

ASSOCIAÇÃO DE LONGA DEPENDÊNCIA ENTRE MORTALIDADE E SÉRIES CLIMÁTICAS

Tatiane Carvalho ALVARENGA¹

Thelma SÁFADI²

- **RESUMO:** As estratégias de políticas públicas na saúde para redução de mortalidade por problemas respiratórios e cardiovasculares são importantes, em particular no contexto dos fatores climáticos e de poluição. No entanto, há necessidade de estatísticas cada vez mais sofisticadas para o diagnóstico dessas relações, refletindo assim, no bem estar social. A relação entre fatores climáticos, poluição e saúde tem sido observada em vários estudos, na maioria desses são utilizados modelos de regressão e modelos lineares generalizados. Essa relação é caracterizada pela dependência entre observações próximas e distantes (em tempo). O modelo HAR (*Heterogeneous autoregressive model*) permite o ajuste dessa dependência considerando séries de médias diárias, semanais e mensais das variáveis em estudo, o que possibilita responder a questão: “qual o tempo necessário para as variáveis climáticas e de poluição levarem ao óbito?”. Neste trabalho utilizou-se o modelo HAR, uma nova metodologia na área médica, para analisar a associação entre mortalidade (por problemas respiratórios e cardiovasculares), séries climáticas (temperatura mínima e umidade) e séries de poluentes (PM₁₀ e CO) na cidade de São Paulo, Brasil. Observou-se uma associação de longa dependência entre fatores climáticos e mortalidade por problemas respiratórios e cardiovasculares. Entretanto, essa associação não foi observada para os dados de poluição.
- **PALAVRAS-CHAVE:** Modelo HAR; óbitos; saúde pública; temperatura mínima; umidade.

1 Introdução

A associação entre fatores climáticos (temperatura e umidade), poluição (material particulado, monóxido de carbono, ozônio) e saúde (mortalidade e internação), tem sido objeto de vários estudos. Na grande maioria são utilizados modelos de regressão e modelos lineares generalizados, os quais não consideram a longa dependência entre as observações.

O material particulado (PM₁₀) é um tipo de partícula inalável de diâmetro inferior a 10 micrometros e constitui um elemento de poluição atmosférica que pode penetrar no aparelho respiratório, provocando inúmeras doenças respiratórias.

O monóxido de carbono (CO) é outro poluente atmosférico na forma de gás incolor, inodoro e extremamente perigoso a saúde, devido à sua toxicidade. A produção do mesmo

¹Universidade Federal de Lavras - UFLA, Departamento de Estatística, 3037, CEP: 37200-000, Lavras, MG, Brasil. E-mail: tatianecarvalhoalvarenga@gmail.com

²Universidade Federal de Lavras - UFLA, Departamento de Estatística, 3037, CEP: 37200-000, Lavras, MG, Brasil. E-mail: safadi@ufla.br

é obtida pela queima de materiais que contém carbono em condições de pouco oxigênio (OLSON *et al.*, 2014). Esse gás pode levar à morte por asfixia quando forma com a hemoglobina do sangue um composto mais estável do que ela e o oxigênio.

A umidade relativa do ar consiste na quantidade de água na forma de vapor existente no momento na atmosfera, em termos à quantidade máxima que poderia a vim existir, na temperatura observada (SILVA, 2000). Sabe-se que a umidade do ar é mais baixa, geralmente, no fim do inverno e início da primavera. Complicações alérgicas e respiratórias são decorrentes da baixa umidade do ar.

A relação entre fatores climáticos, poluição e saúde humana na cidade de São Paulo, Brasil, tem sido do interesse público e objeto de vários estudos.

Segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia, a cidade de São Paulo possui a terceira menor temperatura, comparada com as outras capitais dos estados do Brasil.

Os padrões de qualidade do ar para o estado de São Paulo (Decreto Estadual no. 8468 de 08/09/76) são:

PM₁₀.....240 µg/m³.

CO.....40.000 µg/m³ ou 35 ppm.

Saldiva *et al.* (1995) consideraram séries temporais diárias de poluição atmosférica (dióxido de enxofre, material particulado, ozônio e óxidos de nitrogênio) e mortalidade em idosos maiores de 65 anos de idade, no período de maio de 1990 a abril de 1991. Utilizando métodos de regressão, obtiveram uma associação significativa entre os níveis de material particulado e mortalidade em idosos.

Miraglia *et al.* (1997) analisaram o impacto do combustível (etanol e combustíveis fósseis) da poluição atmosférica na saúde humana. Foram consideradas séries de mortalidade por causas respiratória e cardiovascular em idosos (acima de 65 anos) em São Paulo, no período de janeiro de 1991 a dezembro de 1994. Por meio da regressão linear, os resultados mostraram uma associação significativa entre a poluição do ar e mortalidade, devido a doenças respiratórias.

Pereira *et al.* (1998) utilizaram técnicas de regressão de Poisson para associações entre contagens diárias das concentrações de poluente intrauterino e mortalidade. As séries foram investigadas para o período de janeiro de 1991 a dezembro de 1992, na cidade de São Paulo, Brasil. A associação entre mortalidade intrauterina e poluição atmosférica foi forte para dióxido de nitrogênio, mas menor para dióxido de enxofre e monóxido de carbono. Assim, os resultados sugerem que a poluição do ar em São Paulo pode promover efeitos adversos para a saúde em fetos.

Braga *et al.* (1999) analisaram a relação entre séries de poluição atmosférica (níveis diários de material particulado, ozônio, dióxido de enxofre, monóxido de carbono e dióxido de nitrogênio) e mortalidade de crianças (menores de 13 anos de idade), em São Paulo, Brasil. Consideraram registros diários de admissões, de crianças, no hospital em São Paulo e níveis de poluição, no período de outubro de 1992 a outubro de 1993. Utilizando modelos de regressão, foi averiguado que material particulado e ozônio foram os poluentes que exibiram a associação com os problemas respiratórios.

Lin *et al.* (1999) analisaram internações pediátricas por emergência na cidade de São Paulo, obtidos do Instituto da criança da Universidade de São Paulo e registros diários de monóxido de carbono, dióxido de enxofre, material particulado, ozônio e dióxido de nitrogênio, no período de maio de 1991 a abril de 1993. A relação entre as visitas de

emergência por problemas respiratórios e a poluição do ar foi avaliada por meio da estatística comparativa simples e análise de correlação simples. Observaram-se as associações com material particulado e, em menor medida, com ozônio. Assim, foi constatado que a poluição do ar é uma preocupação na saúde pediátrica em São Paulo.

Conceição *et al.* (2001) avaliaram a associação entre as séries diárias de material particulado, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio, temperatura, umidade relativa do ar e marcadores de morbimortalidade da cidade de São Paulo, no período de 1994 a 1997. Utilizando Modelos Lineares Generalizados (MLG) e Modelos Aditivos Generalizados (MAG), observaram associações entre mortalidade e os níveis de monóxido de carbono, dióxido de enxofre e, em menor escala, material particulado. As relações observadas foram dose-dependente e evidentes após um curto período de exposição.

Gouveia *et al.* (2003) utilizaram séries diárias de mortalidade, internações hospitalares, níveis atmosféricos dos principais poluentes do ar e de variáveis meteorológicas das cidades brasileiras São Paulo e Rio de Janeiro. Estes dados foram analisados utilizando-se técnicas de análise de séries temporais em modelos lineares por meio de Equações de Estimação Generalizada e/ou por meio de modelos não paramétricos, com a utilização de Modelos Aditivos Generalizados. Foram encontradas relações significantes entre aumentos nos níveis de poluentes atmosféricos e aumentos na mortalidade e nas hospitalizações, por causas respiratórias e cardiovasculares, em crianças e em idosos.

Sáfadi e Peña (2008), utilizando o modelo fatorial dinâmico analisaram séries de temperatura mínima, umidade relativa do ar, material particulado e monóxido de carbono, mortalidade por problemas respiratórios e cardiovasculares e encontraram relação entre material particulado, umidade relativa do ar e mortalidade por problemas respiratórios na cidade de São Paulo, no período de 1994 a 1997.

Guo *et al.* (2014) utilizam regressão de Poisson e meta-análise multivariada na associação entre temperatura e mortalidade, dados diários de doze países. Concluem que é de se preocupar o risco de óbito que a temperatura pode ocasionar ao indivíduo, mesmo que ele se adapte ao clima local. Além de que Olmo *et al.* (2011), destacam a necessidade de atuação das políticas públicas sob resultados de estudos epidemiológicos.

Guo *et al.* (2016) relatam que os métodos utilizados são limitados na associação entre mortalidade e variabilidade de temperatura e há necessidade de metodologias inovadoras para o campo de pesquisa. Utilizam modelo de regressão de Poisson e concluem que existe associação entre temperatura e mortalidade. Os dados diários de temperaturas e mortalidade foram de vários países, sendo estes, Austrália, Brasil, Canadá, China, Japão, Moldávia, Coreia do Sul, Espanha, Taiwan, Tailândia, Reino Unido e Estados Unidos da América. Conclui-se que deve ser dada mais atenção às condições climáticas a fim de proteger a saúde.

Inúmeros trabalhos têm encontrado associação entre mortalidade, clima e poluição, entretanto não consideram a longa dependência entre as observações. O modelo HAR (*Heterogeneous autoregressive*), desenvolvido por Corsi (2009), é um processo de memória longa e se caracteriza pela dependência significativa entre observações distantes (em tempo), consistindo na modelagem de séries de médias diárias, semanais e mensais.

Assim sendo, o objetivo deste trabalho é verificar a adequabilidade do modelo de memória longa, HAR, no ajuste das séries de mortalidade por problemas respiratórios e

cardiovasculares, PM₁₀, CO, temperatura mínima e umidade na cidade de São Paulo, no período de 01 de janeiro a 31 de dezembro de 1997.

2 Metodologia

Os dados utilizados referem-se ao número diário de óbitos por problemas respiratórios (resp) e cardiovasculares (card); temperaturas mínimas (temp), umidade relativa do ar (humid), material particulado (PM₁₀) e monóxido de carbono (CO) na cidade de São Paulo, Brasil, no período de 01 de janeiro a 31 de dezembro de 1997. As séries temporais foram adquiridas do projeto Poluição Atmosférica e Saúde Social (PASSO) disponíveis em Singer (2017).

No que segue é apresentada a metodologia do modelo HAR, critérios de adequabilidade e seleção de modelos.

2.1 O modelo HAR

Uma série temporal é todo conjunto de observações ordenadas no tempo (MORETTIN e TOLOI, 2006). Comumente em séries temporais o modelo possui apenas uma frequência de variação temporal, podendo esta ser diária, semanal, trimestral ou anual, entre outras, e tem-se como objetivo analisar e modelar a dependência temporal.

O modelo HAR se caracteriza pela dependência significativa entre observações distantes, consistindo na modelagem de séries de médias diárias, semanais e mensais. Utilizando o modelo HAR, Chang e McAleer (2011) analisaram o quanto a chegada de turistas japoneses e americanos a Taiwan influencia na moeda nacional, por meio do efeito preço. Foram utilizados dados diários de janeiro de 1990 a dezembro de 2008, para modelar o preço mundial, taxas de câmbio e as chegadas de turistas, e sua volatilidade associada. O modelo HAR é adequado para capturar o comportamento de memória longa e atualmente tem sido utilizado para modelar a volatilidade de séries financeiras (VAL *et al.*, 2014; AUDRINO, HUANG e OKHRIN, 2016; CHEONG *et al.*, 2017)

Para a utilização do modelo HAR é necessário que as séries sejam estacionárias, ou seja, que ela se desenvolva no tempo aleatoriamente ao redor de uma média e variância constantes, apresentando de alguma forma o equilíbrio estável (MORETTIN e TOLOI, 2006). A estacionariedade pode ser verificada utilizando o teste de Dickey Fuller Aumentado (DICKEY e FULLER, 1979).

Dada uma série temporal estacionária z_t com n observações, $\{z_t, t = 1, \dots, n\}$, a série de médias de h observações é obtida através da equação (1)

$$z_{t,h} = \frac{z_t + z_{t-1} + z_{t-2} + \dots + z_{t-h+1}}{h}, \quad (1)$$

em que os valores típicos de h são 1 para dados diários, 7 para dados semanais e 28 para dados mensais. Por exemplo, substituindo $h = 28$ em (1) obtém-se a série de média dos últimos 28 dias,

$$z_{t,28} = \frac{z_t + z_{t-1} + z_{t-2} + \dots + z_{t-28+1}}{28},$$

o que origina uma nova série $z_{t,28}$.

No modelo HAR utiliza-se a série diária z_t e as séries de médias $z_{t,7}$ e $z_{t,28}$ além das possíveis defasagens. Seguindo o exposto em Chang e McAleer (2011), considerando z_t a série dependente e x_t as séries independentes obtêm-se as equações (2), (3) e (4).

$$z_t = \phi_1 + \phi_{21}z_{t-1} + \phi_{22}x_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2)$$

$$z_t = \phi_1 + \phi_{21}z_{t-1} + \phi_{22}x_{t-1} + \phi_{31}z_{t-1,7} + \phi_{32}x_{t-1,7} + \varepsilon_t \quad (3)$$

$$z_t = \phi_1 + \phi_{21}z_{t-1} + \phi_{22}x_{t-1} + \phi_{31}z_{t-1,7} + \phi_{32}x_{t-1,7} + \phi_{41}z_{t-1,28} + \phi_{42}x_{t-1,28} + \varepsilon_t \quad (4)$$

Os modelos apresentados nas Equações (2), (3) e (4) representam, respectivamente, os modelos HAR (1), modelo de médias diárias; HAR (1, 7), modelo de médias diárias e semanais; HAR (1, 7, 28), modelo de médias diárias, semanais e mensais. Todas as análises e ajuste de modelos foram feitos por meio do software Gretl (GRETLL, 2017).

2.2 Adequabilidade do modelo

Entre os vários testes de adequação de modelo, destaca-se o teste de Box-Pierce, que considera as autocorrelações dos resíduos (MORETTIN e TOLOI, 2006), com estatística do teste dada em (5),

$$Q(K) = n(n+2) \frac{\sum_{j=1}^k \hat{r}_j^2}{(n-j)} \quad (5)$$

em que n , \hat{r}_j^2 e K representam respectivamente, o número de observações, valores de autocorrelação do resíduo e o número de defasagens tomadas.

Logo, se o modelo é adequado, a estatística apresentada em (5) terá aproximadamente uma distribuição qui-quadrado (χ^2) com $k - p - q$ graus de liberdade, em que p e q são relativos ao número de parâmetro do modelo. A hipótese de ruído branco é rejeitada para valores grandes de $Q(K)$. Ou seja, se $Q(K) < \chi_{k-p-q}^2$, então o resíduo é ruído branco (ou seja, são não-correlacionados).

2.3 Seleção de modelo

O critério de informação de Akaike (AIC), de acordo com (6), é utilizado para selecionar o modelo mais adequado,

$$AIC = -2 \log L(\hat{\theta}) + 2p, \quad (6)$$

sendo $L(\hat{\theta})$ a função de verossimilhança e p o número de parâmetros do modelo. O modelo que apresentar menor valor de AIC é o indicado (AKAIKE, 1974).

3 Resultados

As séries de número de mortes, por problemas respiratórios e cardiovasculares, são apresentadas na Figura 1, onde observa-se uma maior incidência de óbitos nos meses de junho e julho, os quais correspondem a época de maior frio e baixa umidade. No restante dos meses observa-se um maior equilíbrio ficando em média entre 10 e 20 óbitos devido a problemas respiratórios e 40 a 60 óbitos devido a problemas cardiovasculares.

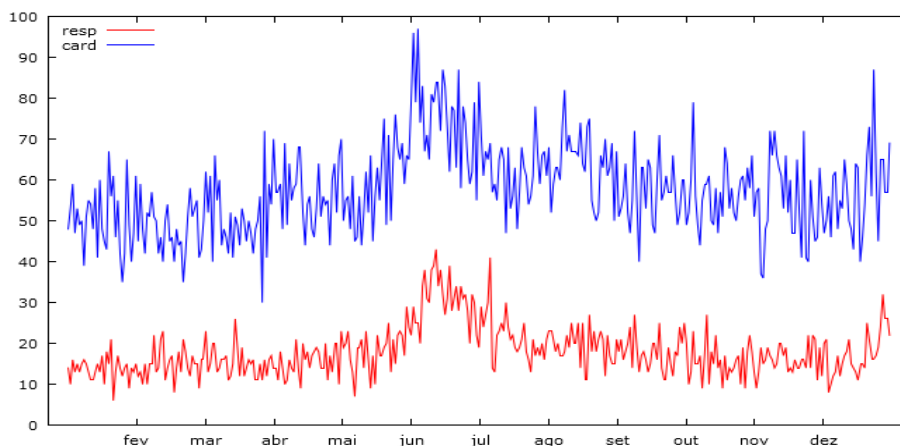


Figura 1 - Número de óbitos por problemas respiratórios (resp) e cardiovasculares (card) na cidade de São Paulo, período de 1 de janeiro a 31 de dezembro de 1997.

Na Figura 2 são apresentadas as séries de temperatura mínimas (tempmin), material particulado (PM₁₀), monóxido de carbono (CO) e umidade (humid). Observa-se que os maiores valores de temperatura mínima, entre 20°C e 22°C, são encontrados nos meses de janeiro e dezembro e os menores valores, entre 4°C e 8°C, nos meses junho e agosto.

Verifica-se que os maiores índices de PM₁₀, entre 100 e 140 µg/m³, são encontrados nos meses de junho a setembro. As maiores taxas de monóxido de carbono, em torno de 12 ppm, ocorreram nos meses de julho e agosto. Os menores índices de umidade foram encontrados no período de junho a setembro, em torno de 55%.

Resumindo, na análise exploratória observou-se que a maior incidência de óbitos, nos meses de inverno, poderia estar associada a baixas temperaturas e umidade assim como a um aumento nas taxas de PM_{10} e CO. A questão é, qual o tempo necessário para estas variáveis levarem ao óbito? Com este objetivo obteve-se as séries de médias semanais ($h = 7$) e mensais ($h = 28$).

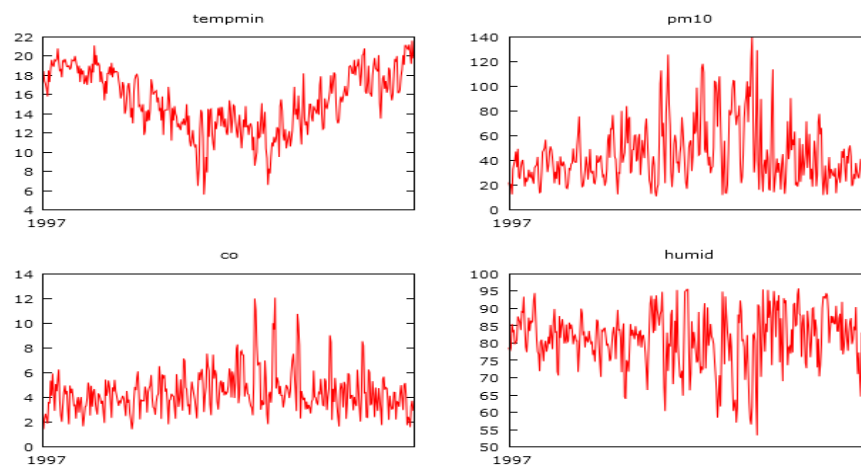


Figura 2 - Temperatura mínima (tempmin), material particulado (PM10), monóxido de carbono (co) e umidade (humid) da cidade de São Paulo, período de 1 de janeiro a 31 de dezembro de 1997.

As séries de médias semanais e mensais obtidas através da equação (1) são apresentadas respectivamente, nas Figuras 3 e 4. Uma análise descritiva é apresentada na Tabela 1.

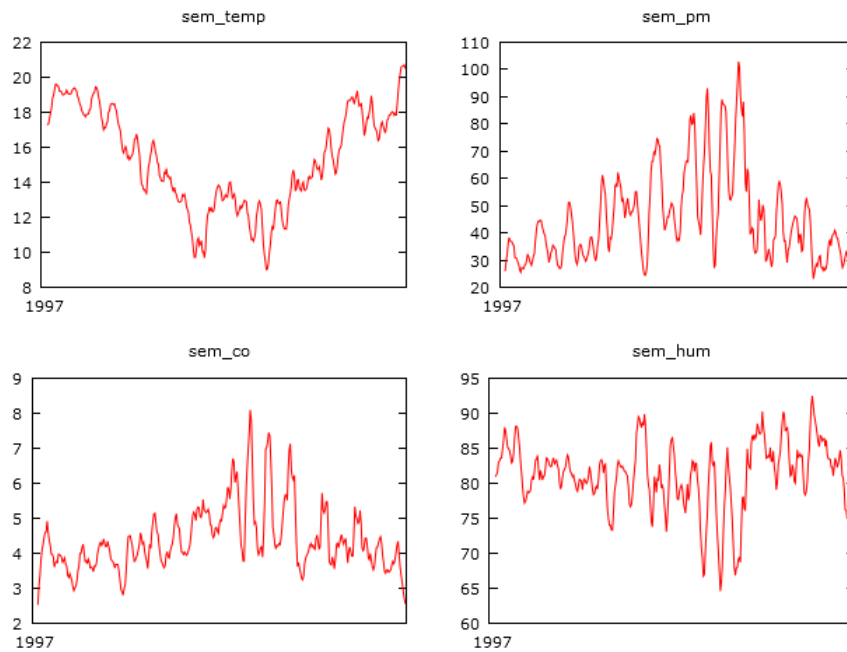


Figura 3 - Séries das médias semanais para as variáveis temperatura mínima, PM10, CO e umidade.

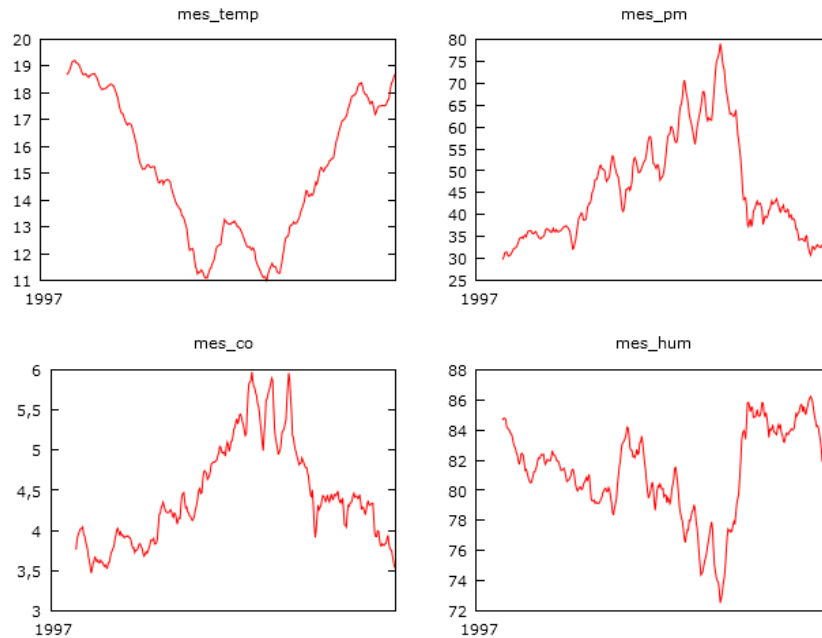


Figura 4 - Séries das médias mensais para as variáveis temperatura mínima, PM₁₀, CO e umidade.

Tabela 1 - Análise descritiva das séries de médias do número de óbitos, índices de temperatura, PM₁₀, CO e umidade em São Paulo no ano de 1997

	Média	Mediana	Mínimo	Máximo
Resp	18,04	17,000	6,000	43,000
Card	57,62	57,00	30,00	97,00
temp	15,355	15,400	5,600	21,600
sem_temp	15,295	15,229	9,0143	20,700
mes_temp	15,069	15,052	11,004	19,211
PM ₁₀	44,870	38,970	10,990	139,71
sem_PM ₁₀	45,203	40,333	23,121	102,88
mes_PM ₁₀	46,016	42,460	29,898	79,007
Co	4,3707	4,1500	1,4300	12,070
sem_co	4,4013	4,4013	2,5471	8,0857
mes_co	4,4431	4,2057	3,4700	5,9711
Hum	81,152	81,970	53,340	95,790
sem_hum	81,207	81,713	64,613	92,457
mes_hum	81,208	81,385	72,544	86,225

Por meio da Tabela 1 observa-se que as transformações nos dados afetam principalmente os valores mínimos e máximos, as médias e medianas possuem valores próximos.

O teste de Dickey Fuller Aumentado (DICKEY e FULLER,1979) indicou que as séries são não estacionárias (resultados não apresentados). A estacionariedade foi obtida através da operação de diferença ($\Delta Y_t = Y_t - Y_{t-1}$), detalhes em Morettin e Toloí (2006).

Entre os vários modelos ajustados para as séries de óbitos por problemas respiratórios e cardiovasculares, segundo os critérios de escolha já mencionados, tem-se para a série de óbitos por problemas respiratórios o modelo HAR(1,7,28) (AIC=5,90; $Q(25)= 25,86$) e para a série de óbitos por problemas cardiovasculares o modelo HAR(1,7) (AIC=7,27; $Q(25)= 34,60$). De acordo com o teste de Box e Pierce, ao nível de 5% de significância, é verificado que os resíduos são ruído branco ($Q(K) < \chi_{25,0.05\%}^2 = 37,65$).

Na Tabela 2 tem-se o ajuste do modelo HAR(1,7,28) para óbitos por problemas respiratórios.

Tabela 2 - Modelo HAR (1, 7, 28) para a série de óbitos respiratórios

	Coefficiente	Erro Padrão	Razão-t	Valor-p
resp_1	-0,55	0,06	-8,51	<0,00001
resp_2	-0,38	0,06	-5,82	<0,00001
resp_3	-0,19	0,05	-3,51	0,00051
sem_resp_1	-1,54	0,36	-4,25	0,00003
sem_hum_2	-0,32	0,15	-2,12	0,03471
mes_temp_2	-5,94	2,37	-2,50	0,01278

Da Tabela (2) tem-se que:

$$\begin{aligned} resp_t = & -0,55resp_{t-1} - 0,38resp_{t-2} - 0,19resp_{t-3} - 1,54resp_{t-1,7} \\ & - 0,32humid_{t-2,7} - 5,94temp\ min_{t-2,28} + \varepsilon_t . \end{aligned}$$

Por meio da Tabela 2, observa-se uma associação de longa dependência entre o número de óbitos com as séries de umidade (2 semanas) e temperatura mínima (2 meses), além de associação com a série de médias semanais para óbitos.

Para a série de óbitos por problemas cardiovasculares, observa-se na Tabela 3 uma longa dependência com a série de temperatura mínima (2 semanas) e com a série de óbitos (2 semanas).

Interessante observar que em ambos os casos não foi encontrado associação do número de óbitos com as séries de poluição (CO e PM10), o que seria esperado em se tratar de mortalidade por problemas respiratórios. Na análise utilizando modelos de regressão e modelos lineares generalizados Pereira *et al.* (1998), Braga *et al.* (1999), Conceição *et al.* (2001) e Gouveia *et al.* (2003) observaram associação entre mortalidade e poluição. Entretanto, ao utilizar modelos de regressão e modelos lineares generalizados, não foi

considerado a longa dependência entre as observações, a qual é considerada na modelagem HAR. Já em Guo *et al.* (2014) utilizando regressão encontrou-se associação entre mortalidade e clima. Sáfadi e Peña (2008) utilizando o modelo fatorial dinâmico encontraram associação entre o material particulado (PM10), umidade e mortalidade por problemas respiratórios.

Tabela 3 - Modelo HAR(1, 7) para a série de óbitos cardiovasculares

	<i>Coefficiente</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Razão-t</i>	<i>Valor-p</i>
card_1	-0,79	0,05	-15,09	<0,00001
card_2	-0,39	0,06	-6,10	<0,00001
card_3	-0,18	0,05	-3,47	0,00059
sem_temp_2	-3,98	1,39	-2,86	0,00448
sem_card_2	-1,28	0,35	-3,67	0,00028

Logo, da Tabela (3) têm-se que:

$$card_t = -0,79card_{t-1} - 0,39 card_{t-2} - 0,18 card_{t-3} - 1,28 card_{t-2,7} - 3,98 temp_{t-2,7} + \varepsilon_t$$

Afinal, a questão de pesquisa foi: “qual o tempo necessário para as variáveis em estudo levarem ao óbito? Assim, por meio do modelo HAR, a umidade e a temperatura mínima podem vir a causar o óbito por problema respiratório, respectivamente, em duas semanas e dois meses, bem como, a temperatura mínima levar ao óbito por problema cardiovascular em duas semanas.

Conclusões

A metodologia empregada neste trabalho para explicar a associação de longa dependência entre fatores climáticos, de poluição e mortalidade por problemas respiratórios e cardiovasculares foi adequada.

Agradecimentos

A CAPES, pelo financiamento da pesquisa e aos dois revisores e editores pelos comentários e sugestões.

ALVARENGA, T. C.; SÁFADI, T. Association of long dependence between mortality and climate series. *Rev. Bras. Biom.* Lavras, v.37, n.1, p.82-94, 2019.

- *ABSTRACT: Public health policy strategies for reducing mortality from respiratory and cardiovascular problems are important, particularly, in the context of climate and pollution factors. However, there is a need for increasingly sophisticated statistics for the diagnoses of these relationships, thus reflecting on social well-being. The relationship between climatic factors, pollution and health has been observed in several studies, in the majority of these are used*

regression models and generalized linear models. This relationship is characterized by the dependence between near and distant observations (in time). The HAR (Heterogeneous autoregressive model) allows the fit of this dependence, considering series of daily, weekly and monthly averages of the variables under study, which answers the question: "How long does it take for these variables to lead to death?". In this study, the HAR model, a new methodology in the medical research, was used to analyze the association between mortality (respiratory and cardiovascular problems), climatic series (minimum temperature and humidity) and series of pollutants (PM10 and CO) in the city of São Paulo, Brazil. There was an association between long-term dependence between climatic factors and mortality due to respiratory and cardiovascular problems. However, this association was not observed for the pollution data.

- **KEYWORDS:** Model HAR; deaths; public health; minimum temperature; humidity.

Referências

AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, v.19, n.6, p.716-723, 1974.

AUDRINO, F.; HUANG, C.; OKHRIN, O. *Flexible HAR Model for Realized Volatility*. Disponível em: <https://www.alexandria.unisg.ch/248495/1/Aud_Hua_Okh_Flexible%20HAR%20Model%20for%20Realized%20Volatility.pdf>. Acesso em: 23 set. 2017.

BRAGA, A. L. F. *et al.* Air pollution and pediatric respiratory hospital admissions in São Paulo, Brazil. *Journal of Environmental Medicine*, v.1, n.2, p.95-102, 1999.

CHANG, C.; MCALEER, M. *Aggregation, heterogeneous autoregression and volatility of daily international tourist arrivals and exchange rates*. Disponível em: <<http://eprints.ucm.es/12730/1/1113.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2014.

CHEONG, C. W. *et al.* The HARX-GJR-GARCH skewed-t multipower realized volatility modelling for S&P 500. *Sains Malaysiana*, v.1, n.46, p.107-116, 2017.

CONCEIÇÃO, G. M. S. *et al.* Modelos MLG e MAG para análise da associação entre poluição atmosférica e marcadores de morbi-mortalidade: uma introdução baseada em dados da cidade de São Paulo. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, v.4, n.3, p. 206-219, 2001.

CORSI, F. A simple approximate long-memory model of realized volatility. *Journal of Financial Econometrics*, v.7, n.2, p.174-196, 2009.

DICKEY, D.; FULLER, W. A. Distribution of the estimates for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American Statistical Association*, n.74, p.427-431, 1979.

GOUVEIA, N. *et al.* Poluição do ar e efeitos na saúde nas populações de duas grandes metrópoles brasileiras. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v.12, n.1, p. 29-40, 2003.

GUO, Y. *et al.* Global variation in the effects of ambient temperature on mortality: a systematic evaluation. *Epidemiology*, v.25, p.781-789, 2014.

GUO, Y. *et al.* Temperature variability and mortality: a multi-country study. *Environmental Health Perspectives*, v.124, p.1554-1559, 2016.

GRETL. *Gnu regression, econometrics and time-series library*. Disponível em: <<http://gretl.sourceforge.net/>>. Acesso em: 1 dez. 2017.

LIN, C. A. *et al.* Air pollution and respiratory illness of children in São Paulo, Brazil. *Pediatric and Perinatal Epidemiology*, v 13, p.475-488, 1999.

MIRAGLIA, S. G. E. K. *et al.* Analysis of the impact of fuel consumption on mortality rates in São Paulo. In: International Conference on Urban Transport and the Environment for the 21st Century, 3., 1997, Acquasparta. *Proceedings...* Boston: Computational Mechanics, p. 434-444, 1997.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. *Análise de séries temporais*. 2.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2006. 538 p.

OLMO, N. R. S. *et al.* A review of low-level air pollution and adverse effects on human health: implications for epidemiological studies and public policy. *Clinics*, v.66, p.681-90, 2011.

OLSON, K. R.; ANDERSON, I. B.; BENOWITZ, N. L.; BLANC, P. D.; CLARK, R. F.; KEARNEY, T. E.; KIM-KATZ, S. Y.; WU, A. H. B. *Manual de toxicologia clínica*. 6.ed. Porto Alegre: AMGH Editora, 2014. 813p.

PEREIRA, L. A. A. *et al.* Association between air pollution and intrauterine mortality in São Paulo, Brazil. *Environmental Health Perspectives*, v.106, n.6, p.325-329, 1998.

SÁFADI, T.; PEÑA, D. Bayesian analysis of dynamic factor models: an application to air pollution in São Paulo, Brazil. *Environmetrics*, v.19, p.582-601, 2008.

SALDIVA, P. H. N. *et al.* Air pollution and mortality in elderly people: a time-series study in São Paulo, Brazil. *Archives of Environmental Health*, v.50, p.159-163, 1995.

SILVA, M. A. V. *Meteorologia e climatologia*. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia, 2000. 515p.

SINGER, J. M. *Dados de poluição atmosférica e mortalidade*. Disponível em: <<http://www.ime.usp.br/~jmsinger/doku.php?id=start>>. Acesso em: 1 maio 2017.

VAL, F. F.; PINTO, A. C. F.; KLOTZLE, M. C. Volatility and return forecasting with high-frequency and GARCH models: evidence for the Brazilian market. *Revista de Contabilidade Financeira*, v.25, n.65, p.189-201, 2014.

Recebido em 20.12.2017

Aprovado após revisão em 04.09.2018