

X-057 - IMPACTOS DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS NA PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE PICOS DE CONCENTRAÇÃO DE PM₁₀, NA REGIÃO DA GRANDE VITÓRIA, ESPÍRITO SANTO, BRASIL

Edson Zambon Monte⁽¹⁾

Doutorando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Professor do Departamento de Economia, da UFES.

Taciana Toledo de Almeida Albuquerque

Doutora em Meteorologia pela Universidade Federal de São Paulo (USP). Professora do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, da UFES.

Valdério Anselmo Reisen

Doutor em Estatística pela University of Manchester Institute of Science And Technology. Professor do Departamento de Estatística e do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, da UFES.

Wanderson de Paula Pinto

Doutorando em Engenharia Ambiental pela UFES. Professor da Faculdade da Região Serrana (FARESE).

Endereço⁽¹⁾: Avenida Fernando Ferrari, Departamento de Economia, nº 514, Goiabeiras, Vitória, ES, Brasil, CEP: 29075-910. E-mail: edsonzambon@yahoo.com.br.

RESUMO

Este trabalho objetivou verificar os impactos das variáveis meteorológicas temperatura, umidade relativa, velocidade do vento e precipitação na probabilidade de ocorrência de picos/episódios de concentração de PM₁₀, na Região da Grande Vitória, Espírito Santo, Brasil, por meio do modelo Logit. Também foram estimados os efeitos dos dias da semana e das estações do ano sobre a probabilidade de episódios de altas concentrações. Os resultados demonstraram que os fatores meteorológicos precipitação pluviométrica e velocidade do vento contribuíram significativamente para a redução da probabilidade de ocorrência de picos de concentração do poluente PM₁₀. Além disso, nos finais de semana as chances de ocorrerem picos de concentração são fortemente reduzidas e nas estações do outono e do inverno a probabilidade de se verificar picos de concentração de PM₁₀ cai de maneira relevante.

PALAVRAS-CHAVE: Variáveis Meteorológicas, Poluição do Ar, PM₁₀, Modelo Logit.

INTRODUÇÃO

As questões relativas à qualidade do ar têm se tornado cada vez mais importantes, uma vez que vários problemas de saúde decorrem da poluição atmosférica, dentre eles: asma, rinite, ardor nos olhos, cansaço, tosse seca, doenças cardiovasculares e pulmonares, insuficiência cardíaca, etc. Autores como Brunekreef and Holgate (2002), Maynard (2004), World Health Organization (WHO, 2005), Curtis *et al.* (2006), dentre outros, demonstraram a relação entre os poluentes clássicos (partículas inaláveis com diâmetro menores que 10 *microns* (PM₁₀), monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x) e ozônio (O₃)) e os problemas de saúde. No ano de 2012, por exemplo, a morte de 4,3 milhões de pessoas foi atribuída à poluição atmosférica (WHO, 2014). Além disso, a poluição do ar contribui para a degradação do meio ambiente, ajudando na propagação do efeito estufa.

Ressalta-se que a intensificação do processo de industrialização ocorrida no século XIX, aliado ao crescimento populacional, especialmente, o crescimento da população urbana em detrimento da rural, vem aumentando as preocupações dos governos, sejam locais ou centrais, relacionadas à proteção do meio ambiente. Em relação à poluição do ar, de acordo com Vingarzan (2004) e Oltmans *et al.* (2006), em diversas partes do mundo esta vem crescendo em função, principalmente, da industrialização, da urbanização e da queima de combustíveis fósseis. Conforme Gramsch *et al.* (2006), dado que a poluição atmosférica é mais concentrada em áreas urbanas e industriais, os esforços de monitoramento da qualidade do ar são maiores nestas áreas.

Vale ressaltar que a economia do estado do Espírito Santo vem crescendo fortemente no decorrer dos últimos anos, especialmente, a partir de 2003, inclusive com taxas de crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) superiores à média nacional. Com isto, diversas indústrias e empresas se instalaram ou ampliaram suas instalações no estado, principalmente, na Região da Grande Vitória¹ (RGV), o que tende, conseqüentemente, a elevar o nível de poluição atmosférica, mesmo existindo diversas regulamentações impostas pelos órgãos de controle ambiental a estas indústrias e empresas. Além disso, o crescimento da frota de veículos, o maior consumo de energia e etc., também contribuíram para a maior emissão de poluentes na região.

Destaca-se aqui que, no ano de 2010, a população do Espírito Santo era de 3.514.952 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2014). Deste total 1.687.704 estava residindo na Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV), que é composta pelos municípios da RGV, mais Fundão e Guarapari. Tomando-se somente a RGV, a população chegou a 1.565.393, o que representou cerca de 44,54% da população capixaba. Logo, uma vez que Gramsch (2006) descreve que a maior concentração de poluentes está nas áreas urbanas e industriais, aproximadamente 45% da poluição capixaba foi fortemente afetada pelas emissões de poluição na atmosfera.

Importante destacar que dentre os principais poluentes atmosféricos estão: CO, chumbo (Pb), material particulado (PM), SO₂, NO_x e O₃ (US EPA, 2014). Para Liu *et al.* (2013), os dois poluentes do ar que mais preocupam em relação à saúde humana são o ozônio e o material particulado, além de causarem vários danos ao meio ambiente. Quanto ao material particulado, especificamente o PM₁₀ (partículas suspensas menores que 10 µg), vale dizer que, no período de análise deste estudo (janeiro de 2005 a dezembro de 2010), as concentrações, para a RGV, foram maiores que 50 µg/m³ em, aproximadamente, 34% dos dias, o que, segundo relatório da CETESB (2013), caracterizaria a qualidade do ar como “não boa” na região nestes dias.

Vale frisar que, de acordo com Moreira, Tirabassi e Moraes (2008), as condições meteorológicas desempenham um papel importantíssimo na dispersão ou acumulação de poluentes. Liu e Johnson (2002) descreveram que a poluição do ar está associada, geralmente, a fatores como temperatura, umidade relativa, velocidade e direção do vento, dentre outros. Como exemplo, tem-se que a baixa umidade relativa e a reduzida velocidade do vento tendem a elevar os níveis de poluentes. Já a ocorrência de precipitação pluviométrica e o aumento da velocidade do vento contribuem para a dispersão dos poluentes e, conseqüentemente, para a redução da concentração dos mesmos. Neste contexto, ressalta-se que, como na estação do verão ocorrem maiores volumes de chuvas do que no inverno, por exemplo, a tendência é que para poluentes como o PM₁₀, a concentração seja menor no período do verão.

Dessa forma, este trabalho objetivou avaliar os impactos das variáveis meteorológicas temperatura, umidade relativa, velocidade do vento e precipitação na probabilidade de ocorrência de picos/episódios de concentração de PM₁₀, na RGV, por meio do modelo Logit. Nesta pesquisa, considerou-se, como picos de concentração, os níveis de PM₁₀ superiores a 50 µg/m³.

Uma das vantagens do modelo Logit é realizar estimativas de probabilidades de ocorrências em variáveis dependentes do tipo binário (*dummy*). Salienta-se aqui, que Lima *et al.* (2011) utilizaram a regressão logística simples para verificar a qualidade do ar atmosférico na cidade de Uberlândia, Minas Gerais. Em seus resultados, os autores focaram no cálculo da probabilidade de ocorrência do que denominaram de qualidade do ar “boa” (níveis de PM₁₀ inferiores ou iguais a 50 µg/m³). A pesquisa desenvolvida no presente artigo verificou o efeito marginal de cada variável preditora sobre a probabilidade de ocorrência de picos de concentração (qualidade do ar “não boa”) de PM₁₀, o que a difere da proposta de Lima *et al.* (2011).

MATERIAIS E MÉTODOS

REGIÃO DE ESTUDO E APRESENTAÇÃO DAS VARIÁVEIS

A área de estudo compreendeu a Região da Grande Vitória, Espírito Santo, Brasil. Por estar situada na região litorânea, a RGV apresenta clima tropical quente (Aw), possuindo inverno ameno e seco, e verão chuvoso e quente. As temperaturas médias variam entre 24° C (Celsius) e 30° C e os ventos predominantes são de Norte/Nordeste na primavera/verão, sofrendo alterações durante outono e inverno devido ao posicionamento

¹ A RGV, foco deste estudo, é formada por cinco municípios: Cariacica, Serra, Viana, Vila Velha e Vitória.

do sistema de alta pressão (Alta Pressão Subtropical do Atlântico Sul – ASAS) mais próximo do continente, possibilitando alterações na direção predominante do vento, a qual passa a variar entre as direções Sul/Oeste. A RGV possui oito estações de monitoramento de qualidade do ar, a saber: Laranjeiras; Carapina; Jardim Camburi; Enseada do Suá; Vitória – Centro; Vila Velha – Ibes; Vila Velha – Centro; e, Cariacica (figura 1).

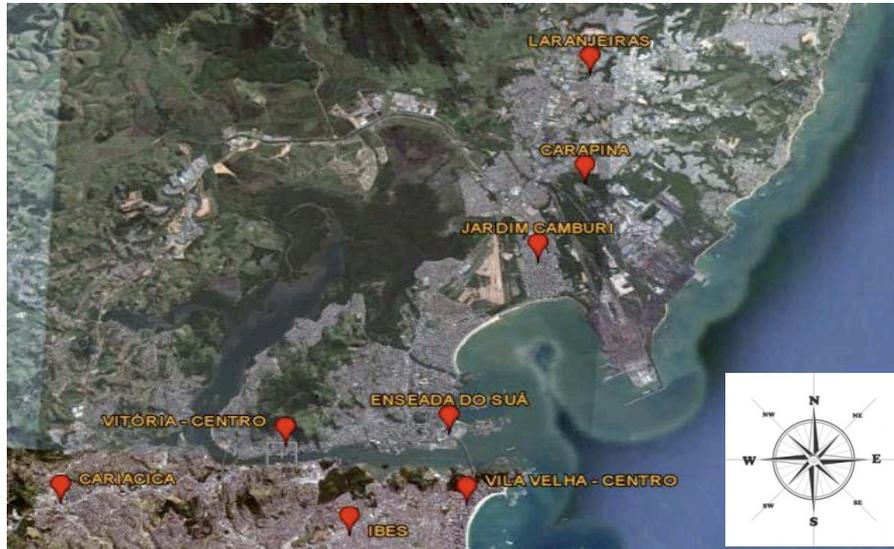


Figura 1 – Estações de monitoramento da qualidade do ar na Grande Vitória.
Fonte: Google Earth (2014).

As análises foram realizadas para período entre janeiro de 2005 a dezembro de 2010, sendo os dados tomados de forma diária (média de 24 horas) e coletados do Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA). Conforme já mencionado, em relação ao poluente PM_{10} , a CETESB (2013) classificou a qualidade do ar como “boa” e “não boa”. Neste último caso são englobadas as classificações moderada, ruim, muito ruim e péssima. A qualidade é considerada “boa” se a concentração for igual ou inferior a $50 \mu g/m^3$. Já a classificação de “não boa” ocorre quando a concentração é superior a $50 \mu g/m^3$.

Como todas as estações de monitoramento medem a concentração de PM_{10} e este trabalho preocupou-se com os picos de concentração (concentração superior a $50 \mu g/m^3$) na RGV como um todo, a concentração de PM_{10} foi representada pelo valor máximo medido dentre as estações, para cada dia da amostra de dados. No mais, como a regressão logística considera a variável dependente como dicotômica, a concentração de PM_{10} foi transformada em uma variável *dummy*, apresentando a seguinte classificação: um (1), para classificação “não boa” (picos de concentração) e zero (0) para “boa”.

Para verificar os efeitos sobre a probabilidade de ocorrência de picos de concentração de PM_{10} , na RGV, foram consideradas, primeiramente, as variáveis meteorológicas temperatura (TEMP), umidade relativa (UMID), velocidade do vento (VELVENT) e precipitação pluviométrica (PREC). Em complemento, verificou-se os efeitos de cada dia da semana e de cada estação do ano na probabilidade de acontecer episódios de concentração de PM_{10} . Para representar os dias da semana foram criadas sete variáveis binárias (*dummies*) e para as estações do ano quatro variáveis binárias.

MODELO LOGIT

Para verificar a influência das variáveis predictoras na probabilidade de ocorrência de picos de concentração de PM_{10} (classificação “não boa” na qualidade do ar), foi utilizado o modelo Logit (GUJARATI, 2008), que admite valores discretos, zero e um (variável binária), para a variável dependente. Um dos principais objetivos dos modelos de resposta binária é calcular a probabilidade de um dado evento, com determinado conjunto de atributos, de fato acontecer.

No modelo Logit utiliza-se uma função de distribuição acumulada logística, dada por:

$$L(X_t, \beta) = \frac{1}{1 + e^{-X_t \beta}}, \quad (1)$$

em que L representa a função de distribuição logística; X_t , vetor de variáveis independentes; β , vetor de parâmetros; e, e , base do logaritmo natural.

A ocorrência ou não de uma classificação “não boa” da qualidade do ar depende de vários fatores. Como os parâmetros dessa ocorrência não são observáveis para cada ponto do tempo t , pode-se definir uma variável latente ou não observada, Y_t^* , como

$$Y_t^* = X_t \beta + \mu_t, \quad (2)$$

em que Y_t^* é variável dependente; β , parâmetros; X_t , conjunto de variáveis explicativas; μ_t , erro aleatório; e, $t = 1, \dots, n$.

A ocorrência de uma determinada classificação pode ser descrita pela variável binária, Y_t , tal que $Y_t = 1$, se a classificação é “não boa” e, $Y_t = 0$, se é “boa”. Esses valores observados de Y_t estão relacionados com Y_t^* , como segue:

$$Y_t = 1, \text{ se } Y_t^* > 0; \text{ e, } Y_t = 0, \text{ se } Y_t^* \leq 0,$$

$$\text{Prob}(Y_t = 1) = \text{Prob}(Y_t^* > 0) = \text{Prob}(\mu_t > -X_t \beta),$$

$$\text{Prob}(Y_t = 0) = \text{Prob}(Y_t^* \leq 0) = \text{Prob}(\mu_t \leq -X_t \beta).$$

O modelo é estimado pelo Método de Máxima Verossimilhança. A probabilidade de ocorrência da classificação “não boa” (a) e a probabilidade de ocorrência da classificação “boa” (b) podem ser calculadas pelas seguintes expressões:

$$(a) P_t = \frac{1}{1 + e^{-X_t \beta}} \quad \text{e} \quad (b) 1 - P_t = \frac{e^{-X_t \beta}}{1 + e^{-X_t \beta}}, \quad (3)$$

sendo P_t igual a probabilidade de ocorrência da classificação “não boa”; $1 - P_t$, probabilidade de ocorrência da classificação “boa”; X_t , variáveis explicativas do modelo; e β , coeficientes das variáveis explicativas.

Para determinar o efeito marginal de cada variável preditora, sobre a probabilidade de ocorrência da classificação “não boa”, é necessário usar os valores médios das variáveis explicativas. O efeito marginal da variável X_t sobre a variável dependente é descrito pela expressão:

$$\frac{\partial P_t}{\partial X_t} = \beta \times \frac{1}{1 + e^{-X_t \beta}} \times \frac{e^{-X_t \beta}}{1 + e^{-X_t \beta}}, \quad (4)$$

considerando-se $P_t = \frac{1}{1 + e^{-X_t \beta}}$ e $1 - P_t = \frac{e^{-X_t \beta}}{1 + e^{-X_t \beta}}$. Observa-se que o efeito marginal de cada variável explicativa sobre a probabilidade não é constante, visto que depende do valor médio de cada variável X_t .

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme descrito anteriormente, de acordo com a CETESB (2013) a qualidade do ar, em relação ao PM_{10} , é considerada “boa” se a concentração for inferior ou igual a $50 \mu g/m^3$ e “não boa” quando a concentração é superior a $50 \mu g/m^3$. O período de análise deste estudo foi de janeiro de 2005 a dezembro de 2010, perfazendo um total de 2.191 observações (dias). Deste total, cerca de 34% apresentou concentrações de PM_{10} superiores a $50 \mu g/m^3$ (picos de concentração).

Os resultados da tabela 1 representam a equação logística ajustada, considerando como variáveis exógenas a umidade relativa, a velocidade do vento e a precipitação. Também são apresentados os respectivos efeitos marginais de cada variável sobre a probabilidade de ocorrência de picos de concentração de PM_{10} . Verifica-se que a regressão como um todo foi estatisticamente significativa (Prob/LR estat.). Uma vez que a variável temperatura não foi estatisticamente significativa, a mesma não se encontra na tabela 1. As variáveis umidade, velocidade do vento e precipitação foram individualmente significantes na determinação de picos de concentração e os seus coerentes com o esperado.

Os coeficientes das variáveis explicativas, estimados pelo modelo Logit, não refletem seu efeito marginal sobre a probabilidade de ocorrência de picos de concentração de PM_{10} . Assim, para a determinação do efeito marginal foram usados os valores médios das variáveis preditoras, de acordo com a equação 4. Nota-se que o maior efeito marginal ocorreu para variável precipitação pluviométrica, seguido, respectivamente por velocidade do vento e umidade relativa. Vale frisar que o efeito marginal da umidade foi muito pequeno.

Para a variável precipitação, por exemplo, o efeito marginal, igual a -0,2368, significa que, o aumento de um milímetro (1 mm) na precipitação média diária na região RGV ocasionou uma redução na probabilidade de ocorrência de picos de concentração (concentração maior que $50 \mu g/m^3$) de 23,68 pontos percentuais. Ressalta-se os elevados efeitos marginais negativos das variáveis velocidade do vento e precipitação. Isto indica que maiores velocidades do vento e altos volumes de chuvas contribuem fortemente para redução da probabilidade de ocorrência de elevadas concentrações de PM_{10} na RGV.

Tabela 1 – Equação logística considerando as variáveis umidade relativa, velocidade do vento e precipitação e seus efeitos marginais

Variáveis	Coefficientes	Erro-padrão	Valor de Z	P-valor	Efeito marginal
C	6,2674***	0,9145	6,8533	0,0000	-
UMID	-0,0658***	0,0103	-6,3960	0,0000	-0,0141
VELVENT	-0,8526***	0,1052	-8,1016	0,0000	-0,1833
PREC	-1,1015***	0,2500	-4,4054	0,0000	-0,2368
Obs. com variável dependente = 0		1454			
Obs. com variável dependente = 1		737		Total obs. = 2.191	
Prob. (LR estat.)		0,0000			

Fonte: elaborado a partir dos dados da pesquisa.

Nota: 1) *** Significativo a 1%; e, 2) As estimativas foram realizadas utilizando o método de covariância robusta GLM (Modelo Linear Generalizado).

A fim de enriquecer o trabalho, também foram estimadas regressões logísticas para cada dia da semana e para cada estação do ano (primavera, verão, outono e inverno). A partir destas equações foram calculados os respectivos efeitos marginais. Na tabela 2 são demonstradas as estimativas das equações logísticas quando considerados os dias da semana (foi estimada uma equação para cada dia), assim como o efeito marginal relativo à cada dia. Como o dia de segunda-feira não foi significativo estatisticamente, o mesmo não foi apresentado. Observa-se que nos dias relativos à terça, quarta, quinta e sexta-feira a probabilidade de ocorrer picos de concentração foi muito maior do que nos fins de semana (domingo e sábado). No domingo, por exemplo, a chance de haver um episódio de concentração reduz-se em 15,44 pontos percentuais. Já na sexta-feira, a probabilidade de ocorrência de uma qualidade do ar “não boa” aumentou em 9,61 pontos percentuais.

Tabela 2 – Equações logísticas e efeitos marginais para cada dia da semana

Variáveis	Coefficientes	Erro-padrão	Valor de Z	P-valor	Efeito marginal
Domingo					
C	-0,5342***	0,0478	-11,173	0,0000	
DOM	-1,3030***	0,1710	-7,6196	0,0000	-0,1544
Terça					
C	-0,9786***	0,0518	-18,897	0,0000	
TER	0,2663**	0,1310	2,0330	0,0421	0,0588
Quarta					
C	-0,9786***	0,0518	-18,897	0,0000	
QUAR	0,2663**	0,1310	2,0330	0,0421	0,0588
Quinta					
C	-0,9894***	0,0519	-19,058	0,0000	
QUIN	0,3343**	0,1300	2,5722	0,0101	0,0752
Sexta					
C	-1,0029***	0,0521	-19,258	0,0000	
SEX	0,4181***	0,1289	3,2436	0,0012	0,0961
Sábado					
C	-0,9022***	0,0509	-17,715	0,0000	
SAB	-0,2702*	0,1424	-1,8971	0,0578	-0,0488

Fonte: elaborado a partir dos dados da pesquisa.

Nota: 1) *** Significativo a 1%, ** Significativo a 5%, * Significativo a 10%; e, 2) As estimativas foram realizadas utilizando o método de covariância robusta GLM.

Por fim, a tabela 3 traz os resultados das estimativas das equações logísticas quando consideradas as estações do ano (foi estimada uma equação para cada estação), assim como o efeito marginal relativo à cada estação. Todas as estações do ano foram estatisticamente significativas. Como era esperado, os coeficientes da primavera e do verão foram negativos e do outono e do inverno positivos, indicando que nos períodos de temperaturas mais baixas, com menores volumes de chuva, a chance de ocorrência de picos de concentração aumentou. No inverno, por exemplo, o efeito marginal igual a 0,1588 demonstra que nesta estação a probabilidade de uma qualidade do ar “não boa” elevou-se em 15,88 pontos percentuais, ao passo que no verão houve uma redução de 7,68 pontos percentuais nesta probabilidade.

Tabela 3 – Equações logísticas e efeitos marginais para cada estação do ano

Variáveis	Coefficientes	Erro-padrão	Valor de Z	P-valor	Efeito marginal
Primavera					
C	-0,8413***	0,0536	-15,693	0,0000	
PRIM	-0,4283***	0,1172	-3,6554	0,0003	-0,0733
Verão					
C	-0,8370**	0,0535	-15,650	0,0000	
VER	-0,4536***	0,1181	-3,8405	0,0001	-0,0768
Outono					
C	-0,8238***	0,0538	-15,326	0,0000	
OUT	0,5351***	0,1010	5,2958	0,0000	0,1310
Inverno					
C	-0,6238***	0,0438	-14,258	0,0000	
INV	0,6351***	0,0501	12,6750	0,0001	0,1588

Fonte: elaborado a partir dos dados da pesquisa.

Nota: 1) *** Significativo a 1%; e, 2) As estimativas foram realizadas utilizando o método de covariância robusta GLM.

CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo verificar os impactos das variáveis meteorológicas temperatura, umidade relativa, velocidade do vento e precipitação na probabilidade de ocorrência de picos/episódios de concentração de PM₁₀, na RGV, por meio do modelo Logit. Em complemento, foram estimados os efeitos dos dias da semana e das estações do ano sobre a probabilidade de ocorrerem estes episódios.

Os resultados revelaram que fatores meteorológicos como a precipitação pluviométrica e a velocidade do vento contribuíram significativamente para a redução da probabilidade de ocorrência de picos de concentração (concentração maior que 50 µg/m³) do poluente PM₁₀. Observou-se, também, que, nos finais de semana, quando a produção industrial diminui e o fluxo de carros é menor, as chances de ocorrer picos de concentração foi fortemente reduzida, quando comparado aos dias de semana. Além disso, notou-se que nas estações do outono e do inverno a probabilidade de se verificar picos de concentração de PM₁₀ caiu de maneira relevante, sendo que na primavera e no verão notou-se uma elevação desta probabilidade.

Por fim, vale destacar que as preocupações referentes à poluição do ar vêm aumento ao longo do tempo, dado que cada vez mais a poluição tem afetado a saúde humana, a fauna e a flora. Dessa forma, este estudo visa contribuir na tomada de decisões dos agentes públicos no que diz respeito ao combate à poluição, à prevenção de altas concentrações e à formulação de legislações para este fim.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao IEMA pelo fornecimento das concentrações dos poluentes atmosféricos e das variáveis meteorológicas. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo (FAPES) pelo suporte financeiro parcial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRUNEKREEF B.; HOLGATE, S. T. Air pollution and health. *Lancet*, v. 360, n. 9341, p. 1233-1242, 2002.
2. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Relatório de Qualidade do ar no Estado de São Paulo 2013. São Paulo, 2013. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/qualidade-do-ar/31-publicacoes-e-relatorios>. Acessado em: 20 de mar. de 2014.
3. CURTIS, L.; REA, W.; SMITH-WILLIS, P.; FENYVES, E.; PAN, YAQIN. Adverse health effects of outdoor air pollutants. *Environment International*, v. 32, n. 6, p. 815-830, 2006.
4. GOOGLE EARTH. Informações geográficas. 2014. Disponível em: <http://www.google.com.br/intl/pt-PT/earth/>. Acessado em: 20 de mar. de 2014.
5. GRAMSCH, E.; CERECEDA-BALIC, F.; OYOLA, P.; VON BAER, D. Examination of pollution trends in Santiago de Chile with cluster analysis of PM₁₀ and ozone data. *Atmospheric Environment*, v. 40, n. 28, p. 5464-5475, 2006.
6. GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. *Basic Econometrics*. 5 ed. New York: McGraw-Hill/Irwin, 2008. 944 p.
7. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Banco de dados. Cidades@. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>. Acessado em: 20 de mar. de 2014.
8. LIU, P. W. G.; JOHNSON, R. Forecasting peak daily ozone levels-I. A regression with time series errors model having a principal component trigger to fit 1991 ozone levels. *Journal of the Air & Waste Management Association*. v. 52, n. 9, p1064-1074, 2002.
9. LIU, P. W. G. Simulation of the daily average PM₁₀ concentrations at Ta-Liao with Box-Jenkins time series models and multivariate analysis. *Atmospheric Environment*, v. 43, n. 13, p. 2101-2113, 2009.
10. LEITE, R. C. M.; GUIMARÃES, E. C.; LIMA, E. A. R. L.; BARROZO, M. A. S. B.; TAVARES, M. Utilização de regressão logística simples na verificação da qualidade do ar atmosférico de Uberlândia. *Engenharia Sanitária Ambiental*, v. 16, n. 1, p. 175-180, 2011.
11. MAYNARD, R. Key airborne pollutants: the impact on health. *Science of the Total Environment*, v. 334-335, p. 9-13, 2004.
12. MOREIRA, D. M.; TIRABASSI, T.; MORAES, M. R. Meteorologia e poluição atmosférica. *Ambiente & Sociedade*. v. 11, n. 1, p. 1-13, 2008.

13. OLTMANS, S. J.; LEFOHN, A. S.; HARRIS, J. M.; GALBALLY, I.; SCHEEL, H. E.; BODEKER, G.; BRUNKE, E.; CLAUDE, H.; TARASICK, D.; JOHNSON, B. J.; SIMMONDS, P.; SHADWICK, D.; ANLAUF, K.; HAYDEN, K.; SCHMIDLIN, F.; FUJIMOTO, T.; AKAGI, K.; MEYER, C.; NICHOL, S.; DAVIES, J.; REDONDAS, A.; CUEVAS, E. Long-term changes in tropospheric ozone. *Atmospheric Environment*, v. 40, n. 17, p. 3156-3173, 2006.
14. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US EPA). Air and Radiation – Air Pollutants. 2014. Disponível em: <<http://www.epa.gov/air/>>. Acessado em: 24 mar. 2014.
15. VINGARZAN, R. A review of surface ozone background levels and trends. *Atmospheric Environment*, v. 38, n. 21, p. 3431-3442, 2004.
16. WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Air pollution estimates. 2014. Disponível em: <http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/FINAL_HAP_AAP_BoD_24March2014.pdf?ua=1>. Acessado em: 26 de mar. 2014.
17. _____. WHO air quality guidelines global update 2005. Report on a working group meeting, Bonn/Germany, 18-20 october 2005, 2005. Disponível em: <http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0008/147851/E87950.pdf>. Acessado em: 20 de mar. de 2014.