



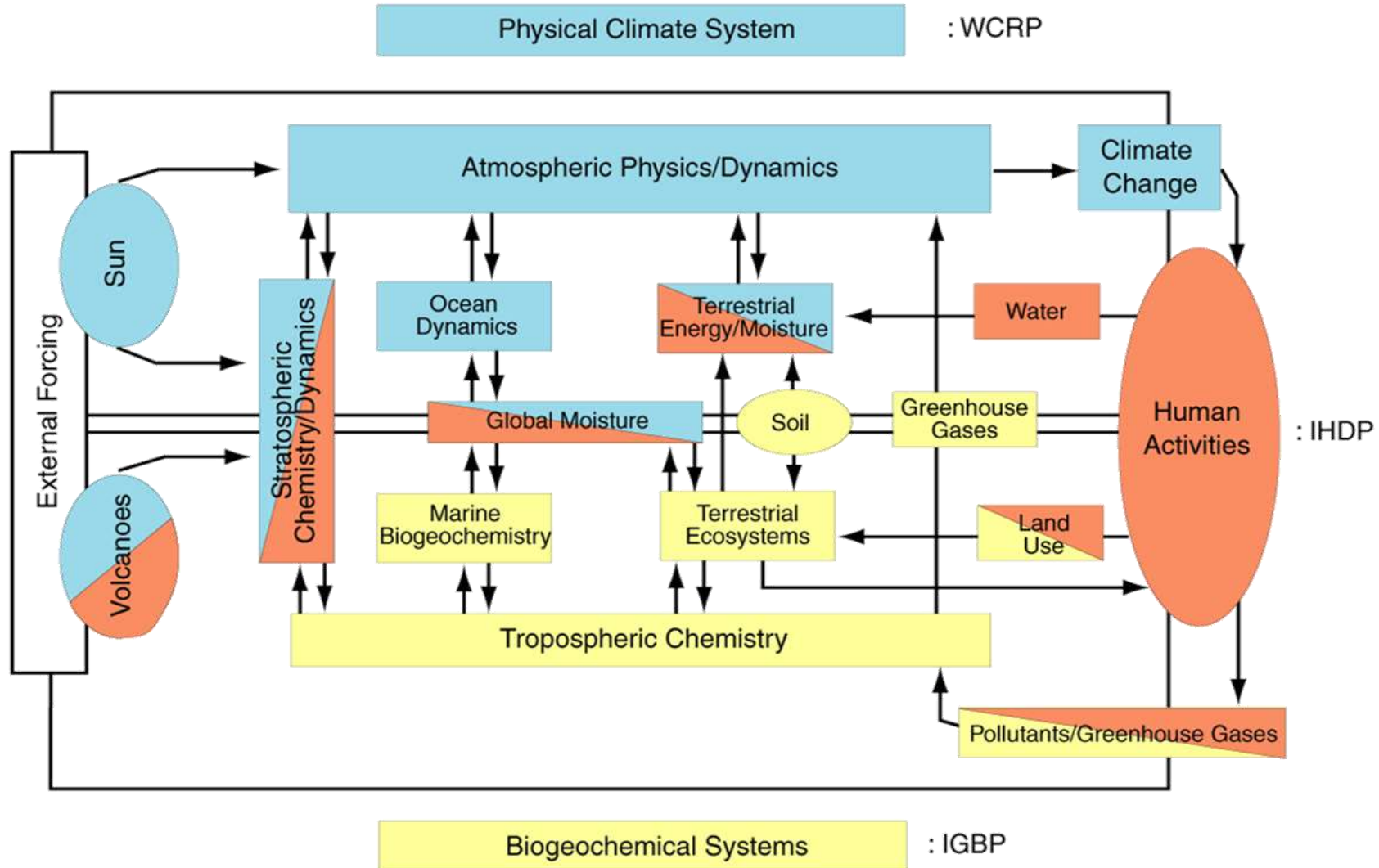
Capítulo 2

Mudanças climáticas globais: seus impactos e estratégias de mitigação e adaptação

Papel dos modelos climáticos

Pedro Leite da Silva Dias
IAG/USP

O sistema terrestre: acoplamento entre a física, biogeoquímica e a forçante humana



Duas formas principais para abordar entender os mecanismos responsáveis pela variabilidade do clima e o potencial papel do Homem:

1. Modelagem climática – sistema complexo

2. Análise observacional: período instrumental e estimadores do clima passado (paleoclima)

(1) e (2) são complementares: devem caminhar juntos!!!

O que o passado nos conta?



Reconstruction of vegetation and low latitude ocean-atmosphere dynamics of the past 130 kyr, based on south American montane pollen types

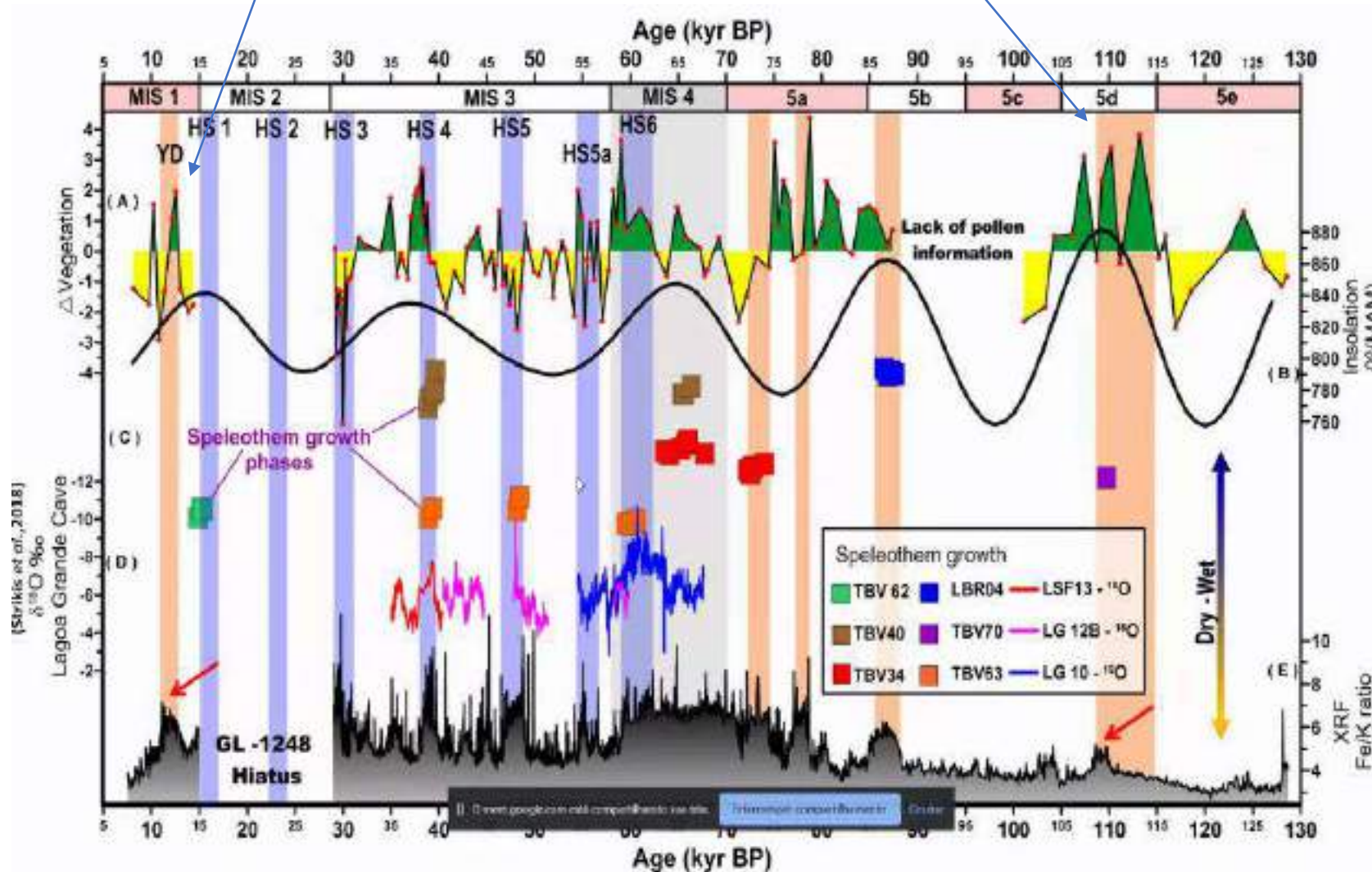
Patricia Piacsek ^a , Hermann Behling ^b, João M. Ballalai ^a, Juliana Nogueira ^{c, d}, Igor Martins Venancio ^a, Ana Luiza S. Albuquerque ^a

Periodos “verdes” indicam o acoplamento da Floresta Amazônica com a Mata Atlântica no NE

Uso dos modelos do IPCC para a simulação dos climas do passado:

Enorme progresso nos últimos 10 anos...

Mas ainda existem discrepância significativas.

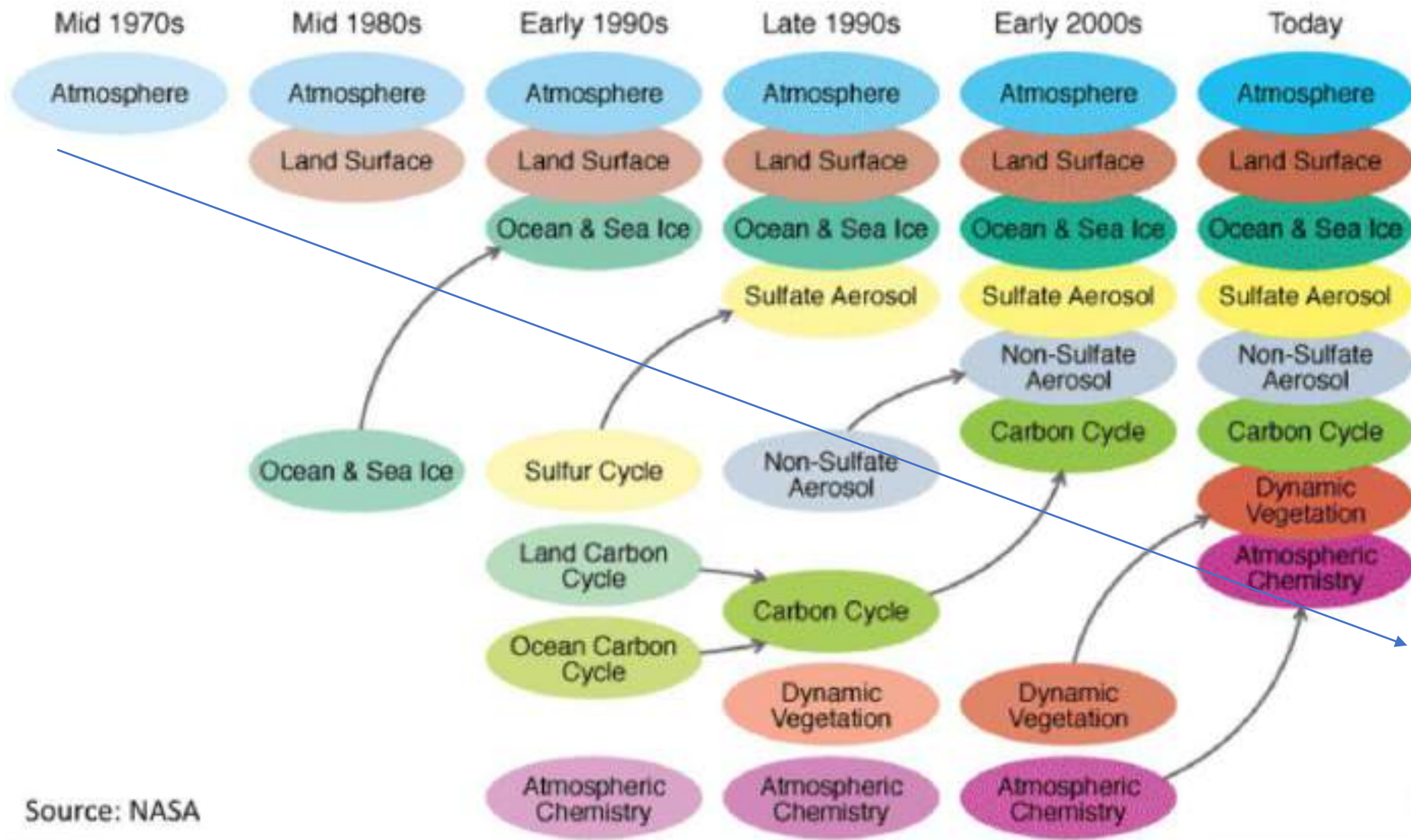


Cenários Climáticos futuros: origem das incertezas

- ***Complexidade do sistema climático:***
 - ***fatores que influenciam o clima***
 - ***Interações complexas (caos)***

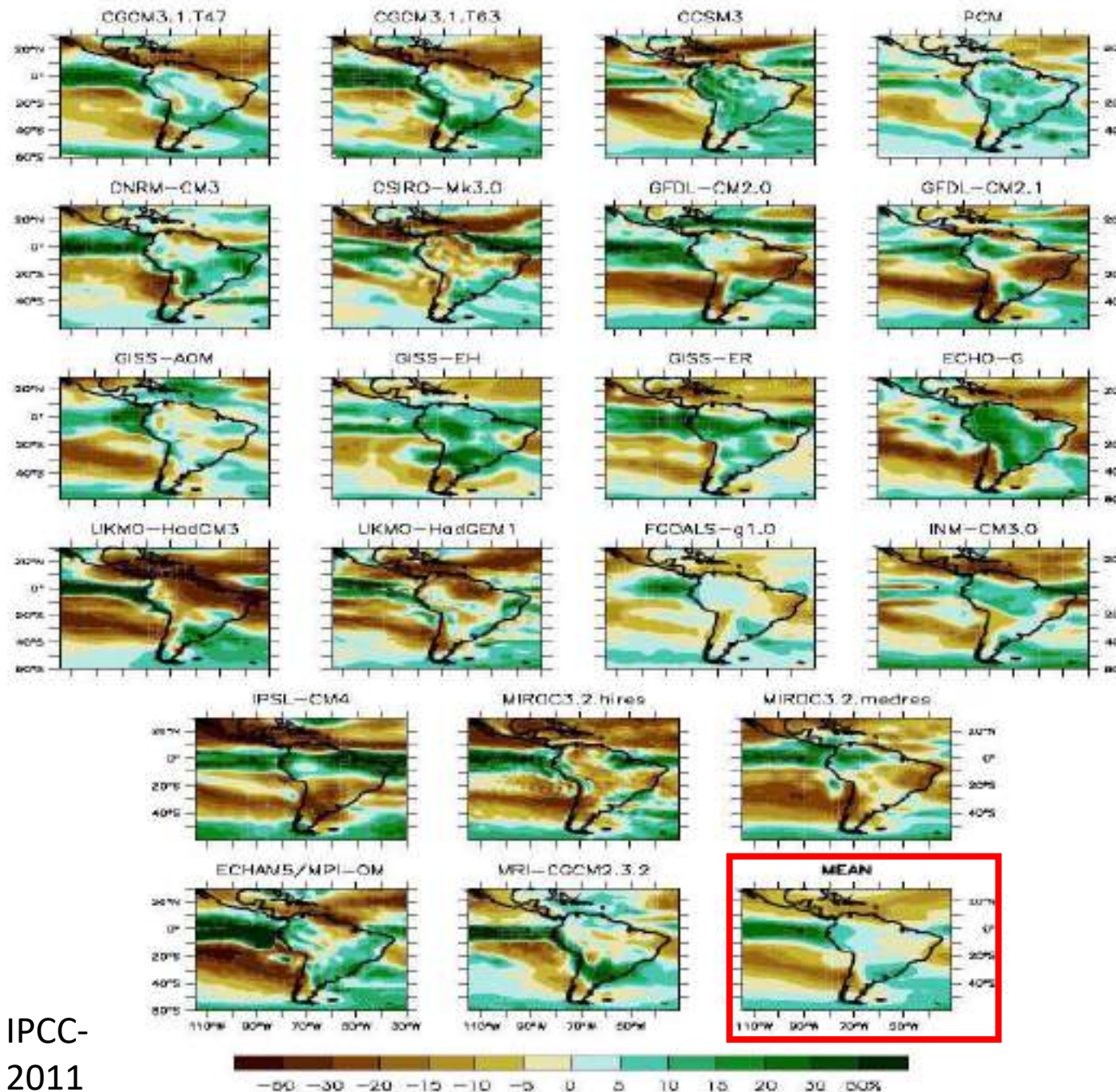
- ***Influência antropogênica: economia, valores sociais....***

A Terra, segundo os modelos climáticos



Nos aspectos regionais existem incertezas, sobretudo no caso da precipitação. Alguns exemplos....

Annual Mean Precip Response (%)



Percent change in precipitation from the years 1980-1999 to 2080-2099 under the A1B scenario. Brown indicates a reduction in precipitation and green an increase. The per cent change in the precipitation averaged over all models is shown in the lower right hand corner.



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Assessment of CMIP6 Simulations over Tropical South America

Cássia Gabriele Dias¹ e Michelle Simões Reboita²

¹ Mestre em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, bolsista, Universidade Federal de Itajubá, ² Professora Doutora do Instituto de Recursos Naturais (IRN) - Universidade Federal de Itajubá, Av. BPS, 1303, Bairro Pinheirinho, Itajubá, MG, Brasil. Autor correspondente E-mail: cassia_dias08@hotmail.com

Artigo recebido em 26/02/2021 e aceito em 04/05/2021

ABSTRACT

This study assesses the performance of 46 global climate models of the Coupled Model Intercomparison Project (Phase 6) - CMIP6 and selects better models in simulating the precipitation and the air temperature at 2 meters height climatology over tropical South America (SA) during the historical period (1996-2014). For this reason, some statistical measures are computed. A great number of models have a small bias when compared with observation, however, a lot of them have a poor performance in terms of the Willmott agreement index, which indicates a low performance in representing the temporal variability. Among the 46 models, E3SM-1-0, EC-Earth3, EC-Earth3-AerChem, EC-Earth3-Veg, IPSL-CM6A-LR, MPI-ESM1-2-LR and TaiESM1 have a better performance in reproducing SA climate. When the ensemble of the 7 models is compared with that 46 models, there is a reduction in the bias of the variables under study in some sectors of the SA. This indicates that the use of 7 models is enough for application in other studies.

Keywords: CMIP6; tropical South America; validation; atmospheric variables

The analysis of these statistics allows us to define what are the models that better represent the seasonal climatology of precipitation and air temperature over South America. So, these models are selected and a new ensemble is performed.

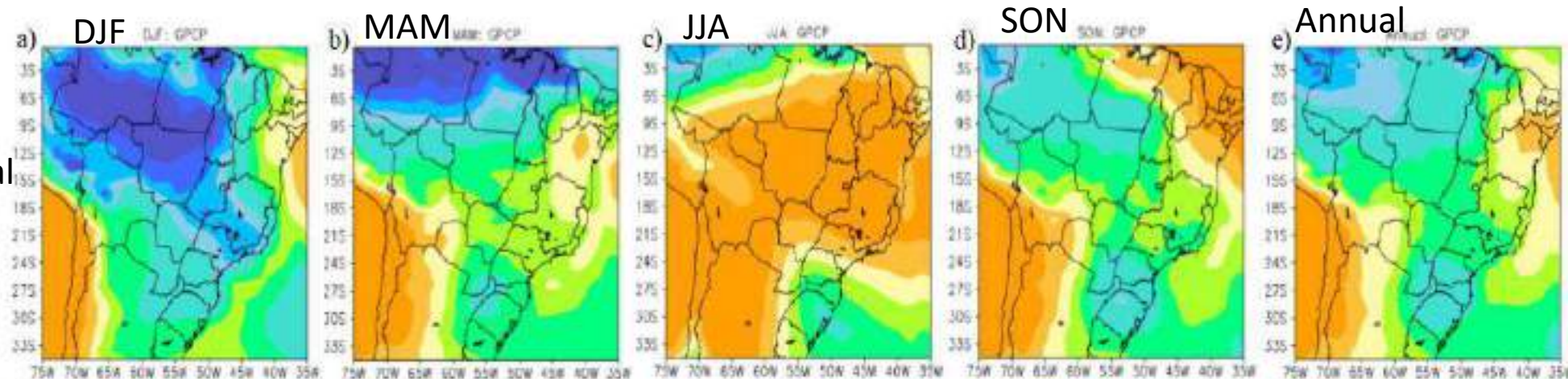
Table 1 Horizontal resolution (longitude x latitude) and references of each CMIP6-GCM.

Model	lon × lat	References	Model	lon × lat	References
ACCESS-CM2	192x144	Dix et al. (2019)	FGOALS-F3-L	288x180	Yu (2019)
ACCESS-ESM1-5	192x145	Ziehn et al. (2019)	FGOALS-g3	180x80	Li (2019)
AWI-CM-1-1-MR	384x192	Semmler et al. (2018)	FIO-ESM-2-0	288x192	Song et al. (2019)
AWI-ESM-1-1-LR	192x96	Danek et al. (2020)	GFDL-ESM4	288x180	Krasting et al. (2018)
BCC-CSM2-MR	320x160	Wu et al. (2018)	GISS-E2-1-G	144x90	NASA-GISS (2018)
BCC-ESM1	128x64	Zhang et al. (2018)	GISS-E2-1-H	144x90	NASA-GISS (2019)
CAMS-CSM1-0	320x160	Rong (2019)	IITM-ESM	192x94	Raghavan and Panickal (2019)
CanESM5	128x64	Swart et al. (2019)	INM-CM4-8	180x120	Volodin et al. (2019a)
CAS-ESM2-0	256x128	Danabasoglu (2019b)	INM-CM5-0	180x120	Volodin et al. (2019b)
CESM2	288x192	Danabasoglu (2019a)	IPSL-CM6A-LR	144x143	Boucher et al. (2018)
CESM2-FV2	144x96	Danabasoglu (2019d)	KACE-1-0-G	192x144	Byun et al. (2019)
CESM2-WACCM	288x192	Danabasoglu (2019c)	MCM-UA-1-0	96x80	Stouffer (2019)
CESM2-WACCM-FV2	144x96	Danabasoglu (2019e)	MIROC6	256x128	Tatebe and Watanabe (2018)

Table 1 Horizontal resolution (longitude x latitude) and references of each CMIP6-GCM.

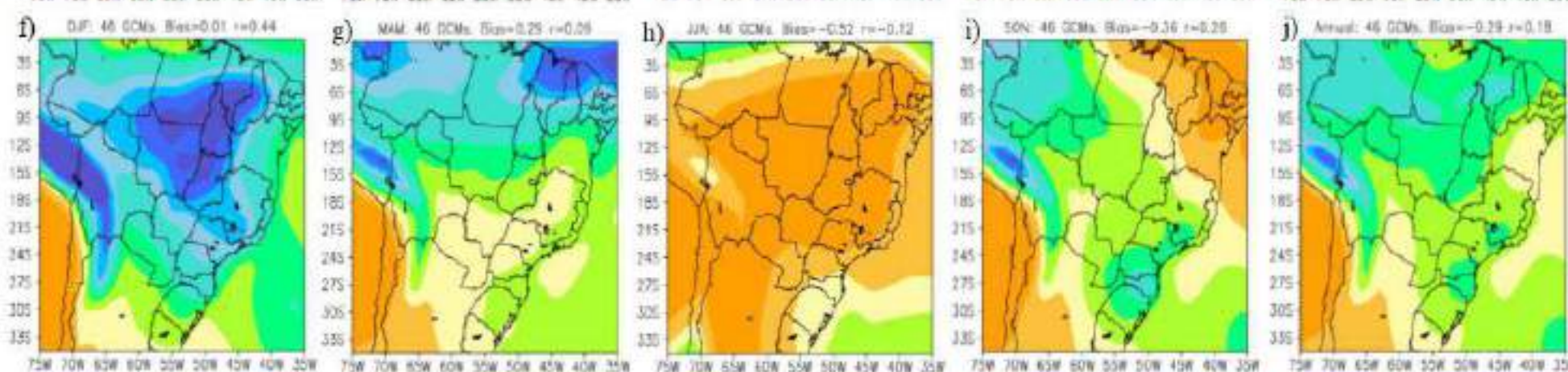
Model	lon × lat	References	Model	lon × lat	References
CIESM	288x192	Huang (2019)	MPI-ESM-1-2-HAM	192x96	Neubauer et al. (2019)
CMCC-CM2-HR4	288x192	Scoccimarro, Bellucci and Peano (2020)	MPI-ESM1-2-HR	384x192	Jungclaus, Bittner and Wieners (2019)
CMCC-CM2-SR5	288x192	Lovato and Peano (2020)	MPI-ESM1-2-LR	192x96	Wieners et al. (2019)
E3SM-1-0	360x180	Bader et al. (2019a)	MRI-ESM2-0	320x160	Yukimoto et al. (2019)
E3SM-1-1	360x180	Bader et al. (2019b)	NESM3	192x96	Cao and Wang (2019)
E3SM-1-1-ECA	360x180	Bader et al. (2020)	NorCPM1	144x96	Bethke et al. (2019)
EC-Earth3	512x256	EC-Earth Consortium (2019b)	NorESM2-LM	144x96	Seland et al. (2019)
EC-Earth3-AerChem	512x256	EC-Earth Consortium (2020)	NorESM2-MM	288x192	Bentsen et al. (2019)
EC-Earth3-Veg	512x256	EC-Earth Consortium (2019a)	SAM0-UNICON	288x192	Park and Shin (2019)
EC-Earth3-Veg-LR	320x160	EC-Earth Consortium (2020)	TaiESM1	288x192	Lee and Liang (2020)

Observational
estimate

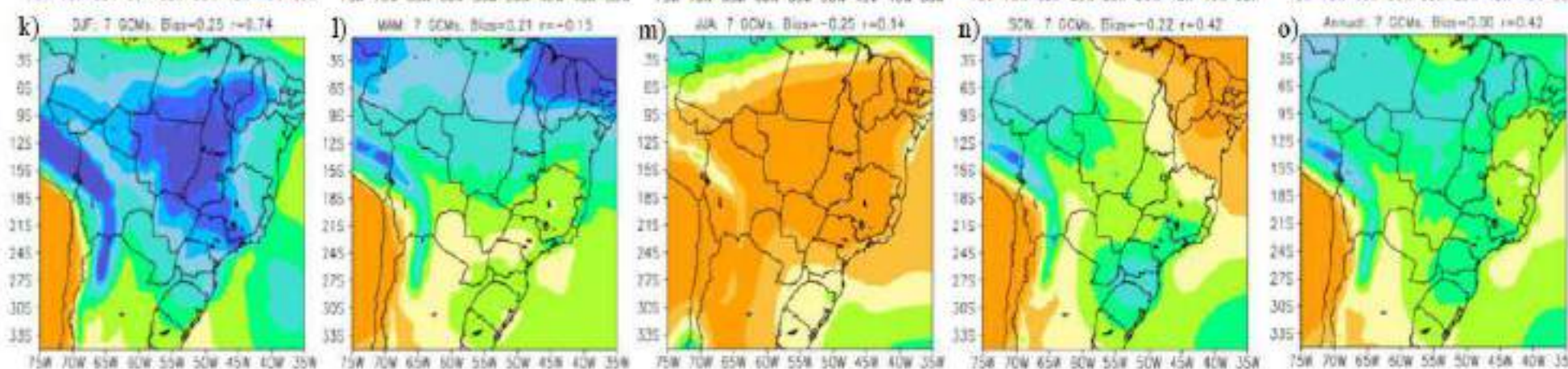


Seasonal and
annual
average of
precipitation
(mm day⁻¹)
for the period
1996-2014

Mean
46 CMIP6
models

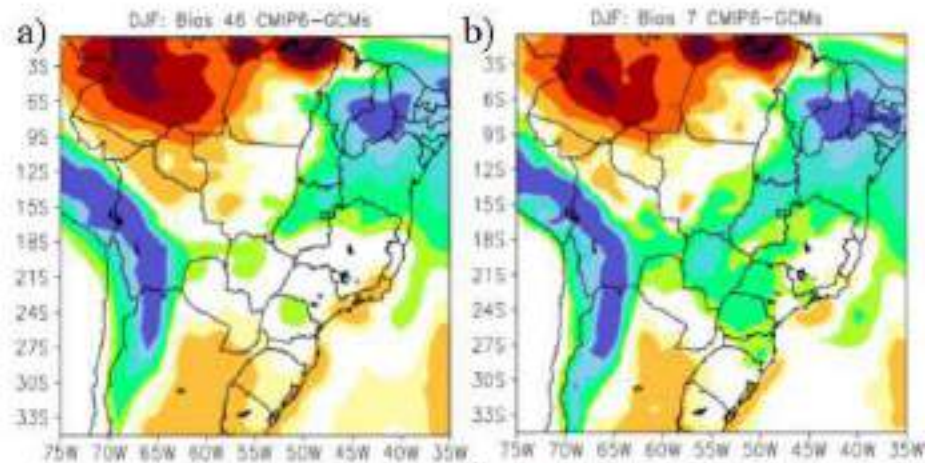


Best 7
CMIP6
models

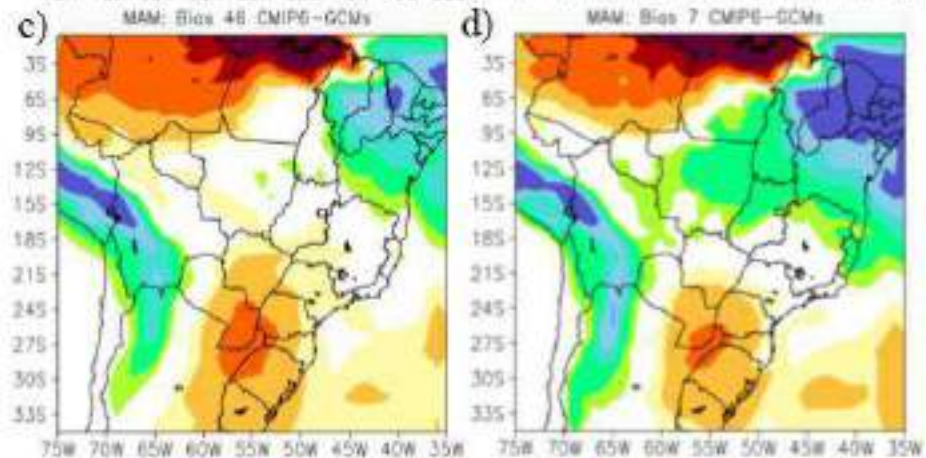


CMIP6 tende
a produzir
menos
chuva na
Amazonia e
mais no NE

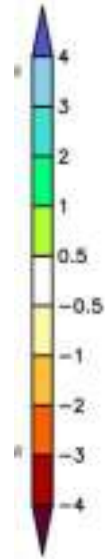
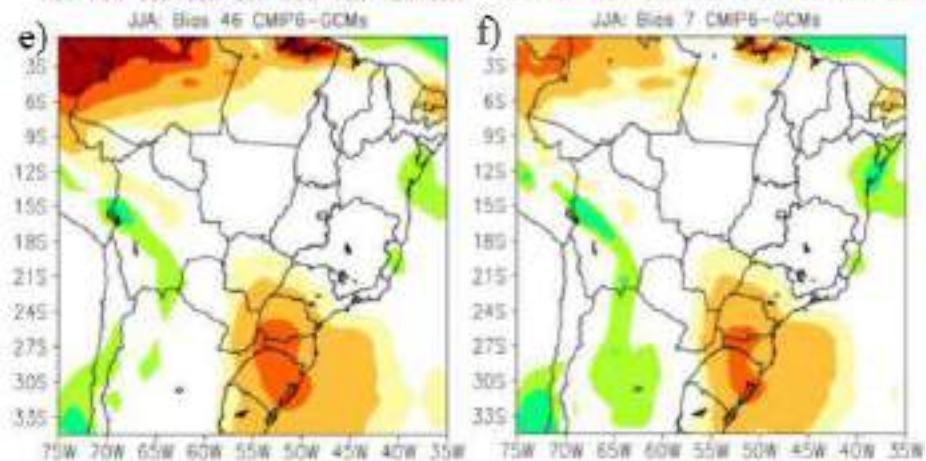
DJF



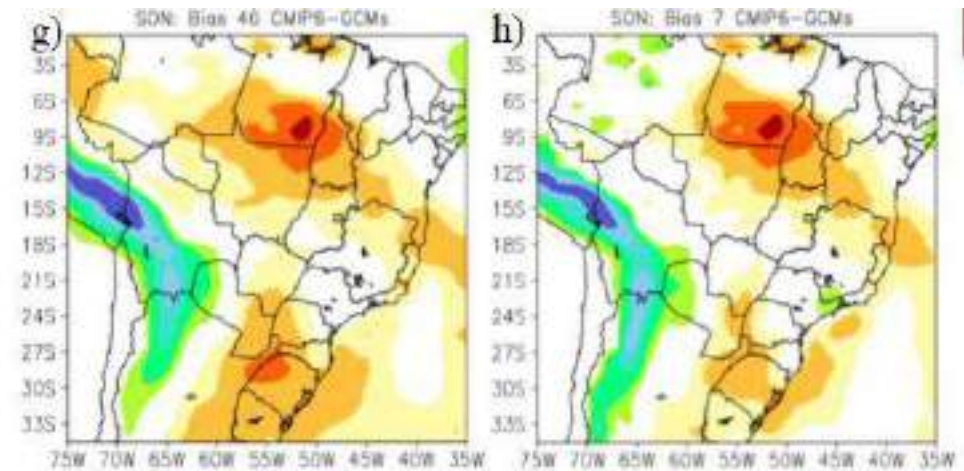
MAM



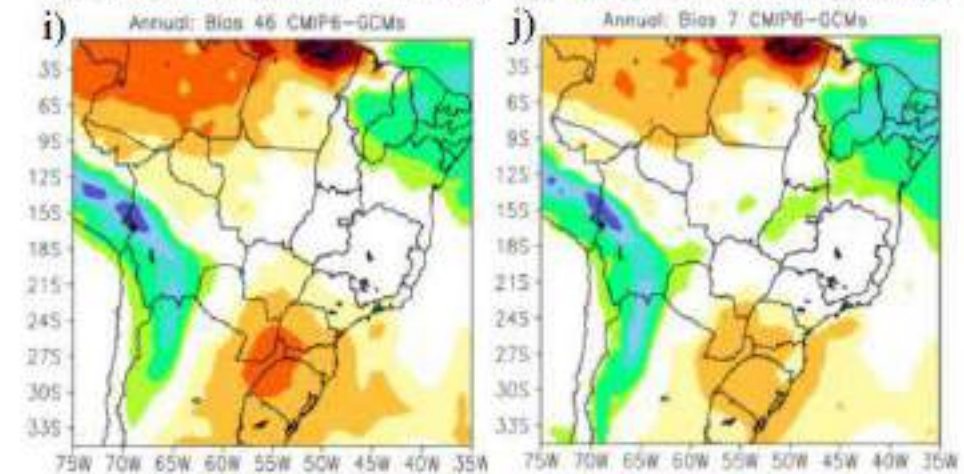
JJA



SON



Annual



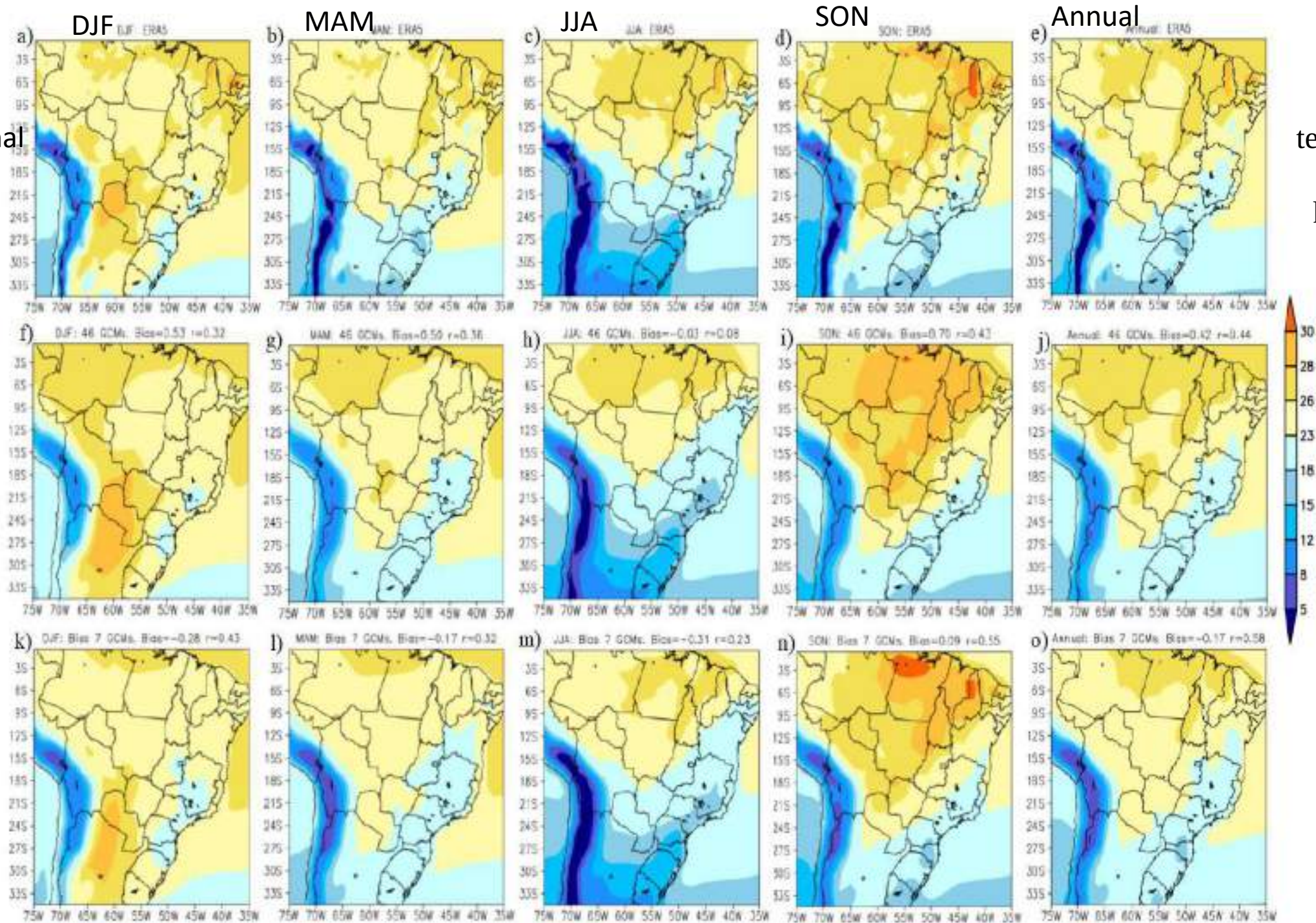
Seasonal and annual bias of precipitation (mm day⁻¹) for the period 1996-2014. The first column is 46 CMIP6-GCMs ensemble minus GPCP: a) DJF, c) MAM, e) JJA, g) SON and i) annual, and the second column is 7 CMIP6-

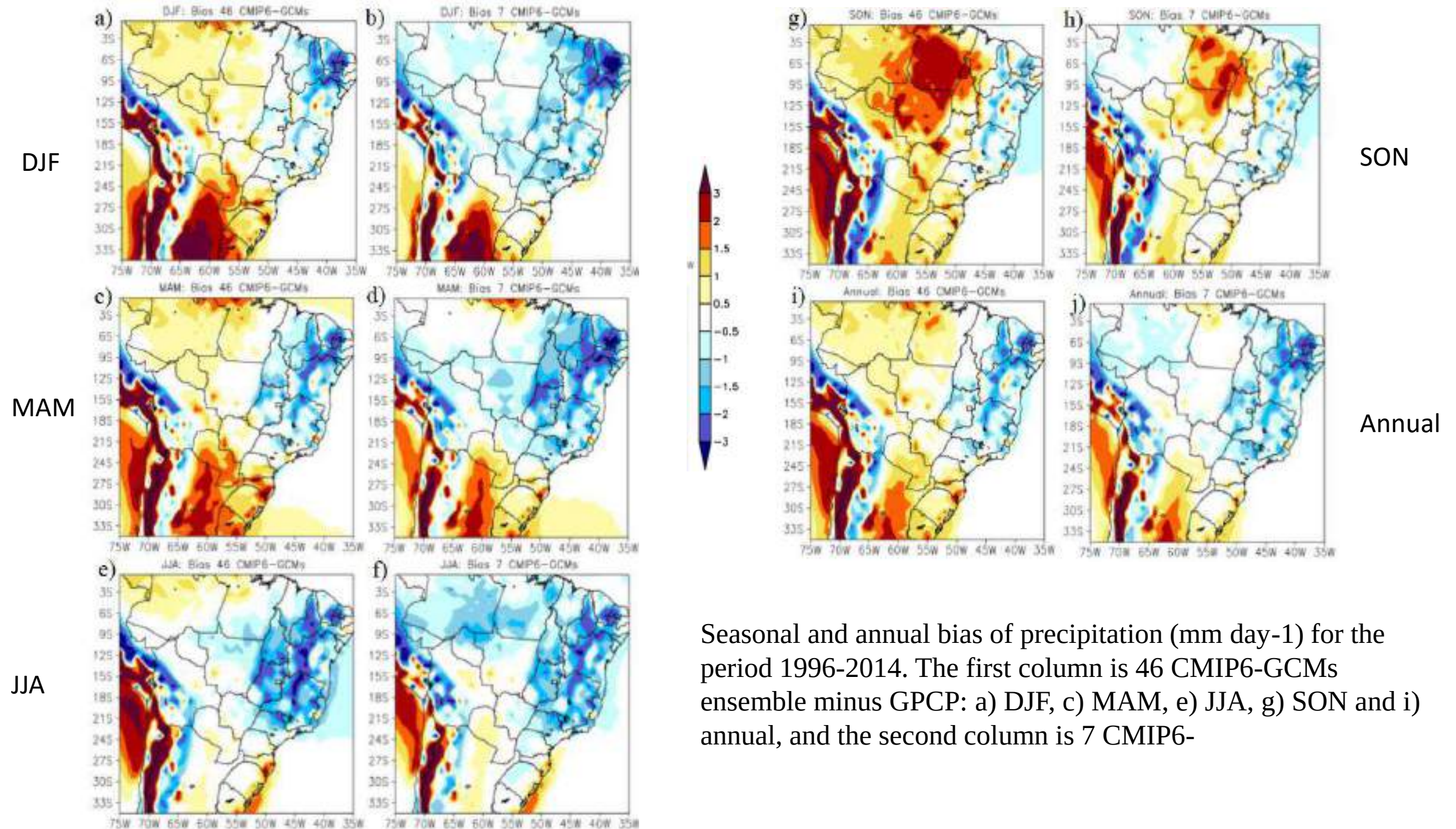
Observational
estimate

Air
temperature at
2 meters
height (°C).

Mean
46 CMIP6
models

Best 7
CMIP6
models





B
I
A
S

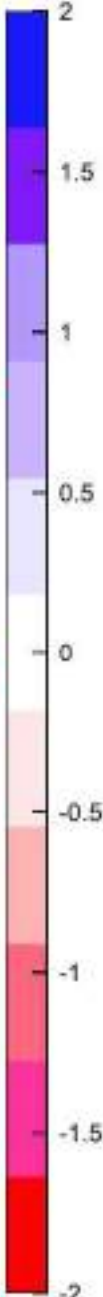
≈ 0

Precipitation Bias(mm/day)

ACCESS-CM2	1.49	0.76	0.59	0.97	0.95
ACCESS-ESM1-5	0.83	0.82	0.29	0.37	0.59
AWI-CM-1-1-MR	0.56	-0.33	-0.52	-0.35	-0.16
AWI-ESM-1-1-LR	-0.23	-0.84	-0.84	-0.31	-0.55
BCC-CSM2-MR	0.45	-0.06	-0.37	0.25	0.07
BCC-ESM1	0.76	0.17	-0.59	0.38	0.18
CAMS-CSM1-0	-1.22	-1.6	-0.43	-0.66	-0.98
CanESM5	0.22	-0.22	-0.59	0.66	-0.31
CAS-ESM2-0	-1.01	-1.05	-0.46	-0.85	-0.84
CESM2	0.52	-0.21	-0.97	-0.74	-0.35
CESM2-FV2	0.61	-0.01	-1.06	-0.85	-0.32
CESM2-WACCM	0.47	-0.18	-1.05	0.88	-0.4
CESM2-WACCM-FV2	0.91	0.19	-1	-0.71	-0.15
CIESM	-5.97	-4.76	-1.82	-3.4	-3.99
CMCC-CM2-HR4	0.42	0.23	-0.54	-0.04	0.02
CMCC-CM2-SR5	0.45	0.24	-0.83	-0.63	-0.14
E3SM-1-0	0.38	0.33	-0.61	-0.71	-0.15
E3SM-1-1	0.27	0.36	-0.58	-0.63	-0.14
E3SM-1-1-ECA	0.42	0.28	-0.56	-0.58	-0.11
EC-Earth3	0.31	0.5	0.1	-0.07	0.21
EC-Earth3-AerChem	0.21	0.03	-0.03	-0.1	0.03
EC-Earth3-Veg	0.21	0.53	0.06	-0.1	0.19
EC-Earth3-Veg-LR	0.01	0.25	-0.04	-0.25	0
FGOALS-f3-L	-2.45	-2.23	-0.92	-1.72	-1.82
FGOALS-g3	-1.51	-1.33	-0.61	-0.66	-1.02
FIO-ESM-2-0	0.05	-0.21	-0.77	-0.57	-0.37
GFDL-ESM4	1	0.31	-0.77	-0.98	-0.11
GISS-E2-1-G	-1.01	-1.07	-0.56	0.89	-0.88
GISS-E2-1-H	-1.33	-1.48	-0.67	-0.79	-1.07
IITM-ESM	-1.7	-1.84	-0.12	-0.45	-1.02
INM-CM4-8	0.04	0.32	-0.41	-0.06	-0.02
INM-CM5-0	0.32	0.16	-0.23	0.16	0.11
IPSL-CM6A-LR	0.08	0.35	-0.13	-0.23	0.02
KACE-1-0-G	0.63	0.16	0.35	0.46	0.4
MCM-UA-1-0	0.42	-0.81	-0.47	0.65	0
MIROC6	1.04	-0.01	-0.56	0.47	0.24
MPI-ESM-1-2-HAM	0.45	-0.61	-0.73	0.45	-0.11
MPI-ESM1-2-HR	0.71	-0.03	-0.32	-0.03	0.09
MPI-ESM1-2-LR	0.38	-0.46	-0.7	0.05	-0.18
MRI-ESM2-0	1.33	0.37	-0.52	0.4	0.4
NESM3	0.79	-0.05	-0.51	0.78	0.25
NorCPM1	-0.59	-1.23	-0.88	-0.56	-0.81
NorESM2-LM	0.67	0.53	-0.96	-0.79	-0.13
NorESM2-MM	0.27	-0.18	-0.87	-0.85	-0.36
SAM0-UNICON	-0.45	-0.01	-0.64	-0.89	-0.49
TaiESM1	0.18	0.16	-0.43	-0.36	-0.11

DJF MAM JJA SON Annual

Mean: 5.98 4.77 1.82 3.40 3.99



pior
melhor
pior

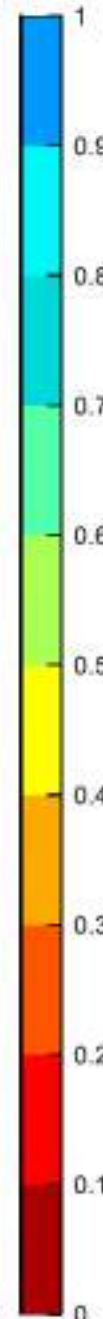
W
I
L
M
O
T
T

≈ 1

Willmott Index Precipitation

ACCESS-CM2	0.24	0.28	0.21	0.24	0.22
ACCESS-ESM1-5	0.34	0.29	0.36	0.31	0.33
AWI-CM-1-1-MR	0.45	0.31	0.29	0.34	0.31
AWI-ESM-1-1-LR	0.3	0.34	0.25	0.32	0.33
BCC-CSM2-MR	0.38	0.58	0.37	0.41	0.37
BCC-ESM1	0.4	0.57	0.27	0.32	0.4
CAMS-CSM1-0	0.25	0.2	0.35	0.33	0.22
CanESM5	0.31	0.33	0.33	0.28	0.39
CAS-ESM2-0	0.29	0.3	0.3	0.26	0.24
CESM2	0.31	0.36	0.21	0.29	0.3
CESM2-FV2	0.35	0.45	0.21	0.26	0.44
CESM2-WACCM	0.28	0.35	0.21	0.28	0.31
CESM2-WACCM-FV2	0.3	0.43	0.21	0.36	0.33
CIESM	0.07	0.09	0.14	0.1	0.07
CMCC-CM2-HR4	0.36	0.5	0.26	0.58	0.48
CMCC-CM2-SR5	0.27	0.36	0.3	0.38	0.53
E3SM-1-0	0.54	0.53	0.27	0.32	0.44
E3SM-1-1	0.16	0.4	0.3	0.27	0.44
E3SM-1-1-ECA	0.46	0.41	0.33	0.34	0.45
EC-Earth3	0.54	0.23	0.37	0.57	0.37
EC-Earth3-AerChem	0.55	0.16	0.47	0.49	0.39
EC-Earth3-Veg	0.51	0.45	0.49	0.52	0.6
EC-Earth3-Veg-LR	0.25	0.44	0.28	0.54	0.53
FGOALS-f3-L	0.15	0.18	0.23	0.16	0.14
FGOALS-g3	0.19	0.26	0.29	0.33	0.21
FIO-ESM-2-0	0.4	0.29	0.25	0.31	0.31
GFDL-ESM4	0.27	0.48	0.24	0.26	0.43
GISS-E2-1-G	0.27	0.29	0.3	0.26	0.23
GISS-E2-1-H	0.26	0.25	0.29	0.35	0.22
IITM-ESM	0.2	0.19	0.28	0.28	0.21
INM-CM4-8	0.35	0.32	0.31	0.5	0.43
INM-CM5-0	0.42	0.36	0.34	0.54	0.49
IPSL-CM6A-LR	0.56	0.25	0.49	0.45	0.44
KACE-1-0-G	0.36	0.27	0.23	0.34	0.27
MCM-UA-1-0	0.41	0.36	0.3	0.38	0.47
MIROC6	0.26	0.35	0.35	0.45	0.45
MPI-ESM-1-2-HAM	0.42	0.36	0.22	0.29	0.38
MPI-ESM1-2-HR	0.38	0.14	0.28	0.17	0.13
MPI-ESM1-2-LR	0.38	0.37	0.28	0.83	0.49
MRI-ESM2-0	0.26	0.36	0.33	0.37	0.35
NESM3	0.36	0.46	0.34	0.35	0.44
NorCPM1	0.29	0.28	0.25	0.33	0.25
NorESM2-LM	0.41	0.23	0.21	0.23	0.28
NorESM2-MM	0.49	0.61	0.25	0.26	0.39
SAM0-UNICON	0.16	0.35	0.28	0.32	0.32
TaiESM1	0.42	0.51	0.32	0.49	0.52

DJF MAM JJA SON Annual



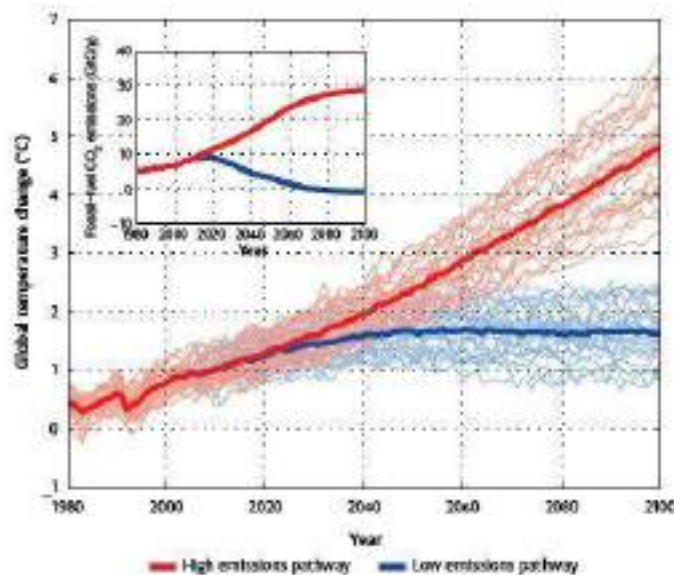
melhor
pior

Conclusions

- For both precipitation and air temperature at 2 m, in general, the bias values are acceptable, according to Giorgi and Mearns (1999)
- Regarding the agreement index, which is a statistic more sensitive to the variability of the data than the bias, **there are no models with values close to 1**. It indicates that the models have a **greater difficulty to capture the year-to-year variability**.
 - For precipitation, the models with better performance are: BCC-CSM2-MR, BCC-ESM1, CanESM5, CMCC-CM2-HR4, CMCC-CM2-SR5, E3SM-1-0, E3SM-1-1 -ECA, EC-Earth3, EC-Earth3-AerChem, EC-Earth3-Veg, INM-CM4-8, INN-CM5-0, IPSL-CM6A-LR, KACE-1-0-G, MCM-UA-1 -0, MPI-ESM1-2-LR and TaiESM1.
 - Regarding the air temperature at 2 meters, the models that present better performance are: CAMS-CSM1-0, CAS-ESM2-0, E3SM-1-0, E3SM-1-1, E3SM-1-1-ECA, EC-Earth3, EC-Earth3-AerChem, EC-Earth3-Veg, FIO-ESM-2-0, IITM-ESM, IPSL-CM6A-LR, MPI-ESM1-2-HR, NorESM2-MM, SAM0-UNICORN and TaiESM1
- ***In summary, for tropical South America studies, we recommend the models: E3SM-1-0, EC-Earth3, EC-Earth3-AerChem, EC-Earth3-Veg, IPSL-CM6A-LR, MPI-ESM1-2-LR and TaiESM1,***

Mensagem:

- ***não devemos analisar somente os modelos que indicam extremos....***
- ***É preciso ponderar os modelos em função da capacidade de reproduzir o clima do sec. XX!!***



Aumento do conhecimento e entendimento sobre o sistema climático leva a diminuição da incerteza?

Consenso:

- a incerteza nos cenários climáticos do IPCC vem crescendo..... Porém os cenários são cada vez mais realísticos -> relevam a complexidade do sistema climático.

- Enquanto nosso conhecimento sobre certos fatores aumenta, aumenta também nosso entendimento sobre o efeito de fatores que não considerávamos ou que sequer reconhecíamos !!!

A compreensão dos processos naturais e seu modelamento ambiental e climático

- Progressos notáveis no entendimento de processos que regulam o clima de nosso planeta em todas as escalas temporais e espaciais (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021 ->
 - Sistema Climático Terrestre: condições climáticas e ambientais nas diversas escalas espaciais e temporais.
 - Modelagem Ambiental é essencial para estudar como os ecossistemas reagem às mudanças climáticas -> Biodiversidade e funcionamento dos ecossistemas

Ou seja,
temos ferramentas que contribuem para a formulação de
políticas públicas

O Capítulo 2 indica uma série de tópicos importantes que requerem pesquisas bem focadas

- Metas das pesquisas:
 - Aprimoramento dos modelos de previsão de tempo e clima: modelos numéricos baseados em princípios de conservação tendo em vista as deficiências observadas.
 - Extensivo uso de técnicas modernas de análise de grandes massas de dados gerados pelos modelos e pelo sistema de observações: redes complexas
 - Extensivo uso de técnicas baseadas em resultados de modelos e dados observados para a atribuição de causas
 - Chuva ainda é grande incerteza dos modelos modernos , principalmente no caso dos eventos extremos:
 - interação entre escalas -> tempo e clima interagem

Questão do viés da precipitação nos modelos climáticos - 1

- Chuva na região tropical é em geral predominantemente produzida por nuvens profundas com alta quantidade de gelo na parte superior ;
- LBA (Experimento de Larga Escala na Biosfera-Atmosfera na Amazônia) -> contribuição de chuva oriunda de nuvens quentes (topo abaixo de 5.000 m) na forma estratiforme e convectiva rasa (ou seja, nuvens que não formam gelo na parte superior).
 - Os modelos do IPCC e dos principais centros de previsão de tempo e clima (incluindo o ECMWF, tido como o centro de maior acerto nas previsões globais), subestimam a precipitação oriunda de nuvens quentes.
 - Progressos recentes: estudos observacionais e modelagem nos programas GoAmazon e CHUVA
 - **LBA, GoAmazon, CHUVA. -> estrutura das nuvens que se formam na Amazônia é altamente influenciada pelas emissões biogênicas (ex. Isoprenos , terpenos) oriundas da biota amazônica aumentam eficiência das nuvens rasas (mais quentes)**
 - Efeitos das emissões de gases e partículas por queimadas e pelas fontes urbanas
 - efeitos estes ainda não devidamente incorporados nos modelos climáticos (PCC) e de previsão de tempo (custo computacional).



Amazonia - Average aerosol forcing clear sky

Top: - 10 w/m^2



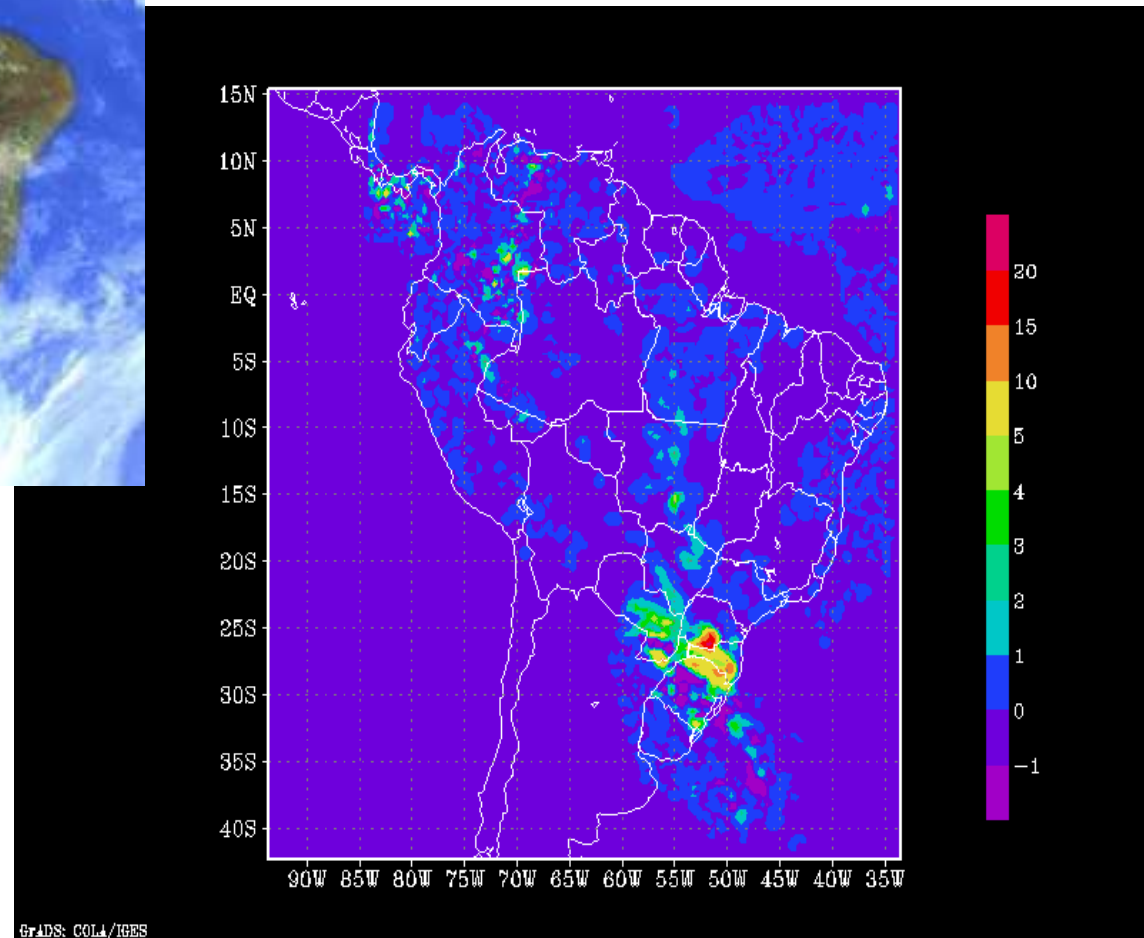
Surface: - 38 w/m^2

*Conditions: surface: forest vegetation AOT ($\tau=0.95$ at 500nm); 24 hour average
7 years (93-95, 99-02 dry season Aug-Oct)*

Reduction on the Convective precipitation (mm)

$$\Delta P = (P - P_{\text{aer}})$$

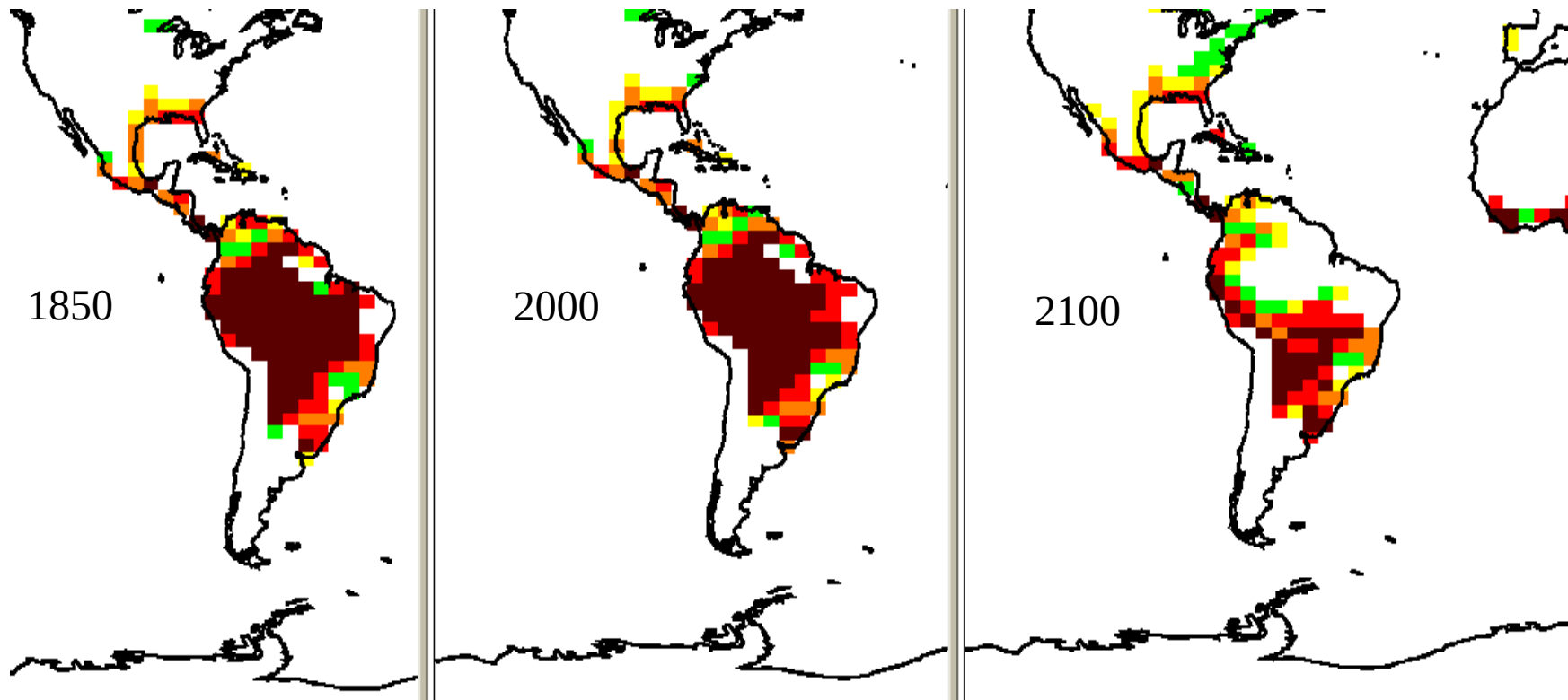
GOES-8 IR – 20020919 20:45Z



**Role of radiative forcing
of aerosols (modelling
results)**

Freitas et al. 2005

Exemplo de extremo nos modelos do IPCC: Haddley Center



Incerteza quanto ao retrocesso da floresta ainda é polêmico:

Parte do problema reside no viés negativo da chuva na Amazônia, mesmo no CMPI6!!

Retrocesso da floresta amazônica por mudança climática

Cox PM, Betts RA, Collins M, Harris PP, Huntingford C, Jones C. **2004**

Questão do viés da precipitação nos modelos climáticos -2

- Viés dos modelos usados no IPCC com relação ao posicionamento da Zona de Convergência Intertropical no Atlântico:
 - modelos a colocam mais ao sul da posição observada.
 - -> problemas com a reprodução das circulações oceânicas na região equatorial do Atlântico (aparece também nas simulações paleoclimáticas)
- Incertezas quanto ao dipolo tipicamente observado na precipitação produzida nos modelos numéricos sobre os impactos das mudanças da cobertura vegetal na região tropical da América do Sul (diminuição da chuva na Amazônia com o desmatamento e aumento em regiões vizinhas) → muita dispersão no posicionamento das regiões com aumento!!
 - Interação vegetação tropical ↔. Clima
 - Efeito dos Andes: requer melhorias no tratamento numérico da topografia íngreme (afeta a parte tropical e subtropical do Brasil)

Amazonian Deforestation and Regional Climate Change

CARLOS A. NOBRE,* PIERS J. SELLERS AND JAGADISH SHUKLA

Center for Ocean-Land-Atmosphere Interactions-COLA, University of Maryland, College Park, Maryland

(Manuscript received 7 December 1990, in final form 29 April 1991)

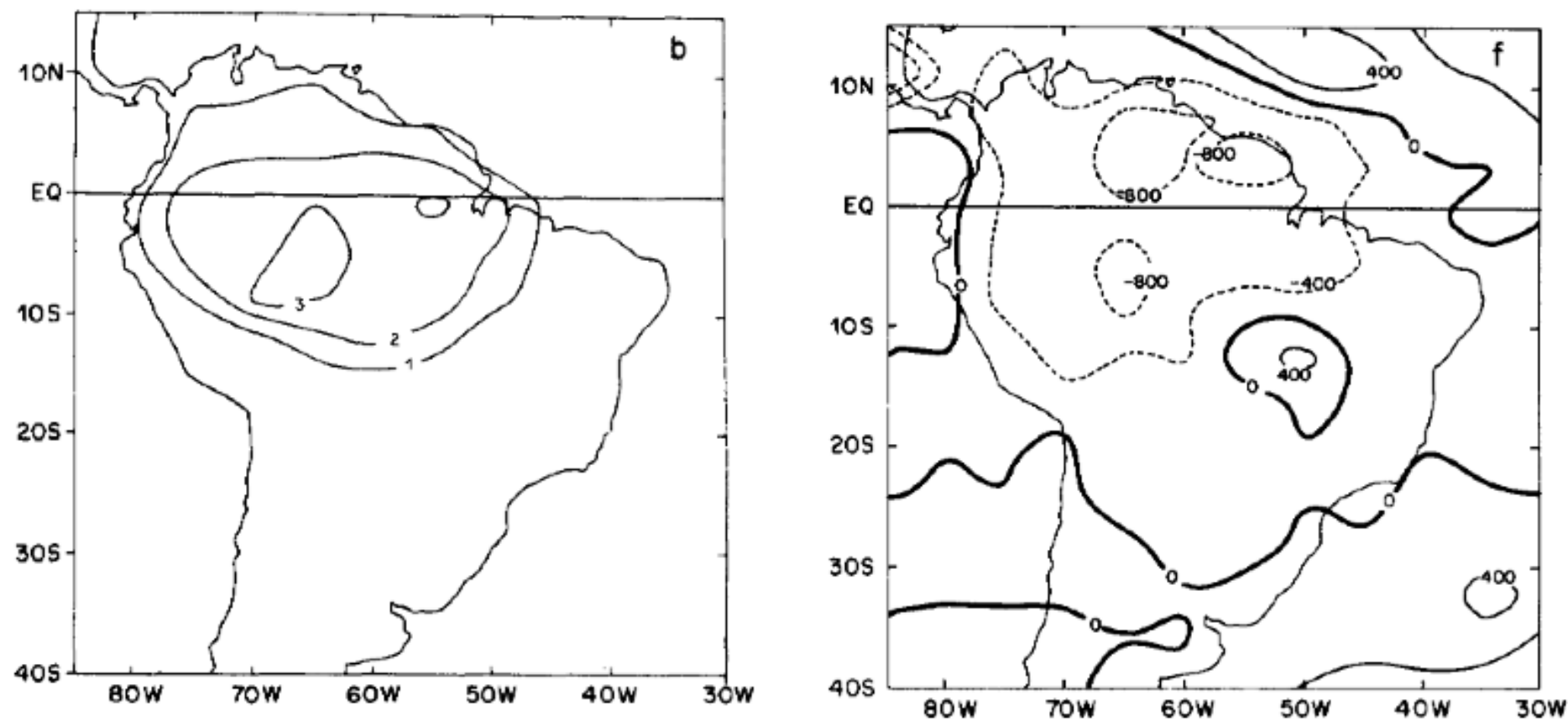
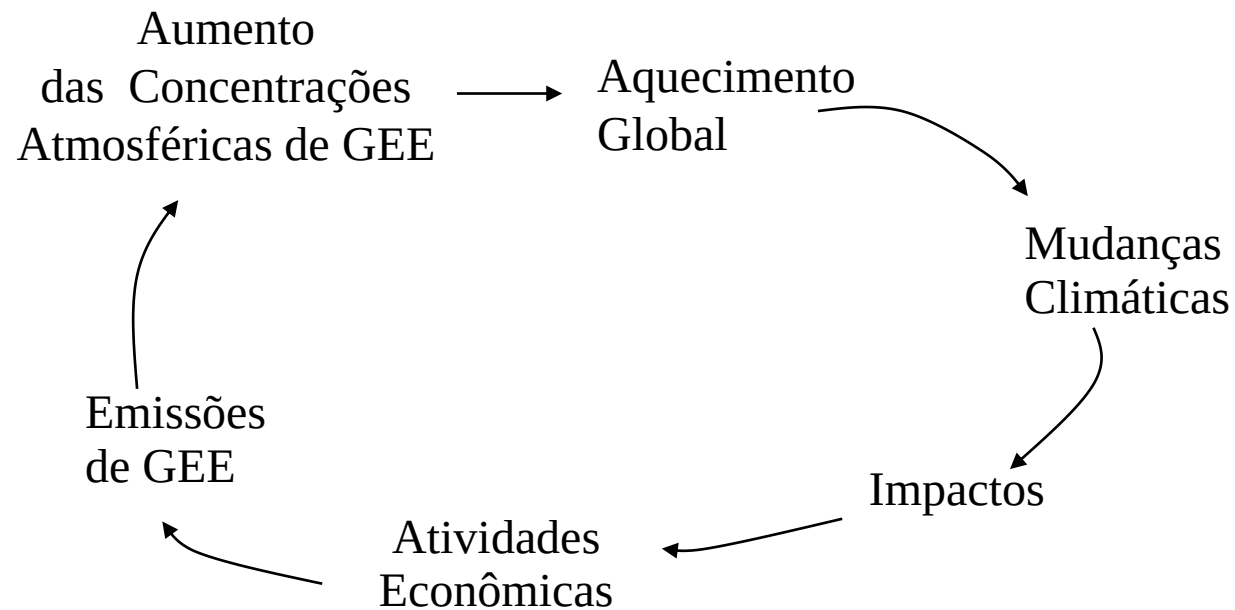


FIG. 10. Differences between 12-month means (January to December) of deforestation and control cases (deforested - control) for South America: (a) deep soil temperature ($^{\circ}\text{C}$), (b) surface temperature ($^{\circ}\text{C}$), (c) 850 hPa temperature ($^{\circ}\text{C}$), (d) 850 hPa specific humidity (g km^{-1}), (e) 850 hPa relative humidity (percent), (f) total precipitation (mm), and (g) sea level pressure (hPa).

- A modelagem do Sistema Terrestre envolve a dinâmica entre sistemas naturais e humanos, considerando questões ambientais e sociais das mudanças climáticas globais:
- A questão da atribuição dos eventos climáticos extremos e à mudança do clima também é uma área de pesquisa que pode auxiliar a sociedade a reduzir os impactos da mudança climática;
- impactos econômicos, sustentabilidade, vulnerabilidade e riscos,



Papel do Cientista nas Políticas Públicas

1. Cientista Puro – afastado dos formuladores de políticas públicas -

2. Cientista Defensor de Causas – focado numa agenda (política, econômica, religiosa...) em particular.

3. Cientista Árbitro – focado em questões que podem ser facilmente resolvidas pela ciência

4. O cientista que atua como o “Corretor Honesto” de alternativas políticas - este lida diretamente com as incertezas científicas e interage com o formulador de políticas públicas

Obrigado!!!

pedro.dias@iag.usp.br