



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
INSTITUTO DE RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**PROJEÇÃO CLIMÁTICA DO ANTICICLONE
SUBTROPICAL DO ATLÂNTICO SUL E IMPACTOS
NA AMÉRICA DO SUL**

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO

Raniele Fatima Pinheiro

Itajubá, MG, Brasil

2018

PROJEÇÃO CLIMÁTICA DO ANTICICLONE SUBTROPICAL DO ATLÂNTICO SUL E IMPACTOS NA AMÉRICA DO SUL

por

Raniele Fatima Pinheiro

Monografia apresentada à comissão examinadora Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas da Universidade Federal Itajubá (UNIFEI, MG), como requisito parcial para obtenção do grau de
Bacharel em Ciências Atmosféricas.

Orientador: Michelle Simões Reboita

**Itajubá, MG, Brasil
2018**

**Universidade Federal de Itajubá
Instituto de Recursos Naturais
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Monografia

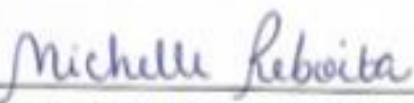
**PROJEÇÃO CLIMÁTICA DO ANTICICLONE SUBTROPICAL DO
ATLÂNTICO SUL E IMPACTOS NA AMÉRICA DO SUL**

elaborada por

Raniele Fátima Pinheiro

Como requisito parcial para a obtenção do grau de
Bacharel em Ciências Atmosféricas

Comissão Examinadora:


Michelle Simões Reboita, Drª (UNIFEI)
(Presidente/Orientadora)


Luiz Fernando dos Santos, MSc. (UNIFEI)


Débora Martins de Oliveira, Bel Met. (UNIFEI)

Itajubá, 21 de novembro de 2018.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus e aos meus pais, Robson Batista Pinheiro e Rozana Aparecida Gomes Pinheiro, por toda a dedicação, apoio e incentivo dados durante toda minha vida, sem a ajuda de vocês, não conseguiria chegar até aqui. Aos meus irmãos Raiane Fernanda Pinheiro e Rafael Felipe Pinheiro, pelos momentos difíceis vividos juntos e pelo incentivo nos estudos.

À toda minha família, que mesmo de longe me incentivaram e torceram por mim a cada nova etapa durante toda a minha vida, sobretudo os que não estão mais aqui e não podem presenciar fisicamente essa conquista.

Ao meu namorado, Élcio Roberto Gonçalves por compreender os momentos de ausências que foram necessárias durante o período de graduação e por me apoiar durante todos esses momentos, mesmo nos mais difíceis. Por me fazer dar valor nas pequenas coisas e me incentivar a sempre continuar, sempre seguir em frente, não importando o tamanho do obstáculo a ser vencido.

À professora e orientadora Dra. Michelle Simões Reboita, pela orientação, paciência e conhecimento durante esse período de confecção de TFG, contribuindo para que o concluísse e obtivesse um trabalho que me orgulhasse e alcançasse as minhas expectativas, sobretudo pela compreensão nos momentos conturbados que passei durante esse ano, e sobretudo por não desistir de mim.

Aos amigos que fiz durante esses anos de graduação, especialmente Beatriz, Bruna e Rayan pelo companheirismo, partilha durante os momentos difíceis, ajuda e cumplicidade durante esses anos de faculdade, pelos incentivos e crises existências, obrigada por serem exemplo de que a amizade pode surgir entre pessoas tão diferentes, porém tão iguais. Obrigada pelos conselhos, por viverem comigo tão intensamente esse período de graduação, pelas conversas, ajudas, conselhos, apoio e pelos momentos de descontração, que tornaram esse período de graduação memorável e intenso.

Aos colegas de curso, que compartilharam comigo diversas horas de laboratório, fins de semestres e épocas de provas, tornando muitas vezes toda essa etapa um pouco mais amena, sendo brisa no meio da turbulência.

Aos professores de Ciências Atmosféricas do Instituto de Recursos Naturais da UNIFEI, por todo conhecimento passado durante esses anos de convívio, agradeço a paciência e o zelo pela arte do saber.

Às professoras Dra. Vanessa e Dra. Sâmia por todo o apoio durante a graduação. Pelas palavras de incentivos. Pelos ensinamentos compartilhados sobre a profissão, a paixão pela ciência e sobre o ser. Minha gratidão por tudo.

Às pessoas que tive o privilégio de conviver durante o período de estágio no Centro de Desastres Naturais- CEMADEN , especialmente ao meu orientador Dr. Leonardo Bacelar Lima Santos e a Dra. Sheila Santana de Barros Brito pela paciência e por compartilharem comigo todo o conhecimento e pela imensa ajuda durante todo o período que aí estive.

À Dra. Mariane Coutinho pela oportunidade de realizar iniciação científica, bem como ao CNPq pelo apoio financeiro.

À todos que estiveram comigo durante todos esses anos, que fizeram parte da minha vida direta e indiretamente, que de alguma forma me apoiaram e me incentivaram meu muitíssimo obrigada, a estrada percorrida poderia até ser a mesma, mas o caminho seria muito mais rugoso. Obrigada nós conseguimos!!!!

Aos meus pais,
ROBSON BATISTA PINHEIRO
ROZANA APARECIDA GOMES PINHEIRO

“Nem tudo que pode ser contado conta, e nem
tudo que conta pode ser contado”

Albert Einstein

“As nuvens mudam sempre de posição, mas são sempre nuvens no céu.
Assim devemos ser todo dia, mutantes, porém leais com o que pensamos e
sonhamos; lembre-se, tudo se desmancha no ar, menos os pensamentos”.

Paulo Beleki

RESUMO

Monografia de Graduação
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Itajubá, MG, Brasil

PROJEÇÃO CLIMÁTICA DO ANTICICLONE SUBTROPICAL DO ATLÂNTICO SUL E IMPACTOS NA AMÉRICA DO SUL

AUTOR(A): Raniele Fatima Pinheiro
ORIENTADOR: Michelle Simões Reboita
Local e Data da Defesa: Itajubá, 21 de novembro de 2018.

Os anticiclones favorecem condições de céu claro e estabilidade atmosférica em seu interior e ventos nas extremidades. Esses sistemas podem ser classificados em polares, migratórios e semipermanentes. No Hemisfério Sul, há três anticiclones semipermanentes na zona subtropical oceânica: o do Atlântico Sul, do Índico e do Pacífico Sul. Com relação ao Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), o ramo subsidente da célula de Hadley é o principal responsável por sua manutenção bem como a subsidência causada pelo aquecimento associado a monções sobre continentes adjacentes. Diante desse contexto, o objetivo principal do estudo é identificar a influência do ASAS nos ventos e precipitação no oceano Atlântico Sul e na América do Sul no clima presente e futuro. Para tanto, foram utilizados dados de reanálise (ERA-20C e ERA-Interim) e de três modelos climáticos globais (HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR e GFDL-ESM2M) do projeto *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5). O clima presente corresponde ao período de 1979-2005 enquanto o futuro de 2065-2095 (futuro) e considerando o cenário de mudanças climáticas RCP8.5. Para a intensidade do vento, a validação dos modelos com reanálises do ECMWF mostrou performance do HadGEM2M-ES, enquanto para a precipitação o melhor foi o MPI-ESM_LR. As projeções indicam diminuição da precipitação para todo o Brasil, particularmente sobre o Amazonas. Porém um aumento de intensidade do vento, principalmente no nordeste brasileiro e sobre todo o oceano Atlântico. Na região do ASAS a precipitação tende a diminuir. Os maiores valores de correlação encontrados se deram sobre o oceano e parte do nordeste brasileiro, o que pode indicar associação das séries latitudinais e longitudinais com as variáveis estudadas.

Palavras-chave: Vento. Precipitação. RCP8.5. Modelos CMIP5

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Simulação e reanálise da intensidade e direção do Vento	6
FIGURA 2-Viés da intensidade e direção do vento -reanálise ERA-Interim	7
FIGURA 3 – Viés da intensidade e direção do vento- reanálise ERA-20C	8
FIGURA 4 – Simulação e reanálise da direção do vento e precipitação	10
FIGURA 5- Viés da precipitação utilizando reanálise do GPCP	11
FIGURA 6 – Projeção da Intensidade e direção do vento	13
FIGURA 7-Diferença do futuro menos presente da intensidade e direção do vento	14
FIGURA 8- Projeção da direção do vento e precipitação	16
FIGURA 9- Diferença futuro menos o presente da direção do vento e precipitação	17
FIGURA 10 – Correlação da intensidade com relação a latitude- Simulação	19
FIGURA 11 – Correlação da intensidade com relação a longitude- Simulação	20
FIGURA 12 – Correlação da precipitação com relação a latitude- Simulação	22
FIGURA 13 – Correlação da precipitação com relação a longitude-Simulação	23
FIGURA 14 – Correlação da intensidade com relação a latitude-Projeção	25
FIGURA 15 – Correlação da intensidade com relação a longitude- Projeção	26
FIGURA 16 – Correlação da precipitação com relação a latitude-Projeção	28
FIGURA 17 – Correlação da precipitação com relação a longitude- Projeção	29

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Dados utilizados neste estudo com suas respectivas resoluções e links para obtenção.....	4
TABELA 2 – Sinal das correlações.....	18

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ASAS- Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul

CMIP5- *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5*

CRU- *Climate Research Unit*

ECMWF- *European Centre for Medium-Range Weather Forecast*

GPCP- *Global Precipitation Climatology Project*

IPCC- *Intergovernmental Panel on Climate Change*

RCP- *Representative Concentration Pathways*

WCRP- *World Climate Research Programme*

ZCAS- Zona de Convergência do Atlântico Sul

ZCIT- Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	3
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	5
3.1 Clima Presente.....	5
3.2 Clima Futuro.....	12
3.3 Correlações.....	18
CONCLUSÃO.....	30
ANEXOS.....	31
REFERÊNCIAS.....	32

1. INTRODUÇÃO

Os anticiclones estão associados a condições de céu claro e estabilidade atmosférica (Musk,1988) em seu centro, mas podem produzir ventos nas bordas. Esses sistemas se classificam em polares, migratórios e semipermanentes (WEXLER, 1951). Os anticiclones polares formam-se devido à baixa incidência de radiação, fazendo com que haja esfriamento do ar tornando as camadas próximas à superfície mais densas, fazendo com que a atmosfera se torne mais estável (DEGOLA, 2013). Os anticiclones migratórios estão associados a ondas baroclinicas (YNOUE et al., 2017). Já os anticiclones subtropicais são sistemas de alta pressão semipermanentes localizados em torno de 30° de latitude, nos dois hemisférios (SINCLAIR,1996; YNOUE et al., 2017). São extensas áreas de ar subsidente seco e quente (NIMER, 1979; DEGOLA, 2013) e são chamados semipermanentes em virtude da sua pouca variação de posição e intensidade ao longo do ano (ITO,1999; REBOITA et al., 2018).

No Hemisfério Sul há três anticiclones semipermanentes (MIYASAKA e NAKAMURA, 2010): o do Atlântico Sul, do Índico e do Pacífico Sul, nos quais a sua localização varia ligeiramente de acordo com o caminho aparente do Sol (VAREJÃO-SILVA, 2000). São mais intensos no final do inverno austral (SEAGER et al, 2003; LEE et al.,2013) devido à pressão atmosférica superficial ser maximizada pela maior intensidade da célula de Hadley e dos ventos de oeste (RODWELL e HOSKINS, 2001). Porém são melhores configurados na primavera e no verão, levando em consideração sua forma circular (SEAGER et al, 2003).

Com relação ao ASAS, o ramo subsidente da célula de Hadley é o principal responsável por sua manutenção (NAMIAS 1972; RODWELL e HOSKINS, 2001; DIMA e WALLACE 2003; SEAGER et al., 2003), bem como a subsidência causada pelo aquecimento associado a monções sobre continentes na estação quente (LIU et al., 2004; RODWELL e HOSKINS, 2001; LEE et al., 2013).

O ASAS tem sua posição mais a norte no inverno variando entre 27°S e 30°S (HASTENRATH,1991; DEGOLA, 2013; MÄCHEL et al., 1998; ITO e AMBRIZZI, 2000). No verão, o centro do ASAS encontra-se mais a sul, em torno de 32°S e 33°S, e na primavera e outono entre 31°S e 33°S (REBOITA et al., 2018). Apesar da similaridade da latitude encontrada na literatura, a longitude do ASAS é mais variável. O ASAS encontra-se mais a oeste no inverno 12.6° W (HASTENRATH, 1991), 11,5°W (MÄCHEL et al.,1998) 11°W (DEGOLA,2013), 7°W e 6°W para o ERA-Interim e ERA-20C,

respectivamente (REBOITA et al., 2018). Sun et al. (2017) apontaram que a variabilidade longitudinal do ASAS é de aproximadamente 14° e a latitudinal de cerca de 6° , enquanto Reboita et al. (2018) encontraram menor valor de variabilidade longitudinal, aproximadamente 10° .

Reboita et al. (2018) mostraram que o ASAS é mais intenso no inverno alcançando valores de aproximadamente 1024 hPa para os dados de reanálise e de 1027 hPa para os dados do GFDL-ESM2M, HadGEM2M-ES e MPI-ESM-LR já no verão atinge menores valores, cerca de 1021 hPa exceto para o GFDL, que mostra valores de 1023 hPa.

O ASAS influencia grandemente o tempo e clima na costa brasileira. No inverno, como o ASAS está mais expandido para oeste atua sobre o sudeste do Brasil. Nessa época, dificulta a passagem dos sistemas frontais para latitudes mais baixas, contribuindo para uma atmosfera mais estável (VIANELLO E MAIA, 1986), consequentemente dificulta a atividade convectiva (REBOITA et al., 2010; SILVA et al. 2014). No verão, Reboita et al. (2010) mostram que a configuração do ASAS favorece o transporte de umidade do oceano para o continente, consequentemente, contribuindo para a precipitação no sudeste do Brasil. Na costa do nordeste, o ASAS contribui para ventos de leste mais intensos no inverno convergindo na costa, o que favorece a estação chuvosa nessa região (REBOITA et al, 2018; REBOITA et al., 2016; REBOITA et al., 2016). Gilliland et. al (2018) avaliaram as características dos ventos de superfície utilizando a localização do centro do ASAS a partir de três conjuntos de dados de reanálise, para o período de 1980 a 2014, e concluíram que no nordeste do Brasil os ventos são mais intensos no inverno e primavera.

Como o ASAS modifica o tempo e clima no Brasil, é de suma importância a investigação desse sistema em cenários de mudanças climáticas. Segundo o 5º relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (*International Panel on Climate Change* - IPCC, 2013), é projetado aumento de temperatura média do ar global de até $5,5^\circ\text{C}$ para o final do século XXI, baseado nos cenários RCPs de emissões de gases de efeito estufa.

Os RCPs (*Representative Concentration Pathways*) incluem projeções dos componentes da forçante radiativa em Watts/m^2 . Existem quatro cenários: RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 e RCP8.5, tendo como referência o período pré-industrial, resultante da combinação de diferentes condicionantes climáticos atuantes no balanço energético terrestre (IPCC, 2013). O relatório do IPCC utiliza as informações geradas no Projeto de

Intercomparação de Modelos Acoplados (*Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 – CMIP5*) do WCRP (*World Climate Research Program*) (Moss et al., 2010).

Esses cenários são utilizados juntamente com os modelos climáticos para projetaram o clima no futuro. Num estudo mais recente, Reboita et al. (2018) avaliaram a posição do ASAS no clima presente e futuro usando 3 modelos do *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5*. Reboita et al.(2018) mostram um aumento da pressão no sul do Oceano Atlântico, e diminuição na África, ou seja, o ASAS pode diminuir na parte norte e aumentar na parte sul. Em relação ao tamanho do sistema, haverá expansão para oeste e para sul utilizando o cenário RCP8.5 (SETH et al., 2010; HE et al., 2017).

Uma vez que a posição do ASAS no clima presente e futuro já foi identificada por Reboita et al. (2018), o objetivo do presente estudo é utilizar essa informação para avaliar o impacto do ASAS nos ventos e precipitação no oceano Atlântico Sul e na América do Sul em ambos os períodos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Modelos Globais

Foram utilizadas projeções dos modelos HadGEM2-ES (JONES et al., 2011), MPI-ESM-MR (GIORGETTA et al., 2012) e GFDL-ESM2M (DUNNE et al., 2012) para os períodos de 1979-2005 (presente) e de 2065-2095 (futuro) considerando o cenário RCP8.5 (Tabela 1). Como os modelos possuem resolução horizontal diferente, foram interpolados para a resolução de 1° de latitude por longitude. Os dados dos modelos globais são disponibilizados através do link <https://esgf-data.dkrz.de/search/cmip5-dkrz>, conforme apresentado na Tabela 1.

2.2 Dados para Validação

Para validar as simulações no clima presente utilizaram-se os dados das componentes zonal e meridional do vento a 10 m foram obtidos das reanálises ERA-20C (Poli et al. 2016) e ERA-Interim (DEE et al., 2011) do ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecast*) (Tabela 1), para o período entre 1979-2005, com resolução horizontal de 1° de latitude por longitude. Os dados de precipitação foram

obtidos do GPCP (*Global Precipitation Climatology Project*) (ADLER et al., 2003) com resolução de 1 ° (Tabela 1).

Tabela 1.0 – Dados utilizados neste estudo com suas respectivas resoluções e links para obtenção.

FONTE	VARIÁVEL	RESOLUÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL	REFERÊNCIA	LINK
ERA-20C	Componente zonal e meridional do vento 10m	1° x 1° - 1 mês	Poli et al. 2016	http://apps.ecmwf.int/datasets/data/era20c-daily/levtype=sfc/type=an/
ERA-Interim	Componente zonal e meridional do vento 10m	1° x 1° - 1 mês	Dee et al., 2011	http://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/levtype=sfc/
HadGEM2-ES	Componente zonal e meridional do vento 10m	1,25° x 1,25° - 1 mês	Jones et al. 2011	https://esgf-data.dkrz.de/search/cmip5-dkrz/
	Precipitação	1,25° x 1,25° - 1 mês		
MPI-ESM-MR	Componente zonal e meridional do vento 10m	1,865 x 1,875 - 1 mês	Giorgetta et al. 2012	https://esgf-data.dkrz.de/search/cmip5-dkrz/
	Precipitação	1,865 x 1,876 - 1 mês		
GFDL-ESM2M	Componente zonal e meridional do vento 10m	2,022° x 2,5° - 1 mês	Dunne et al. 2012	https://esgf-data.dkrz.de/search/cmip5-dkrz/
	Precipitação	2,022° x 2,5° - 1 mês		
GPCP	Precipitação	2,5° x 2,5 - 1 mês	Adler et al., 2003	https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.gpcp.html

2.4 Validação dos Modelos Globais

Para avaliar a destreza dos modelos utilizados, foi calculado o viés de cada modelo, sendo possível verificar qual dos três modelos utilizados melhor simula os ventos a 10 m e precipitação na região de estudo. O viés é obtido pela diferença das simulações dos modelos em relação aos dados de reanálise.

2.5 Clima Futuro

Também foi calculada a diferença entre a projeção de cada modelo em relação ao presente, sendo possível analisar se haverá aumento, diminuição ou se o padrão da variável continuará o mesmo, ou seja, será possível identificar a reposta do sistema às mudanças climáticas.

Nessa etapa do estudo também foi computada a correlação temporal das séries de latitude e longitude da posição do ASAS com a intensidade do vento e a precipitação, a fim de identificar as associações dessas variáveis com o ASAS. Essa metodologia segue GILLILAND et al. (2018). A correlação foi calculada para cada estação do ano separadamente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Clima Presente

A Figura 1 mostra a intensidade e direção do vento a 10 m para as diferentes estações do ano obtida através das reanálises ERA-20C e ERA-Interim e das simulações dos modelos HadGEM, GFDL e MPI para o período histórico (1979-2005).

Os campos de intensidade mostram ventos mais intensos na borda leste do anticiclone no verão (DJF), outono (MAM) e primavera (SON) (Figura 1 a,b,d), enquanto no inverno (JJA) a maior intensidade encontrada está no ramo norte do mesmo (Figura 1c). É no inverno onde há maior influência do ASAS sobre a América do Sul (REBOITA et al., 2018)

As duas reanálises mostram comportamento similares em relação a direção do vento para todas as estações, porém os dados da ERA Interim mostram valores de intensidade do vento maiores nos meses de inverno e primavera, enquanto que o ERA-20C mostra maiores valores nos meses de verão e outono.

Em geral os modelos tendem a subestimar a intensidade do vento na parte sul do continente e superestimar o vento no oceano e parte do norte brasileiro (Figura 2 e Figura 3). Para todas as estações do ano, o HadGEM simula o vento mais similar às reanálises, apesar de ainda subestimar no nordeste brasileiro. O MPI foi o modelo que apresentou os maiores valores de viés para a região de estudo nas quatro estações, ou seja, entre os três modelos para a intensidade do vento foi o que pior simulou a área estudada.

O GFDL superestima na costa Sul e Sudeste brasileira; o HadGEM tem seu viés positivo na Costa oeste da América do Sul; enquanto o MPI tem esse resultado em parte do Sudeste e do Sul do Brasil. Na análise dos três modelos o GFDL é o que mais superestima para a estação do Inverno e Primavera, no Oceano Atlântico, já na estação do Outono o modelo que se destaca é o MPI, também no Oceano Atlântico; enquanto no verão o GFDL é o modelo com viés positivo na verificação da Costa Brasileira e o modelo MPI no Oceano Atlântico. A simulação dos três modelos apresenta que o maior viés, seja positivo ou negativo é no Oceano, enquanto no continente o viés é próximo a zero.

O padrão descrito anteriormente se repete ao analisar o viés dos modelos comparados com a reanálise ERA 20C (Figura 3) com pequenas alterações, principalmente no inverno e outono no oceano atlântico, períodos que o modelo tende a superestimar mais. O HadGEM apresenta como tendência se aproximar zero no verão e também no outono no Oceano Atlântico e no inverno na parte sul do oceano atlântico.

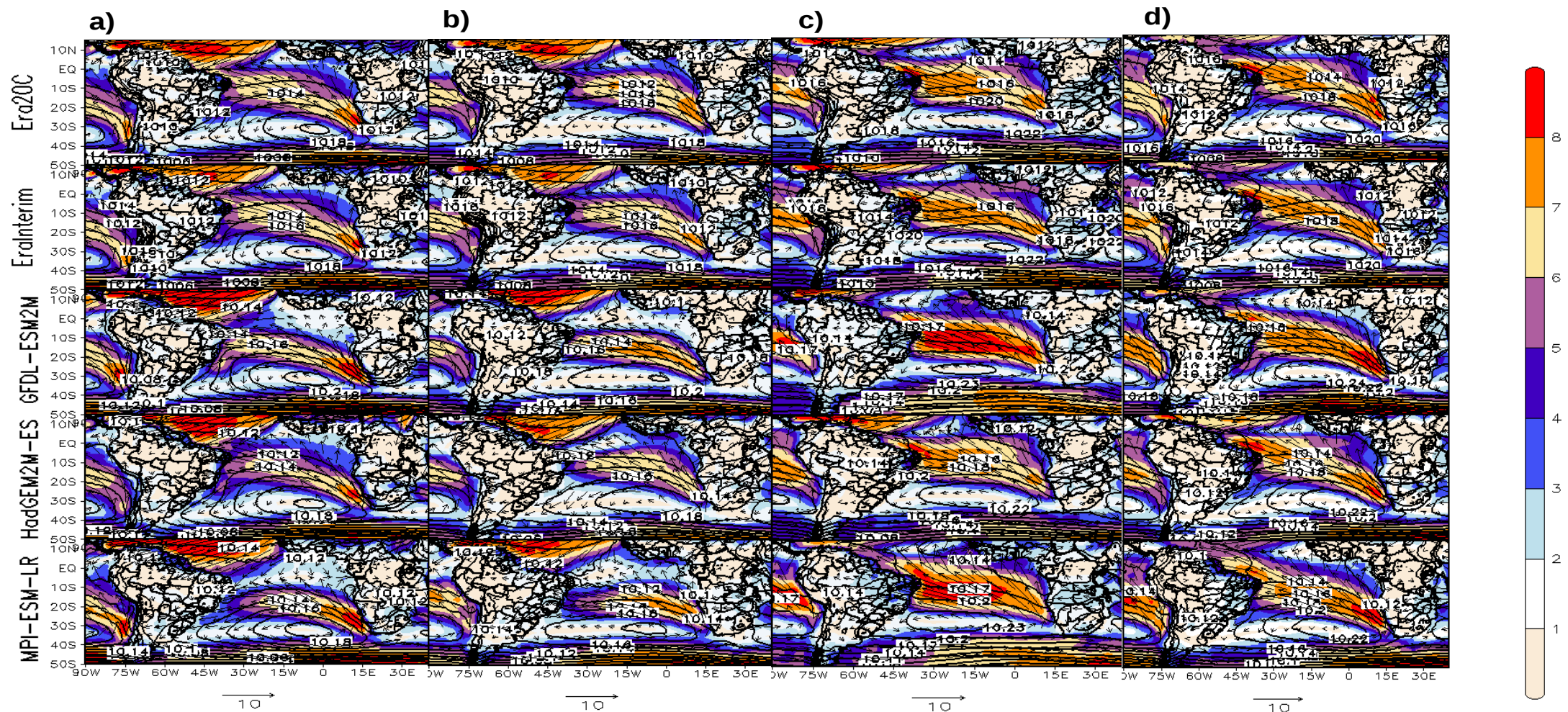


Figura 1 – Intensidade (m/s, cores), direção do vento (vetores) e isóbaras de pressão (hpa) no clima presente obtida das reanálises e modelos no (a) Verão (DJF), (b) outono (MAM), (c) inverno (JJA), (d) primavera (SON).

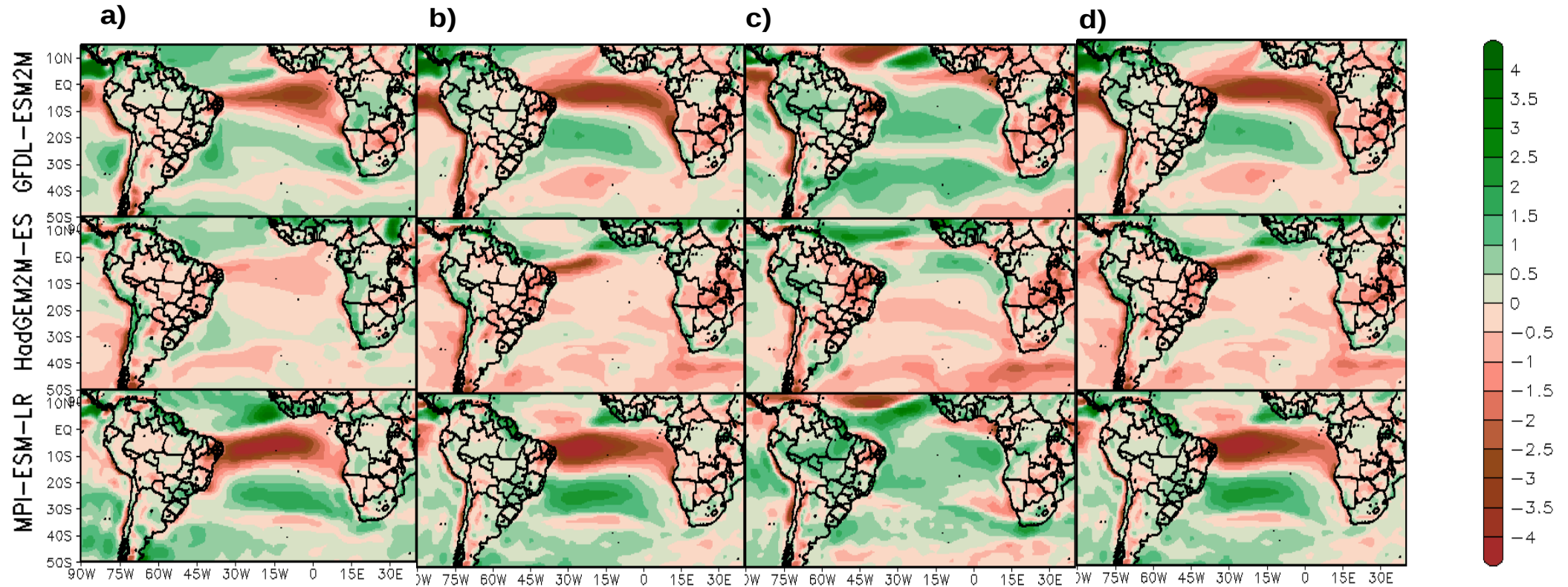


Figura 2 - Viés (simulação menos reanálise) da intensidade(m/s, cores) utilizando reanálise ERA-Interim (a) verão (DJF), (b) outono (MAM), (c) inverno (JJA), (d) primavera (SON).

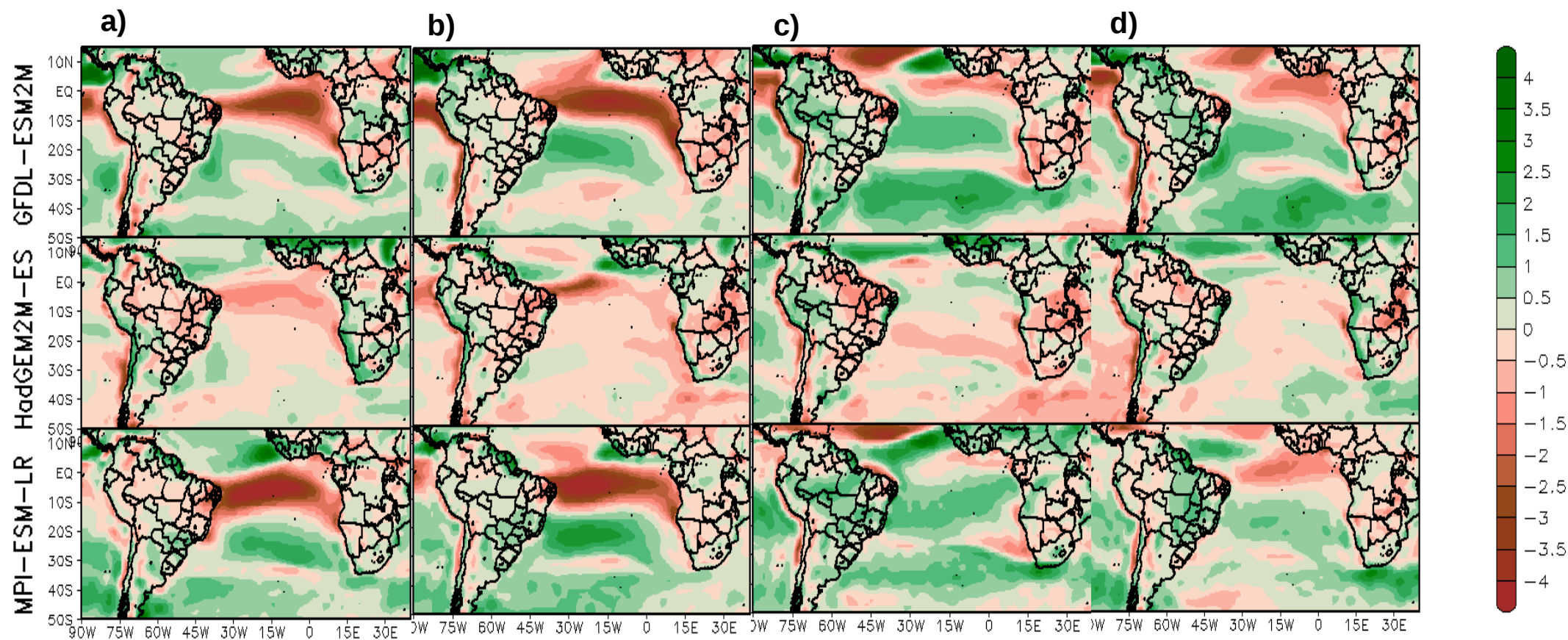


Figura 3 - Viés (simulação do modelo subtraído ao dado de reanálise) da intensidade (m/s, cores) utilizando reanálise ERA-20C (a) Verão (DJF), (b) outono (MAM), (c) inverno (JJA), (d) primavera (SON)

A Figura 4 mostra a precipitação do GPCP e das simulações juntamente com a direção do vento. O comportamento da precipitação no Brasil é similar ao descrito por Reboita et al. (2010) e Marengo et al., (2010), onde há maiores valores de precipitação no verão (Figura 4a), seguido pelo outono (Figura 4b) e menores valores no inverno (Figura 4c).

O GFDL é o modelo que simula maiores valores de precipitação, enquanto o MPI é o que mostra menor valor. Entretanto, nenhum dos modelos consegue reproduzir a posição da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) registrada no GPCP. O HadGEM simula apenas a ZCAS sobre o continente, enquanto que o MPI mostra valores mais intensos de precipitação no sul da Amazônia e em parte do centro-oeste brasileiro.

O GFDL foi o único modelo a apresentar viés positivo sobre o continente para todas as estações do ano (Figura 5). No verão (Figura 5a) ele superestima a precipitação na região centro-oeste, no sudeste, parte do nordeste brasileiro e parte do norte do oceano Atlântico e aponta altos valores de viés negativos para a região norte do Brasil. No outono (Figura 5b), o padrão continua o mesmo, porém abrange parte do sul do país. No inverno (Figura 5c), há uma diminuição dos valores negativos de viés, até chegar na primavera onde ele passa a superestimar a precipitação para a região norte e nordeste e para o norte do oceano Atlântico.

O HadGEM superestima a precipitação no verão (Figura 5a) e outono (Figura 5b) no oceano Atlântico e parte da costa do nordeste brasileiro e tende a subestimar no restante da América do Sul. No inverno (Figura 5c), o modelo tende a subestimar em todo o domínio, sobretudo no norte do Amazonas. Na primavera (Figura 5d), a diferença entre modelo e reanálise é menor do que no 4 mm, sobretudo no norte do Amazonas.

O MPI foi o que simulou melhor a precipitação na região, ou seja, resultados próximos a zero apesar de ainda subestimar um pouco na costa do nordeste brasileiro no inverno (Figura 5c), superestimar no oeste da América do Sul na primavera (Figura 5d), verão (Figura 5a) e no outono (Figura 5b), onde também tende a superestimar na parte norte do oceano Atlântico.

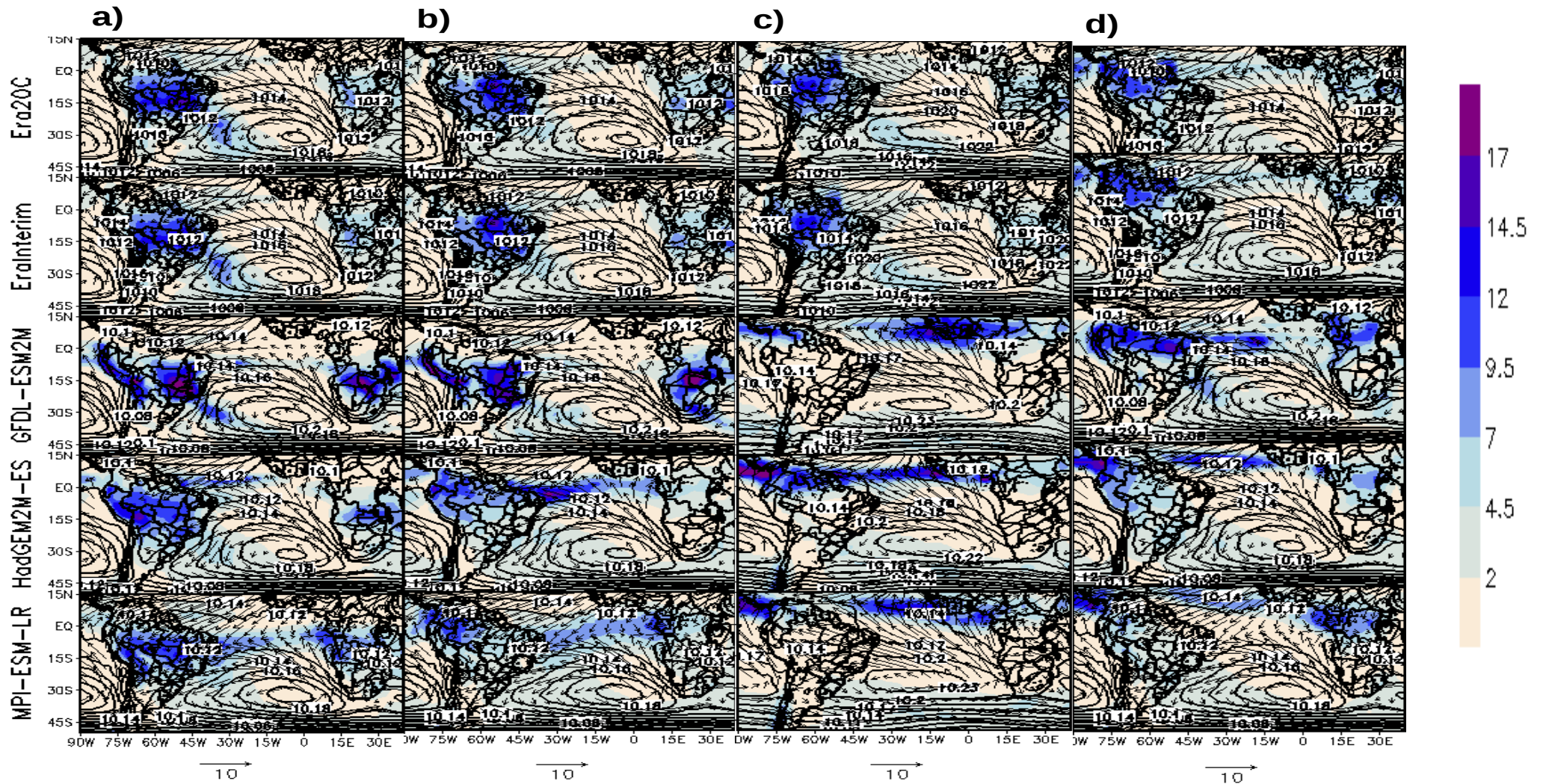
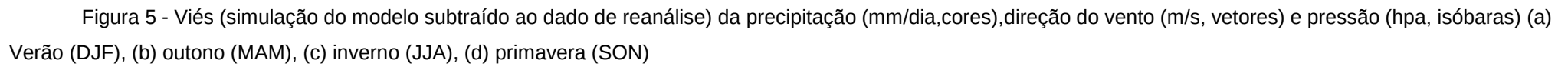


Figura 4 – Precipitação do GPCP (mm/dia, cores), direção do vento (vetores) e isóbaras de pressão (hpa) no clima presente obtida das reanálises e modelos no (a) Verão (DJF), (b) outono (MAM), (c) inverno (JJA), (d) primavera (SON).



3.2 Clima Futuro

O GFDL mostra ventos mais intensos se comparados aos outros modelos, principalmente no norte do Oceano Atlântico enquanto o HadGEM mostra os menores valores, principalmente para o continente sul-africano. Já o MPI tende a seguir os mesmos padrões demonstrados pelo GFDL, porém menos intensos.

Os maiores valores de intensidade de vento são registrados no inverno (Figura 6c), onde o vento atua sobretudo na região nordeste brasileira. Os menores valores encontrados foram no verão (Figura 6a), onde há pouca influência do ASAS sobre o continente sul-americano. Entre as estações de transição, outono e primavera (Figura 6b e 6d, respectivamente), há maior intensidade para a segunda estação e consequentemente maior influência do sistema, sobretudo para a região litorânea do Nordeste.

A figura 7 é resultado da diferença entre a projeção e a simulação dos modelos, afim de analisar se o vento tende a aumentar ou diminuir em um cenário de mudanças climáticas.

Para todos os modelos e estações não houve anomalias negativas de intensidade e direção do vento (Figura 7). Foi no verão que se encontrou maiores diferenças (Figura 7a), ou seja, para o período e cenário estudados haverá um aumento da intensidade do vento, principalmente na parte sul do Oceano Atlântico e no nordeste brasileiro.

No outono (figura 7b) os modelos apontam intensificação do vento, porém com menos intensidade se comparado a estação anterior. Seguindo o mesmo padrão para o inverno (Figura 7c) e primavera (Figura 7d).

Em geral, o MPI foi o modelo que mais exibiu diferenças para a região de estudo, inclusive sobre o Brasil, sobretudo para a região norte e nordeste do Brasil. Já o HadGEM e o GFDL tendem a seguir o mesmo padrão de diferença, sendo essas mais evidentes no inverno (Figura 7c) e na primavera (Figura 7d).

Todos os modelos mostram intensificação do vento sobre o nordeste brasileiro e parte do Norte em todas as estações. Sendo assim tem-se que os ventos tendem a se intensificar sobre o Atlântico e parte do Brasil.

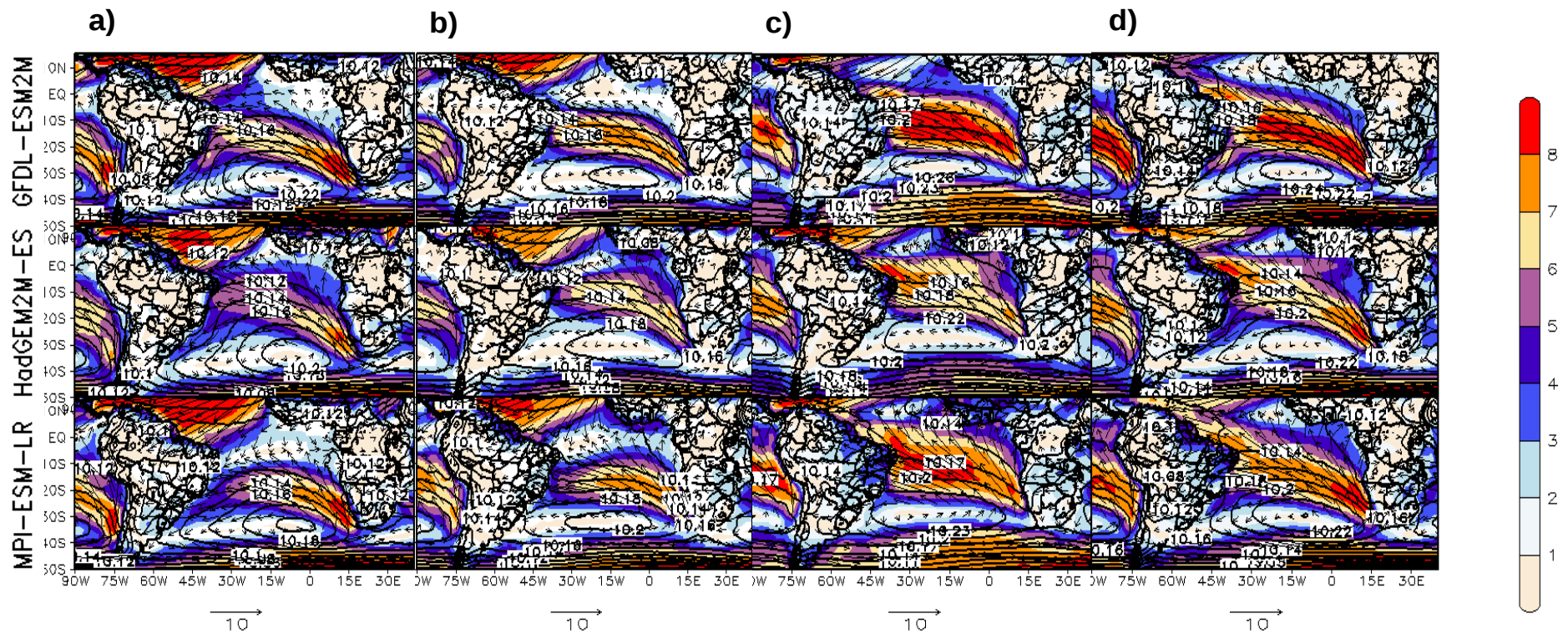


Figura 6 – Intensidade (m/s, cores), direção do vento (vetores) e isóbaras de pressão (hpa) no clima futuro obtida dos modelos no (a) Verão (DJF), (b) outono (MAM), (c) inverno (JJA), (d) primavera (SON).

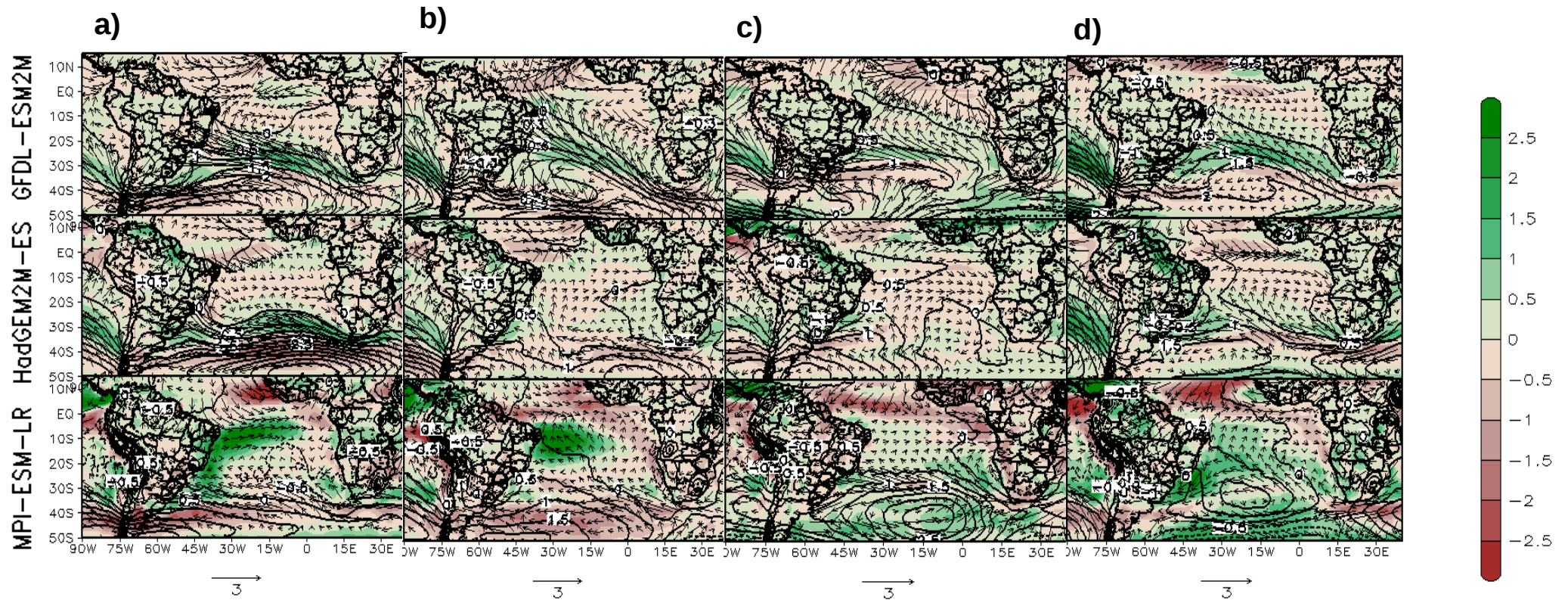


Figura 7– Diferença do futuro menos presente da intensidade (m/s, cores), direção do vento(m/s, vetores) e pressão (hpa, isóbaras) para os modelos globais HadGEM, GFDL e MPI. (a) Verão (DJF), (b) outono (MAM), (c) inverno (JJA), (d) primavera (SON)

Os modelos se assemelham em relação a precipitação projetada para o futuro (Figura 8), onde o regime de chuva visto para o tempo presente e descrito em trabalhos presentes na literatura já citados permanece. Maior acumulado de precipitação para o verão (Figura 8a), e valores pouco significantes para o inverno (Figura 8c).

Para as estações de transição (Figura 8b e 8d), os maiores valores encontrados foi no outono, onde há presença de precipitação sobretudo na região norte do país associados a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). No verão (Figura 8a) nota-se a presença de ZCAS em todos os modelos, porém apenas no MPI aparece o ramo oceânico da mesma.

O modelo que aponta maior total de precipitação é o HadGEM, indicando precipitação sobre o continente sul-americano sobre o ano todo, embora muitas vezes essa precipitação seja pontual. Já o GFDL é o modelo que menos apresenta precipitação, somente para o verão e outono.

Na região onde há atuação do ASAS a precipitação tende a diminuir em todas as estações (figura 9). Conforme visto anteriormente por Llopart et al. (2014) a precipitação na Amazônia tende a diminuir, porém haverá viés úmido na região da bacia do Prata.

Para todas as estações, os maiores valores de precipitação estão localizados no ramo norte do ASAS, onde o vento converge com os ventos associados a ZCIT, formando séries de precipitação devido a convergência do fluxo de umidade associados aos dois sistemas.

Para a diferença de precipitação no verão (Figura 9a), foram encontrados valores negativos de precipitação no sudeste brasileiro apresentados pelo GFDL, e no norte do Brasil projetados pelo HadGEM e MPI. O aumento de precipitação foi mostrado apenas para o sul e norte brasileiro (GFDL), no nordeste, sudeste e parte do centro oeste (HadGEM e MPI)

No outono (Figura 9b) foram apresentados valores negativos em todos os modelos, em particular o GFDL que apresentou maiores valores de diferença, ou seja, o modelo mostra diminuição de precipitação no centro oeste, sudeste, sul e parte do nordeste brasileiro, e apenas intensificação de chuva para o norte do Amazonas. O HadGEM e o MPI apresentaram diferença semelhante ao do primeiro, porém com menos intensidade.

Na primavera e inverno (Figura 9d 9c) foram encontrados valores de anomalia negativa para grande parte do Brasil e América do Sul. O GFDL e MPI mostram

diminuição da precipitação para todo o continente sul-americano, enquanto o HadGEM aponta aumento da precipitação apenas na Amazônia no inverno.

Em geral, os modelos convergem entre si sobre a diminuição da precipitação sobre grande parte da América do Sul, com exceção do verão, onde apenas um deles apresenta essa diminuição.

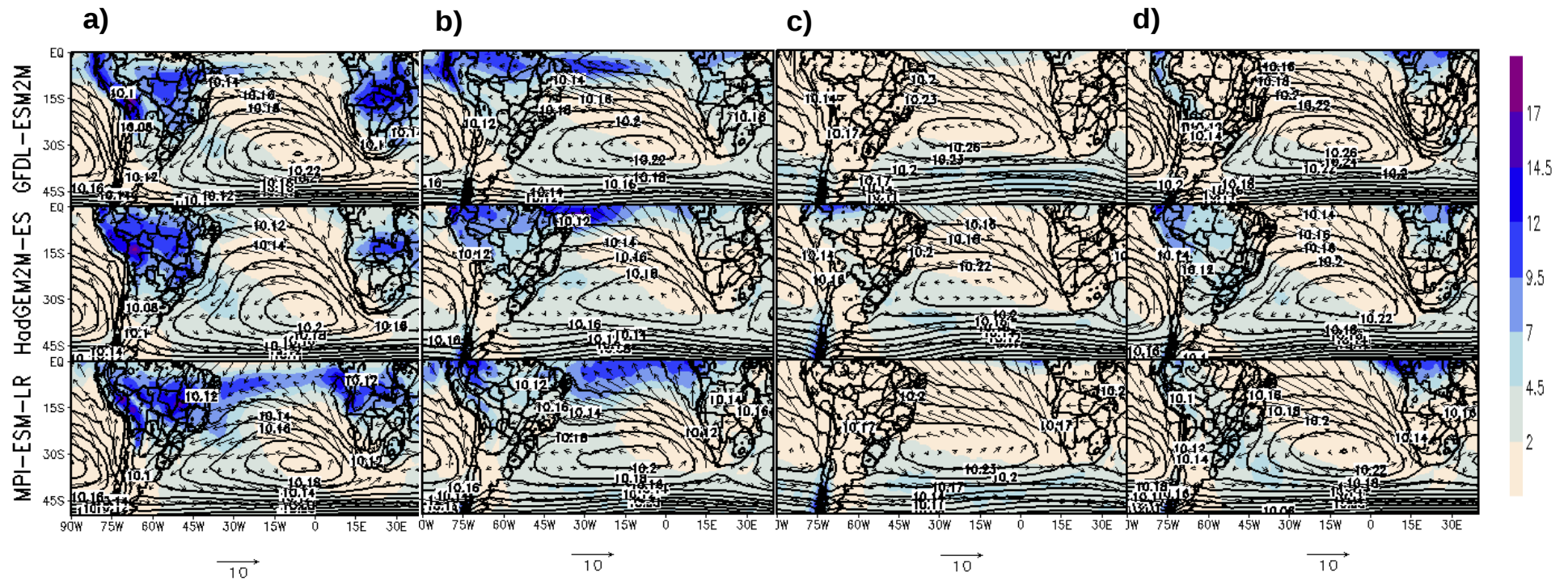


Figura 8 - Projeção da precipitação (mm/dia, cores), direção do vento(m/s, vetores) e pressão (hPa, isóbaras) no clima futuro (2065-2095) para os modelos globais HadGEM, GFDL e MPI. (a) Verão (DJF), (b) outono (MAM), (c) inverno (JJA), (d) primavera (SON)

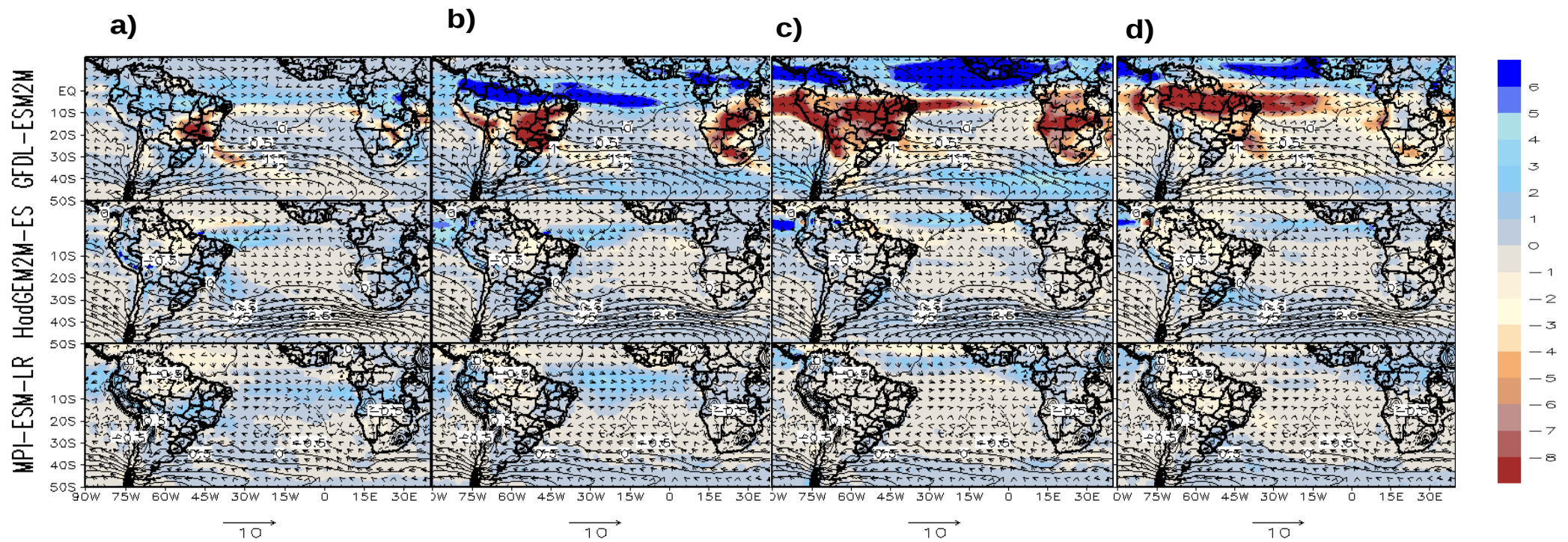


Figura 9 -Diferença futuro menos presente da precipitação(mm/dia, cores) ,direção do vento(m/s, vetores) e pressão (hPa, isóbaras) para os modelos globais HadGEM, GFDL e MPI (a)Verão (DJF), (b) outono (MAM), (c) inverno (JJA), (d) primavera (SON)

3.3 Correlações

A correlação calculada levou em conta as séries de latitude e longitude de maior pressão do ASAS para as projeções e simulações dos modelos (REBOITA et al,2018), e também as variáveis utilizadas para a confecção da climatologia de precipitação e vento vistos anteriormente (GILLILAND et al., 2017).

Para maior compreensão dos resultados é mostrado na tabela 2 uma síntese da interpretação dos sinais das correlações que foram calculados.

Tabela 2.0 – Sinal das correlações

LATITUDE/LONGITUDE	INTENSIDADE DO VENTO PRECIPITAÇÃO	SINAL DA CORRELAÇÃO
↓	↑	—
↓	↓	+
↑	↑	+
↑	↓	—

Foi confeccionada afim de associar as variáveis com o centro de maior pressão do sistema, podendo assim analisar os possíveis impactos que uma variação da posição do ASAS possa ocasionar.

A figura 10 apresenta a correlação obtida utilizando a intensidade do vento e a série de latitude. No verão (figura 10a) as correlações foram baixas, sobre o continente porém foram altas na parte sul do Oceano Atlântico (MPI e HadGEM), e no norte do oceano (GFDL). Os resultados sobre o continente foram similares aos encontrados por Gilliland et al.(2017).

O outono (figura 10b) foi a estação onde foram encontrados os maiores valores de correlação sobre o continente. O GFDL aponta altos valores sobre todo o Brasil, próximo a 0.7, exceto no Sul do país.

O inverno (figura 10c) foi a estação que apresentou menores valores de correlação, apenas na parte sul do oceano onde os foi mostrado valores consideráveis

de correlação. Na primavera (figura 10d) os valores de correlação foram altos sobre o oceano e no nordeste do Brasil.

Seguindo o padrão encontrado na figura anterior, quando se analisa a série de longitude (Figura 11) encontra-se valores baixos de correlação na América do Sul para todas as estações, variando entre -0.3 e 0.4 (correlação fraca) com exceção para a primavera onde a correlação chega a 0.6 sobre parte do sudeste do Brasil e -0.6 (correlação moderada) sobre o nordeste brasileiro e sobre todo o oceano.

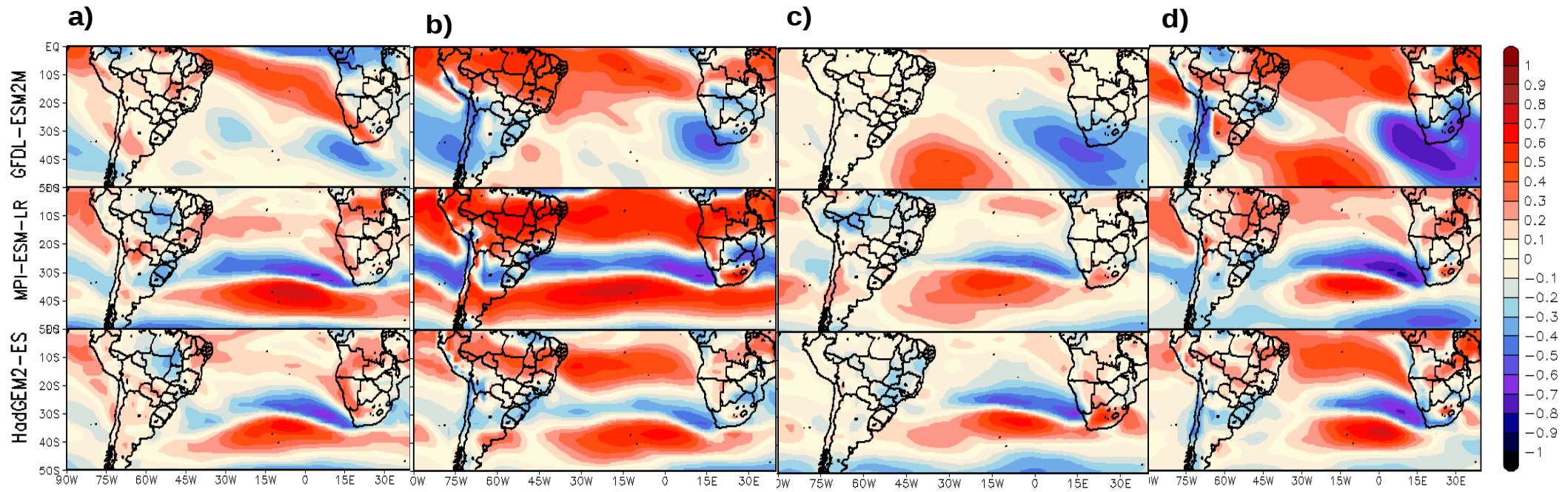


Figura 10 - Correlação da intensidade do vento (cores) com relação a latitude- simulação (a) Verão (DJF), (b) outono (MAM), (c) inverno (JJA), (d) primavera (SON).

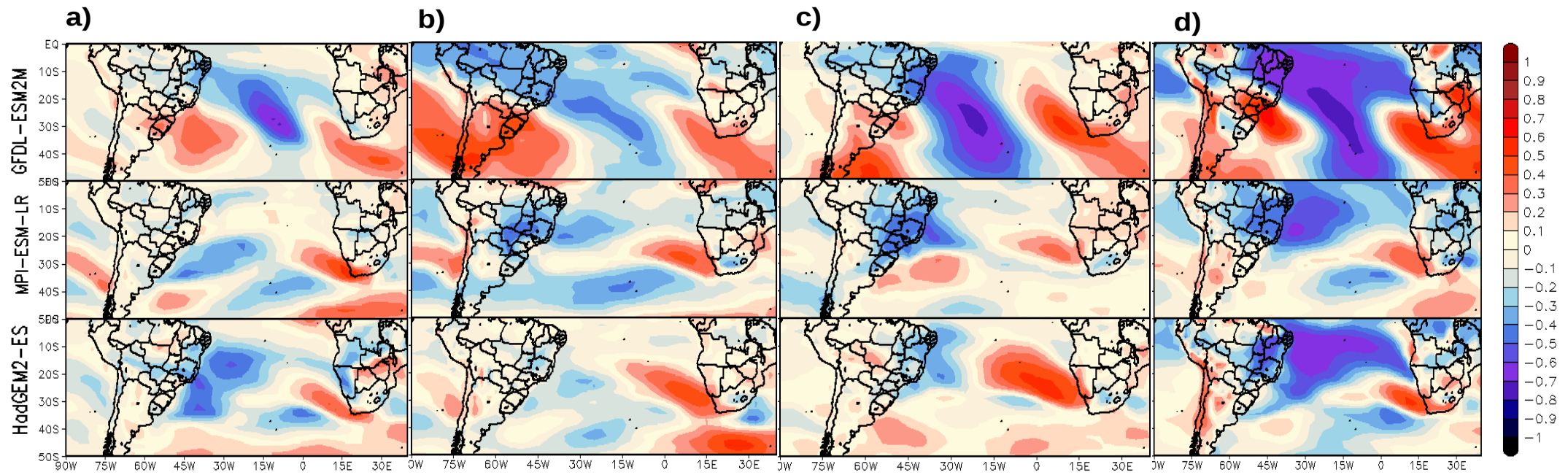


Figura 11 - Correlação da intensidade do vento (cores) com relação a longitude- simulação (a) Verão (DJF), (b) outono (MAM), (c) inverno (JJA), (d) primavera (SON).

A correlação obtida das séries latitudinais e longitudinais e da série de precipitação de um modo geral foram melhores do que as obtidas com a intensidade do vento. Na figura 12 onde a correlação foi feita utilizando a série latitudinal e a simulação da precipitação, obteve-se valores entre -0.6 e 0.5 (correlação moderada).

Foi na primavera (figura 12d) em que atingiu maiores valores de correlação sobre a América do Sul, principalmente sobre o Brasil. Os três modelos apontaram correlação parecida para essa estação. No outono (figura 12b) enquanto o GFDL mostra correlação maior para o norte do Brasil, MPI e HadGEM apontam maiores valores para centro-oeste, sudeste e sul. O verão e inverno (figura 12a e 12c) mostraram correlações desprezíveis, variando entre 0 e -0.2.

Com relação a série longitudinal (figura 13), todos os modelos convergiram, apresentando valores de correlação semelhantes, variando entre 0.4 e -0.3 (correlação fraca). Apenas na primavera (figura 13d) que o GFDL apresenta valor de -0.6 no litoral do nordeste do Brasil e o MPI sobre o estado do Mato Grosso, onde a correlação chega a ser moderada.

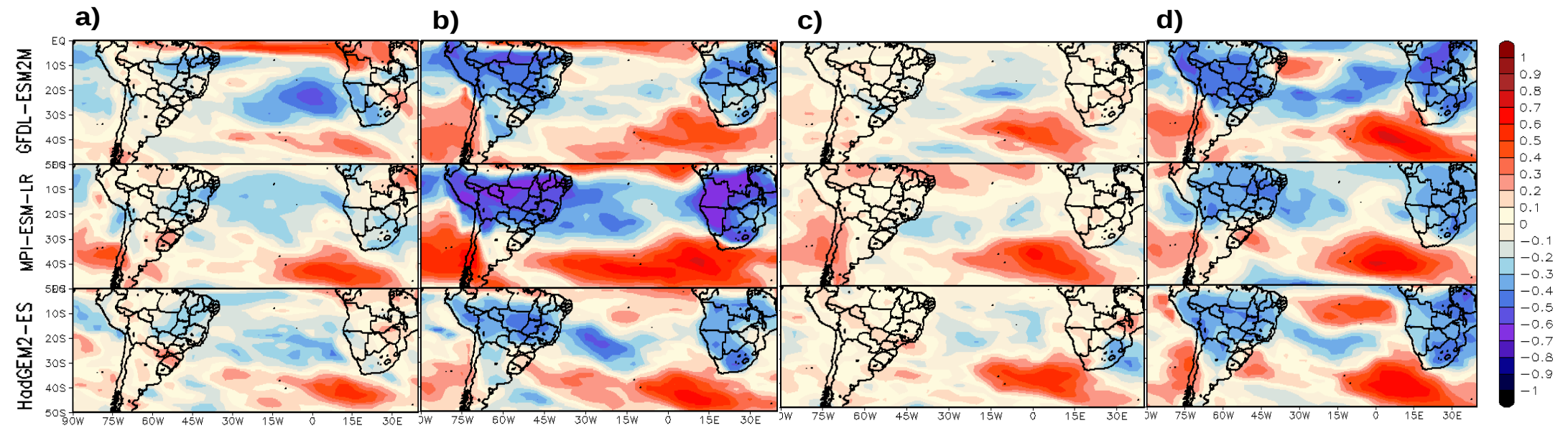


Figura 12 - Correlação da precipitação (cores) com relação a latitude- simulação (a) Verão (DJF), (b) outono (MAM), (c) inverno (JJA), (d) primavera (SON).

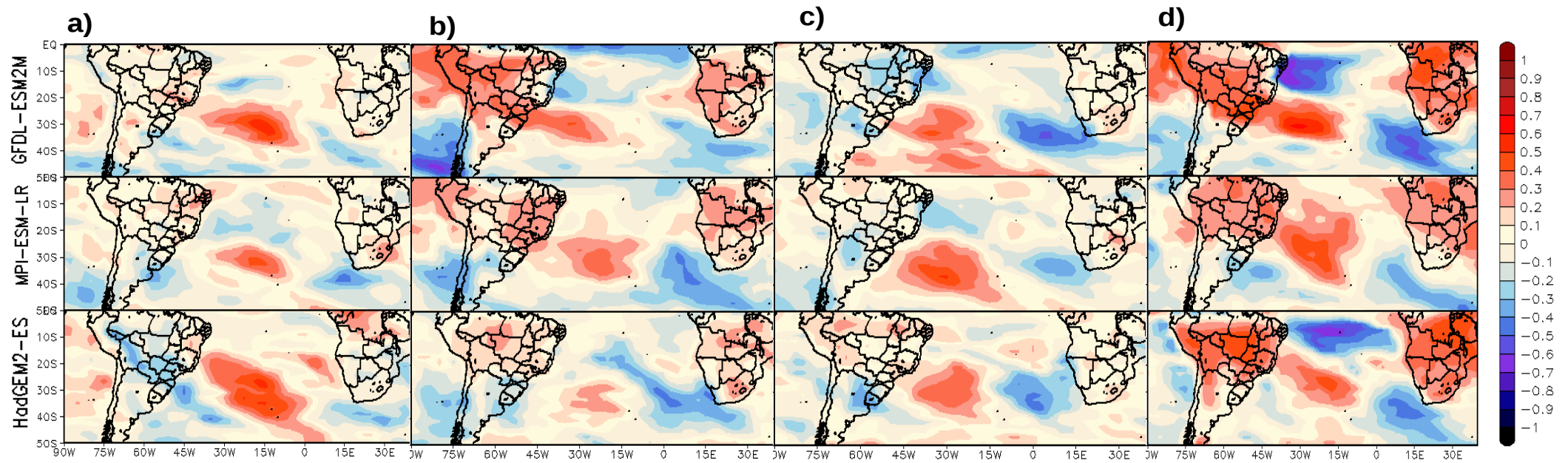


Figura 13 - Correlação da precipitação (cores) com relação a longitude- simulação (a) Verão (DJF), (b) outono (MAM), (c) inverno (JJA), (d) primavera (SON).

Utilizando as projeções foram obtidos melhores valores de correlação. Com a série latitudinal os valores máximos de correlação foram encontrados no outono (Figura 14b) e primavera (Figura 14a) atingindo valores de até 0.7 (correlação forte) no nordeste do Brasil para o GFDL.

Em geral os modelos que apresentaram os maiores valores de correlação foram o GFDL e o MPI, que apontou correlações moderadas e fortes para América do Sul inteira para o outono (Figura 14b) e primavera (Figura 14d). As correlações para o verão (Figura 14a) e inverno (Figura 14c) foram fracas.

Na série longitudinal (Figura 15) o modelo que mais apresentou correlação foi novamente o GFDL, sobretudo para a região nordeste do Brasil, onde a correlação varia entre -0.5 a -0.7 (correlação moderada), tendo seu ápice na primavera (Figura 15d). Os demais modelos apresentaram correlação desprezíveis, variando entre -0.2 e 0.2.

Os intervalos de correlações encontradas em todas as séries latitudinais e longitudinais, tanto para as simulações quanto para as projeções, foram similares aos encontrados por Gilliland et al.(2017), em alguns casos as correlações obtidas foram maiores.

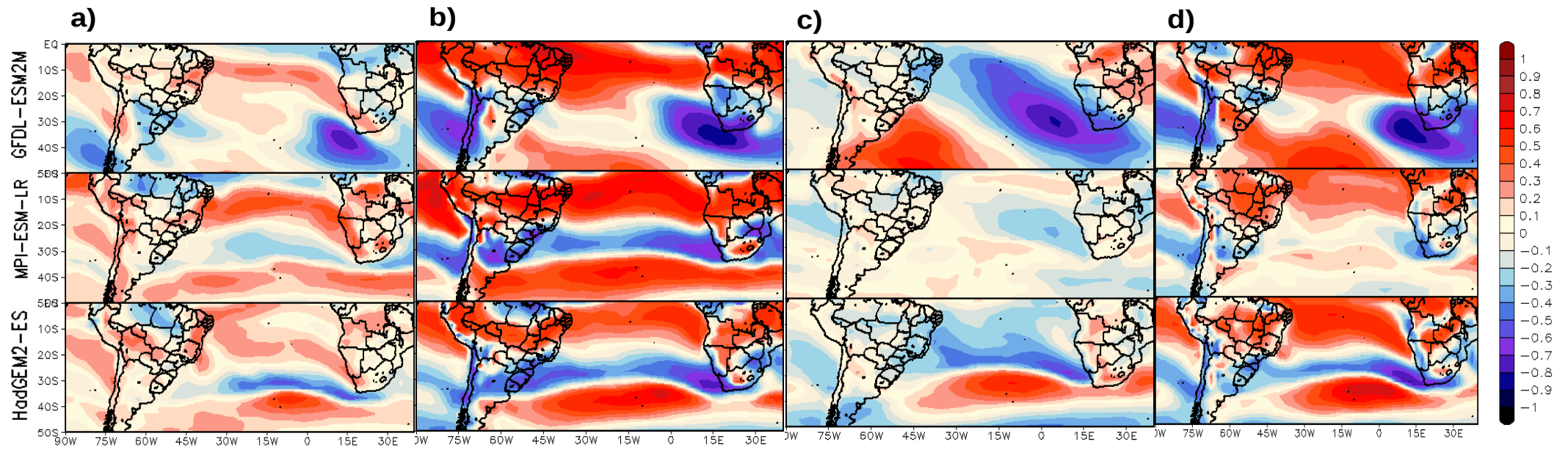


Figura 14 - Correlação da intensidade do vento (cores) com relação a latitude- projeção (a) Verão (DJF), (b) outono (MAM), (c) inverno (JJA), (d) primavera (SON).

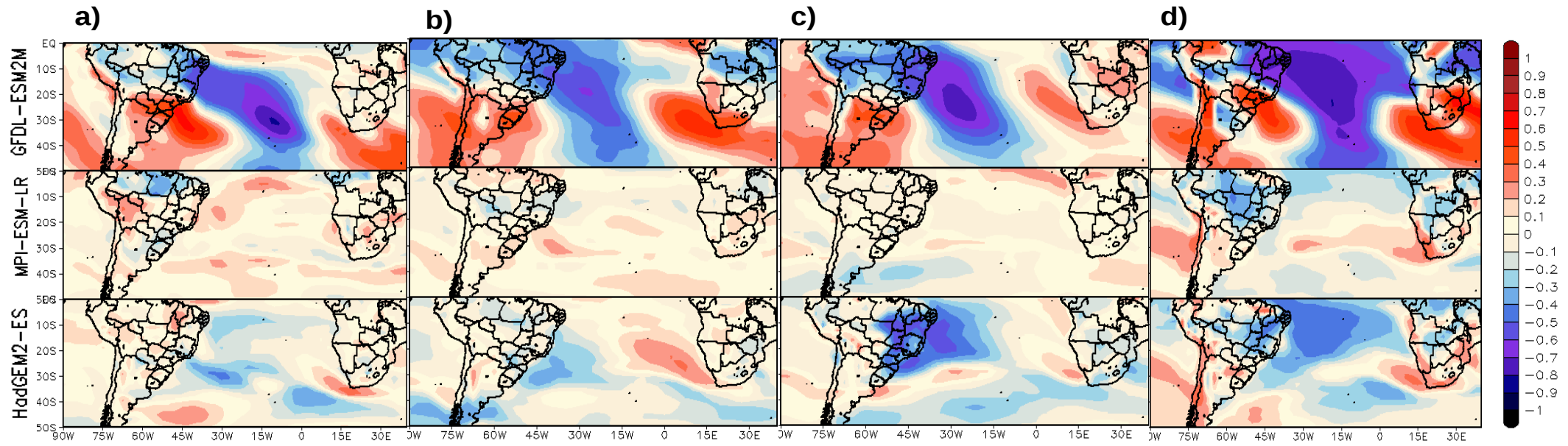


Figura 15 - Correlação da intensidade do vento (cores) com relação a longitude- projeção (a) Verão (DJF), (b) outono (MAM), (c) inverno (JJA), (d) primavera (SON).

Foi na projeção onde os maiores valores de correlação foram encontrados. Foram encontrados valores de correlação de até -0.7 (correlação moderada a forte) sobre quase todos o Brasil no outono levando em consideração a série latitudinal, para o GFDL e HadGEM, e primavera, para o GFDL (figura 16b e figura 16d). No inverno e no verão (figura 16c e 16a) os valores de correlação foram desprezíveis, variando entre -0.3 e 0.3. De um modo geral o modelo que apresentou os melhores valores de correlação foi o GFDL.

Na série longitudinal (Figura 17) os modelos convergem entre si sobre os valores de correlação sobre a América do sul, com exceção do GFDL quando ele simula para a primavera (figura 16d) onde atingi valores de 0.6 (correlação moderada) sobre o centro-oeste do Brasil e na costa litorânea do nordeste. As demais correlações variam entre -0.4 a 0.3 (correlação fraca).

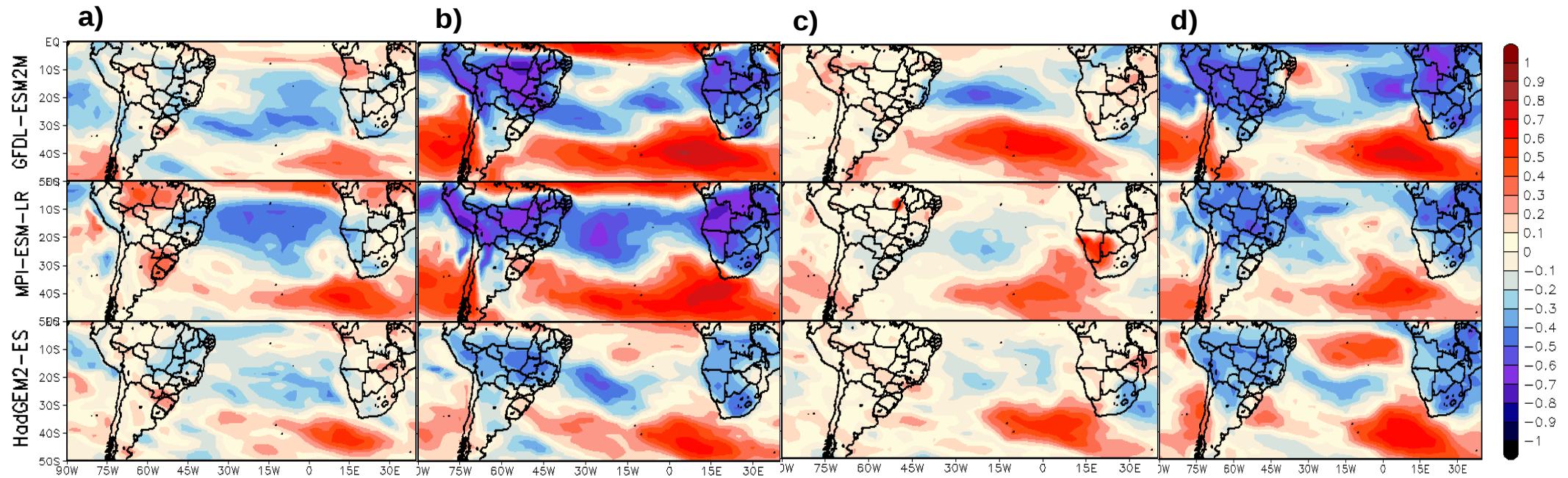


Figura 16- Correlação da precipitação (cores) com relação a latitude- projeção (a) Verão (DJF), (b) outono (MAM), (c) inverno (JJA), (d) primavera (SON).

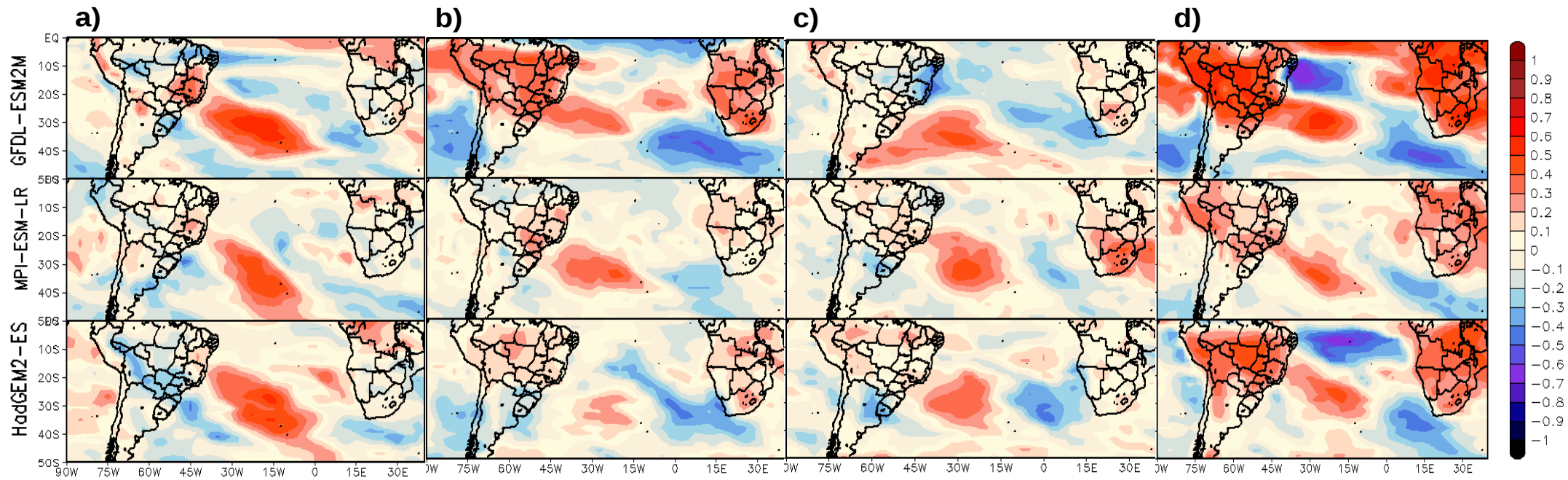


Figura 17 - Correlação da precipitação (cores) com relação a longitude- projeção (a) Verão (DJF), (b) outono (MAM), (c) inverno (JJA), (d) primavera (SON).

4. CONCLUSÃO

Este estudo realizou a climatologia do tempo presente e futuro da precipitação e da intensidade do vento, afim de correlacionar essas variáveis com a série latitudinal e longitudinal do centro de maior pressão do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, e por fim identificar a influência do ASAS nos ventos e precipitação no oceano Atlântico e na América do Sul no clima presente e futuro.

As projeções mostraram diminuição da precipitação para todo o Brasil, particularmente sobre o Amazonas. Porém um aumento de intensidade do vento, principalmente no nordeste brasileiro e sobre todo o oceano Atlântico. Para a intensidade do vento o melhor modelo a simular a área estudada foi o HadGEM2M-ES, enquanto que para a precipitação o melhor foi o MPI-ESM_LR.

Os valores de correlações obtidos, apesar de na maioria dos casos terem sido baixos, foram maiores dos encontrados anteriormente na literatura. Correlações altas podem indicar a dependência da variável com o centro do ASAS. A América do Sul sofre influência do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, principalmente em sua costa, assim como o Oceano Atlântico.

O melhor modelo para simular vento para a área de estudo foi o HadGEM2M-ES, já para a precipitação foi o MPI-ESM_LR.

Os ventos tendem a diminuir sobre a Amazônia e sobre a região de atuação do ASAS. A precipitação tende a diminuir sobre a região do ASAS.

A área que mais sofre influência do ASAS é costa da América do Sul. A região em que o anticiclone atua, também sofrerá influência com a mudança de posição de atuação do sistema.

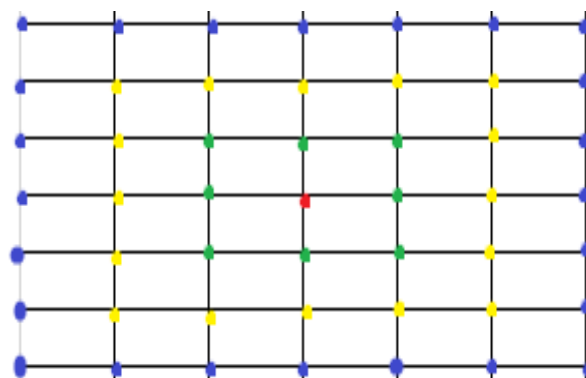
Os valores de correlações obtidos foram melhores do que os encontrados na literatura.

ANEXOS

Identificação da Posição Central do ASAS

Para esse estudo, utilizaram-se as séries de latitude e longitude da posição do ASAS (ponto em que há maior valor de pressão atmosférica ao nível médio do mar) em dados mensais. Embora essas informações tenham sido obtidas de Reboita et al. (2018), aqui se apresenta a metodologia para identificação do sistema.

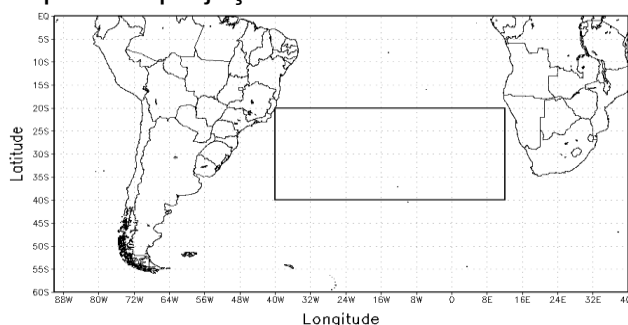
O algoritmo usado identifica nos campos mensais de pressão ao nível médio do mar, através da técnica do vizinho mais próximo, o ponto de grade de maior pressão (Figura 1). Esse algoritmo usa ideias similares aos algoritmos propostos por Lambert (1988), Murray e Simmonds (1991), Sinclair (1994) e Sugahara (2000).



Representação do esquema numérico utilizado.

A malha de 36 pontos se desloca sobre todos os pontos de grade dos dados entre a região que o anticiclone atua, que varia entre 40°S – 20°S e 42°W – 12°E (figura 2). O ponto em análise deve ter pressão maior do que os vizinhos para ser considerado o centro do sistema.

Após a obtenção da posição (latitude e longitude) do ASAS em cada mês do período em estudo, foi determinada a posição média do sistema no clima presente e futuro. Foram calculadas as posições médias sazonais do sistema para os dados de reanálise, bem como para as projeções dos modelos



Representação da região de atuação do ASAS.

5. REFERÊNCIAS

ADLER, Robert F. et al. The version-2 global precipitation climatology project (GPCP) monthly precipitation analysis (1979–present). **Journal of hydrometeorology**, v. 4, n. 6, p. 1147-1167, 2003.

CATTO, J. L. Extratropical cyclone classification and its use in climate studies. **Reviews of Geophysics**, v. 54, n. 2, p. 486-520, 2016.

CHERCHI, Annalisa et al. The response of subtropical highs to climate change. **Current Climate Change Reports**, p. 1-12, 2018.

DEE, Dick P. et al. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. Quarterly **Journal of the royal meteorological society**, v. 137, n. 656, p. 553-597, 2011.

DEGOLA, T. S. D. Impactos e variabilidade do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul sobre o Brasil no clima presente e em cenários futuros. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 91, 2013.

DIMA, Ioana M.; WALLACE, John M. On the seasonality of the Hadley cell. **Journal of the atmospheric sciences**, v. 60, n. 12, p. 1522-1527, 2003.

DUNNE, John P. et al. GFDL's ESM2 global coupled climate–carbon earth system models. Part I: **Physical formulation and baseline simulation characteristics**. **Journal of Climate**, v. 25, n. 19, p. 6646-6665, 2012.

GARREAUD, R.D.; FALVEY, M. The coastal winds off western subtropical South America in future climate scenarios. **International Journal of Climatology**, Hoboken, v. 29, n. 4, p. 543-554, 2008.

GILLILAND, Joshua M.; KEIM, Barry D. Surface wind speed: trend and climatology of Brazil from 1980–2014. **International Journal of Climatology**, v. 38, n. 2, p. 1060-1073, 2018.

GIORGETTA, Marco A. et al. Climate and carbon cycle changes from 1850 to 2100 in MPI-ESM simulations for the Coupled Model Intercomparison Project phase 5. **Journal of Advances in Modeling Earth Systems**, v. 5, n. 3, p. 572-597, 2012.

HASTENRATH, Stefan. Regional circulation systems. In: **Climate dynamics of the tropics**. Springer, Dordrecht, 1991. p. 114-218.

HE, Chao et al. Responses of the summertime subtropical anticyclones to global warming. **Journal of Climate**, v. 30, n. 16, p. 6465-6479, 2017.

HULME, Mike. A 1951–80 global land precipitation climatology for the evaluation of general circulation models. **Climate Dynamics**, v. 7, n. 2, p. 57-72, 1992.

ITO, E. R. K.; AMBRIZZI, T. Climatologia da posição da alta subtropical do atlântico sul para os meses de inverno. In: Anais do XI Congresso Latino-americano e Ibérico de Meteorologia. 2000. p. 860-865.

ITO, Ester Regina K. Um estudo climatológico do anticiclone subtropical do Atlântico Sul e sua possível influência em sistemas frontais. 1999. Tese de Doutorado.

JI, Xuan et al. Interhemispheric teleconnections from tropical heat sources in intermediate and simple models. **Journal of Climate**, v. 27, n. 2, p. 684-697, 2014.

JONES, Cde et al. The HadGEM2-ES implementation of CMIP5 centennial simulations. **Geoscientific Model Development**, v. 4, n. 3, p. 543-570, 2011.

KOSAKA, Yu; NAKAMURA, Hisashi. Mechanisms of meridional teleconnection observed between a summer monsoon system and a subtropical anticyclone. Part II: A global survey. **Journal of Climate**, v. 23, n. 19, p. 5109-5125, 2010.

LAMBERT, Steven J. A comparison of operational global analyses from the European Centre for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF) and the National Meteorological Center (NMC). Tellus A: **Dynamic Meteorology and Oceanography**, v. 40, n. 4, p. 272-284, 1988.

LEE, Sang-Ki et al. Interhemispheric influence of the northern summer monsoons on southern subtropical anticyclones. **Journal of Climate**, v. 26, n. 24, p. 10193-10204, 2013.

LIU, Yimin; WU, Guoxiong; REN, Rongcai. Relationship between the subtropical anticyclone and diabatic heating. **Journal of Climate**, v. 17, n. 4, p. 682-698, 2004.

LLOPART, M.; DA ROCHA, R.P.; REBOITA, M.S.; CUADRA, S. Sensitivity of simulated South America climate to the land surface schemes in RegCM4. **Climate Dynamics**, v. 48, p. 1-13, 2017

MÄCHEL, H.; KAPALA, A.; FLOHN, H. Behaviour of the centres of action above the Atlantic since 1881. Part I: Characteristics of seasonal and interannual variability. **International Journal of Climatology**, v. 18, n. 1, p. 1-22, 1998.

MARENGO, J. A.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P.; ALVES, M. L.; CUANDRA, S. V.; VALVERDE, M. C.; TORRES, R. R.; SANTOS, D. C.; FERRAZ, S. E. T. Future change of climate in South America in the late twenty-first century: Intercomparison of scenarios from three regional climate models. **Climate Dynamics**, New York, v. 35, n. 6, p. 1073-1097, 2010.

MIYASAKA, Takafumi; NAKAMURA, Hisashi. Structure and mechanisms of the Southern Hemisphere summertime subtropical anticyclones. **Journal of Climate**, v. 23, n. 8, p. 2115-2130, 2010.

MOSS, Richard H. et al. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. **Nature**, v. 463, n. 7282, p. 747, 2010.

MURRAY, Ross J.; SIMMONDS, Ian. A numerical scheme for tracking cyclone centres from digital data. **Australian Meteorological Magazine**, v. 39, n. 3, p. 155-166, 1991.
MUSK, L. F. Weather systems. **Cambridge topics in geography**. 1988.

NAMIAS, Jerome. Influence of northern hemisphere general circulation on drought in northeast Brazil 1. **Tellus**, v. 24, n. 4, p. 336-343, 1972.

NIMER, E. Climatologia do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 1979

PALLOTTA, M.; NAKAZATO, Renata Yumi. Caracterização de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Zona de Convergência de umidade (ZCOU) em janeiro e fevereiro de 2010. In: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia. 2010.

PALLOTTA, Mariana; GAN, Manoel Alonso. Caracterização do Mês de Janeiro de 2010 em Relação a Não Ocorrência de ZCAS: Uma Comparação com a Climatologia. 2011.

POLI, Paul et al. ERA-20C: An atmospheric reanalysis of the twentieth century. **Journal of Climate**, v. 29, n. 11, p. 4083-4097, 2016.

REBOITA et al, South Atlantic Subtropical Anticyclone: Present Climate and Future Projections. **Frontiers in Earth Science**, section Atmospheric Science. Em revisão

REBOITA, Michelle Simões et al. ASPECTOS CLIMÁTICOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS (CLIMATE ASPECTS IN MINAS GERAIS STATE). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, 2015.

REBOITA, Michelle Simões et al. Caracterização atmosférica quando da ocorrência de eventos extremos de chuva na região sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, 2017.

REBOITA, Michelle Simões et al. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, 2010.

RODWELL, Mark J.; HOSKINS, Brian J. Subtropical anticyclones and summer monsoons. **Journal of Climate**, v. 14, n. 15, p. 3192-3211, 2001.

SEAGER, Richard et al. Air–sea interaction and the seasonal cycle of the subtropical anticyclones. **Journal of climate**, v. 16, n. 12, p. 1948-1966, 2003

SETH, Anji; ROJAS, Maisa; RAUSCHER, Sara A. CMIP5 projected changes in the annual cycle of the South American monsoon. **Climatic Change**, v. 98, n. 3-4, p. 331-357, 2012.

SILVA, Luciano José; REBOITA, Michelle Simões; DA ROCHA, Rosmeri Porfírio. Relação da passagem de frentes frias na região sul de Minas Gerais (RSMG) com a precipitação e eventos de geada. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 14, n. 1, 2014. SINCLAIR, Mark R. A climatology of anticyclones and blocking for the Southern Hemisphere. **Monthly Weather Review**, v. 124, n. 2, p. 245-264, 1996.

SINCLAIR, Mark R. A diagnostic model for estimating orographic precipitation. **Journal of applied meteorology**, v. 33, n. 10, p. 1163-1175, 1994.

SUGAHARA, Shigetoshi. Variação anual da frequência de ciclones no Atlântico Sul. In: Proceedings of the 11th **Brazilian Congress of Meteorology**. 2000.

SUN, Xiaoming; COOK, Kerry H.; VIZY, Edward K. The South Atlantic subtropical high: Climatology and interannual variability. **Journal of Climate**, v. 30, n. 9, p. 3279-3296, 2017.

TRENBERTH, Kevin E. (Ed.). Climate system modeling. **Cambridge University Press**, 1992.

TRENBERTH, Kevin E.; FASULLO, John T. Simulation of present-day and twenty-first-century energy budgets of the southern oceans. **Journal of Climate**, v. 23, n. 2, p. 440-454, 2010

VAREJÃO-SILVA, M. A., 2000: Meteorologia e Climatologia. Stilo, Brasília, INMET, 532 p

VIANELLO, R. L.; MAIA, L. F. P. G, Estudo Preliminar da Climatologia Dinâmica do Estado de Minas Gerais. In: I CONGRESSO INTERAMERICANO DE METEOROLOGIA, 1986. Brasília. Anais I. p. 185-194.

WEXLER, Harry. Anticyclones. In: Compendium of Meteorology. **American Meteorological Society**, Boston, MA, 1951. p. 621-629.

WRIGHT, Alfred David F. Blocking action in the Australian region. **Australian Government Publishing Service**, 1974.

YNOUE, Rita Yuri et al. Meteorologia: noções básicas. Oficina de Textos, 2017.