

# Correlação entre ENSO e DEC – ID 4662

**Autor:** *Alan Marques da Cunha*

**Empresa:** *COPEL*

Realization:

instituto  
**abradee**



Host Company:

**CEMIG**



XXV Seminário  
Nacional de  
Distribuição de  
Energia Elétrica

**SENDI**  
**2025**  
BELO HORIZONTE

# Correlação entre ENSO e DEC

Esta apresentação visa explorar a correlação entre o El Niño-Oscilação Sul (ENSO) e a Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC) no Brasil.



Realization:

instituto  
**abradee**



HostCompany:

**CEMIG**



# Introdução ao ENSO e ao Índice Oceânico de El Niño (ONI)

## 1 Definição do ENSO

O El Niño-Oscilação Sul (ENSO) é um fenômeno climático que envolve variações de temperatura na superfície do Oceano Pacífico e alterações na circulação atmosférica. Existem duas fases principais: El Niño e La Niña que afetam os padrões climáticos globais.

## 2 Índice Oceânico de El Niño (ONI)

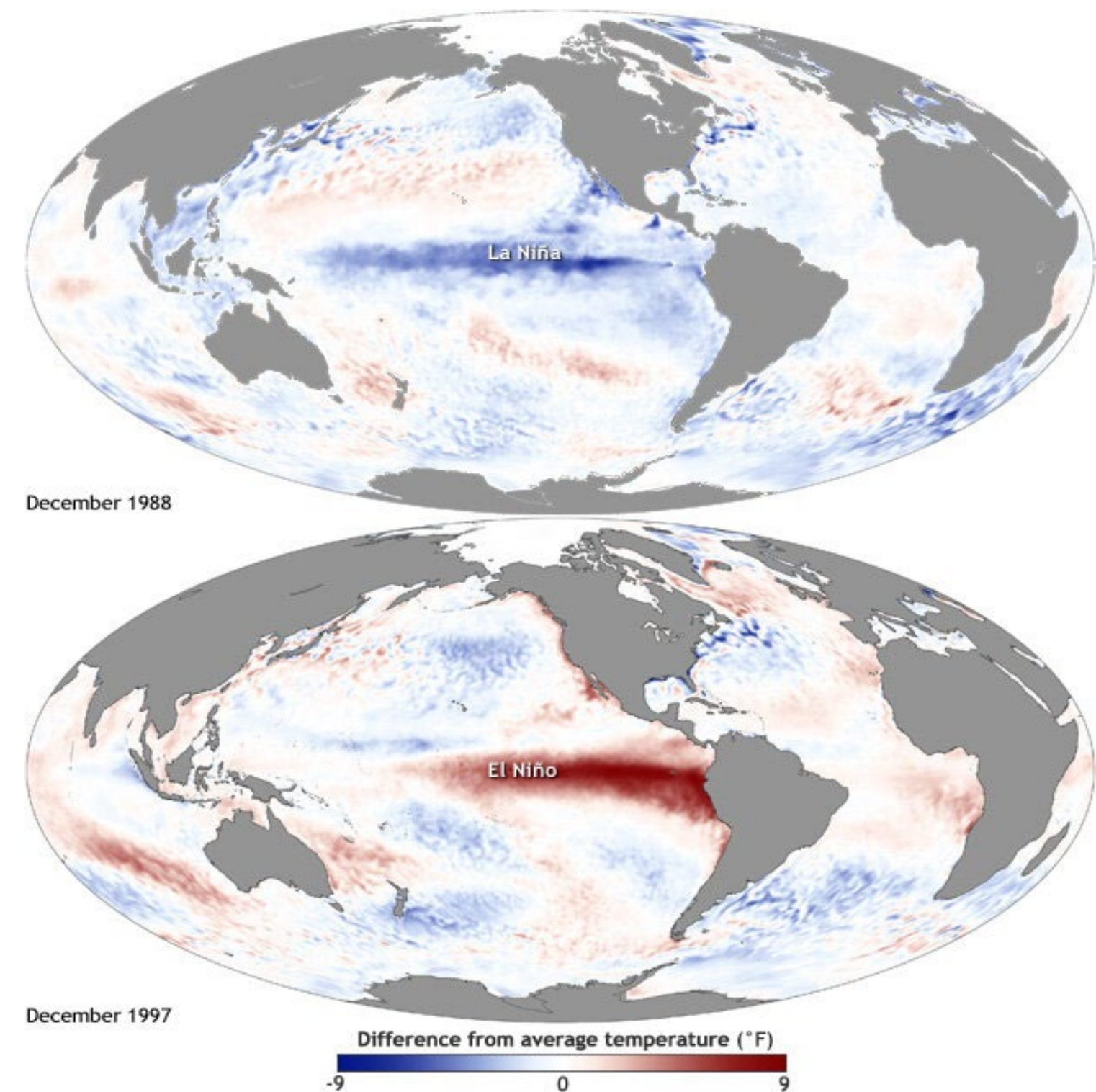
O ONI é o principal indicador utilizado para monitorar a intensidade e a fase do ENSO. Calculado com base na média das anomalias de temperatura da superfície do mar em uma região específica do Pacífico. Valores positivos indicam El Niño, enquanto valores negativos indicam La Niña.

## 3 Efeitos Climáticos no Brasil

El Niño: Geralmente associado a secas no Norte e Nordeste e chuvas intensas no Sul e Sudeste.

La Niña: Tendência a maior umidade no Norte e Nordeste e seca no Sul.

O NOAA declara o início de um episódio de El Niño quando a saída da temperatura média da superfície do mar em 3 meses excede 0,5°C no Pacífico equatorial centro-leste [entre 5°N-5°S e 170°W-120°W].



Realization:

HostCompany:

instituto  
**abradee**



**CEMIG**



# Introdução ao ENSO e ao Índice Oceânico de El Niño (ONI)

## 1 Definição do ENSO

O El Niño-Oscilação Sul (ENSO) é um fenômeno climático que envolve variações de temperatura na superfície do Oceano Pacífico e alterações na circulação atmosférica. Existem duas fases principais: El Niño e La Niña que afetam os padrões climáticos globais.

## 2 Índice Oceânico de El Niño (ONI)

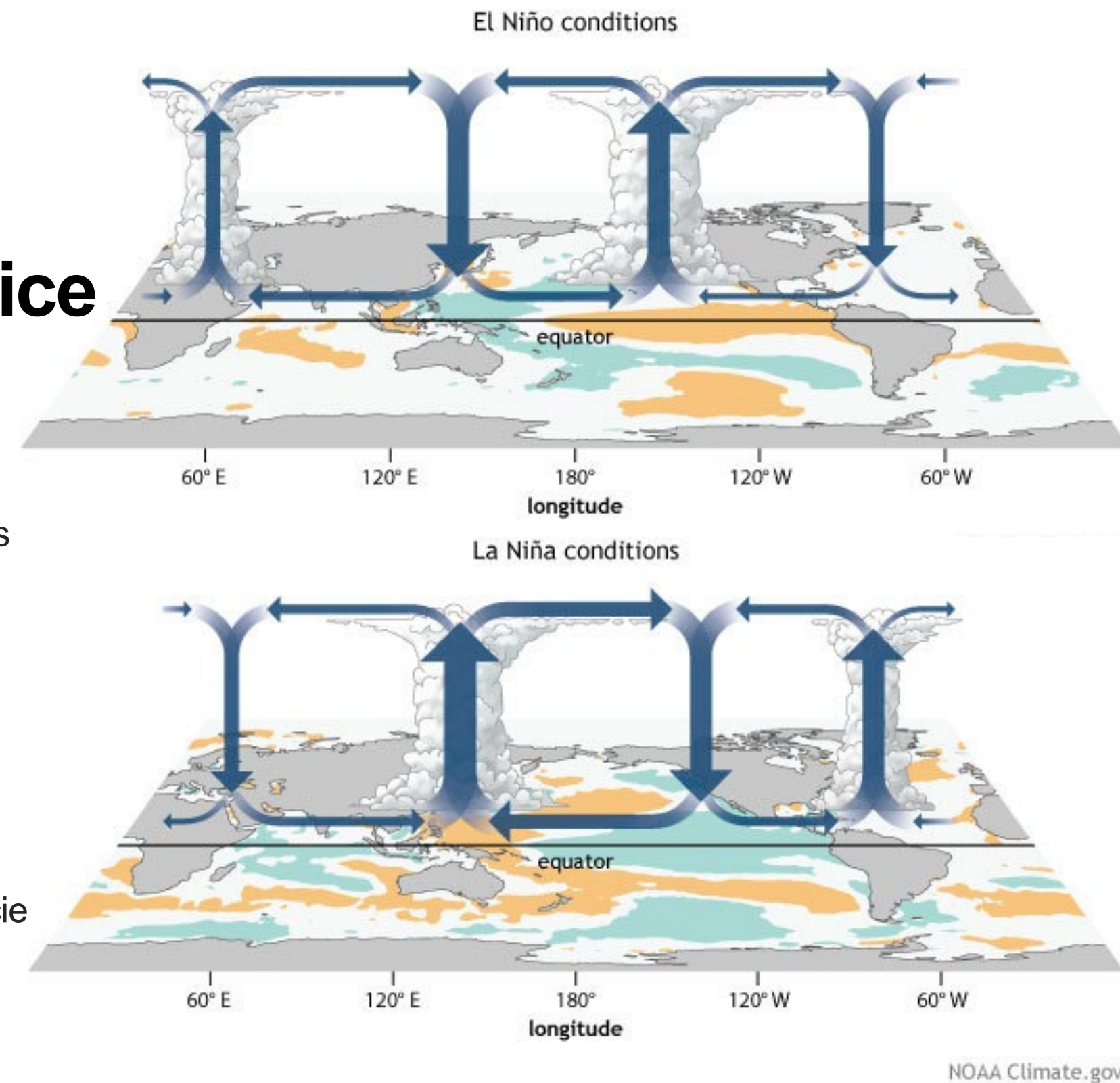
O ONI é o principal indicador utilizado para monitorar a intensidade e a fase do ENSO. Calculado com base na média das anomalias de temperatura da superfície do mar em uma região específica do Pacífico. Valores positivos indicam El Niño, enquanto valores negativos indicam La Niña.

## 3 Efeitos Climáticos no Brasil

El Niño: Geralmente associado a secas no Norte e Nordeste e chuvas intensas no Sul e Sudeste.

La Niña: Tendência a maior umidade no Norte e Nordeste e seca no Sul.

O NOAA declara o início de um episódio de El Niño quando a saída da temperatura média da superfície do mar em 3 meses excede  $0,5^{\circ}\text{C}$  no Pacífico equatorial centro-leste [entre  $5^{\circ}\text{N}$ - $5^{\circ}\text{S}$  e  $170^{\circ}\text{W}$ - $120^{\circ}\text{W}$ ].



Realization:

HostCompany:

instituto  
**abradee**

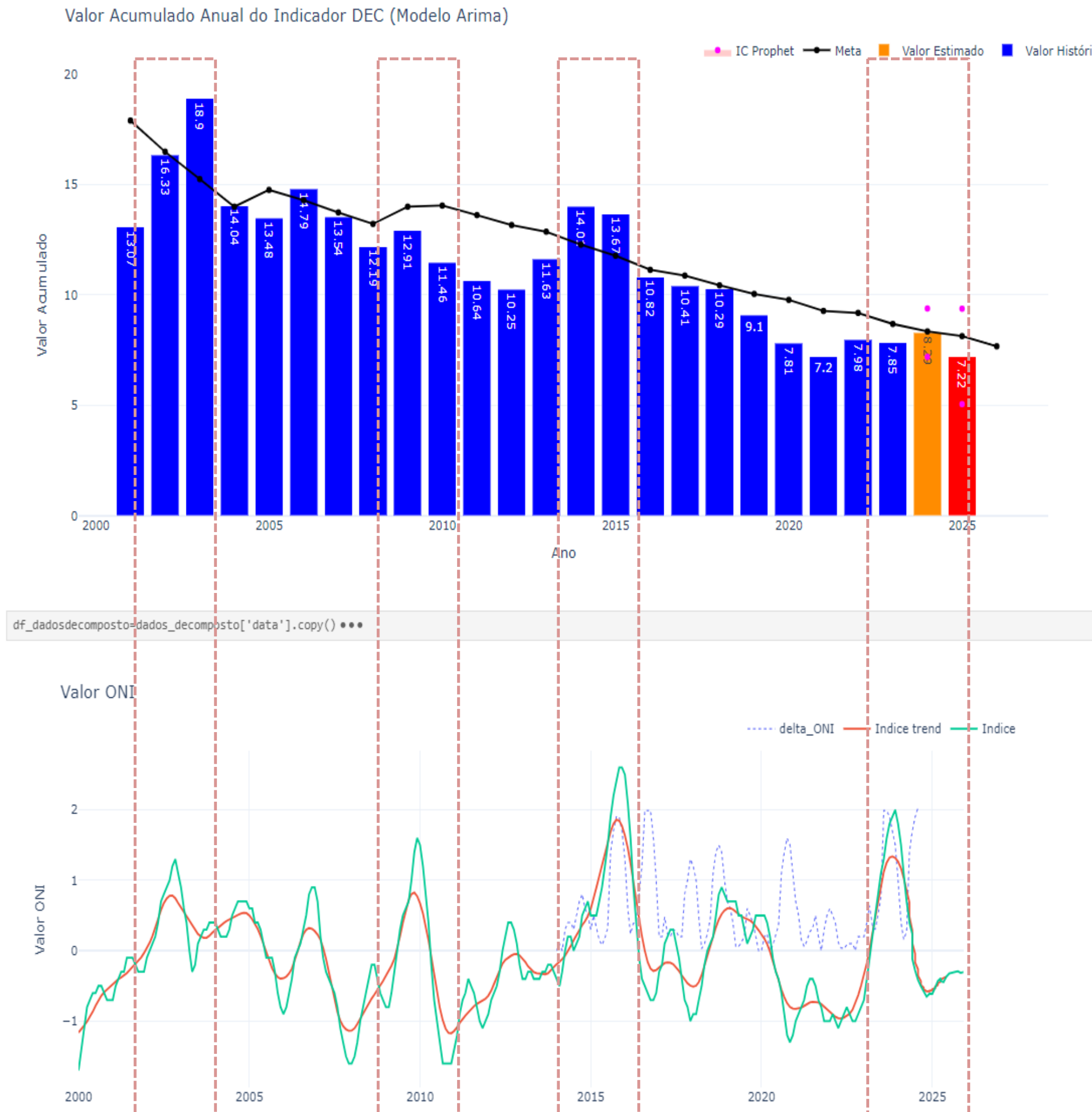


**CEMIG**

# Impacto do ENSO no DEC

## Relação entre ENSO e DEC

O DEC é influenciado por eventos climáticos extremos causados pelo ENSO. Por exemplo, durante o El Niño, tempestades intensas no Sul podem levar a um aumento significativo no DEC devido a danos à infraestrutura.

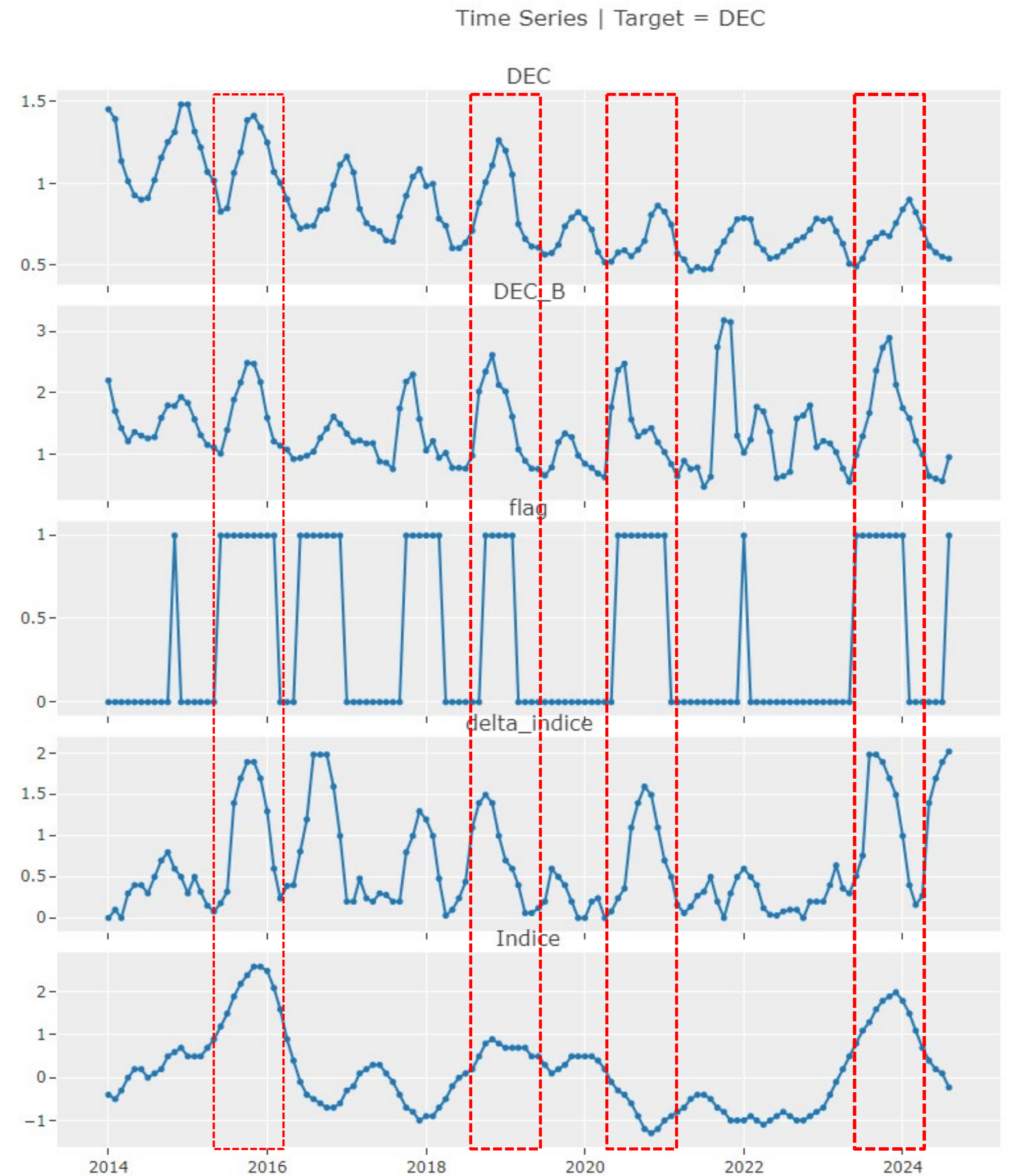
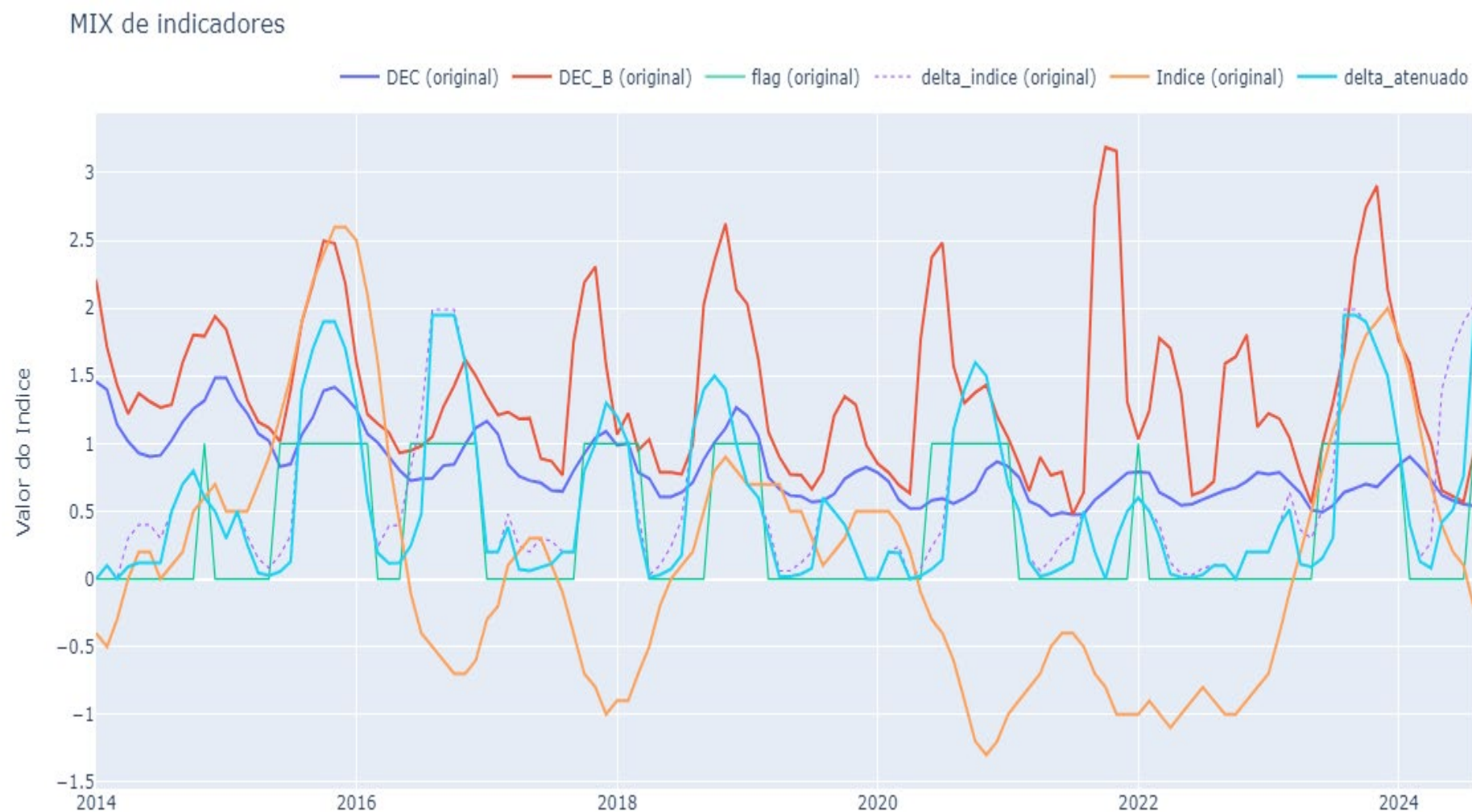




# Impacto do ENSO no DEC

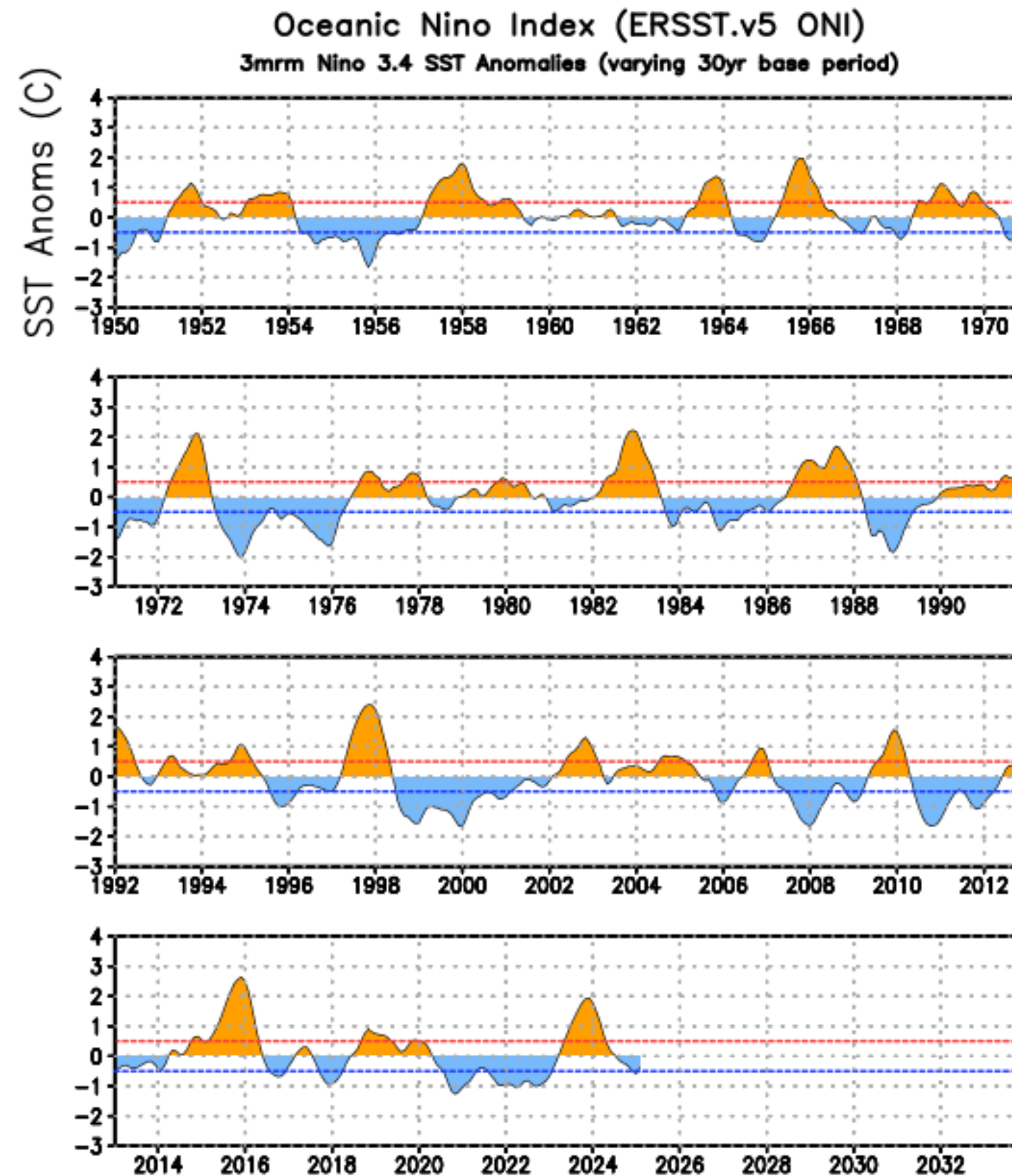
## Relação entre ENSO e DEC

O DEC Bruto (DEC\_B) é influenciado por eventos climáticos extremos causados pelo ENSO. Por exemplo, durante o El Niño, tempestades intensas no Sul podem levar a um aumento significativo no DEC devido a danos à infraestrutura.



# ONI (°C): Evolution since 1950

The most recent ONI value (January - March 2025) is  $-0.4^{\circ}\text{C}$ .



El Niño ↑  
Neutral  
La Niña ↓

Realization:

instituto  
abradee



HostCompany:

CEMIG



# Históricos de El Niño e La Niña (ERSST.v5)

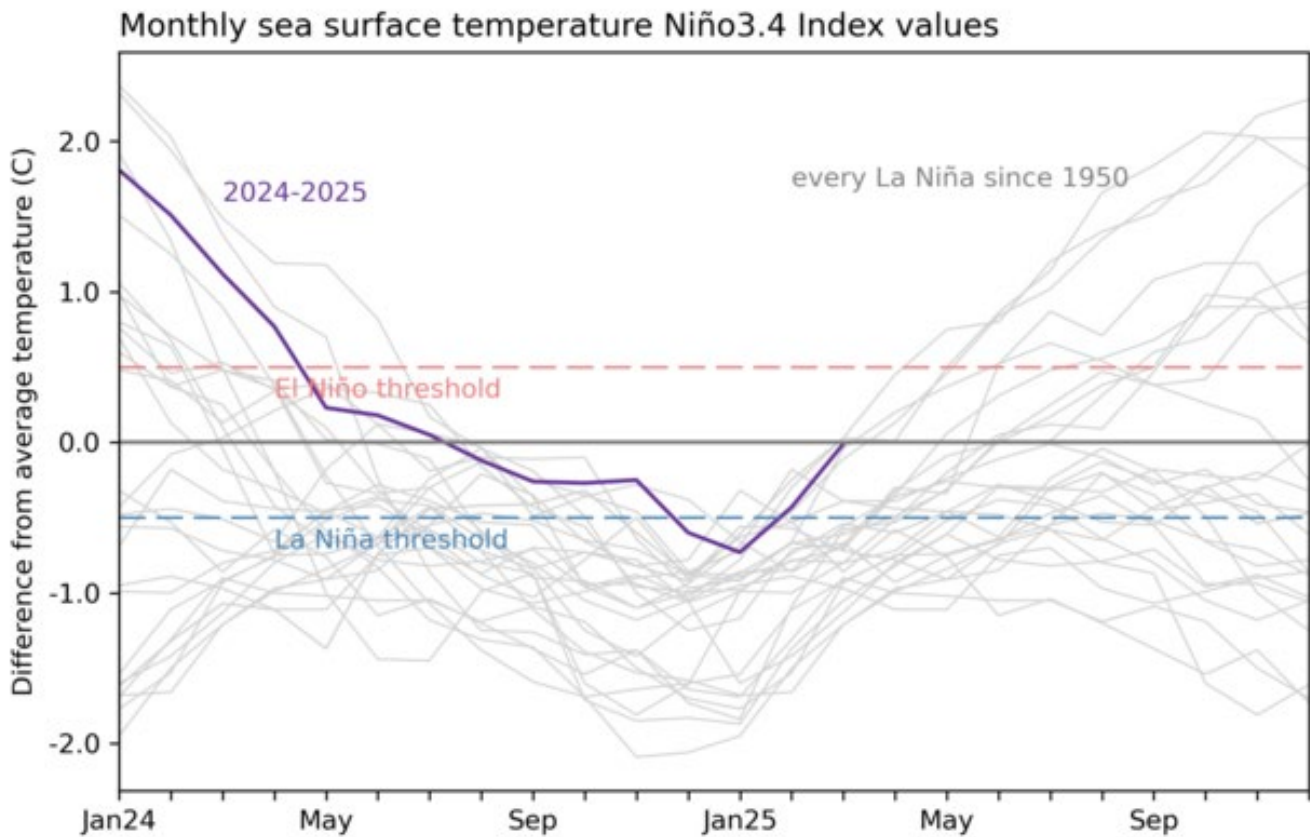
Base de cálculo: anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (SST) na região Niño 3.4 (5° N-5° S; 120° - 170° W). Fonte de dados: média móvel de 3 meses das SST (ERSST.v5).

Critério de classificação.

- El Niño:  $ONI \geq +0,5^{\circ}C$  por  $\geq 5$  trimestres consecutivos
- La Niña:  $ONI \leq -0,5^{\circ}C$  por  $\geq 5$  trimestres consecutivos

Representação visual

Vermelho: períodos “quentes” (El Niño) e Azul: períodos “frios” (La Niña)



Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2013	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.4	-0.5	-0.3	0.0	0.2	0.2	0.0	0.1	0.2	0.5	0.6	0.7
2015	0.5	0.5	0.5	0.7	0.9	1.2	1.5	1.9	2.2	2.4	2.6	2.6
2016	2.5	2.1	1.6	0.9	0.4	-0.1	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7	-0.6
2017	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	-0.1	-0.4	-0.7	-0.8	-1.0
2018	-0.9	-0.9	-0.7	-0.5	-0.2	0.0	0.1	0.2	0.5	0.8	0.9	0.8
2019	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5	0.3	0.1	0.2	0.3	0.5	0.5
2020	0.5	0.5	0.4	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.6	-0.9	-1.2	-1.3	-1.2
2021	-1.0	-0.9	-0.8	-0.7	-0.5	-0.4	-0.4	-0.5	-0.7	-0.8	-1.0	-1.0
2022	-1.0	-0.9	-1.0	-1.1	-1.0	-0.9	-0.8	-0.9	-1.0	-1.0	-0.9	-0.8
2023	-0.7	-0.4	-0.1	0.2	0.5	0.8	1.1	1.3	1.6	1.8	1.9	2.0
2024	1.8	1.5	1.1	0.7	0.4	0.2	0.0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5
2025	-0.6	-0.4										

Realization:

HostCompany:

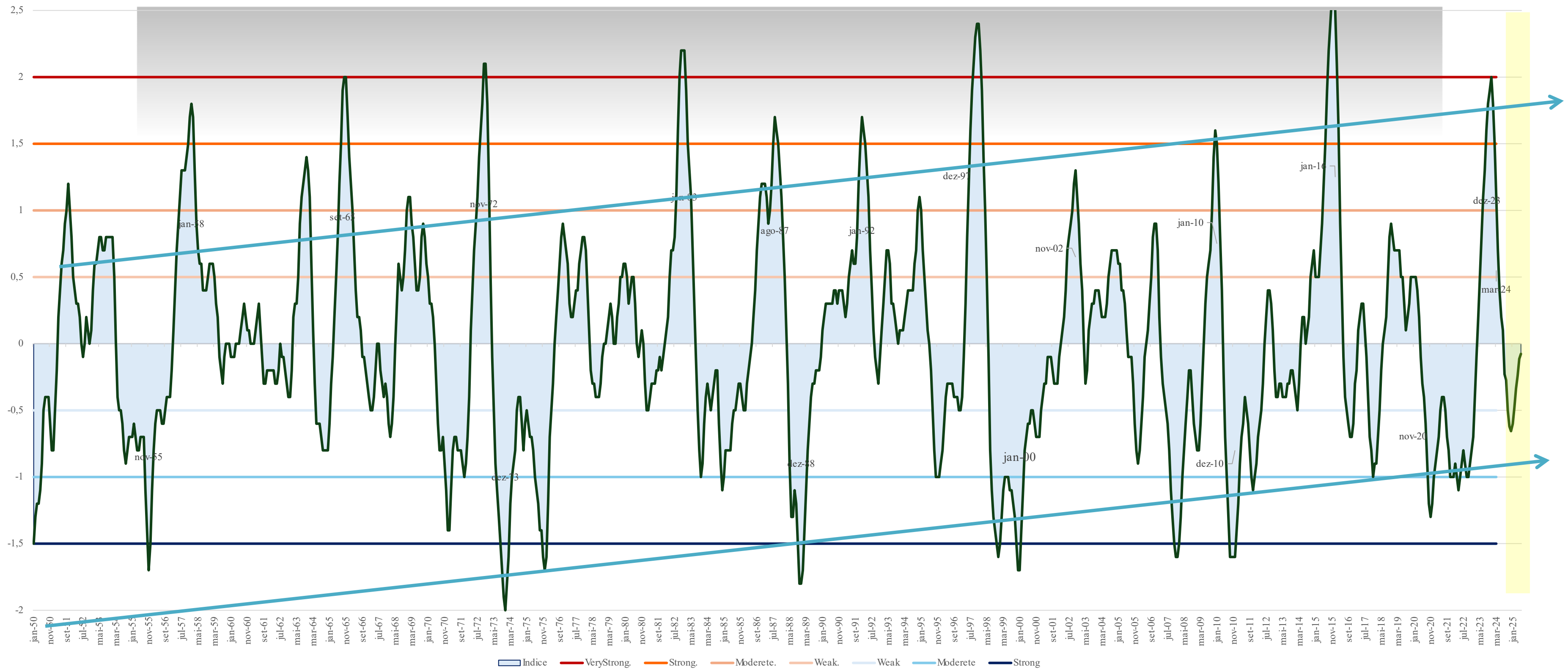
instituto  
abradee



CEMIG



# Episódios históricos de El Niño e La Niña com base no ONI calculado usando ERSST.v5



# IRI Pacific Niño 3.4 SST Model Outlook

A maioria dos modelos indica que o estado ENSO-neutro deverá prevalecer durante o outono e o inverno do Hemisfério Norte de 2025-2026.

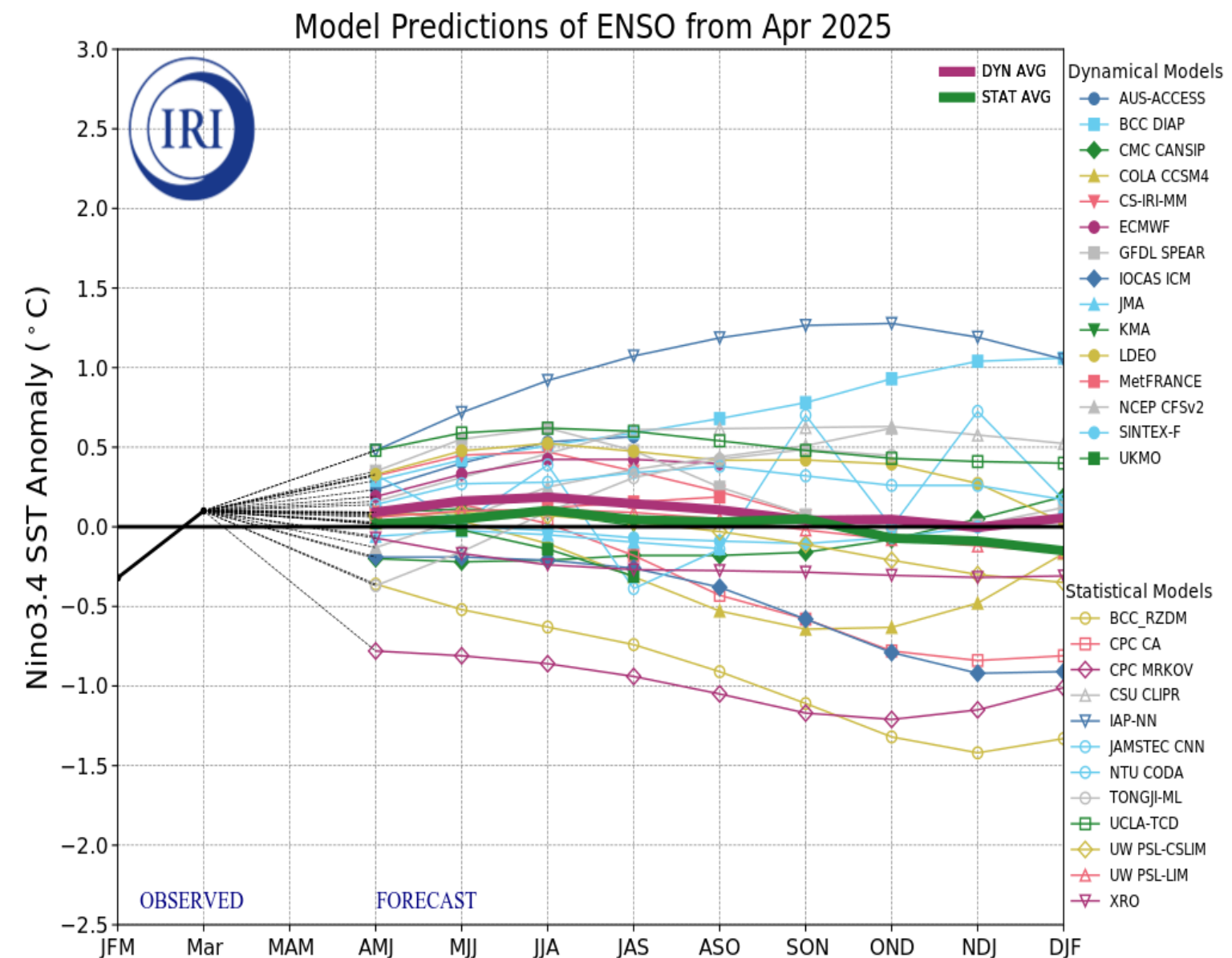
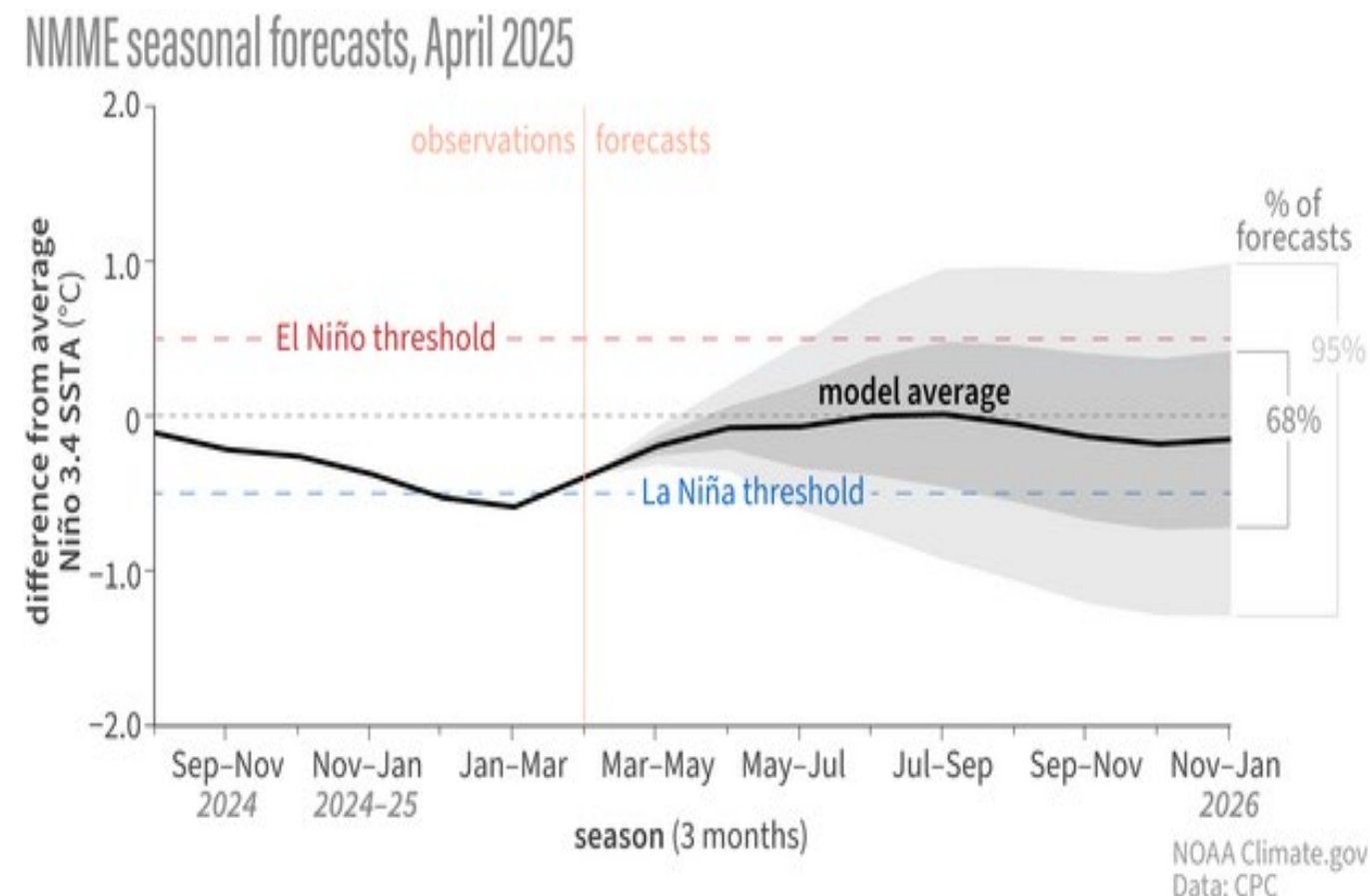
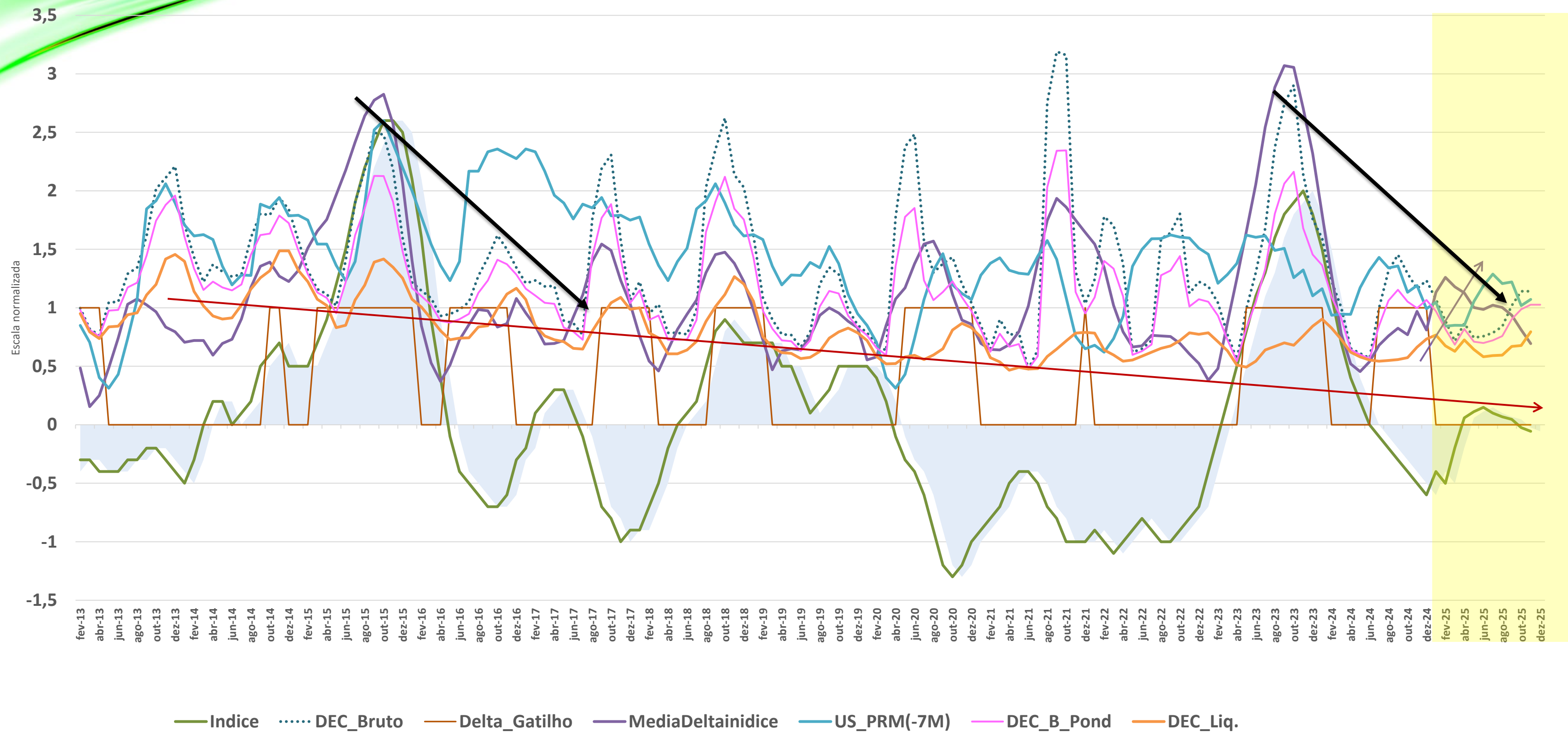


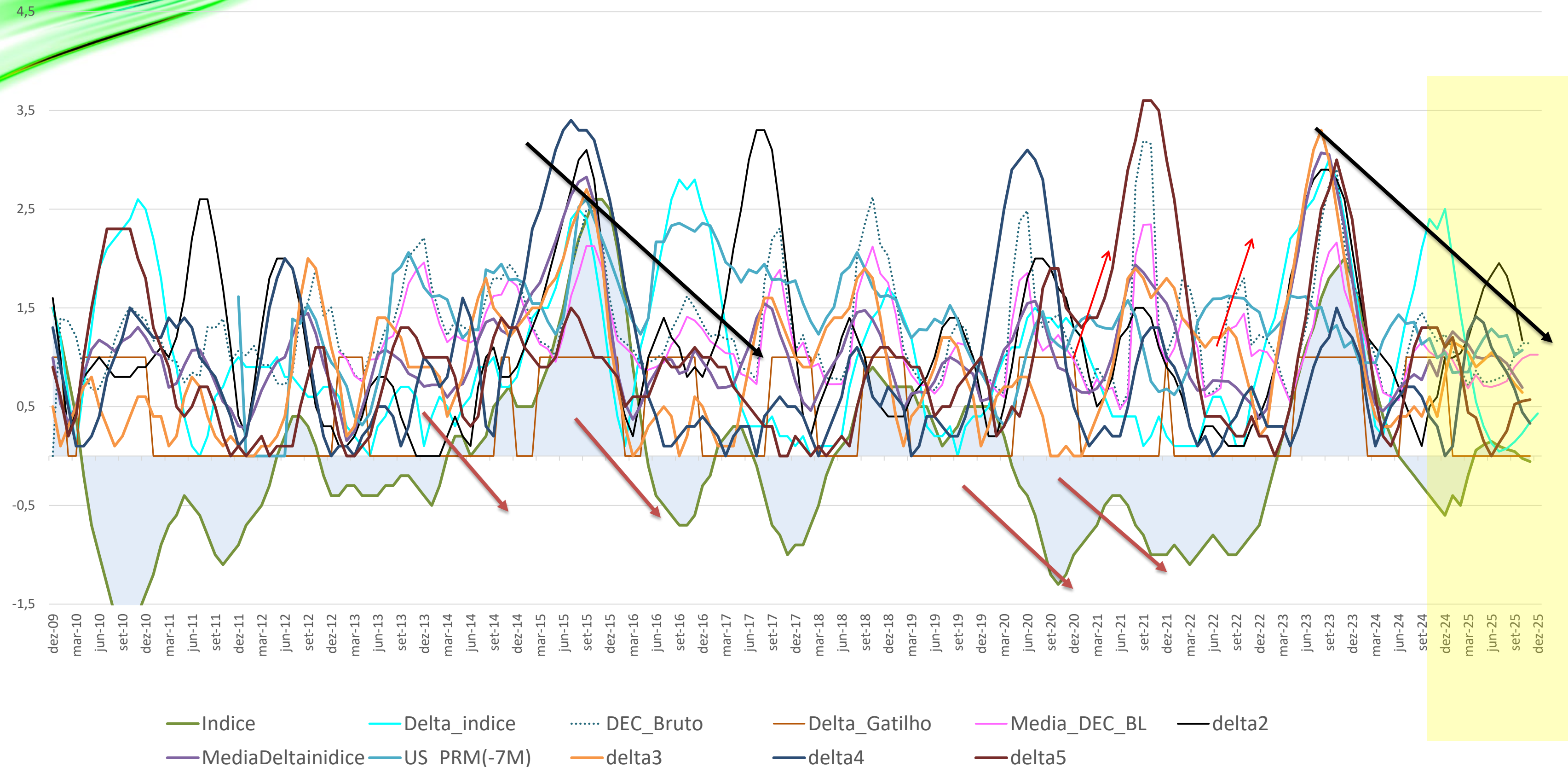
Figure provided by the International Research Institute (IRI) for Climate and Society (updated 21 April 2025).



# Relação “novo\_delta” e DEC

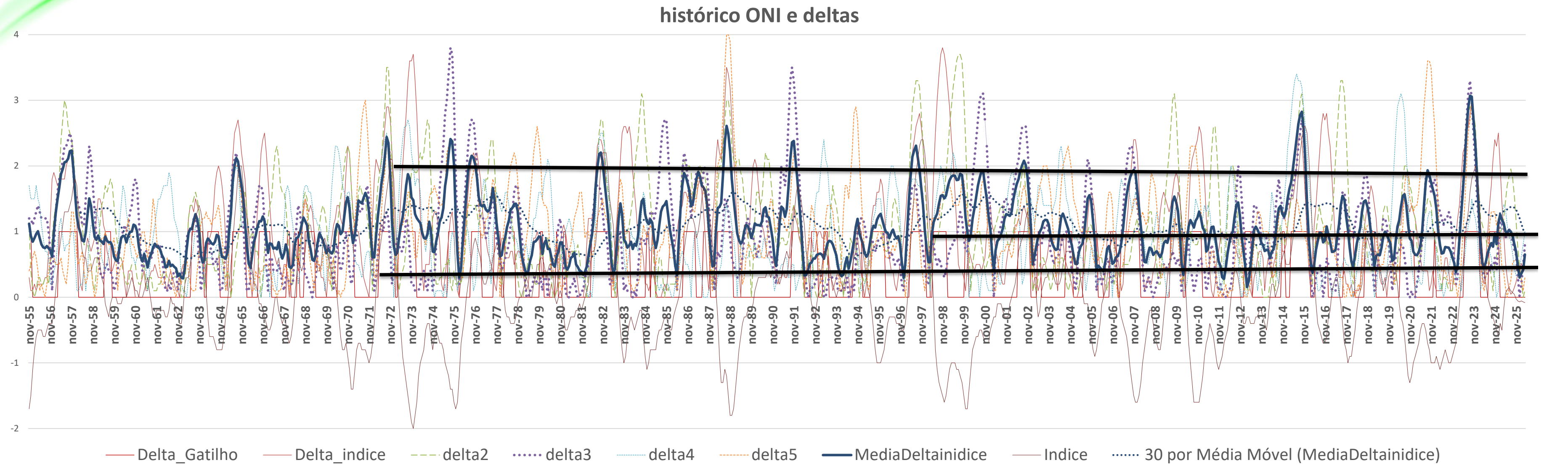


# Relação “deltas” e DEC



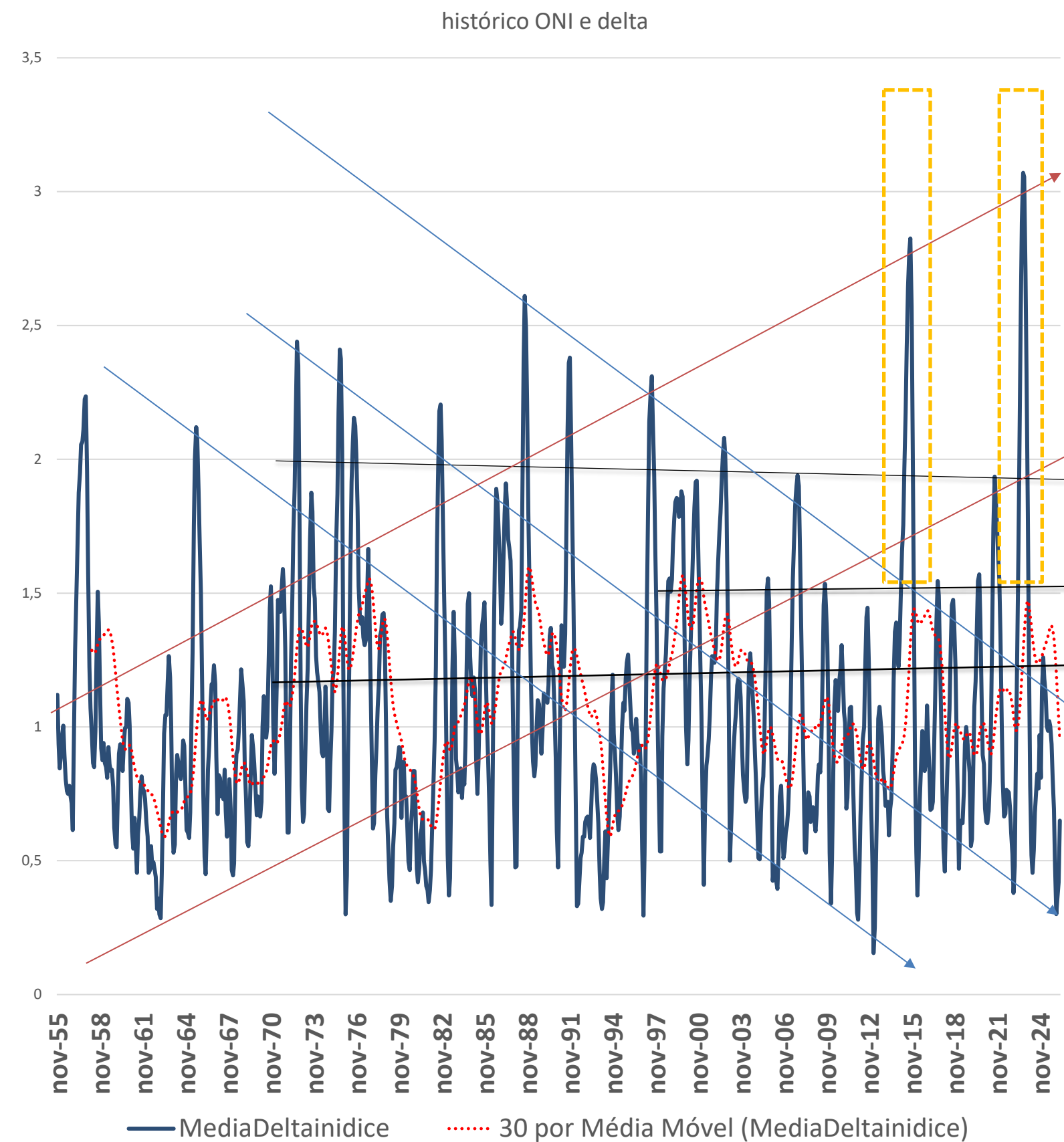


# Relação “deltas” e DEC



15	22	37	55	72
Delta_indice	delta2	delta3	delta4	delta5
15%	20%	45%	15%	15%

# Relação “deltas” e DEC







# Modelagem Preditiva do DEC

## Modelos de Séries Temporais



### PROPHET

Útil para capturar tendências e sazonalidades anuais e mensais, oferecendo previsões ajustáveis conforme nos dados climáticos



### SARIMAX

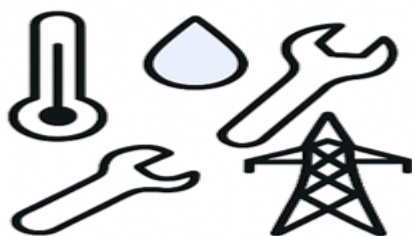
Modelo robusto que considera a sazonalidade e a inclusão de variáveis exógenas como ONI para previsão de DEC



### LSTM

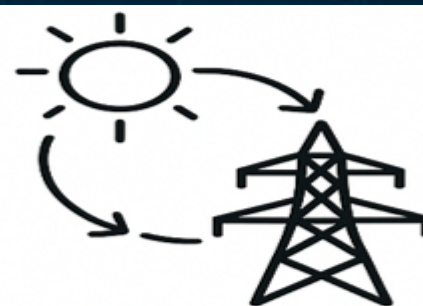
(REDES NEURAIS)

Capaz de capturar padrões complexos e não lineares, adequado para previsão de longo prazo considerando múltiplas variáveis



#### Variáveis Múltiplas

Integração de dados climáticos (ONI, precipitação) e operacionais (manutenção, infraestrutura).



#### Sazonalidade

Considerar ciclos climáticos anuais e sua interação com a rede elétrica.



0 5 10 15 18



# Predição com Pycaret

## Configurar o ambiente do PyCaret e Criar os modelos - DEC\_B

```
import warnings
import pandas as pd
import numpy as np
from pycaret.time_series import TSForecastingExperiment
import matplotlib.pyplot as plt
from pycaret.time_series import *

# Suprimir avisos
warnings.filterwarnings("ignore")
# Carregar os dados do arquivo Excel
file_path = 'Hist_aDEC_us.xlsx' #
xls = pd.ExcelFile(file_path)
# Carregar os dados das abas "Histórico" e "Previsão"
historical_data = pd.read_excel(xls, sheet_name='Historico')
forecast_data = pd.read_excel(xls, sheet_name='previsao')
```

```
alvo='DEC_B'
exog_vars_temp = ['flag', 'delta_indice', 'Indice'] if alvo == 'DEC_B' else ['DEC_B', 'flag', 'delta_indice', 'Indice']
colunas=['index',alvo]+exog_vars_temp

# Configurar o ambiente do PyCaret
setup(data=dados[colunas], target=alvo, index='index', fold=3, session_id=1234, fh=12, seasonal_period=12,
      numeric_imputation_target='mean', numeric_imputation_exogenous='mean', verbose=False)

prophet_modelB =create_model('prophet', verbose=False) # este modelo não eh usando para pegar previsão Insample
arima_modelB =create_model('auto_arima', verbose=False)

comparacao=compare_models()
```

	Model	MASE	RMSSE	MAE	RMSE	MAPE	SMAPE	R2	TT (Sec)
br_cds_dt	Bayesian Ridge w/ Cond. Deseasonalize & Detrending	1.7810	1.4329	0.4474	0.5342	0.3736	0.3305	0.2066	1.8367
lr_cds_dt	Linear w/ Cond. Deseasonalize & Detrending	1.7813	1.4175	0.4477	0.5292	0.3796	0.3310	0.2094	1.7800
ridge_cds_dt	Ridge w/ Cond. Deseasonalize & Detrending	1.7842	1.4445	0.4482	0.5380	0.3715	0.3311	0.1992	1.7800
huber_cds_dt	Huber w/ Cond. Deseasonalize & Detrending	1.8332	1.4544	0.4619	0.5408	0.3699	0.3373	0.1458	1.8133
auto_arima	Auto ARIMA	1.8568	1.5030	0.4621	0.5560	0.4138	0.3144	0.2916	2.1767
catboost_cds_dt	CatBoost Regressor w/ Cond. Deseasonalize & Detrending	1.9465	1.7312	0.4866	0.6338	0.3485	0.3543	0.0009	0.9267
et_cds_dt	Extra Trees w/ Cond. Deseasonalize & Detrending	1.9590	1.7693	0.4915	0.6526	0.3661	0.3444	0.0508	0.7567
arima	ARIMA	1.9783	1.5775	0.4981	0.5921	0.4474	0.3547	0.0876	1.5400
knn_cds_dt	K Neighbors w/ Cond. Deseasonalize & Detrending	2.0439	1.7873	0.5143	0.6669	0.3650	0.3745	-0.1159	0.4267

Realization:

HostCompany:

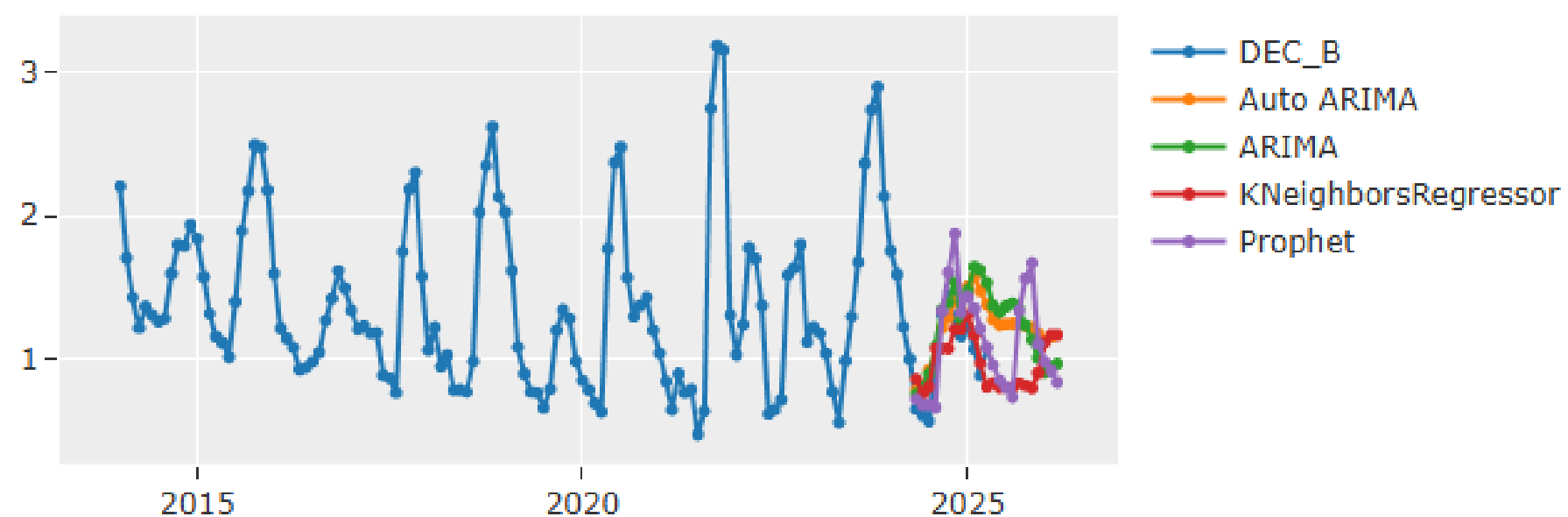


# Predição com Pycaret

```
plot_model([arima_modelB,sarimax_modelo,knn_cds_dt_model,prophet_modelB],plot='forecast',data_kwargs={'fh':len(df_exog2), 'X':df_exog2[exog_vars_temp]})
```



Actual vs. Forecast (Out-of-Sample)

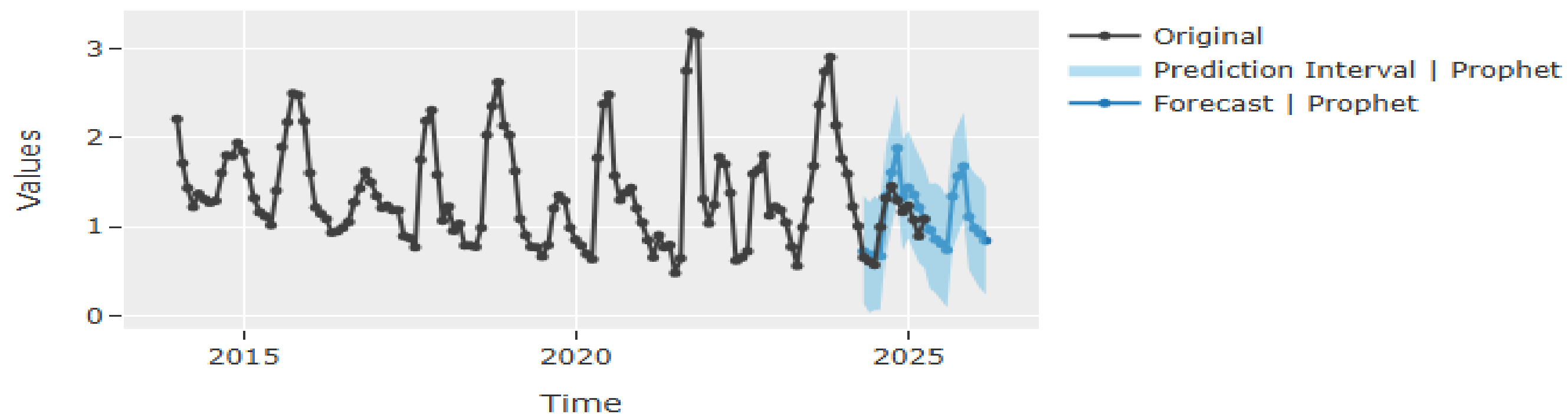


Realization:

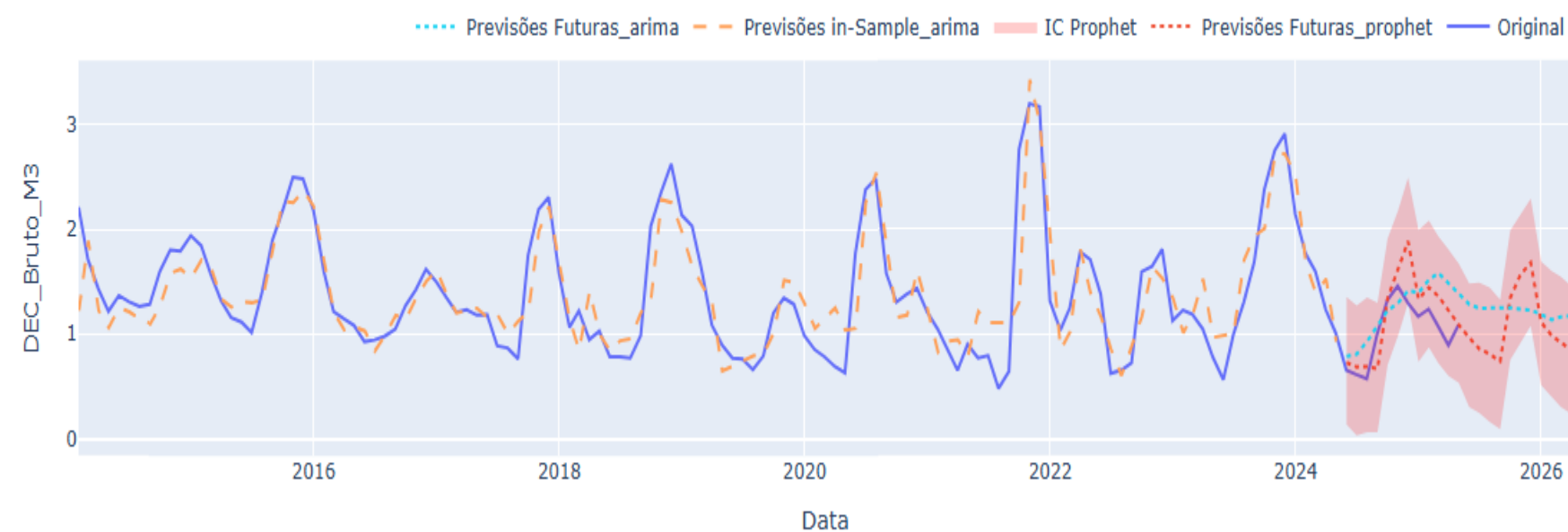
HostCompany:

# Predição com Pycaret

Actual vs. 'Out-of-Sample' Forecast | DEC\_B



DEC Bruto



Realization:

instituto  
**abradee**



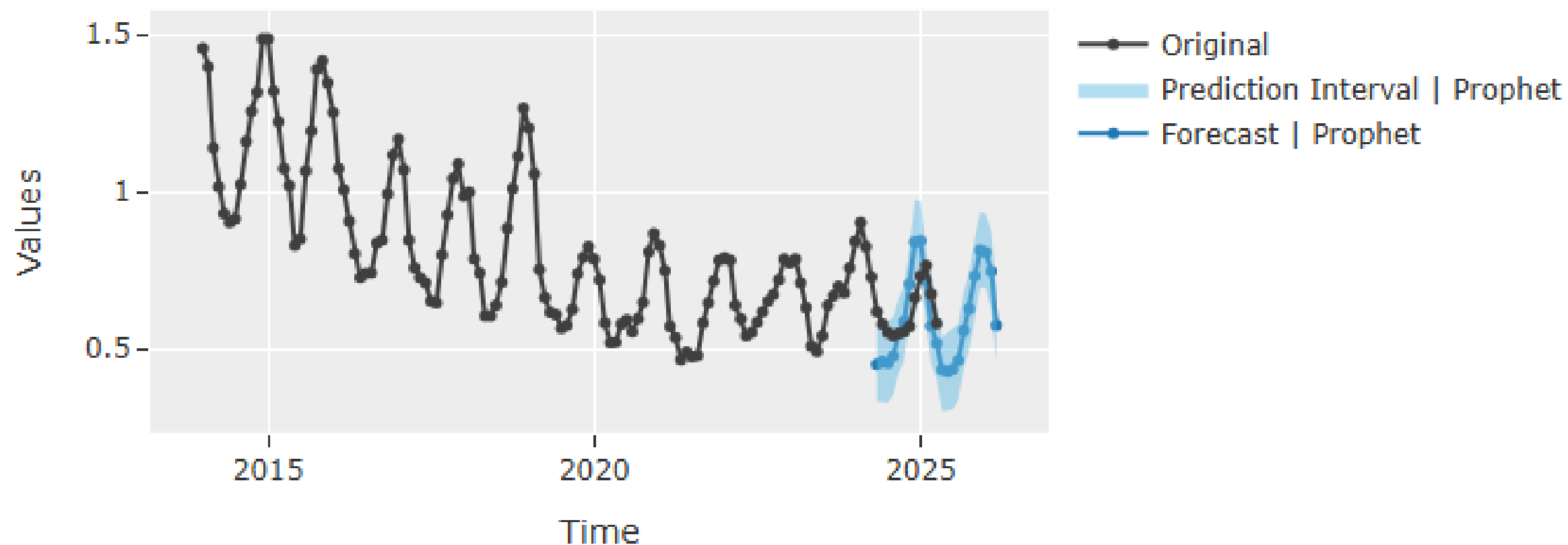
HostCompany:





# Predição com Pycaret

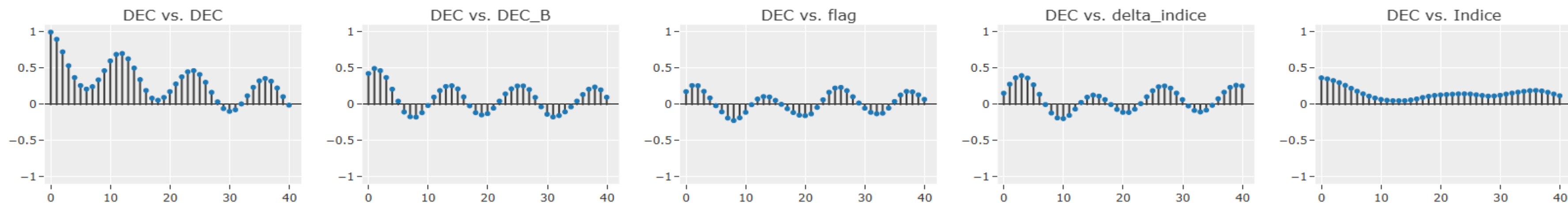
Actual vs. 'Out-of-Sample' Forecast | DEC



```
plot_model(prophet_model, plot='ccf', data_kwargs={'fh': len(df_exogn), 'x': df_exogn})
```

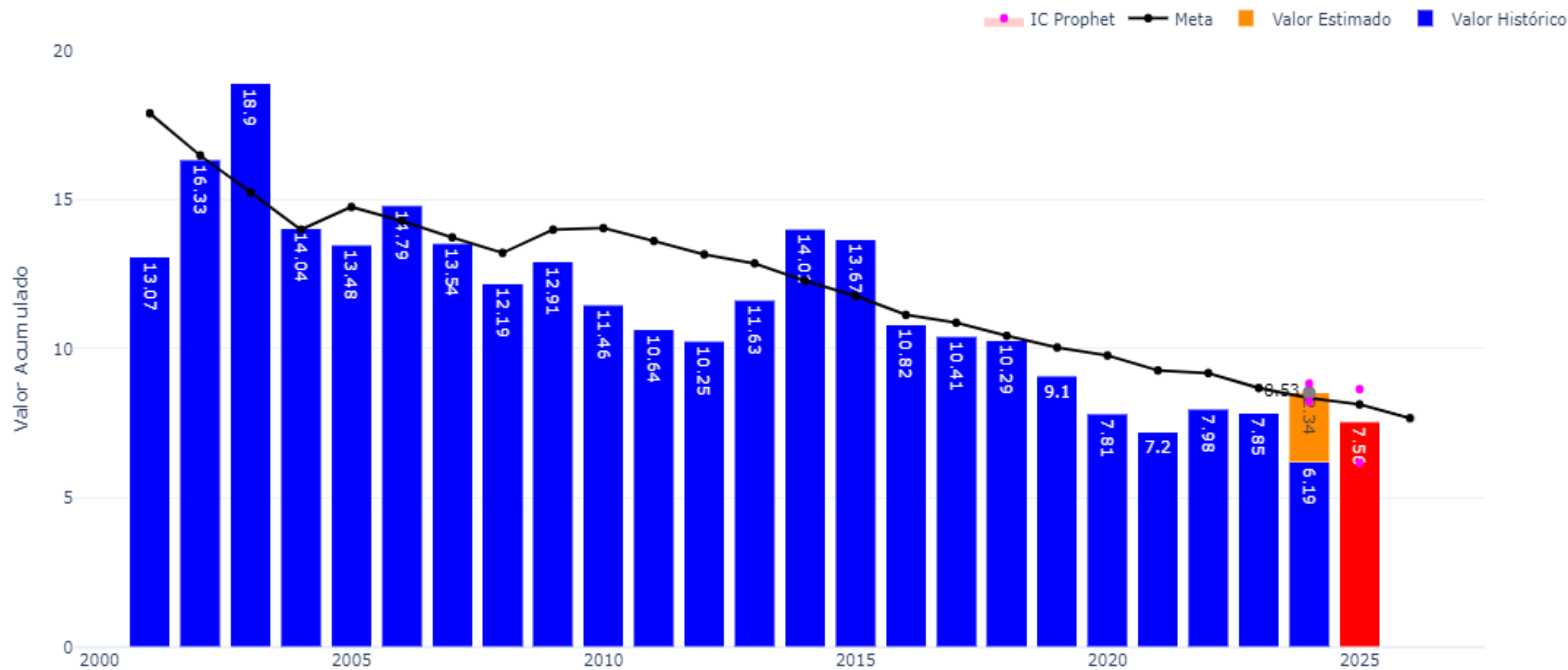
🔍 ⬆ ⬇ ⬅ ⬆

Cross Correlation Plot(s) | DEC (transformed)

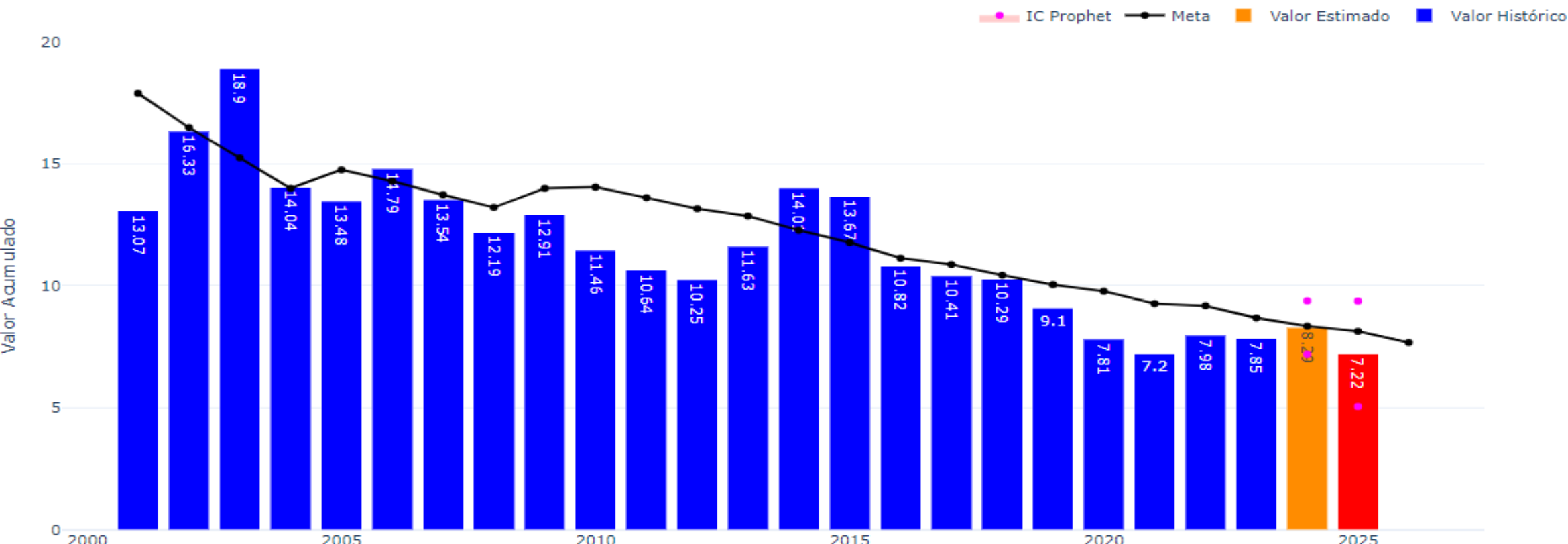


# Estimativas de DEC 2024/2025

Valor Acumulado Anual do Indicador DEC

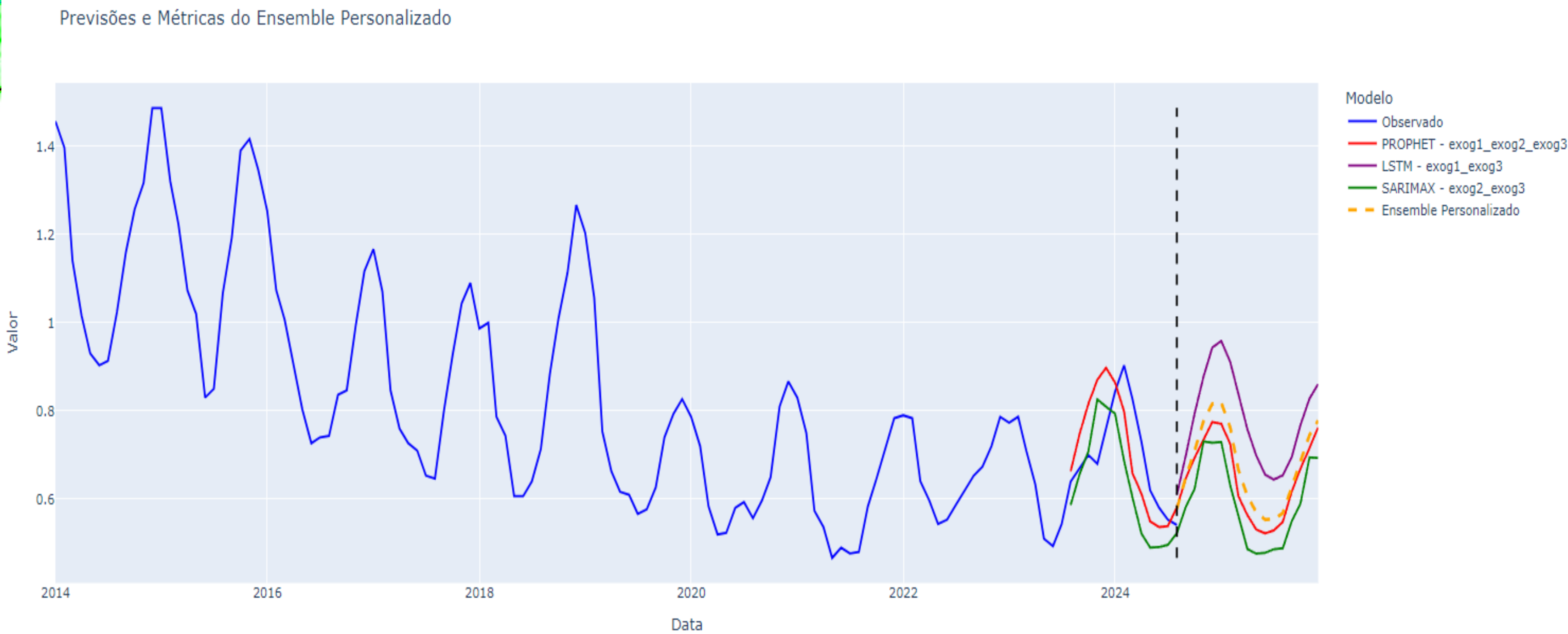


Valor Acumulado Anual do Indicador DEC (Modelo Arima)



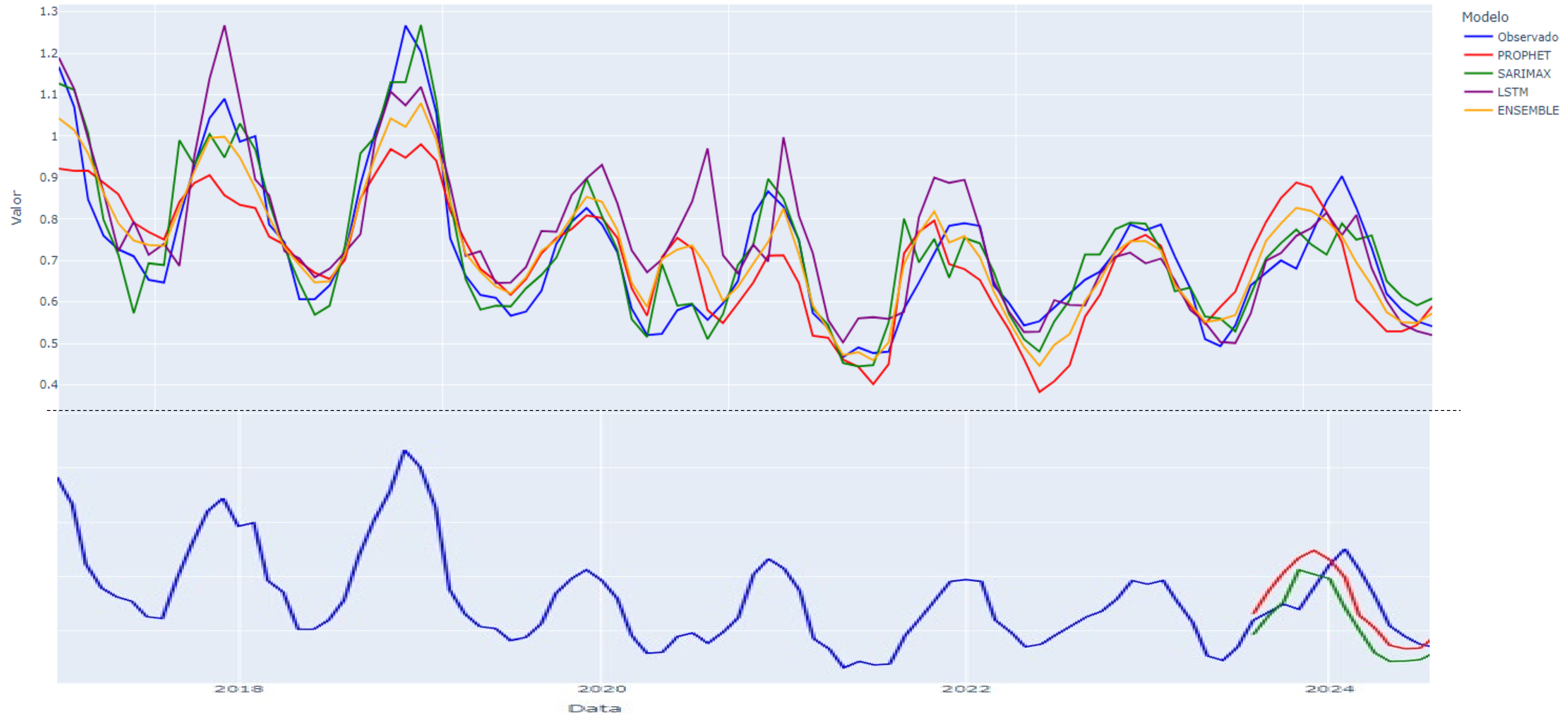


# Estimativas - Modelos vs Variáveis



Modelo - Combinação	RMSSE	MAE	MAPE	MASE	SMAPE
PROPHET - exog1_exog2_exog3	2.0604	0.1406	18.9605	2.0898	18.0342
LSTM - exog1_exog3	1.3005	0.0941	12.8454	1.3685	11.9137
SARIMAX - exog2_exog3	1.6759	0.0980	13.3572	1.6023	12.8567

# Back test - Modelos





# Implicações para a Gestão da Rede Elétrica

1

## Estratégias de Manutenção

Antecipar eventos climáticos adversos para planejar manutenções preventivas e mitigar interrupções. Controle de Vegetação: Intensificar o controle em áreas suscetíveis a tempestades durante El Niño.

2

## Investimentos em Infraestrutura

Fortalecer a rede elétrica em regiões mais impactadas por eventos ENSO para reduzir o DEC.

3

## Uso das Previsões Climáticas

Integração das previsões do ENSO/ONI nos planos estratégicos de curto e médio prazo. Recomendações: Desenvolver sistemas de monitoramento contínuo e ajuste de planos de contingência com base nas previsões climáticas.





# Conclusão

**Resumo das Descobertas** O ENSO, monitorado pelo ONI, influencia significativamente o DEC, especialmente em regiões com maior suscetibilidade a variações climáticas. A previsão do ENSO deve ser integrada à gestão operacional para otimizar a continuidade do serviço.

**Importância da Integração de Previsões Climáticas** A antecipação e preparação para eventos ENSO é essencial para manter a resiliência da rede elétrica e a satisfação do consumidor.

Realization:

instituto  
**abradee**



HostCompany:

**CEMIG**



# Conclusão

## Resumo das Descobertas

O ENSO, monitorado pelo ONI, influencia significativamente o DEC, especialmente em regiões com maior suscetibilidade a variações climáticas. A previsão do ENSO deve ser integrada à gestão operacional para otimizar a continuidade do serviço.

## Importância da Integração de Previsões Climáticas

A antecipação e preparação para eventos ENSO é essencial para manter a resiliência da rede elétrica e a satisfação do consumidor.



Realization:

instituto  
**abradee**



HostCompany:

**CEMIG**





OBRIGADO!