

ANÁLISES DA INSOLAÇÃO SOBRE A TEMPERATURA MÉDIA E A PRECIPITAÇÃO PLUVIAL EM CIDADES BRASILEIRAS POR MEIO DE TENDÊNCIAS EM SÉRIES ANUAIS

ANALYSIS OF INSOLATION ON AVERAGE TEMPERATURE AND PLUVIAL PRECIPITATION IN BRAZILIAN CITIES THROUGH TRENDS IN ANNUAL SERIES

ANÁLISIS DE GOLPE DE CALOR SOBRE LA TEMPERATURA MEDIA Y LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL EN CIUDADES BRASILEÑAS A TRAVÉS DE TENDENCIAS EN SERIES ANUALES

JÚLIO CÉSAR PENEREIRO

Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas) – Faculdade de Matemática
Rod. D. Pedro I, km 136, CEP 13012-970, Campinas, São Paulo
jcp@puc-campinas.edu.br

NICOLE AUGUSTO MACCHERI

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas), Rod. D. Pedro I, km 136, CEP 13012-970, Campinas, São Paulo
nicole.am.b@puccampinas.edu.br

ANNA BADINGER

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas), Rod. D. Pedro I, km 136, CEP 13012-970, Campinas, São Paulo
anna.b@puccampinas.edu.br

RESUMO

Neste trabalho foram identificadas e analisadas séries temporais de insolação, temperatura média e precipitação pluviométrica, observadas em localidades, como capitais e cidades, pertencentes às regiões políticas do Brasil. Os dados foram extraídos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Aplicaram-se os testes estatísticos de Mann-Kendall e de Pettitt. Os resultados estatísticos, em forma de gráficos, tabelas e mapas de distribuição de tendências, permitem observar que na maioria das localidades avaliadas não ocorreu tendência na precipitação pluviométrica. No entanto, a insolação e a temperatura média revelaram que em alguns locais ocorreram tendências significativas, durante as décadas de 1990 e 2000. Essas tendências podem estar relacionadas aos eventos El Niño e La Niña, assim como devido às interferências humanas.

Palavras-chave: Testes Estatísticos; Mudanças climáticas; Influência solar; Regiões do Brasil.

ABSTRACT

In this work were identified and analysed annual trends in time series measurements of insolation, average temperature and rainfall, observed in capitals and cities located on the political areas of Brazil. The data were obtained from National Institute of Meteorology (INMET). The Mann-Kendall and Pettitt tests were applied. The statistical results, presented on graphics, tables and trend distributions maps, allow us to observe that in most localities evaluated trend in rainfall was recorded. However, insolation and average temperature data revealed significant trends in several locations during the decades of 1990 and 2000. These trends seem to be related to the El Niño and La Niña events, as well as human interferences.

Keywords: Statistical Tests; Climate changes; Solar influence; Brazilian regions.

RESUMEN

En este trabajo fueron identificadas y analizadas las tendencias anuales en series de tiempo de insolación, temperatura media y precipitación, observadas en localidades, como capitales y ciudades, pertenecientes a regiones políticas de Brasil. Los datos fueron tomados del Instituto Nacional de Meteorología (INMET). Fueron aplicados el tests estadísticos de Mann-Kendall y de Pettitt. Los resultados estadísticos, en forma de gráficos, tablas y mapas de distribución de tendencias permiten observar que en la mayoría de las localidades evaluadas no ocurrió tendencia en la precipitación pluviométrica. Sin embargo, la insolación y la temperatura media revelaron que en algunos lugares ocurrieron tendencias significativas, durante las décadas de 1990 y 2000. Estas tendencias pueden estar relacionadas con eventos El Niño y La Niña, así como debido a las interferencias del ser humano.

Palabras clave: Testes Estadísticos; Cambio climático; Influencia solar; Regiones de Brasil.

1. INTRODUÇÃO

As variações climáticas na superfície da Terra e suas causas têm sido investigadas de forma intensa nas últimas décadas (VENEGAS; MYSAK; STRAUB, 1997; ALEXANDER et al., 2006; IPCC-AR4, 2007; MARENGO; CAMARGO, 2008; IPCC-AR5, 2014). Nos anos mais recentes os meios de comunicações em massa têm veiculado que a temperatura média na superfície do planeta aumentou em alguns décimos de graus devido às variações climáticas em nível regional ou global. De acordo com o Quinto Relatório Científico do Painel Intergovernamental das Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC, na sigla em inglês), o aumento da temperatura atmosférica é inequívoco, pois desde meados da década de 1970 são identificadas variações nos padrões climáticos globais (IPCC-AR5, 2014). Nesse documento, elaborado pelo IPCC, também foi relatado que a temperatura média da atmosfera tem aumentado em quase todo planeta, com incrementos de até 2,5°C no período de 1901 a 2012 no sul da América do Sul, norte da África, região central do continente asiático e norte da América do Norte. Adicionalmente, aumentos na precipitação pluviométrica anual de até 50 mm.ano⁻¹.década⁻¹ foram observados no sul da América do Sul, norte da Austrália, Europa e sul da América do Norte. Tendências negativas nessa variável também foram observadas na África, sul do continente asiático e sul europeu, com diminuição de 5 a 50 mm.ano⁻¹.década⁻¹ (IPCC-AR5, 2014).

Estudar as alterações climáticas ocorridas no passado possibilita compreender melhor as variabilidades inferidas no presente, além de subsidiar melhores averiguações no comportamento do clima futuro realizadas por modelos que levam em consideração diferentes aspectos socioeconômicos, como uso da terra, concentrações de gases de efeito estufa, propagação de alguns tipos de doenças, entre outros (PBMC, 2015).

Ainda existem muitas controvérsias a respeito da influência dos seres humanos sobre o clima terrestre, pois presume-se que uma parte das variabilidades climáticas identificadas é consequência do atual aquecimento global observado (TOLEDO, 2013; IPCC-AR5, 2014), 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, em particular na região Norte do Brasil (GROPPO et al., 2005; ANA, 2013), dentre outros fatores.

Existem outros fatores que causam essas variações de temperatura no planeta, mas que são ignorados pelos meios de comunicações: os ciclos de manchas solares, a variação na composição da atmosfera, as radiações solares, a temperatura da água nos oceanos Pacífico e Atlântico e os fenômenos correlatos (El Niño e La Niña), a variação da posição da Terra em relação ao Sol, que provoca variações das quantidades de radiações solares absorvida pelo planeta, entre outras causas.

No Brasil, a deficiência de uma rede observacional coerentemente distribuída, a falta de observações meteorológicas de longo prazo, além de eventuais interrupções nas medições observadas, são fatores limitantes para se estudar o clima com maior precisão. Neste contexto, para realizar estudos mais confiáveis envolvendo as séries temporais de variáveis climáticas deve-se aplicar e analisar métodos estatísticos não paramétricos, pois eles possuem um embasamento matemático mais rigoroso para os modelos teóricos de descrição climática (SANSIGOLO; KAYANO, 2010).

Um método frequentemente empregado para análises é a verificação de tendência. A tendência é caracterizada por uma elevação ou diminuição nos valores médios de uma série temporal contendo medições realizadas por equipamentos disponíveis em estações medidoras concebidas para essa finalidade. Não obstante, como afirma Blain (2010), 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.

Diante do exposto, o presente trabalho visa contribuir com as análises de tendências do regime anual de séries temporais de insolação, temperatura média do ar e de precipitação pluviométrica, empregando os dados meteorológicos observados em cidades espalhadas pelas regiões políticas do Brasil, e analisar por meio de mapas as distribuições espaciais dessas tendências. Para tanto, realizaram-se análises das variabilidades de séries temporais e identificaram-se, por meio de testes estatísticos, os locais e datas de eventuais tendências significativas. Os resultados foram analisados no intuito de realizar um estudo exploratório para verificar se as tendências da precipitação e da temperatura média estão relacionadas com a da insolação.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de Estudo

Com uma área de aproximadamente 8.515.767,0 km², localizado entre as longitudes -75° e -35° e latitudes +5° e -30°, o Brasil possui 5.569 municípios, além do Distrito Federal, espalhados por cinco regiões políticas: Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul. Dessas, a maior em extensão é a Região Norte com 3.869.637,9 km², o que equivale a 45,2% do território brasileiro, e a menor é a Região Sul, com 575.316,0 km², correspondendo a 6,8% do território nacional (IBGE, 2010).

No presente estudo foram utilizados dados históricos diários de insolação (*Insol.*), temperatura média do ar (*T-Méd.*) e precipitação pluviométrica (*Prec.*) de estações meteorológicas convencionais pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Esses dados pertencem a locais que fazem parte, ou estão próximos, das capitais dos estados e de cidades localizadas em todas as regiões políticas do país. O período estudado de cada série temporal depende da disponibilidade dos dados observados de cada estação medidora em análise. Durante o processo de organização das séries temporais, foram eventualmente observadas falhas, ou ausências, de dados medidos em algumas localidades. Em alguns casos, meses e até mesmo anos não possuíam medições, o que acarretou num corte no período da série a ser reduzida. Assim, o início do período analisado é variável conforme a estação meteorológica, mas têm o final estabelecido em dezembro do ano de 2015 (INMET, 2016).

As ocorrências de falhas nas medições de uma determinada série foram corrigidas por meio 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. Para os períodos com falhas maiores que três dias, optou-se por calcular a média entre os três mesmos meses dos três anos anteriores ou posteriores, conforme cada caso específico. No caso de falhas maiores que três anos, optou-se por eliminar os dados anteriores a essas falhas, restando uma série de período menor que a original, porém com maior consistência nos dados a serem tratados estatisticamente.

Outros eventuais tipos de problemas nas medições observadas também foram inferidos, tais como a descontinuidade espacial e temporal dos dados e a má distribuição das estações medidoras. No entender de Pickering et al. (1994), esses problemas podem ser justificados devido às dificuldades em se manter equipamentos em áreas perigosas ou inóspitas, a eventual mudança dos equipamentos para locais bem diferentes das condições iniciais, além da falta de verba para a instalação ou manutenção dos mesmos. Isso explica a presença de grandes regiões com ausência de estações medidoras, como pode ser comprovado no mapa da distribuição das estações medidoras do INMET mostrado na Figura 1. No mapa da referida figura estão representadas as posições geográficas das estações medidoras, cujos dados observados foram utilizados neste estudo.

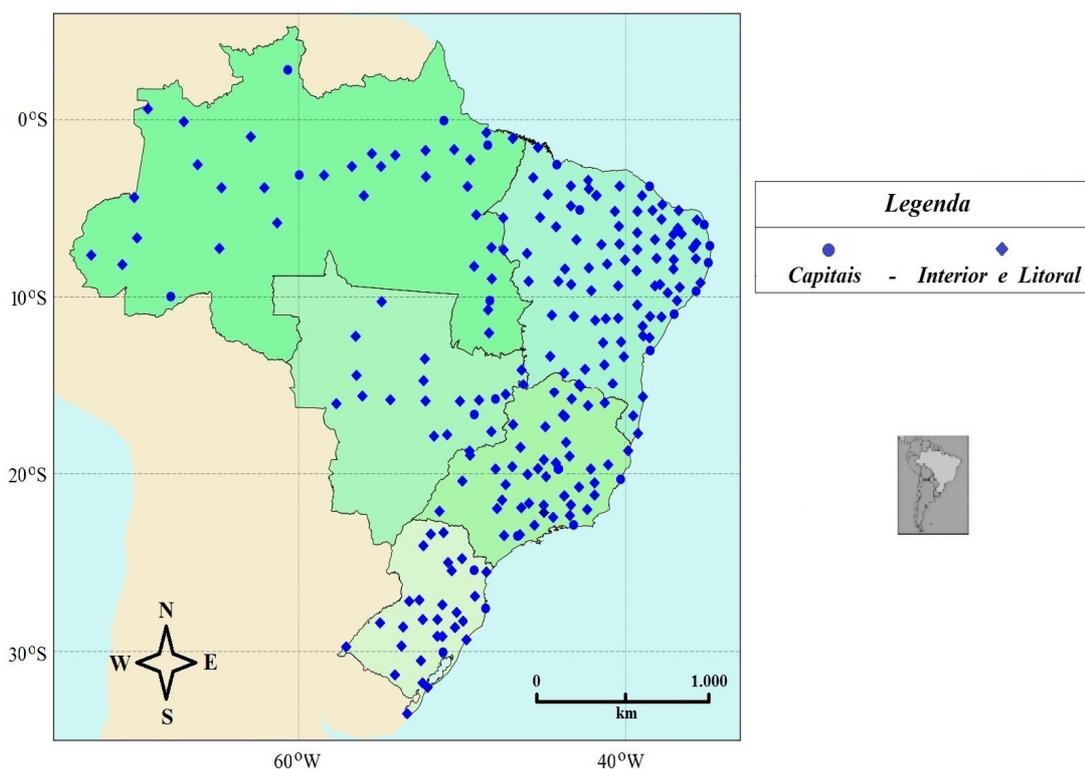


Figura 1 – Localização geográfica das estações medidoras convencionais do INMET, nas quais os dados observados foram analisados neste estudo.

Até a presente data, no endereço eletrônico do INMET, há dados observados em 266 estações medidoras convencionais distribuídas pelas cidades do país (INMET, 2016). No total o presente estudo analisou 224 localidades, sendo que nelas estão contidas as 25 capitais de estados. Ressalta-se que as capitais dos estados de Mato Grosso do Sul (Campo Grande) e de Rorâima (Porto Velho) não possuem estações medidoras do INMET. O levantamento realizado corresponde a 84,21% do total de estações, sendo que 37 (16,52%) encontram-se na Região Norte, 89 (39,73%) no Nordeste, 19 (8,48%) no Centro-Oeste, 49 (21,88%) no Sudeste e 30 (13,39%) no Sul. Essas diferenças se justificam devido às dimensões, às quantidades de ocupações urbanas e às características geográficas intrínsecas de cada região política (PICKERING et al., 1994; INMET, 2016).

Como o INMET não disponibiliza dados diários da temperatura média do ar, neste trabalho a mesma foi determinada para cada localidade a partir do cálculo da média entre as temperaturas mínima e máxima medidas a cada dia.

Os dados observados foram organizados e tratados por meio de planilhas elaboradas aplicando o software *Microsoft Office Excel*. Usando este mesmo software, realizaram-se correções de falhas, cálculos aplicando testes estatísticos visando detectar a ocorrência de tendência dos parâmetros de interesse (*Insol.*, *T-Méd.* e *Prec.*), além da geração de gráficos e a realização de análises estatísticas acuradas, como será apresentado e discutido a seguir.

2.2. Testes Estatísticos Utilizados

Apesar de existirem muitos métodos para avaliação da significância estatística de uma tendência, optou-se neste estudo por fazer com que cada série temporal fosse tratada pelo teste sequencial de Mann-Kendall (M-K.), proposto inicialmente por Sneyers (1975). Trata-se de um teste não paramétrico no qual, na hipótese de estabilidade de uma série, os valores devem ser independentes e a distribuição de probabilidade deve permanecer sempre a mesma (série

aleatória simples) (PINHEIRO; GRACIANO; SEVERO, 2013).

Considerando uma série temporal Y_i de N termos ($1 \leq i \leq N$) a ser analisada, sendo: $1 \leq i \leq N$, o procedimento consiste em realizar a soma $t_n = \sum_{i=1}^N m_i$ do número de termos m_i da série, relativo ao valor Y_i cujos termos precedentes ($j < i$) são inferiores ao mesmo ($Y_j < Y_i$). Para uma série com grande número de termos (N), sob a hipótese nula (H_0) de ausência de tendência, t_n apresentará uma distribuição normal com média e variância dada, respectivamente, por $E(t_n) = \frac{N(N-1)}{4}$ e $\text{var}(t_n) = \frac{N(N-1)(2N+5)}{72}$. Utilizando um teste bilateral e estando a significância estatística de t_n para a hipótese nula, esta pode ser rejeitada para grandes valores da estatística $U(t_n)$, expressa pela equação (1):

$$U(t_n) = \frac{(t_n - E(t_n))}{\sqrt{\text{var}(t_n)}} \quad (1)$$

Por meio de uma tabela de distribuição normal padronizada, o valor da probabilidade α_1 é calculado por: $\alpha_1 = \text{prob}(|U| > |U(t_n)|)$. Considerando α_0 o nível de significância do teste (geralmente $\alpha_0 = 0,05$), a hipótese nula (H_0) é aceita se $\alpha_1 > \alpha_0$. No caso da hipótese ser rejeitada, acarretará a existência de tendência significativa, sendo que o sinal de $U(t_n)$ indicará se a tendência da variável em análise é crescente ($U(t_n) > 0$) ou decrescente ($U(t_n) < 0$).

Na versão sequencial, a equação $U(t_n)$ é calculada no sentido direto da série, isto é, partindo do valor $i = 1$ até $i = N$. Aplicando o mesmo princípio, porém no sentido contrário, isto é, partindo do valor $i = N$ até $i = 1$, gera-se a estatística inversa $U^*(t_n)$. A intersecção das duas curvas estatísticas, $U(t_n)$ e $U^*(t_n)$, corresponde ao ponto aproximado de mudança da tendência procurada. No entanto, esse procedimento de encontro das curvas só é significativo caso o ponto de intersecção ocorra dentro do intervalo de significância bilateral $-1,65$ a $1,96$, correspondente a $\alpha_0 = \pm 0,05$ (em $\pm 5\%$) e $\alpha_0 = \pm 0,10$ (em $\pm 10\%$), respectivamente.

O procedimento estatístico seguinte foi aplicar a cada série temporal o teste de homogeneidade de Pettitt (PETT.), que se trata de outro método estatístico não paramétrico (PETTITT, 1979; MORAES et al., 1995). Este procedimento utiliza uma versão do teste de Mann-Whitney (FREUND, 2006), no qual se verifica se duas amostras Y_1, Y_2, \dots, Y_t e $Y_{t+1}, Y_{t+2}, \dots, Y_T$ pertencem à mesma população. Para tanto, é calculada a estatística $u_{t,T}$ por meio de uma contagem do número de vezes que um membro da primeira amostra é maior que um membro da segunda amostra, de acordo com a equação (2):

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

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 estatística $u_{(t,T)}$ é calculada para valores de $1 \leq t \leq T$.

Em seguida, obtém-se a estatística $K(t)$ do teste de Pettitt por meio do máximo valor absoluto de $u_{(t,T)}$. A estatística $K(t)$ localiza o ponto onde houve a mudança brusca na série

temporal e a sua significância pode ser avaliada pela relação: $p \cong 2 \cdot e^{\left(\frac{-6 \cdot K(t)^2}{T^3 - T^2}\right)}$. O ponto de mudança brusca é aquele no qual o valor de t ocorre para o máximo (ou mínimo) de $K(t)$. Isso é feito invertendo a equação de (p) para inferir o valor crítico de $K(t)$ por meio da equação (3):

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

Para todos os cálculos envolvendo esse teste, adotaram-se os níveis de significância da mudança em $\pm 5\%$ a $\pm 10\%$ usando o valor de $K_{crit.}$ da série trabalhada.

De acordo com Sansigolo e Nery (2000), os dois testes não paramétricos descritos anteriormente são os melhores procedimentos de análises em séries temporais porque possuem um maior embasamento estatístico para modelos teóricos de descrição climática. Porém, como comentado por Penereiro, Martins e Beretta (2016), torna-se significativo utilizar os testes de Mann-Kendall e de Pettitt de maneira combinada, isto é, realizando análises gráficas e numéricas em conjunto para que se possa identificar e localizar quando uma possível tendência na série temporal passou a existir com maior precisão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análises dos Testes Estatísticos

Devido à grande quantidade de informações numéricas obtidas no presente trabalho, decidiu-se apresentar apenas alguns dos resultados de séries temporais reduzidas em forma de gráficos, visando à identificação de características e peculiaridades das mesmas, além de se realizar interpretação estatística de maneira adequada.

Em cada um dos gráficos aqui mostrados, os contendo o teste de M-K. foram representados pelas linhas pretas e estão na parte inferior. As linhas horizontais tracejadas e pontilhadas referem-se aos intervalos de confiança $\pm 5\%$ a $\pm 10\%$, sendo a curva estatística $U(t_n)$ representada em linha contínua e a $U^*(t_n)$ em linha tracejada.

De maneira análoga, os gráficos aplicando o teste de PETT. foram representados em cor vermelha e estão na parte superior, sendo que os níveis de confiança de $\pm 5\%$ a $\pm 10\%$ estão evidenciados em linhas horizontais tracejadas e pontilhadas, respectivamente, sendo a curva estatística $K(t)$ mostrada em linha contínua.

No intuito de estabelecer um critério que expressasse os resultados dos dois testes, utilizou-se a seguinte convenção: os sinais (+) e (-) para tendência positiva e negativa, respectivamente, quando esta for igual ou estiver acima de 10% do intervalo de confiança bilateral, além dos sinais (+)(+) e (-)(-) se forem iguais ou maiores de 5% do intervalo de confiança bilateral. Um sinal (?) foi adotado quando não houve condições de confirmar tendência na série avaliada.

Na Figura 2 estão mostrados os gráficos relativos às análises não paramétricas para os dados de *Insol.* nas cidades de São Joaquim (SC) e Encruzilhada do Sul (RS), ambas na Região Sul do Brasil.

O comportamento em São Joaquin, mostrado na Figura 2a, confirmou tendência de aumento (+)(+). Isso se deve porque ao aplicar o teste de M-K. registrou-se um cruzamento das curvas estatísticas $U(t_n)$ (contínua) e $U^*(t_n)$ (tracejadas) entre os intervalos de confiança em 1998 (Figura 2a, inferior) e, além disso, ao aplicar o teste de PETT. a curva $K(t)$ (Figura 2a, superior) apresentou início de tendência (+)(+) também no ano de 1998. Portanto, a evidência de aumento de insolação solar ficou confirmada a partir de 1998 nesta localidade.

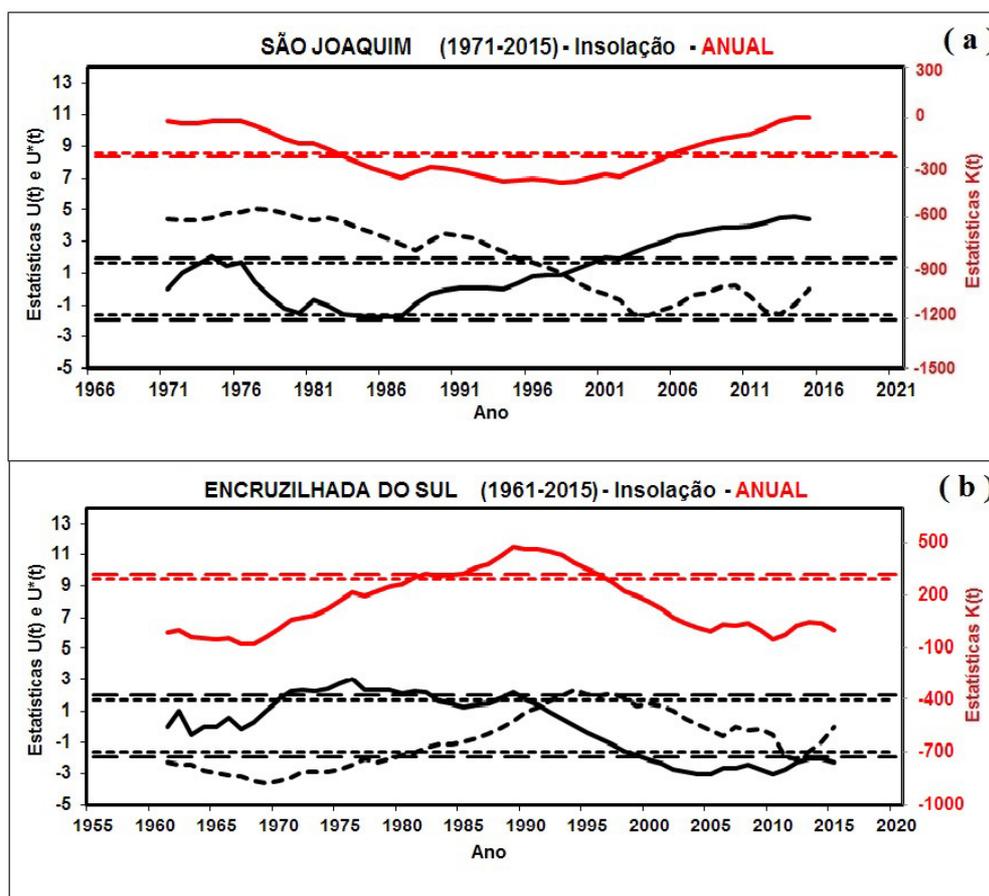


Figura 2 – Comportamento das estatísticas de Mann-Kendall (inferior e em preto) e de Pettitt (superior em vermelho) para medidas de *Insol.* anuais em: (a) São Joaquim (SC) e (b) Encruzilhada do Sul (RS).

Com relação à *Insol.* observada em Encruzilhada do Sul (Figura 2b), as aplicações dos testes estatísticos indicam diminuição de tendência $(-)(-)$ a partir de 1989. Isso ocorre devido ao cruzamento das curvas estatísticas $U(t_n)$ e $U^*(t_n)$ entre os intervalos de confiança em 1991 (Figura 2b, inferior), além da curva $K(t)$ ter apresentado o início de tendência $(-)(-)$ confirmada no ano de 1989 (Figura 2b, superior). Em que pese essas datas estarem defasadas uma da outra em apenas um ano, optou-se por confirmar que existe tendência negativa nessa série temporal a partir de 1989. A data inferida pelo teste de PETT. foi considerada por ser um método estatístico melhor elaborado para a definição de data de ocorrência de tendência (PENEREIRO; MARTINS; BERETTA, 2016).

A Figura 3 revela os gráficos dos comportamentos medidos para as variáveis climáticas de *Prec.* e *T-Méd.* nas cidades de Manaus (AM) e Soure (PA), respectivamente, ambas localizadas na Região Norte.

Ausência de tendência significativa pode ser atribuída para as medidas de *Prec.* em Manaus (Figura 3a), pois ao aplicar os testes estatísticos ocorreram vários cruzamentos das curvas $U(t_n)$ e $U^*(t_n)$ entre os intervalos de confiança e, além disso, a curva $K(t)$, mostrada no gráfico superior da figura, em nenhum momento cruzou um dos níveis de confiança de $\pm 5\%$ e $\pm 10\%$. Em decorrência disso ficou descartada a existência de tendência no índice de chuva para essa cidade.

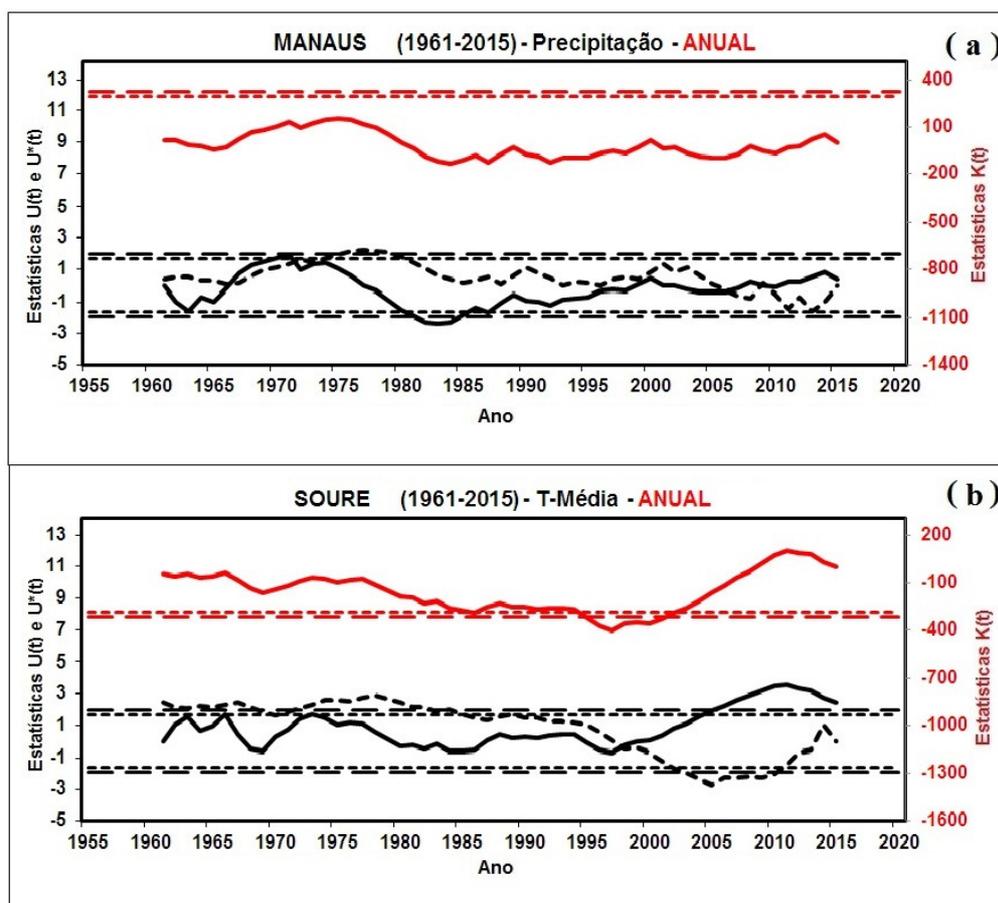


Figura 3 – Idem aos gráficos da figura anterior, porém aplicados às medidas em: (a) *T-Méd.* para Soure (PA) e (b) *Prec.* para Manaus (AM).

Ao analisar o comportamento da *T-méd.* medida para cidade de Soure, mostrado na Figura 3b, os testes estatísticos confirmam o registro de tendência positiva com nível (+)(+) a partir de 1997. Novamente, isso se justifica porque as curvas $U(t_n)$ e $U^*(t_n)$ cruzaram-se entre os intervalos de confiança na data de 1998, enquanto que o ponto de mudança brusca de $K(t)$ ocorreu ao cruzar os limites críticos estabelecidos de 5% e 10% em 1997. Mais uma vez, a data inferida pelo teste de PETT. foi considerada (PENEREIRO; MARTINS; BERETTA, 2016), confirmando a tendência de aumento da temperatura a partir de 1997.

Por meio das análises envolvendo as formas gráficas dos testes de Mann-Kendall e de Pettitt, como mostrados nos exemplos gráficos discutidos anteriormente, todos os dados provenientes das 224 estações do INMET tratados neste estudo foram organizados e tabelados. A Tabela 1 apresenta um resumo dos resultados de tais testes, aplicados nas séries temporais anuais, para as localidades abordadas em cada região política do Brasil. Nessa tabela foi adotada a convenção de sinais discutida anteriormente, visando identificar as análises com resultados de tendência negativa (-), positiva (+) ou ausência (?) do presente levantamento.

Tabela 1: Quantidade de locais tratados, em cada região política do Brasil, classificadas quanto às tendências identificadas pelos testes M-K. e PETT. aplicados em cada variável climática anual.

Região Política	Insol.			T-Méd.			Prec.		
	(-)	(+)	(?)	(-)	(+)	(?)	(-)	(+)	(?)
<i>Norte</i>	5	18	14	0	18	19	6	3	28
<i>Nordeste</i>	3	31	55	4	23	62	1	0	88
<i>Centro-Oeste</i>	2	10	7	0	6	13	1	1	17
<i>Sudeste</i>	6	13	30	1	22	26	0	1	48
<i>Sul</i>	5	9	16	0	11	19	0	6	24
TOTAL	21	81	122	5	80	139	8	11	205

Como é possível verificar na referida tabela, nas três variáveis ocorreram um maior número de locais com ausência de tendência, principalmente para a *Prec.* com 91,52% dos casos, destacando a Região Nordeste com 88 locais. Diminuição e aumento de tendências foram registradas com 3,57% e 4,91%, respectivamente, para os índices de chuvas.

Quanto ao aumento de tendência, tanto a *Insol.* como a *T-Méd.*, registraram 36,16% e 35,71% dos casos, respectivamente, sendo que as mesmas se destacaram quando comparadas à *Prec.* que acusou 4,91% dos casos. Analogamente, a Região Nordeste também foi a região política que acusou o maior número de ausência de tendência na *T-Méd.* (62 locais) e na *Insol.* (55 locais).

Fato contrário ocorreu para a diminuição de tendência, visto que a *T-Méd.* foi a que registrou menor quantidade, com 2,23% dos casos, seguida pela *Prec.*, com 3,57%, e a *Insol.*, que apresentou a maior quantidade de locais, com total de 9,38% dos casos.

Como foram tratadas 672 séries temporais neste levantamento, a quantidade de informações numéricas é muito grande. Neste sentido, como comentado anteriormente, optou-se por elaborar mapas, das distribuições espaciais de tendências das três variáveis abordadas, em território brasileiro, como os apresentados a seguir nas Figuras 4, 5 e 6.

3.2. Mapas das Distribuições de Tendências

Uma maneira de avaliar conjuntamente os resultados encontrados pela aplicação dos testes estatísticos aqui trabalhados nas séries temporais, das 224 localidades tratadas ao longo das regiões políticas do Brasil, é por meio da distribuição geográfica desses eventos. Neste sentido, decidiu-se elaborar mapas relativos às distribuições de tendências nas três variáveis em análises. As posições geográficas de cada mapa correspondem àquelas apresentadas na Figura 1. Cada mapa corresponde a uma determinada grandeza climática trabalhada, sendo possível, por meio de uma análise visual, identificar os locais onde se detectaram tendências crescentes (+) e decrescentes (-) neste levantamento. A convenção de sinais está mostrada na legenda apresentada ao lado direito das referidas figuras.

3.2.1. Para a Insoleção (*Insol.*)

O mapa da Figura 4 revela a distribuição espacial da *Insol.* Destacam-se 81 cidades com registros de tendências de aumento dessa variável, o que corresponde a 36,16% das localidades analisadas. A Região Nordeste foi a que apresentou o maior número de casos (31), seguida pelas Regiões Norte (18), Sudeste (13), Centro-Oeste (10) e Sul (8). Detectaram-se tendências negativas em 21 cidades, correspondendo a 9,38% dos locais analisados, sendo a Região Sudeste foi a que apresentou o maior número de casos (6), seguida pelas Norte e Sul (5 cada), Nordeste (3) e Centro-Oeste (2). Em 122 cidades analisadas, o que equivale a 54,46% de todo o

levantamento, não ocorreu a comprovação de tendência na *Insol.*, sendo a Região Nordeste a que apresentou o maior número de casos (55), seguida pelas Regiões Sudeste (30), Sul (16), Norte (14) e Centro-Oeste (7).

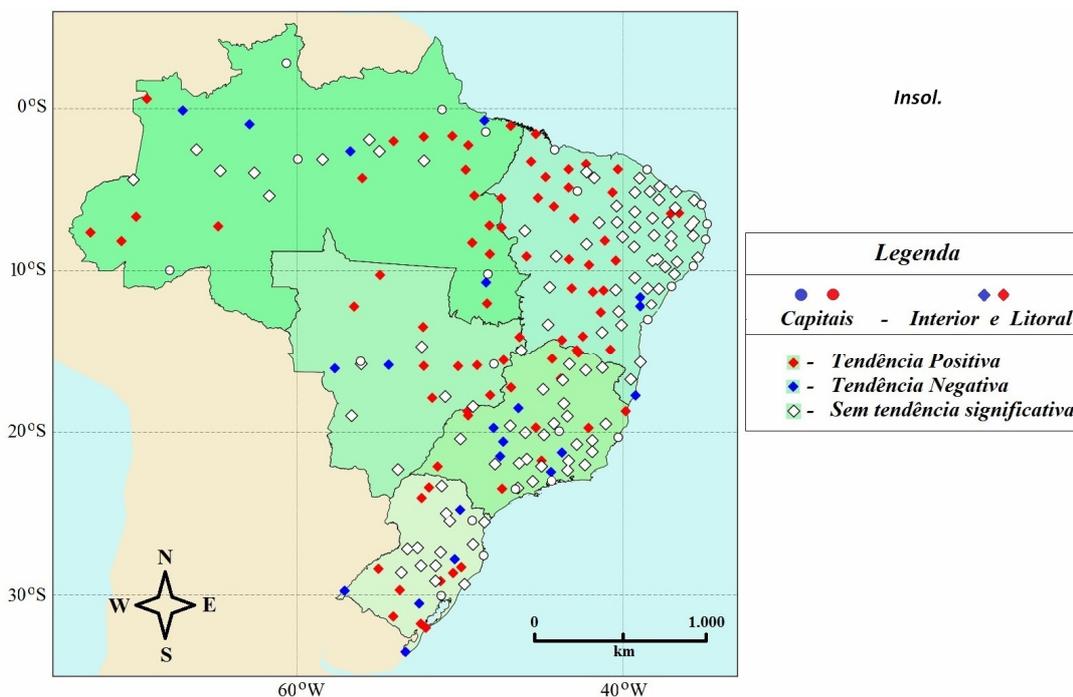


Figura 4 – Distribuição geográfica das tendências anuais positivas, negativas e sem tendências significativas, inferidas para a *Insol.* por meio da aplicação dos testes não paramétricos.

Observa-se que a porcentagem de tendências detectadas anualmente, seja positiva ou negativa, em grande parte localizam-se no interior do país, excetuando-se algumas cidades localizadas próximas ou no litoral das Regiões Nordeste, Sul, Norte e Sudeste. Percebe-se ainda que ausências de tendências na *Insol.* foram identificadas de maneira espalhada por todo o Brasil, particularmente nas proximidades das regiões costeiras (Figura 4).

3.2.2. Para a Temperatura Média (*T-Méd.*)

Quanto à distribuição espacial da variável *T-Méd.*, mostrada na Figura 5, foram encontrados 80 locais (35,71%) com evidências de tendência positiva, sendo a Região Nordeste a que apresentou o maior número de casos (23), seguida das Regiões Sudeste (22) e Norte (18), depois a Sul (11) e Centro-Oeste (6). Foram poucas as localidades onde se registrou tendência negativa, destacando apenas cinco casos (2,23%), sendo quatro casos na Região Nordeste e com apenas um caso a Sul. Nenhuma tendência negativa foi registrada nas Regiões Norte, Sul e Centro-Oeste. Identificou-se 139 cidades (62,05%) que não acusaram indícios de tendências para essa variável climática, destacando-se as Regiões Nordeste (62), Sudeste (26), Norte e Sul (19 casos cada) e Centro-Oeste (13).

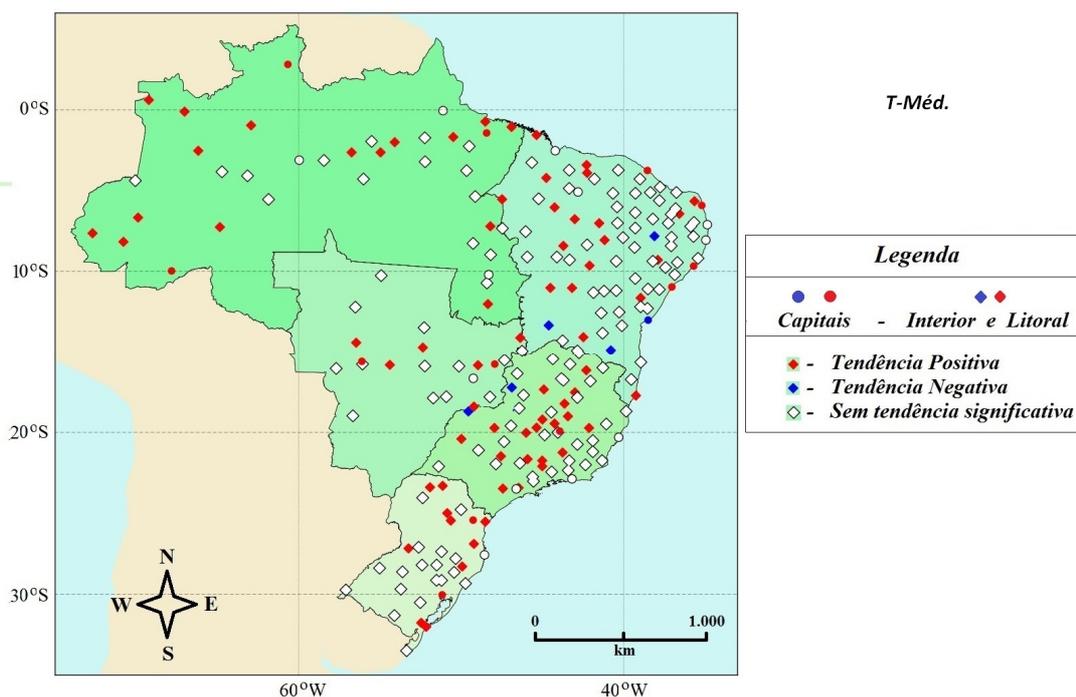


Figura 5 – Como na figura anterior, porém para tendências do parâmetro climático *T-Méd.*

Constata-se por meio do mapa da Figura 5 que a porcentagem de tendências positivas ou negativas para *T-Méd.* se localiza no interior do país. Exceto para algumas cidades localizadas próximas ou nas regiões litorâneas das Regiões Sul, Norte e Nordeste, que acusaram alguns aumentos, e na Região Nordeste que apresentou um caso de diminuição de tendência da temperatura média.

3.2.3. Para a Precipitação Pluvial (*Prec.*)

No que se refere à *Prec.*, constatou-se através do mapa da Figura 6 que esta foi a variável climática que mais acusou ausência de tendência, pois foram registrados 205 locais, representando 91,52% das localidades tratadas nesse levantamento. Neste contexto, destacam-se, por ordem decrescente do número de locais, a Região Nordeste com 88 locais, seguida da Região Sudeste (48), da Região Norte (28), da Região Sul (48) e da Região Centro-Oeste (17). Aumentos de *Prec.* foram registrados em 11 cidades (4,91% do total), estando o maior número de locais registrados na Região Sul com seis casos, seguidas das Regiões Norte com três casos e as Regiões Centro-Oeste e Sudeste com um local cada. Nenhuma tendência de aumento no índice de chuva foi acusada na Região Nordeste. As diminuições chuvosas foram detectadas em apenas oito locais (3,57%), com seis casos na Região Norte, e um caso nas Regiões Nordeste e Centro-Oeste. Analisando-se o referido mapa, observa-se ainda que nenhuma cidade das Regiões Sul e Sudeste registrou diminuição na *Prec.* (Figura 6).

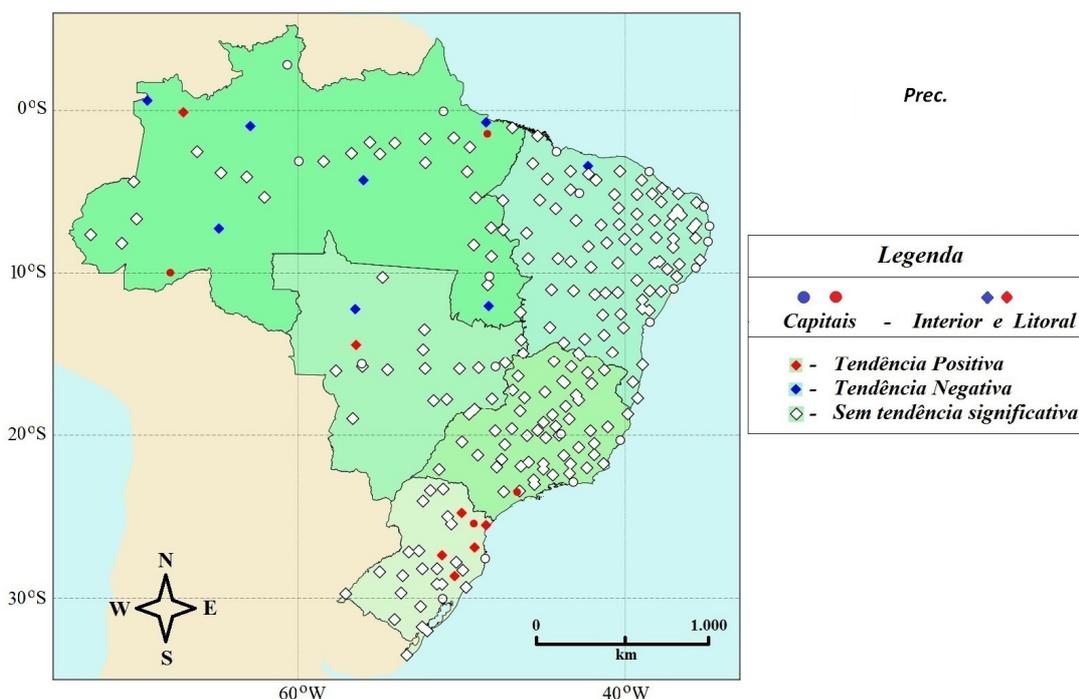


Figura 6 – Idem às distribuições anteriores, mas para as tendências do parâmetro climático *Prec.*

Vale lembrar que os resultados nas tendências de *Prec.* aqui discutidos não concordam com os encontrados na base de dados contidas no trabalho de Alexander et al. (2006), que abordou 2200 estações de precipitação pluvial espalhadas pelo planeta, sendo poucas dessas estações localizadas no Brasil. Como pode ser observado nos mapas da Figura 6, foram poucas as ocorrências de tendências no aumento ou diminuição dos níveis chuva, sendo que as mesmas se encontram espalhadas por cidades de todas as regiões políticas do Brasil, destacando as Regiões Norte e Sul com diminuições e aumentos de tendências, respectivamente.

3.3. Frequência Temporal de Tendências

Os histogramas apresentados nas Figuras 7, 8 e 9 foram elaborados para mostrar a diversidade de informações por meio da frequência de ocorrências das tendências inferidas nas séries temporais anuais para as três variáveis, *Insol.*, *T-Méd.* e *Prec.* respectivamente, entre as décadas de 1960 até 2010 tratadas no presente levantamento. Em cada uma dessas figuras, os aumentos de tendências em cada década estão representados em vermelho, enquanto que as diminuições estão em azul e as totalidades de ocorrências, o que representa a soma dos aumentos e diminuições, estão em preto.

Ao analisar a Figura 7, relativa à *Insol.* anual, observa-se que as maiores quantidades de tendências foram registradas na última década do século XX, com destaque para o aumento de insolação registrado em 53 locais na década de 1990, principalmente nos anos 1992 e 1997. Ressalta-se ainda que nesta mesma década não ocorreu nenhuma diminuição de tendência, assim como na década de 1970 não ocorreu qualquer aumento para essa variável.

Destaca-se também nesse histograma o início da década de 2000, onde foram verificados aumentos e diminuições de tendências em 25 e 8 locais, respectivamente, ocorridos nos anos 2002 e 2003.

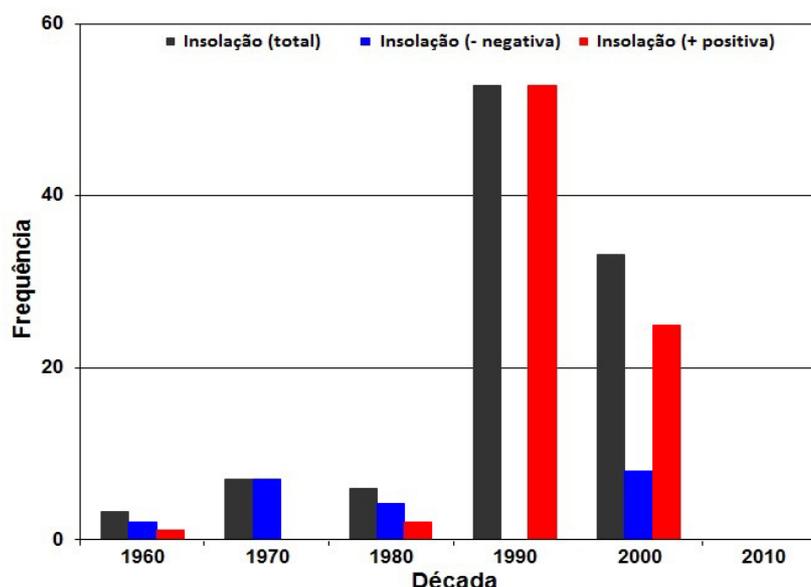


Figura 7 – Histograma das frequências de tendências para a *Insol.* ao longo dos períodos anuais das décadas de 1960 até 2010.

Como relatado anteriormente, essas ocorrências foram verificadas por todas as regiões políticas do Brasil, como se pode perceber no mapa de distribuição de tendências de *Insol.* exposto na Figura 4.

Na Figura 8 está o histograma relacionado às frequências temporárias das tendências relacionadas à *T-Méd.* Assim como no caso anterior, mais uma vez observa-se que as maiores quantidades de aumentos em tendências foram registradas com 47 casos na década de 1990, destacando os anos de 1992, 1993 e 1997. A década de 2000 também se destaca com 29 casos, pois apresentou aumento de tendências, com maiores ocorrências nos anos 2002 e 2003. Todas as frequências de aumentos mostradas nesse histograma estão espalhadas por todas as regiões políticas brasileiras, como pode ser constatado no mapa da Figura 5.

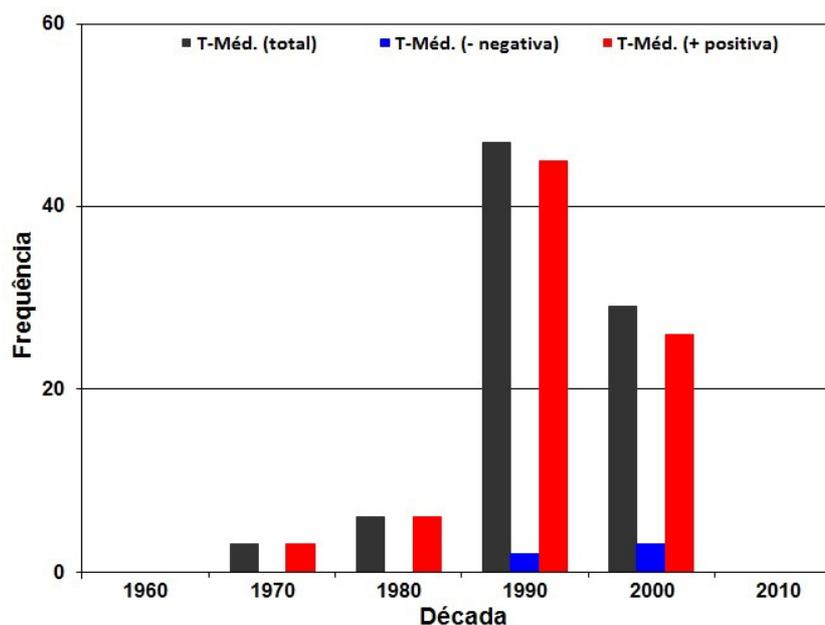


Figura 8 – Idem ao histograma da figura anterior, porém para *T-Méd.* ao longo dos períodos anuais das décadas de 1960 até 2010.

O histograma revela que as diminuições de tendências ocorreram em apenas cinco casos, distribuídos nas décadas de 1990 (2 casos) e 2000 (3 casos), com evidências nos anos 1995 e 2001. Também como se pode constatar no mapa apresentado na Figura 5, essas ocorrências se distribuíram nas Regiões Sudeste e Nordeste.

Nenhuma ocorrência de tendência negativa foi acusada nas décadas de 1960, 1970 e 1980. No entanto, três e seis casos foram verificados com tendência positiva nas décadas de 1970 e 1980, respectivamente.

Como comentado anteriormente e mostrado no mapa da Figura 6, a quantidade de ocorrência de tendência na *Prec.* foi bem menor que das duas outras variáveis estudadas neste trabalho.

As frequências de ocorrências da *Prec.*, mostradas na Figura 9, reforça esse fato, sendo que as maiores quantidades de tendência foram identificadas nas décadas de 1980 e 2000, com cinco casos em cada década. A Região Sul do país destacou-se como sendo a que registrou o maior número de locais que acusaram aumentos no índice de chuva. A Região Norte foi a que registrou o maior número de diminuições nos índices de chuvas, acontecendo com maior ênfase na década de 1970, com dois casos, e 1990 com quatro casos. As décadas de 1980 e 2000 registraram apenas um caso cada (Figura 6).

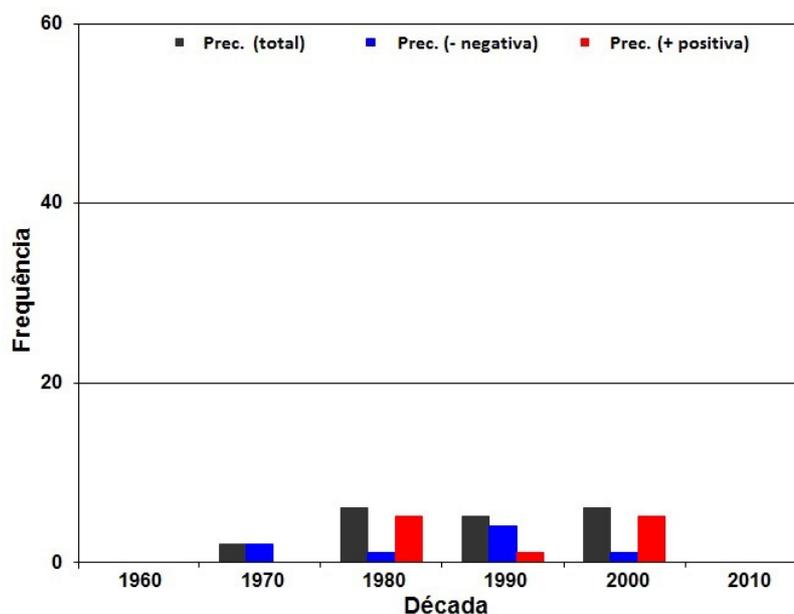


Figura 9 – O mesmo que os histogramas das figuras anteriores, mas para a *Prec.* ao longo dos períodos anuais das décadas de 1960 até 2010.

O clima nas regiões políticas brasileiras, assim como em outras partes do mundo, é muito complexo, visto que envolve controles internos e externos ao sistema terra-atmosfera-oceano, não sendo um aval para os seres humanos degradarem o meio ambiente, como infelizmente tem ocorrido nas últimas décadas, em particular nas Regiões Norte e Centro-Oeste do país. Devido o aumento populacional que fatalmente ocorrerá nas próximas décadas, sugere-se a adoção de políticas de conservação ambiental bem elaboradas e mudanças nos hábitos de consumo para que as gerações futuras possam dispor dos recursos naturais que se dispõem atualmente (ZANQUIM JR. et al., 2015).

Presume-se que uma possível explicação para as ocorrências de tendências nas variáveis aqui tratadas esteja relacionada às características geográficas e às biodiversidades de cada região política do país. Adicionalmente, deve-se reconhecer que a mudança na concepção da vida rural para a vida urbana proporcionou um desenvolvimento econômico-social e permitiu os avanços

tecnológicos vivenciados. Porém, essa gama de elementos impulsionou crises ambientais, em especial nas regiões próximas aos centros urbanos.

Além desses fatores, a ocorrência de fenômenos naturais como El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e La Niña podem ter motivado o aumento e, em certos casos, a diminuição na frequência de ocorrência e intensidade dos índices de chuva e temperaturas (IPCC-AR5, 2014). Conforme argumentam Guimarães e Reis (2012), os eventos de El Niño contribuem para os aumentos das temperaturas máximas e mínimas em 265 localidades (observadas por meio das estações convencionais do BANCO DE DADOS PARA PESQUISA E ENSINO - BDMEP; medidas entre 1960-2010) espalhadas pelo Brasil. Neste sentido, conforme relatam esses autores, o impacto do fenômeno ENOS no país se faz mais presente nos meses de inverno e primavera. No entanto, o inverso ocorre em eventos de La Niña para essas mesmas localidades, exceto para a Região Norte. Em anos de existência do evento La Niña ocorrem diminuições das temperaturas do ar em quase todas as regiões do Brasil.

Em relação aos dados tratados nesse levantamento, presume-se que estejam relacionados aos eventos El Niño e La Niña, pois tanto para *Insol.* como para *T-Méd.* os períodos dos aumentos de tendências registradas na década de 1990 para as estações do inverno (em 1997), primavera (em 1992) e verão (em 1993), além das diminuições de tendências observadas nas décadas de 1980 a 2000, estão em consonância com os períodos relatados por Firpo, Sansigolo e De Assis (2012), para os referidos eventos climáticos globais. Também pode-se presumir que, além dos eventos naturais, as tendências aqui registradas para *T-Méd.* e *Prec.* possam estar relacionadas às oscilações registradas que possuem caráter regional de algumas localidades, devido ação antropogênica (ZANQUIM JR. et al., 2015).

Todos esses fatores, envolvendo aspectos naturais e antropogênicos, precisam ser melhores conhecidos e devidamente estudados não só para analisar o efeito de previsão do tempo, mas, especialmente, para o entendimento das alterações climáticas naturais e, conseqüentemente, para que, à luz do conhecimento, possamos saber exatamente onde está o impacto da ação do ser humano e separar seus efeitos nas mudanças do clima.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises exploratórias realizadas em séries temporais de insolação (*Insol.*), temperatura média do ar (*T-Méd.*) e precipitação pluviométrica (*Prec.*) observadas em estações meteorológicas de cidades espalhadas pelas regiões políticas do Brasil indicaram que:

- Ocorreram ausências de tendências significativas em 91,52% para *Prec.*, 62,05% para *T-Méd.* e 54,46% para *Insol.*, sendo o maior destaque aquelas que acusaram aumentos, por conta dos possíveis impactos ambientais que possam causar.

- A *Insol.* foi a variável que registrou maior quantidade de tendência, principalmente de aumento, sendo o destaque a década de 1990 quando foi identificado o maior número de localidades, principalmente nos anos 1992 e 1997. As Regiões Nordeste e Norte foram as mais evidenciadas. Poucas diminuições de tendências foram registradas, sendo que a maioria se encontra nas Regiões Sudeste, Norte e Sul, respectivamente.

- Para a *T-Méd.*, diminuições de tendências foram registradas na década de 2000 para Região Nordeste, mas foi também nessa região que se identificou a maior quantidade de aumentos de tendências, seguida pelas Regiões Sudeste, Norte e Sul, evidenciadas nas décadas de 2000 e, principalmente, de 1990.

- Com relação a *Prec.*, a maior quantidade de diminuição de tendência foi verificada na década de 1990 para Região Norte, enquanto que aumento de tendência se mostraram presentes nas décadas 1980 e 2000, em geral distribuídas nas Regiões Sul e Norte.

As identificações de alterações, como as realizadas neste levantamento, nos comportamentos da insolação, temperatura média do ar e da precipitação pluviométrica medidas

em séries temporais, por meio das análises dos testes de Mann-Kendall e de Pettitt, podem ser um instrumento eficiente nos estudos que visam análises de alterações climáticas.

Os resultados aqui apresentados alertam para o cuidado que se deve ter ao apontar as possíveis causas de mudanças observadas nas séries temporais, tendo em vista a complexidade em associar essas alterações com as variações naturais do clima, seja devido aos eventos El Niño, La Niña, atividade solar, dentre outros, assim como as influências antropogênicas devido a desmatamentos, queimadas, emissão de gases de efeito estufa, crescimento sem adequado planejamento de cidades, entre outros fatores.

Os testes estatísticos aqui trabalhados, adicionados aos estudos de modelagem numérica, 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.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, pela disponibilização dos dados utilizados neste trabalho. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo apoio a esta pesquisa (processo nº: 100375/2017-0).

REFERÊNCIAS

ALEXANDER, L. V.; ZHANG, X.; PETERSON, T. C.; CAESAR, J.; GLEASON, B.; TANK, A. M. G.; HAYLOCK, M.; COLLINS, D.; TREVIN, B.; RAHIMZADEH, F.; TAGIPOU, A.; RUPA KUMAR, K.; REVADEKAR, J.; GRIFFITHS, G.; VINCENT, L.; STEPHENSON, D.; BURN, J.; AGUILLAR, E.; TAYLOR, M.; NEW, M.; ZHAI, P.; RUSTICUCCI, M.; VASQUEZ-AGUIRRE, J. L. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. **Journal of Geophysical Research**, Bellingham, v. 111, p. 1-22, 2006.

ANA. Agência Nacional de Águas. CONJUNTURA DOS RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL–INFORME - 2013. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/webSite_relatorioConjuntura/projeto/index.html>. Acessado em: 04/04/2017.

BLAIN, G. C. Séries anuais de temperatura máxima média do ar no Estado de São Paulo: variações e tendências climáticas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, 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**, São José dos Campos, v. 27, n. 1, p. 95-106, 2012.

FREUND, J. E. **Estatística Aplicada: Economia, Administração e Contabilidade**. 11a. edição. Porto Alegre: Editora Bookman, 2006, 612p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. CENSO DEMOGRÁFICO DE 2010. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>>. Acessado em: 14/02/2017.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. BANCO DE DADOS PARA PESQUISA E ENSINO – BDMEP. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acessado em: 06/07/2016.

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**, Rio Claro, v. 24, n. 2, p. 181-193, 2005.

GUIMARÃES, D. P.; REIS, R. dos. Impactos do fenômeno Enos sobre a temperatura no Brasil. **Revista Espinhaço**, Diamantina, v.1, n. 1, p. 34-40, 2012.

IPCC-AR4. Intergovernmental Panel on Climate Change 2007. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. SOLOMON, S., *et al.* (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007, 996 p. Disponível em: <www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg1_report_the_physical_science_basis.htm>. Acessado em: 04/11/2016.

IPCC-AR5. Intergovernmental Panel on Climate Change 2014: Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Field, C.B., *et al.* (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 1-32, 2014. Disponível em: <www.ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/WG2AR5_SPM_FINAL.pdf>. Acessado em: 15/08/2016.

MARENGO, J. A.; CAMARGO, C. C. Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960-2002. **International Journal of Climatology**, Reading, v. 28, n. 7, p. 893-904, 2008.

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...** Recife: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, p. 27-32, 1995.

PBMC. Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. SUMÁRIO EXECUTIVO: BASE CIENTÍFICA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS. CONTRIBUIÇÃO DO GRUPO DE TRABALHO 1 AO PRIMEIRO RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO NACIONAL DO PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. 2015. Disponível em: <<http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/pt/organizacao/o-pbmc>>. Acessado em: 13/03/2017.

PENEREIRO, J. C.; MARTINS, L. L.; BERETTA, V. Z. Identificação de variabilidades e tendências interanuais em medidas hidro-climáticas na região hidrográfica do Tocantins-Araguaia, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 18, n. 1, p. 219-241, 2016.

PETTITT, A. N. A non-parametric approach to the change-point problem. **Applied Statistics**, Londres, v. 28, n. 2, 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.

PINHEIRO, A.; GRACIANO, R. L. G.; SEVERO, D. L. Tendência das series temporais de precipitação da região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 28, n. 3, p. 281-290, 2013.

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**, Granada, v. 101, n. 1-2, p. 209-216, 2010.

SANSIGOLO, C. A.; NERY, J. T. Distribuição de extremos de temperatura mínima no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 2, p. 247-253, 2000.

SNEYERS, R. Sur l'analyse statistique des séries d'observations. **Organisation Météorologique Mondiale**, Geneva, 1975, 192p.

TOLEDO, K. Quinto relatório do IPCC mostra intensificação das mudanças climáticas. **Agência FAPESP**. 2013. <<http://agencia.fapesp.br/17944>>. Acessado em: 30/03/2017.

VENEGAS, S. A.; MYSAK, L. A.; STRAUB, D. N. Atmosphere-ocean coupled variability in the South Atlantic. **Journal of Climate**, Boston, v. 10, p. 2904-2920, 1997.

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? 2015. **Anais...** São Carlos: Editora



RiMa, 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**, New York, v. 352, n. 3-4, p. 239-249, 2008.