



FÍSICA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

RENATO RAMOS DA SILVA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC
Departamento de Física

6. Modelos Climáticos;

6.1 Princípios físicos dos modelos climáticos

6.2 Modelos climáticos globais

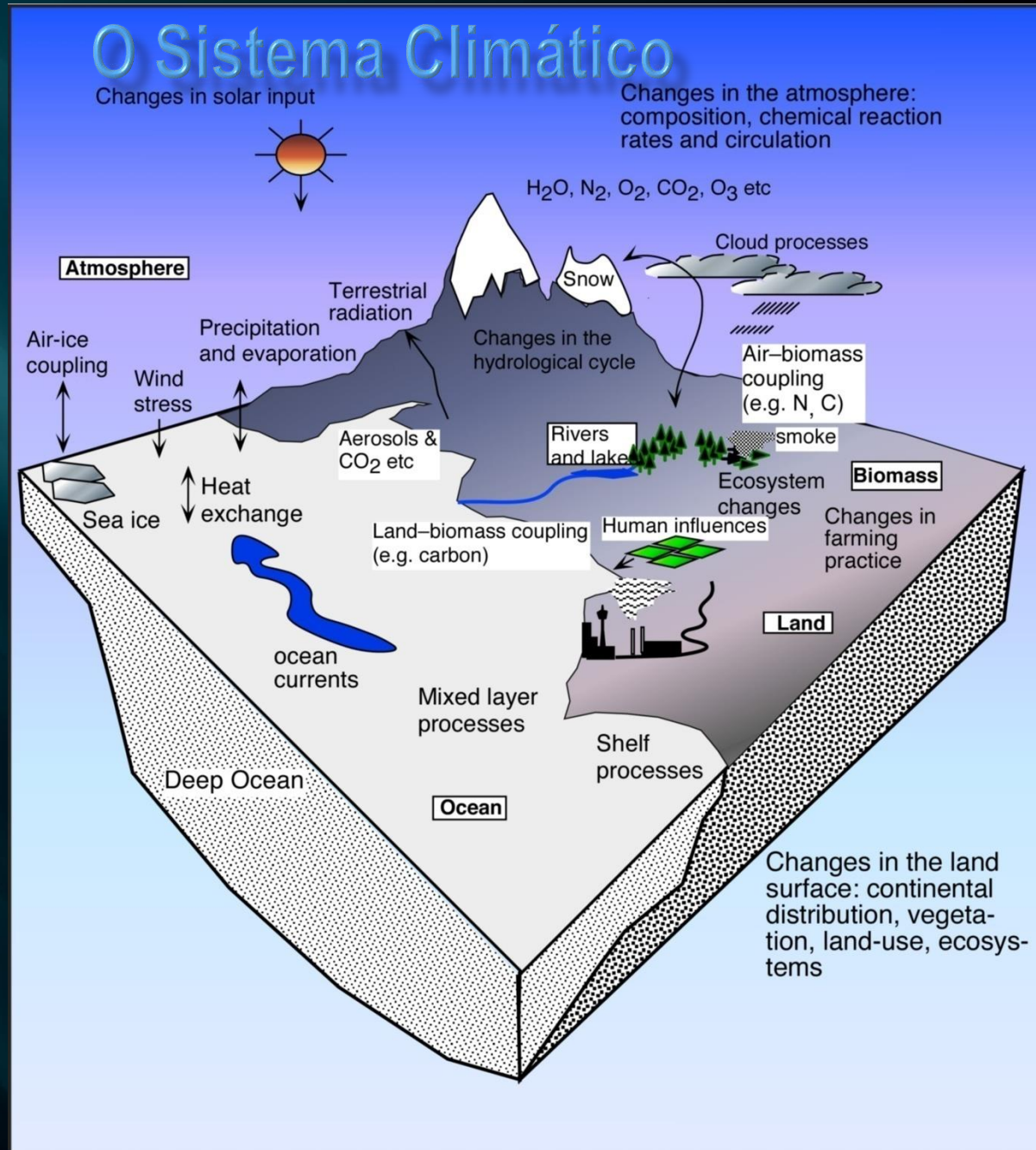
6.3 Modelos climáticos regionais.

6.4 Cenários climáticos.

Introdução

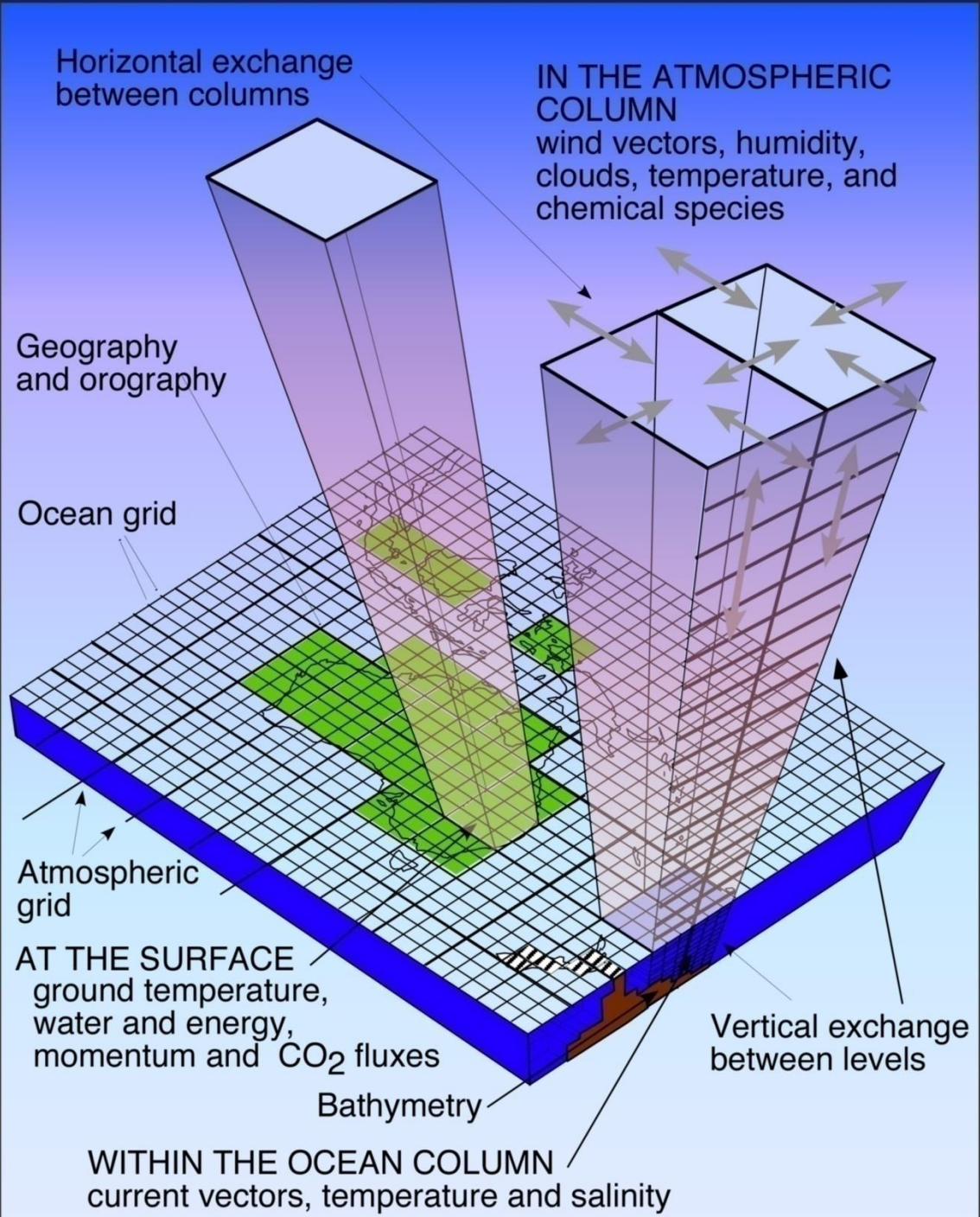
O Sistema Climático

compõem-se da atmosfera (nuvens, gases), da hidrosfera (rios, lagos, oceanos), da criosfera (gelo marítimo, calotas polares), das superfícies (deserto, floresta, savana, água), e da biosfera (ciclo de carbono, dinâmica da vegetação), e da interação entre estes sub-sistemas



Características básicas de um modelo

3-D, em que a atmosfera e os oceanos são divididos em células e colunas. A atmosfera e o oceano são modelados como um grupo de colunas interativas distribuídas pela superfície da Terra.



Modelagem dos Processos Meteorológicos - Dinâmica.

Equação de
Momentum

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -u \frac{\partial u}{\partial x} - v \frac{\partial u}{\partial y} - w \frac{\partial u}{\partial z} + fv - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} - F_{au}$$

Equação da
Termodinâmica

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -u \frac{\partial T}{\partial x} - v \frac{\partial T}{\partial y} - w \frac{\partial T}{\partial z} - \frac{p}{c_v} \frac{D\left(\frac{1}{\rho}\right)}{Dt} + \frac{\dot{Q}}{c_v}$$

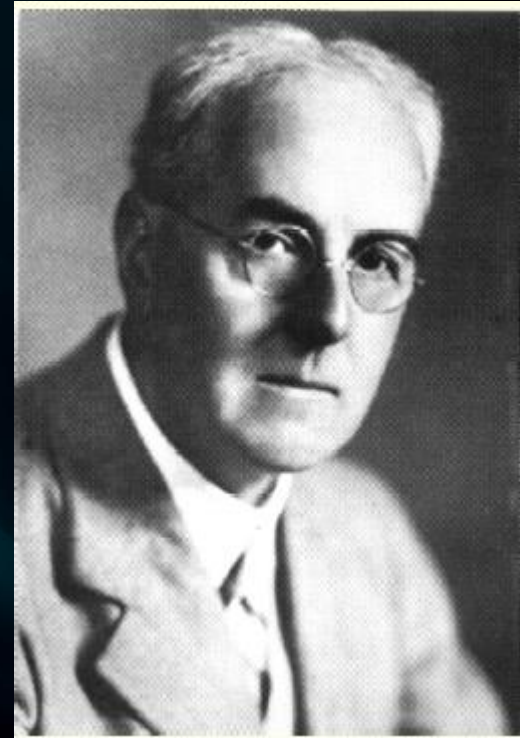
Equação de
Conservação de
Vapor D'água

$$d\bar{q}/dt = S_q.$$

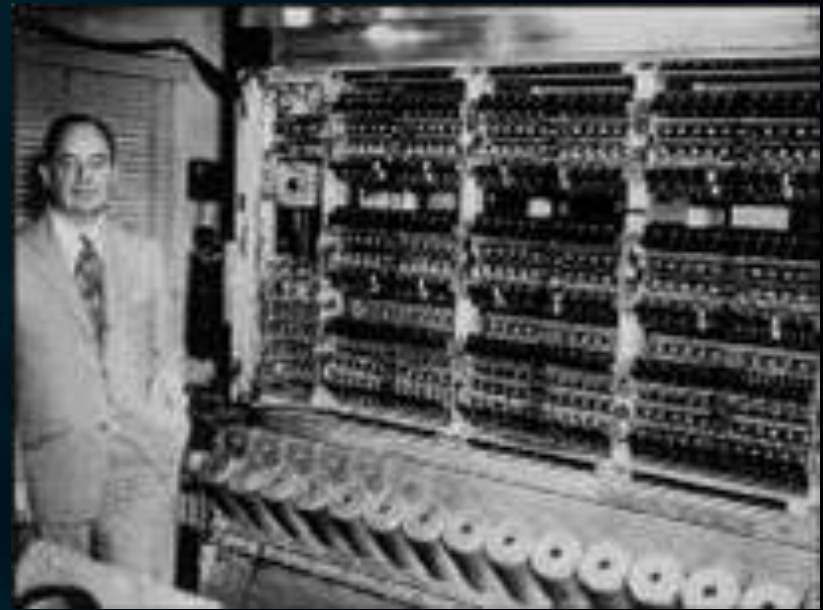
Equação de Estado

$$p = \rho RT$$

- ✧ Em 1922, o matemático britânico Lewis Fry **Richardson**, aplicou as equações propostas por Bjerkness na a previsão numérica para uma região da Europa. Estes cálculos foram feitos á mão nos intervalos de seu trabalho como motorista de ambulância durante a Primeira Guerra Mundial.



- ✧ Em 1948 John **Von Neumann** desenvolveu algoritmos para o primeiro computador chamado de **ENIAC**. Meteorologistas teóricos foram reunidos na Universidade de Princeton (Nova Jersey-EUA) para fazer uso do computador para testes em previsão numérica de tempo. Este grupo foi liderado por Jule **Charney**, que na época havia feito muitos progressos nas técnicas matemáticas aplicadas ao problema da previsão numérica de tempo. Este grupo construiu e rodou um modelo simples demonstrando a possibilidade da previsão numérica de tempo.



- ✧ A primeira previsão numérica de tempo de 24 horas foi obtida em Abril de 1950. Devido as varias paradas do computador, os cálculos demoraram um pouco mais do que um dia para serem obtidos. No entanto, foi demonstrado que a previsão numérica de tempo era possível.

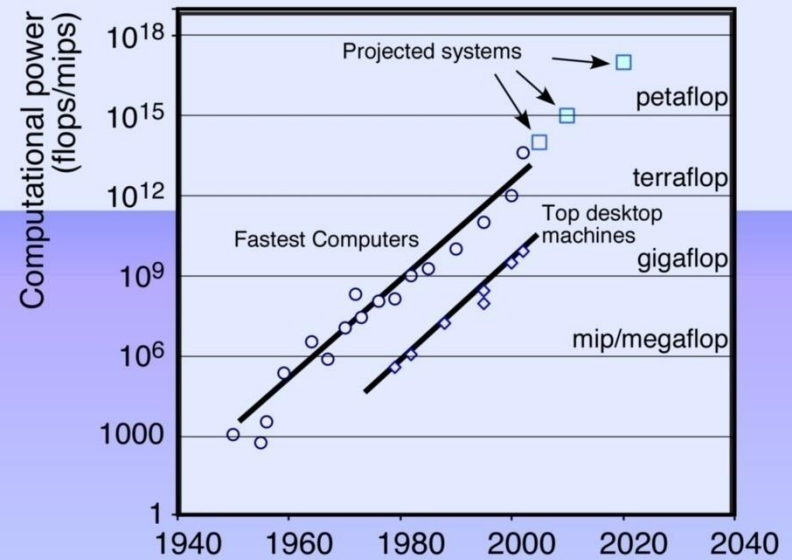
Introdução

Os modelos climáticos são considerados os mais eficientes meios na tentativa de responder questões associadas a possíveis mudanças climáticas.

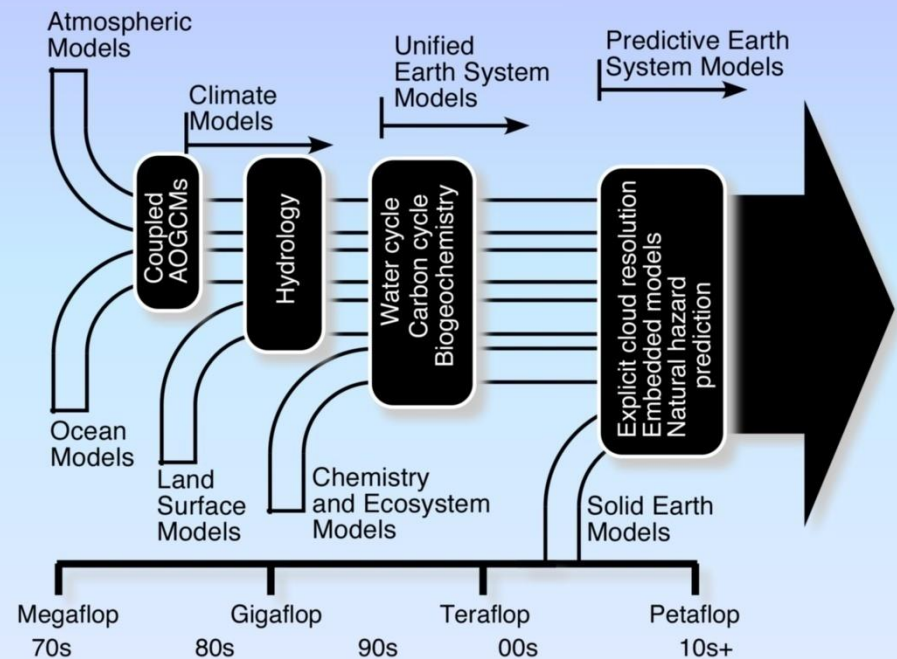
O poder computacional tem aumentado rapidamente nos últimos 50 anos.

Com estes avanços os modelos tem sido desenvolvidos com melhorias na resolução espacial, na complexidade, e no tempo de simulação e no numero de testes.

(a)



(b)



Novo supercomputador CRAY do CPTEC-INPE.

O supercomputador apresenta desempenho de 244 teraflops (trilhões de operações de ponto flutuante) por segundo, executado por 1.272 nós, cada um deles com velocidade máxima de 192 gigaflops por segundo.



Centros/modelos:

Brasil - CPTEC-INPE

Alemanha - ECHAM

Inglaterra - Hadley Center

EUA - NCAR-CCSM3/

NOAA-GFDL/ NASA-GISS

Canadá – CGCM3

Austrália – CSIRO

Itália - INGV

Japão – JAMSTEC

França – IPSL/CNRM

Noruega - BCCR

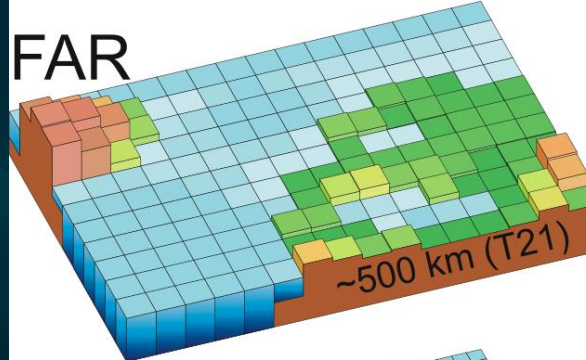
Rússia – INM

China - BCC

<https://top500.org/>

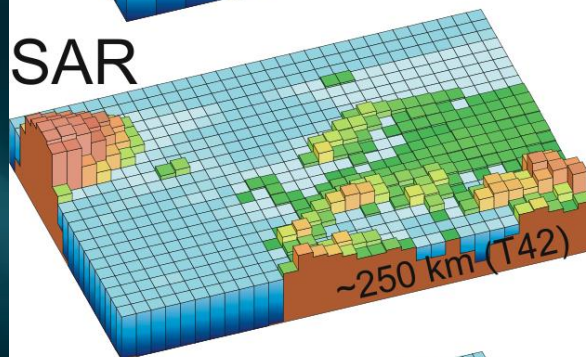
A melhoria do poder computacional permitiu melhorias importantes na resolução espacial dos modelos climáticos.

FAR



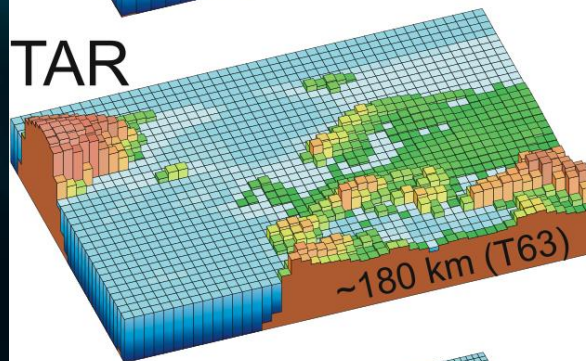
1990

SAR



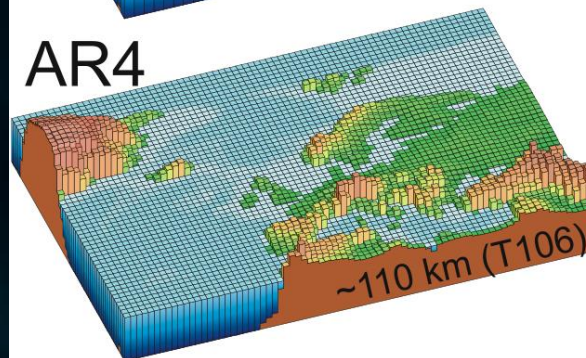
1996

TAR



2001

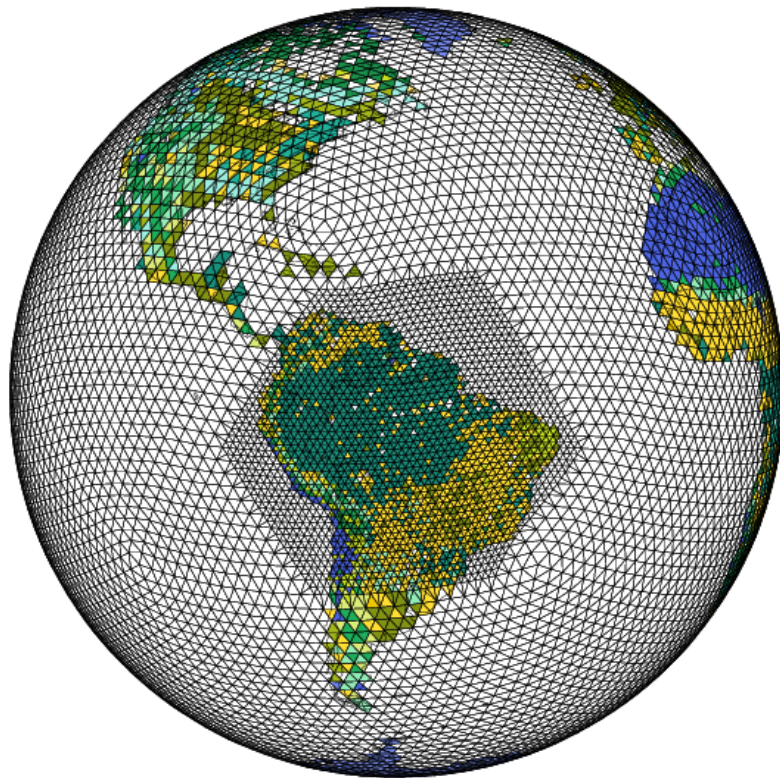
AR4



2007

.

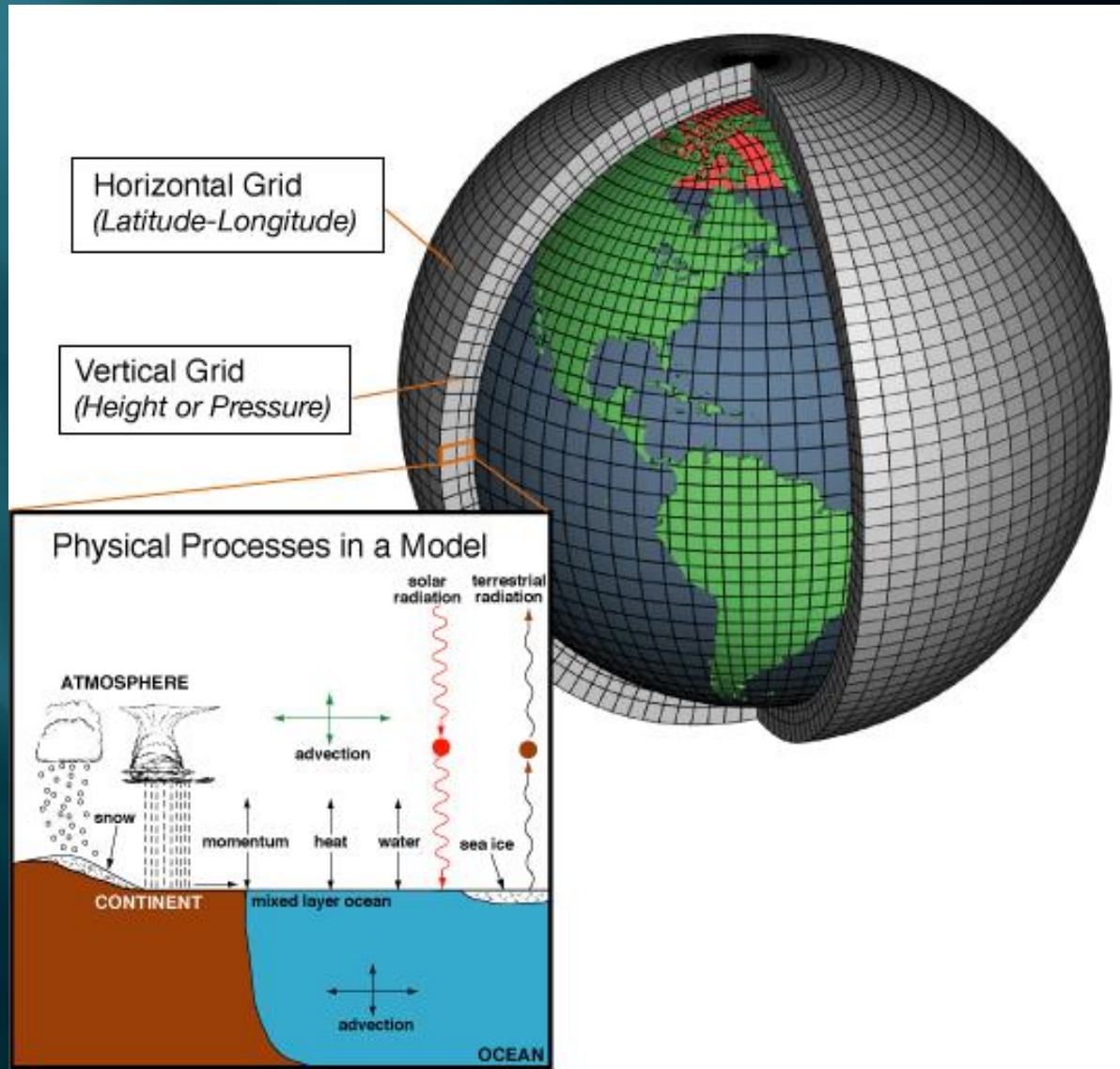
Modelo OLAM – (*Ocean Land Atmosphere Model*)



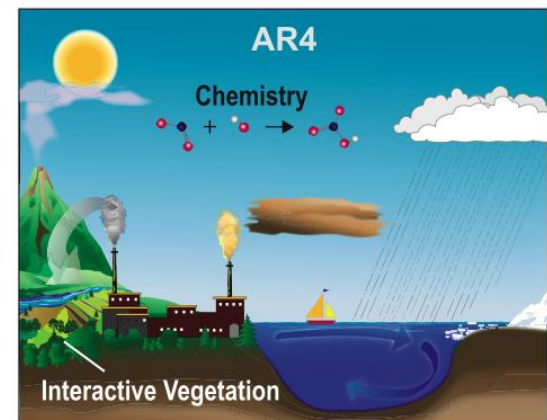
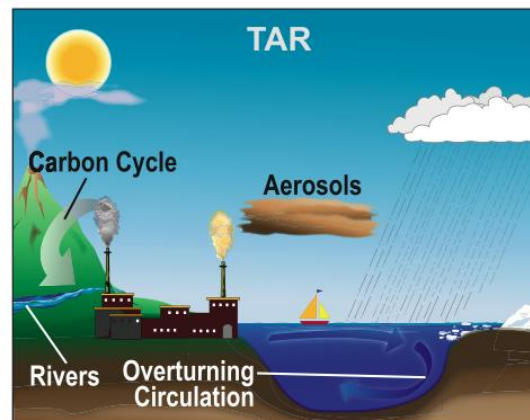
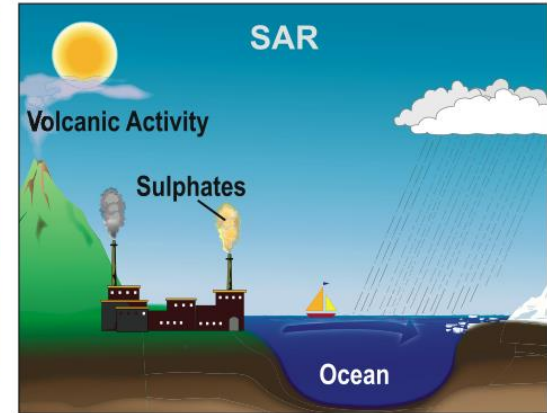
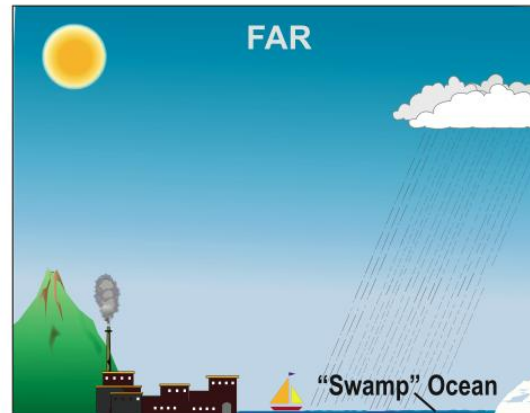
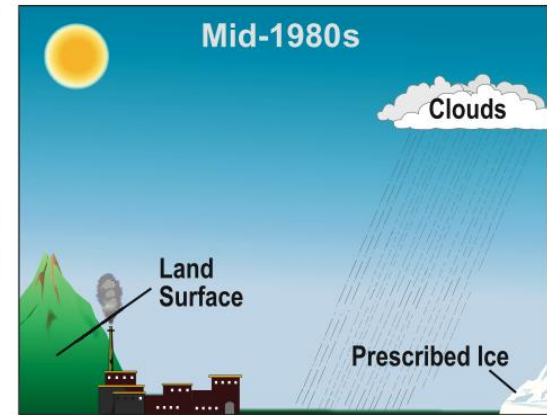
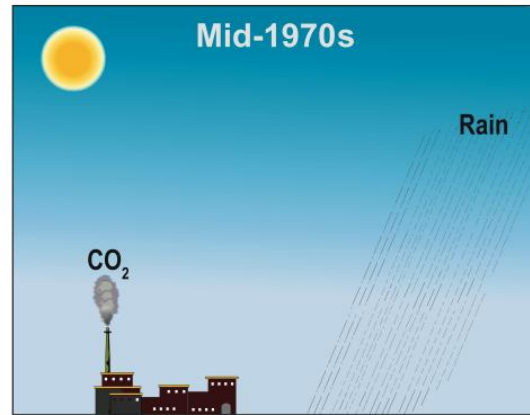
Tipos de vegetação e configuração de grade com melhor refinamento na região da Amazônia

O novo modelo OLAM possui a capacidade de representar simultaneamente os vários processos através do refinamento da grade para uma região de interesse.

Modelo climático – Representação de grade e dos processos físicos

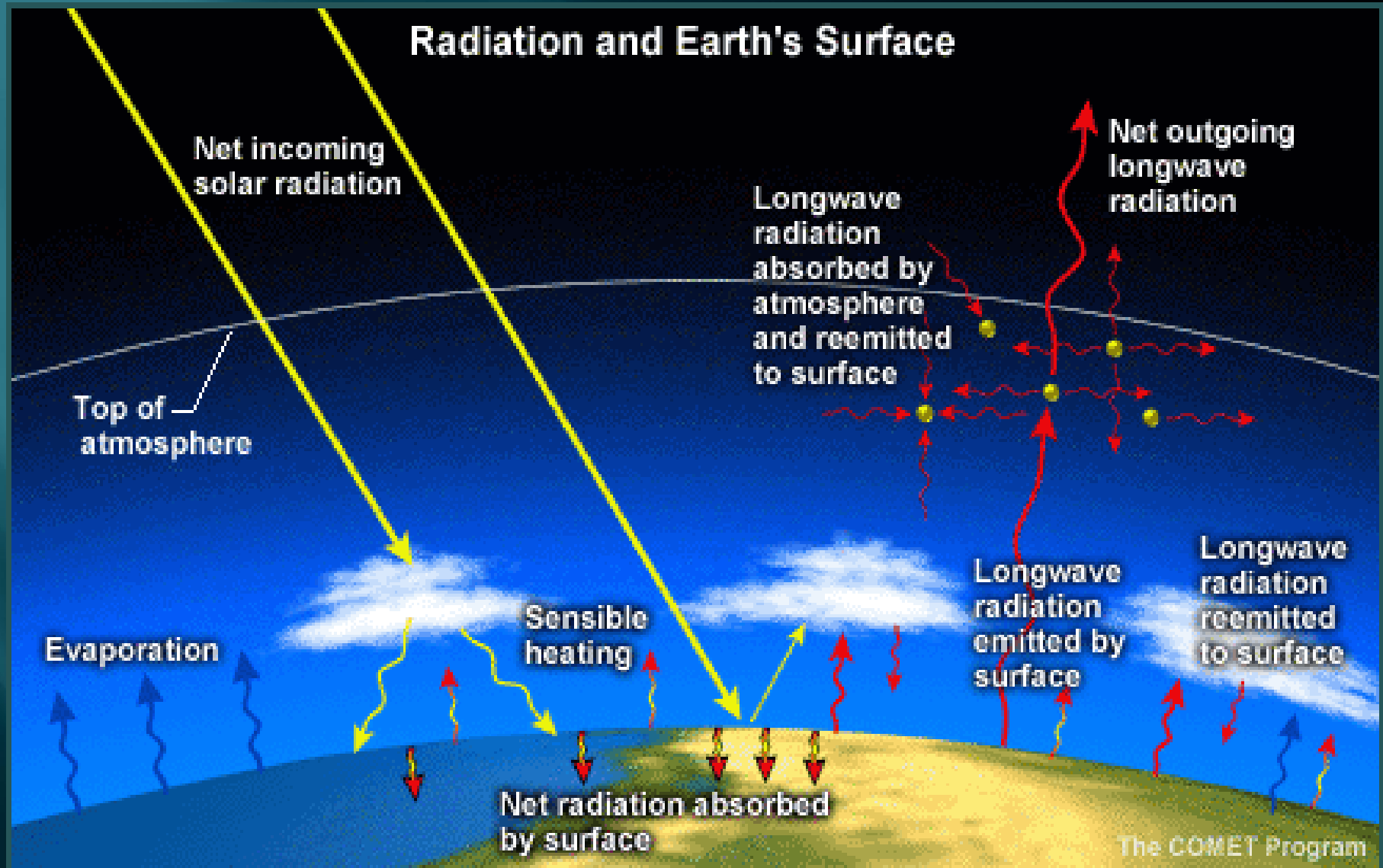


The World in Global Climate Models

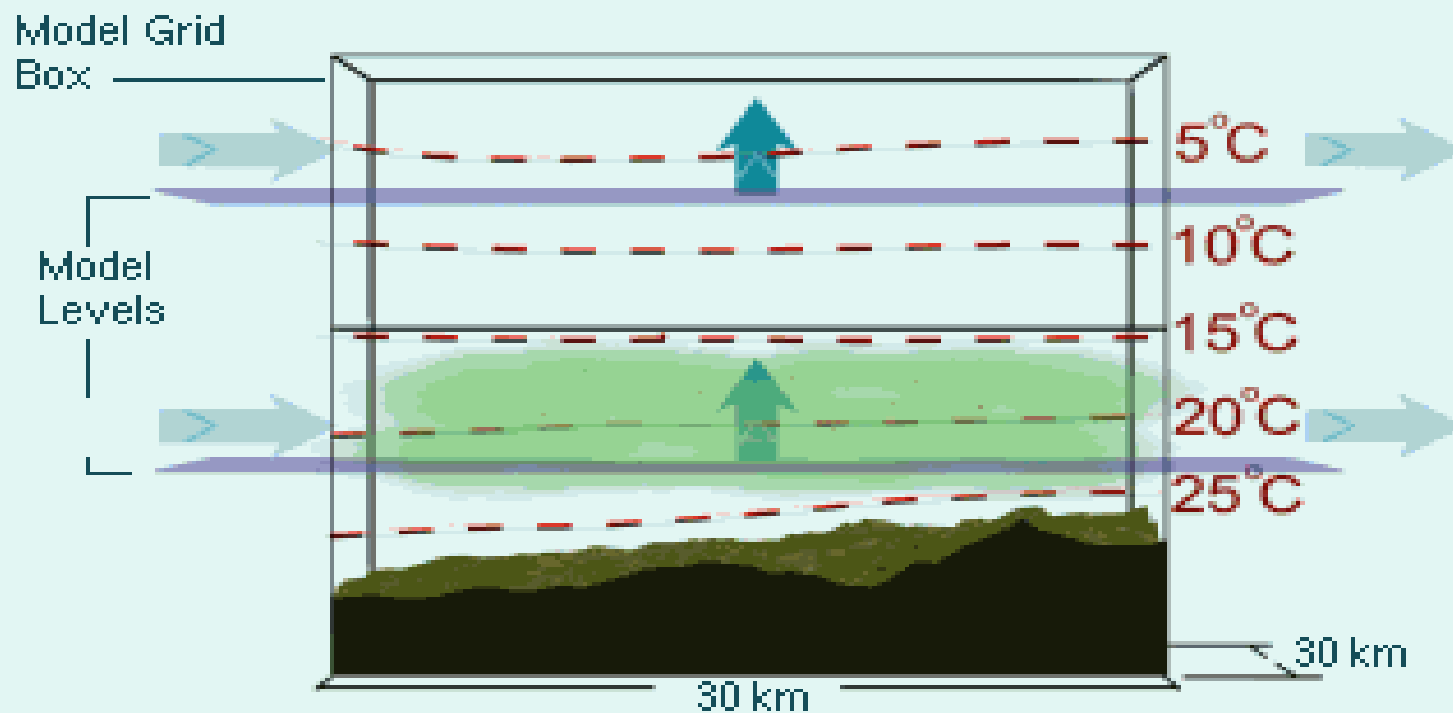


Grandes progressos tem ocorrido nas últimas décadas na representação dos processos físicos nos modelos climáticos.

Transferência de Energia na Atmosfera

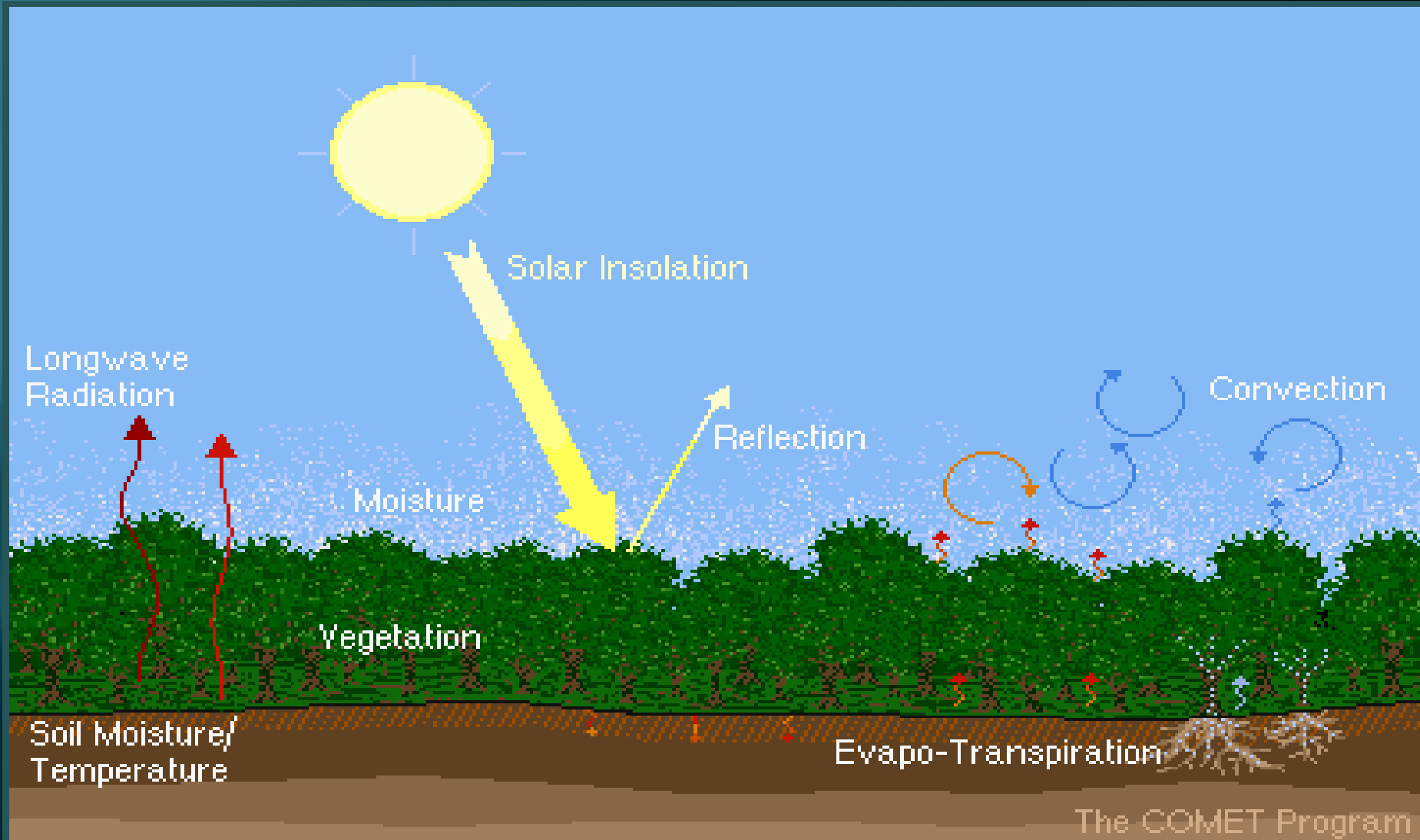


Parametrização para nuvens Cumulus.



Dynamical forcing and/or orographic lifting acting on a saturated grid box may initiate the process

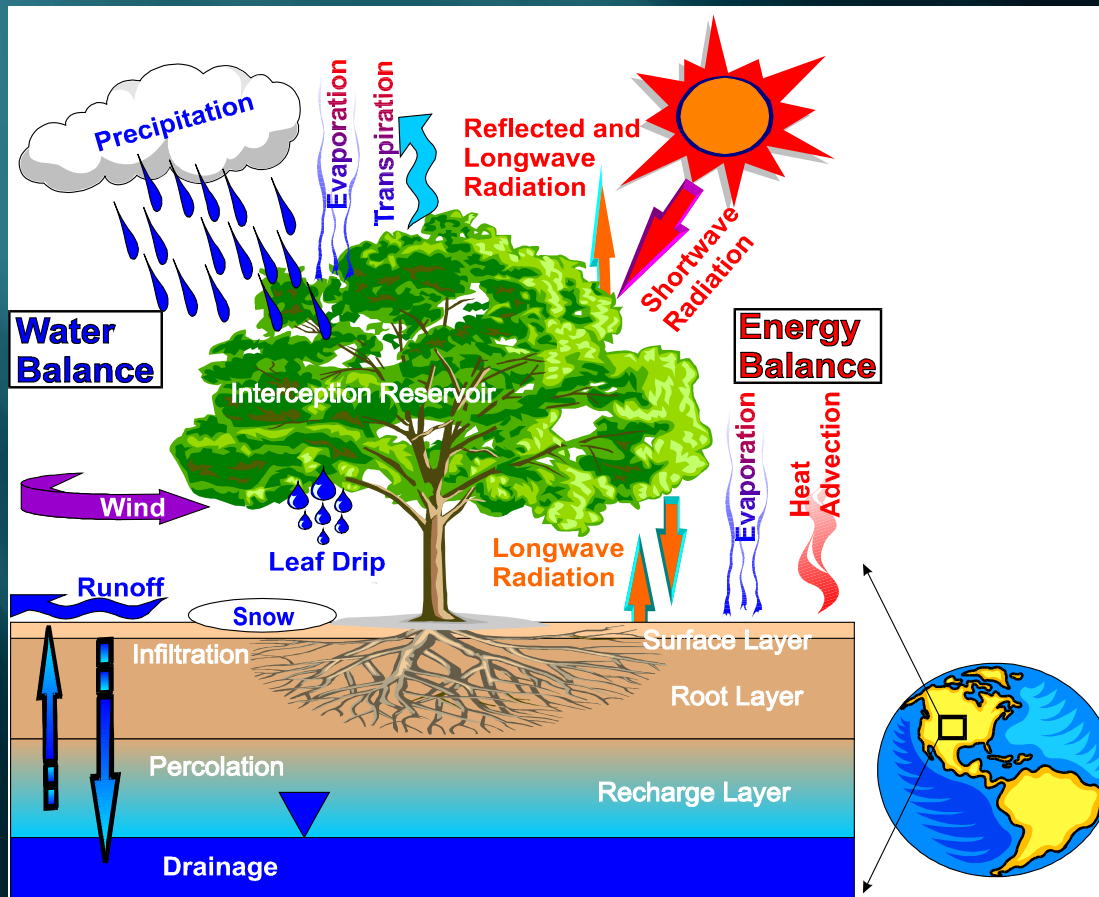
Condições de fronteira inferior: “interface solo-vegetação-atmosfera”



Vegetação.

Soil-Vegetation-Atmosphere Transfer Scheme (SVATS)

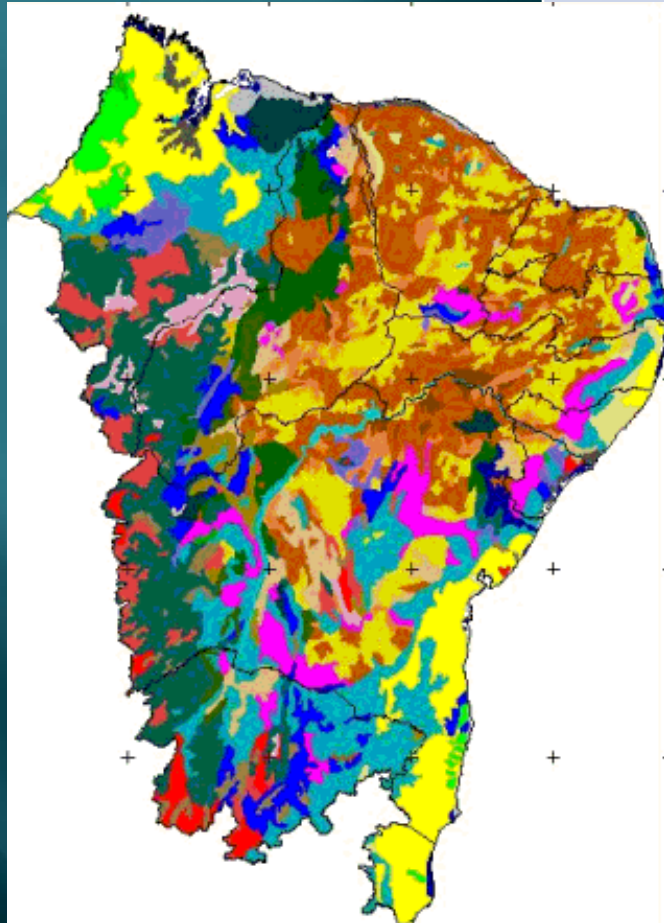
Entrada - Saída = Mudanças no Estoque



O Modelo de Solo-Vegetação calcula a troca de energia, momento e massa entre a superfície e a atmosfera.

Os modelos mais avançados estimam processos tais como água de solo, carbono e vegetação dinâmica

Alguns Parâmetros de Vegetação usados no Modelo

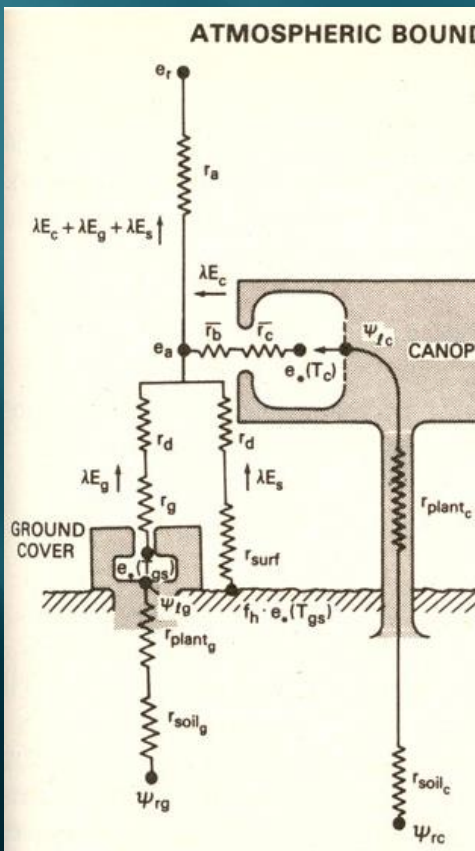


	Vegetação	Albedo	IAF	Fração	Raiz
	Oceano	14	0	00	0.0
	Lagos	14	0	00	0.0
	Gelo	40	0	00	0.0
	Arvore 1	10	6	80	1.5
	Arvore 2	10	6	80	1.5
	Arvore 3	20	6	80	1.5
	Arvore 4	15	6	90	2.0
	Gramma Curta	26	2	80	1.0
	Gramma Alta	16	6	80	1.0
	Deserto	30	0	00	1.0
	Agrícola	20	6	85	2.0
	Urbana	15	5	74	0.8

Vários tipos de solo são adotados cada um possuindo características próprias como textura, condutividade térmica e hidráulica, porosidade, etc.

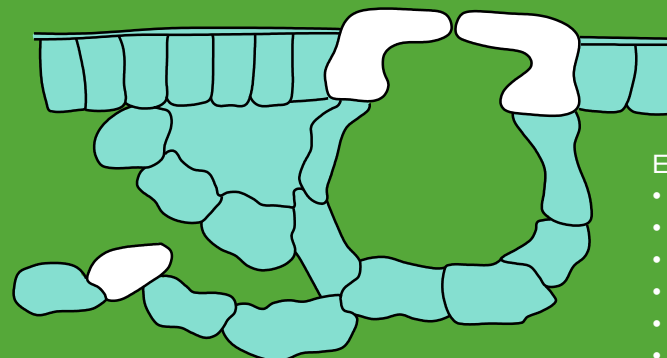
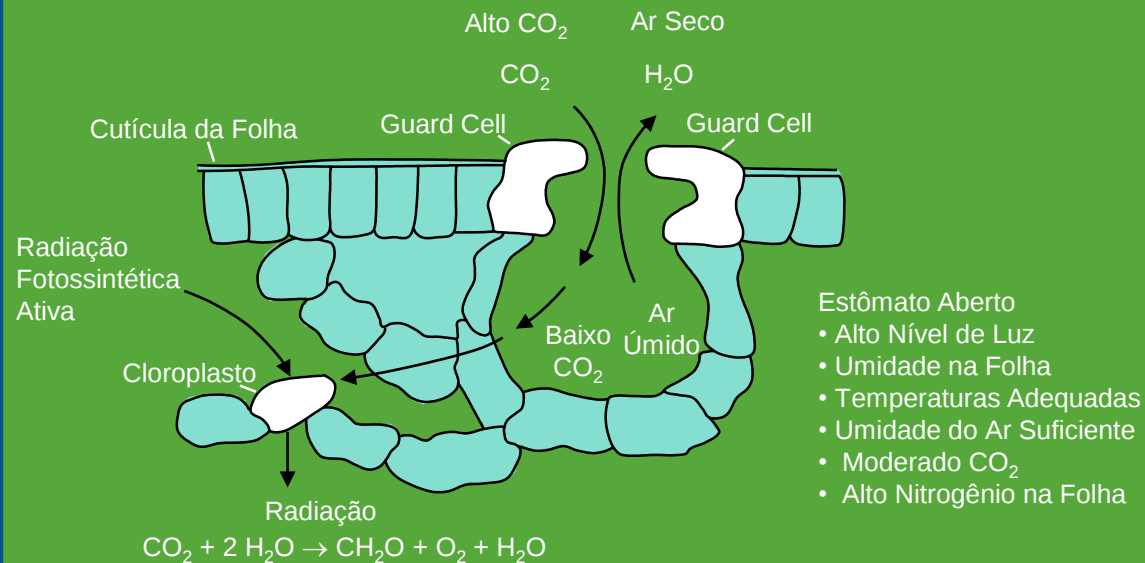
Vegetação e Ciclo Hidrológico

Simple Biosphere Model (SiB)



Sellers et al. (1986) J Atmos Sci 43:505-531

Troca de Gases pelo Estômato

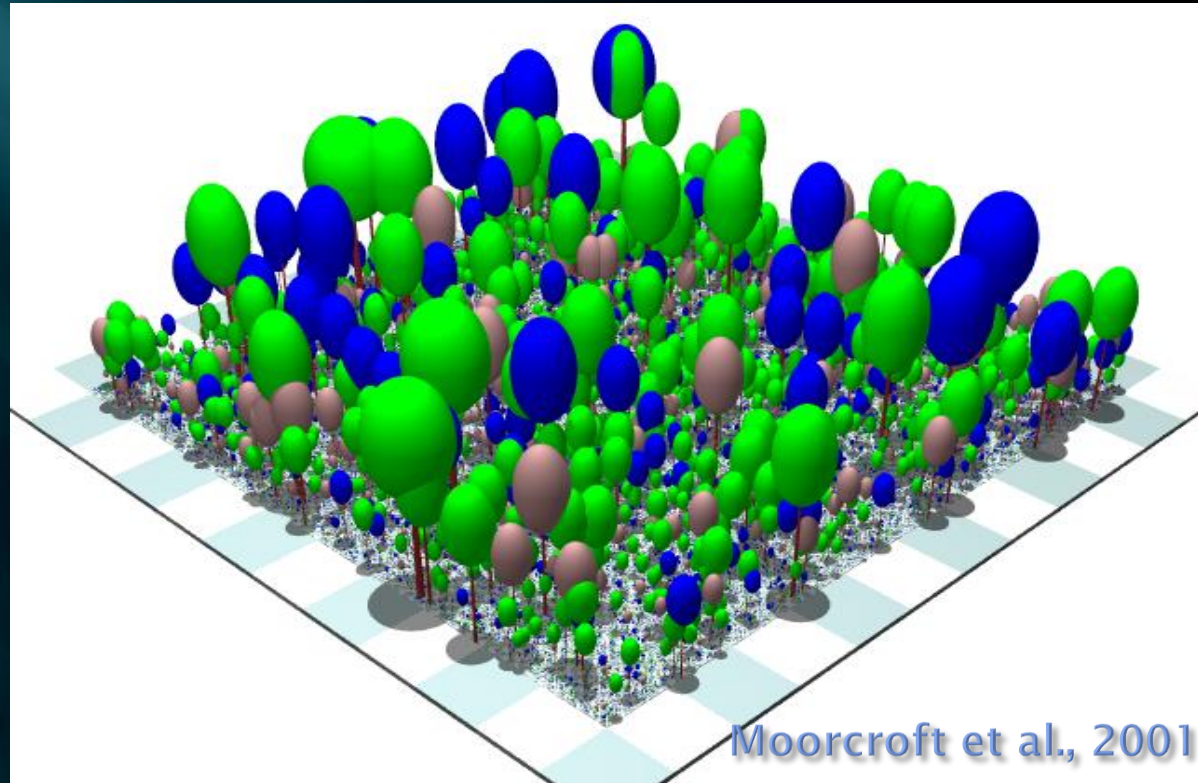


Estômato Fechado (Pequena Abertura):

- Pouca Luz
- Folha Seca
- Temperatura muito fria ou quente
- Ar muito seco
- Alta Concentração de CO_2
- Baixos Níveis de Nitrogênio

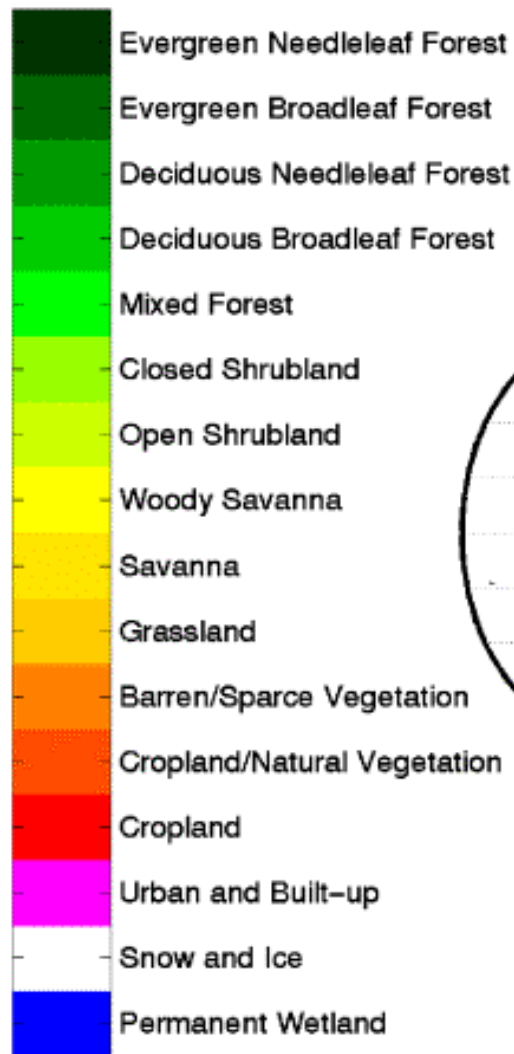
Modelo de vegetação dinâmica que interage com o modelo climático (*ED = Ecosystem Demography Model*)

Este modelo inclui várias características estatísticas da dinâmica da população de plantas como crescimento, envelhecimento, e mortalidade.

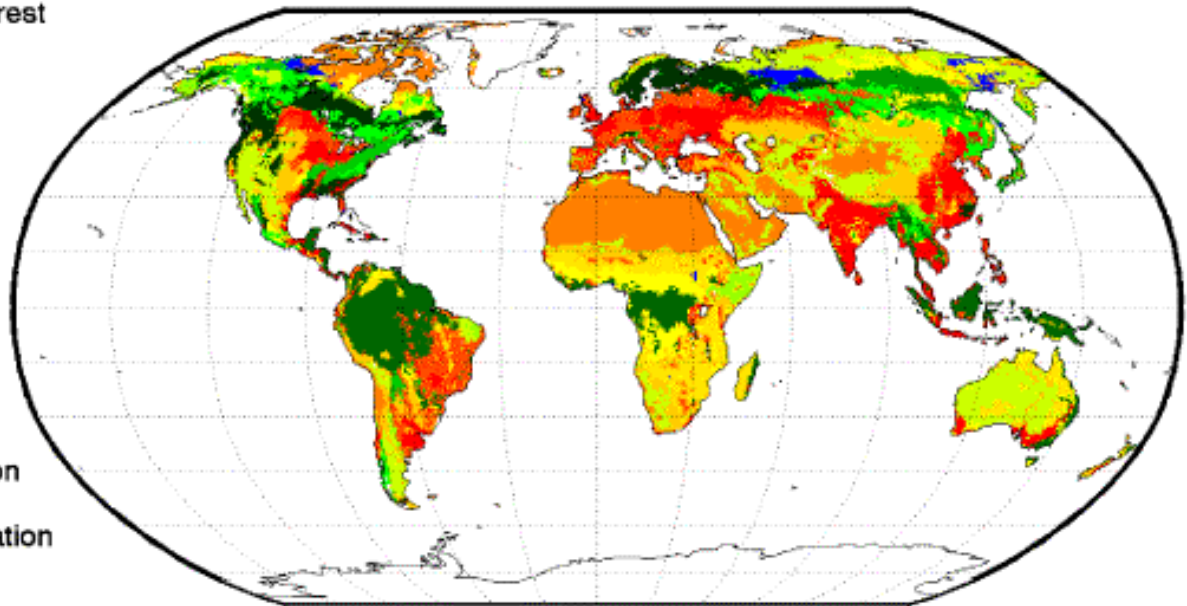


Moorcroft et al., 2001

Biome Representation Of Land Cover



IGBP land cover types

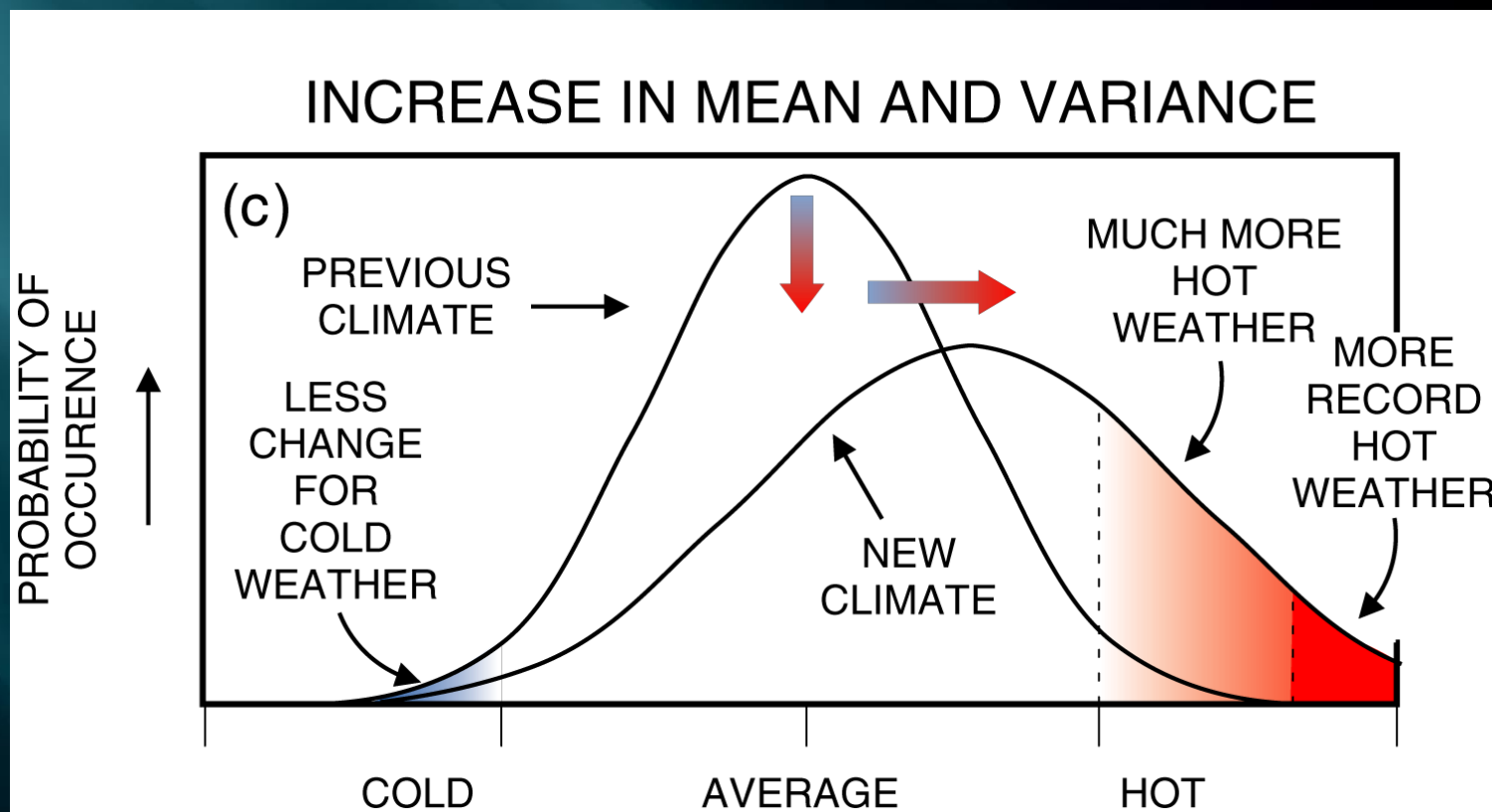


Biomes determine:

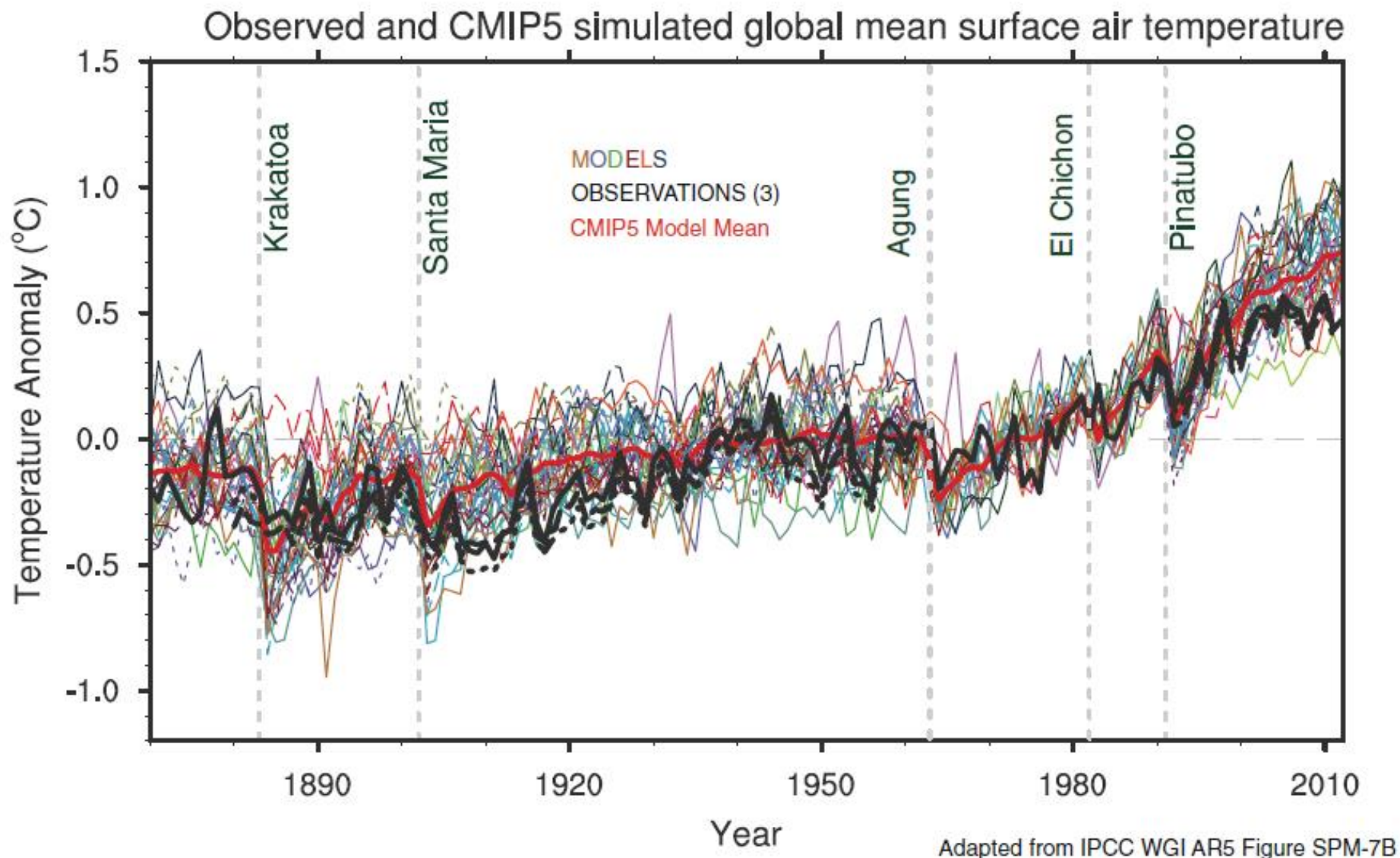
- Plant physiology (e.g., V_{max})
- Leaf and stem optical properties
- Roughness length
- Leaf and stem area index

Como podemos prever o clima (100 anos)
Se não conseguimos prever o tempo (10 dias)?

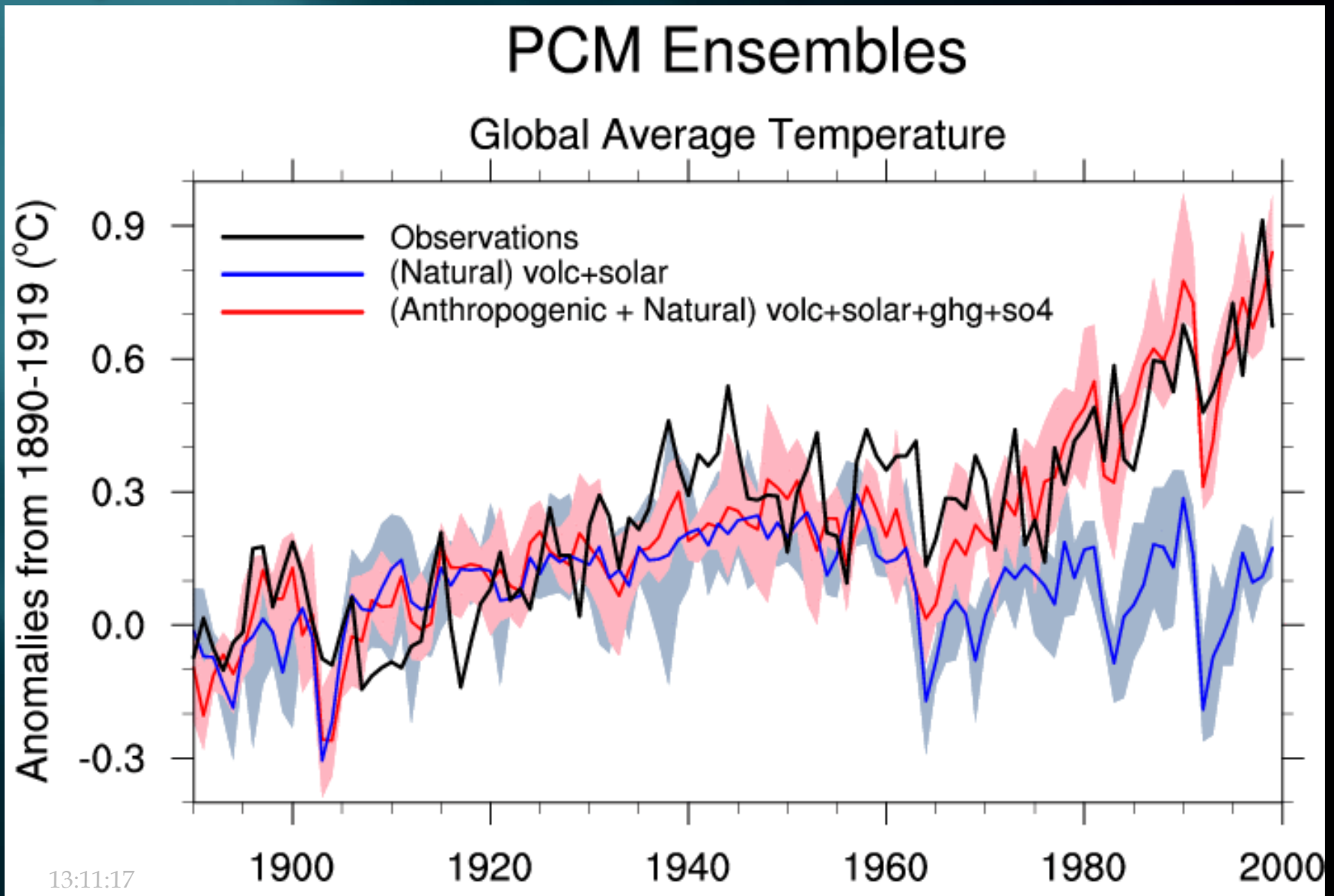
Estatística!



Coupled Model Intercomparison Project – Phase 5 (Modelos x Observações para temperature media global)

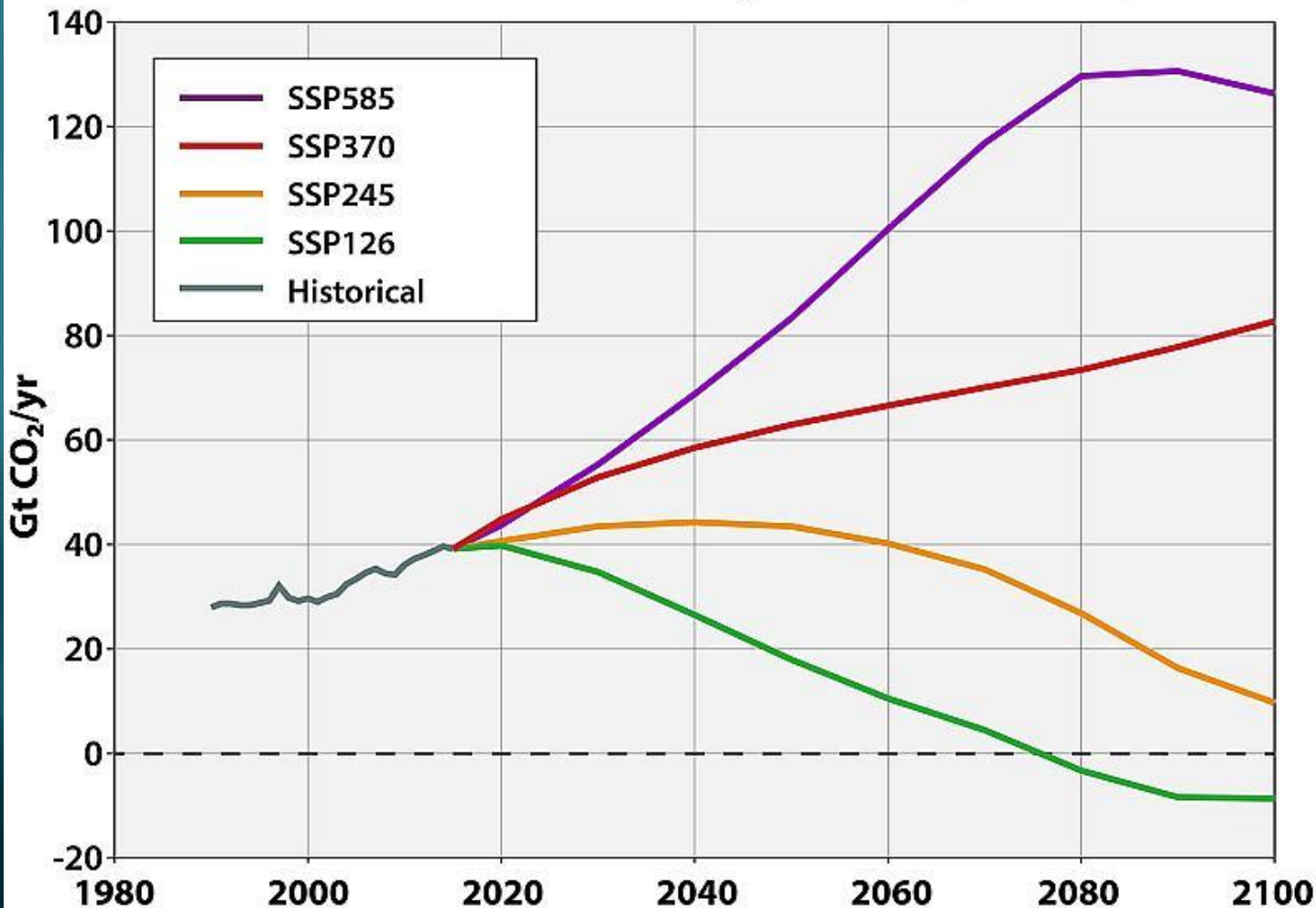


Aplicações dos Modelos Climáticos Globais (Earth System Models): Atribuição dos gases antropogênicos.



CMIP6 – Cenários de emissão de CO₂

CMIP6 Scenarios - Global CO₂ Emissions [Gt / Year]



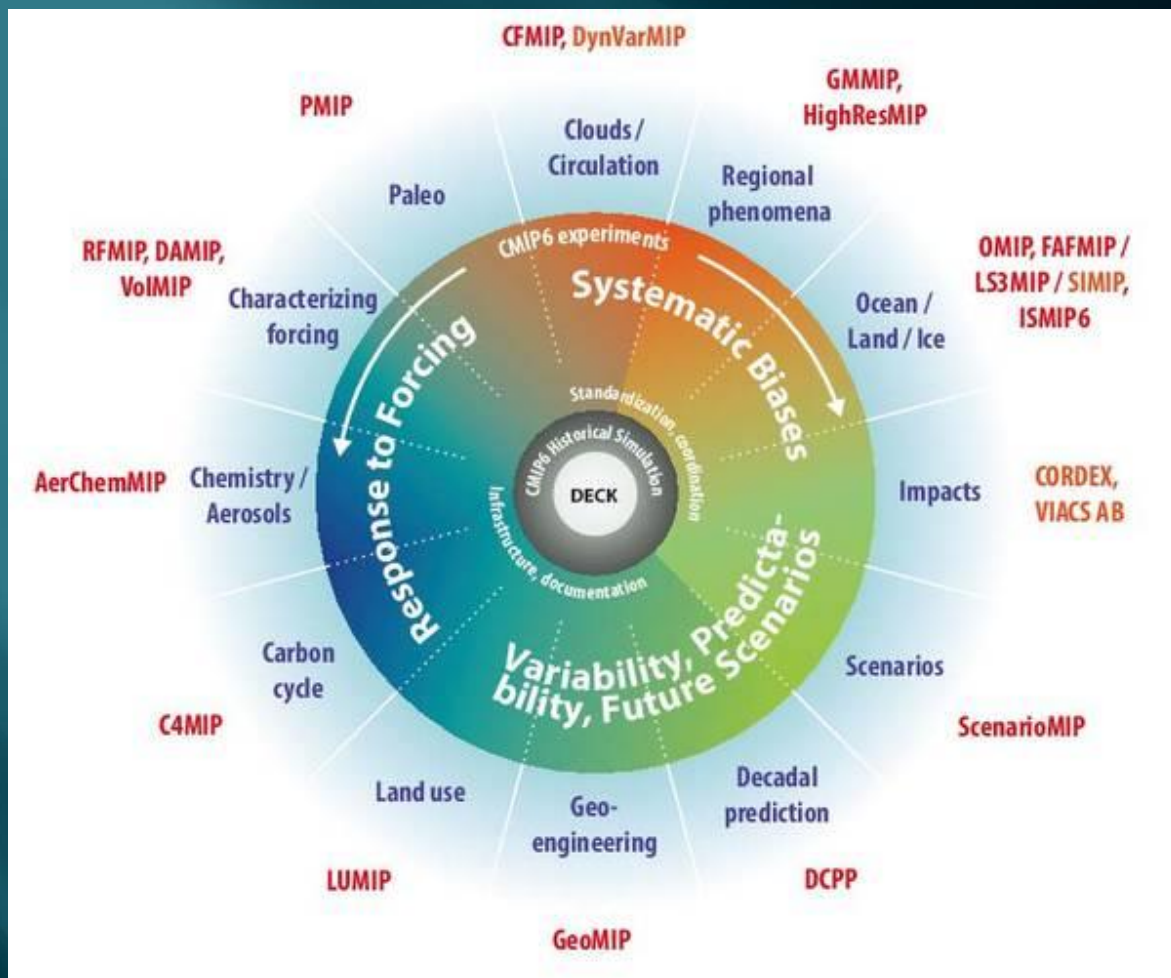
Data Source: SSP Public Database

© DKRZ

SSPs = maneiras diferentes em que o mundo pode evoluir na ausência de uma política climática e como diferentes níveis de mitigação das mudanças climáticas podem ser alcançados quando as metas de mitigação dos RCPs são combinadas com os SSPs.

RCPs = forçantes radiativas em 2100 (2,6, 4,5, 6,0 e 8,5 watts/m²)

Coupled Model Intercomparison Project – Phase 6



CMIP6
Objetivo: Melhorar o entendimento das mudanças climáticas do passado, do presente e do futuro em decorrência de variabilidades naturais, e forçadas através de intercomparação entre modelos (video)

Introdução - <https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip/wgcm-cmip6>

Intercomparação de Modelos - <https://www.wcrp-climate.org/modelling-wgcm-mip-catalogue/modelling-wgcm-cmip6-endorsed-mips>

Status Barcelona - 2019-

https://cmip6workshop19.sciencesconf.org/data/CMIP6_CMIP6AnalysisWorkshop_Barcelona_190325_FINAL.pdf

Principais Modelos Acoplados (usados IPCC)

ACCESS1.0 / 1.3

(Austrália)

BCC (China)

BNU (China)

CanCM4/CanESM2

CESM1/CCSM-NCAR

CMCC (Itália)

CNRM (França)

CSIRO (Austrália)

EC-EARTH (Europa)

FGOALS / FIO (China)

GFDL-ESM

GISS E2-R E2H (NASA)

HadGEM ES CC AO (UK)

INM-CM4 (Rússia)

IPSL (França)

MIT

MIROC 4 5 (Japão)

MPI-ESM R MR

(Alemanha)

NCEP-CFSv2

NorESM1-M / ME

(Noruega)

MRI-ESM /GCM3 (Japão)

BESM (Brasil)

IPCC – modelos (Relatório Capítulo 9)

http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter09_Final.pdf

CMIP6

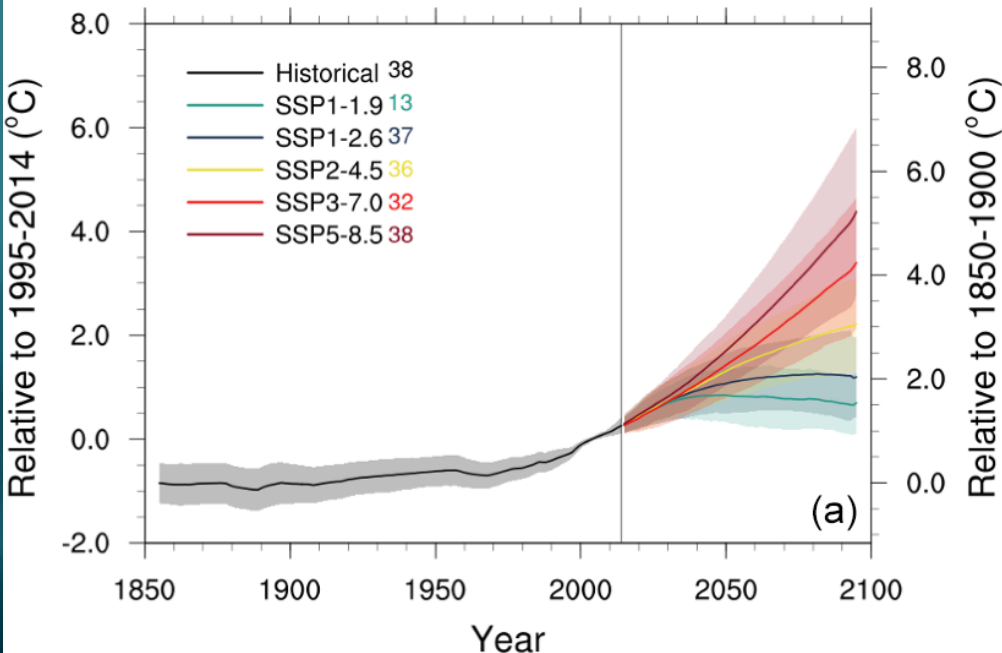
CMIP5/6 evolution: More institutions, more models, more experiments, more data

	Institute	Country		Institute	Country		Institute	Country		Institute	Country
1	AS-RCEC	Taiwan	11	CSIR-CSIRO	South Africa	21	IPSL	France	31	NERC	UK
2	AWI	Germany	12	CSIRO	Australia	22	KIOST	Korea	32	NIMS-KMA	Korea
3	BCC	China	13	CSIRO-ARCCSS-BoM	Australia	23	MESSy-Consortium	Germany	33	NIWA	New Zealand
4	BNU	China	14	E3SM-Project	USA	24	MIROC	Japan	34	NOAA-GFDL	USA
5	CAMS	China	15	EC-Earth-Consortium	Sweden	25	MOHC	UK	35	NUIST	China
6	CAS	China	16	ECMWF	UK	26	MPI-M	Germany	36	SNU	Korea
7	CCCma	Canada	17	FIO-QLNM	China	27	MRI	Japan	37	THU	China
8	CCCR-IITM	India	18	HAMMOZ-Consortium	Switzerland	28	NASA-GISS	USA	38	UA	USA
9	CMCC	Italy	19	INM	Russia	29	NCAR	USA	39	UofT	Canada
10	CNRM-CERFACS	France	20	INPE	Brazil	30	NCC	Norway	40	UTAS	Australia

CMIP6 – Resultados média global (hist. & cenários)

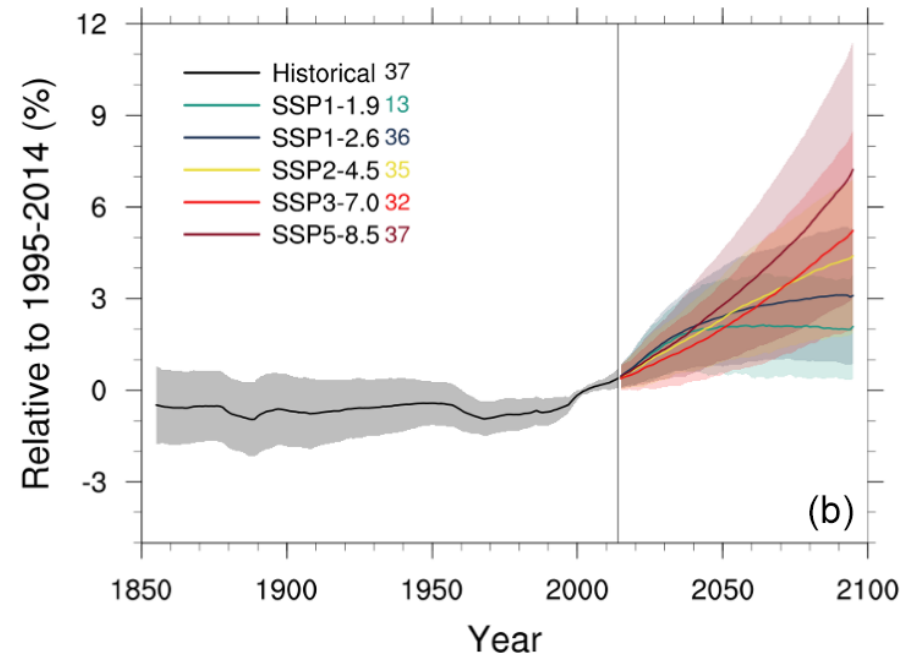
Temperatura

TAS, global



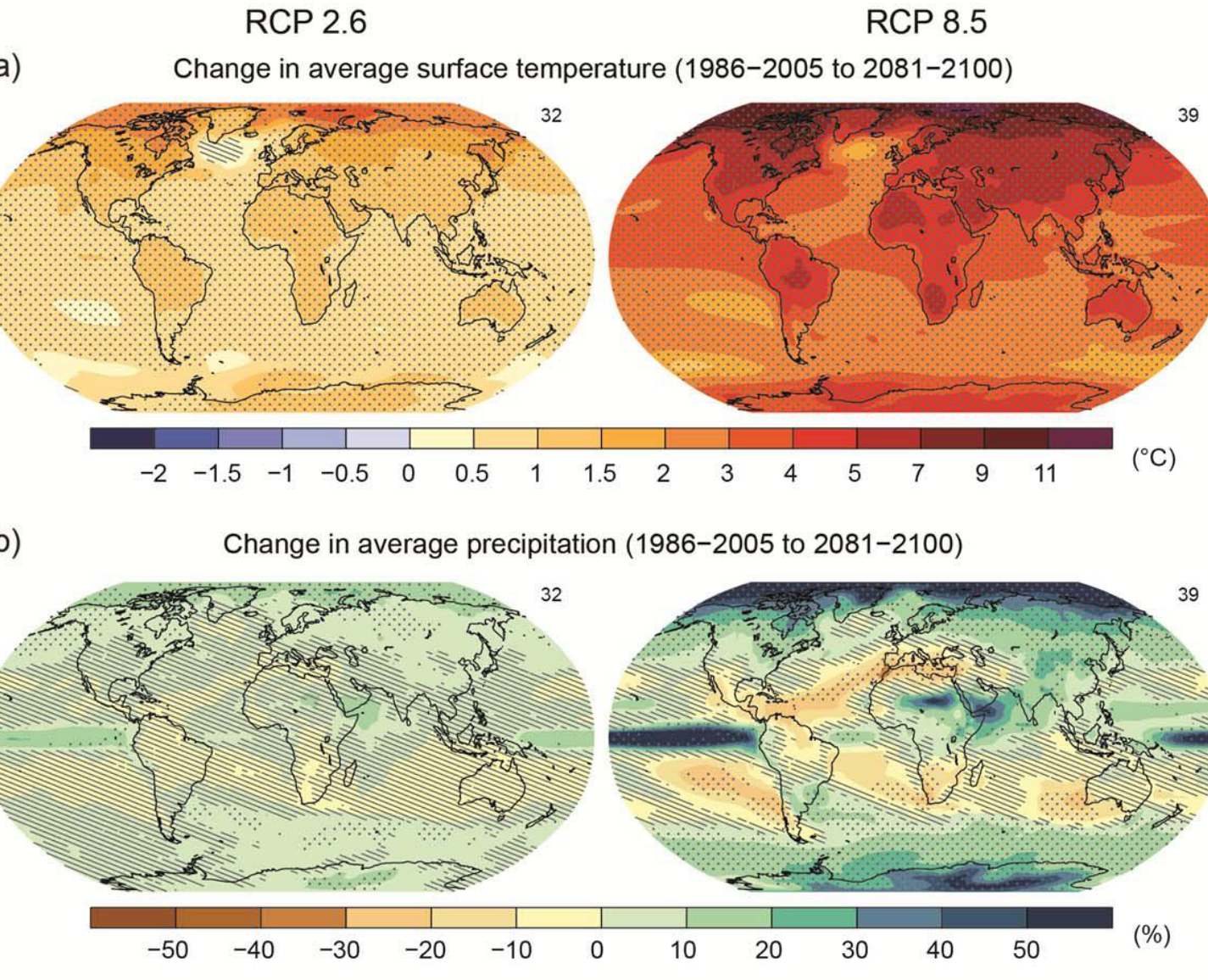
Precipitação

PR, global



Tebaldi, C., et al.: Climate model projections from the Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) of CMIP6, *Earth Syst. Dynam.*, 12, 253–293, <https://doi.org/10.5194/esd-12-253-2021>, 2021.

<https://esd.copernicus.org/articles/12/253/2021/>



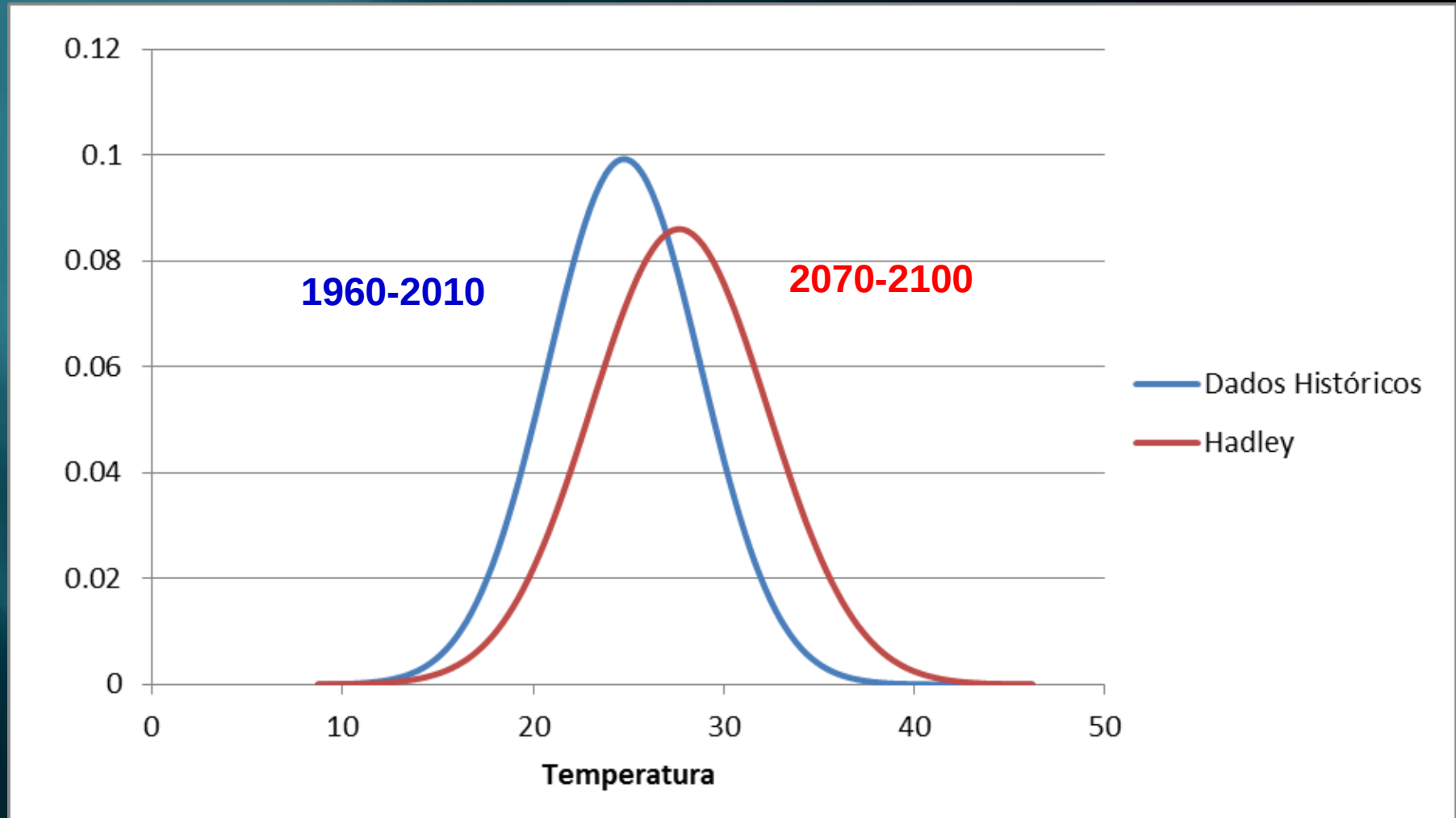
“**Ondas de calor** deverão ficar mais frequentes.

Os oceanos deverão ficar mais quentes e ácidos.

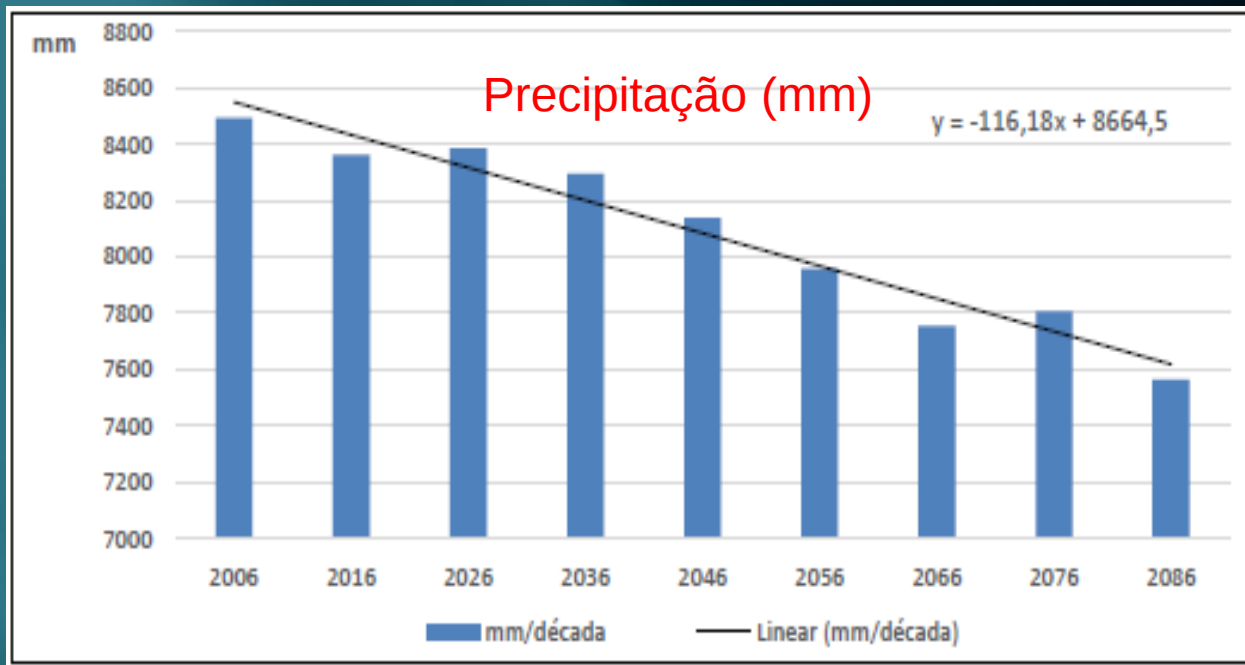
“Conforme a Terra se aquece, é esperado que regiões áridas deverão receber menos **chuvas** e regiões úmidas mais chuvas.”
(IPCC, 2013).

“Representative Concentration Pathways (RCPs)”.

Cenários de Temperatura – Florianópolis – (Modelo Hadley Center) Cintia Fagundes (2019) PPGDN-UFSC

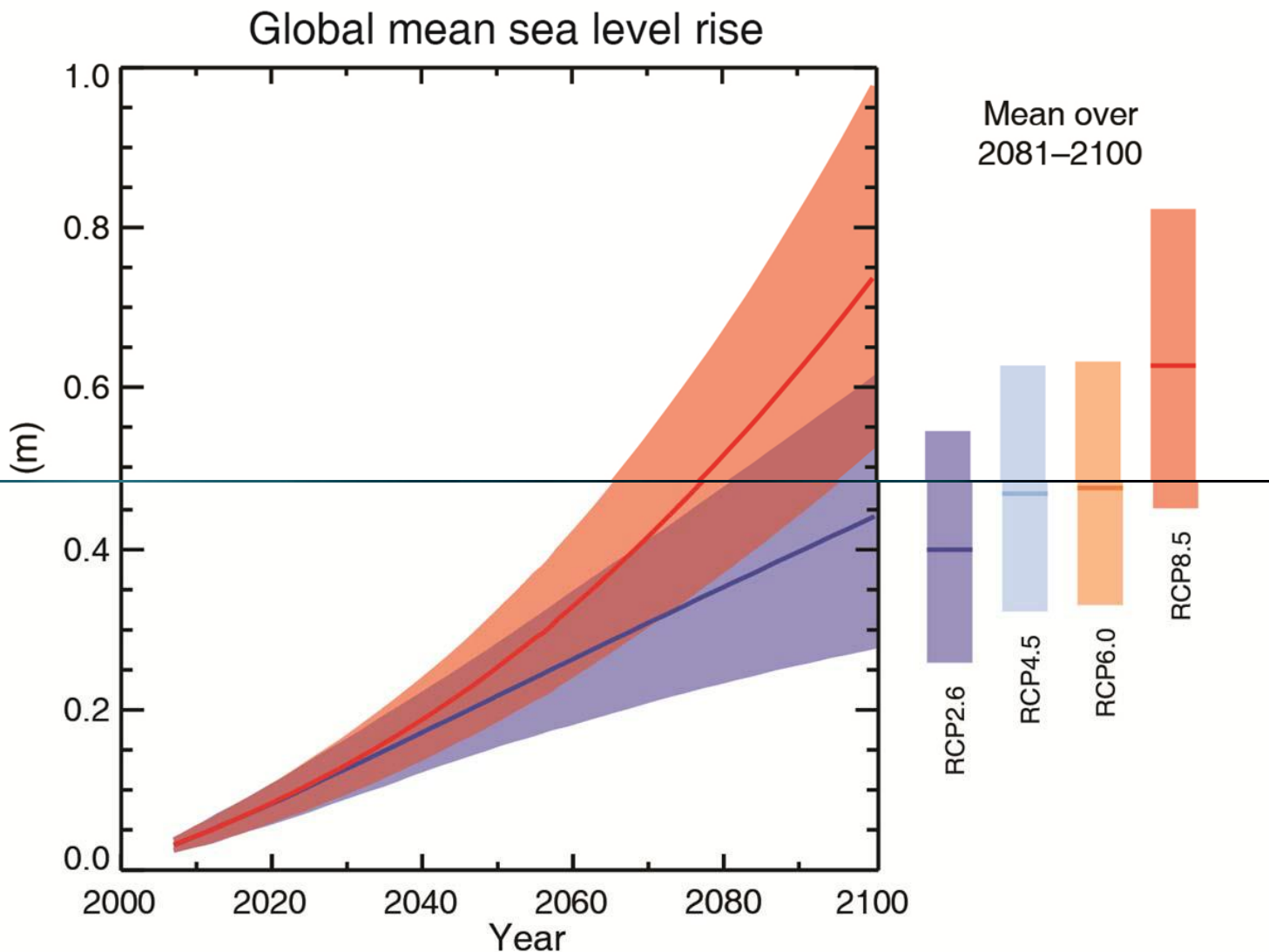


Cenários Climáticos Norte do estado da Bahia



Felipe Poyer
(2019)
PPGDN-UFSC



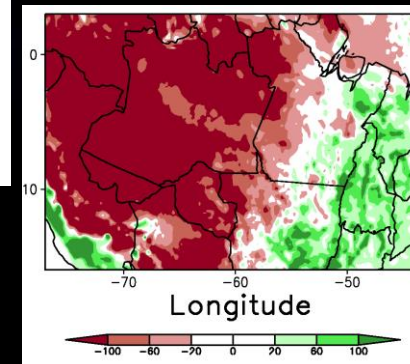
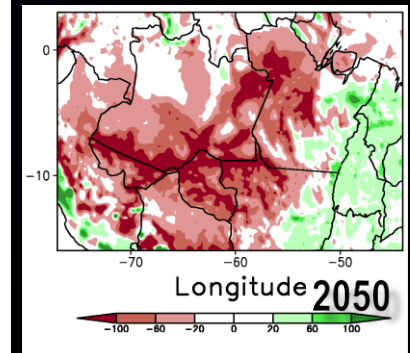
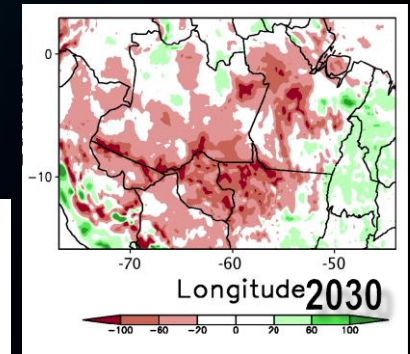
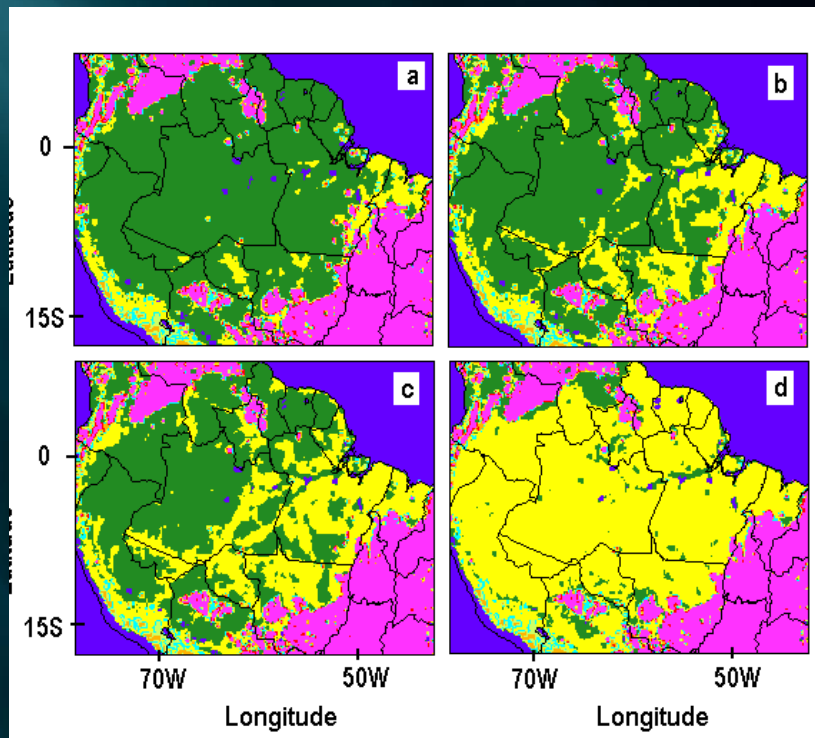


“Conforme os oceanos se aquecem e as regiões com gelo se derretem o **nível** médio dos oceanos deverá continuar a aumentar conforme tem ocorrido nos últimos 40 anos”
IPCC (2013)

Aplicações do Modelo RAMS

Cenário das Mudanças na Vegetação e Clima

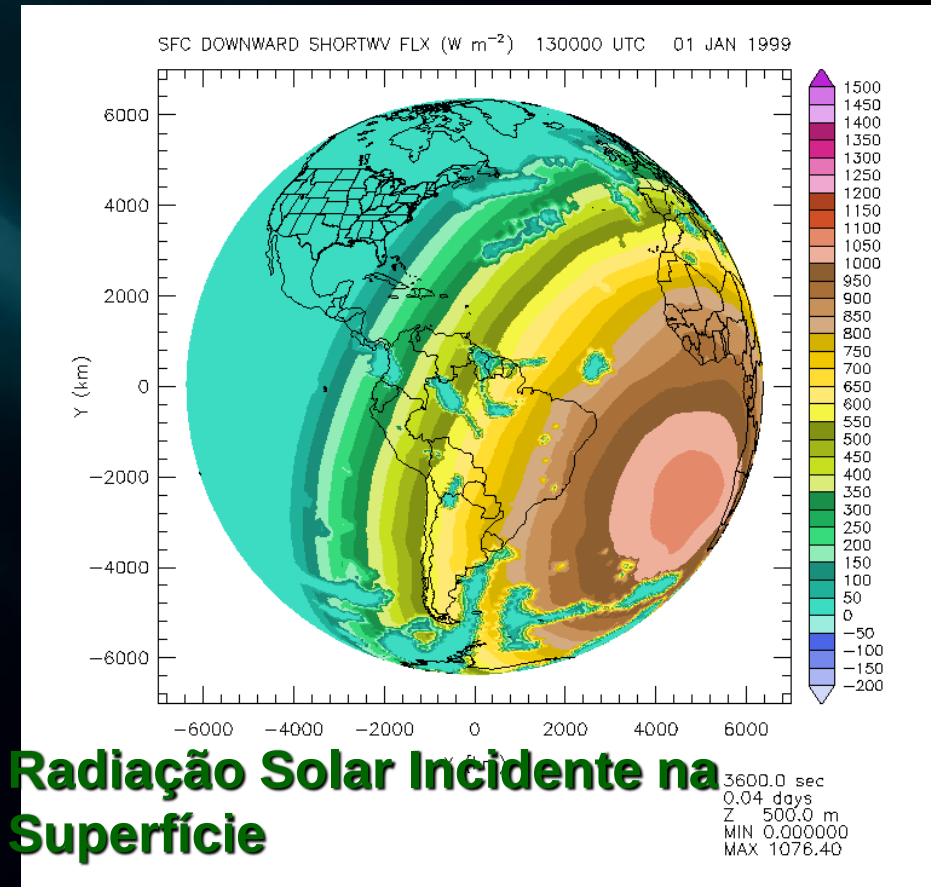
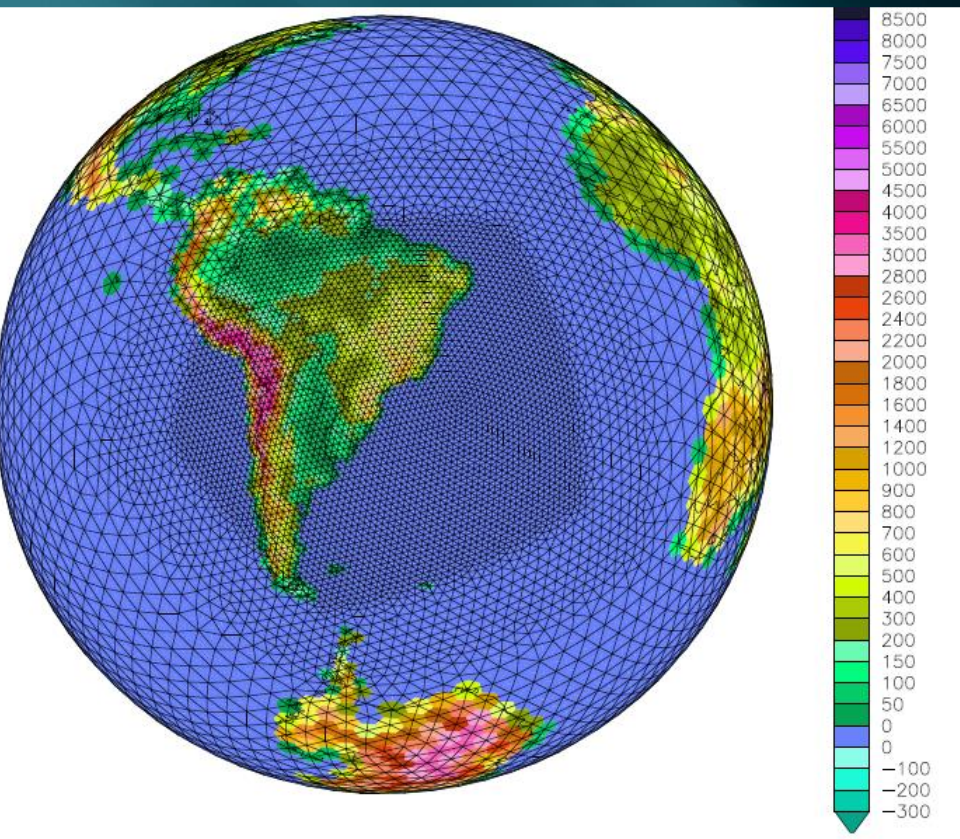
O aumento do desmatamento deve causar um enfraquecimento das linhas de instabilidade e causar um descréscimo de chuvas principalmente na região oeste da Amazônia



Ramos-da-Silva et al., J. of Climate, 2008.

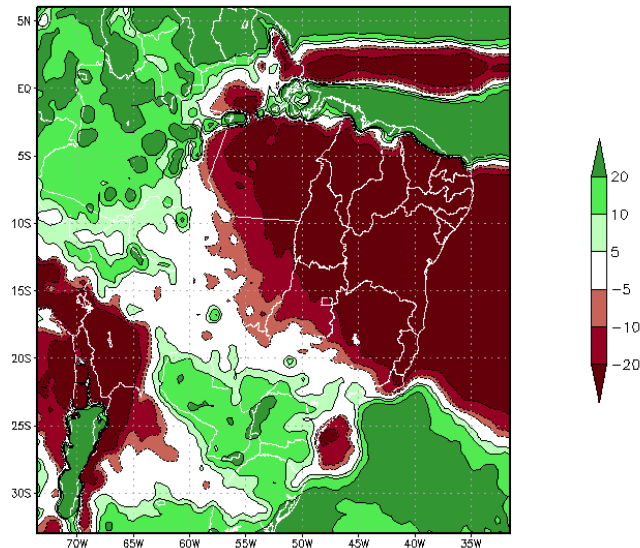
Projeções climáticas com Modelo OLAM

Ramos-da-Silva & Haas, 2016, Ocean Global Warming Impacts on the South America Climate, Frontiers in Earth Science.

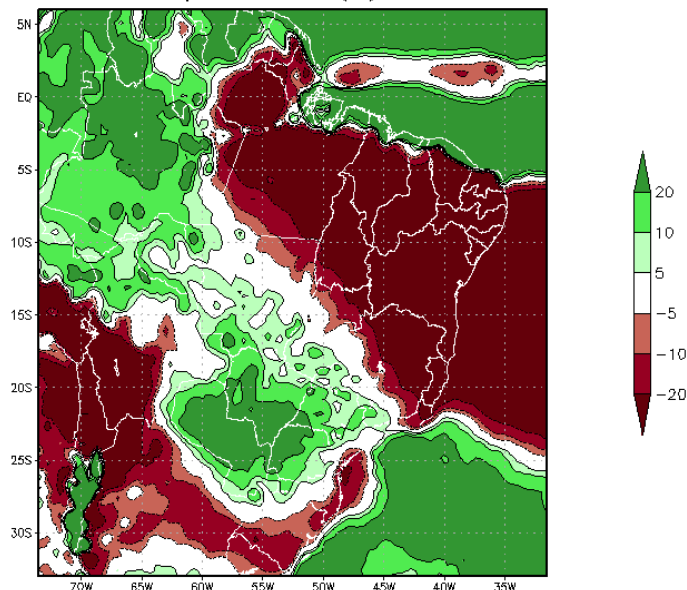


Cenários regionais para precipitação obtidos com o modelo OLAM-UFSC.

OLAM Precip Scenario (%) 2041–2070



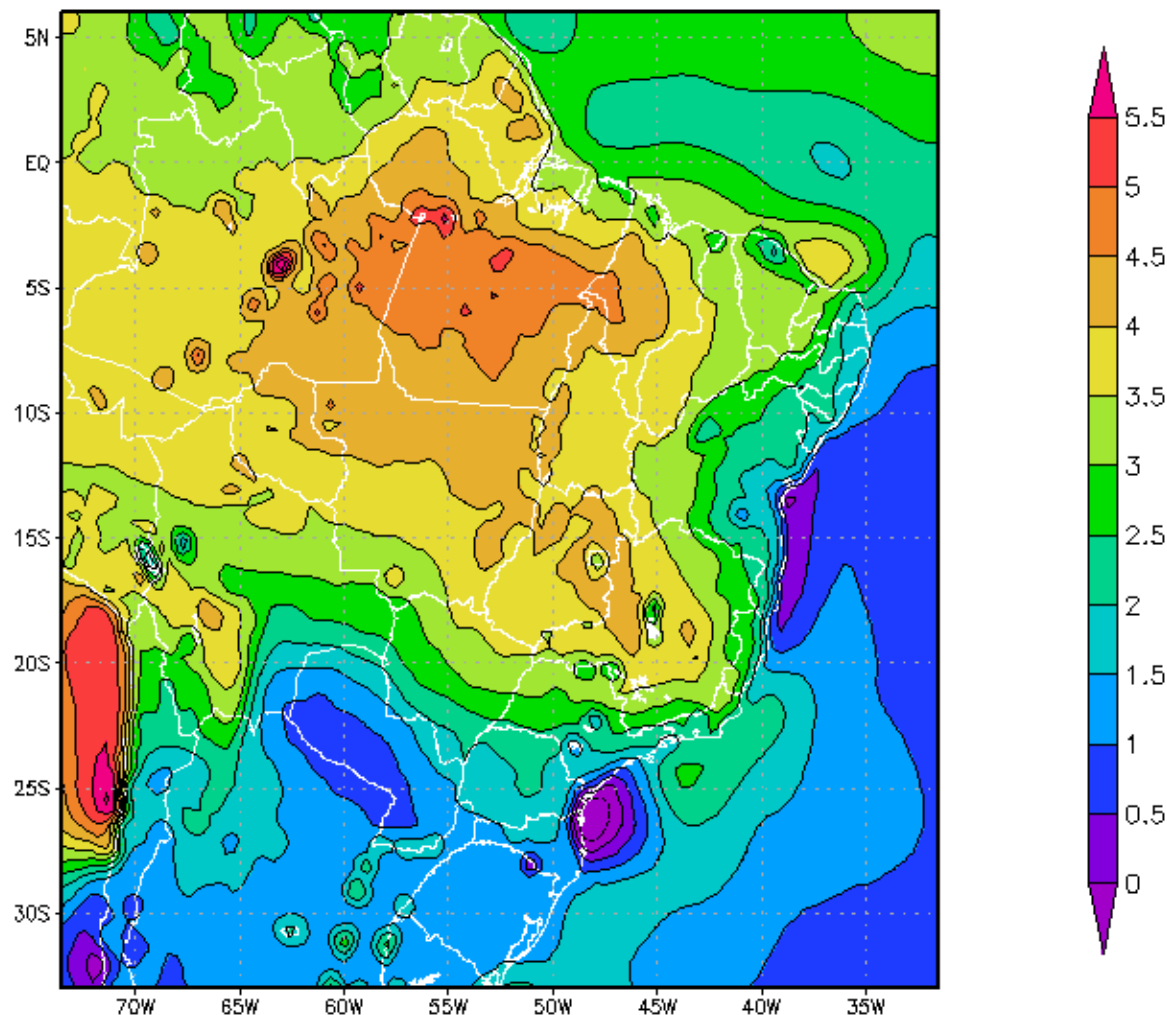
OLAM Precip Scenario (%) 2071–2100



Menos chuvas no nordeste do Brasil e mais chuvas no oeste da Amazônia e sul do Brasil.

Cenários de Temperatura

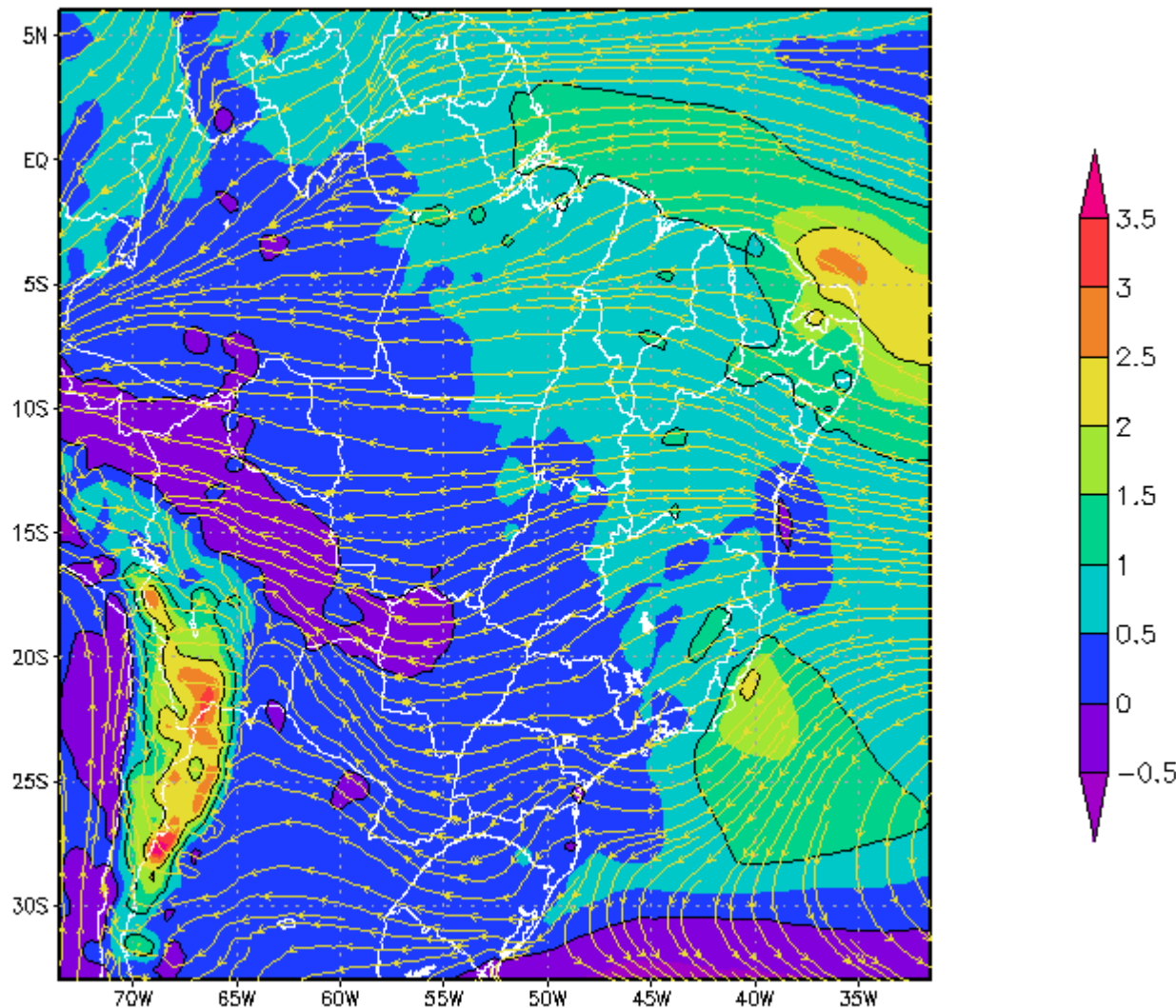
OLAM Temperature Scenario (C) 2041–49



A temperatura do ar aumenta em todas as regiões, principalmente na Amazônia. Algumas regiões costeiras como próximo à Bahia e Santa Catarina poderão ser menos afetadas.

OLAM-UFSC cenários de vento

OLAM Wind (m/s) Scenario (C) 2041–49



Como resultado do aquecimento dos oceanos os ventos tornam-se mais fortes na maior parte da América do Sul, principalmente no nordeste brasileiro.

Sites

Artigo Projeções CMIP6 para América do Sul

<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs41748-021-00233-6>

<https://www.carbonbrief.org/cmip6-the-next-generation-of-climate-models-explained>

<https://www.dkrz.de/en/projects-and-partners/projects/focus/CMIP6-en>

https://www.wcrp-climate.org/images/modelling/WGCM/CMIP/CMIP6FinalDesign_GMD_180329.pdf