

## ANÁLISES ESTATÍSTICAS DE TENDÊNCIAS CLIMÁTICAS EM SÉRIES ANUAIS PARA AS CAPITAIS ESTADUAIS DO BRASIL

CEATEC/PUC-Campinas – FACULDADE DE ENGENHARIA AMBIENTAL

Júlio César Penereiro – e-mail: ([jcp@puc-campinas.edu.br](mailto:jcp@puc-campinas.edu.br))

Vanessa Fernanda Vick Garcia – e-mail: ([vanessa.fvg@puc-campinas.edu.br](mailto:vanessa.fvg@puc-campinas.edu.br))

Denise Helena Lombardo Ferreira – e-mail: ([lombardo@puc-campinas.edu.br](mailto:lombardo@puc-campinas.edu.br))

### Resumo

O objetivo desse trabalho foi usar métodos estatísticos para identificar a existência de possíveis tendências climáticas em dados anuais de temperatura média e de precipitação pluviométrica nas capitais dos estados do Brasil. Foram empregados os testes estatísticos de regressão linear e os testes não paramétricos de Mann-Kendall e de Pettitt nos dados que estão disponíveis no Instituto Nacional de Meteorologia no período entre 1961 e 2011. Os resultados indicam que houve 40% de tendência na temperatura média e apenas 4% no índice de chuva das capitais estudadas.

*Palavras chave:* mudanças climáticas; tendências; precipitações; temperaturas médias; Mann-Kendall; Pettitt.

### Introdução

Trabalhos recentes têm dado ênfase e mostrado alguns indicadores de mudanças climáticas em escala regional e global. Constata-se que estão sendo observadas coerentes mudanças da temperatura média e da precipitação pluvial em várias partes do mundo, especialmente nos últimos 40-50 anos devido, em particular, às melhorias tecnológicas implantadas que acarretaram uma melhora significativa na qualidade das medidas de todos os parâmetros climáticos (ALEXANDER *et al.*, 2006).

Tomando como bases de dados medidas realizadas em 5.948 estações de precipitação pluvial, Alexander e colaboradores (2006) identificaram a ocorrência de tendência no aumento dos níveis dessa variável climática. Verificou-se que, tanto as medidas totais como os índices derivados dessa grandeza, foram considerados intensos e registrados em grande parte das regiões continentais do planeta.

Assim como em outras regiões, na América do Sul recentes trabalhos mostraram que houve um incremento da precipitação pluvial, especialmente na segunda metade do século XX (ALEXANDER *et al.*, 2006). Neste sentido, algumas pesquisas podem ser destacadas como, por exemplo, no Estado de São Paulo, onde foram registrados sinais de mudança da precipitação pluvial, no número de dias de chuvas e na vazão de alguns rios paulistas, enquanto que na Amazônia, onde o início e o fim de cada período chuvoso apresenta forte contraste entre o bioma amazônico e o cerrado, há uma chance do desmatamento ser o coadjuvante do enfraquecimento do período chuvoso (PENEREIRO e FERREIRA, 2011).

A motivação do presente trabalho foi, inicialmente, realizar um estudo exploratório das séries históricas anuais da temperatura média e da precipitação das capitais de quase todos os estados do Brasil. O objetivo foi verificar as eventuais mudanças de comportamento dessas séries, visando identificar tendências. Caso ocorra essa característica numa determinada série, por meio da aplicação de testes estatísticos específicos é possível verificar em que

momento ocorreu essa tendência. Com isso, espera-se, na medida do possível, identificar se a ocorrência da tendência está relacionada com a mudança no meio físico, em particular devido à introdução de influências antrópicas e naturais.

## Material e Métodos

Foram utilizados os dados históricos selecionados a partir das estações medidoras controladas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), disponíveis no portal <<http://www.inmet.gov/>>, junto ao Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP). Excetuando-se Campo Grande (MS) e Porto Velho (RO), que não possuem estações medidoras do INMET, todas as outras capitais dos estados brasileiros foram contempladas com as devidas reduções de dados na presente pesquisa.

Durante o processo de organização de uma determinada série, ocorreram eventuais existências de falhas nos dados medidos, pois em alguns casos, meses e até mesmo anos, não possuíam medições, o que acarretou um corte no período da série de dados a ser reduzida.

Todas as informações foram organizadas e trabalhadas em planilhas do programa *Microsoft Excel*, sendo que as análises exploratórias de cada série histórica foram realizadas utilizando dois métodos estatísticos: Método Paramétrico e Método Não Paramétrico.

## Resultados e Discussão

Devido à restrição de espaço, apenas algumas análises para detectar possíveis tendências nas variáveis estudadas estão apresentadas nas figuras abaixo (Figuras 1 e 2).

No primeiro método (paramétrico), para cada variável (temperatura média e precipitação) das localidades listadas na Tabela 1, trabalhou-se com a série histórica com dados brutos. A partir desses dados, extraíram-se médias móveis mensais e anuais, além das médias suavizadas de ordem cinco. Esse último procedimento foi motivado pelo fato de permitir evitar possíveis flutuações impostas pelos dados. Dessa maneira, pode-se realizar uma primeira análise de tendência da variável com boa precisão, obtendo-se, por meio da “Regressão Linear” os ajustes das médias móveis e suavizadas. Assim, determinou-se o coeficiente linear ( $a$ ) e a qualidade do ajuste ( $R^2$ ) de cada série reduzida. A título de exemplo dessa aplicação, a Figura 1.a mostra esse tipo de redução aplicado aos dados da temperatura média de Recife, onde se constatou, por meio dos ajustes, uma ligeira tendência no aumento do nível dessa variável climática.

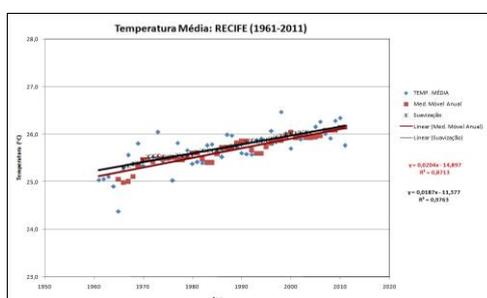


Figura 1. Regressão linear aplicada às medições de temperatura média para Recife. Em azul os dados brutos, em vermelho os dados foram ajustados pela média móvel e, em preto, os dados foram ajustados pela suavização.

No segundo método, visando identificar e localizar com maior precisão uma possível tendência, cada série histórica foi tratada aplicando a versão sequencial do teste de tendência de Mann-Kendall (SNEYERS, 1990) e o teste de ruptura de Pettitt (PETTITT, 1979).

As formas gráficas dos testes de Mann-Kendall e de Pettitt para a precipitação pluviométrica estão apresentadas nas Figuras 2. Em ambos os testes, as linhas horizontais representam os limites críticos dos intervalos de confiança de 90 e 95%.

No teste de Mann-Kendall, representado graficamente em preto na parte inferior da Figura 2, uma tendência é significativa quando os valores absolutos da estatística  $U(t_n)$  são maiores que os intervalos de confiança, além disso, o início da tendência pode ser identificado pela interseção das curvas  $U(t_n)$  (em traçado contínuo) e  $U^*(t_n)$  (em traçado pontilhado). Porém, essa interseção deve ocorrer dentro dos valores críticos dos intervalos de confiança (PENNEREIRO e FERREIRA, 2011).

Em contra partida, no teste de Pettitt, representado graficamente em cor vermelha na parte superior da Figura 2, o ponto de mudança brusca de  $K(t)$  (em módulo) ocorre quando este for maior que os limites críticos estabelecidos. Porém, essa condição deixa de ser verdadeira quando os valores que estão em seguida ao valor crítico oscilam em intervalos próximos ao valor máximo. Neste caso, o último valor do intervalo de oscilação indica o ponto de início da tendência (PETTITT, 1979).

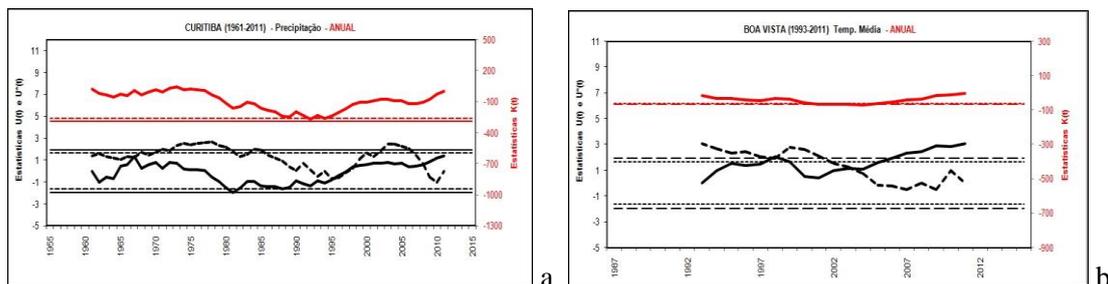


Figura 2. Estatísticas de Mann-Kendall (em preto) e Pettitt (em vermelho) para precipitações pluviométricas em (a) Curitiba e para a temperatura média em (b) Boa Vista.

Por meio de uma rápida inspeção nos gráficos da precipitação para a cidade de Curitiba, o teste de Mann-Kendall acusou cruzamentos das curvas estatísticas de  $U(t_n)$  e  $U^*(t_n)$  entre os intervalos de confiança (Figura 2.a; inferior). Esses cruzamentos mostram indícios de existirem tendências dessa variável climática para essas localidades. No entanto, deve-se observar que apenas essa constatação não é suficiente para afirmar se ocorre a tendência de crescimento na precipitação numa localidade. Para que haja essa confirmação torna-se necessário o uso de outro método estatístico complementar, o teste de Pettitt. No caso da série de Curitiba os dados apontam uma “quebra” de tendência na precipitação em 1992 (Figura 2.a; superior), a partir do momento que começou haver um evidente crescimento dessa variável climática.

No que concerne à temperatura média para a cidade de Boa Vista (Figuras 2.b), de forma análoga ao discutido anteriormente, verifica-se por meio dos dois testes que a cidade de Boa Vista apresentou as curvas estatísticas  $U(t_n)$  e  $U^*(t_n)$  e  $K(t)$  cruzando os intervalos de confiança, indicando início de tendência no ano 2004.

A Tabela 1 resume todas as análises efetuadas para as séries históricas estudadas neste trabalho. Na tabela são colocadas para cada capital, as variáveis analisadas e os resultados acusados por cada um dos testes. No caso dos testes de Mann-Kendall (M-K) e Pettitt (Pet), para afirmar se as curvas estatísticas estão entre os intervalos de confiança e possuem tendência positiva colocou-se o sinal (+) seguido do ano a partir do qual se deu o início da ocorrência.

## Conclusões

Com referência aos dois parâmetros climatológicos explorados por meio dos testes estatísticos aplicados neste trabalho, numa análise, se bem que superficial, verificou-se que apenas uma capital (Curitiba) apresentou aumento de tendência confirmada nos dados de precipitação pluviométrica, o que corresponde a 4% dos dados avaliados. Com relação às séries de temperatura média, identificou-se que dez capitais (40% do total) registraram um aumento de tendência dessa variável climática. Desta forma, percebe-se que, dentro dos limites impostos e de acordo com a quantidade de séries estudadas, a ocorrência do aumento de tendência é mais significativa e sensível para o parâmetro temperatura média. Buscar justificativas e explicações para ocorrências destas e outras tendências, seja pelas ações do homem (influência antrópica) ou causadas pela variabilidade natural do clima, é a próxima etapa dessa pesquisa, aplicando os testes estatísticos em vários outros municípios brasileiros.

## Referências bibliográficas

- ALEXANDER, L. V. *et al.* Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. **Journal of Geophysical Research**. v. 111, 1029, 2006.
- PETTITT, A.N. A non-parametric approach to the change-point problem. **Applied Statistics**. v. 28, n. 2: 126-135, 1979.
- PENEREIRO, J. C.; FERREIRA, D. H. L. Estatística apoiada pela Tecnologia: uma proposta para identificar tendências climáticas. **Acta Scientiae**. Porto Alegre, v. 13, p. 87-105, 2011.
- SNEYERS, R. *et al.* Climatic changes in Belgium as appearing from the homogenized series of observations made in Brussels. In: SCHIETECAT, G. D. (Ed.). **Contributions à l'étude des changements de climat**. Bruxelles: Institut Royal Meteorologique de Belgique, Publications Série 124, 1990. p. 17-20.

Tabela 1 – Resumo das análises estatísticas empregando os testes paramétricos e não paramétricos para temperatura média (T-Med.) e precipitação pluviométrica (Precip.) (\*).

Capital	Variáveis	a	R <sup>2</sup>	M-K	Pet	Há tendência?
Aracajú (SE)	T-Med.	0,0519	0,9895	(+)2005	(+)2002	SIM
	Precip.	2,8718	0,7039	-	-	NÃO
Belém (PA)	T-Med.	0,0342	0,9062	(+)1984	(+)1988	SIM
	Precip.	7,9011	0,7696	-	-	NÃO
Belo Horizonte (MG)	T-Med.	0,0343	0,8942	(+)1989	(+)1985	SIM
	Precip.	2,2232	0,2050	(+)2008	-	NÃO
Boa Vista (RR)	T-Med.	0,0432	0,9521	(+)2003	(+)2004	SIM
	Precip.	18,0516	0,7579	(+)2009	-	NÃO
Brasília (DF)	T-Med.	0,0238	0,4660	(+)1997	(+)1992	SIM
	Precip.	-5,3154	0,4387	-	-	NÃO
Cuiabá (MT)	T-Med.	0,0201	0,8011	(+)1991	(+)1985	SIM
	Precip.	1,2624	0,0625	-	-	NÃO



INSTITUTO FEDERAL  
SUL DE MINAS GERAIS  
Campus Muzambinho



X Congresso Nacional de  
**MEIO AMBIENTE**  
de Poços de Caldas

ISSN 2236-0476

Curitiba (PR)	T-Med.	0,0281	0,9315	(+)1994	(+)1993	SIM
	Precip.	5,5335	0,1567	(+)2009	(+)1992	SIM
Florianópolis (SC)	T-Med.	0,0159	0,6341	(+)1999	-	NÃO
	Precip.	0,3586	0,0012	-	-	NÃO
Fortaleza (CE)	T-Med.	0,0173	0,6162	(+)1995	-	NÃO
	Precip.	20,4268	0,4443	-	-	NÃO
Goiânia (GO)	T-Med.	0,0309	0,6623	-	(+)1994	NÃO
	Precip.	-1,5089	0,2578	-	-	NÃO
João Pessoa (PB)	T-Med.	0,0046	0,1700	(+)1992	-	NÃO
	Precip.	-1,5167	0,0116	-	-	NÃO
Macapá (AP)	T-Med.	0,0352	0,9808	-	(+)1993	NÃO
	Precip.	-3,1794	0,2077	-	-	NÃO
Maceió (AL)	T-Med.	0,0156	0,7874	(+)2008	-	NÃO
	Precip.	40,7552	0,7833	(+)2008	-	NÃO
Manaus (AM)	T-Med.	0,0090	0,3066	(+)2000	(+)2000	SIM
	Precip.	0,4350	0,0013	-	-	NÃO
Natal (RN)	T-Med.	-0,0111	0,1317	(+)2007	(+)2001	SIM
	Precip.	20,6184	0,6150	-	-	NÃO
Palmas (TO)	T-Med.	0,0967	0,9987	(+)2002	(+)2001	SIM
	Precip.	12,4170	0,5892	-	-	NÃO
Porto Alegre (RS)	T-Med.	0,0274	0,9182	-	(+)2001	NÃO
	Precip.	-0,6599	0,0113	-	-	NÃO
Recife (PE)	T-Med.	0,0187	0,9763	-	(+)1986	NÃO
	Precip.	-8,5320	0,4905	-	-	NÃO
Rio Branco (AC)	T-Med.	0,0203	0,8379	(+)1998	-	NÃO
	Precip.	-9,8175	0,6675	(-)2004	-	NÃO
Rio de Janeiro (RJ)	T-Med.	0,0256	0,1145	(+)2008	-	NÃO
	Precip.	-0,3105	0,0003	(+)2008	-	NÃO
Salvador (BA)	T-Med.	-0,0155	0,4438	(+)2010	-	NÃO
	Precip.	1,4242	0,0074	-	-	NÃO
São Luiz (MA)	T-Med.	0,0311	0,9750	-	(+)1991	NÃO
	Precip.	0,4947	0,0024	-	-	NÃO
São Paulo (SP)	T-Med.	0,0374	0,9628	-	(+)1989	NÃO
	Precip.	4,3272	0,4209	-	(+)1985	NÃO
Teresina (PI)	T-Med.	0,0117	0,5099	(+)2000	-	NÃO
	Precip.	12,4019	0,4695	-	-	NÃO
Vitória (ES)	T-Med.	0,0082	0,8406	-	-	NÃO
	Precip.	14,7958	0,7336	-	-	NÃO

(\*) Não há estações medidoras do INMET nas capitais: Campo Grande (MS) e Porto Velho (RO).