

ANÁLISE DE DADOS DE DIÓXIDO DE NITROGÊNIO E OZÔNIO NA CIDADE DE CUBATÃO VIA DISTRIBUIÇÃO GUMBEL BIVARIADA

GILBERTO RODRIGUES LISKA¹, LUIZ ALBERTO BEIJO², CARLOS JOSÉ DOS REIS³

RESUMO

A poluição do ar representa hoje um dos maiores problemas de Saúde Pública. O conhecimento de níveis extremos, ou de suas probabilidades de ocorrências, faz-se necessário para o planejamento administrativo dos órgãos de saúde. O Conselho Nacional do Meio Ambiente determina para controle de Dióxido de Nitrogênio (NO₂) e Ozônio (O₃), que níveis acima 100 µg/m³ e 160 µg/m³, respectivamente, provocam danos à saúde. Uma estratégia para a análise de eventos extremos simultâneos é a utilização da distribuição Gumbel Bivariada. Para sua aplicação, considera-se a existência de mais um parâmetro ao modelo, o parâmetro de dependência ρ , que indica a associação entre as variáveis em estudo. Os dados deste estudo foram obtidos pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental referentes ao período de março a agosto de 2003 a 2009 do município de Cubatão. Objetivou-se verificar a associação entre os poluentes NO₂ e O₃ utilizando a distribuição Gumbel Bivariada, bem como fornecer suas probabilidades de ocorrência conjunta. Verificou-se que o parâmetro ρ assumiu valores que variam de 0,585 a 0,900, indicando que, em alguns meses, existe associação entre as variáveis O₃ e NO₂ no município de Cubatão-SP, conseqüentemente, a probabilidade o nível de um poluente ser superado influenciou na ocorrência do outro. A Distribuição Gumbel Bivariada melhorou a estimativa da probabilidade em relação à estimativa da probabilidade obtida pela Distribuição Gumbel Univariada para os poluentes NO₂ e O₃, constituindo-se como uma alternativa na análise conjunta de níveis máximos dos poluentes NO₂ e O₃ e fornecendo informações mais confiáveis.

Palavras-chave: Probabilidade de Ocorrência, Nível Máximo de Poluição, Saúde pública.

INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica pode ser definida como a presença de substâncias estranhas na atmosfera, resultantes da atividade humana ou de processos naturais, em concentrações suficientes para interferir direta ou indiretamente na saúde, segurança e bem estar dos seres vivos.

Segundo Cançado et al. (2006) as fontes naturais de poluição do ar são a queima acidental de biomassa e erupções vulcânicas, as quais podem ser consideradas as mais antigas fontes de contaminação do ar. A queima de biomassa, em ambientes externos e internos, utilizada desde a pré-história para produção de energia, tem sido uma das principais fontes antropogênicas de poluição atmosférica.

Conforme Castro et al. (2003), a poluição do ar representa hoje um dos maiores problemas de Saúde Pública, afetando a saúde dos seres humanos, de outros animais e das plantas. O rápido avanço tecnológico do mundo moderno trouxe consigo um aumento na quantidade e na variedade de poluentes eliminados na atmosfera, prejudicando de maneira muito séria a qualidade de vida em nosso planeta.

O O₃ é uma variedade alotrópica do oxigênio, apresenta-se sob a forma de um gás azul pálido, de odor picante característico. Presente na troposfera, é formado por uma série de reações catalisadas pela luz do sol (raios ultravioleta) envolvendo, como precursores, óxidos de nitrogênio (NO e NO₂) e hidrocarbonetos, derivados das emissões de veículos, indústrias e usinas termoelétricas. É um agente oxidante muito ativo e tóxico. Sua formação se dá a partir da reação do oxigênio molecular (O₂) com o

¹ Discente da Graduação em Matemática- Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG). gilbertoliska@hotmail.com. Agradecimentos ao PROBIC-UNIFAL/MG.

² Professor Adjunto. Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG). luzbeijo@unifal-mg.edu.br.

³ Discente da Graduação em Matemática- Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG). carlosjreis17@yahoo.com.br.

oxigênio atômico (O⁻). O NO₂, através de uma reação fotoquímica, produz o oxigênio atômico, portanto, a combinação com o O₂ produz O₃ (DUCIADE, 1992).

No Brasil, a partir de 1990 que foram desenvolvidos os primeiros trabalhos com o objetivo de estudar o problema da poluição atmosférica. O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) determina para controle de NO₂ e O₃, que níveis acima 100 µg/m³ e 160 µg/m³, respectivamente, provocam danos à saúde.

A Teoria de Valores Extremos desempenha um papel fundamental em estudos relacionados a medições físicas, em que é aplicada com a finalidade de descrever o comportamento de eventos raros. Sendo a distribuição Generalizada de Valores Extremos uma função de densidade, é natural que seus parâmetros sejam estimados a partir dos valores extremos de amostras. O enfoque deste trabalho será a Distribuição Bivariada de Valores Extremos, que estuda a ocorrência de eventos extremos sob a influência de duas variáveis aleatórias com uma relação de dependência entre elas.

Os modelos bivariados são úteis em aplicações práticas da teoria de valores extremos em diversas áreas, como, por exemplo, na análise da interação entre a velocidade do vento e a altura das ondas, na análise do relacionamento entre grandezas da temperatura e níveis de colheita e, em particular na área financeira, no estudo da dependência entre mercados de ações.

Objetivou-se, portanto, aplicar a Distribuição Gumbel Bivariada aos dados de NO₂ e O₃ do município de Cubatão e, verificar se existe correlação entre a ocorrência desses poluentes, para posteriormente, proceder ao cálculo de probabilidades de superação dos níveis máximos toleráveis pelos órgãos competentes.

MATERIAL E MÉTODOS

Material

Foram utilizados os dados disponibilizados pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) do município de Cubatão - SP do período de março a agosto de 2003 a 2009 sobre as concentrações diárias de O₃ e NO₂. O período do presente estudo está compreendido entre os meses de março a agosto, pois apresenta condições meteorológicas irregulares, como o baixo regime pluviométrico e umidade do ar, dificultando de certa forma a disseminação dos poluentes atmosféricos, conforme CETESB (2008).

Métodos

Os dados foram agrupados em períodos de cinco dias, extraindo-se nível máximo de poluição observado de cada série, formando assim, vetores de valores máximos para cada mês estudado. Utilizando-se a distribuição Gumbel Bivariada com as estimativas dos parâmetros obtidos pelo método da Máxima Verossimilhança, foi calculada a probabilidade de ocorrer um nível de poluição superior a 80µg/m³, 160 µg/m³ e 235 µg/m³ de O₃ e 80 µg/m³, 100 µg/m³ e 120 µg/m³ de NO₂ em cada mês e local estudado.

Conforme Stephenson (2006), a Distribuição Gumbel Bivariada tem função de distribuição dada por:

$$G(z_1, z_2) = \exp\{-(y_1^{1/\rho} + y_2^{1/\rho})^\rho\}, \quad (1)$$

em que, $y_j = y_j(z_j) = \exp\left[-(z_j - \mu)/\sigma\right]$ com, $j = 1, 2$; μ e σ são os parâmetros marginais de *posição* e *escala*, respectivamente, da Distribuição Gumbel, com $\sigma > 0$. ρ é o parâmetro dependência com $0 < \rho \leq 1$. A independência ocorre quando $\rho = 1$.

Para a estimação dos parâmetros da distribuição Gumbel Bivariada e cálculo das probabilidades dos níveis máximos de poluição serem superados, foi utilizado o pacote estatístico EVD do Sistema Computacional Estatístico R, conforme R Development Core Team (2010)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

XIX CONGRESSO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UFPA
27 de setembro a 01 de outubro de 2010

Na Tabela 1, observe que o parâmetro ρ assume valores que variam de 0,585 a 0,900, o que indica que existe associação moderada entre as variáveis O_3 e NO_2 nos meses de junho, julho e agosto, que são os meses mais secos do ano.

Tabela 1: Estimativas dos Parâmetros Posição (μ_1, μ_2), Escala (σ_1, σ_2) e Dependência (ρ) da Distribuição Gumbel Bivariada com seus respectivos erros padrões para série máxima de 5 dias no município de Cubatão.

Mês		Parâmetros				
		μ_1	σ_1	μ_2	σ_2	ρ
Março	Estimativa	87,721	32,709	38,815	12,171	0,860
	Erro padrão	6,605	5,244	2,471	1,912	0,113
Abril	Estimativa	80,474	34,424	41,879	17,735	0,808
	Erro padrão	6,655	4,970	3,378	2,693	0,098
Maio	Estimativa	75,398	23,801	45,279	16,372	0,900
	Erro padrão	4,852	3,605	3,325	2,517	0,083
Junho	Estimativa	77,896	23,849	53,946	23,410	0,630
	Erro padrão	4,837	3,591	4,717	3,526	0,102
Julho	Estimativa	68,604	20,422	51,748	21,999	0,585
	Erro padrão	4,366	2,924	4,567	3,549	0,106
Agosto	Estimativa	79,833	24,439	57,843	24,448	0,840
	Erro padrão	4,365	3,143	4,335	3,261	0,109

Na Tabela 2, a probabilidade de o nível de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozônio ser superado, dado que o nível de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de dióxido de nitrogênio foi superado, pelo menos uma vez a cada cinco dias em junho em Cubatão é de 11,9% no caso bivariado. No caso univariado, a probabilidade de o nível de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozônio ser superado pelo menos uma vez a cada 5 dias em junho em Cubatão é de 57,9%.

Tabela 2: Probabilidades (%) obtidas pelas Distribuições Gumbel Univariada e Gumbel Bivariada em diversos níveis dos poluentes atmosféricos O_3 e NO_2 em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para série máxima de 5 dias do município de Cubatão-SP.

Distr.	Poluente	Mês						
		Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	
univariada	O_3							
	80	75,80	64,30	54,20	57,90	41,00	65,90	
	160	12,60	9,40	2,90	2,10	1,00	4,20	
	235	1,50	1,10	0,10	0,10	0,00	0,20	
bivariada	O_3							
	80							
	80	NO_2						
	100	2,90	9,00	7,70	23,80	19,20	24,20	
	120	0,60	3,20	2,50	11,90	9,40	12,60	
	120	0,10	1,10	0,80	5,50	4,10	6,10	
	80	1,20	3,20	0,90	2,80	1,10	2,40	
	160	100	0,30	1,60	0,50	2,40	1,00	1,80
	120	0,10	0,70	0,20	1,90	0,90	1,30	
	80	0,30	0,70	0,10	0,10	0,00	0,10	
	235	100	0,10	0,50	0,00	0,10	0,00	0,10
	120	0,00	0,30	0,00	0,10	0,00	0,10	

Na Tabela 3 a probabilidade de o nível de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de dióxido de nitrogênio ser superado, dado que o nível de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozônio foi superado, pelo menos uma vez a cada cinco dias em junho em Cubatão é de 17,7% no caso bivariado. No caso univariado, a probabilidade de o nível de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de dióxido de nitrogênio ser superado pelo menos uma vez a cada 5 dias em junho em Cubatão é de 12,5%.

XIX CONGRESSO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UFLA
27 de setembro a 01 de outubro de 2010

Isso ocorre pelo fato de o regime pluviométrico em junho ser geralmente baixo, o que implica na baixa umidade do ar, tornando assim desfavorável a dispersão dos poluentes primários. Esse fato é agravado com a considerável concentração de O₃ no ar, uma vez que o O₃ participa na formação de NO₂, como explica Chagas (2007). Logo, o NO₂ apresenta concentrações elevadas em junho, julho e agosto.

Tabela 3: Probabilidades (%) obtidas pelas Distribuições Gumbel Univariada e Gumbel Bivariada em diversos níveis dos poluentes atmosféricos NO₂ e O₃ em µg/m³ para série máxima de 5 dias do município de Cubatão-SP.

Distr.	Poluente	Mês						
		Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	
univariada	NO ₂							
	80		3,30	10,9	12,6	27,4	20,9	33,0
	100		0,60	3,60	4,10	12,5	8,30	16,0
	120		0,10	1,20	1,30	5,40	3,20	7,30
bivariada	NO ₂	O ₃						
	80	160	2,90	9,00	7,70	23,8	19,2	24,2
	235		0,00	0,10	0,10	1,00	0,70	1,30
	80	160	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,10
	100	160	2,40	7,50	5,00	17,7	12,5	15,8
	235		0,00	0,10	0,10	1,00	0,70	1,10
	80	160	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10
	120	160	2,00	5,90	3,00	10,9	6,30	9,00
	235		0,00	0,10	0,00	1,00	0,60	0,90
	80	160	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	120	160	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

CONCLUSÕES

O NO₂ e o O₃ apresentaram maior probabilidade de superar os níveis estabelecidos pela CONAMA no inverno e no verão, respectivamente, tanto no resultado univariado como no bivariado.

A Distribuição Gumbel Bivariada melhorou a estimativa da probabilidade em relação à estimativa da probabilidade obtida pela Distribuição Gumbel Univariada para os poluentes NO₂ e O₃, constituindo-se como uma alternativa no cálculo de níveis máximos conjunto dos poluentes NO₂ e O₃ e fornecendo informações mais precisas sobre o problema exposto.

REFERÊNCIAL BIBLIOGRÁFICO

- CANÇADO, J. E. et al. Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, Ribeirão Preto, v. 32, supl. 1, p. S5-S11, maio 2006.
- CASTRO, H. A.; GOUVEIA, N.; ESCAMILLA, J. A. Questões metodológicas para a investigação dos efeitos da poluição do ar na saúde. **Revista Brasileira Epidemiologia**, v. 6, n.2, 2003.
- CETESB. **Relatório da qualidade do ar no Estado de São Paulo 2008**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/publicacoes.asp>>. Acesso em 8 jan. 2010.
- CHAGAS, E. V. **Análise da concentração de gases traço (NO-NO2-O3) e da Fotólise de NO2 na região Amazônica na época seca**. 74p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia: Processos de Superfície Terrestre), Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Ciências Atmosféricas, Maceió, 2007.
- DUCHIADE, M. P. Air Pollution and Respiratory Diseases: A Review. **Caderno Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v.8, p.311-330, jul/set, 1992.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **An Introduction to R: Version: 2.10.1**. In: <<http://www.r-project.org>>. Acesso em 4 jan de 2010.
- STEPHENSON, A. **A User's Guide to the evd Package (Version 2.2)**. Singapura: Department of Statistics and Applied Probability, National University of Singapore, 2006.