

ANÁLISE PRELIMINAR DA TSM DOS MODELOS ACOPLADOS UTILIZADOS NO IPCC-AR4

Henrique M. J. Barbosa¹ e J. A. Marengo²

¹ CPTEC-INPE, Cachoeira Paulista – SP, Brasil, hbarbosa@cptec.inpe.br

² CPTEC-INPE, Cachoeira Paulista – SP, Brasil, marengo@cptec.inpe.br

RESUMO: Neste trabalho são avaliados os campos de temperatura da superfície do mar produzidos pelos modelos globais acoplados utilizados no IPCC-AR4. Comparou-se os resultados das simulações para o século XX com observações, avaliando-se o viés, o desvio padrão, o índice NINO3.4 e a região do Atlântico Sul adjacente aos subtrópicos da América do Sul. Os modelos em média produzem um viés frio nas zonas de convergência e nos oceanos Pacífico e Atlântico norte, e um viés quente ao sul de 45S. Em média o número de Niños e Niñas é simulado corretamente, mas são dois meses mais curtos. Com base nesta análise preliminar, os modelos mais indicados para “downscaling” de mudanças climáticas sobre a América do Sul, foram o INGV-ECHAM4.6 e o GFDL-CM2.1, seguidos de perto pelo MPI-ECHAM5, MetOffice-HadCM3 e CSIRO-Mk3.5.

ABSTRACT: In this paper the sea surface temperatures simulated by the global coupled models used in IPCC-AR4 are examined. Results from the 20th century control simulations are compared with observations and the bias, the standard deviation, the NINO3.4 index and the South Atlantic region close to the south american subtropics are analyzed. On average the models produce a cold bias in the convergence zones and over the northern Pacific and Atlantic oceans, and a hot bias south of 45S. The mean numbers of Niños and Niñas are correctly simulated but the events are 2 months shorter than observed. Based on this preliminary analysis the INGV-ECHAM4.6 and GFDL-CM2.1 models, followed closely by MPI-ECHAM5, MetOffice-HadCM3 and CSIRO-Mk3.5, are the most suitable for downscaling climate change scenarios over South America.

Palavras-Chave: IPCC-AR4, TSM, El Niño, Downscaling

1. INTRODUÇÃO

Segundo o IPCC (IPCC, 2007a), os impactos sócio-ambientais das mudanças climáticas devem aumentar significativamente até o final do século, já que todos os modelos climáticos prevêem um clima mais quente, excesso ou falta de chuva em diferentes áreas, um ciclo hidrológico mais intenso e um aumento do nível do mar, mesmo no cenário mais otimista. É importante ressaltar, contudo, que os diversos modelos utilizados no IPCC-AR4 divergem com relação à intensidade destas mudanças e quando e onde irão acontecer, especialmente para precipitação (IPCC, 2007b). Por exemplo, as projeções para a precipitação sobre a Amazônia variam mais entre os vários modelos, para um mesmo cenário, do que entre os vários cenários simulados por um mesmo modelo (IPCC, 2007a).

Dentre os motivos para os resultados dos diferentes modelos serem tão distintos em regiões específicas esta a baixa resolução espacial e a não representação de alguns processos que ocorrem na atmosfera assim como a simplificação de outros, em maior ou menor grau, em cada um dos modelos. Em parte isto se deve ao nosso desconhecimento a respeito de alguns destes processos, e em parte à limitação dos recursos computacionais. Por exemplo, hoje ainda é inviável integrar os modelos climáticos globais por centenas de anos utilizando uma resolução de centenas de metros e microfísica completa para resolver cada nuvem individualmente, ou mesmo incluir a química e o transporte dos aerossóis.

Uma das soluções mais utilizadas para a modelagem dos efeitos das mudanças climáticas na escala regional é o “downscaling” dinâmico, que consiste em forçar modelos de alta resolução e de física mais completa utilizando como condições de contorno campos previstos por modelos globais acoplados de baixa resolução. Neste processo é importante avaliar dentre os modelos disponíveis quais melhor simulam o clima atual, pois estes serão os mais adequados para prover as condições de contorno utilizadas no processo de downscaling do clima futuro.

Neste trabalho faz-se uma avaliação preliminar dos campos de TSM produzidos pelos modelos globais acoplados utilizados no IPCC-AR4, comparando os resultados das simulações para o século XX com observações.

2. DADOS E METODOLOGIA

O conjunto de dados de TSM utilizado consiste de campos mensais em ponto de grade com resolução de 2x2 graus do “Extended Reconstruct Sea Surface Temperature” (ERSST: Smith et al., 2007) da “National Oceanic and Atmospheric Administration”, disponíveis de 1854 a 2006 em <http://www.ncdc.noaa.gov>.

Comparamos estes dados com as TSMs produzidas pelos modelos do IPCC-AR4 nos experimentos de simulação do clima do século XX, denominados 20c3m, disponibilizados pelo “WCRP CMIP3 multi-model database” (Meehl et al. 2007). Alguns dos centros realizaram conjuntos de integrações como parte deste experimento. Nestes casos utilizamos apenas uma delas. A tabela 1 lista os 22 modelos analisados, bem como a resolução espacial da sua componente oceânica. A diferença entre os modelos GISS-EH e ER é a componente oceânica, HYCOM e Russel respectivamente. Entre os modelos MIROC-H e M, a diferença é a resolução espacial. O modelo ECHO-G do MRI é o ECHAM4 acoplado ao oceânico HOPE-G.

Como queremos avaliar a qualidade das TSMs simuladas enquanto forçantes para modelos atmosféricos é interessante detectar a existência de um viés médio nos trópicos (30°S-30°N), pois isto pode afetar muito a capacidade do oceano para forçar convecção profunda na atmosfera. Definimos como viés a diferença entre as climatologias de TSMs simuladas e observadas, entre 1930-98. Enquanto a média espacial do viés pode ser vista como um “offset”, o campo espacial permite identificar as regiões de discordância entre simulações e observações. Para quantificar esta discordância utilizamos o desvio padrão espacial do viés (DP), calculado tomando-se a raiz quadrada da média, em uma determinada área, do viés ao quadrado.

Analisa-se também a evolução temporal da TSM e de suas anomalias em regiões específicas, onde é conhecido que estas têm forte influência sobre o clima da América do Sul. O índice NINO3.4 é definido segundo Trenberth (1997) e as anomalias de TSM na região 120-170°W 5°N-5°S são calculadas tendo por base o período de 1950-79. Um Niño ou uma Niña são identificados se a média corrida de 5 meses exceder +0.4°C ou ficar abaixo de -0.4°C, respectivamente, por pelo menos 6 meses consecutivos. A evolução temporal da TSM foi avaliada em algumas regiões e apresentamos o resultado para o Atlântico Sul adjacente aos subtropicais da América do Sul (25-60°W 45°S-20°S). Essa região é importante pois é constantemente visitada por ciclones extra-tropicais que são influenciados pela TSM.

3. RESULTADOS

Na quarta e quinta colunas da tabela 1 são mostrados o viés médio e o desvio padrão do viés sobre a região tropical. Apenas quatro modelos apresentam um viés médio, i.e. um “offset”, maior em módulo que 1°C: BCCR com -1.62°C, CNRM com -1.56°C, INM com -1.10°C e HadGEM com -1.07°C. Alguns modelos com pequeno viés médio também não simularam adequadamente a TSM observada, como se pode perceber ao analisar o desvio padrão. Por exemplo, o GISS-ER, o GISS-EH e o NCAR-PCM apresentam desvios padrão de 1.67°C, 1.51°C e 1.43°C, respectivamente. O modelo cuja simulação está mais próxima das observações (menor DP) é o MRI com 0.69°C, seguido de perto pelo MIUB com 0.70°C, CCCMA com 0.85°C e INGV com 0.88°C.

A figura 1 mostra a média do viés de todos os modelos avaliados neste trabalho, ressaltando as regiões onde 70% ou mais dos modelos apresentam a mesma tendência de desvio em relação às observações. Em média os modelos simulam o Pacífico e o Atlântico muito frios no hemisfério norte, com extensas áreas onde o viés excede -1°C. No hemisfério sul, até 40°S, há extensas áreas onde as temperaturas simuladas concordam com as observações em $\pm 0.5^\circ\text{C}$. As exceções são as zonas de convergência, onde há um viés frio, e as costas oeste da África e da América do Sul, onde há um viés quente. Ao sul de 50°S, há também um viés quente, com extensas regiões excedendo +1°C em média. Ainda na figura 1, no painel da direita, são mostrados o viés de alguns modelos como exemplo das diferenças existentes. Mesmo modelos com pequeno DP, como o MIUB e o MRI, tendem a simular o hemisfério norte frio e o hemisfério sul quente. Modelos com grande DP erram sistematicamente em alguma região específica, como é o caso do GISS-EH e do HadGEM.

As colunas Niño e Niña da tabela 1 mostram o número de eventos, sua duração média e desvio padrão, além da fração de tempo durante o qual ocorreu um evento deste tipo entre 1930-98. Segundo as observações (ERSST3) houve 17 Niños que duraram 15.5 ± 5.51 meses cada um, ou seja, o Niño ocorreu durante 32% do tempo. As Niñas foram menos frequentes mas tiveram aproximadamente a mesma duração, porém com maior variabilidade. Anos neutros, representam apenas 42% de todo o período. Em média os modelos simularam 16 Niños de 13.8 meses e 16 Niñas de 13.2 meses, o que é próximo ao observado. No entanto, alguns modelos não foram capazes de reproduzir o ENSO, como o GISS-AOM e o GISS-ER, por não apresentarem variabilidade no pacífico, como mostra a figura 2. Já o CNRM e o IAP produzem

seguidamente Niños e Niñas alternados, com a mesma intensidade, ocupando mais de 80% de todo o período. Outros modelos, como o GISS-EH, o IPSL, os NCARs e os UKMOs, simulam Niños muito curtos (10-12 meses) apesar de capturarem a quantidade correta. Os modelo que melhor reproduziram as observações foram o INGV, o GFDL-CM2.1, o MPI e o BCCR.

Foram avaliadas também as evoluções temporais das anomalias de TSM em regiões específicas. A figura 3 mostra a temperatura média anual sobre o Atlântico Sul adjacente aos subtropicais da América do Sul. A variabilidade da temperatura é próxima à observada e o MRI e o HadCM3 se sobressaem, seguidos de perto pelo GFDL-CM2.1. As duas últimas colunas da tabela 1 mostram a média e a tendência de aumento da TSM nesta região. Em média os modelos apresentam um viés frio de -0.7°C , sendo que alguns atingem -2°C , como o GISS-AOM e o IPSL. A suave tendência observada de $1.0^{\circ}\text{C}/\text{século}$ é simulada razoavelmente bem, com a média dos modelos atingindo $(0.7\pm 0.3)^{\circ}\text{C}/\text{século}$.

4. DISCUSSÃO

Mostramos que a média das TSMs produzidas pelos modelos acoplados utilizados no IPCC-AR4 é 1 a 2°C mais fria que a observada nos oceanos Pacífico e Atlântico e nas zonas de convergência subtropicais e intertropicais. Ao mesmo tempo, é 1 a 2°C mais quente ao sul de 45°S e também nas costas oeste tropicais da África e da América do Sul. Para cada modelo individualmente estas diferenças são mais altas, atingindo valores de até $\pm 4^{\circ}\text{C}$. Tais diferenças de temperatura certamente têm um impacto na circulação atmosférica, devido ao aumento exponencial da evaporação com a TSM e ao desenvolvimento de convecção e convergência da umidade do ar nos baixos níveis quando a TSM excede 27.5°C . Estes resultados indicam a necessidade de corrigir os erros sistemáticos antes de se utilizar tais TSMs para “downscaling”. Uma forma ou primeiro passo seria remover o viés.

Em média os modelos simularam a quantidade correta de Niños e Niñas, mas estes foram em média 2 meses mais curtos que os observados. Alguns modelos, no entanto, falharam em reproduzir o ENSO, como o GISS-AOM e o GISS-ER que não apresentaram variabilidade no Pacífico. Chamamos a atenção para o fato de que modelos que apresentam um viés frio de até -4°C na ITCZ do Pacífico, como o BCCR, reproduziram bem o índice NINO3.4. Isto nos parece uma contradição pois no processo físico de interação oceano-atmosfera típico do ENSO, o aquecimento da superfície oceânica ocorre juntamente com o desenvolvimento de convecção profunda na atmosfera. Para este processo não é relevante apenas a anomalia da TSM do modelo com relação à sua própria climatologia, mas também o valor absoluto da TSM. Estes modelos precisam ser analisados em maior detalhe para que se verifique se a componente atmosférica do ENSO está presente. Esta análise poderá indicar que o cálculo do índice NINO de um modelo com base na climatologia do próprio modelo pode não ser um bom indicador de que o modelo é capaz de reproduzir o ENSO.

No Atlântico Sul adjacente aos subtropicais da América do Sul os modelos descreveram bem a tendência de aumento da temperatura observada entre 1930-98. O valor observado foi de $1.0^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ e a média dos modelos de $(0.7\pm 0.3)^{\circ}\text{C}/\text{sec}$. Em média os modelos apresentaram um viés frio de -0.7°C nesta região, com alguns modelos atingindo até -2°C .

Para selecionar os modelos que melhor representam a TSM observada a partir das análises apresentadas escolhemos um critério objetivo. Para cada uma das análises, atribuímos um “ponto negativo” para a terça parte dos modelos mais distante das observações, isto é àqueles acima do quantil de 33%. Estes modelos são destacados em vermelho na tabela 1. Os modelos com menor número de pontos negativos são os mais indicados para “downscaling” de mudanças climáticas sobre a América do Sul. Segundo esta análise preliminar e estes critérios, estes modelos são o INGV-ECHAM4.6 e o GFDL-CM2.1, seguidos de perto pelo MPI-ECHAM5, MetOffice-HadCM3 e CSIRO-Mk3.5.

5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Os resultados deste trabalho podem ajudar no “downscaling” dinâmico de mudanças climáticas sobre a América do Sul na medida em que contribui para a identificação de erros sistemáticos nas TSMs produzidas pelos modelos globais acoplados. Outro aspecto importante foi identificar que alguma correção deve ser aplicada antes de se utilizar estas TSMs “downscaling”. No entanto, um estudo mais detalhado é necessário para determinar exatamente como esta correção deve ser feita.

Pretende-se estender o presente trabalho através de uma análise de Fourier da evolução temporal da TSM em várias regiões de influência sobre o clima da América do Sul, e de uma análise de componentes principais para avaliar a reprodutibilidade pelos modelos da variabilidade da TSM em várias escalas de tempo e espaço.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- IPCC, 2007a: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of WGII to IPCC-AR4. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1000 pp.
- PCC, 2007b: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of WGI to IPCC-AR4. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- MARENGO, J.A. and others, 2008: The Drought of Amazonia in 2005. *J. Clim.*, **21**, 495-516.
- MEEHL, G.A. and others, 2007: The WCRP CMIP3 Multimodel Datas, a new era in climate change research. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, September 2007, 1383-1394.
- TRENBERTH, K. E., 1997: The definition of El Niño. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **78**, 2771-2777.
- SMITH, T.M., and others, 2007: Improvements to NOAA's Historical Merged Land-Ocean Surface Temperature Analysis (1880-2006). *J. Clim.*, in press.

Modelo	Centro/País	$\Delta lat \times \Delta lon$	Viés	DP	Niños				Niñas				Atlântico	
					N	Δt	$\sigma_{\Delta t}$	%	N	Δt	$\sigma_{\Delta t}$	%	T	ΔT_s
ERSST3	NOAA	2°x2°	--	--	17	15.5	5.51	32	14	15.1	7.66	26	18.5	1.0
BCM2.0	BCCR/NO	1.0°x1.0°	-1.62	2.01	18	15.9	6.00	35	16	12.9	5.30	25	17.4	1.2
CGCM3.1	CCCma/CA	2.8°x2.8°	-0.69	0.85	12	14.0	9.80	20	9	13.2	6.37	14	17.9	1.2
CM3	CNRM/FR	0.9°x1.9°	-1.56	1.88	23	15.5	4.48	43	20	15.3	4.15	37	17.0	0.8
Mk3.5	CSIRO/AU	0.9°x1.0°	0.49	0.95	14	16.7	6.13	28	12	23.8	8.60	35	18.9	1.0
CM2.0	GFDL/US	1.0°x1.0°	-0.83	1.24	18	14.3	6.45	31	25	11.4	4.10	34	17.5	0.8
CM2.1	GFDL/US	4.0°x5.0°	-0.42	1.00	17	16.6	7.06	34	19	16.1	6.51	37	18.3	0.6
AOM	GISS/US	1.0°x1.0°	-0.18	1.27	1	20.0	0.00	2	0	0.0	0.00	0	16.6	0.5
ModelE-H	GISS/US	1.0°x1.0°	0.25	1.51	19	10.8	5.08	25	14	9.6	2.79	16	19.5	0.4
ModelE-R	GISS/US	2.0°x2.5°	-0.20	1.67	2	9.5	0.50	2	2	6.0	0.00	1	17.1	0.3
FGOALS-g	IAP/CH	3.0°x4.0°	0.45	1.36	22	17.4	2.19	46	22	16.0	2.88	43	19.2	1.2
ECHAM-4.6	INGV/IT	0.9°x1.4°	0.12	0.88	17	14.6	5.10	30	16	16.7	8.01	32	18.0	0.9
CM3.0	INM/RU	1.5°x2.8°	-1.10	1.52	14	13.4	6.18	23	24	13.5	8.49	39	16.5	0.3
CM4	IPSL/FR	1.0°x1.0°	0.14	1.25	25	11.6	4.33	35	19	12.0	4.54	28	16.0	0.5
MIROC3-H	CCSR/JP	1.6°x2.5°	-0.60	1.29	8	17.6	10.5	17	6	20.0	10.3	15	17.7	1.0
MIROC3-M	CCSR/JP	0.4°x1.1°	-0.87	1.36	11	11.8	4.99	16	15	13.0	7.63	24	16.9	0.5
ECHO-G	MIUB/AL	1.0°x1.0°	-0.40	0.70	31	9.9	2.49	37	24	10.1	2.47	29	17.5	0.4
ECHAM5	MPI/AL	0.9°x1.0°	0.24	0.97	17	17.9	5.84	37	19	15.1	6.24	35	18.9	0.3
CGCM2.3.2	MRI/JP	1.3°x1.3°	-0.51	0.69	19	10.5	4.63	24	16	11.2	4.72	22	18.6	1.0
CCSM3	NCAR/US	0.9°x1.4°	-0.24	1.00	19	10.3	3.34	24	30	10.5	2.96	38	17.8	0.8
PCM1	NCAR/US	0.8°x1.0°	-0.32	1.43	17	10.1	3.62	21	19	12.3	4.99	28	19.4	0.9
HadCM3	MetOff./UK	1.0°x2.0°	0.19	1.36	19	12.5	4.88	29	19	17.0	7.17	39	18.3	0.6
HadGEM1	MetOff./UK	0.6°x1.1°	-1.07	1.55	18	12.0	5.10	26	9	13.6	3.37	15	17.2	0.7

Tabela 1: Primeira linha: observações. A partir da segunda linha: modelos analisados. As colunas contêm, a partir da segunda: centro e país de origem; resolução da componente oceânica; viés médio e desvio padrão da TSM na região tropical em °C; estatísticas do índice NINO3.4, com o número de eventos (N), a duração média em meses (Δt), o desvio padrão da duração dos eventos ($\sigma_{\Delta t}$) e a fração do tempo (em %) em cada uma das fases; temperatura média no Atlântico sul (T) em °C e tendência da temperatura (ΔT_s) em °C/século. Valores em vermelho estão acima do quantil de 33%, ou seja, correspondem ao 1/3 dos modelos mais distantes das observações.

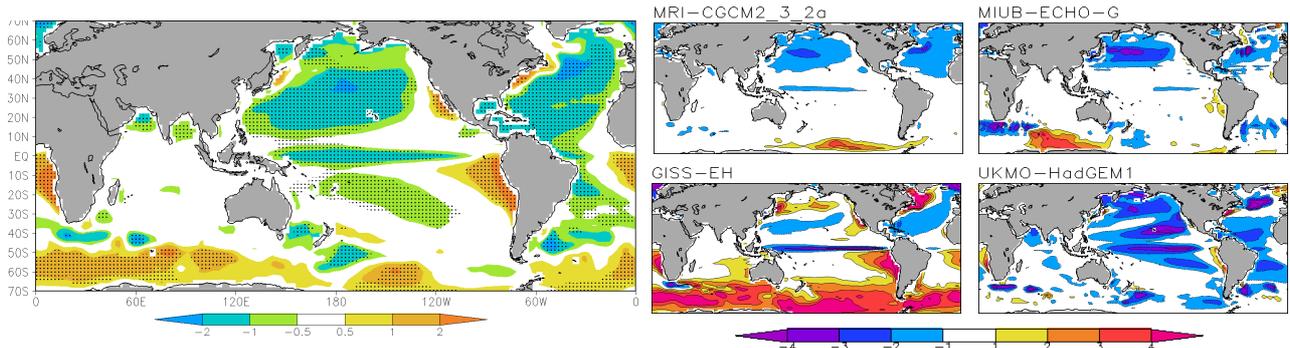


Figura 1: O painel da esquerda mostra a média do viés dos 22 modelos analisados, e as regiões hachuradas correspondem aquelas onde 70% ou mais dos modelos apresentam a mesma tendência. No painel da direita, são mostrados exemplos do viés de diferentes modelos, dois com $DP < 0.7^\circ\text{C}$ (em cima) e dois com $DP > 1.5^\circ\text{C}$ (em baixo).

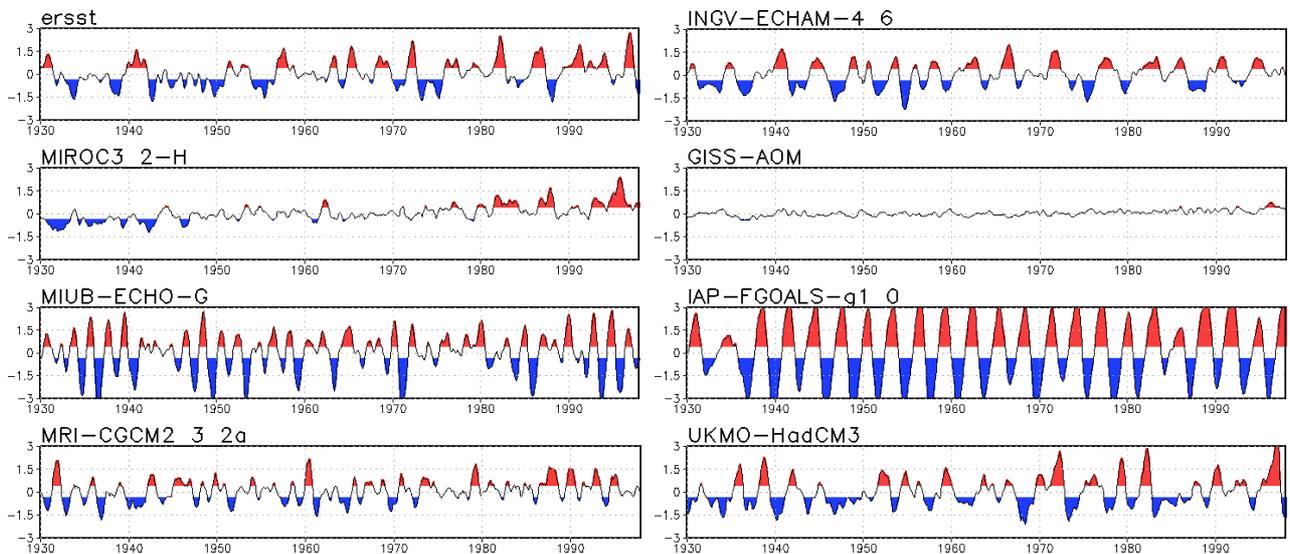


Figura 2: Índice NINO3.4 segundo as observações (ERSST3) e alguns dos modelos analisados neste estudo, escolhidos para mostrar os erros tipicamente encontrados. Na primeira linha são apresentadas as observações e o modelo que melhor o representa. Na segunda linha, os modelos apresentam pouca variabilidade, e na terceira, muita variabilidade. Na última linha são modelos com resultados intermediários, apesar de acertarem a variabilidade, erram o número de eventos ou a duração dos mesmos.

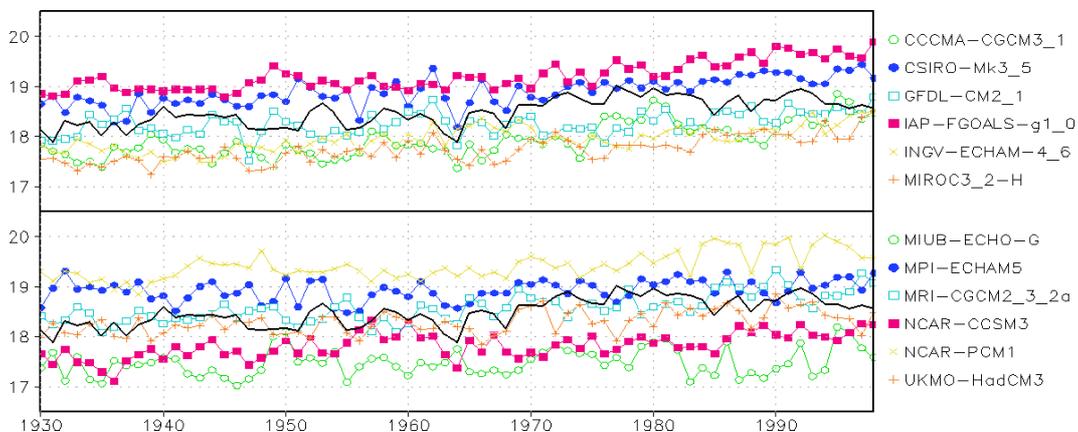


Figura 3: Temperatura média anual na região do Atlântico Sul adjacente a costa da América do Sul ($25\text{-}60^\circ\text{W}$ 45°S - 20°S). São apresentados apenas os modelos cujo viés, nesta região, é menor do que 1°C . Os resultados foram divididos em dois painéis para melhor visualização e comparação com as observações (linha preta).