

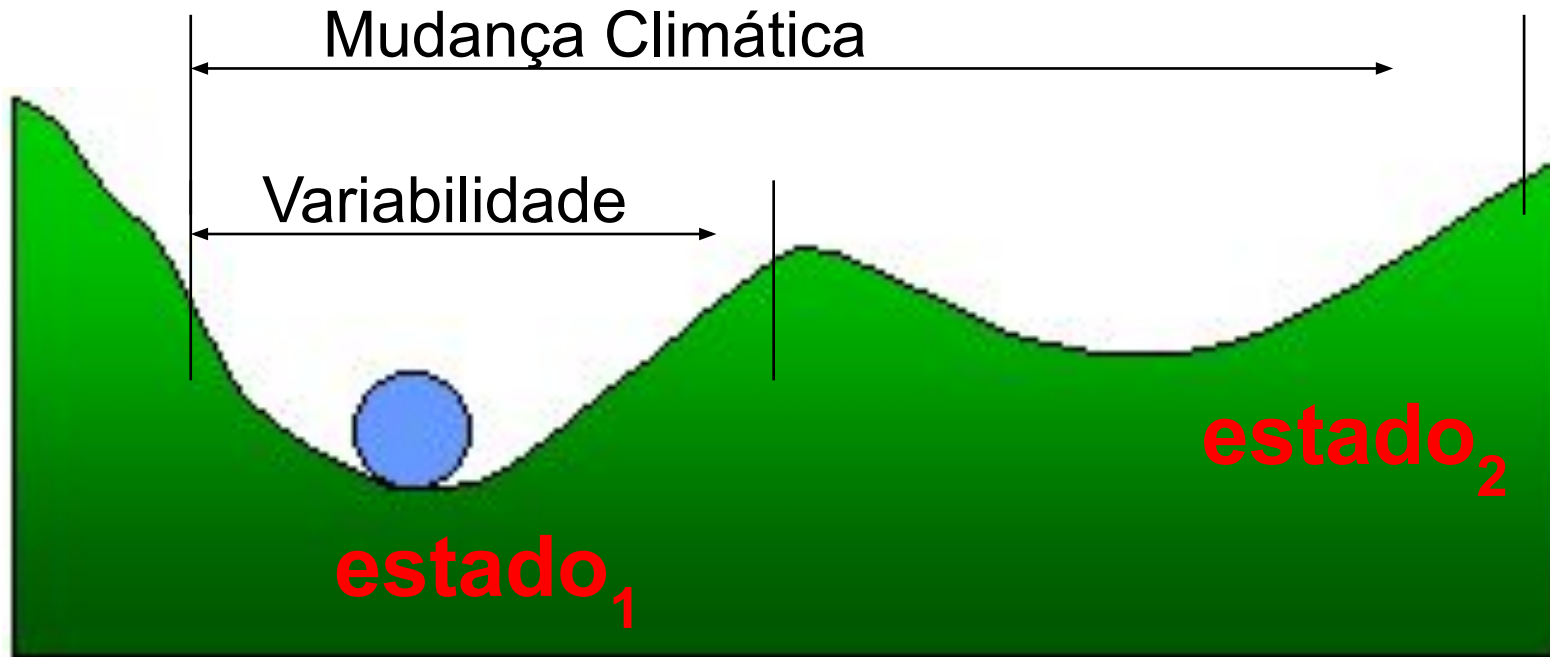
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Paulo Nobre, Ph.D.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

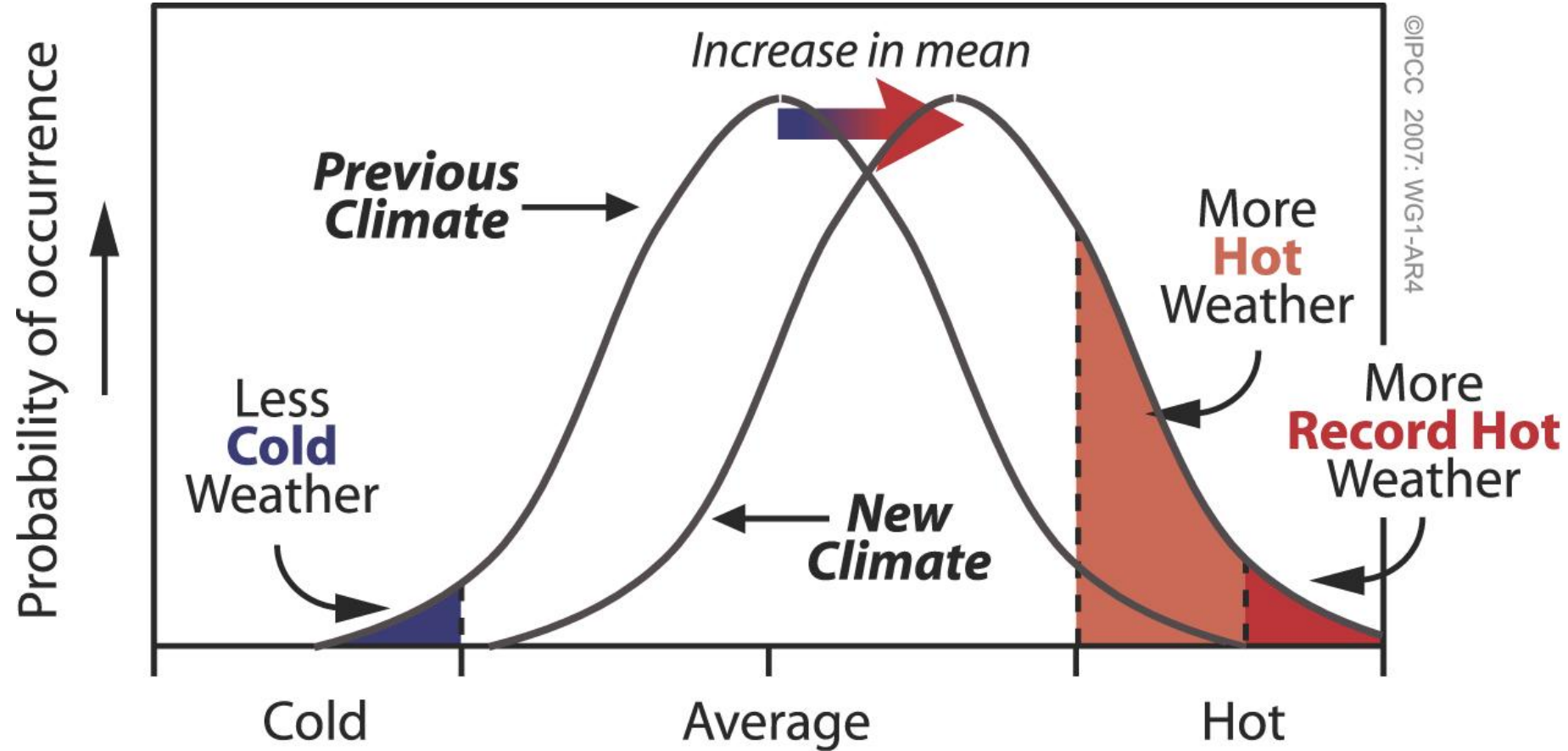
3ª edição do Seminário Internacional do Observatório Brasileiro de IA (OBIA)
Núcleo de Informação e Coordenação do Ponto BR (NIC.BR)
São Paulo, 3 de setembro de 2026

Variabilidade x Mudança Climática



$$T_1 < T_2$$

Mudança na Frequência de Extremos



Desastres Climáticos Cresceram **250%** Durante os últimos 4 anos no Brasil!

Outubro 2023
Rio Negro,
Amazônia



Maio 2024
Porto Alegre,
Rio Grande do Sul



01



Panorama Global

O que a ciência climática já confirmou

O QUE A CIÊNCIA JÁ CONFIRMOU

O sinal do aquecimento global

1,6°C

de aquecimento acima do período
pré-industrial (1850–1900)

- **A causa é inequívoca**

A ação humana — sobretudo emissões de gases de efeito estufa — provocou o aquecimento observado. Não há mais debate científico sobre a origem.

- **Ritmo sem precedentes**

A temperatura da superfície global subiu mais rápido desde 1970 do que em qualquer outro período de 50 anos nos últimos 2 mil anos.

- **Um relatório monumental**

O AR6 reúne o trabalho de mais de 780 cientistas ao longo de oito anos — a avaliação mais abrangente já feita sobre mudança do clima.

EXTREMOS EM ASCENSÃO

O que era exceção está virando rotina climática



Risco multiplicado

Cada fração de grau adicional de aquecimento intensifica riscos simultâneos: secas, ondas de calor, enchentes e ciclones.



Alcance global

Eventos antes considerados "excepcionais" tornam-se frequentes e severos em praticamente todas as regiões do planeta.



Injustiça climática

Populações mais vulneráveis — sobretudo em países em desenvolvimento — são as mais afetadas, apesar de terem contribuído menos para a crise.

A JANELA QUE ESTÁ SE FECHANDO

Ainda há tempo — mas ele está se esgotando rapidamente

43%

de corte nas emissões globais até 2030,
necessário para manter a meta de 1,5°C do
Acordo de Paris

2050

ano-alvo para atingir emissões líquidas
zero, mantendo o aquecimento sob
controle

↓ desde 2018

o crescimento do financiamento climático
global desacelerou — na direção oposta à
necessária

01



O Papel do Aquecimento Global & das Florestas

2025: Terceiro ano mais quente no registro histórico

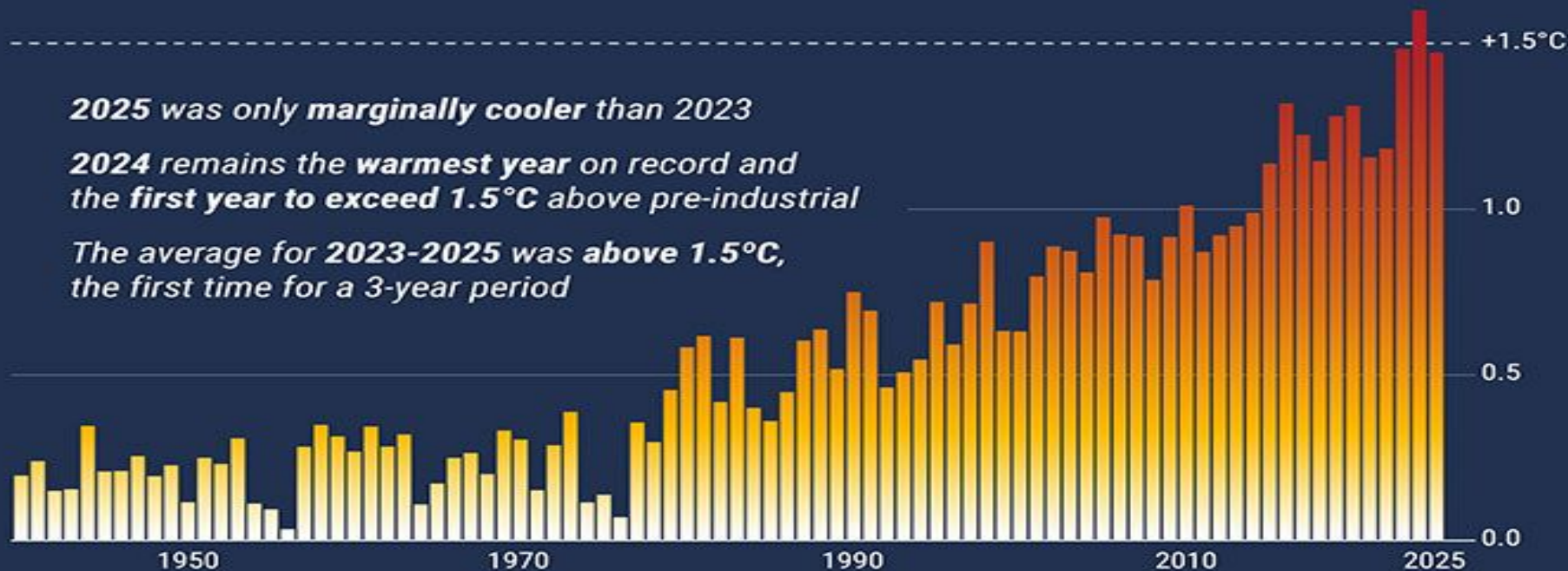
2025 was the third-warmest year on record

Global annual surface air temperature increase above pre-industrial level since 1940

2025 was only marginally cooler than 2023

2024 remains the warmest year on record and the first year to exceed 1.5°C above pre-industrial

The average for 2023-2025 was above 1.5°C, the first time for a 3-year period



Data: ERA5 • Reference period: pre-industrial (1850–1900) • Credit: C3S/ECMWF



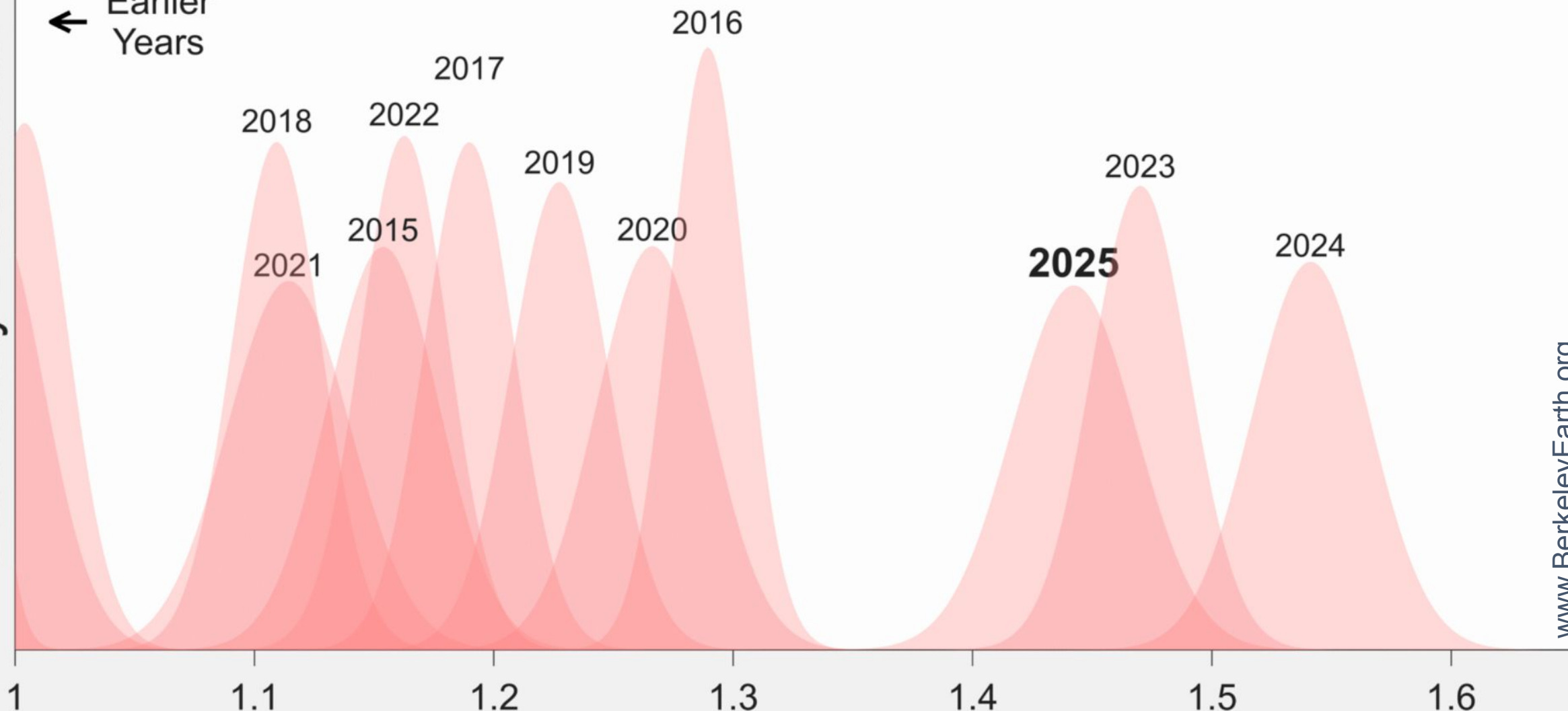
PROGRAMME OF
THE EUROPEAN UNION



IMPLEMENTED BY
ECMWF

Probability Distribution

← Earlier Years

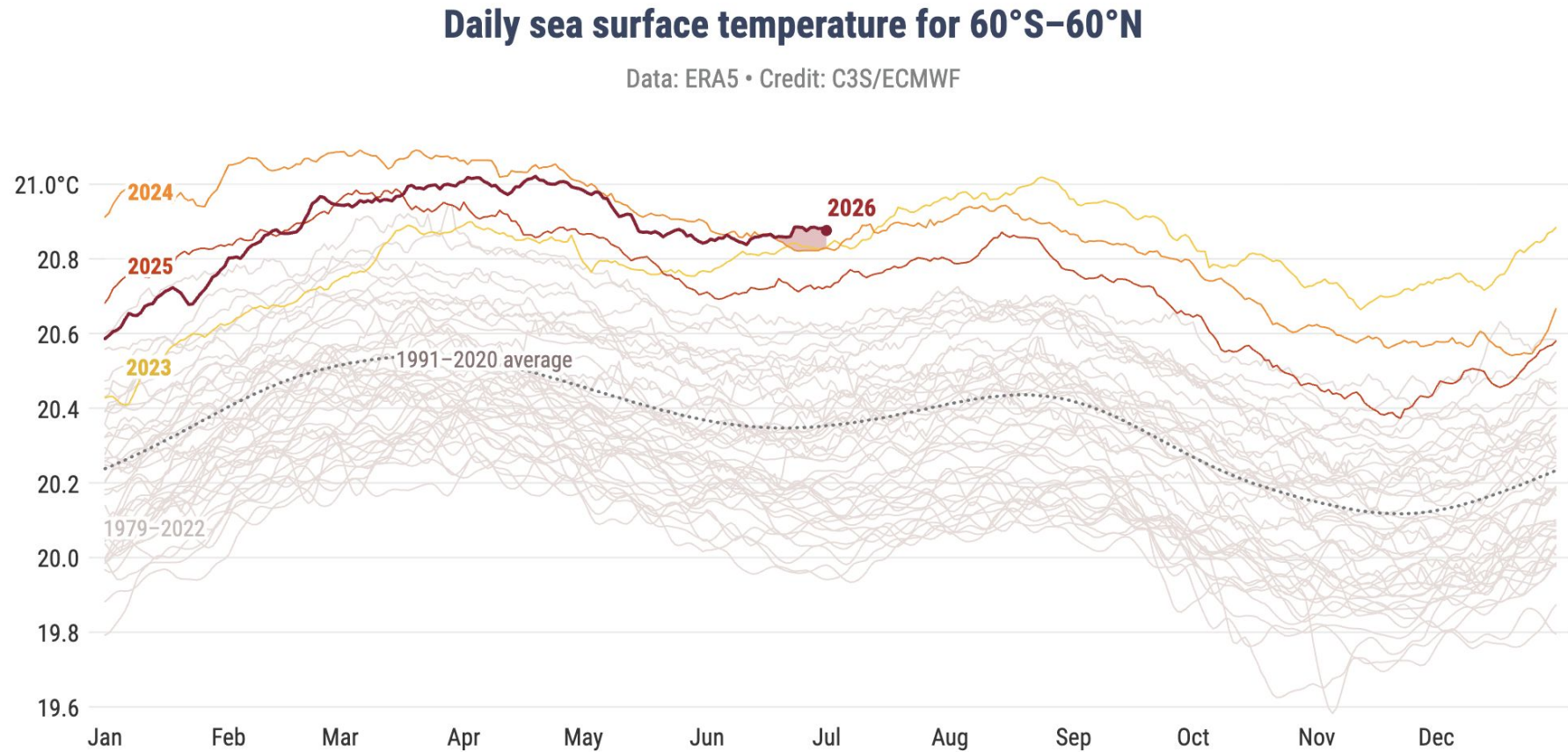


www.BerkeleyEarth.org

Global Mean Temperature Anomaly and Uncertainty (°C)

Based on Berkeley Earth's estimates of the global annual average temperature increase relative to 1850-1900. Each year's individual uncertainty is shown, but does not include the systematic uncertainty in the baseline.

2026 candidato ao ano mais quente da história



PROGRAMME OF
THE EUROPEAN UNION



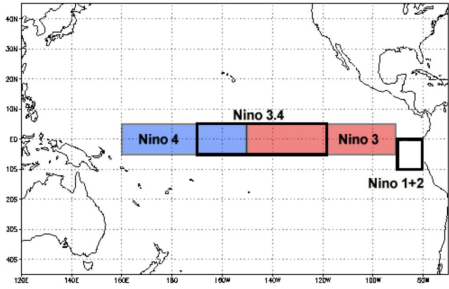
IMPLEMENTED BY



01



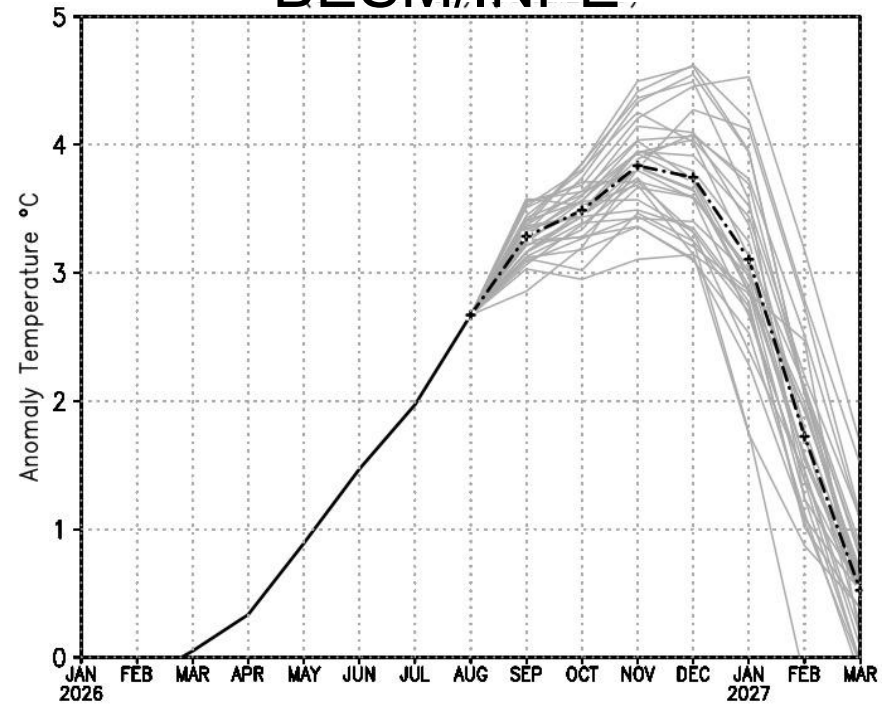
O Super El Niño de 2026



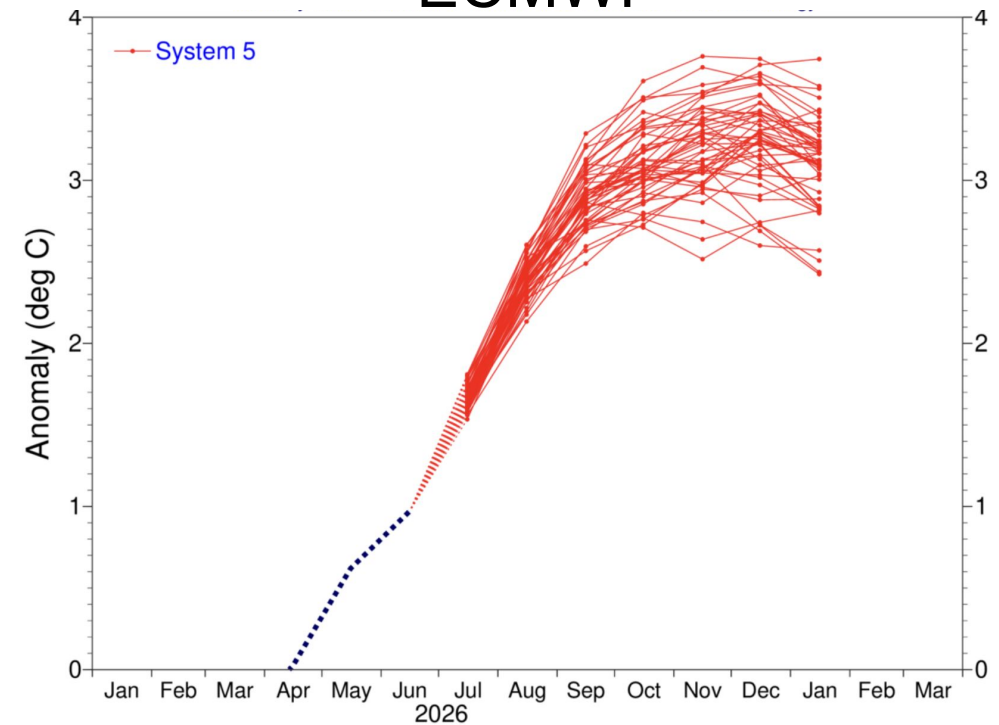
Previsões de Anomalias TSM Niño 3.4

A partir de CI Jul 2026

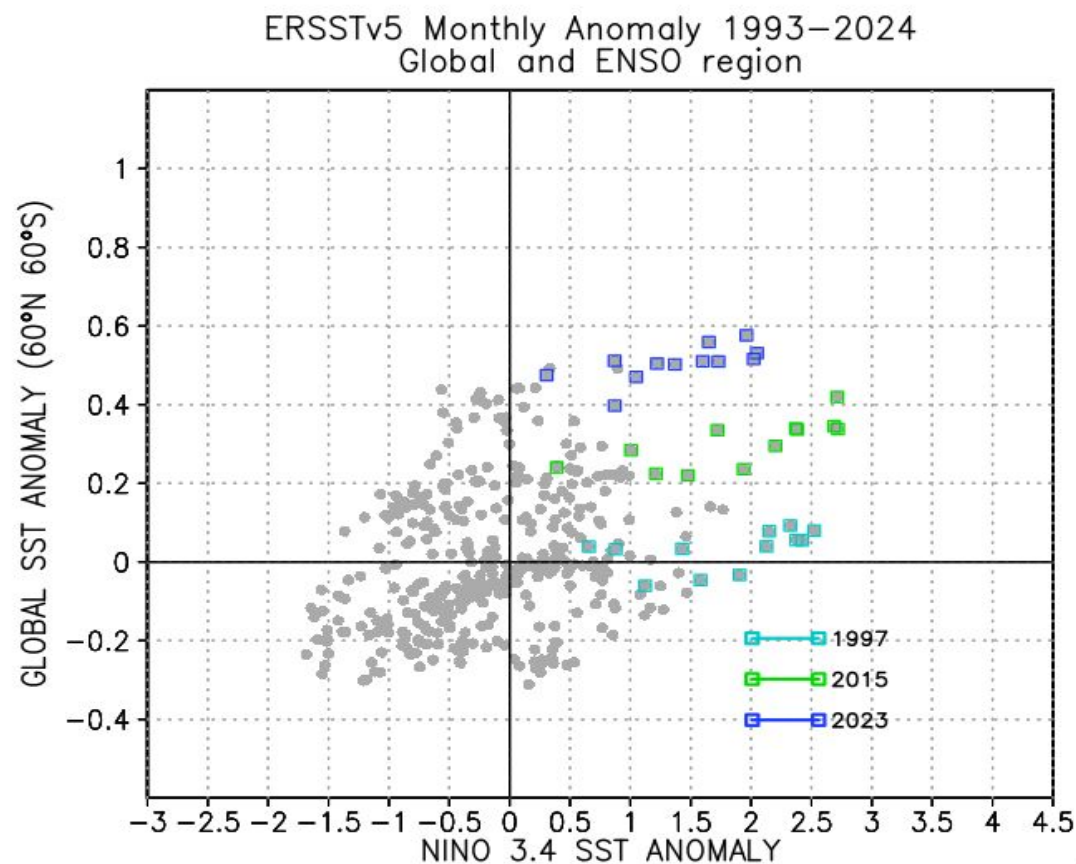
BESM/INPE



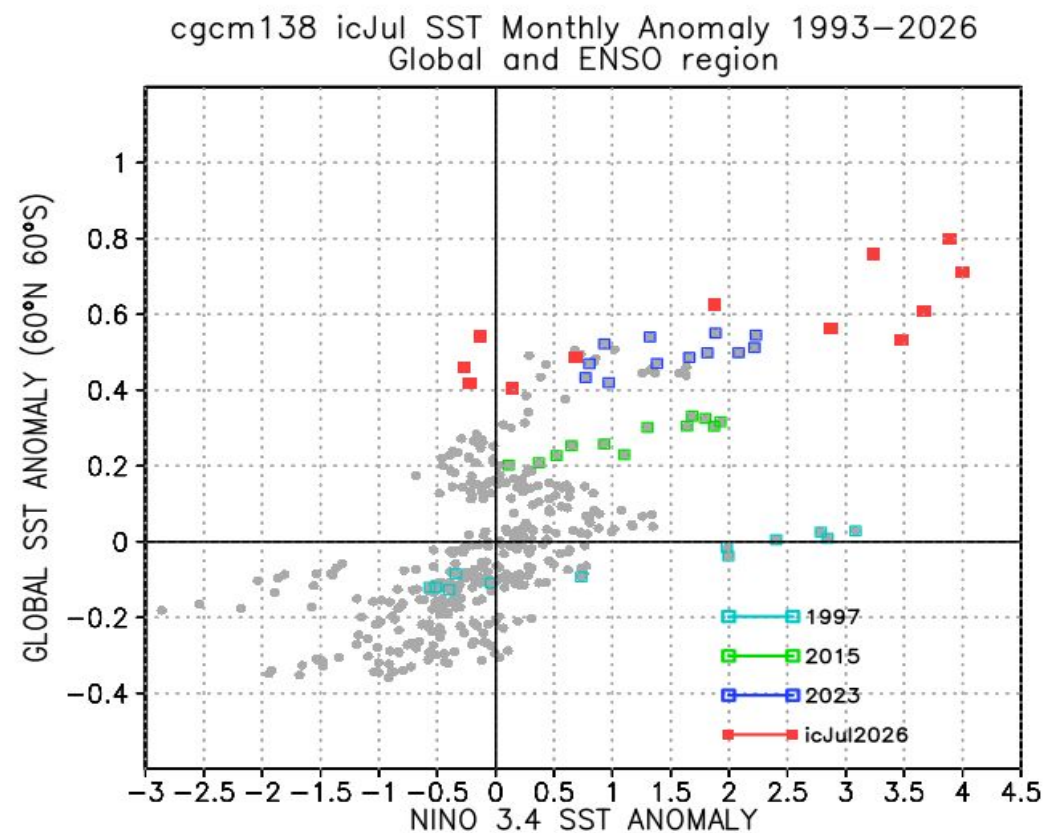
ECMWF



Anomalias da Temperatura Global dos Oceanos x Niño 3.4



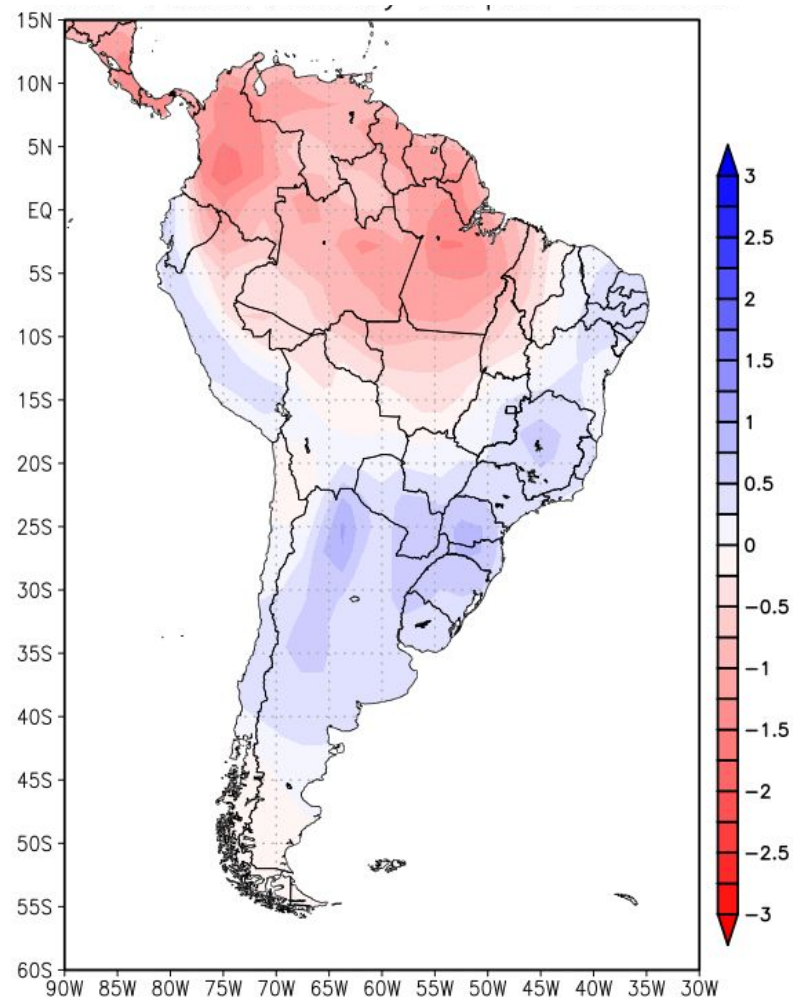
GrADS/COLA



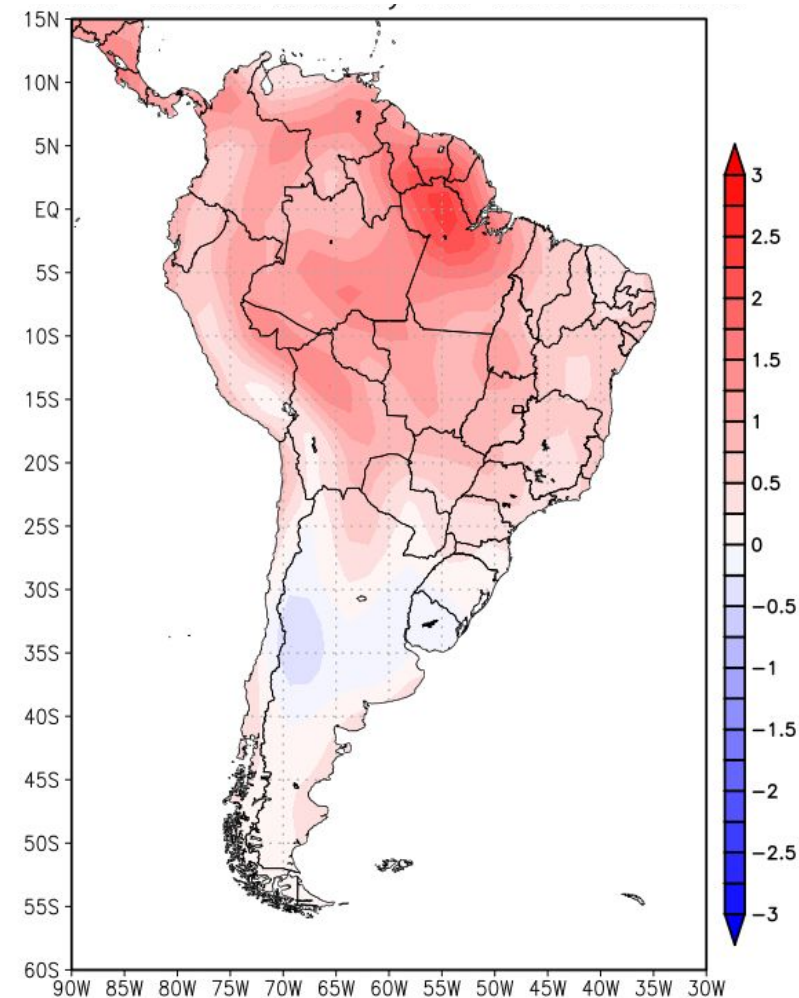
Previsão Anomalias Anuais BESM 3.0

CI: Julho/2026: Previsão: Agosto/2026 a Julho 2027

PRECIPITAÇÃO



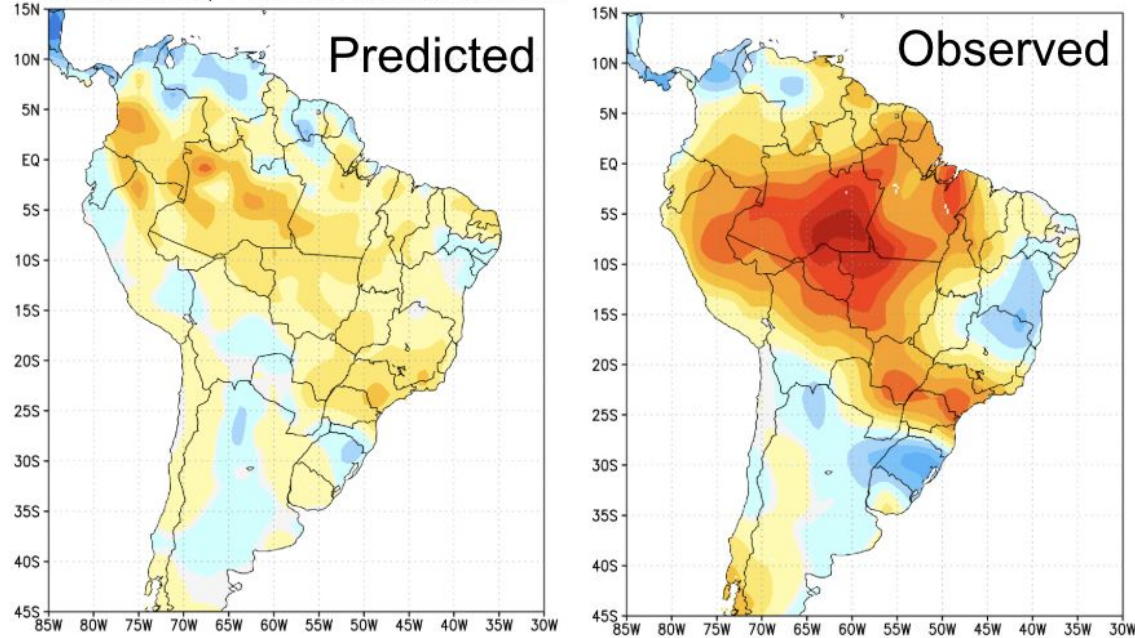
TEMPERATURA



Annual Rainfall Predictions

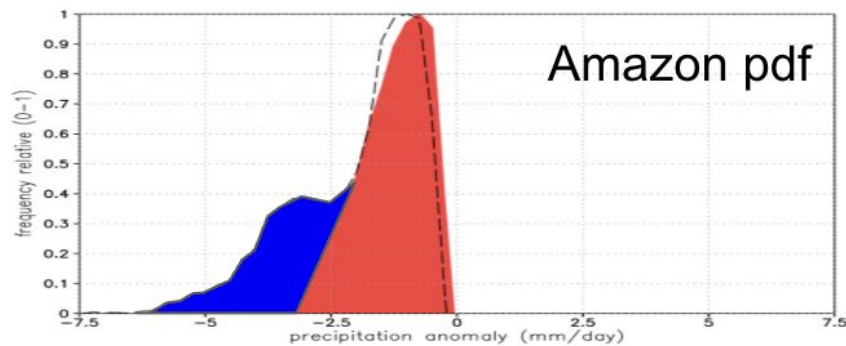
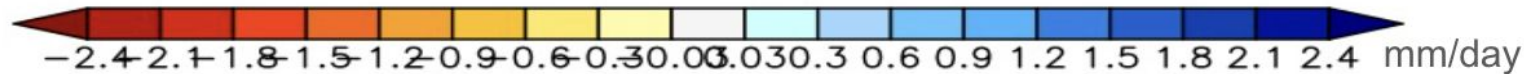
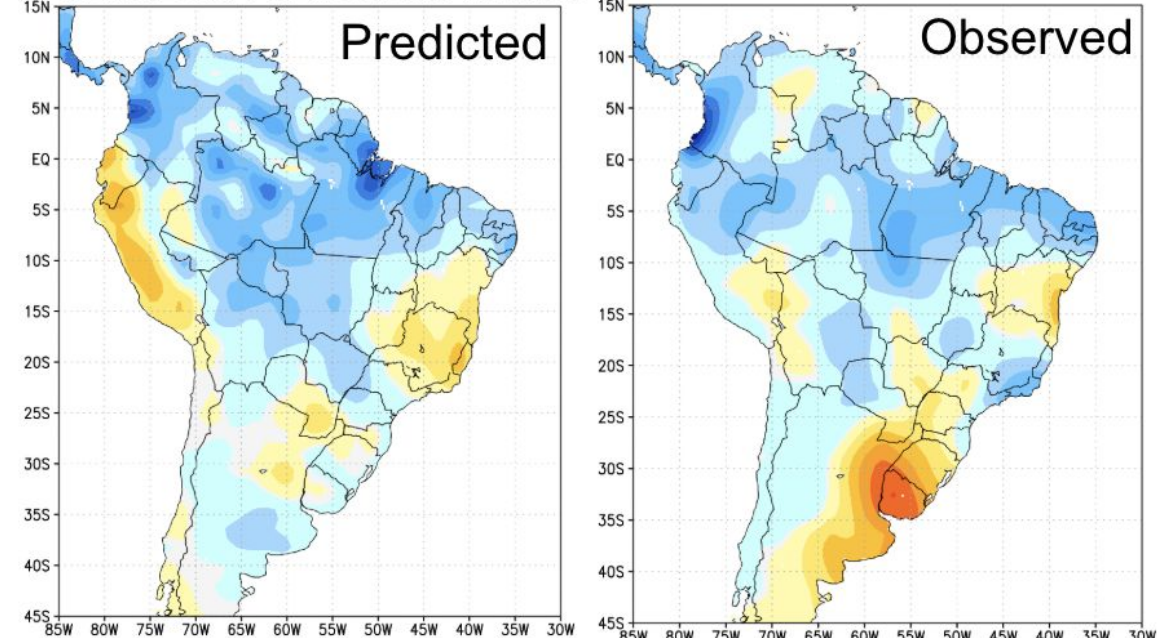
2024 Amazon Drought

IC: Nov/2023; FCST: Dec/2023-Nov/2024

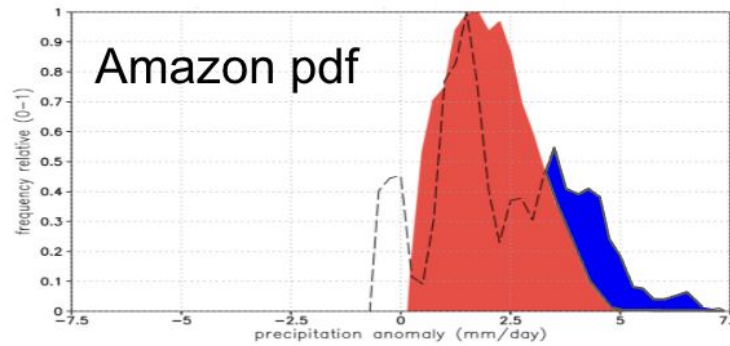


2008 Amazon Flooding

IC: Nov/2007; FCST: Dec/2007-Nov/2008



Amazon pdf



Amazon pdf

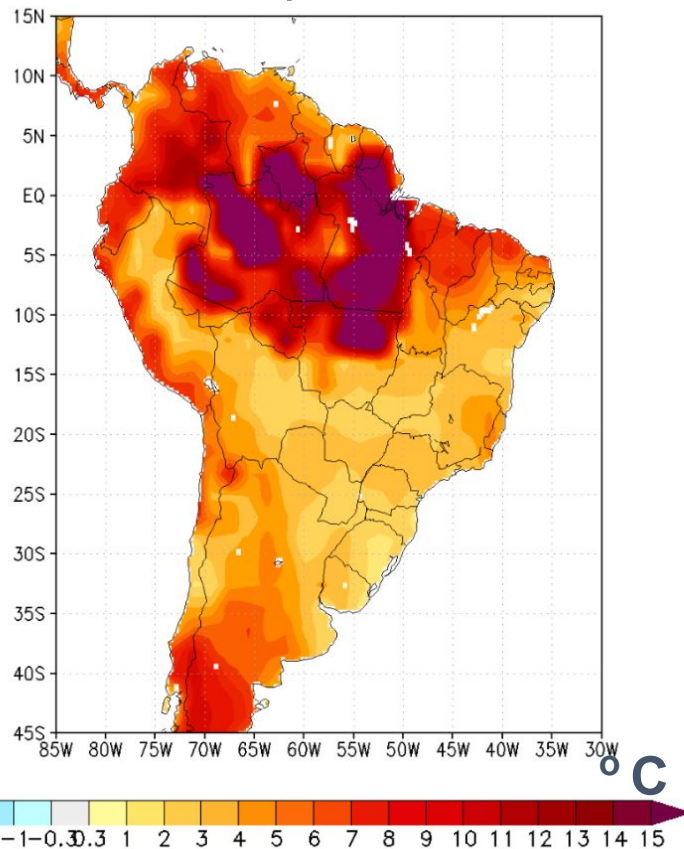
--- GPCP Observation

■ INPE/BESM Prediction

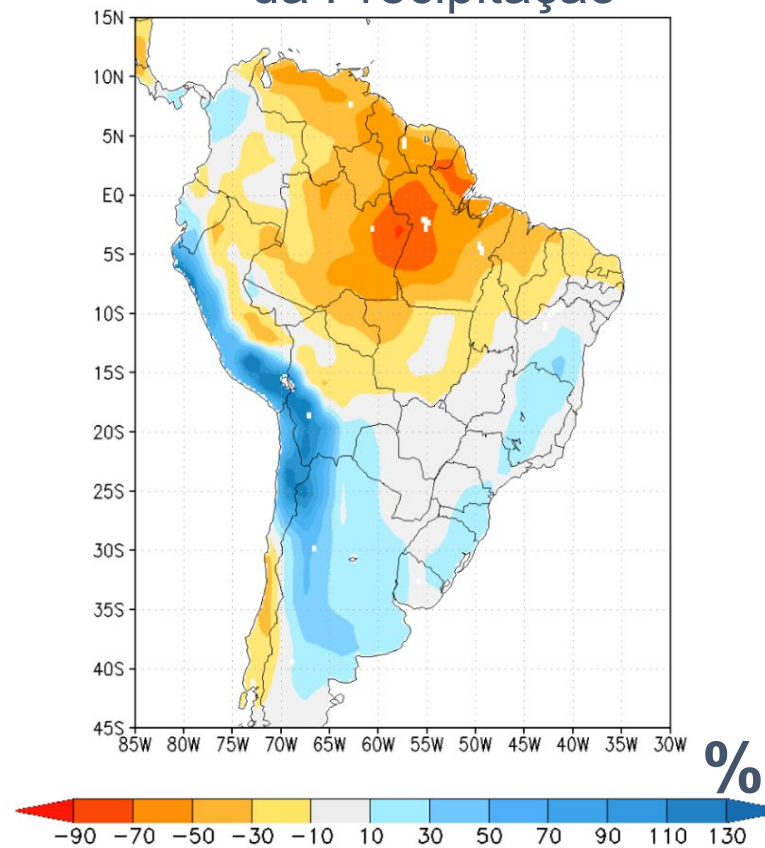
Source: Nobre et al, in preparation

Aquecimento Global e Savanização da Amazônia: Um Risco de Grande Proporções para o Brasil

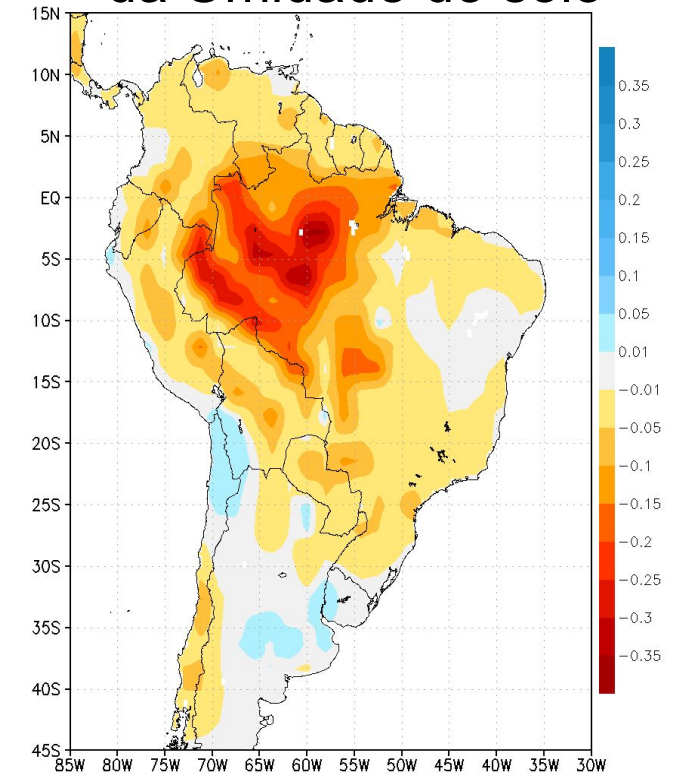
AUMENTO
da Temperatura



REDUÇÃO
da Precipitação



REDUÇÃO
da Umidade do solo



MITIGAÇÃO NÃO BASTA SOZINHA

De "evitar" para "evitar + se adaptar"

Mesmo nos cenários mais otimistas de corte de emissões, um certo grau de mudança climática já está "comprometido". As opções de adaptação eficazes hoje tendem a ficar mais restritas e caras à medida que o aquecimento avança (Stern Report, 2006).



MITIGAÇÃO

Reduzir a causa: cortar emissões de gases de efeito estufa na origem.

Ação de longo prazo, com efeito global e cumulativo ao longo de décadas.

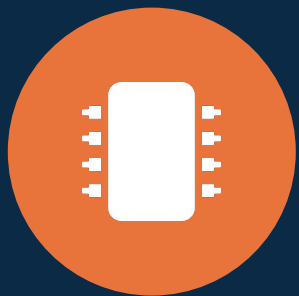


ADAPTAÇÃO

Reduzir o impacto: preparar sistemas, cidades e pessoas para os efeitos já em curso.

Ação imediata e local — é aqui que a IA tem o papel mais direto a cumprir.

03

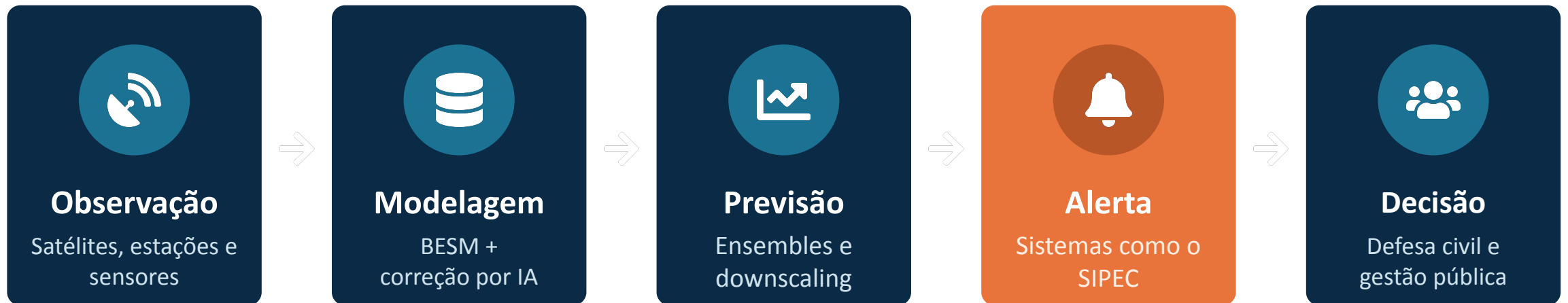


O Potencial da IA

Da observação à decisão: onde a inteligência artificial acelera a adaptação

ONDE A IA ENTRA NA CADEIA CLIMÁTICA

A IA acelera cada elo — não substitui a física do clima



A inteligência artificial não substitui a física representada nos modelos — ela acelera o processamento, refina a resolução e conecta melhor cada etapa.

IA + MODELAGEM NUMÉRICA

Refinando o BESM com aprendizado de máquina



BESM — Modelo Brasileiro do Sistema Terrestre

Coordenado pelo INPE, é a base nacional para simulação e projeção do clima



Correção de viés e downscaling

IA refina a resolução espacial das projeções, aumentando a precisão local dos resultados do modelo.



Ensembles mais eficientes

Redução do custo computacional em previsões sazonais, como as anomalias de temperatura do mar no Niño 3.4.



Complemento, não substituto

A IA opera sobre a física já representada no modelo — não a substitui nem a ignora.

SISTEMAS INTELIGENTES DE ALERTA PRECOCE

Caso real: SIPEC/PBIA

Sistema Inteligente de Previsão de Extremos Climáticos



Iniciativa financiada pela FINEP dentro do Programa Brasileiro de Inteligência Artificial.
Objetivo: antecipar extremos climáticos com mais tempo de resposta e granularidade, apoiando a tomada de decisão da defesa civil.

PARCEIROS INSTITUCIONAIS

INPE

USP

SiDi

CTI Renato Archer

IPT

SENAI-CIMATEC

IBAMA

Maior antecedência de previsão e maior granularidade espacial significam decisões mais bem planejadas e localizadas em momentos de crise.

Preenchendo lacunas de observação com IA



Inferência em áreas remotas

Modelos de IA estimam condições climáticas onde há poucas estações de observação disponíveis.



Redes de baixo custo

Estações meteorológicas de baixo custo, combinadas com aprendizado de máquina, densificam o monitoramento em regiões remotas.



Sensoriamento remoto

Dados de satélite combinados com modelos de IA ajudam a preencher lacunas de observação in situ.

A ciência precisa disputar a narrativa em tempo real



O problema

Eventos extremos geram picos de desinformação: negacionismo sobre causas, notícias falsas e conteúdo sintético (deepfakes) durante crises.



O papel da IA

Ferramenta de detecção e checagem em tempo real — mas também fonte de risco quando usada para gerar desinformação em escala.

Multiplicador de capacidade, não bala de prata



Viés de dados = viés de decisão

A IA é tão boa quanto os dados que a alimentam. Dados incompletos ou enviesados produzem decisões enviesadas.



Não substitui a ciência de base

Investimento em observação, infraestrutura física e ciência fundamental continua sendo indispensável.



Questões de governança em aberto

Quem audita os modelos? Quem responde por decisões automatizadas tomadas durante uma crise?

Três ideias para levar dessa conversa



Janela de ação encolhendo

Extremos climáticos já são realidade recorrente no Brasil — a Amazônia e o RS provaram isso em 2024.



IA como multiplicador

Inteligência artificial acelera observação, modelagem, previsão e alerta — sem substituir a ciência de base.



O caminho é cooperativo

Ciência robusta (BESM) + inteligência aplicada (SIPEC) + cooperação institucional, em múltiplas escalas.

CHAMADA À AÇÃO

O que precisa acontecer a partir daqui



Investimento continuado

Em observação e modelagem climática nacional, sustentando iniciativas como o BESM e o SIPEC.



Parcerias interinstitucionais

Cooperação entre universidades, institutos de pesquisa e setor produtivo como caminho de escala.



Cooperação internacional

Diálogo com parceiros globais para acelerar ciência aplicada e compartilhar capacidade técnica.

Obrigado.

paulo.nobre@inpe.br