

DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE APLICADAS NA ANÁLISE DE NÍVEIS MÁXIMOS DE MP_{10} E O_3 NAS CIDADES DE CUBATÃO E PAULÍNIA, SP

Gilberto Rodrigues Liska¹ e Luiz Alberto Beijo²

Resumo: A poluição do ar representa hoje um dos maiores problemas de saúde pública. O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) determina que níveis acima de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de material particulado (MP_{10}) e de $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de Ozônio (O_3) provocam danos à saúde. Dessa forma, o conhecimento da probabilidade de ocorrência de níveis extremos faz-se necessário para o planejamento administrativo dos órgãos de saúde. Objetivou-se, então, estudar o ajuste das distribuições Generalizada de Valores Extremos (GVE) e Gumbel aos dados de MP_{10} e O_3 de Cubatão (centro) e Paulínia, SP, assim como calcular as probabilidades dos níveis de MP_{10} e O_3 superarem os limites legais. As séries históricas abrangem o período de janeiro/2003 a outubro/2009 e foram disponibilizadas pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). O ajuste das séries máximas de MP_{10} e O_3 pelas distribuições GVE e Gumbel foi satisfatório de acordo com o teste Kolmogorov-Smirnov. As maiores probabilidades dos poluentes atmosféricos MP_{10} e O_3 superarem os níveis críticos nos municípios em estudo, em ambas as distribuições, ocorrem nas estações do inverno e verão, respectivamente, o que exige atenção dos órgãos de saúde e de planejamento. Concluiu-se que as distribuições GVE e Gumbel são adequadas para estudar o comportamento de MP_{10} e O_3 nos municípios estudados.

Palavras-chave: Máxima verossimilhança. Nível máximo de poluição. Probabilidade de ocorrência.

1 Introdução

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 lançados na atmosfera, prejudicando de maneira muito séria a qualidade de vida em nosso planeta e, conseqüentemente, causando uma série de doenças às pessoas. Fica evidente que o conhecimento de níveis extremos dos poluentes, e de técnicas para prevê-los, faz-se necessário para o planejamento administrativo, principalmente o relacionado aos órgãos de saúde. Porém, no Brasil poucos estudos têm sido realizados com o intuito de modelar dados de poluição e muito menos na modelagem de níveis máximos de poluição, haja vista que as análises se baseavam em estatísticas descritivas.

A Teoria de Valores Extremos (TVE) desempenha um papel fundamental em estudos relacionados a medições físicas, aplicada principalmente com a finalidade de descrever o comportamento de eventos

raros. A TVE admite uma distribuição de probabilidade, a distribuição Generalizada de Valores Extremos (GVE), cuja variação do parâmetro forma corresponde a três outras distribuições de probabilidade, a Fréchet, Gumbel e Weibul. A distribuição Gumbel, em particular, tem sido muito aplicada em situações que envolvam máximos. Sendo as distribuições em questão funções de densidade, é natural que seus parâmetros sejam estimados a partir dos valores extremos de amostras. Dentre alguns métodos que podem ser utilizados para obtenção dos estimadores dos parâmetros desta distribuição, o método de máxima verossimilhança é o mais aplicado (BEIJO; MUNIZ; NETO, 2005).

Várias aplicações destas distribuições foram implementadas com sucesso em muitas áreas da ciência como hidrologia, climatologia, ciências atuariais, engenharia, economia e finanças e recentemente em dados de poluição, nas quais o interesse maior está na obtenção de quantis extremos desta distribuição.

Sendo assim, objetivou-se neste trabalho verificar o ajuste da distribuição Generalizada de Valores Extremos (GVE) e

¹ E-mail: gilbertoliska@hotmail.com

² E-mail: luizbeijo@unifal-mg.edu.br

Instituto de Ciências Exatas (ICEX), Universidade Federal de Alfenas, CEP 37130-000, Alfenas-MG, Brasil.

Gumbel aos dados de poluição dos municípios de Cubatão e Paulínia e calcular a probabilidade de certos níveis de poluição para se conhecer o risco que os habitantes dessas cidades correm.

1.1 Poluição atmosférica

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 (CANÇADO et al., 2006).

No início do século XX ocorreram três episódios críticos de concentração de poluentes do ar ocasionando aumentos da morbimortalidade (Vale do Meuse - França, Donora - Pensilvânia - EUA, e Londres - Inglaterra). Esses episódios foram os primeiros a chamar a atenção das autoridades governamentais e estimularam a realização de diversos estudos epidemiológicos e experimentais que identificaram os principais poluentes e suas repercussões sobre a saúde (MASCARENHAS et al., 2008).

A poluição do ar representa atualmente 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 lançados na atmosfera, prejudicando fortemente a qualidade de vida em nosso planeta e as crianças, adolescentes e idosos são as faixas etárias que mais sofrem com esse processo (JASINK; PEREIRA; BRAGA, 2011).

Baseando-se nos resultados de pesquisas, vários países estabeleceram padrões de qualidade, ou seja, os limites máximos tolerados, a partir dos quais, a população exposta sofreria danos à sua saúde (CANÇADO et al., 2006). Conforme a Agência de Proteção Ambiental norte americana – EPA -, o padrão de qualidade do ar, no que diz respeito ao material particulado (MP), não deve estar acima de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante um período maior do que 24 horas e o valor médio do Ozônio (O_3) durante, no máximo, uma hora diária, não deve ultrapassar o valor de $235 \mu\text{g}/\text{m}^3$. No Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) determina que as

concentrações de MP_{10} e O_3 não ultrapassem os níveis de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. Ainda, de acordo com a resolução nº 003 do CONAMA (BRASIL, 1990), a média horária de O_3 de $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ não deve ser excedida mais de uma vez por ano. Devido à quantidade e variedade dos poluentes atmosféricos, este estudo focar-se-á no ozônio e no material particulado, cujas particularidades são explicitadas a seguir.

1.2 Material particulado (MP)

O material particulado é uma mistura de partículas líquidas e sólidas em suspensão no ar. Sua composição e tamanho dependem das fontes de emissão. Seu diâmetro pode variar entre 2,5 e $30 \mu\text{m}$. As partículas menores ou iguais a $10 \mu\text{m}$ (MP_{10}), também chamadas de partículas inaláveis, merecem maior atenção, pois, segundo a EPA (2006), podem atingir com mais facilidade as vias respiratórias inferiores. Este material particulado inalável apresenta a importante característica de transportar gases absorvidos em sua superfície, transportando-os até as porções mais interiores das vias aéreas, onde ocorrem as trocas de gases no pulmão. Estudos mostram que o material particulado apresenta relação significativa com internações hospitalares e mortes prematuras (MARTINS et al., 2001).

A indústria e os transportes são as principais fontes emissoras de material particulado (LYRA; SOUZA; VIOLA, 2011).

1.3 Ozônio (O_3)

O ozônio se apresenta 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 NO , NO_2 e hidrocarbonetos, derivados das emissões de veículos, indústrias e usinas termoeletricas (CETESB, 2011). É um agente oxidante muito ativo e tóxico. A população exposta a um nível acima do padrão preconizado pelo CONAMA está sujeita ao aumento dos problemas respiratórios e diminuição da capacidade pulmonar. Trabalhos realizados relatam ainda relação significativa no aumento de admissões hospitalares. Esse poluente acarreta também danos ao meio

ambiente, principalmente às plantações e à vegetação natural (DUCHIADE, 1992).

A formação de O_3 é típica de áreas urbanas, normalmente, é um poluente com uma concentração maior em ambientes externos do que em ambientes internos e, é relativamente pouco solúvel em água e costuma atingir com mais facilidade os alvéolos, produzindo seus efeitos tóxicos nesta região (CASTRO; GOUVEIA; ESCAMILLA, 2003).

1.4 Distribuição generalizada de valores extremos (GVE)

A distribuição Generalizada de Valores Extremos (GVE) foi desenvolvida por Jenkinson (1955) e tem como casos particulares as distribuições de valores extremos de Fréchet, Gumbel e Weibull. A função densidade de probabilidade da distribuição GVE é dada pela equação 1 definida em, $-\infty < x < \mu - \sigma/\xi$, para $\xi < 0$ e $\mu - \sigma/\xi < x < \infty$, para $\xi > 0$.

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

Fazendo $\lim_{x \rightarrow 0} f(x)$ obtém-se a função de densidade de probabilidade Gumbel, que é

dada pela equação 2, definida em $-\infty < x < \infty$.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma} \exp \left\{ - \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) - \exp \left[- \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right] \right\} \quad (2)$$

As distribuições de valores extremos de Fréchet e de Weibull correspondem aos casos particulares em que na equação 1 $\xi > 0$ e $\xi < 0$, respectivamente.

Dentre sua vasta aplicação, a distribuição GVE tem sido utilizada com grande frequência em estudos de fenômenos ambientais principalmente para solucionar problemas relacionados às áreas de engenharia, e em aplicações que envolvem modelos financeiros e de seguros, além de outras (COLES, 2001).

1.5 Inferência dos parâmetros

A distribuição GVE apresenta na sua forma geral três parâmetros desconhecidos: de posição, de escala e de forma. Para fazer inferências sobre esses parâmetros, inúmeras sugestões foram propostas, entre elas, técnicas gráficas, estimadores baseados no método dos momentos, métodos de estatística de ordem, método dos momentos de probabilidade ponderada, método da máxima verossimilhança e métodos Bayesianos (COLES; DIXON, 1999).

Os métodos baseados em verossimilhança são preferidos devido à teoria dos estimadores de máxima verossimilhança ser bem compreendida e as

inferências serem facilmente modificadas ao incorporar modelos com estruturas mais complexas (SMITH, 1985).

2 Metodologia

Foram utilizados os valores diários das concentrações de MP_{10} e O_3 dos municípios de Paulínia e Cubatão (centro), do período de janeiro de 2003 a outubro de 2009, disponibilizados pela CETESB. As séries diárias de MP_{10} e O_3 são compreendidas por 1889 e 1536 observações, respectivamente. Houve dias em que não foi feita a medição dos poluentes devido a problemas técnicos nas estações.

Para o estudo do ajustamento das distribuições GVE e Gumbel aos dados, esses foram agrupados em períodos de dez dias, quinze dias e mensal. Para o período de 10 dias, o ano foi dividido em 36 períodos discretos, sendo cada mês 3 períodos. Nos meses com 31 dias, o último período para o caso ficou com 11 dias; no caso do mês de fevereiro, esse período ficou com 9 ou 8 dias dependendo do ano. Para o período de quinze dias, o ano foi dividido em 24 períodos discretos, sendo cada mês 2 períodos. Nos meses com 31 dias, o último período para esse caso ficou com 16 dias; no caso do mês de fevereiro, esse período ficou

com um ou dois dias a menos, dependendo do ano. Para o período de um mês, foram considerados os 12 meses do ano. Extraído-se a máxima concentração de poluição diária observada de cada período, formaram-se os vetores de concentrações máximas para os poluentes MP_{10} e O_3 .

A motivação de trabalhar com os períodos mencionados é que por se tratar de uma série temporal, espera-se a existência de uma estrutura de correlação entre as observações e para analisar as séries via TVE, é necessário que exista independência entre as observações. Para avaliar essa independência foi utilizado o teste de Ljung-Box (LJUNG; BOX, 1978). A TVE assume ainda como pressuposição a aleatoriedade das séries e isso foi avaliado através do teste de desvios na aleatoriedade, também conhecido por “runs test”, (WALD;

WOLFOWITZ, 1940). Adotou-se 5% como nível de significância para ambos os testes.

Para estimar os parâmetros das distribuições GVE e Gumbel foi utilizado o método da Máxima Verossimilhança. Como primeiro passo do método, obtém-se a função de verossimilhança, em seguida obtém-se a função suporte, que é o logaritmo da função de verossimilhança, e a partir disso, calcula-se as derivadas parciais de primeira ordem em relação a cada parâmetro da distribuição em estudo. Assim, a estimativa dos parâmetros μ , σ e ξ da distribuição GVE é obtida pela solução do sistema de equações não lineares formado pelas derivadas de primeira ordem do logaritmo da verossimilhança da distribuição GVE, em relação a cada parâmetro, igualadas a zero, isto é, pela solução das

equações 3, 4 e 5, sendo $w_i = 1 + \xi \left(\frac{x_i - \hat{\mu}}{\hat{\sigma}} \right)$.

$$\frac{\partial l(\mu, \sigma, \xi)}{\partial \mu} = 0 \Rightarrow \frac{1}{\hat{\sigma}} \sum_{i=1}^n \left(\frac{1 + \xi - w_i^{-\frac{1}{\xi}}}{\hat{\sigma}} \right) = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial l(\mu, \sigma, \xi)}{\partial \sigma} = 0 \Rightarrow -\frac{n}{\hat{\sigma}} + \frac{1}{\hat{\sigma}^2} \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{(x_i - \hat{\mu}) \left[(1 + \xi) - w_i^{-\frac{1}{\xi}} \right]}{w_i} \right\} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial l(\mu, \sigma, \xi)}{\partial \xi} = 0 \Rightarrow \sum_{i=1}^n \left\{ \left(1 - w_i^{-\frac{1}{\xi}} \right) \left[\frac{1}{\xi^2} \ln(w_i) - \frac{(x_i - \hat{\mu})}{\xi \hat{\sigma} w_i} \right] - \frac{(x_i - \hat{\mu})}{\hat{\sigma} w_i} \right\} = 0 \quad (5)$$

Visto que o sistema de equações não possui solução analítica, deve-se utilizar um método iterativo para obtenção de uma solução numérica, partindo-se de valores iniciais para μ , σ e ξ .

Para a distribuição Gumbel, os estimadores de Máxima Verossimilhança dos parâmetros μ e σ são obtidos de forma análoga a realizada para a distribuição GVE, obtendo-se os estimadores conforme as equações 6 e 7.

$$\hat{\mu} = -\hat{\sigma} \ln \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \exp \left(\frac{-x_i}{\hat{\sigma}} \right) \right] \quad (6)$$

$$\hat{\sigma} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i - \frac{\sum_{i=1}^n x_i \exp \left(\frac{-x_i}{\hat{\sigma}} \right)}{\sum_{i=1}^n \exp \left(\frac{-x_i}{\hat{\sigma}} \right)}}{\sum_{i=1}^n \exp \left(\frac{-x_i}{\hat{\sigma}} \right)} \quad (7)$$

Logo, deve-se primeiro determinar $\hat{\sigma}$ como solução de (7) e substituir esse valor em (6) para obter $\hat{\mu}$. Como $\hat{\sigma}$ não pode ser obtido analiticamente, ele deve ser determinado através de algum método de aproximação numérica.

Uma vez obtidos os parâmetros das distribuições em estudo, deve-se verificar se elas se ajustam aos dados de MP_{10} e O_3 . Para tanto foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov, adotando-se 5% como nível de significância conforme Campos (1979).

A probabilidade de que ocorra um evento extremo maior que um certo valor y é estimada utilizando-se o complementar da função de distribuição acumulada da distribuição GVE, ou seja, integrando a equação 1 até o valor y e em seguida calcular $1-F(y)$. Aplicando-se o limite para ξ tendendo a zero na equação 1, obtém-se a

probabilidade de ocorrência de um evento extremo para a distribuição Gumbel.

Foram utilizados os pacotes estatísticos EVD, TSERIES e STATS do Sistema Computacional Estatístico R, conforme R Development Core Team (2011), para realização das análises.

3 Resultados e discussão

3.1 Resultados dos testes

Para se verificar o ajuste das distribuições GEV e Gumbel aos dados procedeu-se, inicialmente, ao teste utilizado para verificar se as séries são identicamente

distribuídas ou não e em seguida verificar se as mesmas são independentes.

Os resultados do teste utilizado para verificar a aleatoriedade das séries, Runs test, mostram que as séries do poluente atmosférico ozônio para 10, 15 e 30 dias no município de Cubatão (centro) em todo o ano são aleatórias, ao nível de 5% de significância (Tabela 1). Observa-se também que, com *p-valores* maiores do que 0,05, as referidas séries são independentes pelo teste de Ljung-Box, excetuando-se as séries de 10 dias de novembro e dezembro, já que os *p-valores* são 0,021 e 0,025, respectivamente, ou seja, menores do que o nível de significância adotado.

Tabela 1 - Resultados dos testes de Ljung-Box e Runs test (*p-valor*) para as séries de dados de O₃ no município de Cubatão centro e de Kolmogorov-Smirnov (*p-valor*) para o ajuste das distribuições GEV e Gumbel (GU).

Mês	10 dias				15 dias				30 dias			
	Runs Test	Ljung-Box	KS		Runs Test	Ljung-Box	KS		Runs Test	Ljung-Box	KS	
			GVE	GU			GVE	GU			GVE	GU
Jan	0,409	0,962	0,999	0,840	0,180	0,963	0,949	0,840	0,127	0,648	0,985	0,972
Fev	0,605	0,463	0,729	0,463	0,771	0,898	0,999	0,873	1,000	0,490	0,972	0,907
Mar	0,331	0,801	0,966	0,814	0,069	0,639	1,000	0,999	1,000	0,512	0,986	0,969
Abr	0,331	0,524	0,681	0,706	0,545	0,077	0,782	0,769	1,000	0,381	0,933	0,802
Mai	0,301	0,984	0,992	0,941	0,726	0,509	0,685	0,906	1,000	0,810	0,717	0,617
Jun	0,956	0,415	0,869	0,585	0,545	0,967	0,938	0,770	0,068	0,081	0,906	0,834
Jul	0,266	0,272	0,990	0,584	1,000	0,567	0,948	0,790	1,000	0,588	0,997	0,995
Ago	0,627	0,985	0,866	0,932	0,226	0,173	0,802	0,864	1,000	0,765	0,142	0,844
Set	0,460	0,932	0,813	0,823	0,226	0,673	0,770	0,688	0,361	0,746	0,788	0,508
Out	0,331	0,960	0,656	0,625	0,545	0,702	0,791	0,792	1,000	0,803	0,215	0,825
Nov	0,203	0,021	0,830	0,740	0,069	0,120	0,738	0,781	0,724	0,227	0,062	0,421
Dez	0,173	0,025	0,975	0,730	0,180	0,159	0,846	0,905	0,663	0,602	0,678	0,767

Com *p-valores* superiores a 0,05 os resultados do teste Kolmogorov-Smirnov indicam a adequabilidade das distribuições GVE e Gumbel aos dados de O₃ no município de Cubatão (centro), adotando-se 5% de nível de significância (Tabela 1). Como as séries de 10 dias de novembro e dezembro não são independentes (são autocorrelacionadas - Teste Ljung-Box), não podem ser utilizadas para análise via TVE, uma vez que a pressuposição de independência dos dados para obter as estimativas dos parâmetros via método da Máxima Verossimilhança não é atendida.

Para o poluente atmosférico MP₁₀ no município de Cubatão (centro), resultados análogos foram obtidos (Tabela 1), mas neste caso, observa-se que a série de 15 dias de março apresentou *p-valor* igual a 0,022 pelo teste de Ljung-Box, o que indica

que a mesma não é independente (Tabela 2). Do mesmo modo, a série de 30 dias de setembro não é aleatória pelo Runs test, uma vez que a hipótese nula de aleatoriedade desse teste é rejeitada ao nível de 5% de significância com *p-valor* igual a 0,039. Observa-se, ainda, que para os meses em que as séries são independentes e aleatórias, os resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov são não significativos (*p* > 0,05), ou seja, as distribuições GVE e Gumbel se ajustaram aos dados de MP₁₀ no município de Cubatão (centro) (Tabela 2). Como as pressuposições das séries de março (15 dias) e setembro (mensal) não foram satisfeitas, não podem ser empregadas para análise via TVE, mesmo que as distribuições GVE e Gumbel tenham se ajustado à essas séries pelo teste de Kolmogorov-Smirnov.

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.14, n.3, p.35-47, jan./jun. 2012

Tabela 2 - Resultados dos testes de Ljun-Box e Runs test (*p-valor*) para as séries de dados de MP₁₀ no município de Cubatão centro e de Kolmogorov-Smirnov (*p-valor*) para o ajuste das distribuições GVE e Gumbel (GU).

Mês	10 dias				15 dias				30 dias			
	Runs Test	Ljung-Box	KS		Runs Test	Ljung-Box	KS		Runs Test	Ljung-Box	KS	
			GVE	GU			GVE	GU			GVE	GU
Jan	0,460	0,786	0,929	0,732	0,603	0,421	0,873	0,732	1,000	0,394	0,995	0,945
Fev	0,627	0,682	0,530	0,481	0,077	0,307	0,866	0,390	0,361	0,465	0,516	0,605
Mar	0,627	0,675	0,878	0,847	0,069	0,022	0,938	0,920	0,361	0,619	0,945	0,717
Abr	0,114	0,077	0,931	0,909	0,578	0,508	0,849	0,861	0,182	0,130	0,923	0,806
Mai	0,823	0,429	0,947	0,682	0,754	0,302	0,641	0,882	0,182	0,391	0,871	0,783
Jun	0,744	0,194	0,924	0,913	0,266	0,315	0,709	0,710	0,716	0,323	0,936	0,527
Jul	0,485	0,371	0,991	0,852	0,788	0,800	0,996	0,966	0,225	0,898	0,869	0,872
Ago	0,119	0,912	0,604	0,746	0,291	0,743	0,768	0,787	0,050	0,356	0,991	0,684
Set	0,963	0,631	0,878	0,907	0,578	0,279	0,954	0,827	0,039	0,337	0,281	0,784
Out	0,814	0,519	0,760	0,557	0,935	0,903	0,979	0,964	0,224	0,825	0,980	0,793
Nov	0,774	0,931	0,937	0,830	0,771	0,754	0,727	0,531	0,480	0,952	0,901	0,610
Dez	0,654	0,345	0,544	0,516	0,502	0,432	0,636	0,345	0,127	0,316	0,875	0,844

Considerando-se o município de Paulínia, as séries de O₃ empregadas para análise podem ser consideradas independentes e aleatórias, excetuando os

meses de fevereiro e março para o período de (10) dez dias e o mês de agosto para o período de 15 dias (Tabela 3).

Tabela 3 - Resultados dos testes de Ljun-Box e Runs test (*p-valor*) para as séries de dados de O₃ no município de Paulínia e de Kolmogorov-Smirnov (*p-valor*) para o ajuste das distribuições GVE e Gumbel (GU).

Mês	10 dias				15 dias				30 dias			
	Runs Test	Ljung-Box	KS		Runs Test	Ljung-Box	KS		Runs Test	Ljung-Box	KS	
			GVE	GU			GVE	GU			GVE	GU
Jan	0,151	0,849	0,999	0,999	0,748	0,908	0,997	0,988	0,513	0,100	0,849	0,899
Fev	0,430	0,050	0,714	0,607	0,502	0,374	0,992	0,673	0,663	0,954	0,843	0,775
Mar	0,016	0,209	0,997	0,999	0,180	0,355	0,974	0,952	0,513	0,156	0,417	0,804
Abr	0,430	0,646	0,909	0,972	0,180	0,534	0,994	0,995	0,127	0,420	0,920	0,958
Mai	0,139	0,615	0,995	0,925	0,296	0,780	0,977	0,963	0,513	0,534	0,987	0,943
Jun	0,266	0,814	0,979	0,960	1,000	0,759	0,955	0,767	0,663	0,316	0,999	0,998
Jul	0,754	0,653	0,955	0,968	0,748	0,609	0,830	0,520	0,513	0,919	0,998	0,984
Ago	0,578	0,127	0,901	0,900	0,044	0,648	0,452	0,534	0,663	0,937	0,945	0,877
Set	0,266	0,045	0,804	0,769	0,502	0,577	0,833	0,865	0,127	0,743	0,914	0,667
Out	0,911	0,780	0,998	0,886	1,000	0,332	0,946	0,615	0,513	0,132	0,123	0,844
Nov	0,802	0,700	0,511	0,304	1,000	0,736	0,624	0,307	0,127	0,858	0,953	0,738
Dez	1,000	0,570	0,611	0,465	0,206	0,542	0,828	0,619	0,513	0,105	0,920	0,881

Nos meses em que as pressuposições da TVE foram atendidas, obteve-se resultado não significativo para o teste de Kolmogorov-Smirnov, uma vez que a hipótese nula de ajuste do modelo é aceita, ou seja, as distribuições Gumbel e GVE se ajustaram às séries máximas de O₃ de períodos de 10, 15 e 30 dias no referido município (Tabela 3).

Referindo-se ao poluente atmosférico MP₁₀ no município de Paulínia, conclusões análogas podem ser feitas como as da Tabela 3, mas nesse caso, as séries de julho e setembro para o período de 10 dias e o mês de janeiro para o período de 30 dias é que não atendem às pressuposições de independência e/ou aleatoriedade (Tabela 4). Novamente, para as séries cujos

resultados dos testes de Ljung-Box e Runs test são não significativos ($p > 0,05$), as distribuições GVE e Gumbel se ajustaram às mesmas pelo teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de nível de significância. Como as pressuposições das séries de julho e

setembro (10 dias) e janeiro (30 dias) não foram satisfeitas, não podem ser empregadas para análise via TVE, mesmo que as mesmas tenham se ajustado às distribuições GVE e Gumbel pelo teste de Kolmogorov-Smirnov.

Tabela 4 - Resultados dos testes de Ljung-Box e Runs test (p -valor) para as séries de dados de MP_{10} no município de Paulínia e de Kolmogorov-Smirnov (p -valor) para o ajuste das distribuições GVE e Gumbel (GU).

Mês	10 dias					15 dias				30 dias			
	Runs Test	Ljung-Box	KS		Runs Test	Ljung-Box	KS		Runs Test	Ljung-Box	KS		
			GVE	GU			GVE	GU			GVE	GU	
Jan	0,184	0,318	0,983	0,984	1,000	0,827	0,988	0,984	0,513	0,019	0,072	0,680	
Fev	0,911	0,908	0,998	0,984	1,000	0,833	0,962	0,974	0,513	0,358	0,999	0,982	
Mar	0,654	0,931	0,941	0,816	0,502	0,558	0,921	0,794	0,513	0,128	0,947	0,951	
Abr	0,662	0,285	0,835	0,761	0,226	0,978	0,838	0,880	0,068	0,456	0,997	0,998	
Mai	0,121	0,377	0,949	0,952	0,771	0,632	0,576	0,962	0,724	0,327	0,909	0,734	
Jun	1,000	0,407	0,998	0,885	0,545	0,224	0,607	0,842	1,000	0,333	0,985	0,808	
Jul	0,006	0,097	0,996	0,777	0,069	0,437	1,000	0,988	1,000	0,998	0,940	0,986	
Ago	0,790	0,531	0,848	0,765	0,226	0,909	0,790	0,854	0,361	0,808	0,996	0,990	
Set	0,007	0,017	0,991	0,979	0,226	0,300	0,990	0,989	1,000	0,797	0,976	0,982	
Out	0,911	0,933	0,882	0,901	1,000	0,980	0,477	0,973	0,127	0,149	0,929	0,825	
Nov	0,223	0,127	0,983	0,882	0,065	0,215	0,994	0,995	0,513	0,145	0,975	0,724	
Dez	0,603	0,276	0,926	0,959	0,445	0,316	0,960	0,947	0,221	0,566	0,415	0,876	

3.2 Probabilidade de ocorrência dos níveis máximos dos poluentes atmosféricos

Uma vez verificado o ajuste das distribuições GVE e Gumbel aos dados de MP_{10} e O_3 nos municípios de Cubatão (centro) e Paulínia para os períodos estudados, procedeu-se ao cálculo das probabilidades dos níveis dos poluentes atmosféricos em questão superarem valores críticos. Sendo assim, para o MP_{10} , calcularam-se as probabilidades dos níveis 150, 180 e 210 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ serem superados em períodos de 10, 15 e 30 dias em todos os meses do ano. O nível de 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ representa o padrão internacional de exposição ao MP_{10} , ou seja, a mínima concentração de MP_{10} para a qual a população exposta sofra danos à saúde. Os níveis 180 e 210 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ representam valores 20% e 40%, respectivamente, acima do padrão internacional.

A probabilidade de o padrão internacional de MP_{10} ser superado pelo menos uma vez no mês de julho em Cubatão (centro) via distribuição Gumbel, é de 12,6% (Tabela 5). O mesmo evento via distribuição GVE ocorre com probabilidade de 12,8%.

Tal fato concorda com CETESB (2011) em que se verifica a existência de fatores que dificultam a dispersão dos poluentes atmosféricos, como a baixa umidade relativa do ar, baixo número de precipitações e quantidade de inversões térmicas, cujas características são típicas na estação do inverno, o que justifica as maiores probabilidades observadas.

Observa-se que, no período estudado, as maiores probabilidades de o nível limite preconizado pelo CONAMA ocorrerem acontecem nos meses de julho e agosto, cujo período compreende a estação do inverno, com valores que variam de valores menores do que 0,1% a 12,8% para as séries estudadas em ambas as distribuições (Tabela 5). Por outro lado, observam-se as menores probabilidades, com valores próximos de 0%, nos meses do verão, dezembro, janeiro, fevereiro, março, e no outono, em abril, maio e junho.

As probabilidades são praticamente iguais (nulas) em todos os meses, exceto para julho (30 dias).

Nos meses de março, para a série de 15 dias, e setembro, para a série de 30 dias, as séries de MP_{10} no município de Cubatão (centro) não foram empregadas

para o cálculo de probabilidades (Tabela 5),
uma vez que não são consideradas

estatisticamente independentes e aleatórias,
conforme mostra a Tabela 3.

Tabela 5 - Probabilidades obtidas pelas distribuições Gumbel e GVE dos níveis de MP_{10} superarem $150 \mu g/m^3$, $180 \mu g/m^3$ e $210 \mu g/m^3$ entre os meses de janeiro a dezembro no município de Cubatão (centro).

Mês	$\mu g/m^3$	10 dias		15 dias		30 dias	
		Gumbel (%)	GVE (%)	Gumbel (%)	GVE (%)	Gumbel (%)	GVE (%)
Janeiro	150	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	180	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	210	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Fevereiro	150	<0,1	<0,1	<0,1	0,4	<0,1	9,6
	180	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	8,3
	210	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	7,4
Março	150	<0,1	<0,1	NA	NA	<0,1	0,6
	180	<0,1	<0,1	NA	NA	<0,1	0,4
	210	<0,1	<0,1	NA	NA	<0,1	0,3
Abril	150	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	180	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	210	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Maio	150	<0,1	0,5	<0,1	0,8	<0,1	0,5
	180	<0,1	0,2	<0,1	0,4	<0,1	0,2
	210	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	<0,1
Junho	150	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	180	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	210	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Julho	150	1,4	3,3	4,0	5,8	12,6	12,8
	180	0,4	1,5	1,3	2,8	5,9	6,1
	210	<0,1	0,8	0,4	1,5	2,7	2,9
Agosto	150	<0,1	2,2	0,4	2,9	1,5	7,4
	180	<0,1	1,3	<0,1	1,6	0,3	5,0
	210	<0,1	0,8	<0,1	1,0	<0,1	3,7
Setembro	150	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	NA	NA
	180	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	NA	NA
	210	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	NA	NA
Outubro	150	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,9
	180	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,5
	210	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,3
Novembro	150	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,6	<0,1
	180	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	210	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Dezembro	150	<0,1	<0,1	<0,1	0,4	<0,1	<0,1
	180	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	<0,1
	210	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

NA = Não Avaliado.

Os níveis de O_3 empregados para análise foram 120, 160 e $235 \mu g/m^3$. Assim como foi feito para o poluente atmosférico MP_{10} , calcularam-se as probabilidades dos níveis mencionados de O_3 serem superados em períodos de 10, 15 e 30 dias em todos os meses do ano. O nível de $120 \mu g/m^3$

representa o limite preconizado pela Organização Mundial de Saúde (OMS). Os de $160 \mu g/m^3$ e $235 \mu g/m^3$ representam os limites preconizados pelo CONAMA e pela EPA, respectivamente.

A probabilidade de o padrão nacional de O_3 ser superado pelo menos uma vez no

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.14, n.3, p.35-47, jan./jun. 2012

mês de fevereiro em Cubatão (centro) via distribuição Gumbel, é de 69,1% (Tabela 6).

O mesmo evento via distribuição GVE ocorre com a probabilidade de 76,6%.

Tabela 6 - Probabilidades obtidas pelas Distribuições Gumbel e GVE dos níveis de O₃ superarem 120 µg/m³, 160 µg/m³, 235 µg/m³ entre os meses de janeiro a dezembro no município de Cubatão (centro).

Mês	µg/m ³	10 dias		15 dias		30 dias	
		Gumbel (%)	GVE (%)	Gumbel (%)	GVE (%)	Gumbel (%)	GVE (%)
Janeiro	120	52,6	59,4	77,2	81,5	99,9	98,4
	160	21,7	19,1	30,9	35,3	54,0	62,3
	235	2,3	<0,1	2,7	<0,1	1,1	<0,1
Fevereiro	120	70,7	78,2	66,9	75,6	97,5	93,8
	160	43,1	48,5	42,5	51,6	69,1	76,6
	235	12,3	1,2	14,0	1,8	12,8	3,3
Março	120	50,9	45,1	67,5	65,8	90,5	91,8
	160	19,0	18,9	28,7	27,9	48,7	44,3
	235	2,1	5,0	3,5	4,7	6,0	8,4
Abril	120	45,8	48,0	58,2	<0,1	90,4	88,2
	160	17,1	16,7	21,9	22,0	42,5	54,0
	235	2,0	0,9	2,3	1,2	3,6	0,0
Maio	120	26,7	25,4	37,1	29,6	62,8	65,0
	160	6,9	9,1	10,9	14,8	27,9	28,5
	235	0,5	1,9	0,8	6,5	4,0	2,4
Junho	120	23,5	22,6	28,7	26,7	44,6	30,5
	160	3,8	6,2	5,2	7,6	10,3	18,4
	235	<0,1	1,0	0,2	1,3	0,4	11,5
Julho	120	13,7	2,1	13,1	2,7	<0,1	5,2
	160	1,9	<0,1	1,7	<0,1	0,5	<0,1
	235	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Agosto	120	31,2	33,2	34,6	35,4	63,2	72,8
	160	8,9	2,3	6,5	5,6	16,5	<0,1
	235	0,7	<0,1	0,2	<0,1	0,7	<0,1
Setembro	120	21,1	21,2	28,8	27,2	47,8	41,2
	160	4,1	5,3	5,7	7,7	13,0	14,3
	235	0,2	0,5	0,2	1,1	0,8	3,4
Outubro	120	<0,1	35,7	39,1	53,3	77,3	80,8
	160	9,5	<0,1	14,1	<0,1	12,1	<0,1
	235	0,9	<0,1	1,7	<0,1	<0,1	<0,1
Novembro	120	NA	NA	35,6	36,4	69,3	58,1
	160	NA	NA	5,5	4,6	6,4	41,5
	235	NA	NA	<0,1	<0,1	<0,1	34,7
Dezembro	120	NA	NA	88,5	87,3	96,3	88,3
	160	NA	NA	28,6	35,5	36,8	58,7
	235	NA	NA	1,0	<0,1	1,1	<0,1

NA = Não Avaliado.

Observa-se que as maiores probabilidades dos níveis de ozônio serem superados no município de Cubatão (centro) nos períodos estudados, ocorrem nos meses de dezembro a março (Tabela 6). Considerando-se o padrão nacional em período mensal, as probabilidades variam de 36,8% a 69,1% via distribuição Gumbel e de

44,3% a 76,6% via distribuição GVE. Os meses de dezembro a março são compreendidos pelas estações de verão e outono e, conforme explicam Moura et al. (2004), as maiores concentrações de ozônio ocorrem no período com maior incidência de radiação solar, consequentemente mais

quentes, o que justifica as maiores probabilidades observadas.

Nos meses de novembro e dezembro, para os períodos de 10 dias, não foram calculadas as probabilidades dos níveis de O_3 serem superados, pois, como mostra a Tabela 3, as séries nesse período não satisfazem as pressuposições da TVE (Tabela 6).

Conclusões análogas podem ser feitas no município de Paulínia, como as

feitas no município de Cubatão. As maiores probabilidades de os níveis de MP_{10} serem superados nesse município ocorrem nos meses de junho e agosto. A maior probabilidade de o nível nacional ser superado pelo menos uma vez em agosto em Paulínia é de 6,5% via distribuição Gumbel. O mesmo evento via distribuição GVE ocorre com 4,4% de probabilidade (Tabela 7).

Tabela 7 - Probabilidades obtidas pelas Distribuições Gumbel e GVE dos níveis de MP_{10} superarem $150 \mu g/m^3$, $180 \mu g/m^3$ e $210 \mu g/m^3$ entre os meses de janeiro a dezembro no município de Paulínia.

Mês	$\mu g/m^3$	10 dias		15 dias		30 dias	
		Gumbel (%)	GVE (%)	Gumbel (%)	GVE (%)	Gumbel (%)	GVE (%)
Janeiro	150	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	NA	NA
	180	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	NA	NA
	210	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	NA	NA
Fevereiro	150	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,2
	180	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	210	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Março	150	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	180	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	210	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Abril	150	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	180	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	210	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Maio	150	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,0
	180	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	210	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Junho	150	<0,1	1,1	<0,1	7,4	<0,1	1,5
	180	<0,1	0,6	<0,1	5,9	<0,1	0,7
	210	<0,1	0,3	<0,1	4,9	<0,1	0,4
Julho	150	NA	NA	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	180	NA	NA	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	210	NA	NA	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Agosto	150	3,1	2,1	5,2	4,0	6,5	7,7
	180	0,9	0,4	1,8	0,7	1,7	2,8
	210	0,3	<0,1	0,6	<0,1	0,5	1,1
Setembro	150	NA	NA	1,4	1,1	3,0	<0,1
	180	NA	NA	0,3	0,2	0,7	<0,1
	210	NA	NA	<0,1	<0,1	0,2	<0,1
Outubro	150	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	180	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	210	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Novembro	150	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	2,7
	180	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	2,1
	210	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	1,8
Dezembro	150	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	31,4
	180	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	30,0
	210	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	28,8

NA=Não Avaliado

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.14, n.3, p.35-47, jan./jun. 2012

Observa-se também que nos meses de janeiro para o período de 30 dias, julho e setembro para o período de 10 dias a TVE não pôde ser empregada para efetuar a análise de níveis máximos de MP_{10} nessa região.

A probabilidade de o nível de $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de O_3 ser superado pelo menos uma vez a cada dez dias no mês de outubro na cidade de Paulínia é de 56,6% (Tabela 8). Altas probabilidades observadas nesse período são explicadas pelo aumento da intensidade da radiação solar e duração da insolação que contribuem para a formação

do O_3 (ANDRADE, 1996). Observa-se que as menores probabilidades desse e dos outros níveis de O_3 serem superados são nos meses de maio, junho e julho.

Comparando-se as tabelas 5 e 7 que reúnem as probabilidades de ocorrência de MP_{10} nos municípios de Cubatão e Paulínia, respectivamente, e as tabelas 6 e 8 que apresentam os resultados das probabilidades de ocorrência de O_3 , observa-se que, embora sejam cidades diferentes, os poluentes atmosféricos em questão apresentam comportamentos parecidos.

Tabela 8 - Probabilidades obtidas pelas Distribuições Gumbel e GVE dos níveis de O_3 superarem $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $235 \mu\text{g}/\text{m}^3$ entre os meses de janeiro a dezembro no município de Paulínia.

Mês	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	10 dias		15 dias		30 dias	
		Gumbel (%)	GVE (%)	Gumbel (%)	GVE (%)	Gumbel (%)	GVE (%)
Janeiro	120	51,0	51,7	69,3	70,6	90,6	91,2
	160	14,3	14,1	26,4	26,9	34,0	32,2
	235	0,9	0,7	2,4	1,5	1,6	3,0
Fevereiro	120	85,3	85,1	90,3	95,6	92,0	95,3
	160	30,4	29,6	24,5	21,7	45,8	38,5
	235	1,6	2,5	0,5	4,6	4,2	8,3
Março	120	NA	NA	66,5	72,1	88,2	82,8
	160	NA	NA	25,0	25,6	37,4	62,4
	235	NA	NA	2,3	0,1	2,7	0,1
Abril	120	67,6	69,9	92,4	91,7	100,0	100,0
	160	22,2	22,2	35,0	37,5	80,4	81,0
	235	1,5	0,3	1,5	0,1	0,8	0,2
Maio	120	55,5	59,2	75,4	78,4	93,5	95,0
	160	14,2	12,5	21,3	19,9	22,7	22,0
	235	0,7	0,0	0,9	0,0	0,3	1,4
Junho	120	48,2	41,0	65,2	59,8	83,8	83,6
	160	17,4	17,6	26,9	24,8	50,5	48,6
	235	1,8	5,3	3,2	6,1	11,2	11,9
Julho	120	55,6	56,7	72,6	76,9	84,3	85,3
	160	17,2	17,0	29,3	31,2	38,5	47,3
	235	1,2	0,8	2,9	0,0	3,9	0,0
Agosto	120	98,9	98,9	NA	NA	99,9	100,0
	160	50,1	50,2	NA	NA	83,8	83,3
	235	20,7	20,4	NA	NA	4,9	6,8
Setembro	120	NA	NA	93,5	95,8	99,9	100,0
	160	NA	NA	56,1	50,6	87,6	92,7
	235	NA	NA	8,3	10,6	13,4	14,8
Outubro	120	97,0	94,6	99,2	94,8	100,0	100,0
	160	56,6	66,3	65,9	75,7	100,0	100,0
	235	5,5	0,1	6,2	0,1	1,1	29,5
Novembro	120	86,4	87,8	99,8	98,5	100,0	100,0
	160	35,2	43,2	51,9	61,2	99,9	100,0
	235	2,5	0,1	1,2	0,1	0,1	1,4
Dezembro	120	73,1	78,6	75,8	81,2	99,3	100,0
	160	35,0	39,8	38,3	43,6	54,1	41,6
	235	5,2	0,1	6,2	0,1	2,4	8,6

NA=Não Avaliado

4 Conclusões

As distribuições GVE e Gumbel se ajustaram aos dados de níveis máximos de poluição de MP_{10} e O_3 dos municípios de Cubatão (centro) e Paulínia.

Pelo princípio da parcimônia, a distribuição Gumbel é o modelo mais adequado para o cálculo de probabilidade de

níveis máximos de poluição de MP_{10} e O_3 dos municípios de Cubatão (centro) e Paulínia.

O ozônio apresentou maior probabilidade de superar o nível estabelecido pelo CONAMA no verão e o material particulado no inverno, tanto no município de Cubatão (centro)-SP quanto em Paulínia-SP.

5 Probability distributions applied in the analysis of maximum MP_{10} and O_3 in the cities of Cubatão and Paulínia, SP

Abstract: Air pollution is nowadays one of the major public health problems. The National Environment Council (CONAMA) determines that level above $150 \mu g/m^3$ of particulate matter (PM_{10}) and $160 \mu g/m^3$ of ozone (O_3) cause damage to health. Thus, knowledge of occurrence probability of extreme levels is necessary for the administrative planning of health agencies. The objective was then evaluate the adjustment of the distribution Generalized Extreme Value (GEV) and the Gumbel to the data of PM_{10} and O_3 from the city of Cubatão (center) and Paulínia, SP as well as calculate the probabilities of the levels of PM_{10} and O_3 exceed the legal limits. The historical series cover the period from January/2003 to October/2009 and were provided by the Company of Environmental Sanitation Technology (CETESB). The adjustment of maximum series of MP_{10} and O_3 via GEV and Gumbel distribution was satisfactory according to the Kolmogorov-Smirnov test. The highest probabilities of the air pollutants PM_{10} and O_3 exceed critical levels in the cities studied, in both distributions, occur in winter and summer seasons, respectively, which requires attention from the health agencies and planning. Results showed that the distributions Gumbel and GVE are appropriate for studying the behavior of O_3 and PM_{10} in the cities studied.

Keywords: Maximum likelihood. Maximum level of pollution. Probability of occurrence.

6 Referências

ANDRADE, H. **A Qualidade do ar em Lisboa. Valores médios e situações extremas.** Finisterra, XXXI, v.61, p. 43-66, 1996.

BEIJO, L.A.; MUNIZ, J. A.; NETO, P. C. Tempo de retorno das Precipitações Máximas em Lavras (MG) pela Distribuição de Valores Extremos do tipo I. **Ciênc. agrotec., Lavras**, v. 29, n. 3, p. 657-667, 2005.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, Resolução nº 3, de 28 de junho de 1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100>>. Acesso em: 2 jan. 2012.

CAMPOS, H. **Estatística experimental não-paramétrica.** 3a ed, Piracicaba: ESALQ, 1979, 343p.

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 2011.** Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/publicacoes.asp>>. Acesso em: 8 jan. 2012.

COLES, S. G. **An introduction to statistical modeling of extreme values.** London: Springer, 2001, 226 p.

COLES, S. G.; DIXON M. J. Likelihood-based inference for extreme value models. **Extremes**, v.2, p. 5-23, 1999.

DUCHIADE, M. P. Air Pollution and Respiratory Diseases: A Review. **Cad. Saúde Públ.**, Rio de Janeiro, v. 8 (3), p 311-330, jul/set, 1992.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (UNITED STATES). **The PM Centers Program 2005-2010 Overviews and Abstracts.** Junho, 2006. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ncer/publications/workshop/1-30-2005/pmcentersabstract.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2011.

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.14, n.3, p.35-47, jan./jun. 2012

JASINK R.; PEREIRA, L. A. A.; BRAGA, A. L. F. Poluição atmosférica e internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças e adolescentes em Cubatão, São Paulo, Brasil, entre 1997 e 2004. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 27(11), p. 2242-2252, 2011.

JENKINSON, A. F. The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) of meteorological elements. **Quart. Journal R. Meteorological Soc.**, v. 81, p. 158-171. 1955.

LYRA, G. B.; SOUZA, M. O.; VIOLA, D. N. Modelos Lineares aplicados na estimativa da concentração do Material Particulado (PM10) na cidade do Rio de Janeiro, RJ. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 3, p. 392-400, 2011.

LJUNG, G. M.; BOX, G. E. P. On a measure of lack of fit in time series models. **Biometrika**, v.65, p 297–303, 1978.

MARTINS L C M. et al. Relação entre poluição atmosférica e atendimentos por infecção de vias aéreas superiores no município de São Paulo: avaliação do rodízio de veículos. **Revista Brasileira Epidemiologia**, v. 4, n. 3, p. 220-228, 2001.

MASCARENHAS, M. D. M. et al. Poluição atmosférica devida à queima de biomassa florestal e atendimentos de emergência por doença respiratória em Rio Branco, Brasil, Setembro, 2005. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v.34, n.1, p. 42-46, 2008.

MOURA, M. A. L. et al. Evidência observacional das brisas do lago de Balbina (Amazonas) e seus efeitos sobre a concentração do ozônio. **ACTA AMAZONICA**, v. 34(4), p. 605-611, 2004.

R DEVELOPMENT CORE TEAM (2011). R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0. Disponível em: < URL <http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 15 ago. 2011.

SMITH, R. L. Maximum likelihood estimation in a class of non regular cases. **Biometrika**, v. 72, p. 67-90, 1985.

WALD, A.; WOLFOWITZ, J. On a test whether two samples are from the same population. **Ann. Math Statist.**, v. 11, p. 147-162, 1940.