

# TENDÊNCIAS NOS ÍNDICES CLIMÁTICOS DE EXTREMOS DE TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO EM PIRACICABA, SP (1917-2010)

Clóvis Angeli Sansigolo

DMD, CPTEC, INPE, São José dos Campos, SP

e-mail: clovis.sansigolo@cptec.inpe.br

**RESUMO:** Analisam-se as tendências de diversos índices climáticos de extremos de temperatura e precipitação em Piracicaba, SP (1917-2010). Testes de aleatoriedade e tendência foram utilizados para avaliar todas as séries. Observaram-se tendências significativas de aumento no número de dias de verão e de noites tropicais, nas temperaturas mínimas absolutas, na percentagem de dias e noites quentes e nas sequências de dias quentes. Tendências significativas de decréscimo foram constatadas nos casos de geada, na percentagem de dias frios, nas sequências de dias frios, nos eventos de precipitação extrema, nas sequências de dias chuvosos e nos totais das precipitações em dias extremamente chuvosos.

**ABSTRACT:** The trends of several climatic indices of precipitation and temperature extremes in Piracicaba, SP, Brazil (1917-2010) are analyzed. Randomness and trend tests were used to evaluate all series. Significant increase trends were observed in the number of summer days and tropical nights, minima absolute temperatures, percentage of warm days and nights and in the warm spells. Significant decrease trends were verified in the number of frost days, cold spells, heavy precipitation events, consecutive wet days, and extremely wet days.

## INTRODUÇÃO

Devido o grande interesse em mudanças climáticas globais e seus impactos, numerosos artigos tem se dedicado à detecção de tendências em séries de observações hidrometeorológicas, principalmente as de temperatura e precipitação, que são os principais parâmetros envolvidos nas variações climáticas. Na América do Sul e especificamente no Brasil, ainda são poucos e recentes estes estudos observacionais, especialmente os relacionados a extremos climáticos (Vincent et. al., 2005; Haylock et. al., 2006; Marengo & Camargo, 2008 e Santos et al., 2009). Um aspecto climático importante que pode influenciar a estimativa de tendências em diferentes períodos é a variabilidade natural de baixa frequência, como a oscilação decenal do Pacífico (ODP), com períodos de 50-60 anos. Mantua et al. (1997) mostraram que no século XX a ODP apresentou duas fases frias, entre 1900 e 1924 e 1947 e 1976 e duas fases quentes, entre 1925 e 1946 e 1977 a meados de 1990. Logo, estimativas de tendências baseadas em períodos relativamente curtos de dados podem representar em parte a mudança de fase da PDO em locais onde seu sinal está presente. Uma forma de se evitar este viés é utilizar séries temporais longas

suficientes para incluir esta oscilação. O objetivo deste trabalho é avaliar a as tendências de longo prazo (1917-2010) de 25 índices climáticos de extremos de temperatura e precipitação em Piracicaba, SP.

## **METODOLOGIA**

Foram analisadas as séries históricas das temperaturas máximas e mínimas e das precipitações diárias na Estação Agrometeorológica da ESALQ, USP, em Piracicaba, SP ( lat. 22<sup>o</sup>43´ S, lon. 47<sup>o</sup>30´ W e alt. 545m), no período de 1917 a 2010. A existência de correlação serial significativa nas séries foi avaliada pelo teste não paramétrico de sequências que é baseado na distribuição normal do número de sequências  $z(r)$  de valores inferiores ( $n_1$ ) e superiores à mediana ( $n_2$ ) da série  $n$ :  $z(r) = [r - E(r)] / \sqrt{\text{var } t}$ , na qual  $E(r) = (2 n_1 n_2 / n) + 1$ ,  $\text{var } t = 2 n_1 n_2 (2 n_1 n_2 - n) / n^2 (n-1)$  e  $z(r)$  a variável reduzida da distribuição normal. As séries não rejeitadas neste teste foram submetidas ao de Mann-Kendall, um teste também não paramétrico usado para avaliar a existência de uma eventual tendência. O teste de Mann-Kendall é baseado na distribuição normal da variável  $z(t)$ , que é a somatória dos casos precedentes na série que são inferiores:  $z(t) = [t - E(t)] / \sqrt{\text{var } t}$ , na qual  $E(t) = n (n-1) / 4$  e  $\text{var } t = n (n-1) (2n+5) / 72$  e  $z(t)$  é a variável reduzida da distribuição normal, cujo sinal indica o sentido da tendência. Nos casos de séries que não passam no teste de sequências, deve-se usar o teste de Mann-Kendall modificado para levar em conta a autocorrelação. Mas, de qualquer forma, tendências significativas devem ser removidas a priori. Para as séries das temperaturas máximas e mínimas diárias foram computados, usando o Software RClím (Zhang & Yang, 2004), 14 índices de extremos climáticos anuais, mostrados e definidos na Tabela 1 e para as precipitações diárias, outros 11 índices que também se encontram na Tabela 1. Todas as séries temporais destes índices foram novamente submetidas aos testes de sequências e de Mann-Kendall para avaliar suas aleatoriedades e tendências significativas. Para as séries com tendências significativas foram computadas as retas de regressão pelo método dos quadrados mínimos. A hipótese do coeficiente angular da reta ajustada a ser significativamente diferente de zero foi avaliada usando o teste t de Student:  $t_{\alpha/2, n-2 \text{ DF}} = a / \sqrt{MSE / S_x^2}$ , na qual MSE é a soma dos quadrados residuais e  $S_x^2$  a variância de x.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os testes de aleatoriedade das séries somente rejeitaram duas delas: TR20 e DTR, ou seja a maioria dos índices não apresentaram autocorrelação significativa. O testes de Mann-Kendall a 5% de significância, indicaram tendências significativas de aumento nos índices SU25, TR20, TNn, TX90p, TN90p, WSDI e de decréscimo em F0, TX10p, CSDI, R50, CWD e R99p.

Tabela 1. Principais Índices Climáticos de Extremos Anuais de Temperatura e Precipitação.

<b>Índice</b>	<b>Nome</b>	<b>Definição</b>
<b>FD0</b>	Dias com Geadas	contagem anual dos dias com temp. mín. $TN < 0^{\circ}C$
<b>SU25</b>	Dias de Verão	contagem anual dos dias com temp. máx. $TX > 25^{\circ}C$
<b>TR20</b>	Noites Tropicais	contagem anual dos dias com $TN > 20^{\circ}C$
<b>TXx</b>	Máx. Tmáx.	Temp. Máx. Abs. Mensal
<b>TNx</b>	Máx. Tmin.	Máx. mensal das temp. mín. diárias
<b>TXn</b>	Mín. Tmáx.	Mín. mensal das temp. máx. diárias
<b>TNn</b>	Mín. Tmín.	Temp. Mín. Abs. Mensal
<b>TN10p</b>	Noites Frias	percentagem de dias com $TN <$ percentil 10
<b>TX10p</b>	Dias Frios	percentagem de dias com $TX <$ percentil 10
<b>TN90p</b>	Noites Quentes	percentagem de dias com $TN >$ percentil 90
<b>TX90p</b>	Dias Quentes	percentagem de dias com $TX >$ percentil 90
<b>WSDI</b>	Seq. de Dias Quentes	contagem anual de dias com no mínimo 6 consecutivos com $TX >$ percentil 90
<b>CSDI</b>	Seq. de Dias Frios	contagem anual de dias com no mínimo 6 consecutivos com $TN <$ percentil 10
<b>DTR</b>	Amplitude Térmica	diferença média mensal entre TX e TN
<b>Rx1d</b>	Prec. Máx Diária	precipitação diária máxima anual
<b>Rx5d</b>	Prec. Máx de 5 Dias	precipitação máxima anual em 5 dias consecutivos
<b>SDII</b>	Prec. Média Anual	total anual dividido pelo número de dias chuvosos ( $PRCP \geq 1mm$ )
<b>R10</b>	Dias com Prec. Intensa	contagem anual de dias com $PRCP \geq 10mm$
<b>R20</b>	Dias com Prec. Severa	contagem anual de dias com $PRCP \geq 20mm$
<b>R50</b>	Dias com Prec. Extremas	contagem anual de dias com $PRCP \geq 50mm$
<b>CDD</b>	Seq. de Dias Secos	maior sequência anual de dias secos
<b>CWD</b>	Seq. de Dias Chuvosos	maior sequência anual de dias chuvosos
<b>R95p</b>	Dias Muito Chuvosos	total anual das $PRCP >$ percentil 95
<b>R99p</b>	Dias Extremamente Chuvosos	total anual das $PRCP >$ percentil 99
<b>PRCTOT</b>	Prec. Total Anual	precipitação total anual em dias chuvosos

As séries temporais de alguns destes índices com tendências significativas ( TNn, TN90p, TX10p, TX90p, WSDI, CSDI, R50, CWD) encontram-se na figura 1. Observaram-se tendências de aumento no número de dias de verão (SU20) de 0,28 dias/ano (média=293dias/ano); no número de noites tropicais (TR20), especialmente após 1970, de 1,2 dias/ano (media=41 dias/ano); nas mínimas anuais absolutas (TNn), de 0,04  $^{\circ}C$ /ano (média=2,5 $^{\circ}C$ ); na percentagem de dias quentes (TX90p) de 0,06%/ano (média=9,7%); na percentagem de noites quentes (TN90p), especialmente após 1970, de 0,4%/ano (média 15,4%) e nas sequências de dias quentes (WSDI), de 0,08 dias/ano (média=5,7dias/ano) . Tendências de decréscimo foram constatadas nos dias com geadas (FD0), de -0,003 dias/ano (média=0,2 dias/ano), na percentagem de dias frios (TX10p), de -0,05% /ano (média=10,2%) e nas sequências de dias frios (CSDI), de -0,06 dias/ano (média=3,2 dias/ano). O decréscimo de TX10p e de CSDI é compatível com o acréscimo de TX90p, mas as tendências de aumento nas TN90p não foram acompanhadas pelas de diminuição de TN10p.

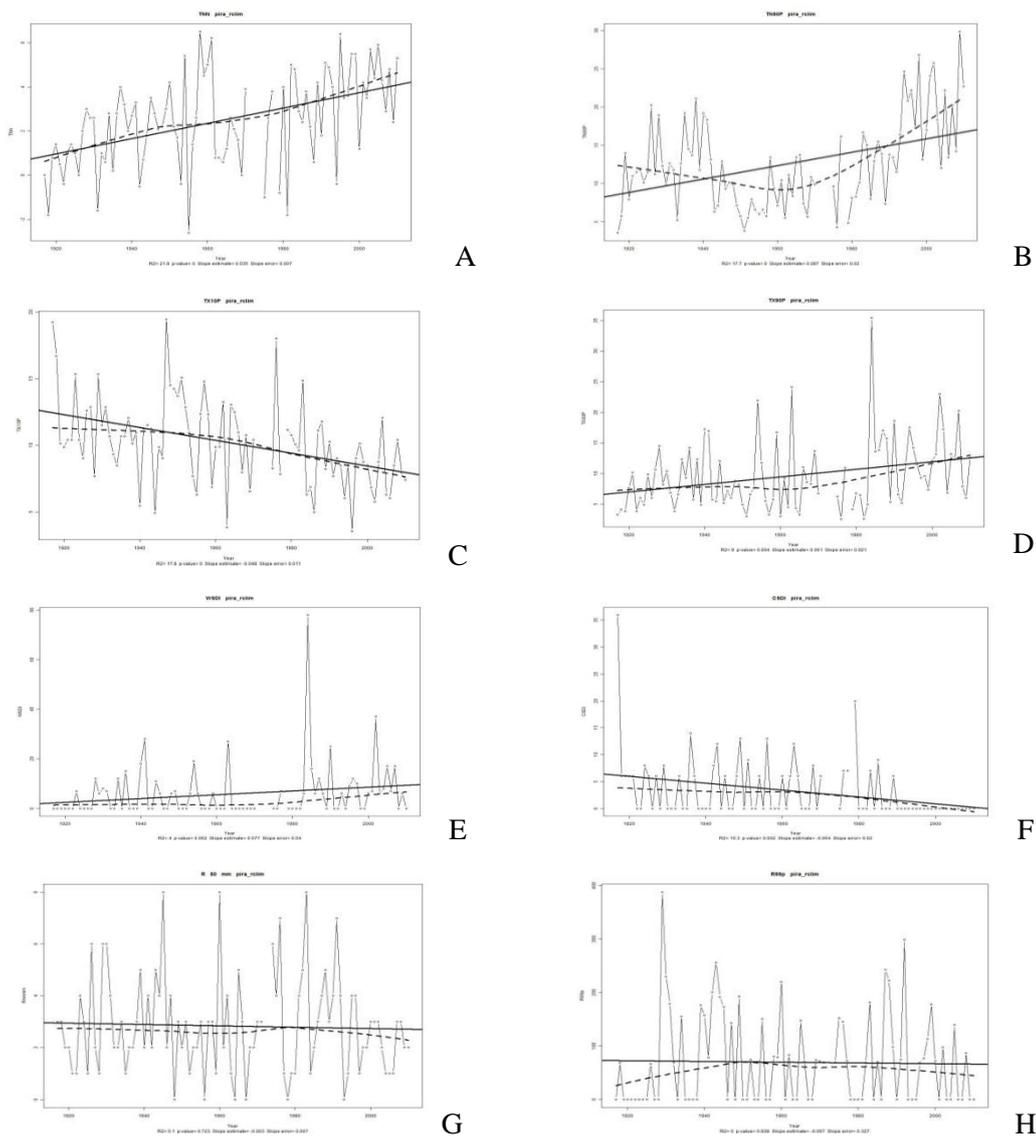


Figura 1. Séries temporais de alguns dos índices de extremos que apresentaram tendências significativas (A-TNn, B-TN90p, C-TX10p, D-TX90p, E-WSDI, F-CSDI, G-R50 e H-CWD).

Tendências de aumento em alguns índices relacionados às temperaturas mínimas e de decréscimo em outros relacionados às máximas também foram constatados em diversas outras cidades brasileiras, num período mais recente, por Vincent et al. (2005) e Marengo & Camargo (2008) e podem estar associados principalmente aos efeitos de ilha de calor urbano. Em relação aos índices de precipitação, 3 deles apresentaram tendências de decréscimo: R50 - número de dias com precipitações extremas, de  $-0,005$  dias/ano (média=11,1 dias/ano), CWD - máximas durações anuais das sequências de dias chuvosos, de  $-0,05$  dias/ano (média=7,5 dias) e R99p - totais anuais das precipitações em dias extremamente chuvosos, de  $-0,07$  mm/ano (média=69mm/ano). Estas tendências, apesar de estatisticamente significativas, são desprezíveis como pode ser visto na figura 1.

## CONCLUSÕES

Seis dos 14 índices relacionados às temperaturas máximas e mínimas 6 apresentaram tendências significativas de aumento: 3 associados às frequências das temperaturas máximas (SU20, TX90p e WSDI), 2 às frequências das temperaturas mínimas (TR20 e TN90p) e 1 às suas intensidades (TNn), e 3 apresentara tendências significativas de decréscimo: 2 associados às frequências das temperaturas mínimas (FD0 e CSDI) e 1 às das máximas (TX10p). No caso das precipitações, somente 3 dos 11 índices considerados apresentaram leves tendências de decréscimo, 2 associados à intensidade: R50 e R99p e outro à frequência: CWD

## REFERÊNCIAS

- Haylock, M.R.; Peterson, T.; Alves, L.M.; Ambrizzi, T.; Anunciação, Y.M.T.; Baez, J.; Barros, V.R.; Berlato, M.A.; Bidegain, M.; Coronel, G.; Corradi, V.; Garcia, V.J.; Grimm, A.M.; Karoly, D.; Marengo, J.A.; Marino, M.B.; Moncunill, D.F.; Nechet, D.; Quintana-Gomes, J.; Rebello, E.; Rusticucci, M.; Santos, J.L.; Trebejo, I. & Vincent, L. Trends in total and extreme South America rainfall in 1960-2000 and links with sea-surface temperatures. *J. Climate* 19: 1490-1512, 2006.
- Mantua, N.J.; Hare, S.R.; Zhang, Y.; Wallace, J.M. & Francis, R.C. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bull. Amer. Met. Soc.* 78: 1069-1079, 1997.
- Marengo, J.A. & Camargo, C.G. Surface air temperature trends in southern Brazil for 1960-2002. *Int. J. Climatol.* 28: 893-904, 2008.
- Santos, C.A.C.; Brito, J.I.B.; RAO, T.V.R. & Menezes, H.E.A. Tendências dos índices de precipitação no Estado do Ceará. *Rev. Bras. Met.* 24(1): 39-47, 2009.
- Sneyers R Sur l'analyse statistique des series d'observations. Genève: Organisation Météorologique Mondial, 192 pp (OMM Note Technique, 143). 1975.
- Vincent, L.A.; Petterson, T.C.; Barros, V.R.; Marino, M.B.; Rusticucci, M.; Carrasco, G.; Ramirez, E.; Alves, L.M.; Ambrizzi, T.; Berlato, M.A.; Grimm, A.M.; Marengo, J.A.; Molion, L.C.; Moncunill, D.F.; Rebello, E.; Anunciação, Y.M.T.; Quintana-Gomes, J.; Santos, J.L.; Baez, J.; Coronel, G.; Garcia, J.; Trebejo, I.; Bidegain, M.; Haylock, M.R. & Karoly D. Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000. *J Climate* 18: 5011-5023, 2005.
- Zhang, X. & Yang, F. RCLimindex User Guide. Climate Research Branch, Environment Canada, Downsview, Ontario. 2004. 22p.