



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

Identificação de tendência climática na série temporal de temperaturas extremas do ar nos municípios de Minas Gerais¹



Sílvia de Nazaré Monteiro yanagi²; Carlos Rogério de Mello³; Léo Fernandes Ávila⁴; Olívio Bahia do Sacramento Neto⁵; Fernanda Marques Freitas⁶.

¹Parte do Projeto BPD-00142-10: Aplicação de séries temporais para identificação de tendências climáticas em regiões do sul de Minas Gerais

² Meteorologista, Profa. Adjunto, Depto. de Engenharia, UFLA, Lavras – MG, (35)2142-2025, e-mail: silvia.yanagi@deg.ufla.br

³ Eng. Agrícola, Prof. Associado, Depto. de Engenharia, UFLA, Lavras – MG., e-mail: crmello@deg.ufla.br

⁴ Eng. Agrícola, Consultor, CEMADEN, e-mail: avilalf@gmail.com

⁵ Meteorologista, pesquisador CPTEC/INPE, e-mail: olivio.neto@cptec.inpe.br

⁶ Estudante de graduação em Eng. Ambiental e Sanitária, Depto. de Engenharia, UFLA, Lavras – MG, e-mail: fernandamarquesfreitas@gmail.com

RESUMO: Objetivou-se com este trabalho analisar a existência de tendência temporal na série histórica de temperatura máxima e mínima do ar, em quatro municípios do Estado de Minas Gerais, considerando a escala anual. Foram utilizadas séries históricas de temperaturas mínimas e máximas diárias do ar, pertencentes à rede de monitoramento do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), coletadas nas estações climatológicas principais localizadas nos municípios de Belo Horizonte, Florestal, Oliveira e Sete Lagoas, no período de 1961 a 2009. Para análise de tendência da variação de temperatura extremas, foram aplicados os métodos estatísticos a análise de regressão e o teste não-paramétrico de Mann-Kendall. Observou-se aumentos significativos das temperaturas mínimas e máximas anuais, respectivamente, para as estações meteorológicas estudadas do estado de Minas Gerais, identificadas com boa concordância por ambos os testes estatísticos aplicados. Em geral, os testes de Mann-Kendall e as análises de regressão linear apresentam concordância, auxiliando na identificação de tendências de séries temporais.

PALAVRAS-CHAVE: variável climática, mudanças climáticas, tendência.

Climatic trend identification in the historical series of extreme air temperatures in the cities of Minas Gerais state, Brazil

ABSTRACT: It was aimed with this work to analyze the existence of temporal trend in the historical series of maximum and minimum air temperature, in four cities of Minas Gerais state, considering the annual scale. Daily historical series of maximum and minimum air temperature were used, which belongs to the monitoring network of the National Institute of Meteorology (INMET), collected at the main weather stations located in the cities of Belo Horizonte, Florestal, Oliveira and Sete Lagoas, in the period from 1961 to 2009. To analyze the extreme temperatures variation trend, statistical methods of regression analysis and non-parametric Mann-Kendall test were applied. Significant increases in annual minimum and maximum annual temperatures were observed for the studied weather stations of Minas Gerais state, identified with good agreement for both statistical tests applied. Overall, the Mann-Kendall tests and the linear regression analyses present agreement, helping in the identification of the historical series trend.

KEYWORDS: climatic variable, climatic changes, trend

O aumento da concentração de gases de efeito estufa, resultante principalmente da intensificação das atividades antropogênicas, tem causado significativas alterações no clima (IPCC, 2007). Evidências observacionais dos continentes e dos oceanos mostram que muitos sistemas naturais têm sido afetados pelas mudanças climáticas regionais, principalmente o aumento de temperatura (AVILA, 2007). Para a região Sudeste do Brasil, especificamente, as previsões dos cenários climáticos futuros apontam para o aumento da temperatura da ordem de 3 a 4 °C (MACHADO e MARENGO, 2006).

Uma das formas de detectar variações climáticas nos registros meteorológicos é através do estudo de séries temporais, que fornecem resultados científicos importantes para diversas áreas de estudo como a engenharia, uma vez que tanto as simulações como as aplicações da teoria da probabilidade são realizadas considerando a hipótese de que as séries históricas são homogêneas, ou seja, não apresentam tendências. Estudos relacionados às tendências climáticas podem ser realizados tanto por meio de Modelos Climáticos de circulação Global (MCG) (COLLISCHONN et al., 2005; ZHANG et al., 2007), quanto por meio de modelos estocásticos, como o uso de séries temporais (GUEDES et al., 2005; RODRIGUES e SANTOS, 2007).

Neste contexto, objetivou-se verificar se há tendência temporal na série histórica de temperatura máxima e mínima do ar, por meio da aplicação de métodos estatísticos como a análise de regressão e o teste não-paramétrico de Mann-Kendall, para os municípios de Belo Horizonte, Florestal, Oliveira e Sete Lagoas, localizados no Estado de Minas Gerais, no período de 1961 a 2009..

MATERIAIS E MÉTODOS

Descrição da área de estudo:

Neste estudo foram utilizados dados diários de temperaturas máxima e mínima do ar, pertencentes às redes de estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), coletadas nas estações climatológicas principais localizadas nos municípios de Belo Horizonte, Florestal, Oliveira e Sete Lagoas, durante o período de 1961 a 2009 (Tabela 1).

Tabela 1. Coordenadas geográficas das estações meteorológicas convencionais (INMET), para os municípios de Belo Horizonte, Florestal, Oliveira e Sete Lagoas.

Município	Lat.(graus)	Long.(graus)	Alt.(m)	Tmax	Tmin	Tmed	Período de dados
Belo Horizonte	-19,93	-43,93	915,00	24,68	13,82	19,25	1961-2009
Florestal	-19,86	-44,41	748,76	28,26	13,92	21,09	1961-2009
Oliveira	-20,68	-44,81	966,50	26,58	15,45	21,02	1962-2009
Sete Lagoas	-19,46	-44,25	732,00	28,36	15,86	22,11	1961-2009

Foi utilizado, neste estudo, o modelo PGECLIMA_R (Gerador Estocástico de Cenários Climáticos) desenvolvido por Virgens Filho (2001), para o preenchimento de falhas no banco de dados climáticos para os municípios estudados. Posteriormente, foram utilizados dois métodos estatísticos para testar a tendência das variáveis climáticas, o teste da análise de regressão e teste não-paramétrico de Mann-Kendall.

Modelo estocástico: Séries temporais: Teste de Mann- Kendall

O teste de Mann-Kendall (MK), proposto inicialmente por Sneyers (1975), foi aplicado às séries temporais de elementos climáticos para estudo de tendências, por ser recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) (YU et al., 2002). Ademais, de acordo com Goossens e Berger (1986), o teste MK é o método mais apropriado para analisar alterações climáticas em séries climatológicas, permitindo também, a detecção e localização aproximada do ponto inicial de determinada tendência.

O teste MK considera que, assumindo a hipótese nula (H_0), que não há tendência na série (estabilidade da série temporal), a sucessão de valores ocorre de forma independente, e a distribuição de probabilidade deve permanecer sempre a mesma (série aleatória simples). Assim, a hipótese alternativa (H_1) do teste MK é dada pela existência de uma tendência na série temporal.

O teste de MK considera que um valor positivo do coeficiente de Mann-Kendall ($MK > 0$) indica uma tendência de aumento da variável, enquanto um valor negativo ($MK < 0$) indica uma tendência de decréscimo, desde que significativos ao nível de 5%. Isto é, considerando um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$) pela Tabela de Z obtém-se $Z_{0,975} = 1,96$. Assim, se a estatística do teste de Mann Kendall for maior que 1,96 ($|MK| > Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$), rejeita-se a hipótese H_0 , indicando a existência de tendência

significativa na série de dados de temperatura.

Para os meses em que a tendência foi significativa pelo teste MK, realizou-se uma análise de regressão linear simples, considerando como variável dependente a temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) do ar e como variável independente os anos (1961 a 2009). A análise de regressão, além de avaliar as possíveis tendências da temperatura, a mesma foi empregada para estimar a taxa das possíveis tendências decenais de temperaturas mínimas e máximas, uma vez que o teste de Mann-Kendall não fornece tal estimativa (BACK et al., 2012).

Os testes descritos acima foram aplicados no sentido de se complementarem, visto que o teste de Mann-Kendall avalia a significância da tendência e, a análise de regressão analisa o grau de inclinação da reta, e as projeções decenais. Para análises dos testes descritos, utilizou-se o software XLSTAT Versão 2011.3.02.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabelas 2 e 3 ilustram as taxas de variações significativas de aumento ou redução das temperaturas extremas anuais, identificadas por meio dos testes estatísticos de Mann-Kendall e pela análise de regressão linear, para as estações meteorológicas de Belo Horizonte, Florestal, Oliveira e Sete Lagoas, localizadas no estado de Minas Gerais.

Os resultados obtidos pelo teste de Mann-Kendall (Tabela 2) indicam tendências positivas nas séries temporais de temperaturas mínimas e máximas para todos os municípios estudados, com tendências de aumento variando de 0,07 a 0,28°C/década na temperatura mínima, para municípios de Belo Horizonte e Sete Lagoas, respectivamente. Assim como, tendência significativas de aquecimento na série de temperatura máxima entre 0,20 a 0,34°C/década, para os municípios de Sete Lagoas e Belo Horizonte, respectivamente. Isto é, o teste de Mann-Kendall indicou tendência na série, que foram significativas ao nível de 5% de probabilidade, rejeitando a hipótese de que não há tendência na série temporal.

Tabela 2. Análise de tendência pelo teste de Mann-Kendall para série temporal de 1961 a 2009, nos municípios de Belo Horizonte, Florestal, Oliveira e Sete Lagoas, MG.

Estação	Tmim				Tmax			
	Z	P(5%)	°C/década	Ho	Z	P(5%)	°C/década	Ho
Belo Horizonte	2,995	0,002	0,07	R	4,720	< 0,0001	0,34	R
Florestal	2,320	0,020	0,19	R	2,871	0,004	0,21	R
Oliveira	6,034	< 0,0001	0,23	R	4,127	< 0,0001	0,24	R
Sete Lagoas	4,968	< 0,0001	0,28	R	4,062	< 0,0001	0,20	R

H₀= Não há tendência na série temporal. A: aceita a hipótese de H₀.R: Rejeita a hipótese de H₀.

A partir do teste Mann-Kendall, que indicou tendência significativa de aumento na série temporal estudada. Foi realizada a análise de regressão linear, que se baseia na verificação do coeficiente angular de uma reta ajustada aos dados, para um nível de significância de 5% (Tabela 3). Observa-se que os valores estatisticamente significativos, indicam também possíveis alterações nas séries das temperaturas mínimas e máximas para os municípios de Belo Horizonte, Florestal, Oliveira e Sete Lagoas, MG.

Em geral, os resultados obtidos pela aplicação conjunta do teste de Mann-Kendall e a análise de regressão linear apresentam concordância, auxiliando na identificação de tendências nas séries temporais e quantificando o aumento das temperaturas máximas ou mínimas, através do coeficiente angular do modelo de regressão linear, para um período médio de 10 anos.

Tabela 3. Análise de regressão linear, com um nível de significância de 95%, para a série temporal de 1961 a 2009, nos municípios de Belo Horizonte, Florestal, Oliveira e Sete Lagoas, MG.

Estação	Tmim			Tmax		
	a	b	P(5%)	a	b	P(5%)
Belo Horizonte	-0,320	0,007	0,203 _{s+}	-41,908	0,034	< 0,0001 _{s+}
Florestal	-23,705	0,019	0,003 _{s+}	-14,134	0,021	0,001 _{s+}
Oliveira	-29,410	0,023	< 0,0001 _{s+}	-20,682	0,024	< 0,0001 _{s+}
Sete Lagoas	-40,442	0,028	< 0,0001 _{s+}	-11,867	0,020	0,0004 _{s+}

CONCLUSÕES

O teste de Mann-Kendall e a análise de regressão linear apresentaram concordância nos resultados encontrados, indicando tendências crescentes nas temperaturas mínimas e máximas para os municípios de Belo Horizonte, Florestal, Oliveira e Sete Lagoas. Em geral, os testes aplicados podem ser uma boa ferramenta na identificação de tendências em séries temporais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AVILA, A. M. H. Uma Síntese do Quarto Relatório do IPCC. Revista Multiciência, Mudanças Climáticas, Campinas, n.8, p.163-168, 2007.

BACK, A.J.; BRUNA, E.D.; VIEIRA, H.J. Tendências climáticas e produção de uva na região dos Vales da Uva Goethe. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.47, p.497-504, 2012.

COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E.M.; HAAS, R.; ANDREOLLI, I. Forecasting river Uruguay flow



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros



using rainfall forecasts from a regional weather-prediction model. *Journal of Hydrology*, v.305, p.87-98, 2005.

GOOSSENS, C.; BERGER, A. Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. *Annales Geophysicae*, Berlin, v.4, n.B4, p. 385-400, 1986.

GUEDES, R. L.; ANDREOLI R. V.; KAYANO, M. T.; OYAMA, M. D.; ALVES, M. A. S. Série temporal de precipitação mensal de Fortaleza, Brasil: comparação entre observações e dados de reanálise do NCEP/NCAR. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.20, n.1, 83-92, 2005.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. *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., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, and H. L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge United Kingdom and New York, NY, USA, 2007, 996p.

MACHADO, M. A.; MARENGO, J. A. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a agricultura brasileira. *Newsletter do Projeto GOF-UK-CPTEC*, São José dos Campos, v.1, n.2, p.4-6, 2006.

RODRIGUES, R. A.; SANTOS, R. S. Estudo de tendência climática na série temporal de precipitação pluviométrica em Araguari (MG). *Rev. Geogr. Acadêmica*, v.1, n.1, p.20-27, 2007.

SNEYERS, R. *Sur l'analyse statistique des séries d'observations*. Gênova: Organização Mundial de Meteorologia, 1975. 192p. (OMN, Nota técnica, 143).

VIRGENS FILHO, J.S. Ferramenta computacional para simulação de séries climáticas diárias, baseada na parametrização dinâmica das distribuições de probabilidade. Botucatu, 92p., 2001. Tese (Doutorado em Agronomia/ Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista.

YU, P.; YANG, T.; WU, C. Impact of climate change on water resources in southern Taiwan. *Journal of Hydrology*. Amsterdam, v.260, p.161-175, 2002.

ZHANG, H.G.; FU, S.H.; FANG, W.H.; IMURA, H.; ZHANG, X.C. Potential effects of climate change on runoff in the Yellow River Basin of China. *Transactions of the ASABE*, v.50, p.911-918, 2007.