

## **QUEIMA DE BIOMASSA E DOENÇAS RESPIRATÓRIAS NA REGIÃO AMAZÔNICA: UMA APLICAÇÃO DE MODELOS ADITIVOS GENERALIZADOS**

**Cleber Nascimento do Carmo, Sandra Hacon, Dennys Mourão, Fábio Louzano**

Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz  
Rua Leopoldo Bulhões, 1480 – Rio de Janeiro, RJ  
cleber@fiocruz.br

**Karla Longo, Saulo Freitas**

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Instituto de Pesquisas Espaciais  
Rua dos Astronautas, 1758 – São José dos Campos, SP

**Paulo Artaxo**

Instituto de Física, Universidade de São Paulo  
Rua do Matão, Travessa R 187 – São Paulo, SP

### **RESUMO**

Este artigo apresenta uma análise estatística dos efeitos das queimadas florestais na saúde humana em região do arco do desmatamento, local de maior ocorrência de queimadas florestais na Amazônia Brasileira. Neste trabalho, regressões de Poisson via modelos aditivos generalizados foram utilizados para analisar a associação entre níveis diários de material particulado fino e de monóxido de carbono oriundos de queimadas e a demanda diária de internações por doenças do aparelho respiratório de crianças e de idosos. Foram encontradas associações estatisticamente significativas entre aumentos nos níveis dos poluentes atmosféricos e aumentos nas hospitalizações por causas respiratórias em idosos, mesmo após ajuste por tendências de longo prazo, sazonalidade, dia da semana, feriados, temperatura, umidade e pluviosidade. Conclui-se que os níveis de poluição atmosférica devido às queimadas no município de Alta Floresta, região do arco do desmatamento, são suficientes para causar agravos à saúde da população.

**PALAVRAS CHAVE. Séries temporais, Epidemiologia, Poluição atmosférica.**

### **ABSTRACT**

This paper presents a statistical analysis of forest burning effects on human health in a region of arc of deforestation, site of greatest occurrence of forest burning in Brazilian Amazon. In this work, poisson regressions via generalized additive models were used to study the association between fine particulate matter and carbon monoxide from biomass burning and daily demand of hospital admissions by respiratory tract diseases of children and elderly. Statistically significant associations between air pollution levels and increases in hospital admissions for respiratory causes for the elderly were found. These associations remained after adjustment for long term trends, seasonality, temperature, humidity and precipitation. The current air pollution levels in Alta Floresta municipality, region of arc of deforestation, are capable of producing harmful effects on human health.

**KEYWORDS. Time Series, Epidemiology, Air pollution.**

## 1. Introdução

Estudos desenvolvidos recentemente em grandes cidades do mundo têm mostrado evidências da associação entre poluição atmosférica e episódios de mortalidade e morbidade por doenças respiratórias. Do ponto de vista estatístico, a avaliação de tais associações é feita por meio da construção de modelos em que a variável resposta é uma contagem epidemiológica e a magnitude da exposição é usada como variável regressora, junto a outras variáveis de controle.

Em uma vasta região no Brasil Central e Amazônia observa-se um aumento na concentração de gases e partículas de aerossol na atmosfera durante a estação seca, tipicamente compreendida durante os meses de junho a novembro. A emissão continuada ao longo de vários meses, coincidente com a redução nas chuvas e alta subsidência atmosférica, favorece a manutenção das altas concentrações de poluentes atmosféricos numa escala regional e, como consequência disso, é levantada a hipótese de que a poluição atmosférica gerada pelo processo das queimadas cause efeitos à saúde dos indivíduos residentes naquela região.

Diferentemente do que acontece nos centros urbanos, onde a poluição do ar se caracteriza por uma exposição crônica e por um longo período de tempo, no caso das queimadas se verifica uma exposição contínua por um período de relativa curta duração de, em média, 3-6 meses, porém com picos agudos de exposição associadas às plumas isoladas de fumaça.

Uma queimada é um processo de combustão de biomassa que produz primariamente água e dióxido de carbono. Além desses elementos, também são produzidas outras espécies químicas, tais como monóxido de carbono (CO), óxidos nitrosos (NOx), hidrocarbonetos e partículas de aerossóis. As altas temperaturas envolvidas na fase de chamas da combustão favorecem o movimento ascendente da fumaça e o seu transporte para regiões distantes da fonte rapidamente em comparação às emissões urbanas. Entretanto, populações próximas destas fontes podem ser expostas, ainda que por um período curto, a altíssimas concentrações de poluentes.

As queimadas são praticadas para fins diversos na agropecuária, desmatamentos para retirada de madeira e no preparo do corte manual em plantações de cana-de-açúcar. As emissões de partículas de aerossóis decorrentes das queimadas contribuem de forma significativa para alteração da composição química da atmosfera amazônica, com implicações importantes em nível local, regional e global, com valores que chegam a ultrapassar limites observados em muitos centros urbanos (Artaxo et al., 2002).

Na região Amazônica existem municípios que são considerados locais de risco potencial para a ocorrência de queimadas, pois são áreas que historicamente foram pólos de colonização com intensa atividade de extração de madeira, pecuária e agricultura de subsistência. Dentro deste cenário, considerando a particularidade do processo de ocupação, o município de Alta Floresta (MT), situado no arco do desmatamento, região da Amazônia Legal, que até a década de 1970 tinha sua superfície revestida de mata original e que hoje se encontra praticamente desmatado, constitui uma área de relevante importância para estudos do impacto das queimadas na saúde humana.

O presente estudo faz parte do Projeto “Integração de abordagens do ambiente, uso da terra e dinâmica social na Amazônia: as relações homem, ambiente e o desafio da sustentabilidade – Milênio/LBA2” do Instituto do Milênio, e propõe-se a estimar o impacto da exposição à fumaça emitida por queimadas sobre a demanda por internações por doenças respiratórias de crianças menores de 10 anos e idosos com mais de 64 anos.

## 2. Material e Métodos

O município de Alta Floresta localiza-se no extremo norte do estado do Mato Grosso e sul da Amazônia Brasileira, a 830 km de Cuiabá, a capital do estado. Possui uma população de 51.136 habitantes, tendo 9% e 5% desse contingente formado por crianças e idosos, respectivamente. Possui um índice de desenvolvimento humano municipal (IDH-M) de 0,779, valor similar à média estadual (0,7) e um pouco acima da média nacional (0,766) (Figura 1).

Conta com 1 hospital geral, 87 leitos hospitalares conveniados ao SUS (um leito para cada 565 habitantes) e 13 unidades básicas de saúde (UBS), 11 delas do PSF (cobrindo 64% da população). Este município vem sendo estudado desde 1992 através do Experimento de Grande Escala da Biosfera e Atmosfera da Amazônia (LBA) pelo Grupo de Estudos de Poluição do Ar (GEPA) do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IF-USP) e seu nível de desmatamento e queimadas monitorado pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE).

O estudo foi realizado com concentrações diárias de material particulado fino (PM<sub>2.5</sub>) e de monóxido de carbono (CO) relativos a dois períodos de seca no município, compreendendo o período de 1º de junho a 30 de novembro dos anos de 2004 e de 2005. A escolha por trabalhar apenas com os períodos de seca se deve ao fato de a região apresentar duas estações distintas durante o ano: uma estação chuvosa e uma estação seca, onde a baixa pluviosidade faz com que aumente o número de focos de queimadas na região e, conseqüente aumento nos níveis de poluentes atmosféricos. Os dados de internações hospitalares por causas respiratórias foram obtidos de bancos de dados informatizados do Ministério da Saúde, através de Autorizações de Internações Hospitalares (AIH) do Sistema Único de Saúde (SUS). As informações meteorológicas (temperatura, umidade relativa do ar e precipitação) foram obtidas no sítio do CPTEC/INPE.

A variável resposta em análise é o número de internações por dia, por causas respiratórias - que assume valores baixos devido ao tamanho da população da localidade e, desta forma, a hipótese de normalidade da variável dependente é desrespeitada, tornando o modelo de regressão múltipla inadequado. Uma alternativa é a utilização de modelos que não sigam hipóteses tão rígidas acerca do comportamento da variável resposta.

Embora os modelos lineares generalizados permitam contornar o problema de não normalidade da variável resposta, estes não suportam que se analise conjuntamente uma estrutura que contenha covariáveis defasadas no tempo e variáveis explicativas que não impactam a resposta média de forma linear. O uso de modelos estatísticos com defasagens é justificado pela hipótese de que muitos eventos que afetam a saúde humana persistem ao longo do tempo. Ainda, que algumas das variáveis utilizadas como regressoras nas aplicações não tenham uma influência linear na resposta média, se torna necessário o uso de métodos que suportem esta estrutura, como é o caso da classe de modelos aditivos generalizados (MAG) (Hastie e Tibshirani, 1990).

Nesta classe de modelos são calculadas funções não específicas, estimadas por procedimentos iterativos. De forma geral, buscam-se funções que suavizem o diagrama de dispersão das variáveis X versus Y. A técnica de estimação pode ser aplicada a qualquer modelo de regressão baseado em verossimilhança, muitos dos quais pertencem à classe dos modelos lineares generalizados. Neste estudo, em particular, as funções não-paramétricas utilizadas para suavização são as *splines*.

Os modelos apresentados neste trabalho têm a seguinte estrutura:

$$\begin{aligned}
 & Internacoes_t \sim Poisson(\mu) \\
 & \log(\mu_t) = \gamma + s(temperatura) + s(umidade) + \phi_{VC} VC_t \\
 & \quad + \beta_0 Poluente_t + \beta_1 Poluente_{t-1} + \dots + \beta_q Poluente_{t-q}, \\
 & t = 1, \dots, T,
 \end{aligned}$$

onde  $\gamma$  é um nível, VC são variáveis de controle (precipitação, variáveis indicadoras de dias da semana e de feriados), a temperatura e a umidade relativa do ar são estimadas através de uma *spline* e  $Poluente_{t-q}$ ,  $q = 0, \dots, 7$  é o poluente (PM<sub>2.5</sub> ou CO) e suas defasagens até 7 dias. Os  $\beta$ 's sofreram restrições polinomiais para contornar problemas como, por exemplo, dependência

temporal. Eles foram reescritos sob a forma  $\beta_j = \sum_{k=0}^d \rho_k j^k$ , para  $j = 0, \dots, q$ , onde  $q$  é o número máximo de defasagens e  $d$  é o grau do polinômio. (Almon, 1965).

Os efeitos estimados são riscos relativos (RR) correspondentes a aumentos de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  na exposição ao  $\text{PM}_{2.5}$  e a aumentos de 1 ppm na exposição ao CO. Para uma melhor interpretação dos resultados, os RR foram convertidos para aumentos percentuais. Em todas as análises, o nível de significância de 5% foi adotado. Cabe ressaltar que os modelos foram computados utilizando-se o programa estatístico R, versão 2.7.

### 3. Resultados

Durante os anos de 2004 e 2005, foram realizadas 494 admissões hospitalares de crianças (39% do total de internações no período) e 159 de idosos (22% do total de internações) por todas as causas respiratórias nas unidades de saúde do município de Alta Floresta, o que representou o primeiro e segundo motivo de internação com 39% e 22% do total de internações, respectivamente. A Tabela 1 mostra as estatísticas descritivas das variáveis no período do estudo. A média diária de internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças foi 5.8 vezes maior que para os idosos. A Tabela 2 apresenta a análise descritiva dos poluentes analisados, medidos durante todo o período do estudo e nos períodos em que há predominância (seca) e não predominância de queimadas (chuvas). Verificou-se que, durante o período de prática de queimadas, as concentrações médias dos poluentes estiveram bem superiores aos limites de exposição diários considerados aceitáveis pela Organização Mundial de Saúde, que é de 25  $\text{mg}/\text{m}^3$  para o material particulado fino e de 9 ppm para monóxido de carbono.

Tabela 1: Estatísticas descritivas das admissões hospitalares por doenças respiratórias em crianças e em idosos e variáveis meteorológicas durante o período de queimadas, Alta Floresta (MT), Brasil, 2004-2005.

	Total	Média diária	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
<b>Admissões hospitalares</b>					
Crianças	494	2,3	2,7	0	4
Idosos	159	0,4	0,7	0	2
<b>Variáveis meteorológicas</b>					
Temperatura (C°)		26,8	4,4	0,0	36,3
Umidade Relativa (%)		68,0	16,7	0,0	98,1
Precipitação (mm)		7,1	15,9	0,0	113,0

Fonte: Ministério da Saúde, CPTEC/INPE.

Tabela 2: Estatísticas descritivas dos poluentes CO e PM<sub>2,5</sub> no período integral e durante o período de queimadas, Alta Floresta (MT), Brasil, 2004-2005.

	Período Completo				Período de queimadas			Período sem queimadas				
	Mín	Média diária	Desvio padrão	Máx	Mín	Média diária	Desvio padrão	Máx	Mín	Média diária	Desvio padrão	Máx
CO (1000 µg/m <sup>3</sup> )	0,0	0,13	0,18	1,13	0,0	0,24	0,19	1,13	0,0	0,02	0,18	0,04
PM <sub>2,5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	0,1	22,8	33,2	257,4	0,1	41,9	36,6	257,4	0,1	2,5	3	15,9

Fonte: CPTEC/INPE.

A representação gráfica das estimativas de incremento percentual (com intervalos de confiança de 95%) nas internações hospitalares por doenças respiratórias, devido ao aumento de 10 µg/m<sup>3</sup> na concentração de PM<sub>2,5</sub> e de 1 ppm na concentração de CO no município de Alta Floresta são exibidas nos gráficos 1 e 2. Variações diárias de concentração de PM<sub>2,5</sub> estiveram estatisticamente associadas com o aumento na demanda diária de internações de idosos, mesmo após controle de efeitos de confundimento. Foram encontradas associações significativas no quinto e sexto dia após a exposição ao PM<sub>2,5</sub>, com aumentos de 2,95% e 3,20% no número de admissões hospitalares de idosos, respectivamente. Em relação ao CO, foram verificados efeitos significativos também no quinto e sexto dias após a exposição, porém com menor magnitude de exposição. Aumentos de 1 ppm nos níveis diários de CO estiveram associados com incrementos de 0,6% e 0,7% nesses dias.

Nenhuma associação foi evidenciada para a demanda diária de admissões hospitalares de crianças.

Gráfico 1: Incremento percentual e intervalos de confiança nas internações hospitalares por doenças respiratórias de crianças e de idosos para o aumento de 10 µg/m<sup>3</sup> na concentração do PM<sub>2,5</sub>, durante períodos de queimadas, Alta Floresta (MT), Brasil, 2004-2005.

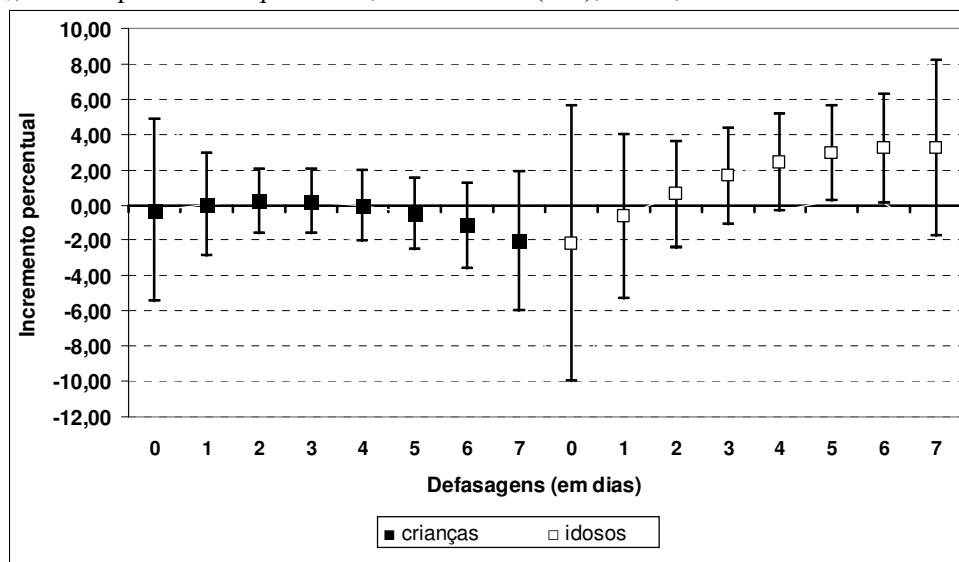
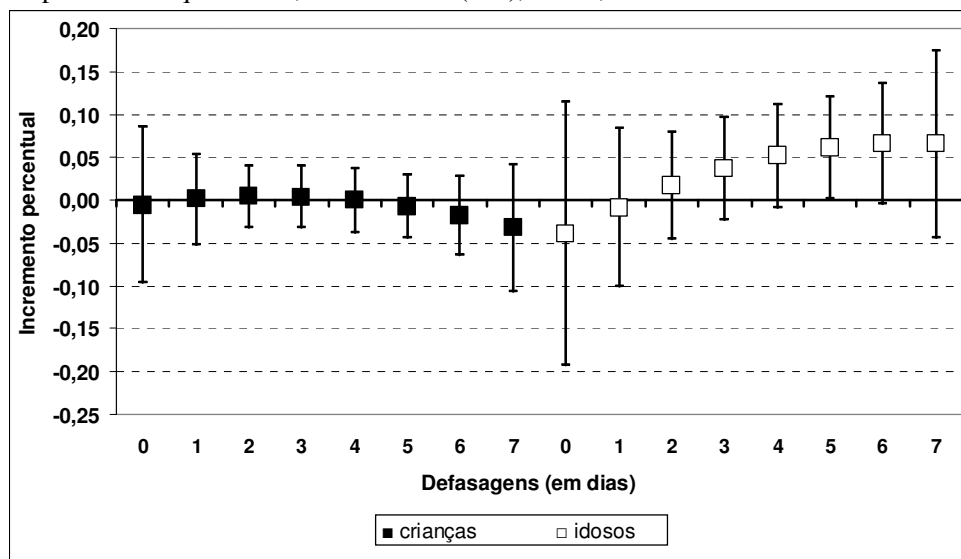


Gráfico 2: Incremento percentual e intervalos de confiança nas internações hospitalares por doenças respiratórias de crianças e de idosos para o aumento de 1 ppm na concentração do CO<sub>2</sub>, durante períodos de queimadas, Alta Floresta (MT), Brasil, 2004-2005.



#### 4. Conclusões

Este estudo evidenciou que a exposição à fumaça das queimadas está associada ao aumento da demanda por admissões hospitalares por doenças respiratórias em idosos residentes no município de Alta Floresta, região do arco do desmatamento, Amazônia Brasileira.

Os resultados encontrados estão de acordo com a literatura (Cançado et al., 2006; Arbex et al., 2007). Apesar dos pequenos valores percentuais de incremento no número diário de internações hospitalares encontrados, o impacto da exposição à poluição das queimadas é substancial, quando se considera o contingente populacional sob exposição. Espera-se que os resultados aqui apresentados possam servir como ferramentas para um melhor entendimento do impacto da poluição atmosférica por queima de biomassa na saúde das pessoas residentes, em particular das crianças e idosos, em área da Amazônia Brasileira.

#### 5. Referências bibliográficas

Almon, S. (1965). The Distributed Lag between Capital Appropriations and expenditures. *Econometrica*, 33:178-196.

Arbex MA, Martins LC, Oliveira RC, Pereira LA, Arbex FF, Cançado JE, et al. (2007). Air pollution from biomass burning and asthma hospital admissions in a sugar cane plantation area in Brazil. *J Epidemiol Community Health*;61:395-400.

Artaxo P, Martins JV, Yamasoe MA, Procópio AS, Pauliquevis TM, Andreae MO, et al. (2002) Physical and chemical properties of aerosols in the wet and dry seasons in Rondônia, Amazonia. *J. Geophys. Res.*;107(D20):8081.

Cançado JED, Saldiva PHN, Pereira LAA, Lara L, Artaxo P, Martinelli LA, et al. (2006). The impact of sugar cane-burning emissions on the respiratory system of children and the elderly. *Environ Health Perspect.*;114:725-729.

Hastie T, Tibshirani R. *Generalized additive models*. London: Chapman and Hall; 1990.