

Modelo *fuzzy* para estimar o número de internações por asma e pneumonia sob os efeitos da poluição do ar

Luciano Eustáquio Chaves^{I,II}, Luiz Fernando Costa Nascimento^{III,IV}, Paloma Maria Silva Rocha Rizol^V

^I Departamento de Mecânica. Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá. Universidade Estadual Paulista. São Paulo, SP, Brasil

^{II} Fundação Universitária Vida Cristã. Faculdade de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba, SP, Brasil

^{III} Departamento de Medicina. Universidade de Taubaté. Taubaté, SP, Brasil

^{IV} Departamento de Energia. Faculdade Engenharia de Guaratinguetá. Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá, SP, Brasil

^V Departamento de Engenharia Elétrica. Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá. Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá, SP, Brasil

RESUMO

OBJETIVO: Prever o número de internações por asma e pneumonia associadas à exposição a poluentes do ar no município em São José dos Campos, estado de São Paulo.

MÉTODOS: Trata-se de um modelo computacional que utiliza a lógica *fuzzy* baseado na técnica de inferência de Mamdani. Para a fuzzificação das variáveis de entrada material particulado, ozônio, dióxido de enxofre e temperatura aparente foram consideradas duas funções de pertinência para cada variável com abordagem linguísticas: bom e ruim. Para a variável de saída número internações por asma e pneumonia, foram consideradas cinco funções de pertinências: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto. O número de internações no ano de 2007 foi obtido do Datasus e o resultado fornecido pelo modelo foi correlacionado com os dados reais de internação com defasagem (lag) de zero a dois dias. A acurácia do modelo foi estimada pela curva ROC para cada poluente e nestas defasagens.

RESULTADOS: No ano de 2007 foram registradas 1.710 internações por pneumonia e asma em São José dos Campos, SP, com média diária de 4,9 internações (dp = 2,9). Os dados de saída do modelo mostraram correlação positiva e significativa ($r = 0,38$) com os dados reais; as acurácias avaliadas para o modelo foram maiores para o dióxido de enxofre nos lag 0 e 2 e para o material particulado no lag 1.

CONCLUSÕES: Modelagem *fuzzy* se mostrou acurada para a abordagem de efeitos da exposição aos poluentes e internação por pneumonia e asma.

DESCRITORES: Poluição do Ar, efeitos adversos. Asma, epidemiologia. Pneumonia, epidemiologia. Hospitalização. Lógica Fuzzy.

Correspondência:

Luiz Fernando Costa Nascimento
Av Tiradentes, 500 Bom Conselho
12030-180 Taubaté, SP, Brasil
E-mail: luiz.nascimento@pq.cnpq.br

Recebido: 25 jun 2015

Aprovado: 19 abr 2016

Como citar: Chaves LE, Nascimento LFC, Rizol PMSR. Modelo *fuzzy* para estimar o número de internações por asma e pneumonia sob os efeitos da poluição do ar. Rev Saude Publica. 2017;51:55.

Copyright: Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença de Atribuição Creative Commons, que permite uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que o autor e a fonte originais sejam creditados.



INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica é uma importante questão ambiental, dado seu impacto na saúde humana, principalmente nos sistemas cardiovascular e respiratório^{1,2}.

No Brasil, sobretudo em grandes centros urbanos, a exposição aos poluentes material particulado (PM₁₀), dióxido de enxofre (SO₂), ozônio (O₃), monóxido de carbono (CO) e óxidos de nitrogênio (NOx) está associada às internações por doenças respiratórias, como asma e pneumonia, pelo fácil alcance dos poluentes no trato respiratório^{3,16}.

Atualmente, esse problema se estende além dos grandes centros urbanos^{7,11} e está afetando também cidades de médio e pequeno porte^{1,6,8}. A exposição aos poluentes atmosféricos representa alto custo financeiro para a rede pública. Os custos das 900 mil internações por pneumonia e asma em 2011 foram da ordem de US\$350 milhões de dólares no Brasil, US\$70 milhões no estado de São Paulo, com 150 mil internações, e US\$800 mil no município de São José dos Campos com 1.900 internações⁴, representando um problema de saúde pública.

As técnicas estatísticas regressão logística e regressão de Poisson (Modelos Lineares Generalizados ou Modelos Aditivos Generalizados) costumam ser utilizadas para estimar a chance ou risco de internação ou óbito por doenças respiratórias⁹.

Uma nova forma de análise de dados epidemiológicos em saúde pública é a lógica *fuzzy*. A teoria de conjuntos *fuzzy* foi apresentada por Lotfi A. Zadeh²³, em 1965, e é capaz de trabalhar com o aspecto vago da informação, próprios dos pensamentos humanos e muito comuns na área médica, em que as descrições das doenças compreendem muitas vezes termos linguísticos que são inevitavelmente vagos, como a febre (alta ou baixa)¹⁵. Diferentemente da teoria de conjuntos clássicos, em que um elemento pertence ou não pertence a um conjunto, na teoria de conjuntos *fuzzy* um elemento pode pertencer a mais de um conjunto com graus de pertinência diferentes (variando entre zero e um). Esses conjuntos *fuzzy* são representados pela função de pertinência, cuja determinação depende da percepção individual do especialista e do dado em questão¹⁷.

A capacidade de lidar com termos linguísticos pode explicar o aumento do número de trabalhos aplicando a lógica *fuzzy* nos problemas de biomedicina. De fato, a teoria da lógica *fuzzy* tornou-se uma importante abordagem nos sistemas de diagnóstico, prognóstico, modelos de previsão, no tratamento médico por imagens e, mais recentemente, em epidemiologia e saúde pública^{13,15,17,18,20,22,23,b}.

O objetivo deste trabalho foi construir um modelo computacional utilizando a lógica *fuzzy* para estimar a influência da exposição a poluentes do ar no número de internações hospitalares por asma e pneumonia.

MÉTODOS

Trata-se de um modelo computacional utilizando a lógica *fuzzy* para estimar o número de internações por pneumonia e asma brônquica segundo as concentrações dos poluentes material particulado (PM₁₀), ozônio (O₃) e dióxido de enxofre (SO₂) e a temperatura aparente (TEMPap), calculada considerando-se temperatura ambiente e umidade relativa do ar².

Os dados dos poluentes ambientais e das variáveis climáticas deste estudo foram obtidos da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb), que conta com uma estação medidora no município de São José dos Campos. Os dados do número de internações por pneumonia e asma brônquica (CID10: J12 a J18 e J45) em indivíduos de todas as idades residentes na cidade de São José dos Campos, no período de 1/1/2007 a 31/12/2007, foram obtidos do Departamento de Informações e Informática do Sistema Único de Saúde (Datasus).

^a Ministério da Saúde (BR), Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde – Datasus. Brasília (DF); c2008 [citado 2012 ago 12]. Disponível em: <http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php>

^b Ortega NRS. Aplicação da Teoria dos Conjuntos Fuzzy a problemas de biomedicina [tese]. São Paulo (SP): Instituto de Física da Universidade de São Paulo; 2001.

Este estudo foi desenvolvido em São José dos Campos, uma cidade de médio porte do interior do estado de São Paulo, que possui importante parque industrial. Situa-se nas coordenadas 23°10'S e 45°52'O, no Alto Vale do Paraíba, a 600 m acima do nível do mar, tem clima úmido e tropical de altitude, localizando-se entre São Paulo e Rio de Janeiro – as duas maiores cidades do Brasil; é cortada pela Via Dutra, rodovia mais importante do país e que tem tráfego intenso de ônibus e caminhões. Sua população é estimada em torno de 650 mil habitantes.

O modelo foi desenvolvido com o auxílio de um especialista que elaborou duas funções de pertinência para as variáveis de entrada: PM₁₀ – boa e ruim; O₃ – boa e ruim; SO₂ – boa e ruim; e TEMPap – boa e ruim. Esses conjuntos *fuzzy* foram elaborados com base nos dados obtidos da Cetesb^c.

A variável de saída foi o número de internações por asma e pneumonia, com cinco funções de pertinência classificadas da seguinte forma: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto.

O modelo linguístico *fuzzy* é um sistema de inferência baseado em regras que utiliza a teoria dos conjuntos *fuzzy* para tratar o fenômeno. Sua estrutura inclui quatro componentes:

- O fuzificador, que transforma as entradas reais (também conhecida como *crisp*) em valores *fuzzy*;
- A base de regras, que define a conexão entre as entradas e as saídas do sistema. Uma regra *fuzzy* possui a seguinte forma: se antecedente, então consequente, em que o antecedente pode ser composto por um ou mais conjuntos *fuzzy* conectados por operadores *fuzzy*. E o consequente representa os valores *fuzzy* das variáveis de saída;
- O sistema de inferência, que avalia todas as regras, verifica quais foram ativadas (com grau de pertinência maior que zero) e combina os pesos dos consequentes de todas as regras ativadas em uma única saída (no caso deste trabalho foi utilizado o sistema de inferência Mamdani); e
- O defuzificador, que realiza o processo inverso do fuzificador, ou seja, transforma a saída *fuzzy* em um valor real (*crisp*)²¹.

Ao realizar a combinação de todas as possíveis entradas, foi possível a construção de 16 regras resultantes da combinação das quatro entradas com duas funções de pertinência cada uma (2×2×2×2), elaborada com auxílio do especialista. Exemplificando duas combinações, estas seriam:

SE PM₁₀ É BOA E O₃ É BOA E SO₂ É BOA E TEMPAP É BOA ENTÃO NÚMERO DE INTERNAÇÕES É MUITO BAIXO

SE PM₁₀ É RUIM E O₃ É RUIM E SO₂ É RUIM E TEMPAP É RUIM ENTÃO NÚMERO DE INTERNAÇÕES É MUITO ALTO

O número de internações do modelo linguístico *fuzzy* foi determinado pelo método de inferência (*fuzzy*) proposto por Mamdani²³, que consiste em calcular o mínimo (dos graus de ativação) dos antecedentes da regra e, posteriormente, a agregação do consequente da regra (operador máximo). Por fim, é realizada a defuzificação, baseada no método centro de área¹⁷.

Por meio de uma rotina (*toolbox fuzzy*) que faz parte do programa MATLAB^{®21}, obteve-se a saída numérica resultante do modelo *fuzzy*, fornecendo o número de internações para cada combinação de entrada do banco de dados. Após ser gerado o resultado do modelo, foi realizada a correlação de Pearson com os dados de internações reais, utilizando até dois dias de defasagem (*lag* 2), pois o efeito da exposição pode se manifestar no mesmo dia (*lag* 0) ou em dias posteriores. A acurácia, juntamente com seu intervalo de confiança de 95%, foi estimada utilizando-se a curva ROC.

Por se tratar de dados não identificados e disponíveis na rede, foi dispensada a submissão ao Comitê de Ética em Pesquisa.

^c CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Sistema Qualar. São Paulo; [citado 20 mar 2017]. Disponível em: <http://ar.cetesb.sp.gov.br/qualar/>

RESULTADOS

No período estudado, 1/1/2007 a 31/12/2007, foram registradas 1.710 interações segundo o Datasus^a.

A Tabela 1 apresenta valores médios, desvios-padrão, valor mínimo e máximo das variáveis PM_{10} , O_3 , SO_2 , $TEMPap$ e número de interações.

O ozônio ultrapassou em 12 ocasiões o valor adotado pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama)^d. O material particulado e o dióxido de enxofre não ultrapassaram esses limites.

As funções de pertinências das variáveis de entrada: PM_{10} ; O_3 ; SO_2 e $TEMPap$ são apresentadas na Figura 1 (A-D). A variável de saída: número de interações por asma e pneumonia com cinco funções de pertinência é apresentada na Figura 2.

Os resultados obtidos por meio da curva ROC são apresentados na Tabela 2. O melhor resultado foi obtido para a defasagem de zero dia (*lag 0*), sendo o PM_{10} e o SO_2 aqueles que mostraram melhores desempenhos evidentes pela curva ROC, com valores estatisticamente significativos.

Tabela 1. Valores das médias, desvio padrão (DP), mínimos e máximos das variáveis material particulado (PM_{10}), ozônio (O_3), dióxido de enxofre (SO_2), temperatura aparente ($TEMPap$) e número de interações (NINTER). São José dos Campos, SP, Brasil, 2007.

Variáveis de entrada/saída	Média	DP	Mínimo	Máximo
PM_{10} ($\mu g/m^3$)	26,0	11,3	8,0	89,0
O_3 ($\mu g/m^3$)	91,0	67,9	17,0	162,0
SO_2 ($\mu g/m^3$)	3,8	3,3	0,9	27,0
$TEMPap$ ($^{\circ}C$)	17,9	0,9	5,7	20,2
NINTER	4,9	2,9	0	16,0

^dMinistério do Meio Ambiente (BR). Resolução Conama n° 003, de 28 de junho de 1990. *Diário Oficial Uniao*. 22 ago 1990 [citado 2012 ago 10]; Seção 1:15937-9. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0390.html>

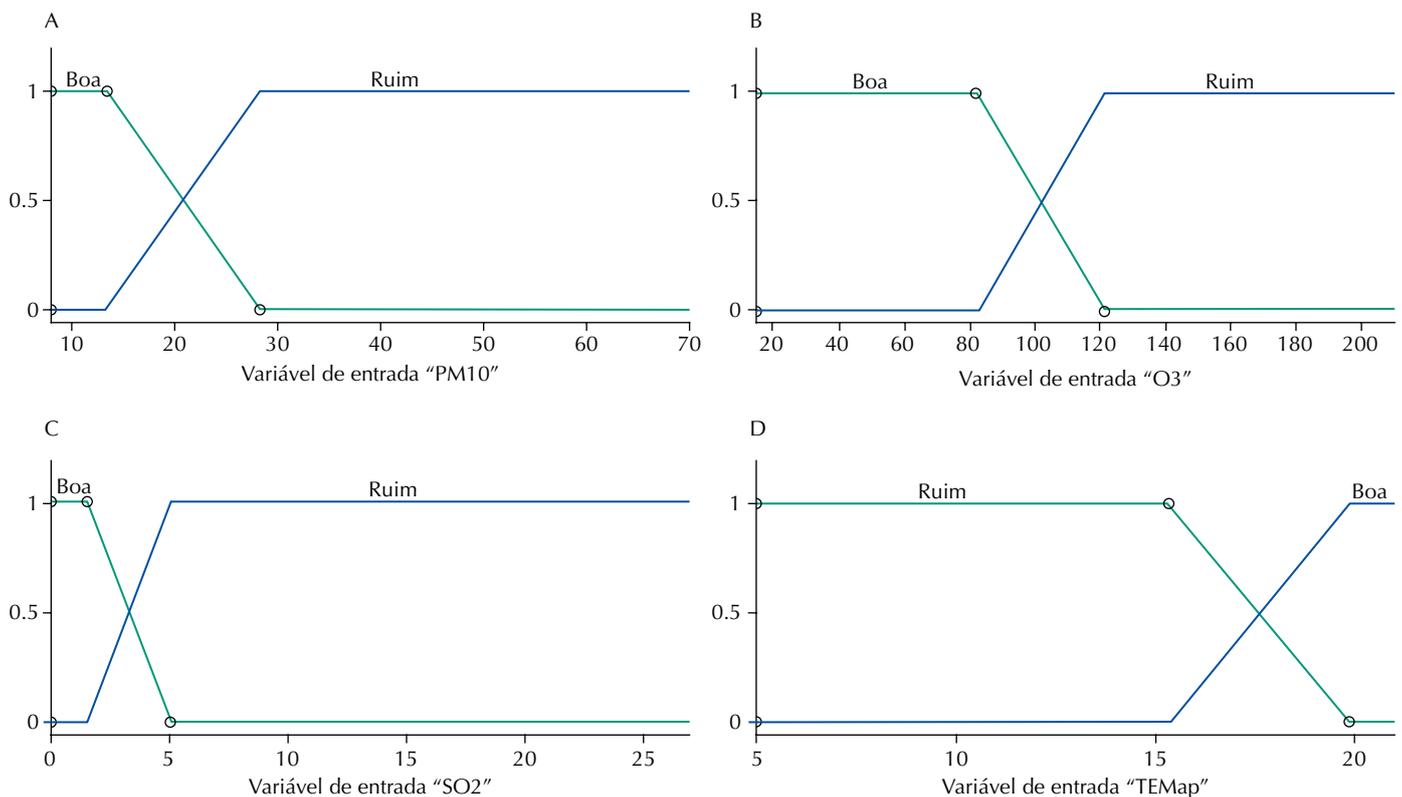


Figura 1. Função de pertinência de entrada: (A) material particulado (PM_{10}), (B) ozônio (O_3), (C) dióxido de enxofre (SO_2) e (D) temperatura aparente ($TEMPap$), do modelo *fuzzy* para estimação do número de interações na cidade de São José dos Campos, SP, Brasil, 2007.

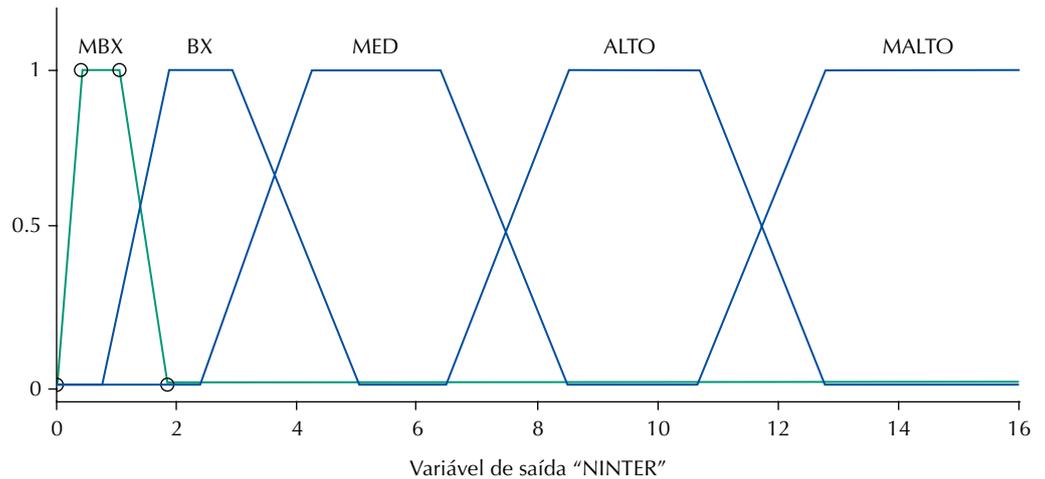


Figura 2. Funções de pertinência de saída (número de internações) muito baixo (MBX), baixo (BX), médio (MED), alto (ALTO) e muito-alto (MALTO) para o modelo *fuzzy* na cidade de São José dos Campos, SP, Brasil, 2007.

Tabela 2. Valores de curva Roc para *lag* 0, *lag* 1 e *lag* 2 dos poluentes PM_{10} , O_3 e SO_2 , segundo tipo de saída, número de internações até 2. São José dos Campos, SP, Brasil, 2007.

Variável de entrada	Lag 0 (IC95%)	Lag 1 (IC95%)	Lag 2 (IC95%)
PM_{10}	0,92 (0,88–0,96)	0,75 (0,64–0,85)	0,71 (0,60–0,81)
O_3	0,87 (0,82–0,92)	0,64 (0,52–0,76)	0,62 (0,51–0,73)
SO_2	0,95 (0,92–0,97)	0,73 (0,63–0,82)	0,79 (0,72–0,87)

A correlação de Pearson entre a saída do modelo *fuzzy* e os dados reais foram de 0,38 para *lag* 0; 0,36 para *lag* 1 e 0,30 para *lag* 2 ($p < 0,01$); mesmo não sendo valores elevados, foram significativos.

DISCUSSÃO

Este artigo apresenta a construção de um modelo computacional, utilizando a lógica *fuzzy* para estimar o número de internações por asma e pneumonia associado aos poluentes do ar em uma cidade industrial de médio porte. Os resultados mostraram boa acurácia para a predição do número de internações quando a exposição ocorreu no mesmo dia e até dois dias depois. Adicionalmente, exibiram o efeito agudo da exposição aos poluentes nas internações hospitalares.

No estudo aqui apresentado observou-se uma concentração de PM_{10} de no máximo $89 \mu\text{g}/\text{m}^3$, nível inferior ao padrão de qualidade do ar preconizado pela Cetesb^c, que é de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Segundo a Cetesb, índices entre 51 e $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} classificam o ar com qualidade moderada e pode causar sintomas como tosse seca e cansaço em indivíduos com doenças respiratórias.

No estudo realizado por Arbex et al.², o PM_{10} pode levar a irritação das vias aéreas, inflamação, aumento da reatividade brônquica e diminuição da atividade muco ciliar, tendo como consequências aumento das crises asmáticas e das infecções respiratórias.

Na pesquisa realizada por Gouveia et al.¹² na cidade de São Paulo, SP, o PM_{10} apresentou média de $54,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valor bem superior à média deste estudo, que foi $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Observou-se que, com aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração do material particulado, ocorreu aumento de aproximadamente 5% no número de internações por asma em crianças. Da mesma forma, Nascimento et al.¹⁶ observaram que, com aumento de $24,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração média de PM_{10} , houve acréscimo de 9,8% nas internações por pneumonia em crianças na cidade de São José dos Campos, com média da concentração do PM_{10} de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

No estudo realizado com dados de 2004 e 2005 na mesma cidade¹, a média ficou em 25,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, valor próximo ao encontrado neste estudo, e associou-se a exposição ao PM_{10} às internações por asma.

Quanto ao O_3 , o valor médio encontrado neste estudo ficou em 91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante o período de 2007, valor próximo ao encontrado por Amâncio e Nascimento¹ em São José dos Campos com uma média de 74,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, por Gouveia et al.¹², com média de 71,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, e maior do que observado por Negrisoli e Nascimento¹⁹, com média de 37,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. O O_3 ultrapassou por 12 dias os valores de níveis aceitáveis (até 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) pelo Conama^d. No relatório da Cetesb^c, os valores inadequados para o O_3 situam-se entre 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e podem causar agravos aos sintomas de asma em crianças com doença respiratória. Já na população em geral, podem levar aos seguintes sintomas: tosse seca, cansaço e ardor no nariz, garganta e olhos. A concentração de O_3 teve um crescimento significativo no último ano no município de São José dos Campos conforme o último relatório da Cetesb^c.

A concentração de SO_2 apresentou uma média de 3,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, que está dentro dos valores toleráveis pela Organização Mundial da Saúde (OMS), que aceita nível de exposição máxima de até 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por 24 horas. Esse valor foi semelhante ao encontrado previamente (4,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) na mesma cidade¹, com dados coletados entre 2004 e 2005, e de outro estudo, também em São José dos Campos, com média de 6,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, com dados de 2000 e 2001¹⁶.

Em pesquisa realizada no município de São Paulo, Gouveia e Fletcher¹⁰ encontraram uma média de concentração de SO_2 de 17,71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o que difere do valor encontrado neste estudo. Essa diferença pode ser explicada pela maior frota de veículos em São Paulo, uma das principais fontes desse poluente.

Os poluentes citados neste artigo e suas magnitudes estão descritos em artigos nacionais sobre o assunto¹⁻⁷ e é importante ressaltar que os dados das internações são referentes a hospitalizações ocorridas na rede pública de saúde. Mesmo em concentrações consideradas seguras, os poluentes podem causar efeitos adversos à saúde, principalmente sobre os sistemas cardiovasculares e respiratórios.

Este estudo se diferencia de outros que estimam os riscos ou chances de ocorrerem internações por exposição aos poluentes do ar utilizando regressão logística, estudos retrospectivos ou regressão de Poisson^{1,3,5,6}. Em relação a esses modelos, a lógica *fuzzy* possui a vantagem de lidar com a incerteza das informações, presentes nos significados das palavras, facilitando o diálogo entre os profissionais da área da saúde e de especialistas computacionais.

O modelo *fuzzy* mostrou um nível muito satisfatório ao associar a exposição a poluentes com o número de internações quando comparado com as saídas reais, com correlação de Pearson de 0,38. Essa metodologia foi utilizada recentemente no mesmo município analisando o tempo médio de internações decorrentes de pneumonia¹⁸. E também constam, na literatura nacional, artigos com aplicação *fuzzy* em estabelecimento do risco de morte neonatal^{15,17} e previsão de reanimação neonatal²⁰.

Em estudos epidemiológicos, é comum encontrar associação entre as concentrações de poluentes do ar com os efeitos na saúde no dia seguinte, após dois dias ou até mesmo após uma semana. Os pesquisadores geralmente ajustam o modelo para diferentes arranjos do mesmo banco de dados com defasagens (*lags*). Em estudos de séries temporais, defasagens de um a sete dias são frequentemente aplicadas^{4,14}.

Os dados obtidos pela curva ROC do modelo (Tabela 2) mostraram excelente acurácia e o PM_{10} , O_3 e o SO_2 obtiveram um bom desempenho para a defasagem zero, o que permite a obtenção de previsão dos efeitos desses poluentes no mesmo dia em que ocorre exposição aos mesmos. O melhor resultado foi para o poluente SO_2 na defasagem zero, com ótima acurácia e área sob a curva de 95%. Dessa forma, pode-se concluir que quanto maiores as concentrações de PM_{10} e SO_2 na atmosfera, maior será o número de internações de pacientes com asma e pneumonia.

Os dados reais do número de internações variaram de zero a 16 e os obtidos pelo modelo *fuzzy* variaram de 0,7 a 13,9. Essa diferença entre os mínimos e máximos se deve ao método de defuzzificação do sistema de inferência *fuzzy*, em que o resultado final é obtido pelo cálculo do centro de área. Portanto, seria matematicamente difícil obter o centro de área próximo dos extremos do universo de discurso da variável de saída.

Para aperfeiçoamento do modelo, pode-se incluir maior número de funções de pertinência nas variáveis de entrada, o que acarretaria um maior número de regras; ou usar diferentes formatos de funções de pertinência, como gaussiana ou triangulares. As concentrações dos poluentes são consideradas homogêneas para a implementação dessa abordagem, o que pode ser considerada uma limitação, visto que as concentrações em outras regiões da mesma cidade podem diferir daquelas registradas próximas à estação de monitoramento.

Este trabalho apresenta uma ferramenta de baixo custo financeiro e pode ser apresentada em um programa computacional específico (sistema especialista) para esta finalidade, não necessitando da opinião de especialistas. O modelo pode ser implementado em sistemas de saúde pública e pode servir como um importante instrumento para prevenção e tomada de decisões quanto às variações do nível de poluentes. Também poderá ser aplicado em quaisquer localidades onde existam dados disponíveis de poluentes e das condições climáticas.

REFERÊNCIAS

1. Amâncio CT, Nascimento LFC. Asma e poluentes ambientais: um estudo de séries temporais. *Rev Assoc Med Bras*. 2012;58(3):302-7. <https://doi.org/10.1590/s0104-42302012000300009>.
2. Arbex MA, Cançado JED, Pereira LAA, Braga ALF, Saldiva PHN. Queima de biomassa e efeitos sobre a saúde. *J Bras Pneumol*. 2004;30(2):158-75. <https://doi.org/10.1590/s1806-37132004000200015>.
3. Arbex MA, Santos UP, Martins LC, Saldiva PHN, Pereira LAA, Braga ALF. A poluição do ar e o sistema respiratório. *J Bras Pneumol*. 2012;38(5):643-55. <https://doi.org/10.1590/s1806-37132012000500015>.
4. Bakonyi SMC, Danni-Oliveira IM, Martins LC, Braga ALF. Poluição atmosférica e doenças respiratórias em crianças na cidade de Curitiba, PR. *Rev Saude Publica*. 2004;38(5):695-700. <https://doi.org/10.1590/s0034-89102004000500012>.
5. Barnett AG, Tong S, Clements ACA. What measure of temperature is the best predictor of mortality? *Environ Res*. 2010;110(6):604-11. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2010.05.006>.
6. Bueno FF, Fonseca AR, Braga FA, Miranda PSC. Qualidade do ar e internações por doenças respiratórias em crianças no município de Divinópolis, Estado de Minas Gerais. *Acta Sci Health Sci*. 2010;32(2):185-9. <https://doi.org/10.4025/actascihealthsci.v32i2.7344>.
7. Cançado JED, Braga A, Pereira LAA, Arbex MA, Saldiva PHN, Santos UP. Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica. *J Bras Pneumol*. 2006;32 Suppl2:S5-11. <https://doi.org/10.1590/S1806-37132006000800003>.
8. Carmo CN, Hacon S, Longo KM, Freitas S, Ignotti E, Ponce de Leon A, Artaxo P. Associação entre material particulado de queimadas e doenças respiratórias na região sul da Amazônia brasileira. *Rev Panam Salud Publica*. 2010;27(1):10-6. <https://doi.org/10.1590/s1020-49892010000100002>.
9. Duan Z, Han X, Bai Z, Yuan Y. Fine particulate air pollution an hospitalization for pneumonia: a case-crossover study in Shijiazhuang, China. *Air Qual Atmos Health*. 2016;9(7):1-11. <https://doi.org/10.1007/s11869-015-0383-y>.
10. Gouveia N, Fletcher T. Respiratory diseases in children and outdoor air pollution in São Paulo, Brazil: a time series analysis. *Occup Environ Med*. 2000;57(7):477-83. <https://doi.org/10.1136/oem.57.7.477>.
11. Gouveia N, Mendonça GAS, Ponce-de-Leon A, Correia JEM, Junger WL, Freitas CU, et al. Poluição do ar e efeitos na saúde nas populações de duas grandes metrópoles brasileiras. *Epidemiol Serv Saude*. 2003;12(1):29-40. <https://doi.org/10.5123/s1679-49742003000100004>.
12. Gouveia N, Freitas CU, Martins LC, Marcílio IO. Hospitalizações por causas respiratórias e cardiovasculares associadas à contaminação atmosférica no município de São Paulo, Brasil. *Cad Saude Publica*. 2006;22(12):2669-77. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2006001200016>.

13. Jensen R, Lopes MHBM, Silveira PSP, Ortega NRS. Desenvolvimento e avaliação de um software que verifica a acurácia diagnóstica. *Rev Esc Enferm USP*. 2012;46(1):184-91. <https://doi.org/10.1590/S0080-62342012000100025>.
14. Martins MCH, Fatigati FL, Véspoli TC, Martins LC, Pereira LAA, Martins MA, et al. Influence of socioeconomic conditions on air pollution adverse health in elderly people: an analysis of six regions in São Paulo, Brazil. *J Epidemiol Community Health*. 2004;58(1):41-6. <https://doi.org/10.1136/jech.58.1.41>.
15. Nascimento LFC, Ortega NRS. Fuzzy linguistic model for evaluating the risk of neonatal death. *Rev Saude Publica*. 2002;36(6):686-92. <https://doi.org/10.1590/s0034-89102002000700005>.
16. Nascimento LFC, Pereira LAA, Braga ALF, Módolo MCC, Carvalho Jr JA. Efeitos da poluição atmosférica na saúde infantil em São José dos Campos, SP. *Rev Saude Publica*. 2006;40(1):77-82. <https://doi.org/10.1590/s0034-89102006000100013>.
17. Nascimento LFC, Rizol PMSR, Abiuzi LB. Establishing the risk of neonatal mortality using a fuzzy predictive model. *Cad Saude Publica*. 2009;25(9):2043-52. <https://doi.org/10.1590/s0102-311x2009000900018>.
18. Nascimento LFC, Rizol PMSR, Peneluppi AP. Estimating the average length of hospitalization due to pneumonia: a fuzzy approach. *Braz J Med Biol Res*. 2014;47(11):977-81. <https://doi.org/10.1590/1414-431x20143640>.
19. Negrisoni J, Nascimento LFC. Atmospheric pollutants and hospital admissions due to pneumonia in children. *Rev Paul Pediatr*. 2013;31(4):501-6. <https://doi.org/10.1590/s0103-05822013000400013>.
20. Reis MAM, Ortega NRS, Silveira PSP. Fuzzy expert system in the prediction of neonatal resuscitation. *Braz J Med Biol Res*. 2004;37(5):755-64. <https://doi.org/10.1590/s0100-879x2004000500018>.
21. Sivanandam SN, Sumathi S, Deepa SN. Introduction to fuzzy logic using MATLAB. Berlin: Springer; 2007.
22. Sousa CA, Duarte PS, Pereira JCR. Lógica fuzzy e regressão logística na decisão para prática de cintilografia das paratiróides. *Rev Saude Publica*. 2006;40(5):898-906. <https://doi.org/10.1590/s0034-89102006000600021>.
23. Zadeh LA. Fuzzy sets: information and control. New York: Academic Press; 1965. p.338-53.

Financiamento: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq – Bolsa de Produtividade em Pesquisa para Nascimento LFC – Processo 308297/2011-3).

Contribuição dos Autores: Todos os autores contribuíram igualmente para elaboração deste artigo.

Conflito de Interesses: Os autores declaram não haver conflito de interesses.