

Modelagem estatística não-estacionária dos níveis mínimos de umidade relativa do ar em Piracicaba-SP

Carlos José dos Reis^{1 4}

Mariana M. G. Santos^{2 4}

Luiz Alberto Beijo^{3 4}

Resumo: A modelagem dos níveis mínimos de umidade relativa do ar é importante para o planejamento e a tomada de decisões em atividades como a saúde pública. O presente trabalho teve como objetivo prever os níveis mínimos de umidade relativa do ar nos meses de abril, maio e junho em Piracicaba-SP, utilizando a distribuição Generalizada de Valores Extremos (*GEV*). O Runs Test ($\alpha = 5\%$) e o teste de Durbin Watson ($\alpha = 5\%$) foram utilizados respectivamente para verificar a aleatoriedade e a independência dos dados. Verificou-se nos três meses que as observações apresentaram não-aleatoriedade e dependência ($p < 0,05$). Assim, foi necessário inserir na distribuição *GEV* um parâmetro que incorpore a tendência da série. A distribuição não-estacionária GEV_T indicou que a tendência foi positiva nos meses de abril, maio e junho, apontando que houve um aumento dos níveis mínimos de umidade do ar ao longo dos anos, com tendências respectivamente iguais a 0,18, 0,16 e 0,17. Pela análise dos gráficos QQ-plot e PP-plot verificou-se que a distribuição GEV_T ajustou-se aos dados. Assim, a distribuição GEV_t mostrou-se mais adequada para prever os níveis mínimos de umidade relativa do ar no município em diferentes níveis de probabilidade.

Palavras-chave: *Tendência, distribuição GVE, previsões, planejamento.*

1 Introdução

Nos estudos sobre a saúde e a saúde pública, a incorporação de conceitos climáticos e ambientais vem sendo tratado com crescente relevância. Segundo MENDONÇA (2000), o estudo de variáveis climáticas de uma região pode nortear as ações a serem realizadas em diversas atividades, principalmente na saúde pública. As condições térmicas, assim como, a umidade do ar e a dispersão de poluentes exercem destacada influência sobre a manifestação de muitas doenças, epidemias e endemias humanas. Os extremos térmicos e higrométricos acentuam a debilidade do organismo no combate às enfermidades, intensifi-

¹UNIFAL - Universidade Federal de Alfenas. Email: carlosjreis17@yahoo.com.br

²UNIFAL - Universidade Federal de Alfenas. Email: marireigo@hotmail.com

³UNIFAL - Universidade Federal de Alfenas. Email: luiz.beijo@unifal-mg.edu.br

⁴Agradecimento à FAPEMIG pelo apoio financeiro.

cando processos inflamatórios e criando condições favoráveis ao desenvolvimento dos transmissores de doenças contagiosas.

Alguns estudos mostraram uma associação positiva entre a mortalidade e também entre a morbidade devido a problemas respiratórios em crianças (LIN et al., 1999; BRAGA et al., 2001). BAKONYI et al. (2004) observaram uma relação inversamente proporcional entre os poluentes, a temperatura mínima e a umidade relativa do ar. Já para as doenças respiratórias verificaram uma correlação positiva entre fumaça e poluentes. Portanto, níveis baixos de umidade relativa do ar e baixas temperaturas interferem significativamente no aumento de atendimentos ambulatoriais relacionados às doenças respiratórias.

A ocorrência de níveis mínimos de umidade relativa do ar, em um dado período (dia, mês, ano), pode afetar a saúde e o bem estar de diversas maneiras. Assim, o aproveitamento adequado das séries históricas dessa variável climática é relevante para a descrição do seu comportamento, podendo essas informações serem úteis para o planejamento e a tomada de ações em atividades como a saúde pública.

O planejamento visando minimizar os impactos causados pelos eventos extremos climáticos pode ser feito mediante o uso de previsões associadas às variáveis do clima. Segundo CATALUNHA et al. (2002), o principal interesse é prever com base em funções densidade de probabilidade aplicadas aos dados observados, os valores que possam ocorrer em uma certa localidade. A distribuição *GEV* tem sido amplamente utilizada com essa finalidade, podendo citar RUSTICUCCI e TENCER (2008), BEIJO e AVELAR (2011), e BLAIN e LULU (2011).

De acordo com COLES (2001), a distribuição *GEV* tem função densidade de probabilidade representada pela seguinte expressão:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma} \left[1 + \xi \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-\left(\frac{1+\xi}{\xi}\right)} \exp \left\{ - \left[1 + \xi \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right)^{-\frac{1}{\xi}} \right] \right\} \quad (1)$$

definida em: $\{x : 1 + \xi(x - \mu)/\sigma > 0\}$, em que ξ , μ e σ denotam respectivamente os parâmetros forma, posição e escala, com $-\infty < \xi < \infty$, $-\infty < \mu < \infty$ e $\sigma > 0$.

Tendo em vista a importância do conhecimento sobre o comportamento da umidade relativa do ar, o presente trabalho teve como objetivo prever os níveis mínimos dessa variável climática para os meses de abril, maio e junho em Piracicaba-SP, nos tempos de retorno de 2, 5, 10, 30 e 50 anos.

Material e métodos

As séries históricas de valores mínimos de umidade relativa do ar foram obtidas junto à Estação Convencional do Posto Agrometeorológico da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP). As séries compreendem o período de 1943 a 2011. O clima de Piracicaba, conforme a classificação de Köppen é do tipo Cwa: tropical de altitude, com chuvas de verão e seca no inverno, sendo os meses de

junho, julho e agosto mais secos. A temperatura média do mês mais quente é superior a 22°C e a do mês mais frio não é inferior a 16°C (GHIBERTO; MORAES, 2011).

O primeiro procedimento foi agrupar as observações de umidade relativa do ar em períodos mensais. O tamanho das séries mensais utilizadas seguem as recomendações da World Meteorological Organization, que preconiza que o número mínimo de anos de dados climáticos para análise é de 30 anos (BADDOUR et al., 2007).

O Runs Test e o teste de Durbin Watson foram utilizados respectivamente para verificar a aleatoriedade e a independência dos dados. O nível de significância de 5% foi adotado em todos os testes. A distribuição *GEV* foi ajustada aos dados, sendo a qualidade dos ajustes verificada pela análise dos gráficos Quantil-Quantil (QQ-plot) e Probabilidade-Probabilidade (PP-plot).

De acordo com NAGHETTINI e PINTO (2007), conhecidas as estimativas dos parâmetros, os quantis da distribuição *GEV* podem ser calculados por:

$$z(T) = \mu - \frac{\sigma}{\xi} \left(1 - \left(-\ln \frac{1}{T} \right)^{-\xi} \right) \quad (2)$$

em que T é o tempo de retorno.

Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software R DEVELOPMENT CORE TEAM (2012), sendo utilizados os pacotes *tseries*, *zoo*, *car* e *evd*.

2 Resultados e discussão

Analisando os resultados do Runs test e do teste de Durbin Watson (Tabela 1), verifica-se que nos três meses os dados apresentaram não-aleatoriedade e dependência ($p < 0,05$). Dessa forma, foi necessário a incorporação da tendência no parâmetro posição da distribuição *GEV*.

Tabela 1: Resultados dos testes de independência, de aleatoriedade, e do diagnóstico de desempenho das distribuições Generalizada de Valores Extremos estacionária e não-estacionária (*GEV*, *GEV_T*), em relação aos dados de umidade relativa do ar.

Mês	Independência		Aleatoriedade	
	Durbin Watson	Runs test	<i>GEV_T</i>	<i>GEV</i>
Abril	0,014	< 0,001	478, 22*	488, 05
Mai	0,028	< 0,001	480, 27*	490, 87
Junho	0,025	< 0,001	530, 19*	541, 66

* estatisticamente diferente da *deviance* do modelo *GEV*, ao nível de 5% de significância

Os resultados do diagnóstico de desempenho das distribuições Generalizada valores extremos estacionária (*GEV*) e não-estacionária (*GEV_T*) também são apresentados na Tabela 1. Observou-se que a distribuição *GEV_T* apresentou melhor desempenho que a distribuição *GEV* nos meses do estudo, por

ter apresentado menor *deviance*.

Na Tabela 2 são apresentadas as estimativas dos parâmetros da distribuição não-estacionária GEV_T . A estimativa do parâmetro posição com tendência ($\hat{\mu}_T$) da distribuição não-estacionária GEV_T indicou que a tendência foi positiva nos meses de abril, maio e junho, com tendências respectivamente iguais a 0,18, 0,16 e 0,17.

Tabela 2: Estimativas dos parâmetros μ , μ_T , σ e ξ , obtidas pelo método da máxima verossimilhança, com seus respectivos erros padrão [].

Mês	Estimativas			
	$\hat{\mu}$	$\hat{\mu}_T$	$\hat{\sigma}$	$\hat{\xi}$
Abril	55,776 [1,436]	18,366 [3,987]	6,741 [0,618]	-0,499 [0,059]
Maio	54,778 [1,863]	16,212 [5,200]	8,978 [0,725]	-0,419 [0,040]
Junho	51,823 [1,812]	17,189 [5,310]	8,426 [0,744]	-0,241 [0,057]

Pela análise dos gráficos QQ-plot e PP-plot verificou-se que a distribuição não-estacionária GEV_T ajustou-se aos dados. Assim, essa distribuição pode ser utilizada para calcular as previsões dos níveis mínimos de umidade do ar em Piracicaba-SP. Na Tabela 3 são apresentadas essas previsões, para cinco tempos de retorno.

Tabela 3: Previsões dos níveis mínimos de umidade relativa do ar para os meses de abril, maio e junho em Piracicaba-SP, obtidas pela distribuição não-estacionária GEV_T , em cinco tempos de retorno.

Mês	Tempos de retorno (em anos)				
	2	5	10	30	50
Abril	58,03	52,15	48,80	44,40	42,60
Maio	57,83	50,06	45,82	40,42	38,26
Junho	54,78	47,57	44,04	39,83	38,22

Escolhendo o mês de abril e o tempo de retorno de 50 anos, uma interpretação das informações pode ser feita do seguinte modo: conforme a previsão fornecida pela distribuição Gumbel, espera-se para o tempo de retorno de 50 anos que em pelo menos um dia desse mês, o valor mínimo da umidade do ar seja inferior ou igual a 42,60%.

3 Conclusões

A série de valores mínimos de umidade do ar dos meses de abril, maio e junho apresentaram dependência e não-aleatoriedade. A distribuição não-estacionária GEV_T foi mais adequada para modelar os dados, indicando que a tendência foi positiva nos meses estudados, apontando que houve um aumento dos níveis mínimos de umidade do ar ao longo dos anos nesses meses.

Referências

- [1] BAKONYI, S. M. C.; DANNI-OLIVEIRA, I. M.; MARTINS, L. C.; BRAGA, L. F. Poluição atmosférica e doenças respiratórias em crianças na cidade de Curitiba, PR. *Rev. Saúde Pública*, São Paulo, v.38, n.5, p.695-700, 2004.
- [2] BEIJO, L. A.; AVELAR, F. G. Distribuição Generalizada de Valores Extremos no estudo de dados climáticos: uma breve revisão e aplicação. *Revista da Estatística da UFOP*, Ouro Preto, vol.1, 2011.
- [3] BLAIN, G. C.; LULU, J. Valores anuais absolutos de séries diárias de temperatura máxima e mínima do ar no estado de São Paulo: tendências, periodicidades e probabilidades associadas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São José dos Campos, v.26, n.1, 29-40, 2011.
- [4] BRAGA, A. L. F.; SALDIVA, P. H. N.; PEREIRA, L. A. A.; MENEZES, J. J. C.; CONCEIÇÃO, G. M. S.; LIN, C. A. et al. Health effects of air pollution exposure on children and adolescents in São Paulo, Brazil. *Pediatr Pulmonol*, n.31, p.106-13, 2001.
- [5] CATALUNHA, M. J.; SEDYAMA, G. C.; LEAL, B. G.; BOECHAT, C. P.; RIBEIRO, A. Aplicação de cinco funções densidade de probabilidade a séries de precipitação pluvial no estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 153-162, 2002.
- [6] LIN, A. C.; MARTINS, M. A.; FARHAT, S. L.; POPE III C. A.; CONCEIÇÃO, G. M. S.; ANASTÁCIO, M. V. et al. Air pollution and respiratory illness of children in São Paulo, Brazil. *Pediatr Perinat Epidemiol*, n.13, p.475-88, 1999.
- [7] MENDONÇA, F. Aspectos da interação clima-ambiente-saúde humana: da relação sociedade-natureza à (in)sustentabilidade ambiental. *Ra'e Ga*, Curitiba: editora UFPR, n.4, p.85-99, 2000.
- [8] R DEVELOPMENT CORE TEAM R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2012. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.
- [9] RUSTICUCCI, M.; TENCER, B. Observed changes in return values of annual temperature extremes over Argentina. *Journal of Climate*, v.21, p.5455-5467, 2008.