

# Identificação de tendências sazonais de insolação, precipitação, temperatura máxima e temperatura mínima nos biomas do Brasil

## Identification of seasonal trends of insolation, precipitation, maximum temperature and minimum temperature in biomes of Brazil

Júlio César Penereiro<sup>1</sup>

Denise Helena Lombardo Ferreira<sup>2</sup>

### Resumo

O objetivo deste trabalho foi identificar tendências em séries temporais de insolação, precipitação pluviométrica acumulada mensal e temperaturas máxima e mínima do ar, nas quatro estações do ano, registradas em 138 localidades distribuídas pelos biomas do Brasil. Os dados foram extraídos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), no período de 1961 a 2018. Aplicaram-se os testes estatísticos de Mann-Kendall e de Pettitt, considerando os níveis de significância comumente adotados na literatura científica (5% e 10%). Os resultados estatísticos e os mapas de distribuições de tendências sazonais permitiram observar que todos os biomas exibiram ausências de tendências significativas na precipitação. No entanto, as maiores quantidades de tendências positivas nas temperaturas e insolação foram observadas no verão na Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica. Tendências negativas foram observadas na insolação e temperaturas durante o inverno, especialmente na Mata Atlântica, Pampa e Caatinga. Presume-se que essas tendências podem estar relacionadas aos eventos El Niño e La Niña, assim como às interferências humanas.

**Palavras-chave:** testes estatísticos; influência solar; mudanças climáticas; biomas brasileiros.

### Abstract:

This study aims to identify trends in time series of insolation, accumulated monthly rainfall, and maximum and minimum air temperatures, in the four seasons of the year, recorded in 138 locations distributed throughout the biomes of Brazil. The data were obtained from National Institute of Meteorology (INMET), during the period of 1961 to 2018. The Mann-Kendall and Pettitt tests were applied, considering the significance levels usually adopted in scientific literature (5% and 10%). The statistical results and the seasonal trend distribution maps make it possible to observe that all biomes exhibit non-significant trends in rainfall. However, the largest quantities of positive trends in

---

1 Doutor em Astronomia - Universidade de São Paulo, funiconário do Observatório Municipal de Campinas Jean Nicolini, Estrada do Capricórnio-Serra das Cabras, Distrito de Campinas (SP), CEP 13106-001. E-mail: jcpenereiro@yahoo.com.br

2 Doutora em Educação Matemática - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, Campus de Rio Claro, Professora e Pesquisadora da Pontifícia Universidade Católica de Campinas (SP), CEATEC - Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias e do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Sustentabilidade, Rua Professor Doutor Euryclides de Jesus Zerbini, 1516, Pq. Rural Fazenda Santa Cândida – Campinas(SP), CEP 13087-571. E-mail: lombardo@puccampinas.edu.br

temperatures and insolation were observed in insolation and temperatures during the winter, especially in Mata Atlântica, Pampa and Caatinga. It is assumed that trends may be related to the El Niño and La Niña events, as well as to human interferences.

**Keywords:** statistical tests; solar influence; climate changes; brazilian biomes.

## Introdução

As variações climáticas têm sido amplamente pesquisadas cientificamente nas últimas décadas, assim como as causas que provocaram esses eventos, na superfície da Terra. Diante desse contexto, o documento intitulado: Quinto Relatório Científico do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) retratou que o aumento da temperatura atmosférica é inequívoco, pois desde a década de 1970 foram observadas variações nos padrões climáticos globais. Esse documento científico relatou também que a temperatura média (relação entre a máxima e a mínima) da atmosfera tem aumentado em quase todo o planeta terrestre, com incrementos de até 2,5°C entre os anos de 1901 a 2012 (IPCC, 2013).

Existem muitas controvérsias relacionadas à influência humana sobre o clima terrestre, entretanto variações climáticas desde 1970 têm sido identificadas, o que possibilita afirmar cientificamente que partes dessas variabilidades estão relacionadas ao atual aquecimento global observado (IPCC, 2013; TOLEDO, 2018), além das interferências promovidas pelas pessoas no ambiente, tais como: a crescente urbanização sem planejamento adequado do uso do solo (ZHENMEI et al., 2008), degradações de florestas e dos recursos hídricos no que tange aos aspectos quantitativos e qualitativos, dentre outros fatores (GROPPO et al., 2005; ANA, 2018).

No Brasil, há fatores limitantes para se estudar a variabilidade climática com precisão, tais como: a deficiência de uma rede observacional coerentemente distribuída, a falta de observações meteorológicas de longo prazo, além de eventuais interrupções nas medições observadas. Vale lembrar que as longas séries meteorológicas permitem a verificação da presença de periodicidades, tendências ou descontinuidades climáticas (BLAIN, 2009). Além disso, a realização de estudos envolvendo as séries temporais de variáveis climáticas ocorre por meio de métodos estatísticos paramétricos e não paramétricos. Principalmente, esses últimos (os não paramétricos), pois eles possuem um embasamento matemático mais rigoroso para os modelos teóricos de descrição climática (SANSIGOLO; KAYANO, 2010).

Para o estudo de alterações nos padrões climáticos, um método frequentemente empregado é a verificação de tendência. De acordo com Blain (2010), a tendência é caracterizada por uma elevação ou diminuição nos valores médios de uma série temporal contendo medições realizadas por equipamentos disponíveis em estações meteorológicas concebidas para essa finalidade. Não obstante, a tendência não é, necessariamente, restrita à tendência linear de um parâmetro climático em função do tempo, mas deve conter apenas um máximo ou mínimo no ponto final da série temporal (BLAIN, 2010).

Diante do exposto, o objetivo do presente artigo é realizar as análises de tendências dos regimes sazonais de séries temporais de insolação, da precipitação pluviométrica e das temperaturas máxima e mínima, medidas mensalmente, empregando os dados diários observados em cidades espalhadas pelos principais biomas do Brasil. As referidas tendências climáticas foram analisadas por meio de mapas das distribuições espaciais. Nesse sentido, realizaram-se análises das

variabilidades mensais de cada série temporal e identificaram-se, por meio de testes estatísticos, os locais e datas das tendências significativas.

## Material e métodos aplicados

Vale lembrar que o Brasil possui uma área de aproximadamente 8.515.767,0 km<sup>2</sup>. O país está localizado entre as latitudes Norte 05°16' e Sul 33°45' e longitudes Oeste 73°59' e 34°47'. Possui 5.570 municípios, além do Distrito Federal, que estão distribuídos nos seis principais biomas, a saber: Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal e Pampa (IBGE, 2010). Desses, o de maior extensão é o bioma Amazônia, com 4.196.943 km<sup>2</sup>, o que equivale a 49,3% do território brasileiro, seguido do Cerrado, com 2.036.448 km<sup>2</sup> (23,9%), da Mata Atlântica, com 1.110.182 km<sup>2</sup> (13,0%), da Caatinga, com 844.453 km<sup>2</sup> (9,9%), do Pampa, com 176.496 km<sup>2</sup> (2,1%) e do Pantanal, com 150.355 km<sup>2</sup> (1,8%) do território nacional (MMA, 2019).

Foram utilizados dados diários de insolação (*Insol.*), precipitação pluvial (*Prec.*), temperatura máxima do ar (*T-máx.*) e temperatura mínima do ar (*T-mín.*) de 138 localidades, sendo que 25 são capitais de estados (Figura 1), distribuídas pelos biomas brasileiros. Os dados foram obtidos por meio do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), compreendendo o período de 1961 a 2018 (INMET, 2019). A Figura 1 e a Tabela 1 mostram cada estação medidora do INMET tratada neste estudo, incluindo o respectivo bioma e o período utilizado das séries temporais.

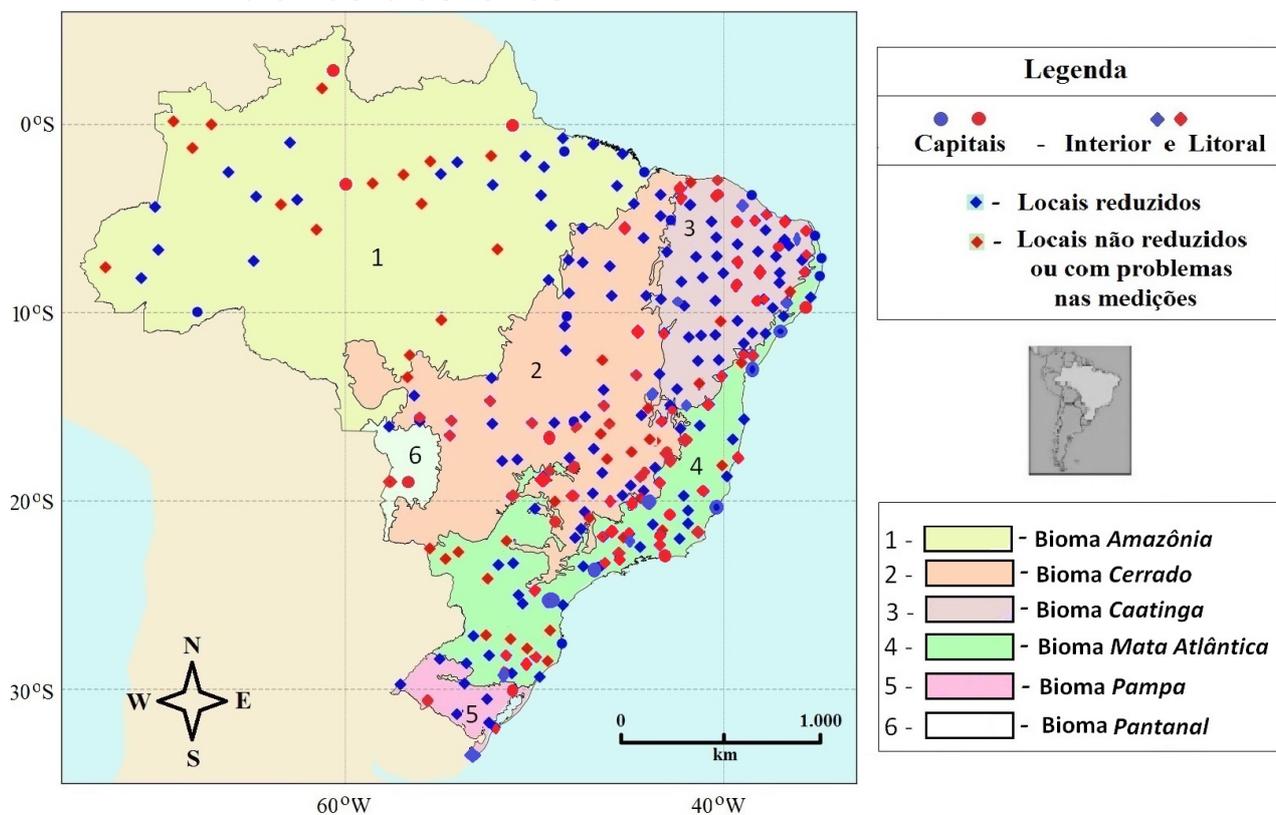
De acordo com o endereço eletrônico do INMET, até a presente data existem dados observados de 266 estações meteorológicas distribuídas pelo país (INMET, 2019). Entretanto, as capitais, Campo Grande (MS) e Porto Velho (RO), não possuem estações meteorológicas e, em alguns biomas do Brasil, não existem estações meteorológicas instaladas até o presente momento (Figura 1), como ocorre particularmente no norte, sul e leste do bioma Amazônia, sul e oeste do Cerrado, além de boa parte do Pantanal.

O levantamento aqui realizado, contendo 138 locais, mostrado na Figura 1 corresponde a 51,88% do total de estações do INMET, sendo que 25 (18,12% dos locais realizados) encontram-se na Amazônia, 35 (25,36%) no Cerrado, 33 (23,91%) na Caatinga, 37 (26,81%) na Mata Atlântica, 8 (5,80%) no Pampa, e nenhuma, ou seja, 0 (0%) no Pantanal. Essas diferenças se justificam devido às dimensões, às quantidades de ocupações urbanas e às características geográficas intrínsecas de cada bioma brasileiro (INMET, 2019; MMA, 2019).

O período estudado de cada série depende dos dados disponíveis de uma determinada estação medidora, como destacado na Tabela 1. Em algumas estações, foram identificadas falhas nas séries que, segundo Pickering e colaboradores, podem ter acontecido devido à quebra do equipamento, ausência do responsável pela medição, erros na calibração instrumental, medidas eliminadas devido a equívoco na leitura, além da mudança de localização das estações ou na exposição dos aparelhos (PICKERING et al., 1994).

É importante salientar que as questões envolvidas na qualidade dos dados meteorológicos podem comprometer seriamente os resultados de muitas pesquisas baseadas em pressupostos corretos e elaborados com grande sofisticação matemática. São comuns problemas como descontinuidade espacial e temporal dos dados, má distribuição das estações meteorológicas, dificuldades em se manter equipamentos em áreas perigosas ou inóspitas, mudança dos equipamentos para locais bem diferentes das condições iniciais, além da falta de verba para a instalação ou manutenção dos equipamentos. Assim sendo, no intuito de minimizar e preencher

**Figura 1 – Distribuição geográfica das estações medidoras pertencentes ao INMET, usadas no presente estudo, em localização nos biomas brasileiros**



Fonte: Elaborado pelos próprios autores.

- Capitais estudadas
- ◆ Cidades do interior ou do litoral que representam os locais estudados
- ◆◆ Capitais, cidades do interior ou do litoral que representam os locais não estudados devido a problemas nas medições.

possíveis falhas nos dados meteorológicos estudados, optou-se pela utilização do cálculo da média com grau três, isto é, calculando a média dos três dias anteriores ou posteriores, se os mesmos também não estivessem com esses erros (PENNEREIRO et al., 2016). Para as falhas de um período muito longo, isto é, com mais de três dias, realizou-se uma média entre os três mesmos meses de anos anteriores ou posteriores, conforme cada caso específico.

Para os casos em que as séries mensais apresentavam falhas de três anos ou mais, optou-se por eliminar os dados anteriores a essas falhas, restando séries de períodos menores que as originais, porém de maior consistência de dados para serem tratados estatisticamente. Isso explica como é possível constatar na Tabela 1, o fato de cada localidade apresentar um período de estudo diferenciado.

Todos os dados no presente trabalho foram organizados e tratados em planilhas do *software Microsoft Office Excel*, o que possibilitou a realização dos cálculos visando inferir a ocorrência de uma eventual tendência e a variabilidade dos parâmetros climáticos de interesse, além da geração de gráficos e a realização de análises estatísticas acuradas.

**Tabela 1 – Estações do INMET tratadas no presente estudo**

Estação (Estado)	Bioma*	Período	Estação (Estado)	Bioma*	Período
Água Branca (AL)	2	1986 - 2018	Ivaí (PR)	4	1977 - 2018
Altamira (PA)	1	1961 - 2018	Jacobina (BA)	2	1995 - 2018
Alto Parnaíba (MA)	3	1977 - 2018	Jataí (GO)	3	1978 - 2018
Apodi (RN)	2	1996 - 2018	João Pessoa (PB)	4	1986 - 2018
Aracajú (SE)	4	1991 - 2018	Lábrea (AM)	1	1993 - 2018
Aragarças (GO)	3	1971 - 2018	Lavras (MG)	4	1961 - 2018
Araguaína (TO)	1	1984 - 2018	Lençóis (BA)	2	1995 - 2018
Arcoverde (PE)	2	1972 - 2018	Londrina (PR)	4	1961 - 2018
Bacabal (MA)	3	1976 - 2018	Marabá (PA)	1	1973 - 2018
Balsas (MA)	3	1977 - 2018	Maringá (PR)	4	1961 - 2018
Barcelos (AM)	1	1961 - 2018	Monte Alegre (PA)	1	1975 - 2018
Bagé (RS)	5	1961 - 2018	Monte Santo (BA)	2	1995 - 2018
Barra (BA)	2	1986 - 2018	Monteiro (PB)	2	1995 - 2018
Barreiras (BA)	3	1995 - 2018	Montes Claros (MG)	3	1988 - 2018
Belém (PA)	1	1961 - 2018	Morro do Chapéu (BA)	2	1986 - 2018
Belo Horizonte (MG)	3	1961 - 2018	Natal (RN)	4	1984 - 2018
Belterra (PA)	1	1972 - 2018	Ouricuri (PE)	2	1994 - 2018
Benjamin Constant (AM)	1	1961 - 2018	Palmas (TO)	3	1994 - 2018
Bom Jesus (RS)	4	1991 - 2018	Pão de Açúcar (AL)	2	1995 - 2018
Bom Jesus da Lapa (BA)	2	1986 - 2018	Paracatu (MG)	3	1990 - 2018
Bom Jesus do Piauí (PI)	3	1971 - 2018	Paranaguá (PR)	4	1961 - 2018
Brasília (DF)	3	1961 - 2018	Passo Fundo (RS)	4	1961 - 2018
Breves (PA)	1	1995 - 2018	Patos (PB)	2	1994 - 2018
Cabrobó (PE)	2	1992 - 2018	Paulistana (PI)	2	1994 - 2018
Caetitê (BA)	2	1986 - 2018	Pedra Azul (MG)	4	1984 - 2018
Cametá (PA)	1	1970 - 2018	Pedro Afonso (TO)	3	1977 - 2018
Canarana (MT)	1	1996 - 2018	Peixe (TO)	3	1975 - 2018
Canavieiras (BA)	4	1993 - 2018	Pelotas (RS)	5	1991 - 2018
Caparaó (MG)	4	1991 - 2018	Petrolina (PE)	2	1991 - 2018
Caracol (PI)	3	1992 - 2018	Picos (PI)	2	1994 - 2018
Caratinga (MG)	4	1986 - 2018	Pirenópolis (GO)	3	1976 - 2018
Carinhanha (BA)	3	1990 - 2018	Piripiri (PI)	2	1994 - 2018
Carolina (MA)	3	1969 - 2018	Porto de Pedras (AL)	4	1986 - 2018

Catanduva (SP)	4	1961 - 2018	Porto Nacional (TO)	3	1961 - 2018
Caxias (MA)	3	1961 - 2018	Posse (GO)	3	1977 - 2018
Caxias do Sul (RS)	4	1991 - 2018	Propriá (SE)	2	1992 - 2018
Chapadinha (MA)	3	1978 - 2018	Recife (PE)	4	1961 - 2018
Cipó (BA)	2	1986 - 2018	Remanso (BA)	2	1986 - 2018
Codajás (AM)	1	1993 - 2018	Resende (RJ)	4	1961 - 2018
Colinas (AM)	3	1976 - 2018	Rio Branco (AC)	1	1970 - 2018
Conceição do Araguaia (PA)	1	1961 - 2018	Rio Verde (GO)	3	1996 - 2018
Cordeiro (RJ)	4	1996 - 2018	Salinas (MG)	4	1975 - 2018
Correntina (BA)	3	1993 - 2018	Salvador (BA)	4	1986 - 2018
Crateús (CE)	2	1995 - 2018	Santa Maria (RS)	5	1991 - 2018
Cruz Alta (RS)	5	1991 - 2018	Santa Vitória do Palmar (RS)	5	1961 - 2018
Cruzeta (RN)	2	1969 - 2018	São Carlos (SP)	3	1961 - 2018
Cuiabá (MT)	3	1961 - 2018	São João do Piauí (PI)	2	1995 - 2018
Curitiba (PR)	4	1961 - 2018	São Lourenço (MG)	4	1961 - 2018
Diamantina (MG)	4	1986 - 2018	São Luís (MA)	1	1971 - 2018
Eirunepé (AM)	1	1993 - 2018	São Luís Gonzaga (RS)	5	1991 - 2018
Encruzilhada do Sul (RS)	5	1961 - 2018	São Mateus (ES)	4	1992 - 2018
Espinosa (MG)	3	1974 - 2018	São Paulo (SP)	4	1961 - 2018
Florianópolis (SC)	4	1992 - 2018	São Simão (SP)	3	1961 - 2018
Fonte Boa (AM)	1	1990 - 2018	Seridó (RN)	2	1995 - 2018
Formosa (GO)	3	1974 - 2018	Serrinha (BA)	2	1993 - 2018
Fortaleza (CE)	2	1994 - 2018	Sorocaba (SP)	4	1978 - 2018
Franca (SP)	3	1961 - 2018	Soure (PA)	1	1961 - 2018
Guaramiranga (CE)	2	1994 - 2018	Tarauacá (AC)	1	1993 - 2018
Guaratinga (BA)	4	1986 - 2018	Tefé (AM)	1	1970 - 2018
Iguatu (CE)	2	1995 - 2018	Teresina (PI)	3	1993 - 2018
Imperatriz (MA)	3	1976 - 2018	Torres (RS)	4	1991 - 2018
Ipameri (GO)	3	1978 - 2018	Tracuateuá (PA)	1	1973 - 2018
Iraí (RS)	4	1961 - 2018	Tucuruí (PA)	1	1971 - 2018
Iratí (PR)	4	1994 - 2018	Turiaçu (MA)	1	1976 - 2018
Irecê (BA)	2	1996 - 2018	Uruguiana (RS)	5	1992 - 2018
Itabaianinha (SE)	4	1995 - 2018	Vitória (ES)	4	1991 - 2018
			Vitória da Conquista (BA)	2	1993 - 2018

Itaberaba (BA)	2	1995 - 2018	Votuporanga (SP)	4	1977 - 2018
Itaperuna (RJ)	4	1990 - 2018	Zé Doca (MA)	1	1976 - 2018

Fonte: Elaborada pelos próprios autores.

Biomos: 1 - Amazônia; 2 - Caatinga; 3 - Cerrado; 4 - Mata Atlântica; 5 - Pampa; 6 - Pantanal

## Testes estatísticos utilizados

No entender de Naghettini e Pinto (2007), os testes estatísticos podem ser classificados em paramétricos e não paramétricos. Assim, devido ao fato dos testes não paramétricos de Mann-Kendall e de Pettitt serem os que possuem maiores embasamentos matemáticos e estatísticos (SANSIGOLO; KAYANO, 2010), no presente trabalho optou-se por apresentar os resultados obtidos na aplicação desses dois testes, cujas formulações são descritas sucintamente a seguir.

### Teste Mann-Kendall

O teste de Mann-Kendall permite verificar alterações de um determinado parâmetro climático por meio da significância do coeficiente angular, assim:  $a > 0$  significa que a série possui tendência crescente;  $a < 0$  indica que tendência é decrescente e caso  $a \approx 0$  interpreta-se um comportamento estável para a série avaliada. Ao realizar esse procedimento, o valor do coeficiente  $R^2$  é devolvido como uma medida da qualidade do ajuste efetuado, assim como o intervalo de confiança em 95% acima e abaixo do valor estimado do coeficiente angular da reta de regressão.

O teste sequencial de Mann Kendall (KENDALL, 1975; SNEYERS, 1975) é uma análise estatística não paramétrica que considera a hipótese de estabilidade de uma série, cuja sucessão de valores ocorre de forma independente, sendo que a distribuição de probabilidade deve permanecer sempre a mesma (série aleatória simples).

Moraes et al. (1995) e Back (2001) descreveram esse método considerando uma série temporal da variável de interesse  $Y_i$  com  $N$  termos, sendo  $1 \leq i \leq N$ . Realiza-se a soma  $t_n = \sum m_i$  do número de termos  $m_i$  da série, relativo ao valor  $Y_i$  cujos termos precedentes ( $j < i$ ) são inferiores ao mesmo ( $Y_j < Y_i$ ). Verifica-se que para séries com grande número de termos ( $N$ ), sob a hipótese nula ( $H_0$ ) e ausência de tendência,  $t_n$  apresentará uma distribuição normal com média e variância dada respectivamente por:

$$E(t_n) = \frac{N(N-1)}{4} \quad (1)$$

$$Var(t_n) = \frac{N(N-1)(2N+5)}{2} \quad (2)$$

Testando a significância estatística de  $t_n$  para a hipótese nula e usando um teste bilateral, ela pode ser rejeitada para grandes valores da estatística  $U(t_n)$ , fornecida pela equação:

$$U(t_n) = \frac{(t_n - E(t_n))}{\sqrt{Var(t_n)}} \quad (3)$$

Em seguida, através de uma tabela de distribuição normal padronizada, o valor da probabilidade  $\alpha_1$  é calculado por:  $\alpha_1 = prob \cdot (|U| > |U(t_n)|)$ . Sendo  $\alpha_0$  o nível de significância

do teste, a hipótese nula é aceita se  $\alpha_1 > \alpha_0$ . Caso a hipótese nula seja rejeitada, implicará a existência de tendência significativa, sendo que o sinal da estatística  $U(t_n)$  indica se a tendência é decrescente ( $U(t_n) < 0$ ) ou então crescente ( $U(t_n) > 0$ ). Nesse caso, em sua versão sequencial, a equação  $U(t_n)$  é calculada no sentido direto da série, partindo do valor  $i = 1$  até  $i = N$ , gerando a estatística  $-1,65 < U(t_n) < +1,96$ , sendo os valores dos intervalos bilaterais  $-1,65$  a  $+1,65$  e  $-1,96$  a  $+1,96$  correspondentes a  $\alpha_0 = 0,10$  (em 10%) e  $\alpha_0 = 0,05$  (em 5%), respectivamente (MORTATTI et al., 2004).

O ponto de início de uma mudança na série pode ser determinado aplicando-se o mesmo princípio à série inversa. De forma análoga, porém no sentido inverso da série temporal original, ao partir do valor  $i = N$  até  $i = 1$ , gera-se a estatística inversa  $U^*(t_n)$ . A intersecção das curvas estatísticas  $U(t_n)$  e  $U^*(t_n)$  fornece a localização do ponto aproximado de mudança de tendência. Entretanto, isso apenas será significativo caso esse ponto ocorra dentro do intervalo de significância bilateral, isto é, entre  $-1,65$  e  $+1,96$  (BACK, 2001).

### Teste Pettitt

O teste de Pettitt (PETTITT, 1979), também descrito por Moraes et al. (1995) e Back (2001), consegue verificar se duas amostras  $Y_1, Y_2, \dots, Y_t$  e  $Y_{t+1}, Y_{t+2}, \dots, Y_T$  são pertencentes à mesma população. Nesse caso, a estatística  $U_{t,T}$  é realizada por meio de uma contagem do número de vezes que um membro da primeira amostra é maior que um membro da segunda amostra, o que pode ser escrita de acordo com a equação:

$$U_{t,T} = U_{t-1,T} + \sum_{j=1}^T \text{sgn}(Y_i - Y_j); \quad t = 2, \dots, T \quad (4)$$

em que:  $\text{sgn}(Y_i - Y_j) = 1$  para  $Y_i > Y_j$ ;  $\text{sgn}(Y_i - Y_j) = 0$  para  $Y_i = Y_j$  e  $\text{sgn}(Y_i - Y_j) = -1$  para  $Y_i < Y_j$ .

A partir dessa prerrogativa a estatística  $U_{t,T}$  é então calculada para valores de  $1 \leq t \leq T$ . Na sequência, obtém-se a estatística  $K(t)$  do teste por intermédio do máximo valor absoluto de  $U_{t,T}$ . É com a estatística de  $K(t)$  que se localiza o ponto  $t$  em que houve uma mudança brusca na série temporal, sendo que sua significância pode ser avaliada pela seguinte equação:

$$p \cong 2 \cdot e^{\left(\frac{-6 \cdot K(t)^2}{T^3 - T^2}\right)} \quad (5)$$

O ponto de mudança brusca é o valor de  $t$  onde ocorre o máximo (ou mínimo) de  $K(t)$ . Com a equação anterior é possível inferir o valor crítico ( $K_{crit.}$ ) do cálculo estatístico usando a equação:

$$K_{crit.} = \pm \sqrt{\frac{-\mathbf{h}\left(\frac{p}{2}\right) \cdot (T^3 + T^2)}{6}} \quad (6)$$

Nesse teste, adotam-se os níveis de significância da mudança em 5% e 10% usando o valor de  $K_{crit.}$  da série temporal trabalhada (BACK, 2001).

Para os gráficos apresentados na próxima seção, foram respeitados os critérios dos intervalos de significância, isto é, para o teste de Mann-Kendall as linhas horizontais pontilhadas e tracejadas indicam os níveis de significâncias de  $\pm 5\%$  a  $\pm 10\%$ , com os valores dos intervalos bilaterais  $-1,96$  a  $+1,96$  e  $-1,65$  a  $+1,65$ , respectivamente. O mesmo ocorreu com o teste de Pettitt,

isto é, as linhas horizontais pontilhadas e tracejadas correspondem aos níveis de significância de mudança, sendo que foram estimados para 5% e 10% do valor calculado de  $K_{crit}$ .

No teste de Mann-Kendall, a tendência é significativa quando os valores absolutos de  $U(t_n)$  são maiores que os intervalos de confiança e o início dessa tendência pode ser identificado pela intersecção das curvas  $U(t_n)$  (em traçado contínuo) e  $U^*(t_n)$  (em traçado pontilhado), representadas nos gráficos na parte esquerda. Destaca-se que isso deve ocorrer dentro dos valores críticos dos intervalos de confiança (GROPPO et al., 2005).

Em relação ao teste de Pettitt, que se apresenta na parte direita dos gráficos, adotou-se a mesma notação do teste anterior. Entretanto, nesse teste, o ponto de mudança brusca da estatística  $K(t)$ , tomada em módulo, ocorre quando ele for maior que os limites críticos estabelecidos de 5% e 10%. Porém essa condição deixa de ser verdadeira quando os valores que estão em seguida ao valor crítico oscilam em intervalos próximos ao valor máximo. Nesta situação, o último valor do intervalo de oscilação indica o ponto de início da tendência (PETTITT, 1979).

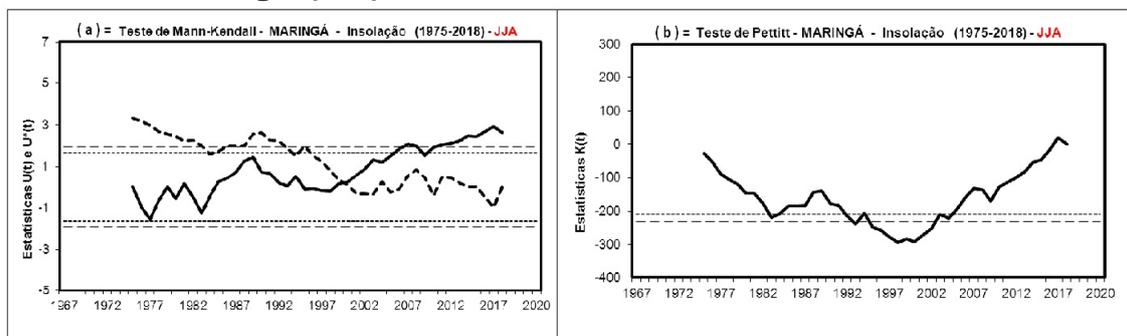
Para os dois testes estatísticos, utilizou-se a seguinte convenção: tendência positiva confirmada entre 5% e 10%, dos níveis dos intervalos de confianças (+)(+); acima de 10% do nível do intervalo de confiança (+) e, de maneira análoga, (-)(-) e (-) para tendência negativa confirmada, respectivamente. Caso não houvesse condições de confirmar tendência o sinal (?) foi adotado.

## Resultados e comentários

Formas gráficas dos testes Mann-Kendall e de Pettitt foram obtidas para as quatro variáveis climáticas (*Insol.*, *Prec.*, *T-máx.* e *T-mín.*) de todas as 138 localidades abordadas. Foram selecionados alguns gráficos desses dois testes estatísticos, mostrados a seguir (Figuras 2-5). Observa-se, por meio dos gráficos contidos nessas figuras, diferentes comportamentos das curvas estatísticas, o que determina a presença ou ausência de tendência das variáveis estudadas.

Na Figura 2, apresenta-se o resultado da análise da variável Insolação obtida pelos testes de Mann-Kendall e de Pettitt para a estação de Maringá (PR) (Mata Atlântica, bioma 4) durante o inverno.

**Figura 2 – Teste de Mann-Kendall (à esquerda, (a)) e de Pettitt (à direita, (b)), aplicados às medidas de *Insol.* no inverno (JJA) em Maringá (PR), bioma 4**

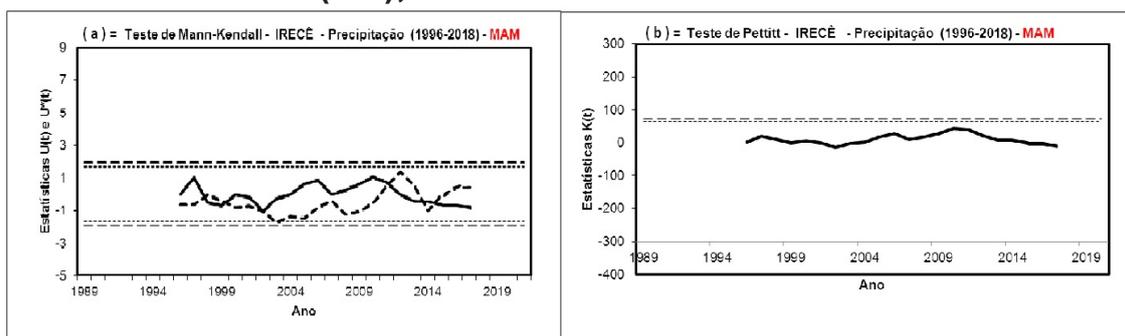


Fonte: Elaborado pelos próprios autores.

O comportamento da *Insol.* durante o inverno (JJA) mostrado nas Figuras 2a e 2b, para a cidade de Maringá (PR), na Mata Atlântica (bioma 4), entre 1975 e 2018, confirmou uma tendência positiva (+)(+) a partir de 1999. Isso se deve porque ao aplicar o teste de Mann-Kendall registrou-se um cruzamento das curvas estatísticas  $U(t_n)$  e  $U^*(t_n)$  entre os intervalos de confiança em 1999 (Figura 2a) e, além disso, o teste de Pettitt (Figura 2b), apresentou o início de tendência (+)(+) no ano de 1999. Portanto a evidência de tendência ficou confirmada em 1999.

A Figura 3 mostra o resultado da análise da variável Precipitação obtida pelos testes de Mann-Kendall e de Pettitt para a estação de Irecê (BA) (Caatinga, bioma 2) durante o outono.

**Figura 3 – Teste de Mann-Kendall (à esquerda, (a)) e de Pettitt (à direita, (b)), aplicados às medidas de *Prec.* durante o outono (MAM) em Irecê (BA), bioma 2**

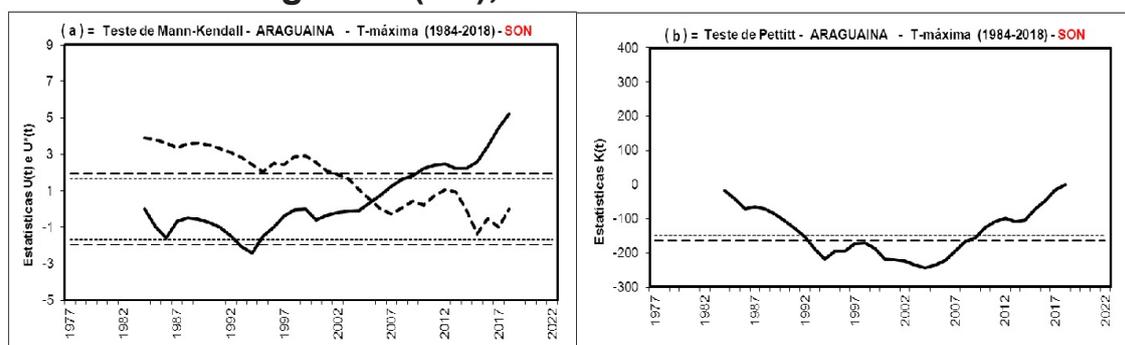


Fonte: Elaborado pelos próprios autores.

Apesar dos cruzamentos revelados na Figura 3a (à esquerda) para as curvas estatísticas no teste Mann-Kendall, não se pode confirmar tendência na *Prec.* durante o outono (MAM), em Irecê (BA), na Caatinga (2), entre 1996 e 2018, visto que a curva da estatística  $K(t)$  do teste Pettitt (Figura 3b, à direita) não cruzou nenhum dos níveis de significância.

A Figura 4 destaca o resultado da análise da variável Temperatura máxima obtida pelos testes de Mann-Kendall e de Pettitt para a estação de Araguaiana (TO) (Amazônia, bioma 1) durante a primavera.

**Figura 4 – Teste de Mann-Kendall (à esquerda, (a)) e de Pettitt (à direita, (b)), aplicados às medidas de *T-máx.* na primavera (SON) em Araguaína (TO), bioma 1**

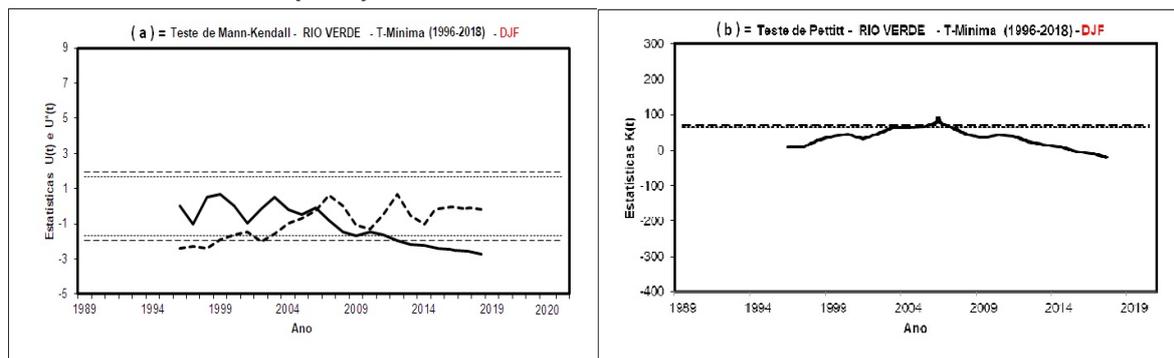


Fonte: Elaborado pelos próprios autores.

Um comportamento análogo ao da Figura 2 ocorreu para a cidade de Araguaína (TO), (Figura 4), no bioma Amazônia (1), porém na primavera (SON) para a  $T$ -máx. entre 1984 e 2018, que passou a ter tendência (+)(+) significativa confirmada nos dois testes a partir de 2004.

A Figura 5 mostra o resultado da análise da variável Temperatura mínima obtida pelos testes de Mann-Kendall e de Pettitt para a estação do Rio Verde (GO) (Cerrado, bioma 3) durante o verão.

**Figura 5 – Teste de Mann-Kendall (à esquerda, (a)) e de Pettitt (à direita, (b)), aplicados às medidas de  $T$ -mín. no verão (DJF) em Rio Verde (GO), bioma 3**



Fonte: Elaborado pelos próprios autores.

Na localidade de Rio Verde (GO), no bioma Cerrado (3), entre 1996 e 2018 (Figura 5), foi inferida uma tendência negativa (-)(-) na  $T$ -mín., no verão (DJF), a partir de 2006. Para os dados medidos nessa estação, o teste de Mann-Kendall acusou cruzamentos das curvas estatísticas em 2006, enquanto que a curva da estatística  $K(t)$  do teste de Pettitt cruzou os níveis de significâncias também em 2006, confirmando o início da tendência de queda da  $T$ -mín. no ano de 2006.

### Quantidade de locais estudados, em cada bioma do Brasil

A seguir, as Tabelas 2-5 apresentam respectivamente para as quatro estações do ano os resultados dos testes estatísticos de Mann-Kendall e de Pettitt, aplicados aos dados das localidades abordadas em cada bioma brasileiro. Adotou-se nessas tabelas a mesma convenção de sinais discutida anteriormente. Destaca-se ainda que em todas as tabelas, com exceção das localidades dos biomas Pampa e Pantanal, normalmente, o número de localidades que registraram tendência de aumento nos quatro tipos de variáveis abordadas (*Insol.*, *Prec.*,  $T$ -máx. e  $T$ -méd.), para as quatro estações, é maior que o número de localidades com tendência de diminuição.

Tendo em vista a expressiva quantidade de informações numéricas (552 séries temporais), decidiu-se por elaborar mapas das distribuições espaciais de tendências dos parâmetros *Insol.* (A), *Prec.* (B),  $T$ -máx. (C) e  $T$ -mín. (D) nos biomas brasileiros, apresentados a seguir.

### Mapas das distribuições das tendências

A seguir, serão enfatizadas as Figuras 6-9 que mostram os mapas das distribuições espaciais das tendências significativas inferidas para cada variável climática das regiões ambientais do Brasil. Vale lembrar que, pela ausência de estações do INMET, não há ocorrências realizadas em

**Tabela 2 – Quantidade de locais estudados, em cada bioma do Brasil, classificados quanto à tendência climática identificada pelos testes estatísticos de Mann-Kendall e de Pettitt aplicados para *Insol*.**

Bioma brasileiro	MAM			JJA			SON			DJF		
	(-)	(+)	(?)	(-)	(+)	(?)	(-)	(+)	(?)	(-)	(+)	(?)
<i>Amazônia</i>	0	7	18	1	15	9	1	14	10	4	9	12
<i>Caatinga</i>	1	8	24	0	7	26	1	16	16	3	8	22
<i>Cerrado</i>	3	7	25	2	20	13	2	20	13	4	11	20
<i>Mata Atlântica</i>	12	5	20	5	11	21	3	9	25	6	4	27
<i>Pampa</i>	4	4	0	1	2	5	3	1	4	2	4	2
<i>Pantanal</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	20	31	87	9	55	74	10	60	68	19	36	83

Fonte: Elaborada pelos próprios autores.

**Tabela 3 – Quantidade de locais estudados, em cada bioma do Brasil, classificados quanto à tendência climática identificada pelos testes estatísticos de Mann-Kendall e de Pettitt aplicados para variável climática de *Prec*.**

Região Política	MAM			JJA			SON			DJF		
	(-)	(+)	(?)	(-)	(+)	(?)	(-)	(+)	(?)	(-)	(+)	(?)
<i>Amazônia</i>	1	6	18	3	2	20	6	2	17	0	6	19
<i>Caatinga</i>	1	1	31	0	3	30	3	1	29	5	4	24
<i>Cerrado</i>	0	5	30	4	1	30	5	0	30	2	1	32
<i>Mata Atlântica</i>	0	4	33	1	3	33	1	6	30	0	4	33
<i>Pampa</i>	0	2	6	0	1	7	0	2	6	1	1	6
<i>Pantanal</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	2	18	118	8	10	120	15	11	112	8	16	114

Fonte: Elaborada pelos próprios autores.

**Tabela 4 – Quantidade de locais estudados, em cada bioma do Brasil, classificados quanto à tendência climática identificada pelos testes estatísticos de Mann-Kendall e de Pettitt aplicados para variável climática de *T-máx***

Bioma brasileiro	MAM			JJA			SON			DJF		
	(-)	(+)	(?)	(-)	(+)	(?)	(-)	(+)	(?)	(-)	(+)	(?)
<i>Amazônia</i>	1	15	9	0	16	9	0	18	7	1	16	8
<i>Caatinga</i>	0	10	23	0	11	22	0	7	26	0	11	22
<i>Cerrado</i>	0	16	19	0	20	15	0	19	16	0	23	12
<i>Mata Atlântica</i>	3	9	25	3	18	16	1	18	18	3	18	16
<i>Pampa</i>	1	4	3	0	3	5	0	4	4	0	4	4
<i>Pantanal</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	5	54	79	3	68	67	1	66	71	4	72	62

Fonte: Elaborada pelos próprios autores.

**Tabela 5 – Quantidade de locais estudados, em cada bioma do Brasil, classificados quanto à tendência climática identificada pelos testes estatísticos de Mann-Kendall e de Pettitt aplicados para variável climática de *T-mín***

Região Política	MAM			JJA			SON			DJF		
	(-)	(+)	(?)	(-)	(+)	(?)	(-)	(+)	(?)	(-)	(+)	(?)
<i>Amazônia</i>	0	14	11	0	15	10	0	13	12	1	16	8
<i>Caatinga</i>	4	12	17	3	12	18	10	6	17	8	13	12
<i>Cerrado</i>	4	18	13	2	18	15	3	21	11	4	22	9
<i>Mata Atlântica</i>	1	12	24	1	17	19	2	16	19	2	18	17
<i>Pampa</i>	1	2	5	1	1	6	1	2	5	0	2	6
<i>Pantanal</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	10	58	70	7	63	68	16	58	64	15	71	52

Fonte: Elaborada pelos próprios autores.

algumas localidades. Destaca-se ainda que a legenda apresentada em cada figura indica o tipo de tendência detectada nas regiões dos biomas brasileiros. Além disso, os valores numéricos indicados em cada estação do ano e em cada bioma estão relacionados com as Tabelas 2-5.

A Figura 6-A revela, durante a estação do outono (MAM), 51 (36,96% do total) localidades em que se registraram tendências na *Insol.* e 87 (63,04%) que não as acusaram. Dessas localidades, em 31 (22,46%) ocorreram tendências positivas e em 20 (14,49%) negativas. Observa-se que as detecções positivas e a ausência de tendência estão distribuídas de forma aleatória pelos biomas brasileiros. Nesse sentido, constata-se que tendências positivas foram registradas principalmente em municípios dos biomas: Caatinga - 8, Amazônia - 7, Cerrado - 7, Mata Atlântica - 5 e no Pampa - 4, enquanto as negativas foram registradas principalmente em locais dos biomas: Mata Atlântica - 12, Pampa - 4, Cerrado - 3 e Caatinga - 1.

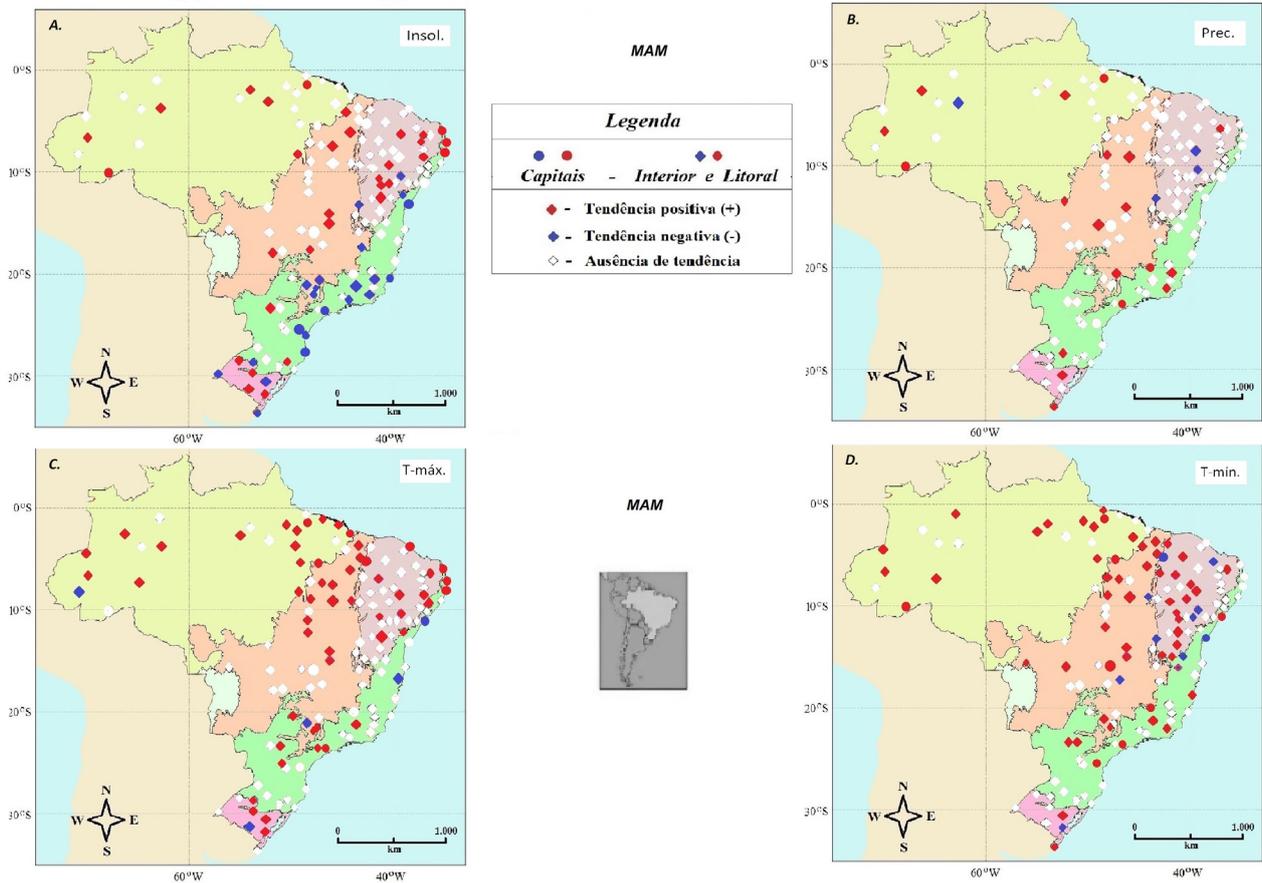
Com relação à *Prec.* (Figura 6-B), verifica-se uma quantidade de 118 (85,51% do total) localidades que não apresentaram tendências no outono. Essa quantidade foi bem superior aos 18 (13,04%) locais que registraram índices positivos, ou aos 2 (1,45%) com índices negativos de tendências. Nesse sentido, observa-se que os municípios que registraram tendência de diminuição de chuvas estão principalmente localizados em dois biomas: Caatinga - 1 e Amazônia - 1. Porém as cidades em que se observou tendência de aumento de chuvas estão localizadas principalmente nos biomas: Amazônia - 6, Cerrado - 5, Mata Atlântica - 4, Pampa - 2 e na Caatinga - 1.

No caso da *T-máx.* (Figura 6-C), verifica-se que 79 (57,25%) localidades não apresentaram tendências durante o outono, porém foram 54 (39,13%) locais que registraram índices positivos, e 5 (3,62%) com tendências de índices negativos. As poucas cidades que registraram tendência de diminuição de temperatura máxima estão localizadas em quatro biomas: Mata Atlântica - 3, Amazônia - 1 e no Pampa - 1. Os municípios em que se observaram tendência de aumento desse tipo de temperatura estão distribuídos pelos biomas: Cerrado - 16, Amazônia - 15, Caatinga - 10, Mata Atlântica - 9 e no Pampa - 4.

Quanto à *T-mín.* (Figura 6-D), verifica-se que na estação do outono, 70 (50,72%) localidades não apresentaram tendências. Entretanto, 58 (42,03%) locais registraram índices positivos, e 10 (7,25%) tiveram tendências de índices negativos. Os municípios que registraram tendência de aumento de temperatura mínima estão localizados nos cinco biomas: Cerrado - 18, Amazônia - 14,

Caatinga - 12, Mata Atlântica - 12 e no Pampa -2. Porém, as cidades que registraram tendência de diminuição desse tipo de temperatura estão distribuídas em quatro biomas: Caatinga - 4, Cerrado - 4, Pampa -1 e na Mata Atlântica - 1.

**Figura 6 – Mapas contendo as distribuições de tendências durante o outono (MAM) para: A) *Insol.*, B) *Prec.*, C) *T-máx.* e D) *T-mín.***



Fonte: Elaborada pelos próprios autores.

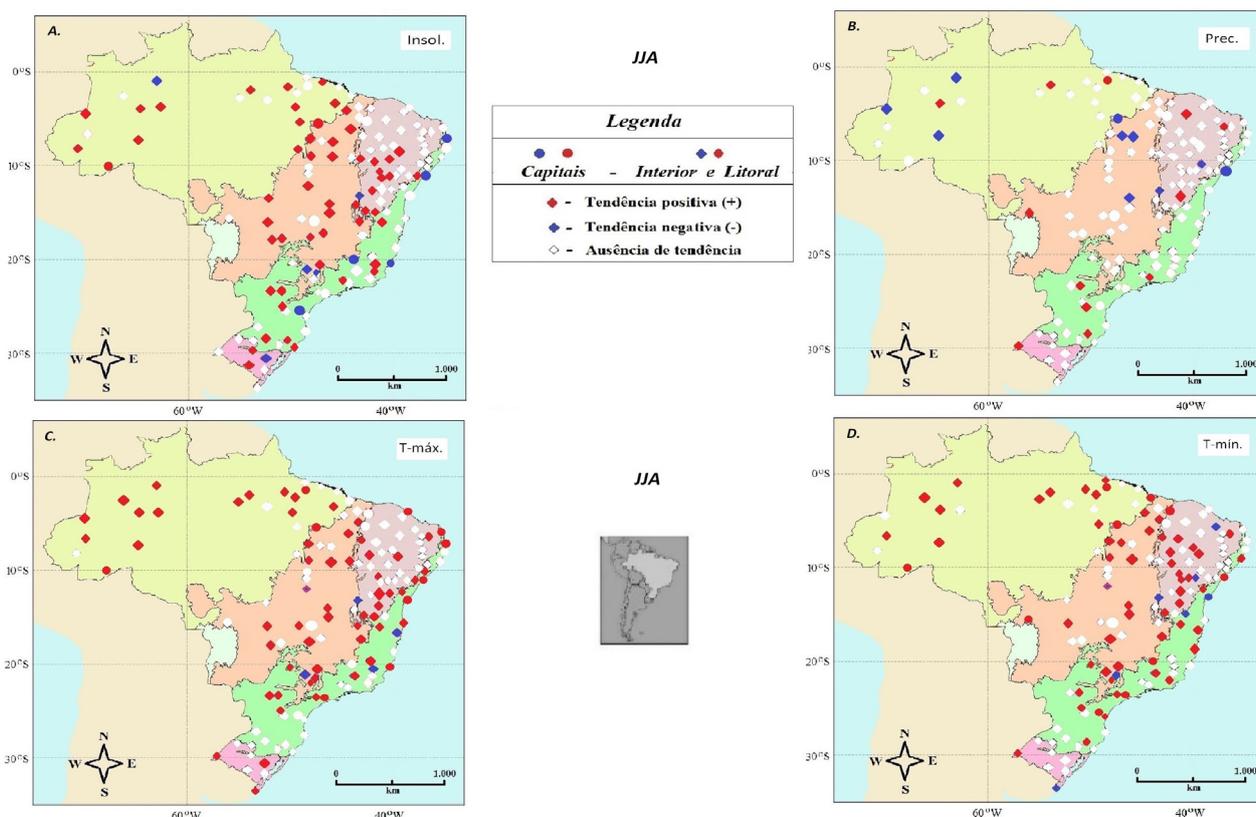
- Capitais com tendência negativa
- ◆ Cidades do interior ou do litoral com tendência negativa
- Capitais com tendência positiva
- ◆ Cidades do interior ou do litoral com tendência positiva
- ◇ Capitais, cidades do interior ou do litoral com ausência de tendência.

No mesmo sentido, a Figura 7-A revela as localidades em que se registraram ou não tendências na *Insol.* durante a estação do inverno (JJA). Constata-se que em 55 (39,86%) e 9 (6,52%) localidades ocorreram tendências positivas e negativas, respectivamente. Além disso, em 74 (53,62%) locais não foram registradas tendências. Percebe-se que a maioria das tendências negativas foi registrada em algumas cidades dos biomas: Mata Atlântica -5, Cerrado - 2, Pampa - 1 e na Amazônia -1, enquanto que as detecções positivas em locais dos biomas: Cerrado - 20,

Amazônia - 15, Mata Atlântica - 11, Caatinga - 7 e no Pampa - 2. No entanto as ausências de tendências também estão distribuídas de forma aleatória pelos biomas brasileiros.

Quanto à *Prec.* (Figura 7-B), observa-se no inverno que 120 (86,96%) localidades que não apresentaram tendências. Novamente, essa quantidade foi bem superior aos 8 (5,80%) locais que registraram índices negativos, ou aos 10 (7,25%) com índices positivos de tendências. Pela figura verifica-se também que os municípios que constataram tendência de diminuição de chuvas estão distribuídos nos biomas: Cerrado - 4, Amazônia - 3 e na Mata Atlântica - 1, enquanto que os que se constataram tendência de aumento de chuvas estão localizados pelos biomas: Caatinga - 3, Mata Atlântica - 3, Amazônia - 2, Pampa - 1 e no Cerrado - 1.

**Figura 7 – Mapas contendo as distribuições de tendências durante o inverno (JJA) para: A) *Insol.*, B) *Prec.*, C) *T-máx.* e D) *T-mín.***



Fonte: Elaborada pelos próprios autores.

- Capitais com tendência negativa
- ◆ Cidades do interior ou do litoral com tendência negativa
- Capitais com tendência positiva
- ◆ Cidades do interior ou do litoral com tendência positiva
- ◇ Capitais, cidades do interior ou do litoral com ausência de tendência.

Em relação a *T-máx.* (Figura 7-C), em 67 (48,55%) localidades, espalhadas pelos cinco biomas em análise, não apresentaram tendências na estação inverno. No entanto 68 (49,28%) locais acusaram índices positivos, e estão distribuídas pelos cinco biomas: Cerrado - 20, Mata

Atlântica - 18, Amazônia - 16, Caatinga - 11 e no Pampa -3. Foram identificadas apenas 3 (2,17%) cidades com tendências de índices negativos, todas no bioma Mata Atlântica.

No caso da *T-mín.* (Figura 7-D), durante o inverno, verificou-se que: 68 (49,28%) localidades não apresentaram tendências, sendo distribuídas por todos biomas. No entanto foram 63 (45,65%) cidades que acusaram índices positivos localizadas nos biomas: Cerrado - 18, Mata Atlântica - 17, Amazônia - 15, Caatinga - 12 e no Pampa - 1. Quanto às tendências de índices negativos, foram 7 (5,07%) locais nos seguintes biomas: Caatinga - 3, Cerrado - 2, Pampa - 1 e na Mata Atlântica - 1.

Como nos casos anteriores, na Figura 8, encontram-se os locais analisados durante a primavera (SON). Percebe-se na Figura 8-A que em 68 (49,28% do total) localidades não foram registradas tendências na *Insol.*, em todos os biomas brasileiros. Foram em 60 (43,48%) cidades que se identificaram tendências positivas, mas apenas 10 (7,25%) locais acusaram tendências negativas. Consta-se que as detecções de tendências positivas e negativas estão distribuídas de forma aleatória pelos cinco biomas brasileiros em análise. Nesse sentido, as tendências positivas foram registradas em algumas cidades dos biomas: Cerrado - 20, Caatinga - 16, Amazônia - 14, Mata Atlântica - 9 e no Pampa -1, porém, para as tendências negativas, foram em locais dos biomas: Pampa - 3, Mata Atlântica - 3, Cerrado - 2, Amazônia -1 e na Caatinga - 1.

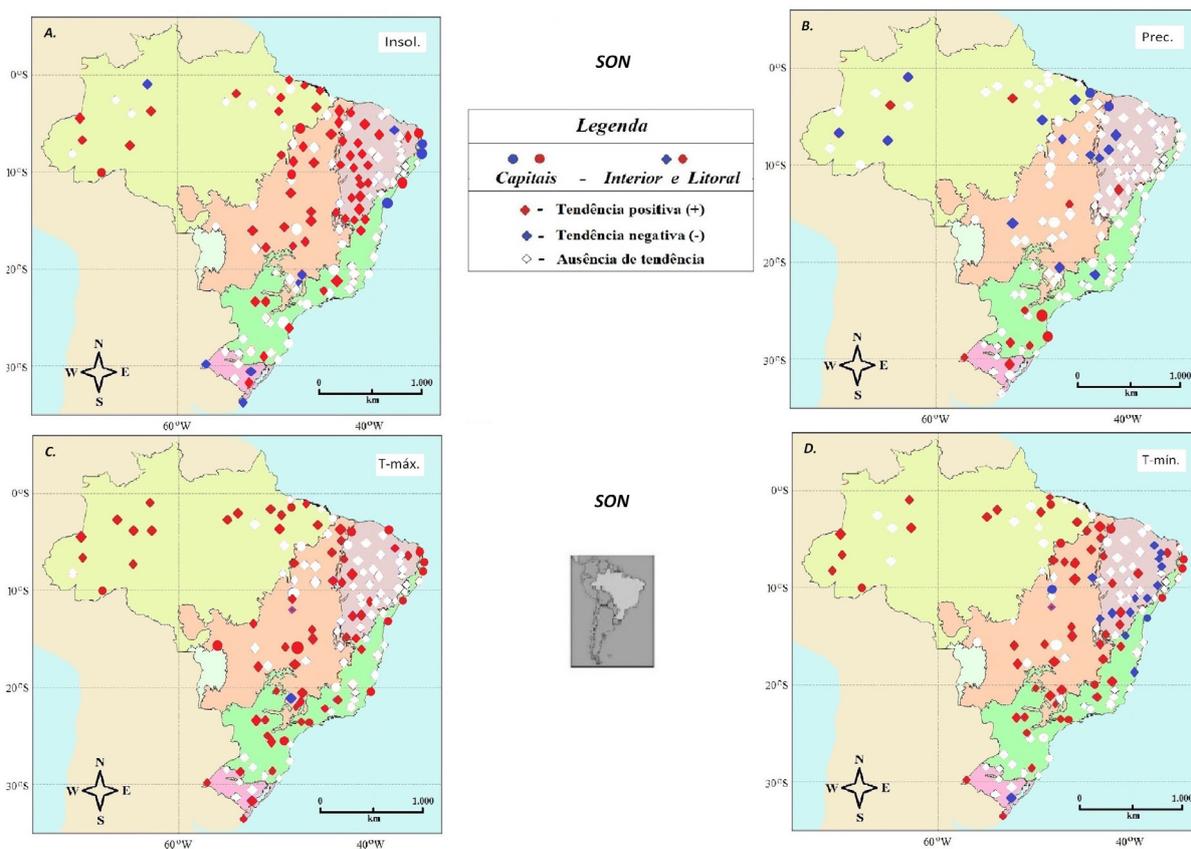
Para a *Prec.* (Figura 8-B), constata-se um número de 112 (81,16%) locais em todos os biomas que não apresentaram tendências na primavera. Essa quantidade tendencial é bem elevada, ao comparar com as 15 (10,87%) cidades que registraram índices negativos, e as 11 (7,97%) com índices positivos. Na referida figura, constata-se que os locais que acusaram tendência de diminuição de chuvas estão localizados em quatro biomas: Amazônia - 6, Cerrado - 5, Caatinga - 3 e na Mata Atlântica -1. Nos casos de tendências de aumentos de chuvas, a mesma figura revela que estão distribuídas nas cidades localizadas pelos cinco biomas: Mata Atlântica - 6, Amazônia - 2, Pampa - 2 e na Caatinga - 1.

Em relação a *T-máx.* (Figura 8-C), foram comprovadas 71 (51,45%) localidades, espalhadas por todos os biomas, que não apresentaram tendências na estação da primavera. Contudo, 66 (47,83%) locais registraram índices positivos e estão localizadas nos biomas: Cerrado - 19, Amazônia - 18, Mata Atlântica -18, Caatinga - 7 e no Pampa - 4. Com tendências de índices negativos, foi comprovada apenas 1 (0,72%) localidade no bioma Mata Atlântica - 1.

Para o caso da *T-mín.* (Figura 8-D), durante a primavera, foram 64 (46,38%) localidades espalhadas por todos os biomas que não apresentaram tendências. Entretanto, 58 (42,03%) locais registraram índices positivos e 16 (11,59%) tiveram tendências de índices negativos. Os municípios que registraram tendência de aumento da temperatura mínima estão em cinco biomas: Cerrado - 21, Mata Atlântica - 16, Amazônia - 13, Caatinga - 6 e no Pampa - 2. Porém as cidades que registraram tendência de diminuição da temperatura mínima estão distribuídas pelos biomas: Caatinga - 10, Cerrado - 3, Mata Atlântica - 2 e no Pampa - 1.

Seguindo os mesmos procedimentos, durante a estação do verão (DJF), a Figura 9-A mostra as localidades que registraram ou não tendências na *Insol.* Constatou-se que em 83 (60,14% do total) locais, distribuídos em todos os biomas do país, não acusaram tendência. Em 36 (26,09%) e 19 (13,77%) localidades ocorreram tendências positivas e negativas, respectivamente. Percebe-se que tendências positivas foram identificadas em algumas cidades dos biomas: Cerrado - 11, Amazônia - 9, Caatinga -8, Pampa - 4 e Mata Atlântica - 4. Porém as detecções negativas de tendências também estão distribuídas pelos seguintes biomas brasileiros: Mata Atlântica -6, Cerrado - 4, Amazônia - 4, Caatinga - 3 e no Pampa - 2.

**Figura 8 – Mapas contendo as distribuições de tendências durante a primavera (SON) para: A) *Insol.*, B) *Prec.*, C) *T-máx.* e D) *T-mín.***



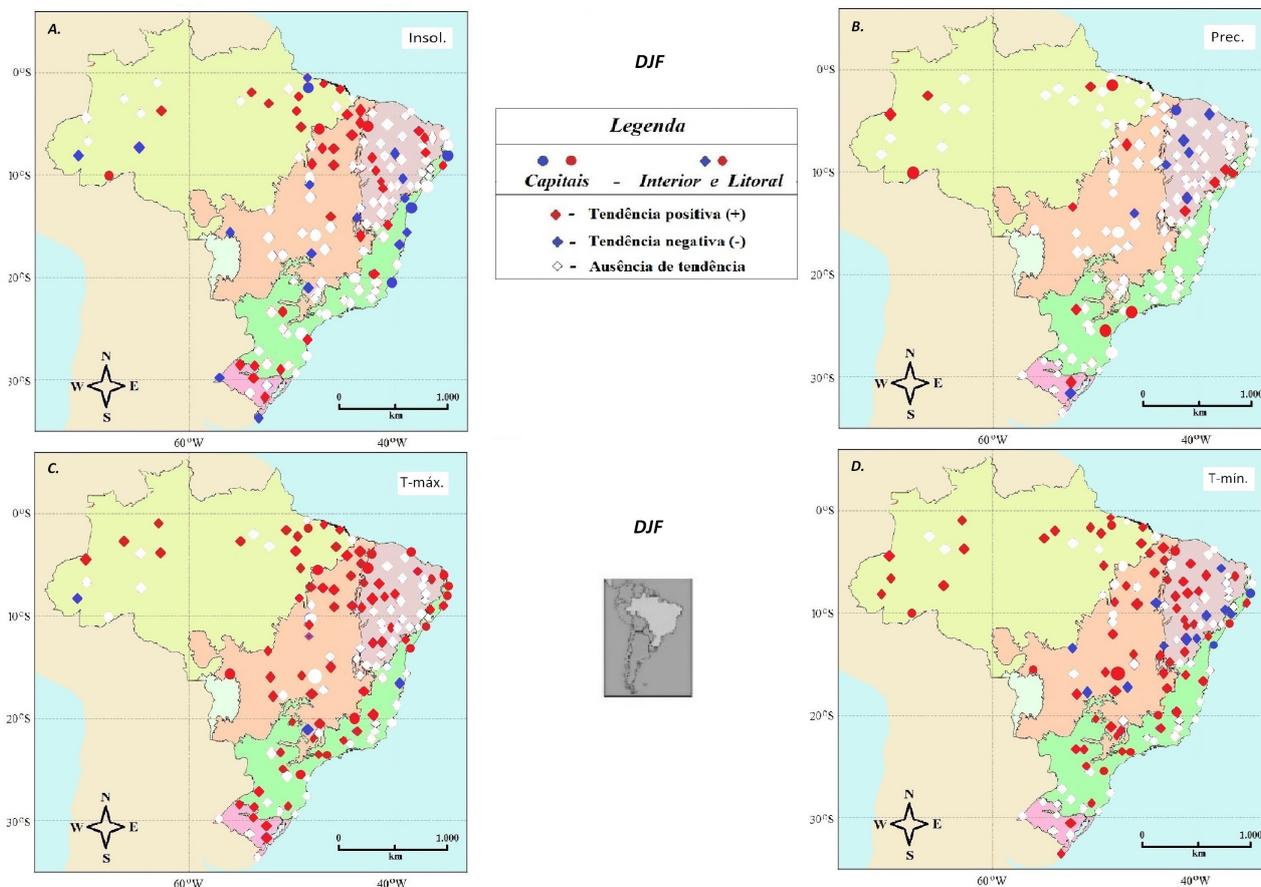
Fonte: Elaborada pelos próprios autores.

- Capitais com tendência negativa
- ◆ Cidades do interior ou do litoral com tendência negativa
- Capitais com tendência positiva
- ◆ Cidades do interior ou do litoral com tendência positiva
- ◇ Capitais, cidades do interior ou do litoral com ausência de tendência.

Para a *Prec.* (Figura 9-B), constata-se um número de 114 (82,61%) locais que não apresentaram tendências no verão. Essa quantidade tendencial é bem elevada, ao comparar com os 16 (11,59%) locais que registraram índices positivos distribuídos nas cidades localizadas pelos biomas: Amazônia - 6, Caatinga - 4, Mata Atlântica - 4, Pampa -1 e no Cerrado - 1. Nos casos de tendências com índices negativos de chuvas, registraram-se em 8 (5,80%) locais nos biomas: Caatinga - 5, Cerrado - 2 e no Pampa - 1.

Em relação a *T-máx.* (Figura 9-C), foram comprovadas 62 (44,93%) localidades espalhadas por todos os biomas, que não apresentaram tendências no verão. Contudo, 72 (52,17%) locais registraram índices positivos e estão localizadas nos biomas: Cerrado - 23, Mata Atlântica - 18, Amazônia - 16, Caatinga - 11 e no Pampa - 4. Com tendências de índices negativos, foram comprovadas apenas 4 (2,90%) localidades em dois biomas: Mata Atlântica - 3 e na Amazônia - 1.

**Figura 9 – Mapas contendo as distribuições de tendências durante o verão (DJF) para: A) *Insol.*, B) *Prec.*, C) *T-máx.* e D) *T-mín.***



Fonte: Elaborada pelos próprios autores.

- Capitais com tendência negativa
- ◆ Cidades do interior ou do litoral com tendência negativa
- Capitais com tendência positiva
- ◆ Cidades do interior ou do litoral com tendência positiva
- ◇ Capitais, cidades do interior ou do litoral com ausência de tendência.

Para o caso da *T-mín.* (Figura 9-D), no verão, verifica-se que 52 (37,68%) localidades não apresentaram tendências. Entretanto, 71 (51,45%) locais registraram índices positivos, e 15 (10,87%) tiveram tendências de índices negativos. Os municípios que registraram tendência de aumento da temperatura mínima estão em cinco biomas: Cerrado - 22, Mata Atlântica - 18, Amazônia - 16, Caatinga - 13 e no Pampa - 2. Porém as cidades que registraram tendência de diminuição da temperatura mínima estão distribuídas pelos quatro biomas: Caatinga - 8, Cerrado - 4, Mata Atlântica - 2 e na Amazônia - 1.

Em princípio, os dados aqui tratados parecem estar relacionados aos eventos El Niño e La Niña, pois para as *T-máx.* e *T-mín.*, os períodos dos aumentos de tendências registradas na década de 1990 para as estações JJA (em 1997), SON (em 1992) e DJF (em 1993) e as diminuições de

tendências, observa-se que nas décadas de 1980 a 2000, estão em consonância com os períodos relatados por Firpo et al. (2012), para os referidos eventos climáticos globais. Zanquim Jr. et al. (2015) e Pellegrino et al. (2007) constataram, por meio da “Declaração sobre Florestas da Conferência do Rio”, a Agenda 21 e dos Objetivos do Milênio, que as ações antrópicas são responsáveis por grande parte das mudanças climáticas que se detectam hoje e que se projetam para o futuro. Os autores ressaltam que o modelo de desenvolvimento agrícola do Brasil tem provocado grandes impactos ambientais negativos.

A emissão de gases de efeito estufa a partir das queimadas, desmatamento e expansão agrícola é mais expressiva se comparada com a emissão industrial e a queima de combustíveis fósseis. Devido à variabilidade natural do clima, tendências observadas em séries de curto comprimento são bastante sensíveis às datas de começo e fim e geralmente não refletem tendências climáticas de longo termo (IPCC, 2013).

## Conclusões

Todas as análises exploratórias realizadas nos quatro diferentes tipos de séries temporais (*Insol.*, *Prec.*, *T-máx.* e *T-mín.*), observadas em estações meteorológicas do INMET, de municípios espalhados pelos biomas do Brasil permitem afirmar que:

1. A *Insol.* foi a variável que registrou mais locais com diminuições de tendências (em MAM. e em DJF.), sendo as décadas de 1980, 1990 e 2000 as evidências registradas nos biomas Mata Atlântica, Cerrado e Amazônia. Foi na década de 1990, nessas regiões, que se identificaram as maiores quantidades de aumentos de tendências (em JJA. e em SON.).

2. No caso da *Prec.*, que foi a variável que acusou menos tendências, as maiores quantidades de diminuições foram inferidas nos biomas Caatinga, Cerrado e Amazônia, durante a década de 2000 principalmente no JJA e SON, enquanto que no DJF, prevaleceram os biomas Caatinga, Cerrado e Pampa, nas décadas de 1980, 1990 e 2000. Os poucos aumentos de tendências se mostraram mais presentes nas décadas 1980, 1990 e 2000, nos cinco biomas durante as quatro estações do ano.

3. Com relação a *T-máx.*, as maiores quantidades de locais com aumentos de tendências ocorreram na década de 1990, quando foi identificado o maior número de localidades nas quatro estações do ano. Nesse aspecto, os biomas com maiores números de locais foram: Cerrado, Amazônia, Caatinga e Mata Atlântica. Poucas diminuições de tendências foram registradas, sendo que a maioria se encontra na Mata Atlântica.

4. Para a *T-mín.*, os aumentos de tendências ocorreram na década de 1990, indicando um maior número de localidades tanto no inverno, na primavera, no verão e no outono. Nesse aspecto, os biomas com maiores números de locais foram: Cerrado, Amazônia, Caatinga e Mata Atlântica. As diminuições de tendências foram registradas com a maioria dos locais que se encontram na Caatinga, no Cerrado e na Mata Atlântica.

Os resultados aqui apresentados, por meio das análises estatísticas dos testes de Mann-Kendall e de Pettitt, podem ser considerados instrumentos eficientes nos estudos que visam análises de alterações climáticas. Além disso, os referidos resultados podem auxiliar a diminuir níveis de incertezas, permitindo um melhor conhecimento da dinâmica climática existente no Brasil, ou em qualquer outra parte do mundo, desde que se tenham bons dados observados.

## Referências

ANA – Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil – Informe 2013**. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: 01 set. 2018.

BACK, A. J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, p. 717-726, 2001.

BLAIN, G. C. Considerações estatísticas relativas a oito séries de precipitação pluvial da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Brasília, v. 24, n. 1, p. 12-23, 2009.

BLAIN, G. C. Séries anuais de temperatura máxima média do ar no Estado de São Paulo: variações e tendências climáticas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Brasília, v. 25, n. 1, p. 114-124, 2010.

FIRPO, M. A. F.; SANSIGOLO, C. A.; DE ASSIS, S. V. Climatologia e variabilidade sazonal do número de ondas de calor e de frio no Rio Grande do Sul associadas ao ENOS. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 1, p. 95-106, 2012.

GROPPO, J. D.; MORAES, J. M.; BEDUSCHI, C. E.; MARTINELLI, L. A. Análise de séries temporais de vazão e precipitação em algumas bacias do Estado de São Paulo com diferentes graus de intervenções antrópicas. **Geociências**, São Paulo, v.24, n. 2, p.181-193, 2005.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico de 2010**. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>>. Acesso em: 06 fev. 2019.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados para Pesquisa e Ensino – BDMEP**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 06 jan. 2019.

IPCC - **Intergovernmental Panel on Climate Change**. Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013.

KENDALL, M. G. **Rank correlation methods**. London: Charles Griffin, 1975.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Conheça os biomas brasileiros – diversidade biológica**. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2009/10/biomas-brasileiros>>. Acesso em: 06 fev. 2019.

MORAES, J. M.; PELLEGRINO, G.; BALLESTER, M. V.; MARTINELLI, L. A.; VICTORIA, R. L. Estudo preliminar da evolução temporal dos componentes do ciclo hidrológico da bacia do Rio Piracicaba. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos – 11;

Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa – 2; Recife. **Anais...** Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Recife, Pernambuco, p. 27-32, 1995.

MORTATTI, J.; JR. BORTOLETTO, M. J.; MILDE, L. C. E.; PROBST, J. L. Hidrologia dos rios Tietê e Piracicaba: séries temporais de vazão e hidrogramas de cheia. **Revista Ciência & Tecnologia**, Piracicaba, v. 12, n. 23, p. 55-67, 2004.

NAGHETTINI, M. C.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia Estatística**, Belo Horizonte: Serviço Geológico do Brasil (C-PRM), Brasília, p. 561, 2007.

PENEREIRO, J. C.; MARTINS, L. L. S.; BERETTA, V. Z. Identificação de variabilidades e tendências interanuais em medidas hidro-climáticas na região hidrográfica do Tocantins-Araguaia, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, São Paulo, v. 18, p. 219-241, 2016.

PELLEGRINO, G. Q.; ASSAD, E. D.; MARIN, F. R. Mudanças Climáticas Globais e a Agricultura no Brasil. **Revista Multiciência**, v. 8, p. 139-162, 2007.

PETTITT, A. N. A non-parametric approach to the change-point problem. **Applied Statistics**, Pittsburgh, v. 28, p. 126-135, 1979.

PICKERING, N. B.; HANSEN, J. W.; JONES, J. W.; WELLS, C. M.; CHAN, V. K.; GODWIN, D. C. Weather Man: a utility for managing and generating daily weather data. **Agronomy Journal**, Madison, v. 86, p. 332-337, 1994.

SANSIGOLO, C. A.; KAYANO, M. T. Trends of seasonal maximum and minimum temperatures and precipitation in Southern Brazil for the 1913-2006 period. **Theoretical and Applied Climatology**, Vienna, v. 101, p. 209-216, 2010.

SNEYERS, R. **Sur l'Analyse Statistique des Séries d'Observations**, Organisation Météorologique Mondiale, Tanya, p. 192, 1975.

TOLEDO, K. **Quinto relatório do IPCC mostra intensificação das mudanças climáticas – 2013**. Agência FAPESP. Disponível em: <<http://www.agencia.fapesp.br/17944>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

ZANQUIM JR., J. W.; MORAES, A. P. H.; MORAES, F. T.; MELNICKY, E. C. C. Danos ambientais urbanos e instrumentos de solução dos conflitos. In: *Novos Direitos – Cidades em Crise?* **Anais...** São Carlos: RiMa Editora, p. 175-188, 2015.

ZHENMEI, M.; SHAOZHONG, K.; LU, Z.; LING, T.; XIAOLING, S. Analysis of impacts of climate variability and human activity on streamflow for a river basin in arid region of northwest China. **Journal of Hydrology**, Minnesota, v. 352, p. 239-249, 2008.