

Nota técnica: Cálculo de dias com extremos de temperatura

Metodologia

Base de dados

Para o cálculo de possíveis tendências de aquecimento ou resfriamento ao longo dos anos foram utilizadas duas bases de dados de temperatura máxima diária em grade regular:

1. **Climate Prediction Center (CPC)** – série histórica global de temperatura máxima diária, com resolução espacial de $1^\circ \times 1^\circ$, abrangendo o período de **1979 a 2025**.
2. **South American Mapping of Temperature (SAMeT)** – produto de reanálise operacional que fornece campos de temperatura máxima diária para a América do Sul, provido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), disponível para o período de **2000 a 2025**.

O Climate Prediction Center (CPC) é uma divisão da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), a agência federal dos Estados Unidos responsável pelo monitoramento global do oceano e da atmosfera. Esta base de dados é consolidada pela interpolação de observações diretas de estações meteorológicas de superfície. O período da série (mais longa) permite análises em escala climática, resultando no cálculo de médias climatológicas mais robustas e na identificação de tendências de longo prazo. Já o South American Mapping of Temperature (SAMeT), desenvolvido pelo CPTEC/INPE, é um produto de reanálise voltado especificamente à América do Sul. Diferentemente do CPC, que depende apenas de estações, o SAMeT combina dados observacionais com saídas de modelos numéricos. Isso permite preencher lacunas em regiões onde a rede de estações é escassa, como em partes da Amazônia. Embora a série seja mais curta (início em 2000), o produto oferece uma representação mais acurada da realidade regional. Em resumo, o CPC, gerado pela agência americana NOAA, é a ferramenta ideal para contextualizar anomalias em uma perspectiva histórica de várias décadas, enquanto o SAMeT é mais preciso para o diagnóstico espacial detalhado de eventos de temperatura no continente sul-americano.

Ambas as bases são disponibilizadas em formato **NetCDF** e organizadas em uma grade geográfica regular definida por coordenadas de latitude e longitude.

Os dados do CPC foram utilizados para a análise de tendências climáticas de longo prazo, enquanto os do SAMeT foram utilizados para análises comparativas e aplicações operacionais de monitoramento climático.

Para garantir consistência entre as diferentes bases de dados e os limites administrativos utilizados na análise, foram realizados procedimentos de padronização espacial.

Após a padronização das coordenadas, os campos climáticos foram recortados espacialmente para o território brasileiro, utilizando os limites municipais como máscara geográfica. Esse procedimento reduz o domínio espacial da análise apenas à área de interesse e otimiza o processamento computacional.

Para permitir a agregação espacial dos dados climáticos por município, os polígonos municipais foram convertidos para uma representação matricial compatível com a grade espacial dos dados climáticos por meio do processo de rasterização.

Nesse procedimento, cada célula da grade recebe o identificador do município correspondente ao qual pertence. Dessa forma, torna-se possível associar diretamente os valores climáticos de cada célula da grade ao respectivo município.

Essa abordagem permite realizar operações de agregação espacial de forma eficiente, utilizando métodos vetorizados aplicados diretamente sobre os dados em grade.

Cálculo da temperatura máxima anual

A partir das séries de temperatura máxima diária, foi identificado o valor máximo anual de temperatura para cada célula da grade espacial. O cálculo é definido como:

$$T_{max}^{anual}(i, j) = \max(T_{max}(i, j, t))$$

onde:

- (i, j) representam a posição espacial da célula da grade
- (t) representa o tempo (dias do ano)

Esse procedimento resulta em um campo espacial contendo a temperatura máxima registrada em cada célula da grade ao longo de cada ano.

Os valores de temperatura máxima anual foram então agregados ao nível municipal. Para cada município, foi selecionado o maior valor de temperatura máxima entre todas as células da grade localizadas dentro de seus limites territoriais.

Esse procedimento produz uma série temporal anual de temperatura máxima para cada município brasileiro.

Análise de tendência climática

A análise de tendência foi realizada utilizando métodos estatísticos amplamente empregados em estudos climáticos e hidrometeorológicos. Foram aplicados dois métodos principais:

Regressão linear

A tendência temporal foi inicialmente estimada por meio de regressão linear simples entre a variável temperatura máxima e o tempo. A inclinação da reta de regressão fornece uma estimativa da taxa média de variação da temperatura ao longo do período analisado.

Para facilitar a interpretação dos resultados, as tendências foram expressas em **graus Celsius por década**.

Estimador de Theil–Sen

Para obter uma estimativa robusta da tendência, foi também utilizado o estimador de Theil–Sen, que calcula a mediana das inclinações entre todos os pares possíveis de observações da série temporal. Esse método é menos sensível à presença de valores extremos (outliers) e é amplamente utilizado em análises climatológicas.

Teste de Mann–Kendall

A significância estatística das tendências foi avaliada por meio do teste não paramétrico de Mann–Kendall, amplamente empregado na detecção de tendências em séries hidrometeorológicas.

Esse teste avalia a hipótese nula de ausência de tendência monotônica na série temporal. O nível de significância adotado foi de 5% ($p < 0,05$).

Assim, apenas tendências com valor-p inferior a 0,05 foram consideradas estatisticamente significativas.

Representação espacial das tendências

Os resultados das análises de tendência foram integrados aos limites municipais e representados espacialmente por meio de mapas temáticos.

Foram produzidos dois tipos de representações:

1. **Mapa de tendência completa**, mostrando a magnitude da tendência de temperatura máxima em °C por década.
2. **Mapa de tendências estatisticamente significativas**, no qual apenas municípios com valor-p inferior a 0,05 foram destacados.

Para a visualização foi utilizada uma escala de cores divergente, na qual:

- **azul** representa tendência de diminuição da temperatura;
- **vermelho** representa tendência de aumento da temperatura;
- **valores próximos de zero** indicam ausência de tendência significativa.

Essa abordagem permite identificar padrões espaciais de aquecimento ou resfriamento ao longo do território brasileiro.

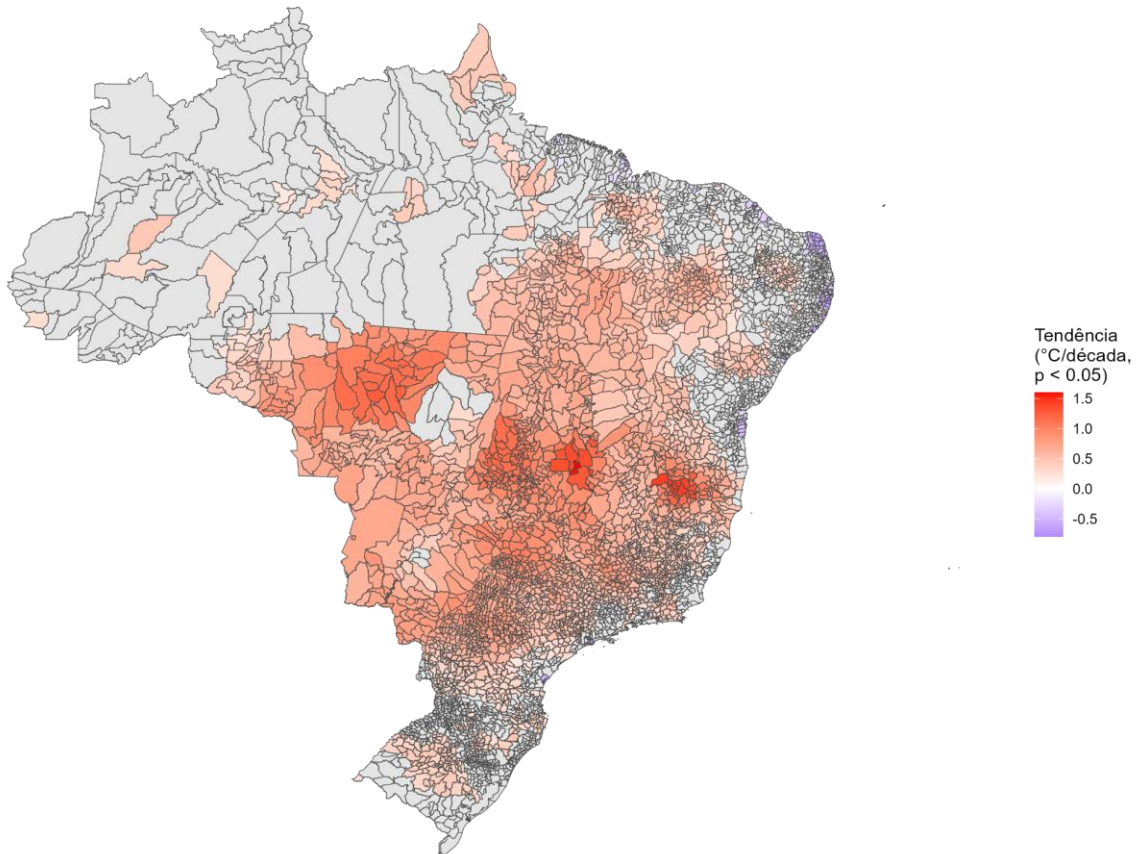


Fig1- Tendência significativa por década com os dados do CPC.

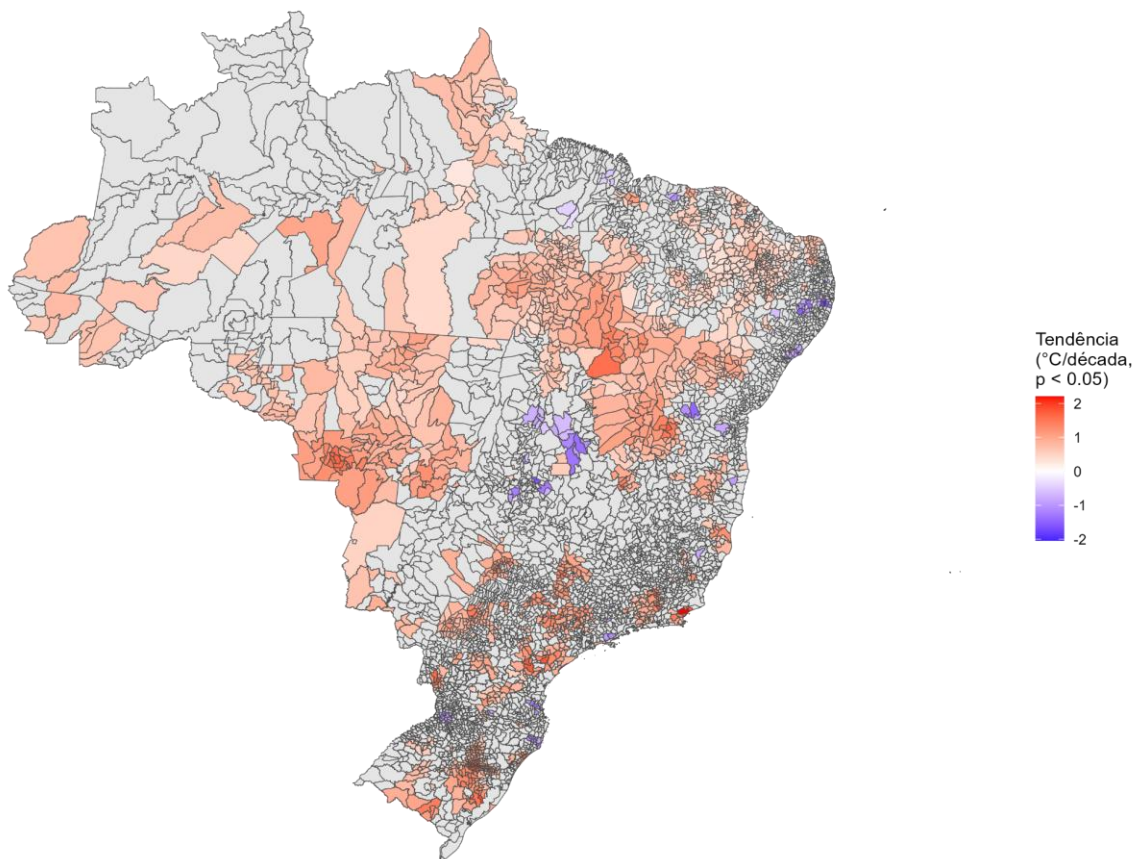


Fig2- Tendência significativa por década com os dados do SaMet.

São José dos Campos, 22 de março de 2026