El Niño como sistema não linear

O planeta literalmente possui “modos de oscilação” climática. E um deles consegue alterar chuva, temperatura, agricultura, rios, queimadas e enchentes em escala global.

2026-05-18

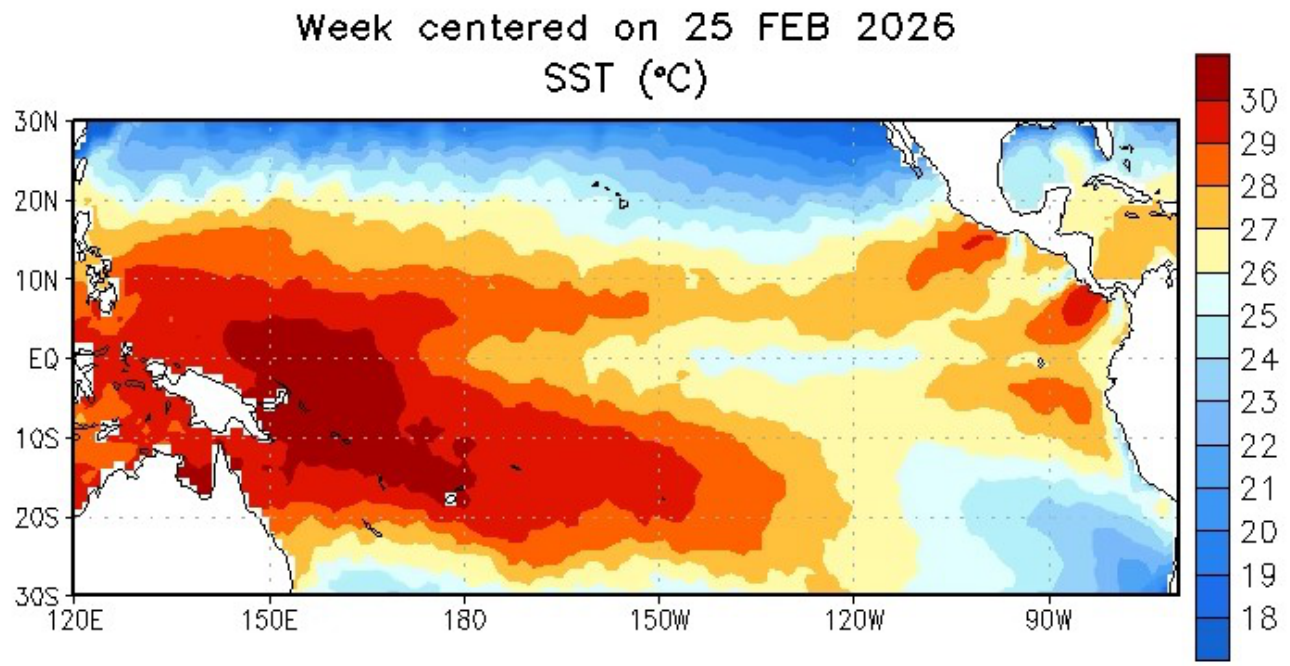


Figure 1: Capa do artigo

O planeta literalmente possui “modos de oscilação” climática. E um deles consegue alterar chuva, temperatura, agricultura, rios, queimadas e enchentes em escala global.

O nome disso é El Niño.

E entender esse fenômeno hoje virou questão de infraestrutura, economia e sobrevivência climática.

Oi eu sou a professora artemísia Weyl, Física e lider de time de ciência de Dados.

(Surface Sea Temperature, NWC/CPC - plot via ggplot)

Quando falamos de El Niño, muita gente pensa apenas em “o oceano ficou mais quente”, na prática, estamos falando de uma reorganização gigantesca do sistema oceano-atmosfera da Terra.

O nome técnico do fenômeno é ENSO: El Niño-Oscilação Sul. Ele possui três fases:

El Niño -> fase quente La Niña -> fase fria

Neutro -> sem grandes anomalias térmicas no Pacífico Equatorial

© Artemisia Weyl 2024–2026 — Todos os direitos reservados.

A principal região monitorada é chamada Niño 3.4.

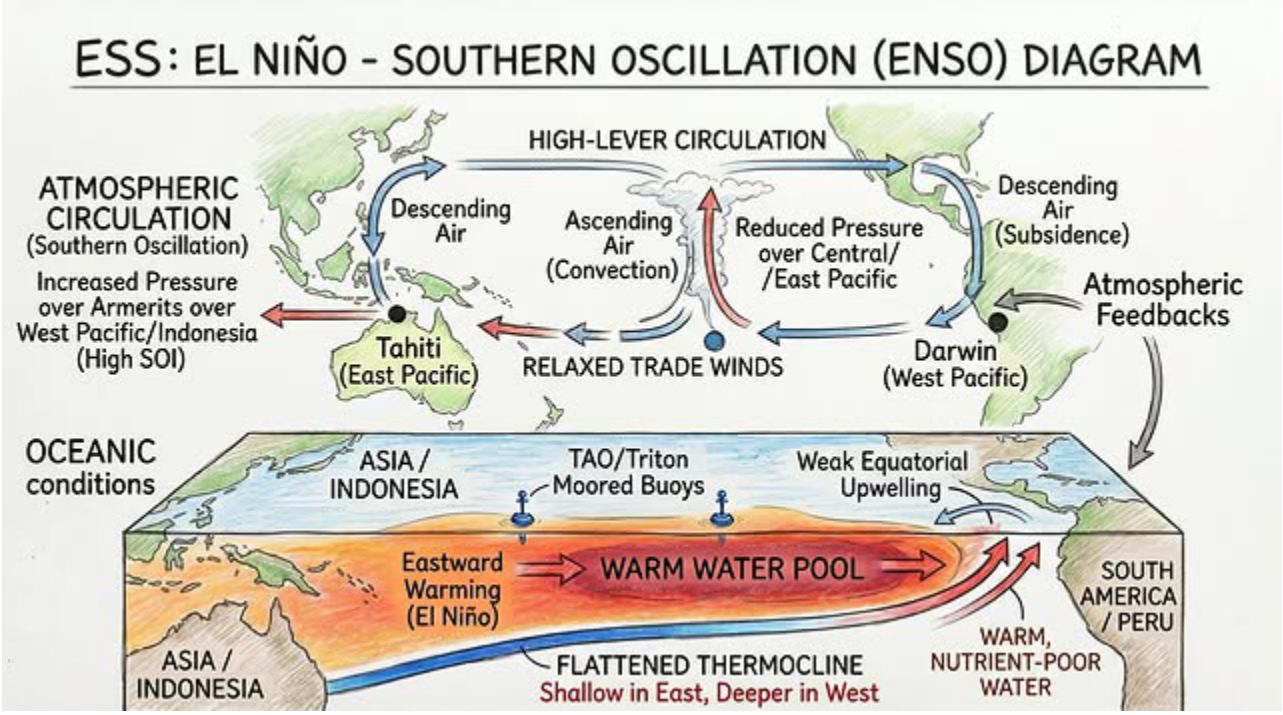


Figure 2: Imagem da publicação original

Quando a temperatura média ali permanece acima de +0,5 °C por meses consecutivos, considera-se oficialmente um evento de El Niño.

ENSO envolve acoplamento entre oceano e atmosfera da seguinte forma:

- O oceano altera os ventos.
- Os ventos alteram a chuva.
- A chuva altera a circulação atmosférica global.

normalmente, os ventos empurram águas quentes para o oeste do Pacífico, perto da Indonésia,enquanto isso, águas frias sobem próximo à América do Sul em um processo chamado ressurgência.

Durante o El Niño, os ventos enfraquecem ou até se invertem. Sem esse “empurrão”, a água quente se desloca para leste. O Pacífico central e oriental aquecem muito acima do normal. Esse deslocamento muda completamente onde a atmosfera forma nuvens e tempestades, e aí começa o efeito global do fenômeno:

Seca em algumas regiões, chuva extrema em outras e reorganização climática planetária.

Esse mecanismo é reforçado por algo chamado retroalimentação de Bjerknes.

menos diferença térmica -> ventos mais fracos -> mais aquecimento ->

ventos ainda mais fracos.

Ou seja, o próprio sistema amplifica a anomalia. Esse é um comportamento clássico de sistemas não lineares. E aqui entra dinâmica caótica.. Pequenas mudanças nas condições iniciais podem gerar resultados completamente diferentes meses depois.

Um dos modelos mais famosos para estudar isso foi desenvolvido por Geoffrey Vallis.

Ele adaptou conceitos do sistema de Lorenz para representar ventos, diferenças térmicas e profundidade da termoclina

© Artemisia Weyl 2024–2026 — Todos os direitos reservados.

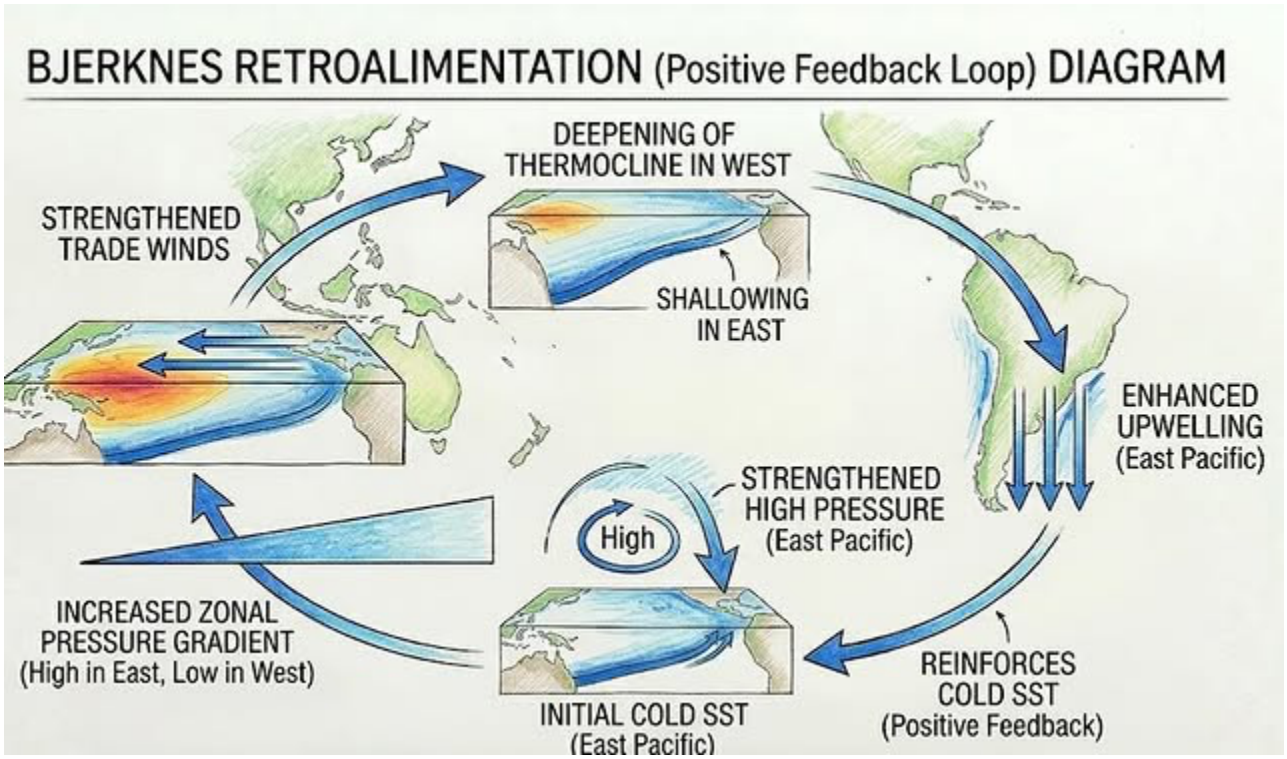


Figure 3: Imagem da publicação original

Na prática, isso significa que o ENSO emerge de uma dinâmica coletiva extremamente complexa. Por isso alguns eventos são fracos,outros viram eventos globais históricos.

Foi justamente tentando melhorar previsões que a física estatística começou a revolucionar os estudos climáticos recentes,principalmente usando teoria de redes complexas.

A ideia é quase enxergar o Pacífico como uma rede neural climática,Cada região funciona como um nó, e as correlações entre regiões criam conexões, E essas conexões mudam antes do El Niño emergir.

Pesquisadores como Ludescher e Havlin mostraram que antes de eventos el niño, regiões começam oscilar de forma sincronizada.

Essa sincronização funciona quase como um "modo cooperativo" do sistema climático„omo se partes distantes do oceano começassem a vibrar juntas antes da transição crítica.

Esses métodos ajudaram a ultrapassar algo chamado "barreira da primavera", pois historicamente, previsões feitas entre fevereiro e maio tinham baixa confiabilidade e as redes climáticas ampliaram o horizonte preditivo.

Agora entra o conceito de Super El Niño.

Ele normalmente está associado a anomalias persistentes acima de +2 °C na região Niño 3.4.

Num Super El Niño, o sistema atmosférico praticamente se reorganiza em escala planetária.

Correntes de jato mudam. Padrões de tempestade mudam. Eventos extremos começam a se amplificar simultaneamente.

No oceano, os impactos ecológicos são enormes.

A ressurgência praticamente colapsa em partes do Pacífico. A produtividade biológica despenca. A pesca sofre perdas gigantescas

Os recifes de coral também sofrem brutalmente.

© Artemisia Weyl 2024–2026 — Todos os direitos reservados.

No Super El Niño de 1997-98, ocorreu mortalidade massiva em diversos sistemas coralinos devido ao branqueamento térmico

No Brasil, os impactos são extremamente desiguais regionalmente.

Porque o país é grande o suficiente para responder de formas diferentes à mesma perturbação climática.

No Norte, o problema principal costuma ser seca severa.

Menos chuva -> rios baixos -> isolamento de comunidades -> aumento de queimadas -> piora da qualidade do ar.

No Sul, é o oposto:

chuva extrema e persistente.

intensifica a corrente de jato subtropical e favorece eventos de inundação de grande escala.

Os modelos dinâmicos tradicionais da NOAA apontam, no início de 2026, uma probabilidade elevada de desenvolvimento de El Niño no segundo semestre do ano.

As projeções também sugeriam possibilidade relevante de um evento forte ou muito forte entre o final de 2026 e início de 2027.

Mas aqui entra uma parte MUITO interessante:

nem todos os métodos concordam. Modelos tradicionais resolvem equações de hidrodinâmica e termodinâmica em grades tridimensionais gigantescas, tudo quase célula por célula do planeta.

os modelos de redes climáticas para 2026 NÃO apontam forte sinal de um El Niño clássico. outra metodologia baseada em entropia estatística, chamada SysSampEn, também sugere

Ou seja:

temos hoje dois conjuntos de modelos observando o mesmo oceano e chegando em cenários diferentes.

Isso não significa que “a ciência não sabe”. Isso significa que sistemas complexos possuem múltiplas escalas de comportamento.

O clima é um dos sistemas complexos mais difíceis já estudados pela humanidade.

Mesmo um El Niño moderado hoje pode produzir impactos extremos.

Porque o sistema climático global atual já opera sobre um background termicamente mais energético devido ao aquecimento global.

O debate sobre 2026 não deveria ser “vai acontecer ou não?”.

A pergunta correta é:

o Brasil está preparado para um sistema climático cada vez mais extremo, não linear e imprevisível?

Porque física climática hoje também é debate sobre infraestrutura, soberania científica e capacidade de adaptação.

© Artemisia Weyl 2024–2026 — Todos os direitos reservados.