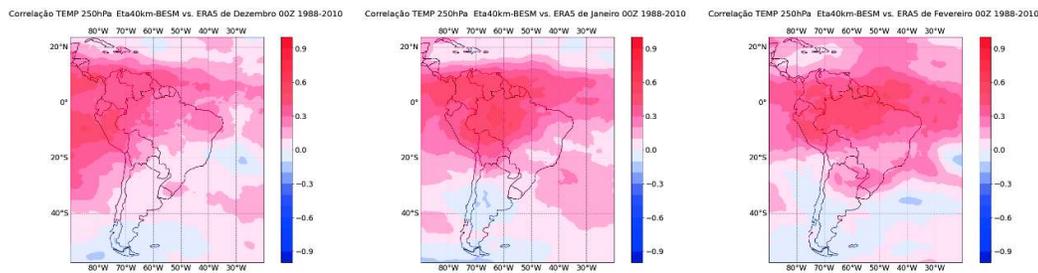
previstos para 240 hPa. Os valores de EM positivo mais altos se encontram em uma faixa entre 20°S e 50°S, se concentrando mais intensamente à esquerda do continente, onde o EM pode chegar a 8°C em alguns anos. Nota-se em alguns anos da série a ocorrência de EM negativo fraco no interior da região continental da AS, onde o EM visto se mostrou baixo em todos os anos. O erro médio também se mostrou baixo no extremo sul do domínio das previsões, onde em alguns anos chegou a inverter o sinal e indicar EM negativo.

Figura 4.17 - Erro médio de temperatura do ar a 250 hPa (°C) das previsões do Eta40km-BESM, para o período de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) dos anos de 1988 até 2010, exceto 1991 e 2010.



Na figura 4.18, é possível notar uma região de correlação positiva cruzando do oceano Atlântico ao Pacífico na América do Sul, incluindo a porção norte do continente sul-americano. No Brasil, foi possível notar valores de correlação positiva mais forte no Norte e partes do Centro-Oeste e Nordeste, se mostrando mais intensos em janeiro e fevereiro.

Figura 4.18 - Coeficientes de correlação entre as previsões de temperatura do ar a 250 hPa do Eta40km-BESM e valores observados pelo ERA5, para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro do período de 1988-2010, exceto 1991 e 2010.



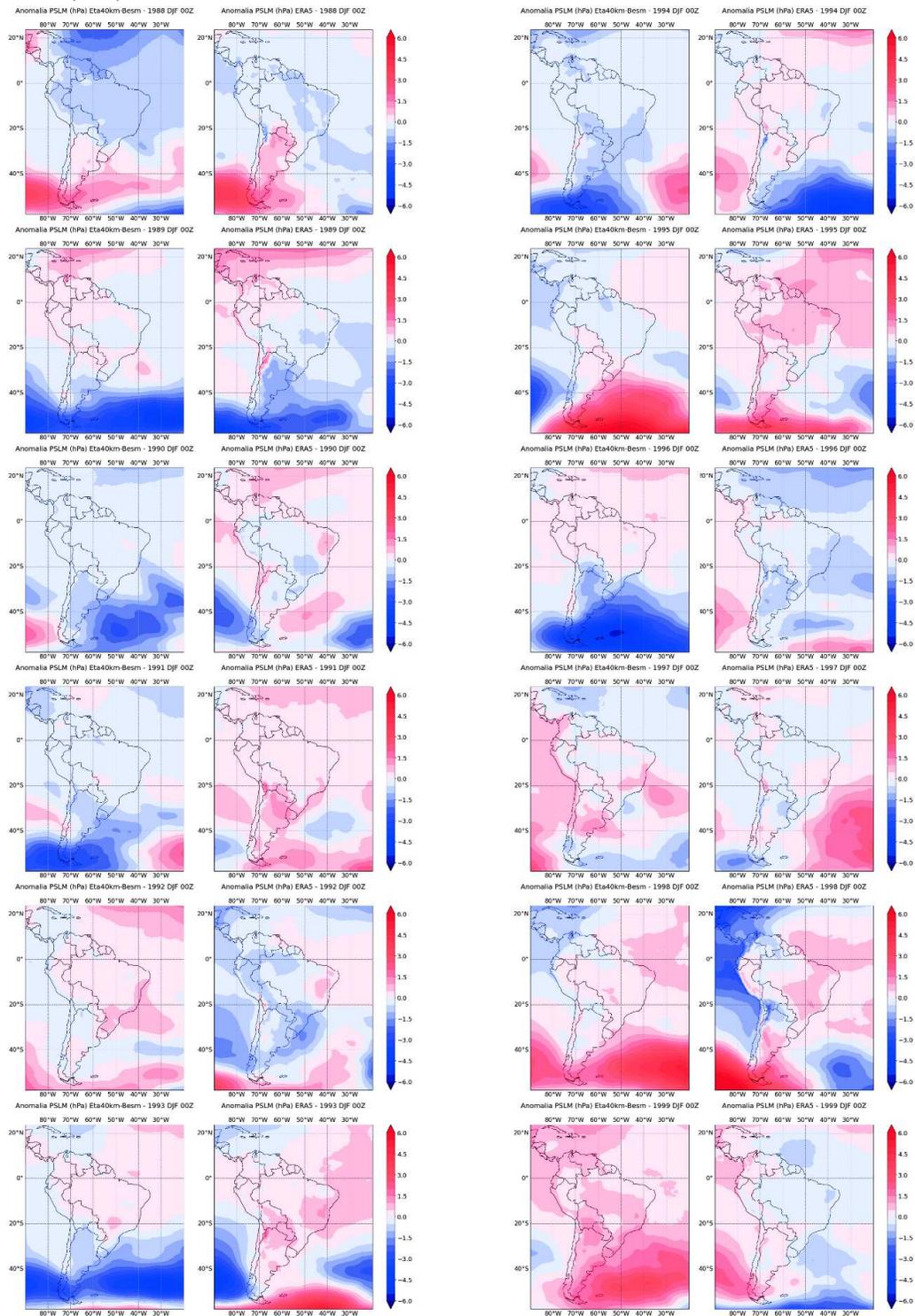
4.5 Pressão a nível médio do mar – DJF

A figura 4.19 apresenta as anomalias de PSLM obtidas com Eta40km-BESM e com ERA5 para Dez-Jan-Fev dos anos de 1988 até 2010 (23 anos). Os EM para o mesmo período são apresentados na figura 4.20. Tais previsões foram elaboradas partindo do horário de 00Z do modelo Eta40km-BESM. Foram obtidas anomalias para os horários de 06, 12 e 18Z (figuras não apresentadas). Os coeficientes de correlação entre as previsões e observações da variável para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro são apresentados na figura 4.21.

Na figura 4.19, é possível notar anos em que as previsões do modelo regional Eta40km-BESM foram capazes de simular padrões de anomalia de pressão similares aos observados pelo ERA5, indicando a capacidade do modelo de prever a ocorrência de anomalia para esse campo. Essas previsões, porém, apresentaram diferenças significativas do observado, como superestimação ou subestimação dos valores de anomalia e variações espaciais das regiões de pressão anômala. Isso pôde ser visto principalmente nos anos de 1988, 1989, 1995, 2000, 2001, 2002 e 2003, onde os sinais

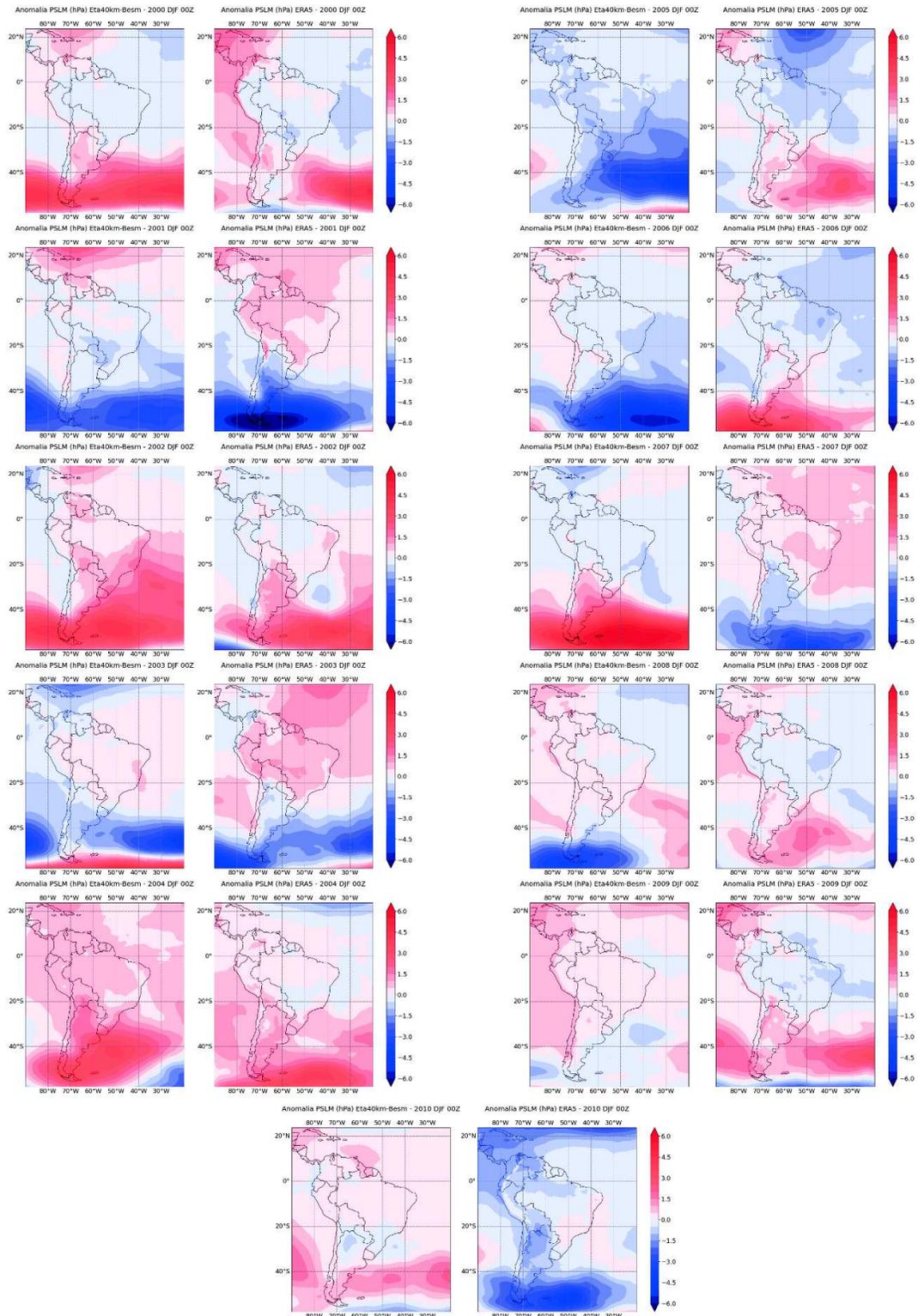
predominantes de anomalia foram simulados corretamente, mas variaram em intensidade e posicionamento. Também foram notados anos em que as previsões do Eta40km-BESM não conseguiram simular as anomalias de maneira satisfatória, onde foram previstas fortes anomalias que não vieram a acontecer ou que apresentaram sinal oposto nas observações.

Figura 4.19 - Anomalias médias de pressão a nível médio do mar (hPa) previstas pelo Eta40km-BESM e observadas pelo ERA5 na América do Sul, para o período de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) dos anos de 1988 até 2010.



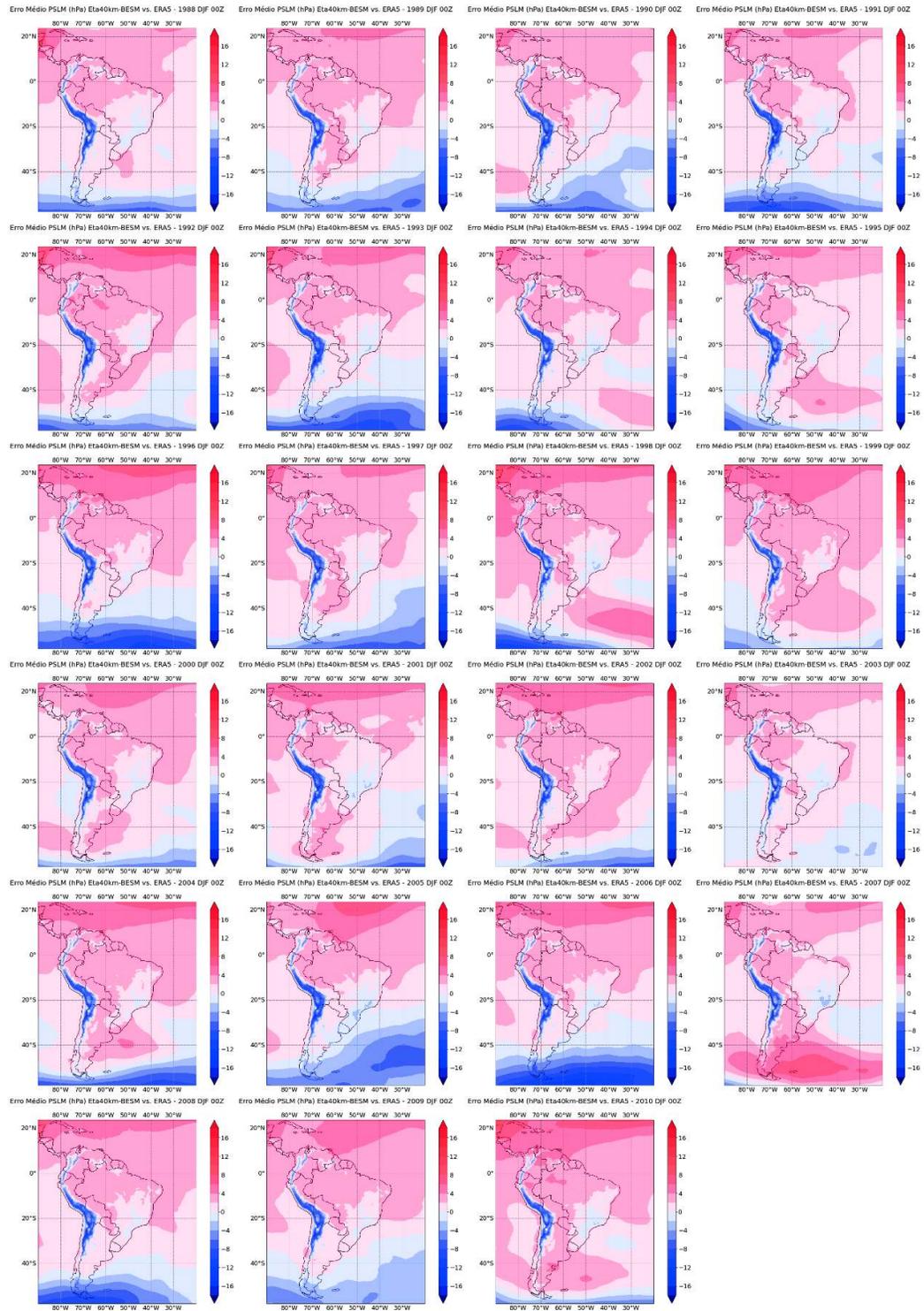
(Continua)

Figura 4.19 – Continuação.



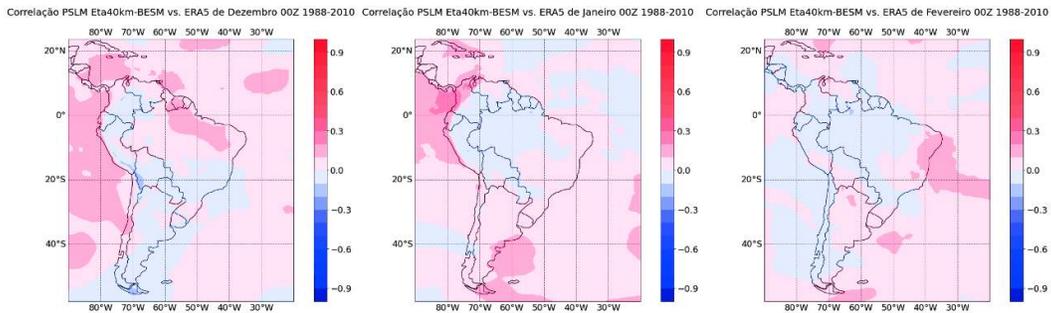
A figura 4.20 mostra os valores de erro médio de pressão a nível médio do mar, sendo possível notar a tendência de valores mais altos de EM em latitudes baixas, que se aproximam de zero em regiões de média latitude e invertem o sinal em latitudes altas, indicando valores negativos de EM. A intensidade e extensão das áreas de erro médio variam de ano para ano, com os valores de EM mais altos podendo se estender até as latitudes médias em alguns anos da série, como pôde ser visto em 1994, 1995, 1998, 1999, 2002, 2004 e 2010. Consequentemente, os valores de erro médio negativo em latitudes altas se mostraram mais fracos e próximos de zero durante esses anos. No ano de 2007 foi notada uma região de EM positivo intensa próxima de 50° S, destoando do padrão observado nos outros anos da série.

Figura 4.20 - Erro médio de pressão a nível médio do mar (hPa) das previsões do Eta40km-BESM, para o período de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) dos anos de 1988 até 2010.



Os valores de correlação entre as previsões do modelo e observações, retratados na figura 4.21, indicaram valores baixos de correlação em todo o domínio da América do Sul, demonstrando sinais mistos em todo o território brasileiro.

Figura 4.21 - Coeficientes de correlação entre as previsões de pressão a nível médio do mar do Eta40km-BESM e valores observados pelo ERA5, para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro do período de 1988-2010.



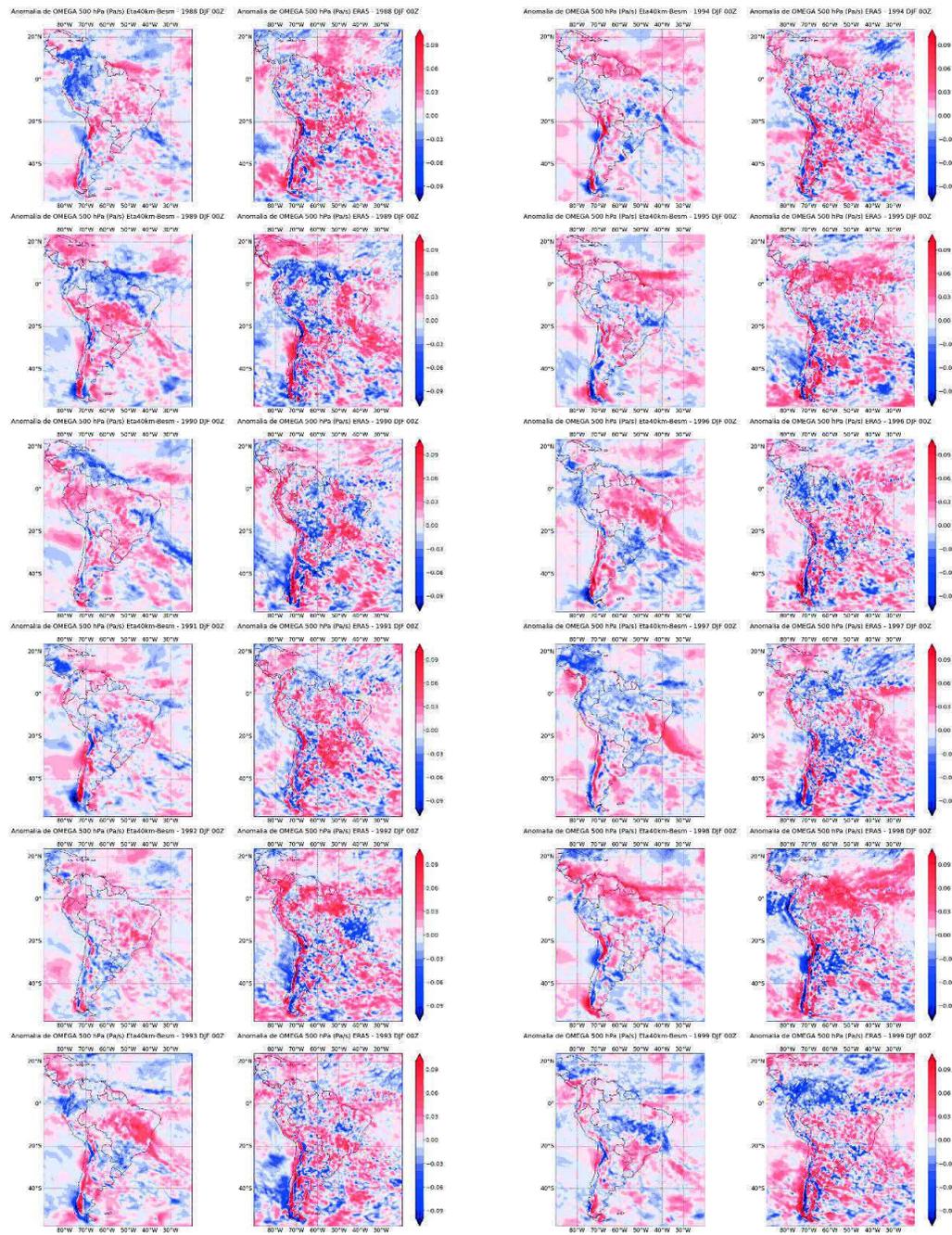
4.6 Movimento vertical a 500 hPa – DJF

A figura 4.22 apresenta as anomalias de movimento vertical OMEGA a 500 hPa obtidas com Eta40km-BESM e com ERA5 para Dez-Jan-Fev dos anos de 1988 até 2010 (23 anos). Os EM para o mesmo período são apresentados na figura 4.23. Tais previsões foram elaboradas partindo do horário de 00Z do modelo Eta40km-BESM. Foram obtidas anomalias para os horários de 06, 12 e 18Z (figuras não apresentadas). No campo de movimento vertical ômega, valores negativos indicam um movimento ascendente do vento, enquanto valores positivos indicam ar descendo. Os coeficientes de correlação entre as previsões e observações da variável para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro são apresentados na figura 4.24.

Através da figura 4.22, pode-se notar que as previsões do modelo Eta40km-BESM não reproduzem anomalias de movimento vertical com o mesmo nível de detalhamento das anomalias observadas pelo ERA5, de modo que as previsões demonstram regiões de anomalias mais homogêneas e com um mesmo sinal predominante, enquanto as observações de movimento vertical representam uma maior variabilidade de sinais de

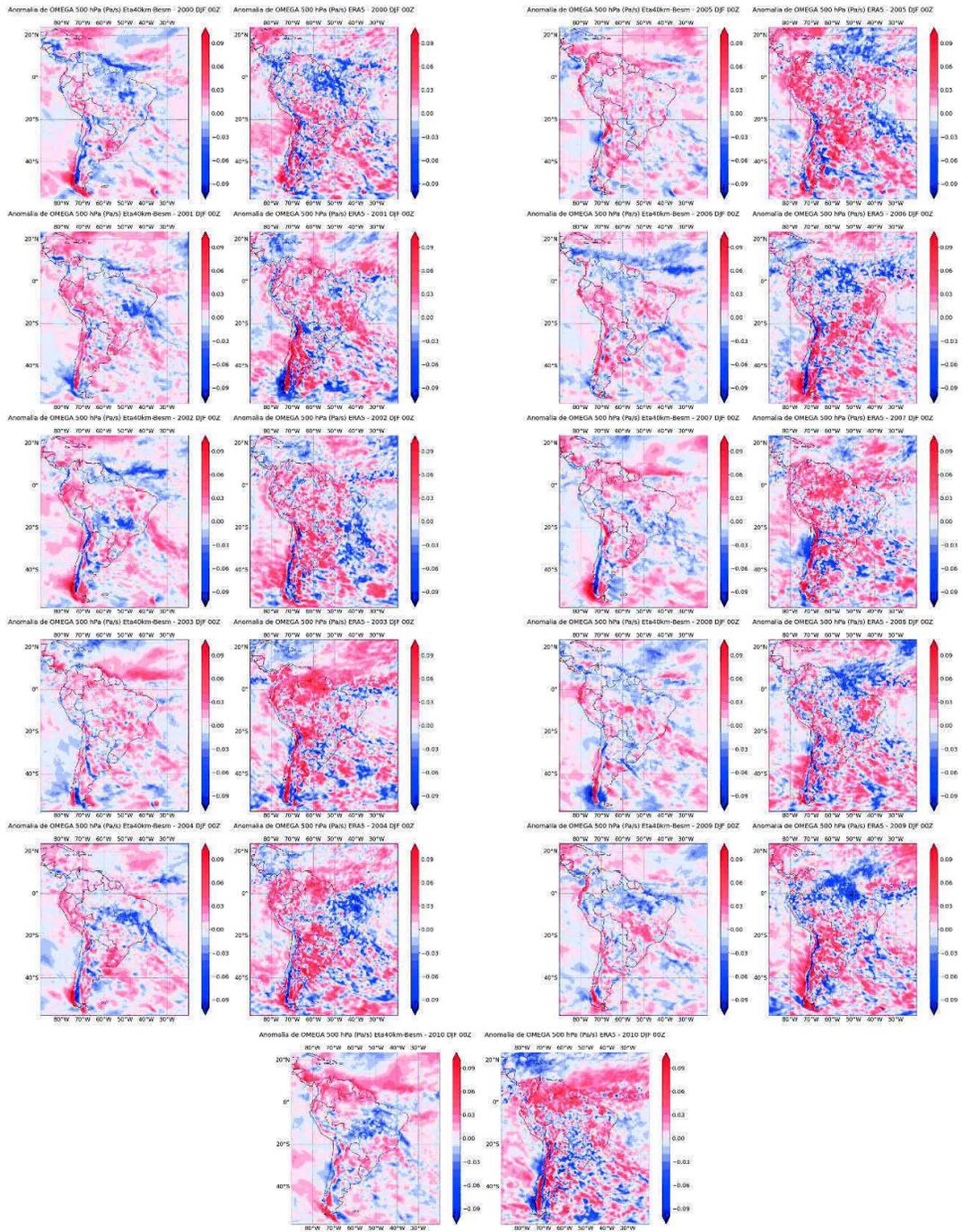
anomalia em um mesmo local. É possível também notar uma tendência do modelo de subestimar os valores de anomalia do domínio em geral, principalmente nos oceanos. Apesar disso, o modelo Eta40km-BESM demonstrou certa capacidade de simular os sinais de anomalia predominantes em algumas regiões de suas previsões, com exceções.

Figura 4.22 - Anomalias médias de movimento vertical a 500 hPa (Pa/s) previstas pelo Eta40km-BESM e observadas pelo ERA5 na América do Sul, para o período de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) dos anos de 1988 até 2010.



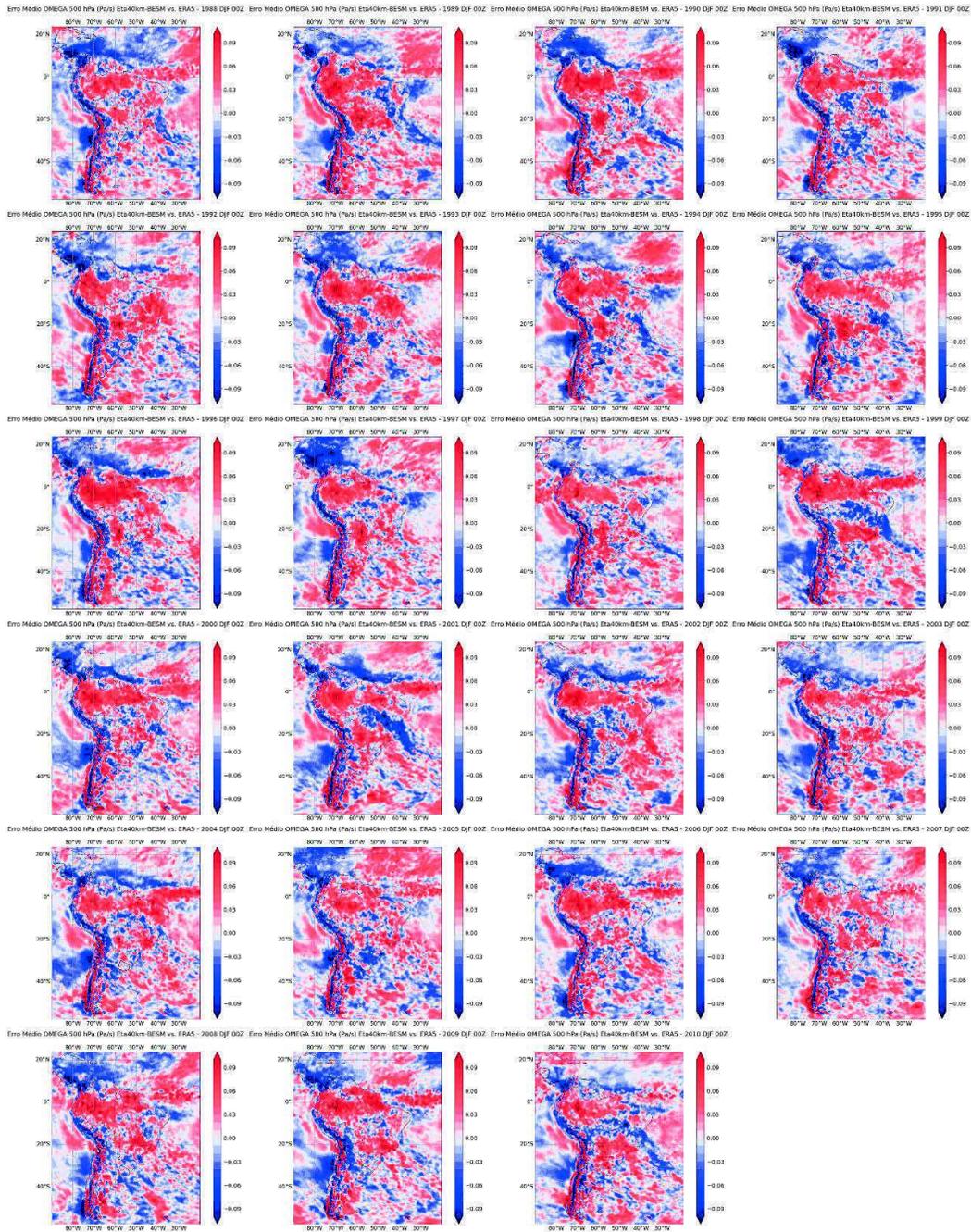
(Continua)

Figura 4.22 – Continuação.



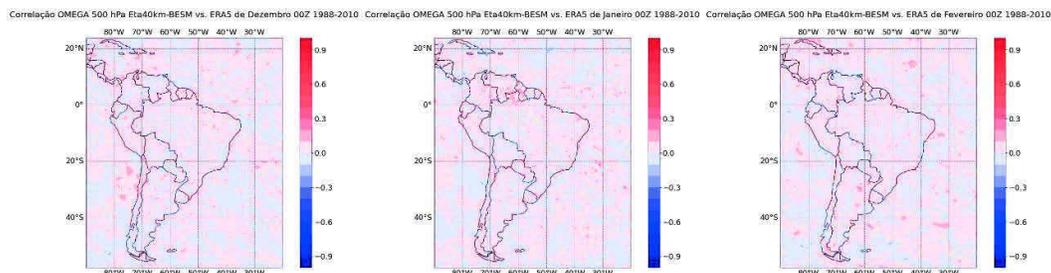
A figura 4.23 permite notar valores altos de erro médio das previsões, com erro médio positivo predominante nas regiões Norte, Nordeste e Sudeste do Brasil. Também podem ser vistos valores positivos de erro na região da ZCIT, dispostos em uma faixa sobre o oceano, que por sua vez apresenta valores negativos de erro em suas adjacências. A figura 4.23 também indica valores negativos de erro médio próximos à região da ZCAS em alguns anos da série.

Figura 4.23 - Erro médio de movimento vertical a 500 hPa (Pa/s) das previsões do Eta40km-BESM, para o período de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) dos anos de 1988 até 2010.



Na figura 4.24, nenhuma correlação entre as previsões e observações pôde ser notada entre as previsões e observações da variável, apresentando valores próximos de zero em todo o domínio da América do Sul.

Figura 4.24 - Coeficientes de correlação entre as previsões de movimento vertical a 500 hPa do Eta40km-BESM e valores observados pelo ERA5, para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro do período de 1988-2010.



4.7 Altura geopotencial em níveis de pressão – DJF

4.7.1 Altura geopotencial a 850 hPa

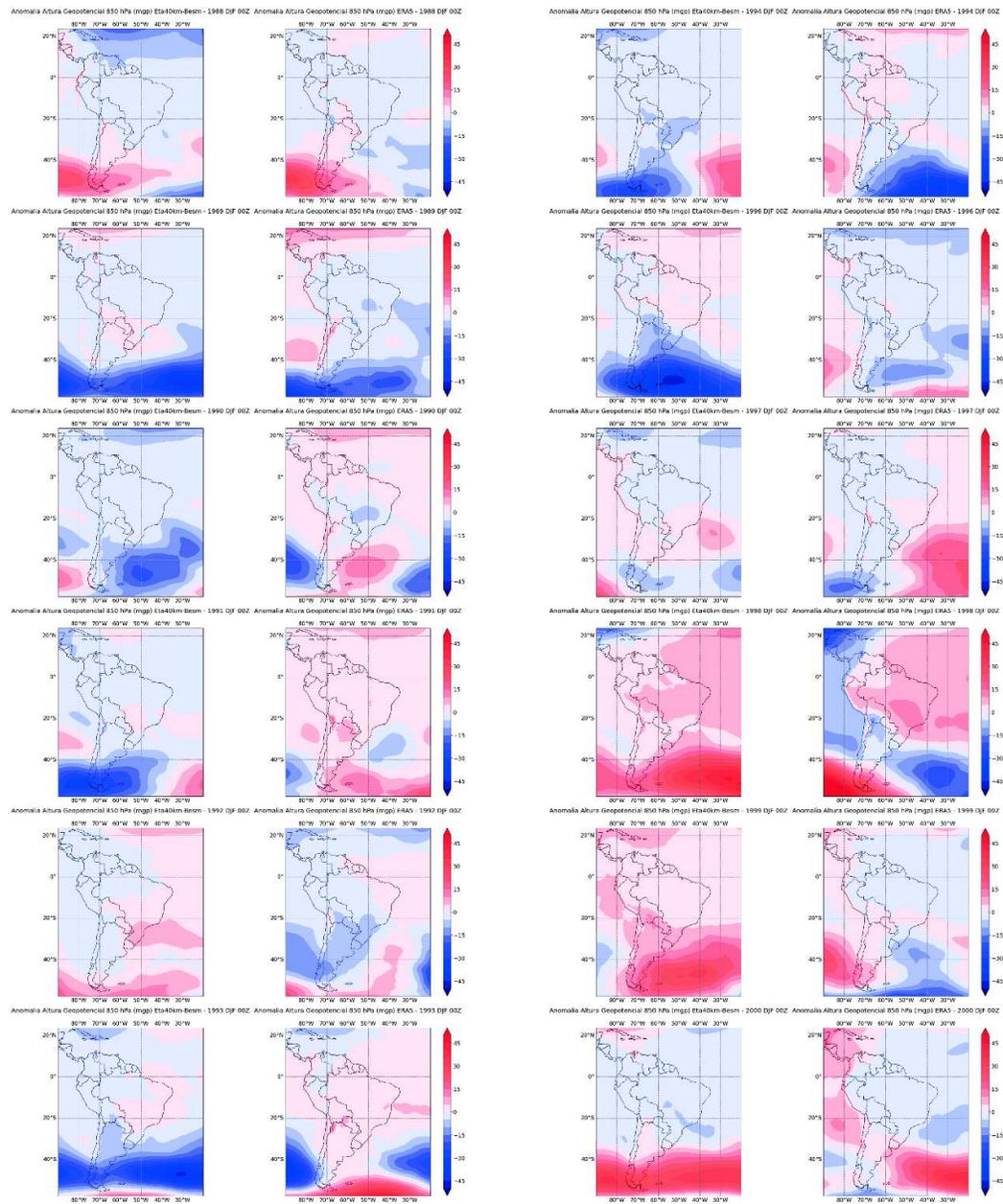
A figura 4.25 apresenta as anomalias de altura geopotencial a 850 hPa obtidas com Eta40km-BESM e com ERA5 para Dez-Jan-Fev dos anos de 1988 até 2010, exceto os anos de 1995 e 2003 (21 anos). Os EM para o mesmo período são apresentados na figura 4.26. Tais previsões foram elaboradas partindo do horário de 00Z do modelo Eta40km-BESM. Foram obtidas anomalias para os horários de 06, 12 e 18Z (figuras não apresentadas). Os coeficientes de correlação entre as previsões e observações da variável para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro são apresentados na figura 4.27.

Na figura 4.25, é possível notar que, tanto nas previsões do modelo Eta40km-BESM quanto nos valores observados do ERA5, as anomalias mais intensas de altura geopotencial ocorreram na região de latitudes médias, enquanto latitudes baixas mostraram uma predominância de valores que se aproximam de zero. As previsões do Eta40km-BESM demonstraram capacidade de prever as anomalias predominantes de alguns anos da série estudada, porém subestimando ou superestimando a intensidade das

anomalias e a extensão das regiões de altura geopotencial anômala, como pôde ser visto nos anos de 1988, 1989, 1993, 2000, 2001, 2002 e 2004. Também foram notados anos em que a previsão simulou fortes anomalias com o sinal oposto ao observado, como nos anos de 2005 e 2007.

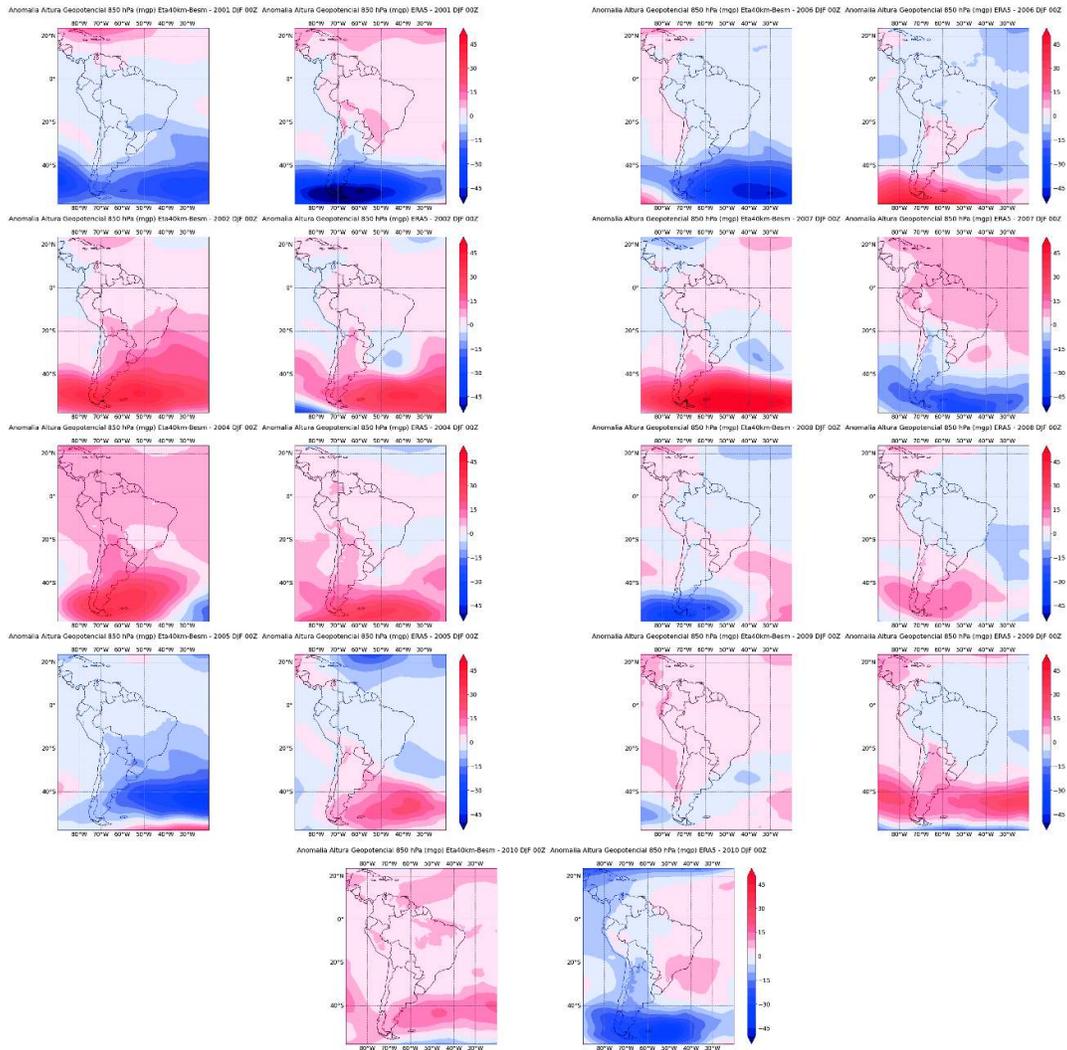
Para os campos de anomalia obtidos nos horários 06, 12 e 18Z do modelo Eta40km-BESM, não foram vistas mudanças significativas. Para os campos da reanálise do ERA5, também não houve mudança significativa, porém pôde-se perceber pequenas variações na intensidade e extensão das regiões de altura geopotencial anômala.

Figura 4.25 - Anomalias médias de altura geopotencial a 850 hPa (mgs) previstas pelo Eta40km-BESM e observadas pelo ERA5 na América do Sul, para o período de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) dos anos de 1988 até 2010, exceto 1995 e 2003.



(Continua)

Figura 4.25 – Continuação.

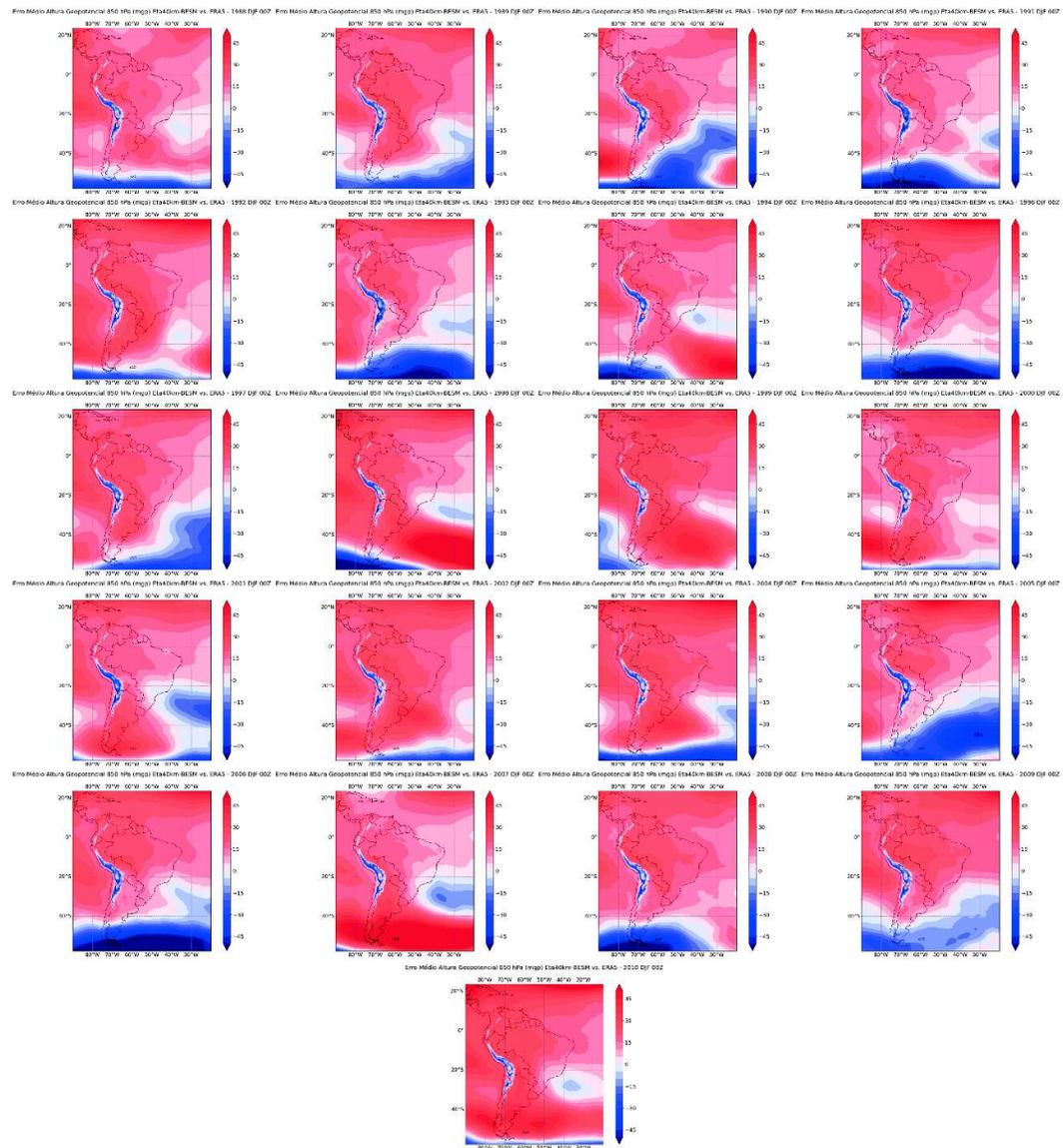


Através dos erros médios de altura geopotencial a 850 hPa retratados na figura 4.26, é possível notar uma predominância de EM positivo em todos os anos da série, que tendem a ser mais intensos no interior do continente sul-americano, com valores mais baixos na costa leste do continente. Sobre o oceano, nota-se uma faixa de EM próximo de zero na região de média latitude, podendo se estender a 20°S em alguns anos ou formar um núcleo de EM baixo na costa do sul e sudeste brasileiros. Essa faixa indica uma transição dos valores de EM positivos para negativos, que se limitam a latitudes altas na maioria dos

anos da série. Também foram vistos valores altos de erro médio negativo sobre a cordilheira dos Andes, presente em toda a série.

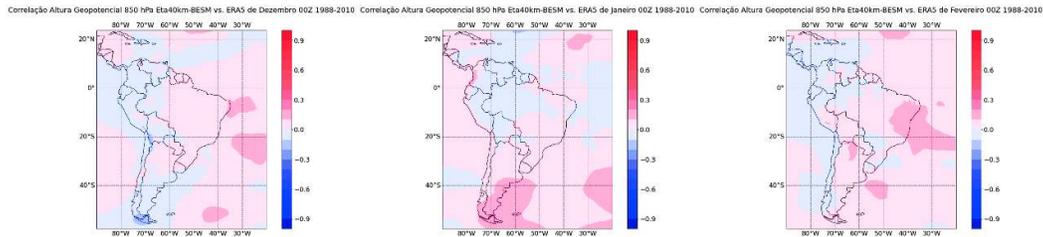
Os campos de erro médio obtidos para os horários de 06, 12 e 18Z apresentaram os mesmos padrões espaciais do horário de 00Z, embora os horários de 06 e 18Z tenham apresentado intensificação dos valores de EM positivos, enquanto 12Z se manteve intensidade similar ao horário de 00Z.

Figura 4.26 - Erro médio de altura geopotencial a 850 hPa (mvp) das previsões do Eta40km-BESM, para o período de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) dos anos de 1988 até 2010, exceto 1995 e 2003.



Na figura 4.27, pôde-se notar valores de correlação próximos de zero entre as previsões e observações em toda a América do Sul.

Figura 4.27 - Coeficientes de correlação entre as previsões de altura geopotencial a 850 hPa do Eta40km-BESM e valores observados pelo ERA5, para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro do período de 1988-2010, exceto 1995 e 2003.



4.7.2 Altura geopotencial a 500 hPa

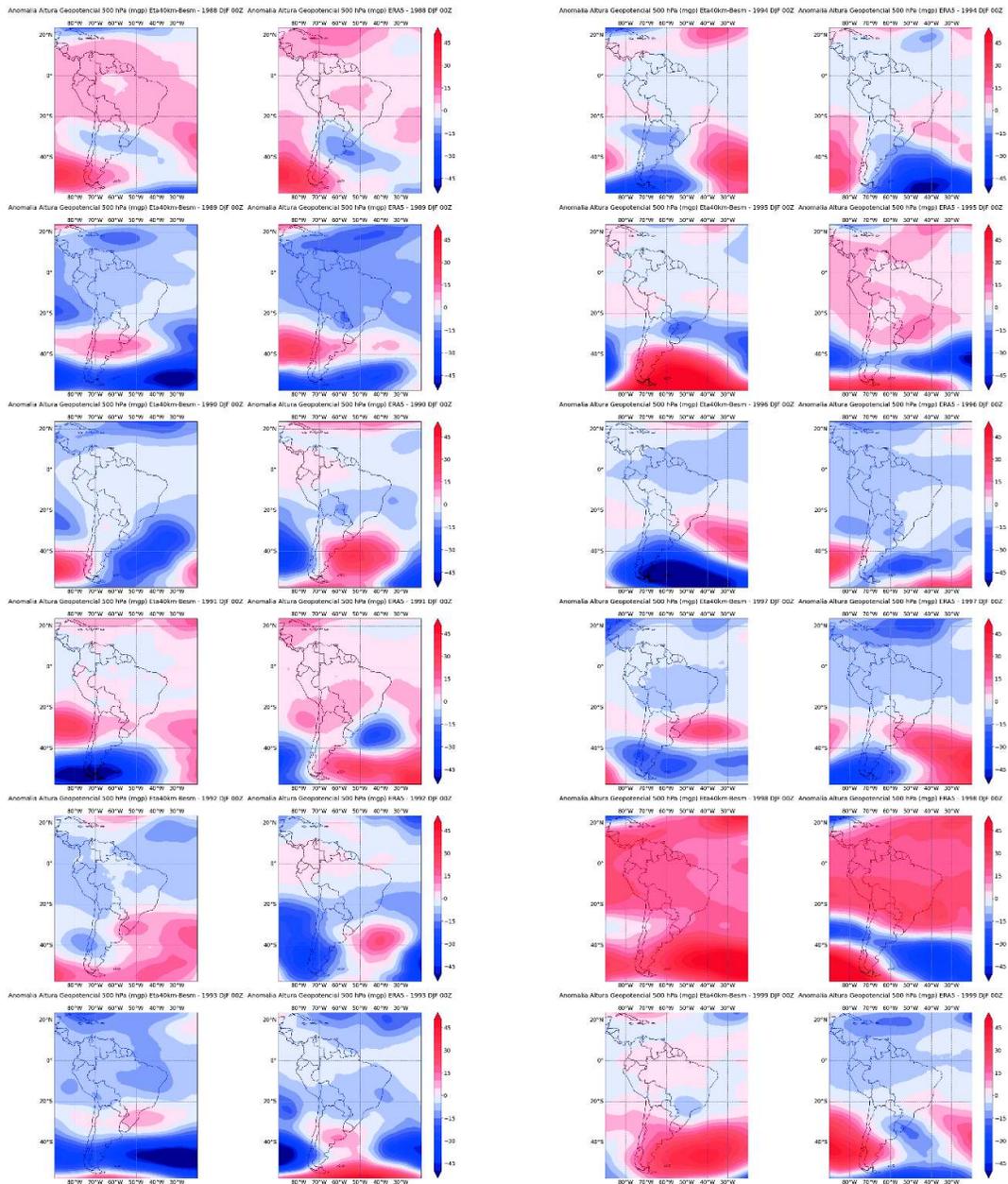
A figura 4.28 apresenta as anomalias de altura geopotencial a 500 hPa obtidas com Eta40km-BESM e com ERA5 para Dez-Jan-Fev dos anos de 1988 até 2010 (23 anos). Os EM para o mesmo período são apresentados na figura 4.29. Tais previsões foram elaboradas partindo do horário de 00Z do modelo Eta40km-BESM. Foram obtidas anomalias para os horários de 06, 12 e 18Z (figuras não apresentadas). Os coeficientes de correlação entre as previsões e observações da variável para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro são apresentados na figura 4.30.

Através da figura 4.28, pode-se notar que as anomalias de altura geopotencial a 500 hPa previstas pelo modelo regional Eta40km-BESM se assemelham às observadas pelo ERA5 em certos anos da série, se mostrando capaz de reproduzir os padrões de anomalia predominantes do domínio estudado e de regiões específicas. Nota-se também que, mesmo se mostrando similares aos padrões observados, as previsões do modelo apresentam diferenças quanto a posição e extensão das regiões de anomalias intensas, que em alguns casos se mostraram deslocadas ou com tamanhos subestimados ou superestimados. Em outros casos, como nos anos de 1998 e 2010, o modelo previu as anomalias predominantes do domínio da América do Sul, mas falhou em prever a ocorrência de fortes anomalias em uma região específica. A figura 4.28 também mostra

anos em que o modelo não foi capaz de prever corretamente a ocorrência de anomalias, incluindo casos em que foram previstos sinais opostos aos observados.

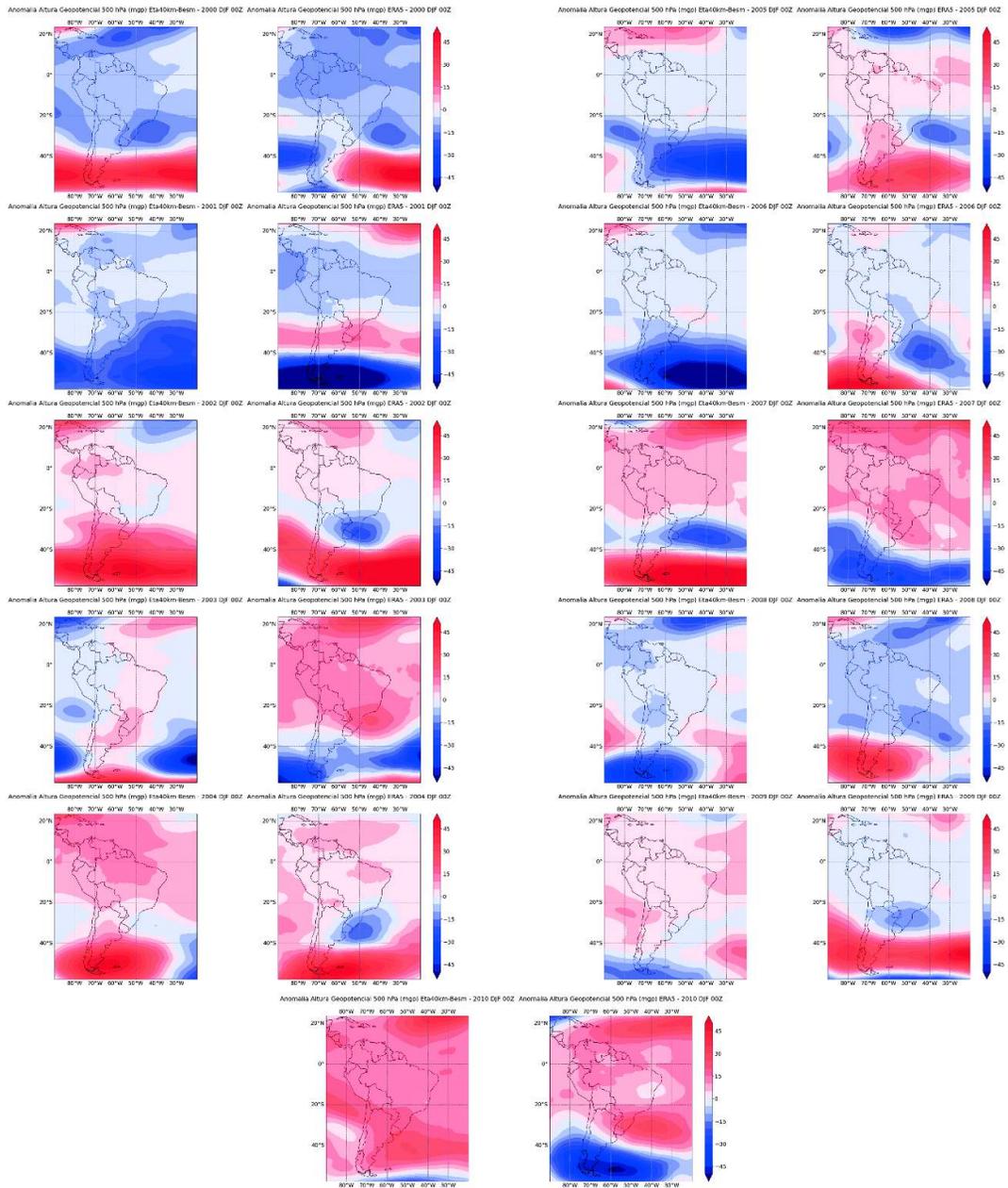
Os campos de anomalia obtidos nos horários de 06, 12 e 18Z do Eta40km-BESM e do ERA5 não demonstraram mudanças significativas, com o ERA5 apresentando pequenas variações em extensão e valor das anomalias de altura geopotencial, que não foram vistas no Eta40km-BESM com a mesma intensidade.

Figura 4.28 - Anomalias médias de altura geopotencial a 500 hPa (mgp) previstas pelo Eta40km-BESM e observadas pelo ERA5 na América do Sul, para o período de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) dos anos de 1988 até 2010.



(Continua)

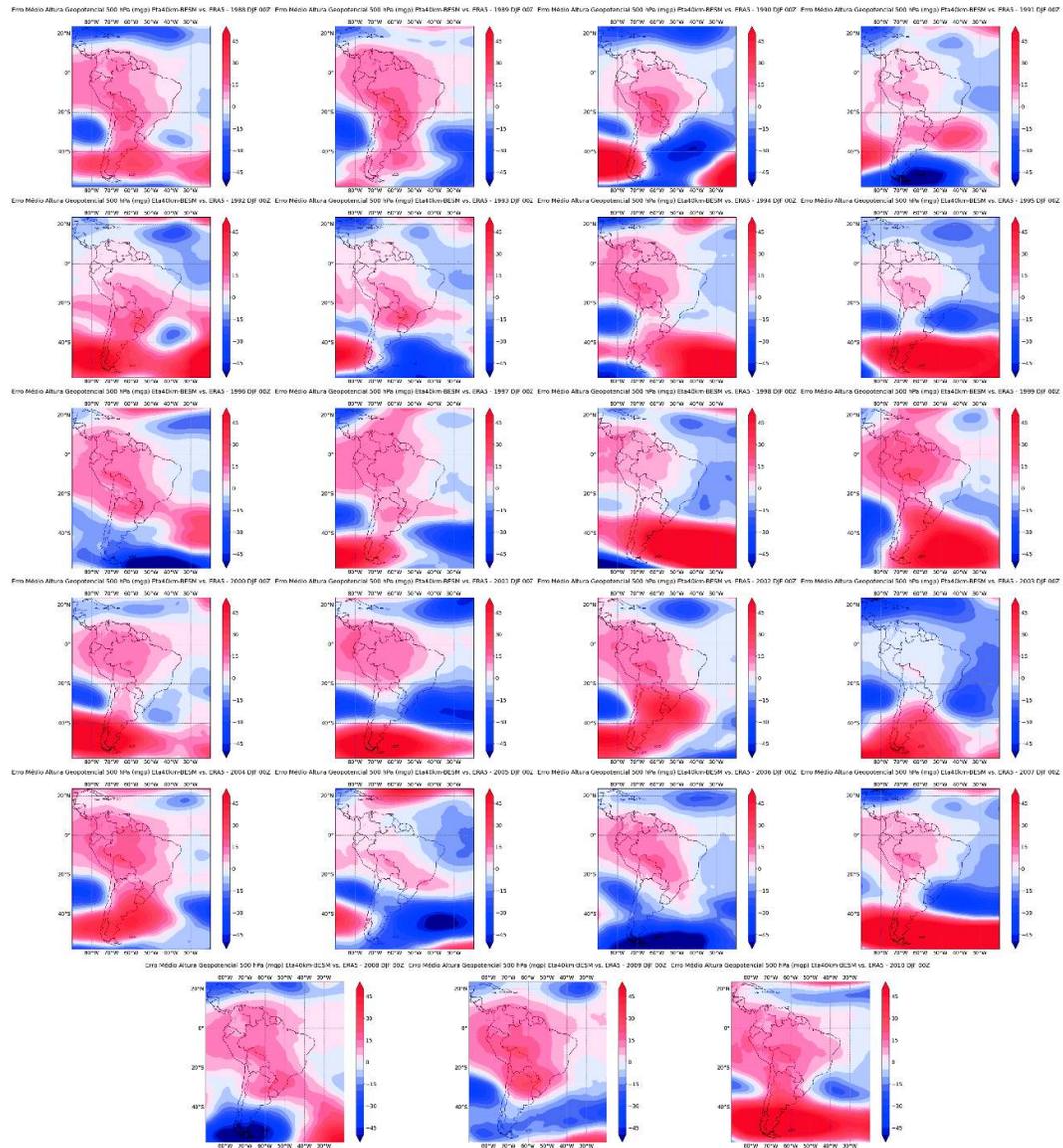
Figura 4.28 – Continuação.



A figura 4.29 permite visualizar os campos de erro médio das previsões de altura geopotencial a 500 hPa do Eta40km-BESM, indicando grande variabilidade anual de EM. O continente sul-americano apresenta uma predominância de EM positivo ao longo da série de anos estudados, principalmente na porção norte do continente, enquanto a parte sul variou de acordo com a presença de fortes núcleos de EM sobre o oceano a sul, sudeste

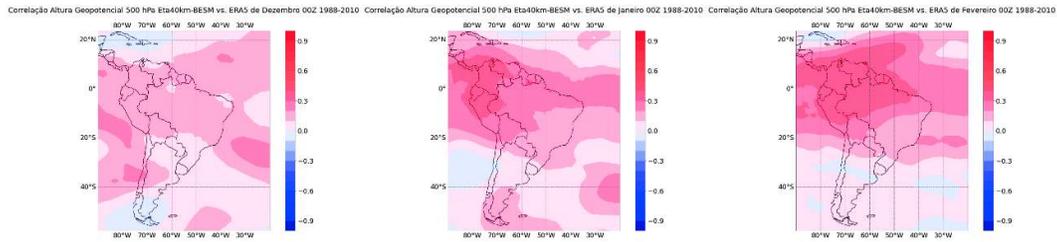
e sudoeste do continente, que variaram de posição e intensidade de ano para ano. Os menores valores de EM foram vistos sobre os oceanos nas latitudes médias, apresentando valores próximos a zero na maioria dos anos da série.

Figura 4.29 - Erro médio de altura geopotencial a 500 hPa (mgp) das previsões do Eta40km-BESM, para o período de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) dos anos de 1988 até 2010.



A correlação entre as previsões e as observações de altura geopotencial a 500 hPa, evidenciada na figura 4.30, indica uma faixa de valores positivos de correlação nas latitudes baixas da América do Sul, se mostrando mais intensa sobre o continente. No Brasil, os valores mais altos de correlação podem ser vistos na região Norte, se mostrando mais intensos em fevereiro.

Figura 4.30 - Coeficientes de correlação entre as previsões de altura geopotencial a 500 hPa do Eta40km-BESM e valores observados pelo ERA5, para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro do período de 1988-2010.



5 CONCLUSÃO

Neste estudo, as previsões do modelo climático regional Eta40km aninhado ao modelo climático global BESM sobre a América do Sul foram geradas e comparadas a dados observacionais, analisando seu desempenho através de cálculos de anomalia, erro médio e coeficientes de correlação para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro do período de 1988-2010. As variáveis previstas no estudo foram precipitação, temperatura a 2 metros, temperatura do ar em níveis de pressão, pressão a nível médio do mar, movimento vertical ômega a 500 hPa e altura geopotencial em níveis de pressão. A avaliação das previsões de precipitação foi realizada para os domínios da América do Sul e Sudeste do Brasil, focando em sua habilidade de prever a ocorrência de eventos extremos secos e chuvosos na região Sudeste.

Em geral, as previsões do modelo regional Eta40km-BESM mostraram habilidade de prever sinais de anomalia predominantes similares aos observados, assim como padrões de anomalia mais específicos de maneira satisfatória. A intensidade das anomalias

previstas acompanhou as variações observadas, mas seus valores não se mostraram bem representados nas previsões do modelo, tendendo a subestimar ou superestimar os valores das anomalias em todas as variáveis analisadas.

As previsões de precipitação apresentaram subestimativa predominante nas regiões Norte, Nordeste e parte do Centro-Oeste do Brasil, enquanto superestimativas foram vistas no Sudeste. As previsões do modelo demonstraram melhor correlação com as observações de precipitação na região Norte do país.

Para eventos extremos no Sudeste, o modelo regional Eta40km-BESM se mostrou capaz de prever anomalias positivas de precipitação em todos os 3 eventos extremos chuvosos identificados na região. Nos 2 eventos extremos chuvosos mais intensos, o modelo conseguiu prever valores de chuva considerados extremos e bastante próximos dos observados. Por outro lado, dos 2 eventos de extremo seco identificados, o modelo falhou em prever o evento extremo seco mais intenso e conseguiu prever o segundo com superestimativa da anomalia negativa.

As previsões de temperatura a 2 metros apresentaram subestimação na porção norte do continente sul-americano e superestimativa no sul. No Brasil, foi encontrado erro médio negativo mais intenso nas regiões mais próximas da costa do Sudeste, Nordeste e Norte. Valores mais altos de correlação das previsões de temperatura a 2m foram encontrados na região amazônica e na costa do Nordeste brasileiro, com valores mais baixos no Centro-Oeste e Sul.

Previsões de temperatura do ar a 850 hPa subestimaram os valores em todo o Brasil, com os menores erros na região Sul. Correlação positiva média foi vista no norte do país. Para o nível de 500 hPa, as previsões de temperatura do ar também subestimaram os valores em todo o Brasil, mas demonstraram correlação positiva média nas regiões Norte e parte do Centro-Oeste. Já as previsões de temperatura do ar a 250 hPa superestimaram seus valores no Brasil e no resto da América do Sul, com o erro mais alto encontrado no sul do continente, incluindo a região Sul do Brasil. As previsões indicaram boa correlação positiva no norte do continente, incluindo o Norte e partes do Nordeste e Centro-Oeste brasileiros.

As previsões de pressão a nível médio do mar apresentaram superestimativa no Norte e parte do Nordeste do Brasil, com erros mais baixos e próximos de zero no restante do

país. Os valores de correlação das previsões se mostraram baixos e com sinais mistos em todo o Brasil e América do Sul.

Previsões de movimento vertical ômega a 500 hPa apresentaram fortes erros em todo o Brasil, com predominância de superestimativa no Norte, Nordeste e Sudeste. Nenhuma correlação foi observada entre as previsões e observações.

Para a altura geopotencial a 850 hPa, as previsões apresentaram superestimativa em todo o continente sul-americano, exceto nos Andes, onde houve forte subestimativa. Correlação fraca foi encontrada em todo o domínio da América do Sul. Já para altura geopotencial a 500 hPa, correlação positiva foi vista no norte do continente e em todo o Brasil, com valores mais fortes na região Norte. O erro das previsões nesse nível de pressão variou de ano para ano, com os erros mais altos localizados nas latitudes altas e médias, enquanto as latitudes baixas apresentaram pouco erro.

5.1 Próximos Passos

Nos próximos passos deste trabalho, as seguintes atividades serão elaboradas:

- a) Estender a série de dados para incluir mais anos de previsões retrospectivas do modelo, a fim de se obter uma amostra maior de eventos extremos chuvosos e extremos secos;
- b) Corrigir e gerar novas previsões retrospectivas do modelo para o período de 1981-1986;
- c) Investigar a origem remota ou global das anomalias positivas e negativas de chuva no Sudeste;
- d) Relacionar os erros das previsões de precipitação e temperatura com os erros das variáveis de altos níveis;
- e) Relacionar os erros das previsões de precipitação e temperatura com anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM);
- f) Realizar testes com diferentes esquemas de produção de chuva do modelo Eta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHOU, S.C.; BUSTAMANTE, J.F.; GOMES, J. 2005. Evaluation of Eta Model seasonal precipitation forecasts over South America. **Nonlinear Processes in Geophysics**, 12: 537-555. doi: <<https://doi.org/10.5194/npg-12-537-2005>>

CHOU, S.C.; DEREZYNSKI, C.P.; GOMES, J.L.; PESQUERO, L.F.; ÁVILA, A.M.H.; RESENDE, N.C.; ALVES, L.F.; RUIZCÁRDENAS, R.; SOUZA, C.R.; BUSTAMANTE, J.F.F. 2020. Ten-year hindcasts of Eta seasonal forecasts. In Press. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**. doi: <<https://doi.org/10.1590/0001-3765202020181242>>

NOBRE, P.; SIQUEIRA, L.S.P.; ALMEIDA, R.A.F.; MALAGUTTI, M.; GIAROLLA, E.; CASTELAO, G.P.; BOTTINO, M.J.; KUBOTA, P.; FIGUEROA, S.N.; COSTA, M.C.; SILVA, M.B.; IRBER, JR. L.C.; MARCONDES, G.G. 2013. Climate Simulation and Change in the Brazilian Climate Model. **Journal of Climate**, 26: 6716-6732.

MESINGER, F.; CHOU, S.C.; GOMES, J.L.; JOVIC, D.; BASTOS, P.; BUSTAMANTE, J.F.; et al. 2012. An upgraded version of the Eta model. **Meteorology and Atmospheric Physics**, 116, 63–79. doi: <<https://doi.org/10.1007/s00703-012-0182-z>>

MESINGER, F.; JANJIC, Z.; NICKOVIC, S.; GAVRILOV, D.; DEAVEN, D.G. 1988. The Step-Mountain Coordinate: Model Description and Performance for Cases of Alpine Lee Cyclogenesis and for a Case of an Appalachian Redevelopment, **Monthly Weather Review**, 116(7), 1493-1518.

BLACK, T. L. 1994. The New NMC Mesoscale Eta Model: Description and Forecast Examples, **Weather and Forecasting**, v. 9(2), 265-278.

CHOU, S.C. 1996. **Modelo Regional Eta**. Climanálise. Edição Comemorativa de 10 anos, INPE, São José dos Campos. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/27.html>>

HERSBACH, H.; BELL, B.; BERRISFORD, P.; et al. 2020. The ERA5 global reanalysis. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**. 2020; 146: 1999– 2049. doi: <<https://doi.org/10.1002/qj.3803>>

BECK, H.E.; WOOD, E.F.; PAN, M.; FISHER, C.K.; MIRALLES, D.G.; VAN DIJK, A.I.J.M.; MCVICAR, T.R.; ADLER, R.F. 2019. MSWEP V2 Global 3-Hourly 0.1° Precipitation: Methodology and Quantitative Assessment, **Bulletin of the American Meteorological Society**, 100(3), 473-500.

LAPRISE, R.; VARMA, M.R.; DENIS, B.; CAYA, D.; ZAWADZKI, I. 2000. Predictability of a Nested Limited-Area Model, **Monthly Weather Review**, 128(12), 4149-4154.

LAPRISE, R.; ELÍA, R.; CAYA, D.; BINER, S.; LUCAS-PICHER, P.; DIACONESCU, E.; LEDUC, M.; ALEXANDRU, A.; SEPAROVIC, L. 2008. Challenging some tenets of Regional Climate Modelling. **Meteorology and Atmospheric Physics**, 100, 3–22 (2008). doi: <<https://doi.org/10.1007/s00703-008-0292-9>>

MENÉNDEZ, C.G.; SAULO, A.C.; LI, Z.X. 2001. Simulation of South American wintertime climate with a nesting system. **Climate Dynamics** 17, 219–231 (2001). doi: <<https://doi.org/10.1007/s003820000107>>

NICOLINI, M.; SALIO, P.; KATZFEY, J.J.; MCGREGOR, J.L.; SAULO, A.C. 2002. January and July regional climate simulation over South America, **Journal of Geophysical Research**, 107(D22), 4637. doi: <<https://doi.org/10.1029/2001JD000736>>

MISRA, V.; DIRMEYER, P.A.; KIRTMAN, B.P.; JUANG, H.M.H.; KANAMITSU, M. 2002. Regional simulation of interannual variability over South America, **Journal of Geophysical Research**, 107 (D20). doi: <<https://doi.org/10.1029/2001JD900216>>