

***“Quantificação dos efeitos na saúde da exposição à queima de biomassa:
uma contribuição ao entendimento dos efeitos da exposição ao material
particulado (PM_{2.5}) em grupos populacionais sensíveis na Amazônia
legal”***

por

Ageo Mario Cândido da Silva

*Tese apresentada com vistas à obtenção do título de Doutor em Ciências
na área de Saúde Pública e Meio Ambiente.*

Orientadora principal: Prof.^a Dr.^a Sandra de Souza Hacon

Segunda orientadora: Prof.^a Dr.^a Inês Echenique Mattos

Rio de Janeiro, junho de 2010.

Esta tese, intitulada

“Quantificação dos efeitos na saúde da exposição à queima de biomassa: uma contribuição ao entendimento dos efeitos da exposição ao material particulado (PM_{2.5}) em grupos populacionais sensíveis na Amazônia legal”

apresentada por

Ageo Mario Cândido da Silva

foi avaliada pela Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Dr. Clóvis Botelho

Prof. Dr. Washington Leite Junger

Prof. Dr. Joaquim Gonçalves Valente

Prof. Dr. Hermano Albuquerque de Castro

Prof.^a Dr.^a Sandra de Souza Hacon – Orientadora principal

Tese defendida e aprovada em 21 de junho de 2010.

Catálogo na fonte
Instituto de Comunicação e Informação Científica e Tecnológica
Biblioteca de Saúde Pública

S586 Silva, Ageo Mário Candido da
Quantificação dos efeitos na saúde da exposição à queima de biomassa: uma contribuição ao entendimento dos efeitos da exposição ao material particulado (PM_{2,5}) em grupos populacionais sensíveis na Amazônia Legal. / Ageo Mário Candido da Silva. Rio de Janeiro : s.n., 2010.
113 f. tab., graf., mapas

Orientador: Hacon, Sandra de Souza
Mattos, Inês Echenique

Tese (Doutorado) – Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Rio de Janeiro, 2010

1. Doenças Respiratórias. 2. Material Particulado. 3. Recém-Nascido de Baixo Peso. 4. Incêndios Florestais. 5. Exposição por Inalação - efeitos adversos. I. Título.

CDD – 22.ed. – 363.73098113

AGRADECIMENTOS

- À minha esposa de hoje e sempre, Moara R. Schroeder, por seu eterno amor e carinho;
- Ao meu filho João Vitor, que mesmo de longe sempre esteve presente em meu coração;
- À querida Sofia, filha querida em gestação, que será como buquê de flores a alegrar a chegada de minha melhor idade;
- Aos meus pais Ageo Cândido da Silva e Izaura de Faria Silva, que sempre me apoiaram e me sustentaram nos períodos mais difíceis desta jornada;
- À minha irmã Vera Sílvia e família por terem compartilhado e me estimulado em todos os momentos.
- Às minhas orientadoras Prof^a Sandra Hacon e Inês E. Mattos por todo o saber, dedicação e compreensão nos momentos difíceis, mas especialmente pela eterna capacidade de se dar e ensinar;
- À Maria Odete Rodrigues Pinto, minha maravilhosa amiga, pelos *abstracts* e por ter sempre me incentivado na realização deste projeto de vida;
- À querida Alba Medeiros, amiga e “anjo da guarda”, pelo seu otimismo e companheirismo de todas as horas;
- À minha amiga, tutora e conselheira prof^a Gisela Brunken, que me acolheu, apoiou, incentivou e participou dos principais momentos de tristezas durante esta travessia, mas especialmente aqueles de grande felicidade;
- À colega e amiga prof^a Eliane Ignotti por toda a ajuda fraternal e acadêmica, sempre me impelido a acreditar em mim e buscar sempre mais;
- Aos professores Sérgio Koiffman e Rosalina Koiffman pela solicitude, amizade e incentivo durante todas as etapas do doutoramento;
- Aos doutores Saulo Freitas e Karla Longo pela parceria na co-autoria dos artigos e pela disponibilização dos modelos de estimativa de poluição do ar;
- Aos colegas da ENSP, em especial ao Dennys Mourão, que sempre me ajudou na lida burocrática do doutorado;
- Ao profissionais do INMET-Cuiabá, pela disponibilização dos dados e coleguismo caloroso;
- A todas as pessoas que colaboraram no desenvolvimento desse trabalho, amigos da ESP/SES/MT, ISC-UFMT, UERJ, UNIVAG, UNIC e demais instituições;

Silva, AMC. Quantificação dos efeitos na saúde da exposição à queima de biomassa: uma contribuição ao entendimento dos efeitos da exposição ao material particulado (PM_{2.5}) em grupos populacionais sensíveis na Amazônia Legal [tese de doutorado]. Rio de Janeiro: escola Nacional de Saúde Pública – Fiocruz, 2010.

Objetivos: Investigar os efeitos da exposição ao material particulado (PM_{2.5}) originária de queimadas e/ou fontes urbanas antropogênicas sobre a saúde de grupos populacionais sensíveis do estado de Mato Grosso. **Métodos:** Foram utilizados três tipos de estudo: o primeiro, um estudo ecológico com investigação da autocorrelação espacial global da prevalência de internações por doenças respiratórias e do percentual de horas críticas de concentração do material particulado (%HC) nos municípios do estado de Mato Grosso, e posterior regressão múltipla espacial. Tiveram-se, como variáveis resposta, a prevalência de internações por doenças respiratórias e, como variável de exposição, o %HC, incluindo-se, para ajuste, variáveis *proxies* de poluição do ar, variáveis de atenção à saúde e de condições de vida da população. O segundo estudo, um estudo ecológico de série temporal que utiliza dados sobre número diário de internações hospitalares de crianças e idosos por doenças respiratórias e de estimativas da concentração de PM_{2.5} no município de Cuiabá, na região da Amazônia brasileira, durante todo o ano de 2005 e apenas na estação seca. Para controle de confundimentos, incluiu-se no modelo variáveis relacionadas à tendência temporal, sazonalidade, temperatura, umidade relativa e efeitos de calendário. Utilizou-se a Regressão de Poisson através dos modelos aditivos generalizados. Finalmente, o terceiro tipo é um estudo de corte transversal realizado nos anos de 2004 e 2005. As informações sobre os nascimentos foram obtidos do Sistema de Informações de Nascidos Vivos (SINASC) do Ministério da Saúde. Como variáveis de exposição foram utilizadas as séries históricas das concentrações médias diárias de PM_{2.5} e CO. Estimou-se a exposição materna através das médias dos poluentes para cada trimestre de gestação e para o período total de gestação. Utilizou-se a regressão logística onde os Odds Ratios ajustados foram calculados para as variáveis de exposição associadas ao BPN. As informações sobre os níveis de PM_{2.5} foram disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Resultados:** Foram observadas associações estatisticamente significativas entre a prevalência de internações por doenças respiratórias e %HC. O incremento dos níveis de exposição ao material particulado foi associado a aumentos de internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças sendo que, na estação seca, esta associação foi ainda maior. Finalmente, observou-se associações positivas entre poluentes e ocorrência de BPN em todos os períodos analisados, sendo as de maior magnitude aquelas ocorridas no 2º trimestre de gestação, porém, as associações não foram significativas. **Conclusão:** As emissões de PM_{2.5} estão relacionadas à maior prevalência de internações por doenças respiratórias em crianças nos municípios do estado de Mato Grosso. Os níveis de PM_{2.5} também foram associados à ocorrência diária de internações por doenças respiratórias em crianças em Cuiabá e à ocorrência de BPN em municípios selecionados do estado de Mato Grosso.

Palavras-chave: Doenças respiratórias; material particulado; Baixo peso ao nascer; queimadas

Abstract

Objectives: To investigate the effects of exposure to PM_{2.5} (particulate matter) originating from fire and / or anthropogenic urban sources on the health of sensitive population groups in the state of Mato Grosso. **Methods:** We used three types of studies. The first, an ecological study with investigation of Global Space Autocorrelation of the prevalence of hospital admissions for respiratory diseases and the critical hours percentage of particulate matter (CH%), including, for adjustment, variables proxies of air pollution, the attention of health care variables and variables of the life condition of the population. The second study, an ecological time series study that uses data on daily number of hospitalizations of children and the elderly for respiratory diseases and estimated concentration of PM_{2.5} in the city of Cuiabá, in Brazil's Amazon Region during the entire year of 2005 and only in the dry season. To control for confounding factors were included in the model variables related to the time trends, seasonality, temperature, relative humidity and calendar effects. Poisson regression with generalized additive models was used. Finally, the third type is a cross-sectional study cross-sectional study done in 2004 and 2005. Information on births was obtained from the Information System of the Ministry of Health (SINASC). As exposure variables, the time series of daily average concentrations of PM_{2.5} and CO were used. Maternal exposure was estimated through the pollutants average for each trimester and for the total period of pregnancy. We used logistic regression as a method of multivariate analysis, where the adjusted odds ratios were calculated for exposure variables associated with low birth weight (LBW). Information on the daily levels of fine particulate matter was made available by the Brazilian National Institute for Spatial Research (INPE). **Results:** Statistically significant associations were observed between the prevalence of hospital admissions for respiratory diseases and CH%. Increasing the levels of exposure to PM_{2.5} was associated with increases in hospital admissions for respiratory diseases in children and that, in the dry season, this association was even greater. We also observed positive associations between pollutants and the occurrence of LBW in all periods analyzed, the largest magnitude of those occurring in the second trimester of pregnancy, however, the associations were not significant. **Conclusion:** PM_{2.5} emissions are related to higher prevalence of with hospitalization for respiratory diseases of children in the municipalities of Mato Grosso. PM_{2.5} levels also were associated with daily admissions for respiratory diseases in children in Cuiabá and the occurrence of LBW in selected cities of Mato Grosso.

ÍNDICE

LISTA DE QUADROS E FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS.....	10
LISTA DE ABREVIATURAS.....	11
1- INTRODUÇÃO.....	12
2- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
2.1. QUEIMA DE BIOMASSA E POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA	14
2.2. PADRÕES DE QUALIDADE DO AR.....	16
2.3. ESTUDOS SOBRE AS EMISSÕES DE QUEIMADAS NO CERRADO E FLORESTA TROPICAL NO BRASIL E A DISTRIBUIÇÃO REGIONAL DA FUMAÇA.....	20
2.4. EFEITOS DA EXPOSIÇÃO A POLUENTES ATMOSFÉRICOS SOBRE A SAÚDE HUMANA.....	22
3- JUSTIFICATIVA.....	36
4-OBJETIVOS.....	38
4.1. Objetivo geral.....	38
4.2. Objetivos específicos.....	38
5 – CAPÍTULO I: Material particulado (PM _{2,5}) de queima de biomassa e doenças respiratórias no sul da Amazônia brasileira.....	39
RESUMO.....	40
ABSTRACT.....	41
INTRODUÇÃO.....	42
MATERIAL E MÉTODOS.....	44
Análise dos dados.....	47
RESULTADOS.....	49
DISCUSSÃO.....	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
6 - CAPÍTULO II: Associação entre material particulado originário de queimadas e outras fontes antropogênicas e internações por doenças respiratórias em Cuiabá, Mato Grosso.....	69
RESUMO.....	70
ABSTRACT.....	71

INTRODUÇÃO.....	72
MATERIAL E MÉTODOS.....	74
RESULTADOS.....	76
DISCUSSÃO.....	78
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85
7- CAPÍTULO III: Efeitos das queimadas na Amazônia: estudo de base populacional sobre a associação entre baixo peso ao nascer, material particulado fino e monóxido de carbono.....	88
RESUMO.....	89
ABSTRACT.....	90
INTRODUÇÃO.....	91
MATERIAL E MÉTODOS.....	93
RESULTADOS.....	96
DISCUSSÃO.....	98
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	104
8- CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	107
9 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109

LISTA DE QUADROS E FIGURAS

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Quadro 1 – Categorias de qualidade do ar segundo média de concentração de PM _{2.5} aferida em 24 horas, oito horas e em 1 hora.....	18
Quadro 2 - Padrões Nacionais de Qualidade do Ar (Resolução CONAMA N° 3 de 28/06/90).....	19
Quadro 3 – Estudos epidemiológicos selecionados que avaliaram a exposição da população à poluentes atmosféricos em crianças.....	25
Quadro 4 – Estudos epidemiológicos selecionados que avaliaram a exposição da população à poluentes atmosféricos em idosos com 65 anos ou mais.....	28
Quadro 5 – Estudos epidemiológicos selecionados que avaliaram a exposição da população à poluentes atmosféricos em gestantes e desfechos de gravidez.....	31
Quadro 6 – Estudos selecionados que avaliaram a exposição da população à poluentes atmosféricos originários de queima de biomassa.....	35

CAPÍTULO I

Figura 1 – Estimativa Bayesiana Empírica da Prevalência de Internações de Crianças de 1 a menor de 5 anos com Doenças do Aparelho Respiratório nos municípios do Estado de Mato Grosso, 2004, segundo tercís.....	60
Figura 2 - Estimativa Bayesiana Empírica da Prevalência de Internações de Adultos com 65 anos ou mais com Doenças do Aparelho Respiratório por 1.000 habitantes, Municípios do Estado de Mato Grosso, 2004, segundo tercís.....	61
Figura 3 – Percentual de Horas Críticas de PM 2.5, Municípios do Estado de Mato Grosso, 2004, segundo tercís.....	61

CAPÍTULO II

Figura 1a, 1b e 1c – Séries Temporais de PM _{2.5} , temperatura e umidade relativa do ar incluídas no estudo em Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, 2005.....	84
Figura 2 - Incremento percentual e intervalos de confiança para internações hospitalares por doenças respiratórias de crianças em função do aumento de 10 µg/m ³ na concentração do PM _{2.5} durante o ano de 2005 e durante a estação seca, Cuiabá (MT), Brasil, 2005.....	85
Figura 3 - Incremento percentual e intervalos de confiança para internações hospitalares por doenças respiratórias de idosos em função do aumento de 10 µg/m ³ na concentração do PM _{2.5} durante o ano de 2005 e durante a estação seca, Cuiabá (MT), Brasil, 2005.....	85

LISTA DE TABELAS

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Tabela 1 - Principais poluentes provenientes da queima de biomassa.....	15
Tabela 2 - Modelos de Regressão Múltipla Espacial das Estimativas Bayesianas Empíricas das Prevalências de Internações de Crianças de 1 a 4 anos e de Adultos com 65 anos ou mais por Doenças do Aparelho Respiratório, municípios do Estado de Mato Grosso, 2004.....	64

CAPÍTULO II

Tabela 1 - Estatísticas descritivas das internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças e idosos, variáveis meteorológicas e dados de PM _{2,5} , Cuiabá (MT), Brasil, 2005.....	82
Tabela 2 - Matriz de correlação de Pearson das variáveis sob estudo, Cuiabá (MT), Brasil, 2005.....	82

CAPÍTULO III

Tabela 1 – Estatística descritiva de baixo peso ao nascer e observações diárias de PM _{2,5} e CO nos municípios selecionados, Mato Grosso, 2004 e 2005.....	102
Tabela 2 – Odds Ratios Brutos e intervalos de confiança de baixo peso ao nascer para variáveis controle e categorias de exposição nos municípios selecionados, Mato Grosso, 2004 e 2005.....	102
Tabela 3 - Odds Ratios ajustados por variáveis controle e Intervalos de Confiança para variáveis atmosféricas segundo quartis de exposição nos municípios selecionados em cada trimestre gestacional, Mato Grosso, 2004 e 2005.....	103

LISTA DE ABREVIATURAS

%HC - Percentual de Horas Críticas Anuais de Concentração de Partículas de $PM_{2.5}$

AIH - Autorizações de Internações Hospitalares

AVC- Acidente Vascular Cerebral

BPN – Baixo Peso ao Nascer

CATT-BRAMS MODEL - Coupled aerosol and trace gases transport model to the Brazilian developments of the Regional Atmospheric Modeling System

CID-10 - Classificação Internacional de Doenças – 10ª revisão

CLP - Camada Limite Planetária

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente

CPTEC/INPE - Center for Weather Forecasting and Climate Studies) do

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

DACV - Doenças do Aparelho Cardiovascular

DAR - Doenças Do Aparelho Respiratório

DATASUS – Departamento de Informática do SUS

DEQ - Department of Environmental Quality

EPA- Environmental Protection Agency

FAPEMAT - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso

GOES - Geostationary Operational Environmental Satellite

IBAMA - Instituto Brasileiro de Meio Ambiente

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LBA - Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia

MODIS - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

$PM_{2.5}$ – Material Particulado

SIA - Sistema de Informações Ambulatoriais

SIH – Sistema de Informações Hospitalares

SINASC - Sistema de Informação de Nascidos Vivos do Ministério da Saúde

SUS – Sistema Único de Saúde

TSP - Partículas Totais em Suspensão

US-EPA - Agência de Proteção Ambiental Americana

VAS - Visible Infrared Spin Scan Radiometer Atmospheric Sounder

INTRODUÇÃO

Desde o início do Século XX, a literatura científica tem relatado a associação entre poluição atmosférica e a maior ocorrência de casos e óbitos por doenças respiratórias na população de diferentes países. Episódios tais como os de Donora (EUA), em 1948 e de Londres (Inglaterra), em 1952, se constituíram em exemplos dessas relações^{1,2,3} e propiciaram, particularmente nos Estados Unidos, a formulação de uma série de leis que visavam o controle da poluição do ar. Os “Clean Air Acts” também ampliaram os controles de emissão de poluentes atmosféricos industriais, regulamentando as emissões de óxidos de enxofre e fumaça preta⁴.

A partir dessa década diversas investigações foram realizadas, na tentativa de compreender os efeitos dos poluentes atmosféricos sobre a saúde humana. Um fato que propiciou essas iniciativas foram os grandes incêndios florestais que ocorreram no Sudoeste Asiático, em 1997, especialmente na Indonésia e que elevaram a concentração de poluentes do ar a níveis mais altos do que os considerados aceitáveis, com conseqüências à saúde humana, especialmente no sistema respiratório⁵.

Um dos estudos mais importantes que buscava compreender as relações entre poluentes atmosféricos e doenças respiratórias foi o projeto APHEA (*Air Pollution and Health: A European Approach*), realizado em 15 cidades européias e envolvendo uma população de 25 milhões de habitantes. Os resultados dessa investigação evidenciaram que as emissões de material particulado e as emissões de carbono grafítico (*black-carbon*) afetaram a saúde humana, ocasionando aumento do número de casos de asma em crianças e adultos de 0 a 64 anos) e de doença pulmonar obstrutiva crônica (em idosos com 65 anos ou mais)⁶. Esse estudo foi importante para o

desenvolvimento de diretrizes para regulamentação da emissão de poluentes atmosféricos em países europeus e contribuiu para que a Organização Mundial de Saúde efetuasse uma revisão dos seus *guidelines* para a qualidade do ar na Europa⁷. Além disso, apontou novas questões relacionadas a diferenças regionais no impacto dos poluentes atmosféricos, já que tanto os indicadores de morbidade quanto os de mortalidade se apresentaram diferentes entre os diversos países estudados⁸.

Atualmente, a preocupação mundial com as mudanças climáticas globais e os grandes desmatamentos de floresta naturais têm despertado cada vez mais interesse nas queimadas no continente sul-americano. Devido à queima de biomassa, o Brasil contribui de forma importante para a emissão de poluentes atmosféricos, sendo a região Amazônica a área mais crítica do país⁹. Embora existam evidências sobre os riscos representados pela fumaça emitida por queimadas de florestas tropicais para saúde de grupos populacionais expostos, são ainda escassos os estudos epidemiológicos realizados nesta região^{10, 11, 12}.

Este projeto se constitui em uma proposta de investigação dos efeitos da queima de biomassa e outras fontes antropogênicas na saúde de grupos populacionais sensíveis (crianças, idosos e recém nascidos) em Mato Grosso, estado que inclui municípios pertencentes ao Arco do Desmatamento da Amazônia Brasileira.

2- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. QUEIMA DE BIOMASSA E POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

O processo de queimada se dá em quatro estágios – ignição, combustão com chama, combustão com ausência de chama (fase de brasas) e extinção. No estágio de combustão com chamas, componentes de alto peso molecular são convertidos em componentes de peso molecular mais baixo e, no processo final, em compostos de natureza gasosa, sendo liberados, principalmente, gás carbônico (CO_2), monóxido de carbono (CO) e água¹³. Com a diminuição do calor da chama, ocorre uma intensa diminuição da formação de CO_2 , e se inicia a liberação de compostos de oxidação incompleta, tais como CO e a formação de partículas orgânicas. A fase de chamas é responsável pela maior quantidade, enquanto que a fase de brasas libera o maior número de diferentes compostos. A evolução da queima de biomassa bem como a constituição química das suas emissões depende do conteúdo de água na biomassa, temperatura local, precipitação, umidade e o vento, determinantes necessários para a ocorrência do fogo e seu comportamento, no que se refere à relação entre a combustão da fase de chamas para a fase de brasas¹⁴.

A tabela 1 apresenta, de forma resumida, os principais poluentes gerados no processo de queima de biomassa.

Além desses compostos, também são produzidos o metano (CH_4), amônia (NH_3), cloreto de metila, hidrogênio e carbono grafítico, que é majoritariamente fuligem proveniente da combustão e é constituído de elementos traçadores de emissões de queimadas, como exemplo enxofre, potássio, cloro, cálcio e zinco¹⁵. Na região tropical predomina a produção global de radicais OH^\cdot (hidroxila), devido a alta taxa de radiação solar e de produção de vapor de água. Esses radicais são os principais responsáveis pela oxidação de CO (monóxido de carbono) e CH_4 (metano) em escala

global. Na presença de radiação solar e altas concentrações de compostos de nitrogênio, a oxidação de CO e hidrocarbonetos é acompanhada de formação de ozônio (O₃)¹⁶, sendo este sempre um poluente secundário.

Tabela 1 - Principais poluentes provenientes da queima de biomassa

<i>Compostos</i>	<i>Exemplos</i>	<i>Fonte</i>	<i>Notas</i>
Partículas	Partículas inaláveis (PM ₁₀)	Condensação após combustão de gases, combustão incompleta de material inorgânico, fragmento de vegetação e cinzas	Partículas finas e grossas, Partículas grossas não são transportadas e contém principalmente cinza e material de solo
	Partículas finas (PM _{2.5})	Condensação após combustão de gases, combustão incompleta de material orgânico	Transportadas através de longas distâncias. Produção primária e Secundária
Ácidos orgânicos	Monóxido de carbono (CO)	Combustão incompleta de material orgânico	Transportado através de longas distâncias
	Ozônio	Produto secundário de óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos	Presente somente adiante do fogo; transportado através de longas distâncias
Hidrocarbonetos	Dióxido de nitrogênio (NO ₂)	Oxidação em altas temperaturas do nitrogênio do ar	Espécies reativas, concentração diminui com a distância do fogo
	Benzeno	Combustão incompleta de material orgânico	Transporte local; também reage com outras formas de aerossol orgânico
Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos	Benzopireno	Condensação após combustão de gases; combustão incompleta de material orgânico	Compostos específicos que variam com a composição da biomassa

Adaptado de Arbex et al, 2004

De todos os poluentes atmosféricos, o material particulado é o mais estudado e o mais associado a problemas de saúde¹⁷. O termo "partículas totais em suspensão" (TSP) implica a utilização de procedimentos gravimétricos para determinar a concentração de matéria particulada suspensa¹⁸. As TSPs na atmosfera compreendem três tamanhos de partículas: **grossas**, também chamadas inaláveis, com diâmetros de 2,5 a 10,0 μm (PM_{10}), **finas**, com diâmetros de 0,1 a menores que 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$) e **ultrafinas**, estas últimas definidas como partículas com diâmetros menores que 0,1 μm ^{19,20}. As partículas ultrafinas não permanecem longos períodos na atmosfera por se aglutinarem em partículas de tamanho maiores²¹. Quanto à sua origem, as partículas grossas são normalmente oriundas do solo superficial da crosta terrestre e ou outros materiais orgânicos; as partículas finas e ultrafinas, que constituem ao redor de 90% de todo o material particulado, se formam em processos de combustão incompleta, tendo origem antropogênica e/ou através da queima de biomassa. Quando originado da queima de biomassa, o material particulado é emitido tanto na fase de chamas quanto na fase de brasas, sendo que sua composição elementar e tamanho é dependente do estágio em que foi emitido¹⁴.

2.2. PADRÕES DE QUALIDADE DO AR

Os padrões de qualidade do ar definem legalmente o limite máximo para a concentração de um poluente na atmosfera, que garanta a proteção da saúde e do meio ambiente. Estes padrões são baseados em estudos científicos dos efeitos produzidos por poluentes específicos e são fixados em níveis que possam propiciar uma margem de segurança adequada à saúde humana²². Ainda se procura compreender melhor a relação entre poluição do ar e doença gerada por ela. Processos como duração e intensidade da

exposição aos poluentes, bem como exposição ocorrida em ambientes internos e/ou ambientes externos ou ainda exposição a poluentes originários de combustíveis fósseis e originários da queima de biomassa não são inteiramente compreendidos^{23,24}.

Diversos países têm adotado políticas de monitoramento do ar em anos recentes. No entanto, muito ainda tem se debatido em relação aos valores máximos aceitáveis de concentrações de poluentes do ar originados da queima de biomassa ou poluentes antropogênicos, de forma a não ocasionar aumentos na morbimortalidade da população¹³. Neste sentido, a Organização Mundial de Saúde tem estabelecido *guidelines* de qualidade do ar para os principais poluentes atmosféricos, com o objetivo de orientar países em desenvolvimento na elaboração de políticas de monitoramento da qualidade do ar. A elaboração desses guias leva em consideração as evidências científicas mais recentes, bem como as heterogeneidades e características regionais de onde foram gerados os estudos⁷.

Os Estados Unidos possuem um dos programas de controle de qualidade do ar melhor estruturados entre os países desenvolvidos, o qual é coordenado pela Agência de Proteção Ambiental (*Environmental Protection Agency - EPA*). Faz parte desse sistema o Departamento de Qualidade Ambiental (*Department of Environmental Quality - DEQ*) do estado de Oregon, agência regulatória que tem como um de seus objetivos a proteção da qualidade do ar na sua região de abrangência administrativa²⁵. O DEQ monitora, entre outros poluentes, o PM_{2,5}, para o qual estabeleceu níveis de insalubridade com base nas concentrações aferidas e nas médias de determinados períodos de tempo de aferição (Quadro 1).

Quadro 1 – Categorias de qualidade do ar segundo média de concentração de PM_{2,5} aferida em 24 horas, oito horas e em 1 hora.

<i>Qualidade do ar</i>	<i>PM 2.5 – média de 24 horas (em µg/mm³)</i>	<i>PM 2.5 – média de 08 horas (em µg/mm³)</i>	<i>PM 2.5 – aferição de 1 hora (em µg/mm³)</i>
Boa	0 – 15,4	0 - 22,0	0 – 40,0
Moderada	15,5 – 40,4	22,1 – 57,7	40,1 – 80,0
Insalubre para grupos sensíveis	40,5 – 65,4	57,8 – 93,4	80,1 – 175,0
Insalubre	65,5 – 150,4	93,5 – 214,9	175,1 – 300,0
Muito insalubre	150,5 – 250,4	215,0 – 357,7	300,1 – 500,0
Danosa	> 250,4	> 357,7	> 500,0

Fonte: Department of Environmental Quality – Oregon – EUA – 2007

Em relação ao significado dos níveis de insalubridade, considera-se como qualidade de ar **moderada** quando a qualidade do ar é aceitável, sendo que raramente pessoas pertencentes aos grupos sensíveis podem apresentar sintomas de doenças; **insalubre para grupos sensíveis** quando pessoas dos grupos sensíveis podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço e a população em geral não é afetada; **insalubre** quando toda a população pode apresentar problemas de saúde e pessoas dos grupos sensíveis podem ter episódios e sintomas mais graves; **muito insalubre** quando toda a população pode apresentar problemas de saúde mais sérios e, **danosa**, quando toda a população, indistintamente, é afetada²⁵.

No Brasil, os padrões nacionais de qualidade do ar são estabelecidos pelo Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (IBAMA) e aprovados pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente²⁶ (CONAMA). Estes padrões são classificados em: **primários**, entendidos como níveis máximos toleráveis, que, caso ultrapassados, podem afetar a saúde humana e **secundários**, interpretados como níveis desejáveis de concentração de poluentes atmosféricos, conforme demonstrado no quadro 2.

Quadro 2 - Padrões Nacionais de Qualidade do Ar (Resolução CONAMA N° 3 de 28/06/90)

<i>Poluente</i>	<i>Tempo de amostragem</i>	<i>Padrão primário μG/M³</i>	<i>Padrão secundário μG/M³</i>	<i>Método de medição</i>
Partículas Totais em Suspensão	24 horas (1) MGA (2)	240 80	150 60	Amostrador de grandes volumes
Dióxido de Enxofre	24 horas MAA (3)	365 80	100 40	Pararosanflina
Monóxido de Carbono	1 hora (1) 8 horas	40.000 35 ppm 10.000 (9 ppm)	40.000 35 ppm 10.000 (9 ppm)	Infravermelho não dispersivo
Ozônio	1 hora (1)	160	160	
Fumaça	24 horas (1) MAA (3)	150 60	100 40	Refletância
Partículas Inaláveis	24 horas (1) MAA (3)	150 50	150 50	Separação Inercial/Filtração

Fonte: CONAMA, 1990

- (1) Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano.
 (2) Média geométrica anual.
 (3) Média aritmética anual.

Ainda concernente ao Brasil, apenas o Estado São Paulo possui legislação própria no que se refere aos padrões de qualidade do ar. A cidade de São Paulo apresenta grande densidade demográfica e tráfego intenso, sendo que os níveis elevados de poluição antropogênica originária de fontes estacionárias e móveis levaram à promulgação da Lei Legislação Estadual (DE 8468 de 08/09/76) que também estabelece padrões de qualidade do ar e critérios para episódios agudos de poluição do ar, mas abrange um número menor de parâmetros do que os da legislação federal²⁷. Nela, os parâmetros fumaça, partículas inaláveis e dióxido de nitrogênio não têm padrões e critérios estabelecidos, sendo os mesmo estabelecidos pelo CONAMA. No entanto, nem a legislação brasileira nem a legislação do Estado de São Paulo estabelecem níveis de concentração de material particulado fino (PM_{2.5}), nem referem-se aos poluentes liberados pelas queimadas que apresentam um comportamento diferenciado dos poluentes liberados em áreas urbanas através de fontes estacionárias e móveis.

2.3. ESTUDOS SOBRE AS EMISSÕES DE QUEIMADAS NO CERRADO E FLORESTA TROPICAL NO BRASIL E A DISTRIBUIÇÃO REGIONAL DA FUMAÇA

Ward e colaboradores²⁸ (1992) estudaram as emissões dos principais compostos emitidos em queimadas e cerrado do Brasil Central e na floresta amazônica brasileira. Utilizando medidas de concentração de CO₂, CO, NO e PM_{2.5}. Enquanto quase toda a biomassa é queimada na fase de chamas no cerrado, nas florestas primárias essa queima é ao redor de 50%. A partir do conhecimento da **quantidade de bioamassa acima do solo**, do **fator de combustão** que é a fração da biomassa efetivamente queimada e do **fator de emissão**, que fornece a quantidade de emissão de um dado composto em função da quantidade de biomassa, estes autores estimaram a quantidade de fumaça emitida pelos dois tipos de vegetação. Devido à maior disponibilidade de biomassa das florestas, a produção de fumaça é maior do que em cerrados e pastagens¹⁴. Contudo, Naeher e colaboradores²⁹ (2007) alertam que estimativas de áreas queimadas ou fração de biomassa afetada pelo fogo são extremamente incertas, constituindo outra dificuldade importante para o cálculo da quantidade de material lançado na atmosfera.

Os gases e partículas são emitidos a temperaturas superiores à da atmosfera do ambiente e transportados verticalmente para cima. A altura final em que esses materiais são injetados na atmosfera depende de alguns fatores. O cerrado e pastagem injetam material dentro da camada limite planetária (CLP), cuja profundidade é de 1 a 2 km, ou seja, a camada mais próxima da crosta terrestre¹⁴. Dentro da CLP predomina turbulências e advecção horizontal dos ventos, o que tende a homogeneizar a fumaça por toda a camada. Este tipo de fumaça caracteriza a exposição aguda aos poluentes atmosféricos. Já o fogo de floresta, com alta densidade de biomassa sendo queimada através de processos convectivos, consegue injetar a fumaça diretamente na

baixa e média troposfera, cuja altura vai de 3 a 10 km de altura. Esse tipo de emissão está mais relacionado à exposição crônica à fumaça, onde os processos de remoção de poluentes são menos eficientes do que na CLP, de modo que, uma vez transportados para a alta troposfera, a vida-média dos poluentes pode aumentar¹⁵.

O padrão de circulação atmosférica determina que as emissões da floresta amazônica se desloquem para o noroeste e norte do continente Sul Americano, tanto pelo Oceano Pacífico tropical quanto pelo Oceano Atlântico Sul, atingindo inclusive a região do Caribe¹⁶. Os ventos da região nordeste do Brasil trazem massas de ar não poluídas vinda do Oceano Atlântico e transportam essas emissões para o oeste; com a barreira topográfica dos Andes, a maior parte desta fumaça é desviada para o sul e sudeste, chegando aos países vizinhos da América do Sul e às regiões sul e sudeste brasileiras, somando-se à poluição associada à ocupação urbana e às atividades industriais^{14,30}.

Entre os estudos realizados no bioma amazônico, o Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA) vem desenvolvendo projetos de avaliação do impacto da queima de biomassa na Amazônia Brasileira desde 1998, sendo que parte dos seus dados está sendo analisada pela rede do Instituto do Milênio¹⁵. Através do sensoriamento remoto a partir de imagens do radiômetro VAS (*Visible Infrared Spin Scan Radiometer Atmospheric Sounder*) do satélite GOES (*Geostationary Operational Environmental Satellite*) e do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) dos satélites TERRA e AQUA, seus dados são integrados num sistema de informações geográficas³⁰.

O CPTEC–INPE (*Center for Weather Forecasting and Climate Studies*) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), integrado ao experimento LBA e utilizando dados destes satélites, fornece medidas e dados meteorológicos, registros de focos de queimadas e estimativas de PM_{2,5} e CO₂ através da modelagem do CATT-

BRAMS MODEL (*Coupled aerosol and trace gases transport model to the Brazilian developments of the Regional Atmospheric Modeling System*)^{31,32}. Esta modelagem é realizada através de um sistema computacional elaborado para simular e estudar o transporte atmosférico de produtos originários da queima de biomassa, utilizando parâmetros de difusão horizontais e verticais de radiação solar, umidade e temperatura, predizendo com boa precisão a concentração de alguns poluentes atmosféricos da região em estudo. A comparação das estimativas do modelo CATT-BRAMS com medidas reais de PM_{2,5} aferidas *in loco* demonstrou um coeficiente de determinação foi de 0,7, sendo bastante satisfatório por se tratar de estimativas de poluição³¹.

2.4. EFEITOS DA EXPOSIÇÃO A POLUENTES ATMOSFÉRICOS SOBRE A SAÚDE HUMANA

Os grupos mais susceptíveis aos efeitos deletérios da poluição atmosférica são crianças, idosos e indivíduos com doenças do aparelho respiratório e cardiovascular.

Em relação ao efeito da exposição à poluição atmosférica sobre a saúde em crianças, a maioria dos estudos realizados avaliou a associação entre poluentes atmosféricos e internações e/ou atendimentos ambulatoriais por doenças do aparelho respiratório (DAR) utilizando-se de análises de séries temporais, conforme demonstrado no Quadro 3.

Braga e colaboradores³³ (2007), em estudo realizado em Itapira nos anos de 2003 e 2004, analisaram a exposição de crianças menores de treze anos às concentrações de PM₁₀, encontrando um aumento de 12% no número de atendimentos por DAR, associado ao aumento de 10µg/m³ diário de PM₁₀. Cançado e colaboradores³⁴ (2006) avaliaram internações por DAR em crianças menores de 15 anos em Piracicaba nos anos de 1997 e 1998. Os autores concluíram que o aumento de 10,2 µg/m³ de

PM_{2.5} se associou a um aumento de 21% nessas hospitalizações. Utilizando método semelhante, um estudo realizado em São Paulo, entre os anos de 1996 a 1999, analisou as internações hospitalares por algumas doenças respiratórias (pneumonia, broncopneumonia, asma e bronquiolite), associando o aumento interquartil de PM₁₀ ao aumento de 16,5 % no total de internações por essas doenças³⁵.

Alguns estudos utilizaram análise de séries temporais tendo como variável resposta óbitos de crianças, como o de O'Neill e colaboradores³⁶ (2005) que avaliaram mortalidade geral por DAR em crianças menores de 15 anos na Cidades do México e Monterrey entre os anos de 1996 a 1999, excluindo-se os óbitos por causas externas. Neste, foi encontrado um aumento de 10,9% na mortalidade diária de crianças por DAR comparando-se dias de menores temperaturas com dias de maiores temperaturas, ajustado pela concentração diária de PM₁₀.

Bayer-Oglesby e colaboradores³⁷ (2005) verificaram o efeito positivo da diminuição da concentração dos poluentes do ar ocorrida na Suíça entre os anos de 1992 a 2001, que implicou na redução do número de internações por DAR de algumas causas selecionadas em crianças de 6 a 15 anos. Os pesquisadores encontraram que um declínio de 10 µg/m³ de PM₁₀ associou-se à diminuição das prevalências de tosse crônica (OR = 0,65), bronquite (OR = 0,66) e resfriado comum (OR = 0,70) naquela região (Quadro 3).

Atualmente, estudos que utilizam a metodologia de *case crossover* têm investigado a associação entre concentração de material particulado e morbidade por DAR. Como exemplo, Barnett e colaboradores³⁸ (2005) analisaram a influência de vários poluentes atmosféricos sobre as internações hospitalares em subgrupos de crianças, classificadas segundo faixa etária (menores de 1 ano de idade, de 1 a 4 anos e de 5 a 14 anos) em cinco grandes cidades da Austrália e Nova Zelândia nos anos de 1998 a 2001. Os autores concluíram que o aumento interquartil de PM_{2.5} foi associado

ao aumento de 3,0% nas internações hospitalares por DAR em crianças de 1 a 4 anos e o aumento interquartil de PM_{10} se associou ao aumento de 3,1% nas internações hospitalares por DAR em crianças de 5 a 14 anos. Lin e colaboradores³⁹ (2005), também utilizando o desenho de *case crossover*, estudaram internações hospitalares em crianças menores de 15 anos em Toronto (Canadá), entre os anos de 1998 e 2001, concluindo que o aumento de $6,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $PM_{2,5}$ associou-se a um incremento de 11% nas hospitalizações por DAR naquele período (Quadro 3).

Outros estudos avaliaram o efeito da poluição do ar intradomiciliar e a ocorrência de DAR em crianças, sem efetuar a aferição direta das concentrações desses poluentes. Melson e colaboradores⁴⁰ (2001) avaliaram em um estudo caso-controle o uso de óleo combustível para iluminação ou cozimento em Kathmandu (Nepal), encontrando maior prevalência de asma em crianças de 11 a 17 anos nos lares que utilizavam esse recurso (odds ratio de prevalência = 1,9) (quadro 3).

Quadro 3 – Estudos epidemiológicos selecionados que avaliaram a exposição da população à poluentes atmosféricos em crianças

Autores/ano	Local e período	Desenho do estudo	População de estudo	Variáveis desfecho	Variáveis de exposição	Variáveis de ajuste	Resultados
Braga et al., 2007	Itapira (Brasil) 2003 a 2004	Análise de séries temporais	Crianças menores de 13 anos	Doenças do aparelho respiratório	PM ₁₀	Dias da semana, número total de dias transcorridos no período do estudo, feriados, temperatura média diária e umidade relativa do ar	Aumento de 12% (IC95%: 9,5-14,5) no número de atendimentos por DAR em crianças menores de 13 anos com o aumento de 10µg diário de PM10.
Cançado et al., 2006	Brasil, Piracicaba, 1997 a 1998	Análise de séries temporais	Crianças menores de 15 anos	Hospitalizações por Infecções Respiratórias	PM ₁₀ , PM _{2,5} , e PM _{2,5-10}	Dias da semana, número total de dias transcorridos no período do estudo, feriados, temperatura	O aumento de 10,2 µg/m ³ de PM _{2,5} foi associado ao aumento de 21% (IC95% = 4,3% - 38,5%) das hospitalizações por doenças respiratórias
Farhat et al., 2005	São Paulo (Brasil), 1996 a 1997	Análise de séries temporais	Crianças até 12 anos de idade	Internações Hospitalares por doenças respiratórias (pneumonia, broncopneumonia, asma e bronquiolite)	SO ₂ , NO ₂ , PM ₁₀ , CO e O ₃	Temperatura, umidade relativa do ar e dias da semana	O aumento interquartil de PM _{2,5} foi associado ao aumento de 16,5,0% (IC95% = 10,5 - 22,6) no total de internações por doenças respiratórias, ajustado pela concentração de SO ₂ .
O'Neill et al., 2005	Cidade do México e Monterrey (México), 1996 a 1999	Análise de séries temporais	Crianças (até 14 anos) e idosos (65 anos ou mais)	Mortalidade (excluindo-se as por causas externas)	PM ₁₀ e ozônio	Temperatura, sazonalidades, dias da semana e feriados públicos	Aumento de 10,9% (IC5% = (-1,6 - 21,2) da mortalidade diária de crianças e 9,8% (-7,8 - 30,8) da mortalidade geral em idosos (PM ₁₀) comparando-se dias de menores temperaturas com dias de maiores temperaturas
Oglesby et al., 2005	Suíça, 1992 a 2001	Análise de séries temporais	Crianças de 6 a 15 anos	Bronquite, tosse crônica, resfriado comum, tosse seca noturna	PM ₁₀	Nível socioeconômico, status de saúde	Declínio de 10 µg/m ³ de PM ₁₀ associado a diminuição das prevalências de tosse crônica (OR = 0,65 IC95% = 0,54-0,79), bronquite (OR = 0,66, IC95% = 0,55 - 0,80) e resfriado comum (OR = 0,70, IC95% = 0,60 - 0,83)
Barnett et al., 2005	Austrália (cinco cidades) e Nova Zelândia (duas cidades), 1998 a 2001	Case crossover	Três grupos de crianças (menores de 1 ano de idade, de 1 a 4 anos e 5 a 14 anos)	Internações Hospitalares por doenças respiratórias	SO ₂ , NO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2,5} , CO e O ₃	Temperatura, umidade relativa do ar, pressão, extremos de frio ou calor, dias da semana, feriados públicos e dia após feriado público	O aumento interquartil de PM _{2,5} foi associado ao aumento de 3,0% (IC95% = 0,8 - 5,2) nas Internações Hospitalares por doenças respiratórias em crianças de 1 a 4 anos e o aumento interquartil de PM ₁₀ foi associado ao aumento de 3,1% (IC95% = 0,2 - 6,0) nas Internações Hospitalares por doenças respiratórias em crianças de 5 a 14 anos nos períodos de temperaturas mais frias
Lin et al., 2005	Canadá, Toronto, 1998 a 2001	Case crossover	Crianças menores de 15 anos	Hospitalizações por Infecções Respiratórias	PM ₁₀ , PM _{2,5} , e PM _{2,5-10}	Temperatura e extremos de frio ou calor	O aumento de 6,5 µg/m ³ de PM _{2,5} correspondeu ao aumento de 11% (IC95% = 3% - 19%) das hospitalizações por doenças respiratórias
Melson et al., 2001	Kathmandu, Nepal, 2001	Estudo de caso e controle	Crianças de 11 a 17 anos de idade	Prevalência de asma	Uso intralar de óleo combustível pela família	-	OR = 2,2 (IC95% = 1,0 - 4,5)

Em relação ao grupo sensível constituído por idosos, os métodos utilizados na avaliação do efeito de poluentes atmosféricos sobre danos a saúde, em sua maioria, foram os mesmos utilizados nos estudos com crianças. A principal metodologia empregada foi também a análise de séries temporais.

Kettunen e colaboradores⁴¹ (2007) avaliaram óbitos por acidente vascular cerebral (AVC) em idosos com 65 anos ou mais em Helsinki (Finlândia), nos anos de 1998 a 2004, encontrando que o aumento interquartil nas concentrações de $PM_{2.5}$ esteve associado ao aumento de 6,9% dos óbitos por AVC e o aumento interquartil de PM_{10} foi associado ao aumento de 10,9% dos óbitos por AVC nesta população. Dominici e colaboradores⁴² (2006) analisaram internações por algumas causas respiratórias selecionadas, em estudo multicêntrico realizado em 204 cidades americanas com população maior que 200.000 habitantes, entre os anos de 1999 e 2002. Os autores concluíram que o aumento de $10 \mu g/m^3$ de $PM_{2.5}$ correspondeu ao aumento de 0,9% nas internações por doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) e dos mesmos 0,9% nas infecções do trato respiratório em indivíduos com mais de 65 anos. Ainda nos Estados Unidos, outro estudo realizado em 20 grandes cidades, no período de 1987 a 1994, avaliou todos os óbitos por DAR de indivíduos com 65 anos ou mais relacionados à poluição do ar, encontrando que o aumento de $10 \mu g/m^3$ de $PM_{2.5}$ correspondeu ao aumento de 0,5% dos óbitos por essas doenças⁴³(Quadro 4).

No Brasil, Braga e colaboradores³³ (2007) avaliaram a associação entre PM_{10} e doenças do aparelho cardiovascular (DACV) em Itapira nos anos de 2003 e 2004. Também utilizando a análise de séries temporais, encontraram um aumento de 4,0% nos atendimentos de emergência por DACV em idosos com 65 anos ou mais

associado ao aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ diário de PM_{10} . Já Cançado e colaboradores³⁴ (2006) encontraram que um aumento de $43\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} esteve associado ao aumento de 31,0% nas hospitalizações por doenças respiratórias em idosos (65 anos ou mais), em estudo realizado em Piracicaba, nos anos de 2003 e 2004 (Quadro 4).

Os estudos com desenho *case crossover* também foram bastante utilizados na avaliação da associação entre a concentração de material particulado do ar e a morbidade em idosos. Um estudo realizado com essa metodologia e conduzido em Edmont (Canadá) avaliou a associação entre alguns poluentes atmosféricos e DACV nos anos de 1992 a 2002. Os autores concluíram que o aumento interquartil de $\text{PM}_{2,5}$ se mostrou associado ao aumento do risco de infarto do miocárdio em idosos com 65 anos ou mais (OR = 1,04)⁴⁴. Wellenius e colaboradores⁴⁵ (2005) analisaram a associação entre PM_{10} e infarto agudo do miocárdio em Allegheny (EUA) nos anos de 1987 a 1999, também em estudo de *case crossover*, verificando um aumento do risco de infarto do miocárdio (OR = 1,04) em idosos com 65 anos ou mais relacionado ao aumento interquartil de $\text{PM}_{2,5}$. De maneira semelhante, Zeka e colaboradores⁴⁶ (2005) analisaram todos os óbitos em idosos (65 anos ou mais) em 20 cidades americanas, entre os anos de 1999 e 2000, utilizando o mesmo método e concluíram que o aumento do 1º para o 3º quartil de PM_{10} estava associado a 0,53% no aumento destes óbitos (Quadro 4).

Ostro e colaboradores⁴⁷ (2006) realizaram uma meta-análise avaliando estudos realizados no estado da Califórnia (EUA), sobre a associação entre $\text{PM}_{2,5}$ e óbitos por alguns grupos de doenças, em indivíduos de 65 anos ou mais. Os autores concluíram que o aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2,5}$ correspondeu ao aumento de 0,6% na mortalidade por todas as causas e ao aumento de 2,2 % na mortalidade por doenças respiratórias nos idosos (Quadro 4).

Quadro 4 – Estudos epidemiológicos selecionados que avaliaram a exposição da população à poluentes atmosféricos em idosos com 65 anos ou mais

Autores/ano	Local e período	Desenho do estudo	População de estudo	Variáveis desfecho	Variáveis de exposição	Variáveis de ajuste	Resultados
Kettunen et al., 2007	Finlândia - Helsinki, 1998 a 2004	Análise de séries temporais	Idosos com 65 anos ou mais	Óbitos por Acidente Vascular Cerebral (AVC)	PM ₁₀ , PM _{2,5} , e PM < 0,1µm	Tendências temporais, fins de semana, feriados, temperatura e umidade relativa do ar	O aumento interquartil de PM _{2,5} do mesmo dia foi associado ao aumento de 6,86% (IC95% = 0,4 – 13,8) dos óbitos por AVC e o aumento interquartil de PM ₁₀ do mesmo dia foi associado ao aumento de 10,9% (IC95% = 0,9 – 21,8) dos óbitos por AVC
Dominici et al., 2006	EUA, 1999 a 2002 (204 cidades com mais de 200.000 habitantes)	Análise de séries temporais	Idosos com 65 anos ou mais	Internações por Doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) e infecções do trato respiratório	PM _{2,5}	Temperatura, sazonalidades, dias da semana	O aumento de 10 µg/m ³ de PM _{2,5} correspondeu ao aumento de 0,9% (IC95% = 0,2% - 1,6%) na internação por DPOC e de 0,9% (IC95% = 0,4% - 1,4%) ns infecções do trato respiratório
Samet et al., 2000	EUA, 1987 a 1994 (20 maiores cidades)	Análise de séries temporais	Idosos com 65 a 74 anos e idosos com 75 anos ou mais	Óbitos por doenças respiratórias	SO ₂ , NO ₂ , PM ₁₀ , CO e O ₃	Tamanho e características da população, tendências, status de saúde, características dos serviços de saúde, presença de períodos epidêmicos, epidemia de gripe	O aumento de 10 µg/m ³ de PM _{2,5} correspondeu ao aumento de 0,5% (IC95% = 0,07% - 0,93%) dos óbitos por doenças respiratórias
Cançado et al., 2006	Brasil, Piracicaba, 1997 a 1998	Análise de séries temporais	Idosos com 65 anos ou mais	Hospitalizações por Infecções Respiratórias	PM ₁₀ , PM _{2,5} , e PM _{2,5-10}	-	O aumento de 42,9 µg/m ³ de PM ₁₀ foi associado ao aumento de 31% (IC95% = 1,2% - 60,1%) das hospitalizações por doenças respiratórias
Braga et al., 2007	Itapira (Brasil) 2003 a 2004	Análise de séries temporais	Idosos com 65 anos ou mais	Doenças do aparelho cardiovascular	PM ₁₀	Dias da semana, variável número total de dias transcorridos no período do estudo, feriados, temperatura média diária e umidade relativa do ar	Aumento de 4% nos atendimentos de emergência por DACV em idosos (IC95%: 0,8-8,5) com o aumento de 10µg/m ³ diário de PM ₁₀ .
Villeneuve et al., 2006	Edmont (Canadá) 1992 a 2002	Case crossover	Idosos com 65 anos ou mais	Infarto isquêmico Infarto hemorrágico	SO ₂ , NO ₂ , PM _{2,5} , PM ₁₀ ,	Temperatura e umidade relativa do ar	do mesmo dia foi associado ao aumento do risco de infarto do miocárdio (OR = 1,04, IC95% = 1,00 – 1,10)
Wellenius et al., 2005	Allegheny County, EUA, 1987-1999	Case crossover	Idosos com 65 anos ou mais	Infarto agudo do miocárdio	SO ₂ , NO ₂ , PM ₁₀ , CO e O ₃	Idade, sexo e diagnóstico secundário	O aumento interquartil de PM ₁₀ foi associado ao aumento de 3,07% (IC95% = 1,59 – 4,57) nos atendimentos por infarto agudo do miocárdio;
Zeka et al., 2005	EUA, 1989 a 2000 (20 cidades que apresentassem dados suficientes de mortalidade e de poluição diária)	Case crossover	Idosos com 65 anos ou mais	Óbitos por todas as causas (excluindo-se causas externas)	PM ₁₀	Prevalência de aparelhos de ar condicionado, densidade populacional, taxas de mortalidade padronizada, temperatura e percentagem de PM ₁₀ originário do tráfego de carros	Aumento do 1º para o 3º quartil está associado a 0,53% (IC95% = 0,33% – 0,74% no aumento de óbitos por todas as causas)
Ostro et al., 2006	Califórnia, 1999 a 2002	Metanálise	Idosos com 65 anos ou mais	Óbitos (doenças respiratórias, doenças cardiovasculares, infarto agudo do miocárdio e diabetes)	PM _{2,5}	Sazonalidades, temperatura, umidade relativa do ar e dias da semana	O aumento de 10 µg de PM _{2,5} correspondeu ao aumento de 0,6% (IC95% = 0,2% - 1,0%) na mortalidade por todas as causas e de 2,2% (IC95% = 0,6% - 3,9%) para mortalidade por DAR

Em anos mais recentes, a investigação científica tem se voltado para os riscos da exposição de gestantes aos poluentes atmosféricos e possíveis desfechos na gravidez. A análise de séries temporais foi também a metodologia mais empregada nessas avaliações.

Em estudo realizado no ano de 2002 na cidade do Rio de Janeiro, analisando a influência das concentrações de PM_{10} e SO_2 sobre o peso de recém nascidos, Junger e colaboradores⁴⁸ (2007) encontraram associação entre o aumento interquartil de SO_2 no terceiro trimestre gestacional e a proporção de nascidos vivos com baixo peso ao nascer (BPN). No entanto, neste estudo, não foi demonstrada associação entre variações das concentrações de PM_{10} e BPN. Herring e colaboradores⁴⁹ (2004), analisando a ocorrência de partos prematuros, entre os anos de 1997 e 2001 em quatro grandes cidades da Pensilvânia (EUA), observaram um excesso de nascimentos de crianças pré-termo para cada aumento de $50 \mu g/m^3$ de PM_{10} (RR = 1,09) ocorrido durante a gestação. Já Lee e colaboradores⁵⁰ (2003) conduziram um estudo na Coreia do Sul, nos anos de 1996 a 2003, encontrando resultados mais expressivos. Ao analisarem as variações diárias de PM_{10} e outros poluentes durante o período gestacional, observaram associação entre o aumento interquartil de PM_{10} e nascidos vivos com BPN no 1º trimestre (OR = 1,03), 2º trimestre (OR = 1,04) e todos os trimestres de gestação (OR = 1,06) (Quadro 5).

Outros desenhos de estudo epidemiológico foram também utilizados na avaliação da influência de poluentes atmosféricos e desfechos gestacionais (Quadro 5). Dugandzic e colaboradores⁵¹ (2006) avaliaram, através de um estudo de coorte, a associação entre PM_{10} e outros poluentes e a ocorrência de BPN em recém nascidos na cidade de Nova Escócia (Canadá) durante os anos de 1998 e 2000. Os autores observaram um excesso de nascidos vivos com BPN com exposição entre o 1º e 3º

quartil de PM_{10} no 1º trimestre de gestação (RR = 1,33). Um estudo caso-controle foi realizado na Califórnia (EUA), nos anos de 1994 a 2000, com o objetivo de avaliar o risco de ocorrência de BPN devido à poluição do ar, em relação à distância entre a residência da parturiente e a estação de monitoramento dessa⁵². Foi encontrado um excesso de nascidos com BPN para cada aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} (OR = 1,22), quando a residência estava a menos de 1 milha de distância da estação aferidora de poluição do ar. Estudos transversais também foram utilizados, tal como o de Medeiros e Gouveia⁵³ (2005), realizado na cidade de São Paulo, durante os anos de 1996 e 2000. Foi observado um decréscimo do peso de 0,60 g em média, para o aumento na exposição média materna a $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ do PM_{10} (Quadro 5).

Ao contrário da grande produção científica referente ao efeito do material particulado urbano sobre a saúde humana, a literatura que trata de efeitos da queima de biomassa ainda é restrita. Os episódios mais estudados se referem às grandes queimadas florestais ocorridas na Indonésia e na Califórnia (EUA), no final da década passada. Alguns estudos mais recentes abordam a prática da queima da cana-de-açúcar no início de sua a colheita.

Mishra e colaboradores⁵⁴ (2004) avaliaram a exposição à fumaça originária de queima de biomassa intradomiciliar de madeira ou palha para cozimento, sem mensuração direta dos poluentes (Quadro 6). Os autores concluíram que filhos de mães que utilizavam, para cozinhar, queima de biomassa, nasceram, em média, com 175 gramas a menos do que filhos de mães que utilizavam, para essa finalidade, gás ou eletricidade (Quadro 6).

Quadro 5 – Estudos epidemiológicos selecionados que avaliaram a exposição da população à poluentes atmosféricos em gestantes e desfechos de gravidez

Autores/ano	Local e período	Desenho do estudo	População de estudo	Variáveis desfecho	Variáveis de exposição	Variáveis de ajuste	Resultados
Junger <i>et al.</i> , 2007	Rio de Janeiro (Brasil) - 2002	Análise de séries temporais	Nascidos vivos a termo (37 semanas ou mais)	Baixo peso ao nascer	SO ₂ e PM ₁₀	idade gestacional; escolaridade da mãe; idade da mãe; número de consultas pré-natal; tipo de parto; sexo da criança; raça e cor da pele categorizada em branca, preta, amarela, parda e indígena.	Associação entre aumento interquartil de SO ₂ no terceiro trimestre gestacional e BPN (OR = 1,149; IC95% = 1,016-1,301)
Mishra <i>et al.</i> , 2004	Zimbaboe, 1995 a 1999	Estudo transversal descritivo	Nascidos vivos a termo (37 semanas ou mais)	Baixo peso ao nascer	Queima de biomassa (madeira ou palha) intralar para cozinhar	Sexo, idade, escolaridade materna,	Filhos de mães que utilizavam queima de biomassa para cozinhar nasceram , em média, com 175 gramas a menos do que filhos de mães que utilizavam gás ou eletricidade para cozinhar
Medeiros & Golveia, 2005	São Paulo (Brasil), 1998 a 2000	Estudo descritivo transversal	Nascidos vivos a termo (37 semanas ou mais)	Baixo peso ao nascer	SO ₂ , NO ₂ , PM ₁₀ , CO e O ₃	Variáveis constantes da Declaração de Nascido Vivo	Decréscimo do peso de 0,60 g; 0,47 g; 1,26 g e 11,87 g respectivamente para o aumento na exposição média materna a 1 µg/m ³ do PM ₁₀ , NO ₂ e SO ₂ e 1 ppm do CO,
Lee <i>et al.</i> , 2003	Coréia do Sul, 1996 a 1998	Análise de séries temporais	Nascidos vivos a termo (37 semanas ou mais)	Baixo peso ao nascer	SO ₂ , NO ₂ , PM ₁₀ , CO e O ₃	Sexo, ordem de nascimento, idade e escolaridade materna, escolaridade paterna	Aumento interquartil de PM ₁₀ durante 1º trimestre (OR = 1.03, IC95% = 1,00 – 1,07) Aumento interquartil de PM ₁₀ durante 2º trimestre (OR = 1.04, IC95% = 1,00 – 1,08) Aumento interquartil de PM ₁₀ durante todos os trimestres (OR = 1.06, IC95% = 1,01 – 1,10)
Herring <i>et al.</i> , 2004	EUA, Pensilvânia, 4 cidades, 1997 a 2001	Análise de séries temporais	Nascidos vivos	Nascimentos pré-termo	PM ₁₀	Tendências temporais, co-poluentes , local de nascimento	Excesso de nascimento pré-termo para cada aumento de 50 µg/m ³ de PM ₁₀ (RR = 1,09, IC95% = 1,01 – 1,09)
Wilhelm & Ritz, 2005	EUA, Califórnia, 1994 a 2000	Caso controle	Nascidos vivos	Baixo peso ao nascer e nascimentos pré-termo	PM ₁₀ e PM _{2,5}	Idade materna, raça e escolaridade materna, ordem de nascimento, intervalo entre gestações, qualidade da atenção pré-natal, sexo do nascido vivo e sazonalidade (estação do ano)	Excesso de nascidos com BPN para cada aumento de 10 µg/m ³ de PM ₁₀ (OR = 1,22, IC95% = 1,05 – 1,41) quando a residência estava a menos de 1 milha de distância da estação monitora
Dugandzic <i>et al.</i> , 2006	Canadá, Nova Escócia, 1998 a 2000	Estudo de coorte	Nascidos vivos	Baixo peso ao nascer	SO ₂ , O ₃ e PM ₁₀	Idade materna, paridade, óbito fetal prévio, tabagismo durante a gestação, ano de nascimento	Excesso de nascidos com BPN entre o 1º e 3º quartil de PM ₁₀ no 1º trimestre (RR = 1,33, IC95% = 1,02 – 1,74)

Cabe destacar que a qualidade e a quantidade da emissão de poluentes dependem do tipo de bioma, condições climatológicas locais (temperatura, precipitação, umidade e vento) e do conteúdo de água na biomassa, conforme visto anteriormente¹⁴. Nesse sentido, Naeher e colaboradores²⁹ (2007) avaliaram os efeitos á saúde humana originários de queima de vegetação e outras fontes antropogênicas em artigo de revisão.

Os autores, baseados nas diferenças físico-químicas, características na dispersão atmosférica e efeitos na saúde humana, apontam para a necessidade de uma regulamentação específica das concentrações máximas toleráveis dos poluentes oriundos da queima de biomassa.

Dawud⁵⁵ (1999) reporta que, nos grandes incêndios florestais ocorridos na Indonésia nos anos de 1997 e 1998, as concentrações de poluentes excederam de 4 a 8 vezes os limites máximos estabelecidos como significantes para impacto na saúde humana. Cerca de 12.000.000 de habitantes manifestaram algum tipo de doença, sendo que aproximadamente 1.800.000 de pessoas tiveram episódios de asma, bronquite ou infecção respiratória aguda. Além dessas patologias, foi observado o aumento de casos de diarreia, irritação dos olhos e doenças de pele (Quadro 6).

Sastry e colaboradores⁵⁶ (2000) avaliaram, através de análise de séries temporais, os efeitos da poluição do ar ocasionada pelos incêndios florestais na Malásia, em grupos populacionais de três faixas etárias, durante os anos de 1994 a 1997. Os autores encontraram um aumento de óbitos por todas as causas (exceto causas externas) (RR= 1,7) associado aos altos níveis de PM₁₀ ocorridos nesse período (Quadro 6).

Mott e colaboradores⁵⁷ (2002) relatam que durante os incêndios ocorridos entre os meses de agosto e novembro de 1999 no *Hoopa Valley National Indian Reservation*, na Califórnia (EUA), a concentração de PM₁₀ chegou a 500 µg/m³ (média de 24 horas), ultrapassando em mais de três vezes o nível de 150 µg/m³, estabelecido como **danoso** pela Agência de Proteção Ambiental Americana (US-EPA). Entre os sintomas relacionados aos incêndios, os autores observaram aumento dos quadros de asma, Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica e infecção respiratória aguda (Quadro 6).

No Brasil, a maioria dos estudos que avaliam os efeitos de poluentes oriundos da queima de biomassa sobre a saúde humana foi realizada no Estado de São Paulo, sendo analisados os poluentes gerados pelo cultivo e queima da cana-de-açúcar.

Um estudo de análise de séries temporais realizado em Piracicaba (SP), nos anos de 1997 e 1998, quantificou as internações hospitalares diárias por DAR em crianças e adolescentes (abaixo de 13 anos de idade) e idosos com mais de 65 anos. Os autores concluíram que houve um aumento de 32% no número de internações hospitalares por DAR em crianças e adolescentes, associado à variação interquartil do PM_{10} e $PM_{2.5}$ ³⁴ (Quadro 6).

Lopes & Ribeiro⁵⁸ (2006) verificaram a correlação entre os produtos das queimadas de cana-de-açúcar e a incidência de problemas respiratórios em regiões afetadas, através de técnicas de geoprocessamento, nos anos de 2000 a 2004, no estado de São Paulo, encontrando maior ocorrência de doenças respiratórias em regiões onde há prática de queimadas (Quadro 6).

Arbex e colaboradores⁵⁹ (2004) estudaram o efeito da queima da cana-de-açúcar sobre os atendimentos ambulatoriais para inalação no município de Araraquara (SP) em 1995, através da análise de séries temporais. Como variável de exposição, foi utilizado o peso dos sedimentos originados da queima coletados em recipientes adequados. Os autores observaram que o aumento diário de 10 mg do sedimento estava associado ao aumento de 9% dos atendimentos para inalação (Quadro 6).

Mascarenhas e colaboradores⁶⁰ (2008) estudaram as relações entre poluição atmosférica devida à queima de biomassa florestal e atendimentos de emergência por doença respiratória em Rio Branco (AC) no mês de setembro de 2005. Naquela ocasião, a concentração de $PM_{2.5}$ ultrapassou o limite de qualidade do ar durante 23 dias no mês estudado, sendo observada a ocorrência de um maior número de casos de DAR em crianças menores 10 anos (Quadro 6). Ignotti e colaboradores¹² (2008) analisaram a

associação entre o percentual de horas críticas de $PM_{2.5}$ (%HC) (modelo CATT-BRAMS) em 107 microrregiões de 8 estados da Amazônia Legal e a taxa de hospitalização por DAR, durante os anos de 2004 e 2005, utilizando a análise de regressão linear múltipla. As faixas etárias estudadas (menores de 5 anos, de 5 a 64 anos e 65 anos ou mais) apresentaram associação entre aumento %HC e hospitalização (Quadro 6).

As variáveis utilizadas para ajuste nos diferentes tipos de estudo e as específicas de cada grupo sensível encontram-se nos Quadros 3, 4, 5 e 6. Nas análises de séries temporais e em estudos do tipo *case crossover*, de maneira geral, as variáveis relacionadas ao tempo, tais como dias da semana, número total de dias transcorridos no período do estudo, feriados, sazonalidade e períodos epidêmicos (esta última quando se trata de avaliação de doenças transmissíveis tais como gripe e outras infecções respiratórias) foram consideradas para ajuste, assim como variáveis meteorológicas (temperatura, velocidade dos ventos, umidade relativa do ar e outras) e variáveis de poluição do ar (SO_2 , NO_2 , e CO e O_3) devido às prováveis interações entre elas. Com bastante frequência foram também consideradas no ajustamento as variáveis consideradas como confundidoras universais (idade, escolaridade, sexo e nível socioeconômico). Finalmente e de maneira exclusiva, os estudos que avaliaram os desfechos de gravidez também incluíram como variáveis de ajuste aquelas relacionadas à saúde materna ou à atenção à gestante e ao parto (número de gestações anteriores, qualidade da atenção pré-natal, tabagismo materno, intervalo entre gestações, paridade, abortamentos anteriores e outras).

Quadro 6 – Estudos selecionados que avaliaram a exposição da população à poluentes atmosféricos originários de queima de biomassa

Autores/ano	Local e período	Desenho do estudo	População de estudo	Variáveis desfecho	Variáveis de exposição	Variáveis de ajuste	Resultados
Naeher et al., 2007	-	Revisão sistemática	-	Morbidade e mortalidade	Poluentes originários queimadas	-	Associação entre poluentes originários de queimadas e morbimortalidade
Dawud (1999)	Indonésia,	Análise de séries temporais	População geral	Diversas variáveis de morbidade	SO ₂ , NO ₂ , PM ₁₀ , CO e O ₃	Temperatura, umidade relativa do ar, sazonalidade, controle de tendências	Associação entre o aumento dos poluentes e a incidência de asma, bronquite, infecção respiratória, diarreia, irritação dos olhos e doenças de pele.
Sastry, 2000	Malásia, 1994 a 1997	Análise de séries temporais	Três faixas etárias: < de 1 ano, 1 a 64 anos e 65 anos ou mais	Mortalidade geral, por doenças cardiovasculares e por doenças respiratórias	PM ₁₀ originárias de queimadas e visibilidade (em metros)	Temperatura, umidade relativa do ar, sazonalidade, controle de tendências	Aumento de óbitos por todas as causas (exceto a por causas externas) RR= 1,7 (IC95%= 0,9 - 2,5) associado a altos níveis de PM ₁₀ (PM ₁₀ > 210 µ g/m ³)
Mott et al, 2002	Califórnia (EUA), 1999	Análise de séries temporais	População em geral	Internação por doenças do aparelho respiratório	PM ₁₀	Temperatura, umidade relativa do ar, sazonalidade, controle de tendências	Aumento de asma, DPOC e infecção respiratória aguda relacionados ao aumento da concentração de PM ₁₀
Mascarenhas et al, 2008	Rio Branco (Acre), 2005	Análise de séries temporais	Crianças < 10 anos	Internação por doenças do aparelho respiratório	PM _{2,5}	-	Aumento da incidência de DAR em crianças < 10 anos associados aos dias mais poluídos.
Ignotti et al., 2008	5 estados da Amazônia Legal, 2004 e 2005	Regressão linear múltipla	Três faixas etárias: < de 1 ano, 1 a 64 anos e 65 anos ou mais	Internação por doenças do aparelho respiratório	PM _{2,5}	IDH-M e número de exames de sangue realizados no período	Todas as faixas etárias estudadas (recém nascidos, menores de 5 anos, de 5 a 64 anos e 65 anos ou mais) foram associadas aos maiores %HC, exceto o grupo de recém-nascidos
Cançado et al, 2006	Piracicaba (SP), 1997 e 1998	Análise de séries temporais	Duas faixas etárias: crianças < 13 anos e idosos com mais de 65 anos	Internação por doenças do aparelho respiratório	PM _{2,5} e PM ₁₀	Dias da semana, períodos secos e chuvosos, sazonalidades, tendências	aumento de 32% (IC= 1,25 -60,8%) no número de internações hospitalares por DAR em crianças e adolescentes associado à variação interquartil do PM10 e PM2.5
Lopes & Ribeiro, 2006	Estado de São Paulo, 2000 a 2004	Análise de Correlações Espaciais	População em geral	Internação por doenças do aparelho respiratório	Número de focos de calor	-	Ocorrência de incidência de doenças respiratórias em regiões onde há prática de queimadas
Arbex et al, 2000	Araraquara (SP), 1995	Análise de séries temporais	População em geral	Atendimentos ambulatoriais para inalação	Peso do sedimento de cinzas de queimadas	Temperatura, umidade relativa do ar, sazonalidade,	o aumento de 10 mg do sedimento foi associado ao aumento de 9% no aumento das inalações.

1- JUSTIFICATIVA

A Amazônia Legal concentra mais de 85% das queimadas que ocorrem no Brasil e entre os estados da região, Mato Grosso (38%) e Pará (27%) registraram o maior número de queimadas entre os anos de 2005 a 2007. Em alguns municípios desses estados, a área desmatada alcançou cerca de 80-90% de sua superfície total⁹.

O acelerado processo de degradação socioambiental, com conseqüências importantes para o clima regional e talvez para o clima global, também têm gerado pobreza, conflitos sociais e agrários, perda de biodiversidade, perda do solo e dos recursos hídricos, e ainda, expõe a região para a expansão de doenças emergentes e reemergentes⁷.

As regiões mais atingidas estão localizadas no chamado “Arco do Desmatamento”, uma região de transição entre o domínio do Cerrado e a Floresta Amazônica, que se estende desde o Acre, Norte de Rondônia e Mato Grosso, passa por Tocantins, Leste a sul do Pará e termina no Maranhão, possuindo 3 mil quilômetros de extensão, e mais de 300 quilômetros de largura (<http://www.socioambiental.org/esp/novogov/proposta.htm>). Essa área é considerada altamente crítica e se constitui como prioritária nas campanhas e ações de combate às queimadas⁹.

A literatura científica fornece evidências de que a poluição atmosférica originada das queimadas representa um risco para a saúde das populações expostas, resultando no aumento da morbimortalidade por doenças respiratórias e cardíacas, além de distúrbios reprodutivos que se refletem na saúde do concepto. Entretanto, são escassos os estudos epidemiológicos que analisaram os efeitos da queima de biomassa na Amazônia na saúde humana.

Dessa forma, a presente investigação se propõe a contribuir para o melhor entendimento dos efeitos da exposição ao $PM_{2.5}$ oriundo da queima de biomassa nos diferentes grupos etários da população do estado do Mato Grosso, que tem sido atingido por intenso processo de queimada nos últimos anos.

A compreensão dos efeitos da poluição na saúde dessa população poderá fornecer subsídios para a elaboração de *guidelines* para a exposição a queima de biomassa e a elaboração de medidas que visem reduzir os riscos da exposição e prevenir os diferentes agravos que dela se originam.

2- OBJETIVOS

4.1. Objetivo geral

Investigar os efeitos da exposição ao $PM_{2.5}$ originária de queimadas e/ou fontes urbanas antropogênicas sobre a saúde de grupos populacionais sensíveis do estado de Mato Grosso.

4.2. Objetivos específicos

- Analisar a distribuição espacial conjunta do percentual de horas críticas anuais de concentração de partículas de aerossol com diâmetro inferior a $2.5 \mu m$ ($PM_{2.5}$) e das internações por doenças do aparelho respiratório em crianças de um a quatro anos e de indivíduos de 65 ou mais anos de idade nos municípios do estado de Mato Grosso em 2004.
- Analisar a associação entre $PM_{2.5}$ e internações por Doenças do Aparelho Respiratório de crianças menores de cinco anos e de indivíduos de sessenta e cinco anos ou mais em Cuiabá, Mato Grosso, no ano de 2005.
- Analisar os efeitos da poluição atmosférica medida através das estimativas de $PM_{2.5}$ sobre o peso ao nascimento de nascidos vivos nos municípios do estado de Mato Grosso, no período de 2004 e 2005.

5 – CAPÍTULO I: Material particulado (PM_{2.5}) de queima de biomassa e doenças respiratórias no sul da Amazônia brasileira^a

Autores:

Ageo Mário Cândido DA SILVA^{1,2}

Inês E. MATTOS¹

Saulo R. FREITAS³

Karla M. LONGO³

Sandra S. HACON¹

- 1- Escola Nacional de Saúde Pública – Fundação Oswaldo Cruz (ENSP-FIOCRUZ)
- 2- Instituto de Saúde Coletiva (ISC –UFMT) / Secretaria do Estado de Saúde do Estado de Mato Grosso (SES - MT)
- 3- Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC –INPE)

Artigo submetido e aceito para publicação em 01/04/2010 pela Revista Brasileira de Epidemiologia.

a-Trabalho Financiado pela FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE MATO GROSSO (FAPEMAT) – Processo N° PROJ_496_10037290
Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública e Meio Ambiente da ENSP - Bolsista da Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior (CAPES) Endereço para correspondência: Rua General Ramiro Noronha, N° 606, Jardim Cuiabá, Cuiabá, MT CEP 78043-180
email - ageoms@terra.com.br

RESUMO

Objetivos: Analisar espacialmente o efeito da exposição ao material particulado ($PM_{2.5}$) na ocorrência de doenças do aparelho respiratório de crianças de um a quatro anos e de idosos com sessenta e cinco anos ou mais nos municípios do estado de Mato Grosso em 2004. **Métodos:** Trata-se de um estudo ecológico em duas etapas: A primeira foi uma investigação da autocorrelação espacial global da prevalência de internações por doenças respiratórias e do percentual de horas críticas de concentração do material particulado nos municípios do estado de Mato Grosso, empregando-se o método bayesiano empírico para minimização das flutuações aleatórias dos indicadores e a estatística Moran “global”. A segunda, uma regressão múltipla espacial, teve como variáveis resposta a prevalência de internações por doenças respiratórias e, como variável de exposição, o percentual de horas críticas anuais. Para ajuste, utilizou-se variáveis *proxies* de poluição do ar, variáveis de atenção à saúde e de condições de vida da população. **Resultados:** Não foram observados padrões espaciais globais de prevalência de doenças respiratórias em grupos sensíveis nos municípios, mas se evidenciou elevada dependência espacial do percentual de horas críticas anuais de concentração do material particulado. Na regressão múltipla, foram observadas associações estatisticamente significativas entre a prevalência de internações por doenças respiratórias e o percentual de horas críticas anuais de material particulado. **Conclusões:** As emissões de material particulado originadas de queimadas na Amazônia Legal estão relacionadas à prevalência de internações por doenças respiratórias em grupos populacionais sensíveis nos municípios do estado de Mato Grosso.

Palavras-chave: material particulado, queimadas, doenças do aparelho respiratório, Amazônia.

Particulate matter (PM_{2.5}) of the biomass burning emission and respiratory diseases in south of the Brazilian Amazon.

ABSTRACT

Objectives: To analyze the morbidity of patients with respiratory disease and the effect from the exposure to particulate matter (PM_{2.5}) on the occurrence of these diseases in children from one to four years old and adults aged to 65 and older in the municipals districts of the Mato Grosso State, Brazil, in 2004. **Methods:** Ecological study in two stages: The first was an investigation of Global Space Autocorrelation of the prevalence of hospital admissions for respiratory diseases and the critical hours percentage of particulate matter in the municipals districts of Mato Grosso State, being used the Empirical Bayes Smoothing function and Global Moran's I Statistic. The second, a Multiple Spatial Regression Analysis, had as outcome variable the prevalence of hospital admissions for respiratory diseases and, as independent variable, the critical hours percentage of particulate matter. In order to model fitting, variables proxies of air pollution were used, the attention of health care variables and variables of the life condition of the population. **Results:** No standards of Global Spatial rate of hospital admissions for respiratory diseases were observed in the municipals districts. However, it was detected a high spatial dependency of the levels of particulate matter. In the Multiple Spatial Regression, the models presented significant associations between the critical hours percentage of particulate matter and the rate of hospital admissions for respiratory diseases. **Conclusion:** It was observed that the great production of particulate matter originated off burning in the 'Legal' Amazon can raise the morbidity of the occurrence of respiratory diseases in the vulnerable groups in the municipals districts of the Mato Grosso State, which belongs to the Brazilian Amazon.

Keywords: Particulate matter, biomass burning emission, respiratory diseases,

Brazilian Amazon

INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica tem afetado de forma significativa a saúde humana e, embora os mecanismos de ação específicos ainda estejam em estudo, existem muitas evidências de uma associação causal¹⁻⁴.

Os grupos mais suscetíveis aos efeitos deletérios da poluição atmosférica são crianças, idosos e indivíduos com doenças do aparelho respiratório e cardiovascular. Em relação às crianças, doenças do aparelho respiratório, em especial as infecções respiratórias agudas, asma e bronquite são as causas mais comuns de morbimortalidade^{5,6} e, além de condições nutricionais inadequadas e baixo nível socioeconômico, os altos níveis de poluição do ar são apontados como fatores de risco, tanto em países desenvolvidos com naqueles em desenvolvimento⁷. Entre os idosos, apesar de sua mortalidade estar mais relacionada a causas do aparelho cardiovascular, as doenças do aparelho respiratório ainda são o principal motivo de internação^{7,8}. Nessa faixa etária, a suscetibilidade à poluição atmosférica pode ser exacerbada pela debilidade física, baixa resiliência fisiológica do aparelho respiratório e outras doenças prevalentes^{9,10}. A literatura também refere associação entre altos índices de queimada e baixo peso ao nascer^{10,11}.

Após os incêndios transcontinentais nas ilhas polinésias na década passada, estudos epidemiológicos sobre poluentes atmosféricos originários de queima de biomassa começaram a ser desenvolvidos¹². A preocupação mundial com as mudanças climáticas globais e os extensos desmatamentos de floresta naturais têm despertado cada vez mais interesse nas queimadas e seus impactos socioambientais no continente sul-americano.

No Brasil, a Amazônia Legal concentra mais de 85% das queimadas que ocorrem, principalmente, no “Arco do Desmatamento”, que possui 3.000 km de

extensão e mais de 300 km de largura e se estende desde o Acre até o Maranhão¹³. Entre agosto e dezembro de 2007 foram desmatados 3.235 Km² nesta região, sendo 53% deste total apenas em Mato Grosso, estado que apresenta os maiores índices de desmatamentos e, conseqüentemente, de queimadas¹⁴.

Com o fenômeno das queimadas ocorre intensa produção de poluentes atmosféricos, entre os quais o material particulado com diâmetros igual ou menor de 2,5 µm, também chamado de particulado fino, e o material particulado grosso com partículas menores que 10,0 µm (PM₁₀) e considerado mais danoso à saúde humana^{15,16}. Estudos mais recentes destacam o importante papel das partículas de menor tamanho (PM_{2.5}) como fatores de risco para doenças respiratórias^{17,18}.

Em 1997, durante incêndios da floresta amazônica com elevados níveis de material particulado na região sul da Amazônia, em Alta Floresta (MT), houve um aumento de 20 vezes na procura de ambulatórios médicos por doenças respiratórias¹.

O presente estudo tem como objetivo analisar a distribuição espacial conjunta de um indicador de poluição do ar e da prevalência de internações por doenças respiratórias em grupos populacionais sensíveis nos municípios do estado de Mato Grosso em 2004.

Esta análise é parte integrante do projeto INCT / CNPq proc. 573797/2008-0 e da Sub Rede Clima – Saúde/FIOCRUZ sobre "Avaliação dos Efeitos das queimadas sobre a saúde humana na Amazônia brasileira".

MATERIAL E MÉTODOS

Foram incluídos no estudo os 139 municípios existentes no estado de Mato Grosso no ano de 2004. Os dados geográficos e espaciais relativos a cada município, contemplando as variáveis: latitude, longitude, perímetro, área e localização da sede de cada município no estado, foram obtidos no *site* do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística²⁰.

Como variável de exposição foi utilizado o indicador de poluição do ar **percentual de horas críticas anuais de partículas de aerossol com diâmetro inferior a 2,5 µm (PM_{2.5}) emitidos por queimadas (%HC)**. A construção desse indicador considera, no numerador, o número de vezes em que os valores estimados de concentração de PM_{2.5} se mantiveram acima de 80 µg/mm³ (hora crítica) em determinado ano e, no denominador, o número total de vezes em que os valores desses poluentes foram estimados (Nº total de horas), conforme a fórmula a seguir²⁰.

$$\%HC = \frac{\sum (\text{N}^\circ \text{ de horas críticas})}{\sum (\text{N}^\circ \text{ total de horas})} * 100$$

Esse indicador foi estimado para cada município do Mato Grosso pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC–INPE), através do modelo *Coupled aerosol and trace gases transport model to the Brazilian developments of the Regional Atmospheric Modeling System (CATT-BRAMS Model)*^{21,22}. O CATT-BRAMS, a partir da observação de focos de calor pelos satélites, utiliza as emissões de vários gases e partículas de aerossóis para prever, com boa precisão, a concentração de poluentes atmosféricos, como PM_{2.5} e o monóxido de carbono (CO), na região em estudo, utilizando parâmetros de difusão horizontais e verticais de radiação solar, umidade e temperatura²¹.

O limite de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ teve como base a classificação do Departamento de Qualidade do Meio Ambiente de Oregon, EUA, para episódios de queimadas, que classifica concentrações horárias de $\text{PM}_{2.5}$ acima deste valor como *insalubre para grupos sensíveis*, ($80,1$ a $175,0 \mu\text{g}/\text{mm}^3$), *insalubre* ($175,1$ a $300,0 \mu\text{g}/\text{mm}^3$), *muito insalubre* ($300,1$ a $500,0 \mu\text{g}/\text{mm}^3$) e *danosa* (mais de $500 \mu\text{g}/\text{mm}^3$)²².

No presente estudo, foram incluídos como **grupos sensíveis** as crianças de um a quatro anos e os indivíduos a partir de sessenta e cinco anos de idade (idosos).

Como variáveis de desfecho foram consideradas:

- **Prevalência de internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças de 1 a 4 anos por 1.000 habitantes em cada município no ano de 2004**, sendo o numerador constituído pelo total de internações por essa causa nesse grupo etário e o denominador pela população da mesma faixa etária;
- **Prevalência de internações hospitalares por doenças respiratórias em indivíduos de 65 anos ou mais por 1.000 habitantes em cada município no ano de 2004**, sendo o numerador constituído pelo total de internações por essa causa nesse grupo etário e o denominador pela população da mesma faixa etária.

Os dados de internações hospitalares por causas respiratórias (Capítulo X- Doenças do aparelho respiratório que compreende as categorias de **J00** até **J99** da Classificação Internacional de Doenças - CID 10) segundo local de residência para cada município do Estado de Mato Grosso foram obtidos nos bancos de dados informatizados do Ministério da Saúde, através das Autorizações de Internações Hospitalares (AIH) do Sistema Único de Saúde (SUS) para o ano de 2004^{23,24}. Após a criação dos novos municípios os Sistemas Nacionais de Informação em Saúde levam um determinado tempo para inseri-los em suas bases de dados. Para os dados faltantes desses municípios novos, que ainda não tinham suas informações disponibilizadas para

o ano de 2004, foram consideradas as informações dos municípios de origem; nos casos em que o município novo se originou de mais de um município, foram consideradas as médias dos indicadores dos municípios de origem. As informações populacionais utilizadas como denominadores na construção das medidas de prevalência foram fornecidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e estão disponibilizadas na homepage do DATASUS²⁴.

As seguintes co-variáveis foram consideradas:

- **Área desmatada (km²) em cada município**

Esta variável foi incluída no estudo como indicadora da produção de outros poluentes atmosféricos devido à indisponibilidade desses dados para todos os municípios do Estado de Mato Grosso. O desmatamento se inicia com a retirada da madeira seguida da queima de vegetação que origina uma série de poluentes atmosféricos, variando com o tipo de combustão e com a composição da biomassa^{25, 26}. Os dados foram obtidos no Anuário Estatístico da Secretaria de Planejamento do Estado de Mato Grosso²⁷.

- **Existência de hospital no município**

Incluída como variável discreta (sim/não), para representar a disponibilidade de serviços de saúde no município. Esses dados foram obtidos dos bancos de dados do Sistema de Informações Ambulatoriais (SIA) no ano de 2004²³.

- **Percentual de indivíduos da população com oito anos ou mais de estudo**

- **Renda média per capita**

Essas duas variáveis foram consideradas, tendo em vista que as desigualdades de educação e renda indicam diferentes necessidades de acesso e oferta dos serviços de saúde²⁸. Ambas foram obtidas do Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil, versão 1.0²⁹.

- **Número de queimadas por município no ano de 2004**

Sua seleção teve como motivo a diferenciação entre exposição à fumaça aguda, que ocorre imediatamente após a queima de biomassa, da exposição crônica^{20, 21}. O estado de Mato Grosso apresenta clima caracterizado por apresentar inverno seco, quando a massa de ar tropical continental fica estacionada na região e verão chuvoso, quando a massa de ar equatorial continental predomina em todo o estado³⁰. As informações foram obtidas do Anuário Estatístico de Mato Grosso de 2005²⁷.

Análise dos dados

Foi efetuada uma análise exploratória univariada de dados espaciais para investigação de **autocorrelação espacial global** das estimativas bayesianas das internações por doenças respiratórias em crianças e indivíduos idosos e do indicador percentual de horas críticas anuais (%HC) de concentração de partículas de aerossol com diâmetro inferior a 2.5 μm (PM_{2.5}) nos municípios de Mato Grosso, através do índice I de Moran, sob as suposições de normalidade e de randomização. A distribuição de valores do índice de Moran varia entre -1,0 e +1,0 e testa se áreas conectadas apresentam maior semelhança quanto ao indicador estudado, do que seria esperado num padrão aleatório³¹. Optou-se por construir estimativas bayesianas para as internações, visando minimizar a instabilidade das prevalências, através da eliminação da flutuação aleatória presente em pequenas áreas³³. O método utilizado foi o bayesiano empírico espacial proposto por Marshal³⁵, em que a prevalência de cada município é ajustada levando-se em conta as prevalências de seus vizinhos. A mesma estratégia de análise foi utilizada na investigação das relações entre a variável independente e as duas variáveis dependentes consideradas no estudo.

Na análise múltipla, primeiramente avaliou-se a direção e a magnitude das associações entre as variáveis independentes através de uma matriz de correlação. A seguir, utilizou-se a análise de regressão múltipla espacial. Esse tipo de análise possui

os mesmos pressupostos da regressão linear tradicional, porém leva em consideração as tendências e correlações espaciais dos dados e, caso seja constatada autocorrelação espacial, são incorporados determinados parâmetros que possibilitam a retirada destes efeitos. A qualidade do ajuste do modelo de regressão espacial é semelhante à do modelo de regressão múltipla tradicional, sendo verificada por meio da análise de resíduos e também com base no índice de Moran³⁵.

Para a inclusão ou retirada das variáveis do modelo foram utilizados os seguintes critérios:

1. Inclusão de variáveis que obtiveram maior F na análise de regressão simples;
2. Inclusão de variáveis que na correlação parcial, controlada pelas variáveis que já estavam no modelo, apresentaram correlação estatisticamente significativa com a variável dependente.
3. Inclusão das variáveis consideradas, teoricamente, como importantes (Percentual de indivíduos da população com oito anos ou mais de estudo, Renda média per capita e Existência de hospital no município).

O critério de exclusão das variáveis foi o valor de p maior ou igual a 0,05.

Na verificação dos pressupostos da regressão linear, foram efetuadas análises gráficas entre resíduos padronizados, valores observados e preditos, além do diagnóstico de normalidade, por meio de gráficos Q-Q *plot*. A homocedasticidade das variáveis apresentou distribuição aleatória, sem comportamento cíclico ou de tendência definidos. Na obtenção dos modelos finais também se verificou que não houve autocorrelação espacial dos resíduos.

Os softwares utilizados foram o Stata 9.1, SPSS 13.0 e GeoDa 0.9.5-i.

O presente trabalho foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa da Escola Nacional de Saúde pública sob parecer N°. 164/08.

RESULTADOS

As prevalências médias das doenças respiratórias em crianças de 1 a 4 anos e de idosos com 65 anos ou mais no ano de 2004 foram, respectivamente, 397,6 e 909,3 internações hospitalares por 1000 habitantes. O percentual de horas críticas médio de $PM_{2.5}$ foi de 5,8% para o ano de 2004.

A figura 1 demonstra uma distribuição espacial heterogênea das internações por DAR de crianças de 1 a 4 anos segundo tercís, onde, entre os aglomerados de municípios com maiores prevalências, grande parte se encontra na região amazônica do Estado, apesar da não existência de dependência espacial segundo a estatística I de Moran ($I = 0,0182$, p-valor = 0,340 para 999 permutações). Em relação aos tercís de prevalência de internações por DAR entre idosos com 65 anos ou mais (figura 2), nota-se ainda uma quantidade maior de agrupamentos de maior prevalência entre os municípios do bioma amazônico, também sem a observação da ocorrência de dependência espacial ($I = 0,0234$; p-valor = 0,247 para 999 permutações).

Quanto ao % HC, a estatística I de Moran caracterizou três agrupamentos bastante distintos com elevada autocorrelação espacial ($I = 0,676$; p-valor < 0,001 para 999 permutações). Municípios do bioma amazônico, na sua maioria, apresentaram maior percentual de horas críticas do poluente analisado, e os demais, situados nas regiões de cerrado ou pantanal, menores percentuais (figura 3).

Com o objetivo de avaliar se os valores discrepantes destas três análises influenciavam o cálculo do coeficiente de autocorrelação global em relação à significância estatística, foram refeitas as análises sem a interferência destes extremos, não se observando alteração dos resultados da estatística I de Moran para nenhuma das variáveis analisadas anteriormente, optando-se assim pela permanência destes na análise.

A análise exploratória bivariada das correlações realizada por meio da matriz de correlação (Tabela 1) mostrou que não foram observadas correlações estatísticas significantes entre o %HC e as prevalências de internações por doenças do aparelho respiratório. A prevalência de internações de crianças de 1 a 4 anos apresentou correlação moderada (0,284) com a presença de hospitais. Foi também observada correlação moderada entre a prevalência de internações por DAR em idosos com 65 anos ou mais e a presença de hospitais (0,349). A variável de exposição %HC apresentou correlação forte com número de focos de calor ao ano (0,550), e moderada com o total de área desmatada (0,391) e com renda per capita (0,332). O número de focos de calor ao ano se correlacionou fortemente com o total de área desmatada no ano (0,782) e moderadamente com renda per capita (0,228). A proporção de indivíduos com oito anos ou mais de escolaridade apresentou forte correlação inversa com renda per capita (-0,582).

As co-variáveis não apresentaram multicolinearidade, o que orientou a manutenção de todas no modelo de regressão linear múltipla.

Na análise de regressão linear espacial múltipla do modelo que avaliou a prevalência de internações por DAR em crianças de 1 a 4 anos, as variáveis que apresentaram associação estatística significativa com a estimativa bayesiana da prevalência de internação por DAR foram o %HC ($p=0,019$), presença de hospital no município ($p = 0,027$) e total de área desmatada no ano de 2004 ($p=0,016$) (Tabela 2A). Quanto ao modelo que estudou a prevalência de DAR em idosos com 65 anos ou mais, a estimativa bayesiana da prevalência de internação por DAR apresentou associação estatística significativa com %HC ($p=0,050$), presença de hospitais no município ($p < 0,001$) e proporção de indivíduos com oito anos ou mais de estudo no município ($p=0,008$) (Tabela 2B).

A análise de resíduos de ambos os modelos de regressão linear múltipla verificou a ausência de padrão na dispersão dos resíduos, indicando uma distribuição aleatória com teste de Moran e demonstrando a inexistência de autocorrelação espacial dos mesmos. Desta maneira, não houve a necessidade de correção das variáveis, justificando-se assim o bom ajuste de ambos os modelos.

DISCUSSÃO

Alguns estudos realizados no Brasil investigaram padrões de distribuição de morbidade empregando técnicas de análise espacial; poucos, no entanto, avaliaram a morbidade de doenças respiratórias relacionada à exposição ao $PM_{2.5}$ sendo esses, em sua maioria, estudos ecológicos de séries temporais que não utilizam Sistemas de Informações Geográficas^{11, 36, 37}.

A variável de exposição utilizada no presente de estudo foi escolhida por ser, atualmente, considerada como aquela mais fortemente associada à morbidade produzida por poluentes atmosféricos. As partículas finas e, em especial, as ultrafinas do material particulado ($PM_{2.5}$) são capazes de atingir as regiões mais profundas do sistema respiratório, desencadeando processos inflamatórios no interstício pulmonar³⁸. A deposição dessas partículas, ao transpor a barreira do epitélio alveolar, induz à liberação de mediadores químicos que levam a respostas locais (hipoventilação, obstrução, inflamação e infecção pulmonares) e sistêmicas, devido ao transporte desses mediadores pela circulação, agindo, inclusive, diretamente nas células cardíacas¹⁶.

Para os dois grupos sensíveis incluídos no estudo, grande parte dos *clusters* de maiores prevalências ocorreu nos municípios pertencentes ao “Arco do Desmatamento”, composto por municípios que se estendem desde o Estado do Acre até o Sul do Maranhão e caracterizado por grandes áreas desmatadas e grandes concentrações de queimadas⁴².

Em relação à faixa etária selecionada para o estudo, diversos autores sustentam que os grupos mais sensíveis à exposição aos poluentes atmosféricos são as crianças menores de cinco anos e idosos, além de pessoas portadoras de doenças respiratórias ou cardíacas^{1, 28, 39, 40}. Contudo, outros fatores de risco ligados a condições sócio-sanitárias estão também associados ao desenvolvimento de doenças respiratórias na infância, especialmente no primeiro ano de vida^{7, 41}. Embora tenha sido considerada

como variável controle para análise, a variável taxa de mortalidade infantil não se mostrou adequada, por estar sujeita a importantes oscilações na sua magnitude na maioria dos municípios considerados, devido ao número restrito de indivíduos no seu denominador. Desta forma, optou-se pela não inclusão de crianças menores de um ano no presente estudo.

A distribuição espacial do percentual de horas críticas demonstrou um padrão bem definido, onde os municípios amazônicos do Estado apresentaram as maiores concentrações de $PM_{2.5}$. Artaxo e colaboradores⁴³ relatam que a qualidade do ar de algumas regiões da Amazônia é fortemente afetada durante a época das queimadas, podendo atingir níveis piores do que aqueles registrados para o ar do centro urbano da cidade de São Paulo. Esse padrão espacial também é explicado por Freitas e colaboradores⁴⁵ que, em artigo descrevendo as emissões de queimadas em ecossistemas da América do Sul, observam a sua grande ocorrência no estado de Mato Grosso, associada principalmente à expansão agropecuária na floresta amazônica.

A análise dos modelos de regressão múltipla espacial evidenciou associações estatisticamente significativas entre o %HC e as prevalências de internações por doenças do aparelho respiratório, tanto para o grupo de crianças quanto para o de idosos. Lopes e Ribeiro⁴⁵, mapeando internações hospitalares por problemas respiratórios avaliaram a associação desta morbidade com a exposição humana aos produtos da queima da palha de cana-de-açúcar em alguns municípios do estado de São Paulo, em análise de correlações espaciais, observando maior ocorrência de doenças respiratórias em regiões onde há prática de queimadas. Ignotti e colaboradores⁴⁶ através de um estudo de morbidade hospitalar e mortalidade por doença respiratória aguda em crianças menores de cinco anos de idade em Mato Grosso, encontraram maiores morbidades em regiões com altas concentrações de poluentes originários de queima de biomassa. Contudo, as evidências mais fortes se originaram dos grandes incêndios

florestais que ocorreram no Sudoeste Asiático, em 1997, especialmente na Indonésia, que elevaram a concentração de poluentes do ar a níveis mais altos dos que os considerados aceitáveis, com intensas conseqüências à saúde humana, sobretudo efeitos relacionados ao sistema respiratório⁴⁷.

A presença de hospitais se mostrou correlacionada às prevalências de internações por doença respiratória em crianças de 1 a 4 anos e em idosos. Marques e Arretche⁴⁸, em um artigo de revisão, demonstraram que o número de internações *per capita* varia com a existência local de hospital. No estado de Mato Grosso existem vários municípios pequenos, onde ainda são precários os serviços de assistência à saúde e, grande parte deles não possui hospital. Esse indicador permitiu uma melhor representação da oferta e da demanda em relação aos indicadores tradicionais de saúde, originalmente construídos para municípios maiores, com uma capacidade satisfatória mínima de atenção instalada. Contudo, Scatena⁴⁹ adverte que existe certo comprometimento do sistema de assistência hospitalar em determinados municípios da região, onde tem sido relatada uma estagnação em termos de políticas de saúde nos últimos anos. Esta estagnação pode refletir deficiências nas atividades de prevenção em saúde, o que, conseqüentemente, poderia levar a uma maior demanda pelos atendimentos hospitalares em alguns municípios, não necessariamente relacionados às altas concentrações de poluentes atmosféricos.

O total de área desmatada por município se mostrou inversamente associado à estimativa bayesiana de prevalência de doença respiratória em crianças de 1 a 4 anos, ao contrário dos achados da literatura sobre o tema^{36,50}. No presente estudo, a distribuição de área desmatada apresentou moderada correlação com o %HC, sendo observado que determinados municípios com grandes áreas desmatadas não apresentaram altas concentrações de PM_{2.5}. Isto pode ser explicado parcialmente pelo intervalo de tempo entre o desmatamento, que ocorre bem antes das queimadas, com

maior intensidade nos meses de abril a junho, e a fase do fogo que ocorre principalmente nos meses de agosto a outubro. Freitas e colaboradores⁴⁴ apontam que as estimativas de queima de biomassa e da quantidade de emissão de um dado composto químico, em função da quantidade de biomassa queimada, são diferentes para o cerrado, floresta tropical, florestas secundárias e primárias. Além disso, os ventos trazem massas de ar vindas do oceano, que transportam as emissões de queimadas para o oeste⁴⁴. Desta forma, a fumaça emitida por queimadas na região amazônica do estado de Mato Grosso é transportada para as regiões mais a oeste do mesmo estado, aumentando assim a exposição crônica à fumaça em regiões não pertencentes ao bioma amazônico, o que poderia contribuir para que municípios com pequenas áreas desmatadas apresentassem grandes concentrações de horas críticas anuais de $PM_{2,5}$ ⁴³. O estado de Mato Grosso apresenta clima caracterizado por apresentar inverno seco, quando a massa de ar tropical continental fica estacionada na região e verão chuvoso, quando a massa de ar equatorial continental predomina em todo o estado³⁰. A maioria, senão o total das queimadas ocorre na estação seca.

Neste trabalho foram utilizadas as prevalências de internações por doenças do aparelho respiratório. Bittencurt e colaboradores⁵¹ destacam que o Sistema de Informações Hospitalares (SIH), de onde provêm as informações, utiliza como unidade de análise a Autorização de Internação Hospitalar (AIH) e não o indivíduo doente. Como um mesmo indivíduo pode ser internado mais de uma vez ou, até mesmo não ser internado, embora doente, por limitações na estrutura hospitalar, tem-se como fragilidade a utilização das internações como aproximação do número de casos de doença. Todavia, este vem sendo apontado como um dos melhores indicadores dos agravos as doenças respiratórias. Por outro lado, a participação do sistema de saúde suplementar não é relevante na região, existindo, inclusive, cidades onde o SUS é

responsável por 100% de atendimento ambulatorial e hospitalar o que possibilita que os dados utilizados no estudo tenham uma boa cobertura populacional.

A variável percentual de indivíduos da população com oito anos ou mais de estudo mostrou associação positiva com a prevalência de internações por doenças respiratórias em idosos. Alves e Rodrigues⁵² em um estudo sobre determinantes da saúde atuo-referida em idosos do Município de São Paulo, realizado em 2000 e 2001, relatam que o nível de escolaridade, entre outras variáveis socioeconômicas, foi altamente associado com a percepção de saúde, e a idade teve uma significativa influência. Talvez o grau de escolaridade contribua para que os idosos e/ou seus familiares percebam com maior clareza determinadas condições de saúde que demandam atendimento médico, o que se refletiria na maior utilização dos serviços de saúde em determinados municípios. Importante destacar a dificuldade das populações rurais amazônicas em relação ao acesso aos serviços de saúde. Estudos que investigaram a disponibilidade do serviço e a acessibilidade geográfica demonstram que a utilização dos serviços se reduz à medida que aumenta a distância entre as pessoas que demandam atendimento e os serviços de saúde⁵³. Devido a essas questões, o cenário deve ser ainda pior do que o verificado através dos dados de morbidade do SUS que consideram apenas os casos que conseguiram chegar ao atendimento médico – possivelmente, os mais graves. No entanto, esta mesma associação não foi observada no modelo multivariado das crianças de 1 a 4 anos.

Diversos países têm adotado políticas de monitoramento do ar em anos recentes, embora muito se tenha debatido em relação aos valores máximos aceitáveis de concentrações de poluentes do ar capazes de aumentar a morbimortalidade¹. No Brasil, os padrões nacionais de qualidade do ar são estabelecidos pelo Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e aprovados pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). No entanto, a legislação brasileira não estabelece níveis de concentração de material

particulado fino ($PM_{2.5}$), além de não haver legislação específica para poluentes em áreas afetadas pelas emissões de fogo da vegetação, nem estudos prévios que os justifiquem. Dessa forma, no presente estudo, o percentual de horas críticas de concentração de material particulado de $80 \mu\text{g}/\text{mm}^3$ foi estabelecido segundo os padrões do Departamento de Qualidade Ambiental de Oregon, EUA²². A classificação de Oregon disponibiliza padrões de concentrações horárias de $PM_{2.5}$ capazes de produzirem seus efeitos insalubres nos grupos referidos pela literatura como sensíveis para os casos de exposição aguda, como no caso da presente pesquisa devido a queima de biomassa. Cumpre dizer que a definição dos limites de concentração de $PM_{2.5}$ para exposição crônica não foram considerados por não ser este o objeto deste estudo. Ainda é importante salientar que o CONAMA, que legisla sobre padrões de qualidade do ar no Brasil, não especifica valores para concentrações de $PM_{2.5}$, nem diferencia limites para exposição urbana de outros, em relação as queimadas em áreas remotas e/ou rurais.

As variáveis meteorológicas não foram analisadas independentes do modelo CATT-BRAMS, podendo ser considerado uma limitação deste estudo já que há uma relação bastante estreita entre poluição do ar originária de queimadas e algumas variáveis climáticas, especialmente aquelas associadas à pluviosidade (ex: umidade relativa do ar). O estado de Mato Grosso possui apenas 12 estações meteorológicas, não havendo, portanto, informações discriminadas para todos os municípios²⁷. Por isso as variáveis meteorológicas somente foram consideradas no modelo de transporte e dispersão de poluentes estimados pelo INPE/CPTEC.

Existem outras fontes relevantes de $PM_{2.5}$ como as originárias de fontes urbanas móveis e estacionárias, contudo, acredita-se que, nessa região, elas não contribuam significativamente para a alteração dos valores estimados. É importante salientar que o modelo CATT-BRAMS foi validado para a região da Amazônia, o que torna suas estimativas muito próximas dos valores reais.

Da mesma forma, não foi possível incluir outros indicadores de poluição do ar, devido à indisponibilidade dos dados para todos os municípios do estado. Essa inclusão seria importante, uma vez que Mato Grosso é um estado eminentemente agrícola, com grandes áreas plantadas de cana-de-açúcar, caracterizando uma pressão de exposições locais a diversos outros poluentes atmosféricos⁴⁴ e, sua não consideração na análise, poderia ter levado a observação de associações espúrias entre a variável de exposição utilizada e a prevalência de internações por doença respiratória nos grupos sensíveis.

As características contextuais (status socioeconômico, escolaridade entre outras) têm sido consideradas como importantes determinantes do estado de saúde⁵¹, sendo esse um dos motivos que nos levou à seleção do método de regressão múltipla espacial. Além disso, possibilitou minimizar as flutuações aleatórias das prevalências de internações em pequenas áreas, através da utilização do método bayesiano empírico, permitindo uma melhor visualização da sua distribuição espacial. A desvantagem da utilização desse método, entretanto, consiste no fato de que o mesmo pode ocasionar a superestimação dos coeficientes de autocorrelação global nas áreas com pequeno número de eventos, onde a suavização dos valores das variáveis do município em direção à média de seus vizinhos é mais acentuada. Mesmo assim, optou-se pelo recurso das estimativas bayesianas, por se entender que, nos municípios menores, as inconstâncias dos registros de informação poderiam produzir grande variabilidade da variável de desfecho, com conseqüente diminuição da acurácia e da validade da análise.

Esse estudo é um dos pioneiros na utilização de modelos de regressão múltipla georreferenciados (para avaliar o processo saúde-doença na região amazônica. Em pesquisa que comparou as estimativas do modelo CATT-BRAMS com medidas reais de PM_{2.5} aferidas *in loco*, foi observado um coeficiente de determinação de 0,7, considerado como bastante satisfatório por se tratar de estimativas de poluição²⁰.

Cumprе ressaltar que foram utilizadas medidas agregadas de percentual de horas críticas para o ano de 2004, como medida de exposição aguda.

Em sua maioria, os estudos que avaliam a morbidade de doenças respiratórias foram estudos ecológicos de séries temporais que não utilizam sistemas de informações de georreferenciamento e investigaram sua associação com a poluição urbana e não com a poluição originária de queima de florestas^{11,36}. Apesar das diferenças entre os métodos, este estudo reforça as evidências de que a produção de PM_{2.5} originada de queimadas na Amazônia Legal possa estar relacionada à maior ocorrência de doença respiratória nos municípios do estado de Mato Grosso.

Os resultados do presente estudo apontam para a importância da avaliação espacial da morbidade das doenças respiratórias e suas relações com a presença de material particulado originário da queima de biomassa nos biomas amazônico, cerrado e pantanal brasileiro. Este trabalho também indica prioridades para os gestores dos serviços de saúde da região, no sentido de reforçar o efetivo diagnóstico de doenças respiratórias nos grupos populacionais sensíveis.

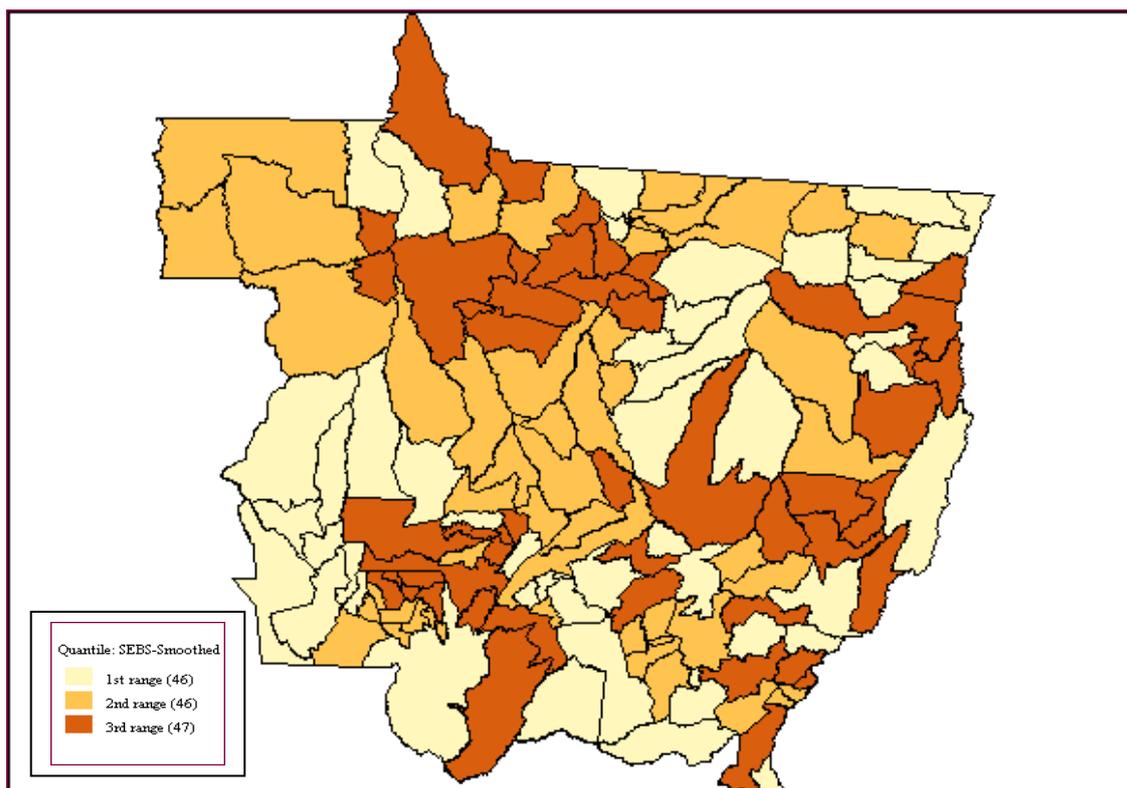


Figura 1 –Estimativa Bayesiana Empírica da Prevalência de Internações de Crianças de 1 a menor de 5 anos com Doenças do Aparelho Respiratório nos municípios do Estado de Mato Grosso, 2004, segundo tercís

Figure 1 – Empirical Bayes Analysis of Prevalence of hospital admissions for respiratory diseases in children from one to four years old in the municipal districts of Mato Grosso State, 2004, according tertiles

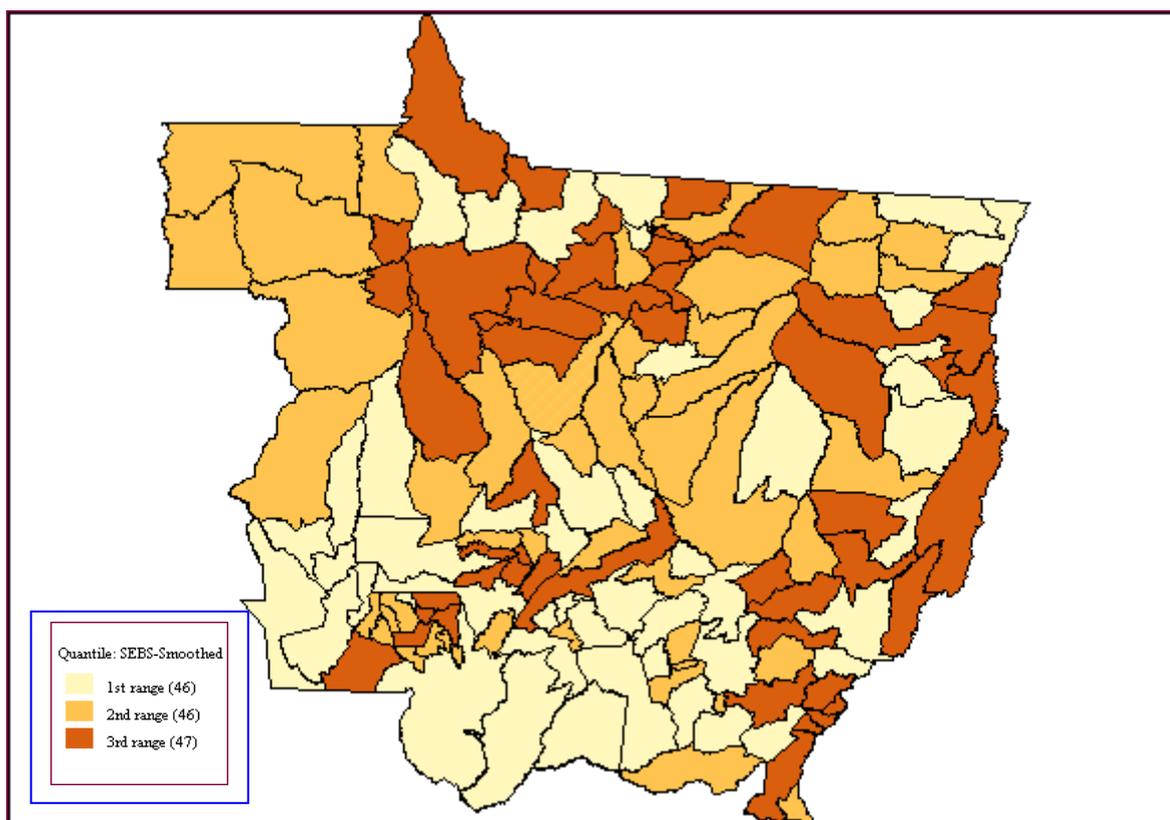


Figura 2 - Estimativa Bayesiana Empírica da Prevalência de Internações de Adultos com 65 anos ou mais com Doenças do Aparelho Respiratório por 1.000 habitantes, Municípios do Estado de Mato Grosso, 2004, segundo tercís

Figure 2 - Empirical Bayes Analysis of Prevalence of Hospital Admissions for Respiratory Diseases in Adults aged to 65 and older in the municipal districts of Mato Grosso State, 2004, according tertiles

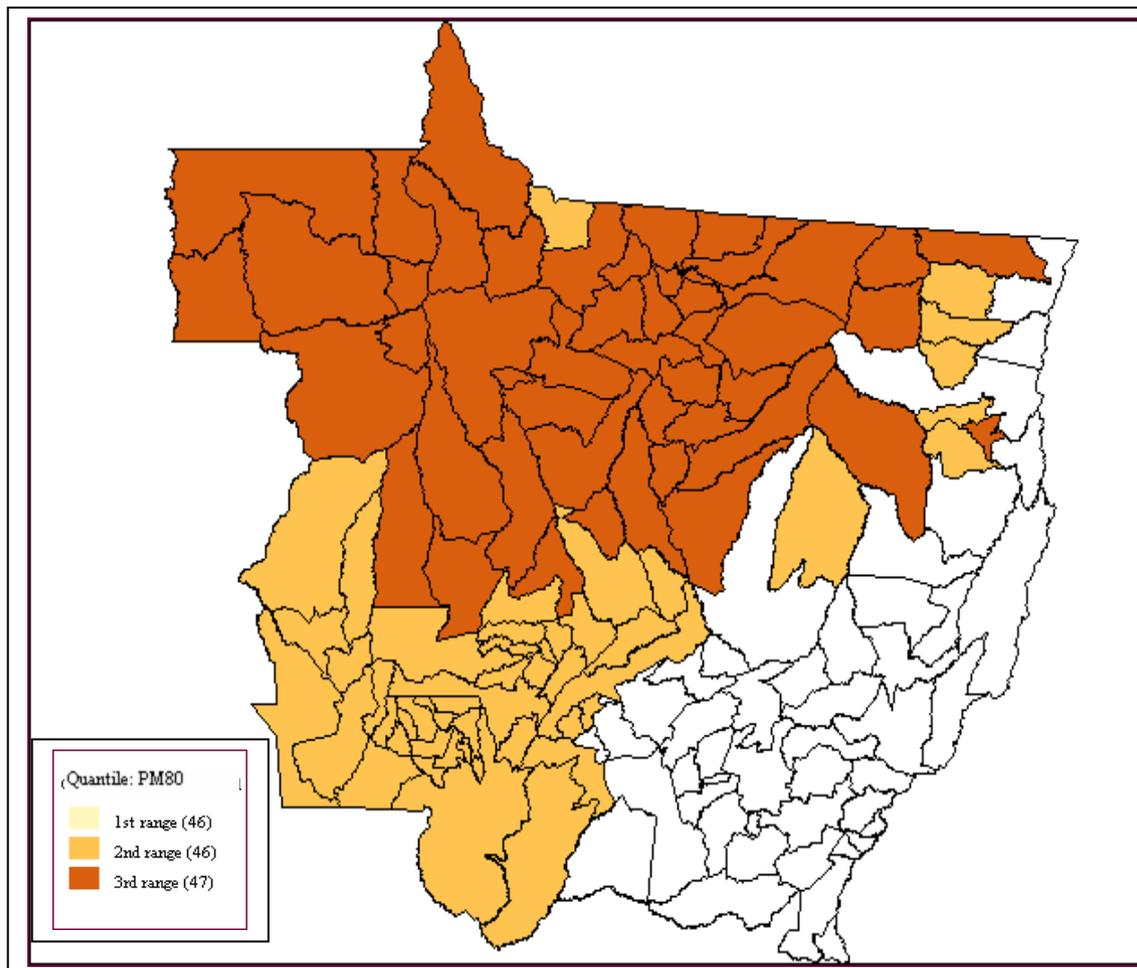


Figura 3 – Percentual de Horas Críticas de PM 2.5, Municípios do Estado de Mato Grosso, 2004, segundo tercís

Figure 3 - Critical hours percentage of PM_{2.5} in the municipals districts of Mato Grosso State, 2004, according terciles

Tabela 1 – Matriz de Correlação de Pearson entre as Prevalências de Internação por Doenças do Aparelho Respiratório em crianças de 1 a 4 anos (A) e em Adultos com 65 anos ou mais (B) e percentual de horas críticas anuais de PM_{2,5} e demais variáveis do modelo nos Municípios do Estado de Mato Grosso, 2004

Table 1 – Pearson Correlation Matrix among Prevalences of Hospital Admissions for Respiratory Diseases in children from 1 to 4 years old (A) and adults aged to 65 and older (B) and the critical hours percentage of PM_{2,5} and another variables of model in the municipals districts of the Mato Grosso State, 2004

(A)	Prevalência de Internações por DAR em crianças de 1 a 4 anos	Percentual de horas críticas anuais de PM 2.5	Existência de hospital no município	Números de foco de calor ao ano	Área desmatada (Km ²)	Renda per capita	Proporção de indivíduos com 8 anos ou mais de escolaridade
<i>Prevalência de Internações por DAR em crianças de 1 a 4 anos</i>	1						
<i>Percentual de horas críticas anuais de PM 2.5</i>	0,118	1					
<i>Existência de hospital no município</i>	0,284(**)	-0,017	1				
<i>Números de foco de calor ao ano</i>	-0,082	0,550(**)	-0,004	1			
<i>Área desmatada (Km²)</i>	-0,114	0,391(**)	0,084	0,782(**)	1		
<i>Renda per capita</i>	-0,024	0,332(**)	0,092	0,228(**)	0,177(*)	1	
<i>Proporção de indivíduos com 8 anos ou mais de escolaridade</i>	0,002	-0,005	-0,222(**)	0,074	0,080	-0,582(**)	1
(B)	Prevalência de Internações por DAR em idosos com 65 anos ou mais						
<i>Prevalência de Internações por DAR em idosos com 65 anos ou mais</i>	1						
<i>Percentual de horas críticas anuais de PM 2.5</i>	0,144	1					
<i>Existência de hospital no município</i>	0,349(**)	-0,017	1				
<i>Números de foco de calor ao ano</i>	0,028	0,550(**)	-0,004	1			
<i>Área desmatada (Km²)</i>	-0,009	0,391(**)	0,084	0,782(**)	1		
<i>Renda per capita</i>	-0,087	0,332(**)	0,092	0,228(**)	0,177(*)	1	
<i>Proporção de indivíduos com 8 anos ou mais de escolaridade</i>	0,168(*)	-0,005	-0,222(**)	0,074	0,080	-0,582(**)	1

* p-valor menor de 0,05/ p-value < 0,05

** p-valor menor de 0,001/ p-value < 0,001

Tabela 2 - Modelos de Regressão Múltipla Espacial das Estimativas Bayesianas Empíricas das Prevalências de Internações de Crianças de 1 a 4 anos e de Adultos com 65 anos ou mais por Doenças do Aparelho Respiratório, municípios do Estado de Mato Grosso, 2004.

Table 2 - Multiple Spatial Regression Analysis Models of the Empirical Bayes Smoothing function of the Prevalences of children from one to four years old and adults aged to 65 and older in the municipals districts of the Mato Grosso State, Brazil, in 2004

<i>Modelos</i>	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro-padrão</i>	<i>t</i>	<i>p-valor</i>
(A) Prevalência de Internações por DAR de Crianças de 1 a 4 anos^(a)				
% de horas críticas de PM _{2,5}	0,74	0,31	2,37	0,019
Presença de hospitais	1,61	5,18	2,24	0,027
Área desmatada ^(b)	-4,8 x 10 ⁻⁵	-1,9 x 10 ⁻⁵	-2,43	0,016
(B) Prevalência de Internações por DAR de Adultos com 65 anos ou mais^(a)				
% de horas críticas de PM _{2,5}	0,86	0,43	1,97	0,050
Presença de hospitais	27,43	8,03	3,41	< 0,001
% da população com oito anos ou mais de estudo	1,46	0,46	3,19	0,002

(a) por 1.000 habitantes / per 1.000 inhabitants

(b) em Km² / in Km²

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Organización Panamericana de la salud. Evaluación de los efectos de la contaminación del aire en la salud América Latina y el Caribe 2005. ISBN 9275125988
2. Avendaño LF, Parra J, Padilha C, Plomino MA, Impacto en salud infantil del invierno 2002: disociación entre factores ambientales y virus respiratorio sincicial, en Santiago [in Spanish]. *Rev Med Chil.* 2003; 131:902-8.
3. Clancy L, Goodman P, Sinclair H, Dockery DW. Effect of air-pollution control on death rates in Dublin, Ireland: an intervention study. *Lancet.* 2002; 360:1210- 14.
4. Tan WC, Qiu D, Liam BL et al. The human bone marrow response to acute air pollution caused by forest fires. *Am J Respir Crit Care Med.* 2000; 161:1213-17.
5. Prietsch SO, Fischer GB, César JA, Lempek BS, Barbosa Jr. LV, Zogbi L, et al. Respiratory illnesses in children younger than 5 years of age in southern Brazil: the influence of the home environment. *Rev Panam Salud Pública* 2003; 13:303-10.
6. Braga ALF, Pereira LAA, Procópio M, André AP, Saldiva PHN. Associação entre poluição atmosférica e doenças respiratórias e cardiovasculares na cidade de Itabira, Minas Gerais, Brasil. *Cad Saude Publica* 2007; 23(4):570-8.
7. Macedo SEC, Menezes AMB, Albernaz E, Post P, Knorst M. Fatores de risco para internação por doença respiratória aguda em crianças até um ano de idade. *Rev Saúde Pública,* 2007; 41(3):351-8.
8. Albalak R, Frisancho AR, Keeler GJ. Domestic biomass fuel combustion and chronic bronchitis in two rural Bolivian villages. *Thorax,* 1999, 54 (11):1004–8.
9. Pérez-Padilla R, Pérez-Guzmán C, Báez-Saldaña R, Torres-Cruz A. Cooking with biomass stoves and tuberculosis: a case control study. *The International Journal of Tuberculosis and Lung Disease,* 2001; 5(5):441-7.
10. Ghosh R, Rankin J, Pless-Mullooli T, Glinianaia S. Does the effect of air pollution on pregnancy outcomes differ by gender? A systematic review. *Environmental Research* 2007; 105:400–8.
11. Junger WL, Leon AP, Poluição do ar e baixo peso ao nascer no Município do Rio de Janeiro, Brasil, 2002. *Cad. Saúde Pública,* Rio de Janeiro, 2007; 23(4):588-98.
12. Katsouyanni K, Schwartz J, Spix C, Touloumi G, Zmirou D, Zanobetti A, Wojtyniak B, Vonk JM, Tobias A, Pönkä A, et al . Short term effects of air pollution on health: a European approach using epidemiological time series data: the APHEA protocol. *J Epidemiol Commun Health* 1996; 50:12-8 .
13. Transformando o Arco do Desmatamento no Arco do Desenvolvimento Sustentável: Uma proposta de ações emergenciais. Instituto Sócio Ambiental.

- [http:// www.socioambiental.org/esp/novogov/proposta.htm](http://www.socioambiental.org/esp/novogov/proposta.htm) (acessado em 07/12/2007).
14. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Projeto PRODES. Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite. <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.html> (acessado em 02/02/2008).
 15. Donaldson K, Stone V, Clouter A, MacNee W. Ultrafine Particles. *Occup Environ Med* 2001; 58:211-6.
 16. Shi, MM, Godleski JJ, Paulauskis JD. Regulation of macrophage inflammatory protein-1 mRNA by oxidative stress. *J. Biol. Chem* 1996; 271: 5878-83.
 17. De Leon SF, Thurston GD, Ito K. Contribution of Respiratory Disease to Nonrespiratory Mortality Associations with Air Pollution. *Am. J. Resp. Crit .C. Med.* 2003; 17: 1117-23.
 18. Wellenius GA, Bateson TF, Mittleman MA, Schwartz J. Contribution of Respiratory Disease to Nonrespiratory Mortality Associations with Air Pollution. 2005; 161:1030–6
 19. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatístico (IBGE). Área de download. http://www.ibge.gov.br/servidor_arquivos_geo (acessado em 14/10/2007).
 20. Freitas SR, Longo KM, Silva Dias MAF, Chatfield R, Silva Dias PL, Artaxo P et al. The Coupled Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (CATT-BRAMS). Part 1: Model description and evaluation. In press: ACPD/EGU MS# 2007-166.
 21. Longo K, Freitas S, Setzer A, Prins E, Artaxo P, Andreae M. The Coupled Aerosol Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (CATT- BRAMS). Part 2: Model sensitivity to the biomass burning inventories. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*. In press, June/2007.
 22. Department of Environmental Quality: Air Quality Division. <http://www.oregon.gov/DEQ/AQ/index.shtml> (acessado em 25/11/2007).
 23. DATASUS. Informações em Saúde. <http://w3.datasus.gov.br/datasus/datasus.php> (acessado em 18/12/2007).
 24. DATASUS. Sistemas e Apicativos <http://www.datasus.gov.br/cid10/> (acessado em 22/12/2007)
 25. Claeys M, Graham B, VAS G et al. Formation of secondary organic aerosols through photo-oxidation of isoprene. *Science*, 2004; 303:1173–6.
 26. Kesselmeier J, kuhn U, Wolf, A, Andreae MO et al., Atmospheric volatile organic compounds (VOC) at a remote tropical forest site in central Amazonia, *Atmospheric Environment*, 2000; 34:4063–72.

27. Mato Grosso. Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral: SEPLAN-MT. Anuário Estatístico de Mato Grosso - Central de Texto, Cuiabá 2006.
28. Macedo SC, Menezes AMB, Albernaz E, Post P, Knorst M. Fatores de risco para internação por doença respiratória aguda em crianças até um ano de idade. Rev Saúde Pública. 2007; 41(3):351-8.
29. PNUD. Atlas de Desenvolvimento Humano. Disponível em <http://www.pnud.org.br/atlas> (acessado em 27 de outubro de 2007).
30. Botelho C, Correia AL, da Silva AMC, Macedo AG, Soares Silva COS. Fatores ambientais e hospitalizações em crianças menores de cinco anos com infecção respiratória aguda. Cad. Saúde Pública. 2003; 19(6):1771-80
31. Câmara G, Carvalho MS, Cruz OG, Correia V. Análise espacial de áreas. In: Druck S, Carvalho MS, Câmara G, Monteiro AMV, editores. Análise espacial de dados geográficos [monografia on-line]. São Paulo: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais; 2002; Disponível <http://www.dpi.inpe.br/gilberto> (acessado em 16 de dezembro de 2007).
32. Assunção RM, Barreto SM, Guerra HL, Sakurai E. Figuras de taxas epidemiológicas: Uma abordagem Bayesiana. Cad Saúde Pública, 1998; 14:713-23.
33. Bailey TC & Gatrell AC. Interactive Spatial Data Analysis. Editora Essex: Longman; 1995.
34. Marshall RJ. Mapping disease and mortality rates using empirical Bayes estimators. Applied Statistics 1991; 40:283-94.
35. Anselin L. Exploring Spatial Data with GeoDaTM : A Workbook. Disponível em <http://www.unc.edu/~emch/gisph/geodaworkbook.pdf> (acessado em 25/11/2007)
36. Bakonyi SMC, Danni-Oliveira IM, Martins LMC, Braga A LF. Poluição atmosférica e doenças respiratórias em crianças na cidade de Curitiba, PR. Rev Saúde Pública. 2004; 35(5):695-700
37. Cañado JED, Saldiva PHN, Pereira LAA, Lara, LBLS, Artaxo P, Martinelli LA et al. The Impact of sugar Cane-Burning Emissions on the Respiratory System of Children and the Elderly. Environ Health Perspect .2006; 14(5):725-9.
38. Donaldson K, Stone V, Clouter A, MacNee W. Ultrafine Particles. Occup Environ Med 2001; 58:211-6
39. Rumchev K, Spickett J T, Brown HL, Mkhweli B. Indoor air pollution from biomass combustion and respiratory symptoms of women and children in a Zimbabwean village. Indoor Air 2007; 17:468-74
40. Medina-Ramo M, Zanobetti A, Schwartz J. The Effect of Ozone and PM10 on Hospital Admissions for Pneumonia and Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A National Multicity Study. Am J Epid. 2006; 163(6):579-88.

41. Caldeira A P, França E, Perpétuo IHO, Goulartd, Andrade EM. Evolução da mortalidade infantil por causas evitáveis, Belo Horizonte, 1984-1998. *Rev Saúde Pública*. 2005; 39(1):67-74.
42. Araújo LMA, Da Silva TM V, do Nascimento ERP. Análise dos focos de calor em áreas florestais ao longo do Arco do Desflorestamento. In: *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis: Brasil, 2007.
43. Artaxo P, Gatti LV, Leal AMC, Longo KM, Freitas SR, Lara LL et al. Química atmosférica na Amazônia: A floresta e as emissões de queimadas controlando a composição da atmosfera amazônica. *Acta Amazônica*. 2005; 35(2):185-96.
44. Freitas SR, Longo KM, , Silva Dias MAF, Silva Dias PL. Emissões de queimadas em ecossistemas da América do Sul. *Estudos Avançados*. 2005; 19(53):167-85.
45. Lopes FS, Ribeiro H. Mapeamento de internações hospitalares por problemas respiratórios e possíveis associações à exposição humana aos produtos da queima da palha de cana-de-açúcar no estado de São Paulo. *Rev Bras Epidemiol* 2006; 9(2):215-25.
46. Ignotti E, ; Hacon S, Silva AMC, Junger WL, Castro HA. Efeitos das queimadas na Amazônia: método de seleção de municípios segundo indicadores de saúde. *Rev Bras Epidemiol*. Rio de Janeiro. 2007; 10:453-64.
47. Dawud Y, Smoke episodes and assessment of health impacts related to haze from forest fires: Indonesian experience health guidelines for vegetation fire Events, Lima, Peru: Background papers, WHO, 1999.
48. Marques E, Arretche M. Condicionantes locais da descentralização das políticas de saúde. *Caderno CRH*, Salvador. 2003; 39:55-81.
49. Scatena JHG. Avaliação da descentralização da Assistência à Saúde no Estado de Mato Grosso. [Tese de Doutorado]. Faculdade de Saúde Pública – Universidade de São Paulo; 2000.
50. Arbex MA, Cançado JED, Pereira LAA. Biomass burning and its effects on health. *J. Bras. Pneumol*. 2004; 30(2):158-75.
51. Bittencourt AS, Camacho LB, Leal MC O Sistema de Informação Hospitalar e sua aplicação na saúde coletiva. *Cad. Saúde Pública*. 2006; 22(1):19-30
52. Alves L, Rodrigues RN. Determinantes da autopercepção de saúde entre idosos do Município de São Paulo, Brasil. *Rev Panam Salud Publica*. 2005; 17(5/6):333–41
53. Travassos C, Viacava F. Acesso e uso de serviços de saúde em idosos residentes em áreas rurais, Brasil, 1998 e 2003. *Cad Saude Publica*. 2007; 23(10):2490-502.

6 - CAPÍTULO II: Associação entre material particulado originário de queimadas e outras fontes antropogênicas e internações por doenças respiratórias em Cuiabá, Mato Grosso.

Autores:

Ageo Mário Cândido DA SILVA^{1,2}

Inês E. MATTOS¹

Saulo R. FREITAS³

Karla M. LONGO³

Eliane IGNOTTI⁴

Sandra S. HACON¹

- 1- Escola Nacional de Saúde Pública – Fundação Oswaldo Cruz (ENSP-FIOCRUZ)
- 2- Instituto de Saúde Coletiva (ISC –UFMT) / Secretaria do Estado de Saúde do Estado de Mato Grosso (SES - MT)
- 3- Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC –INPE)
- 4- Universidade Estadual de Mato Grosso (UNEMAT)

RESUMO

Objetivos: investigar os efeitos de curto prazo da exposição da variação diária das concentrações de partículas finas ($PM_{2.5}$) nas internações por doenças respiratórias em crianças e idosos. **Material e Métodos:** Este é um estudo ecológico de série temporal que utiliza dados sobre número diário de internações hospitalares de crianças e idosos por doenças respiratórias e de estimativas da concentração de $PM_{2.5}$ no município de Cuiabá, Estado de Mato Grosso, na região da Amazônia brasileira, durante todo o ano de 2005 e apenas na estação seca, entre os meses de junho e novembro de 2005. Informações sobre os níveis diários de material particulado fino foram disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Para controle de confundimentos, incluiu-se no modelo variáveis relacionadas à tendência temporal, sazonalidade, temperatura, umidade relativa e efeitos de calendário. Utilizou-se a Regressão de Poisson através dos modelos aditivos generalizados. **Resultados:** Em 2005, um incremento de 10 mg/mm^3 nos níveis de exposição ao material particulado foi associado a aumentos de 9,1%, 9,2% e 12,1%, das internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças relacionados às médias móveis de 1, 2 e 5 dias, respectivamente. Para a estação seca, o nível de exposição ao material particulado foi associado a aumentos de 11,4%, 21,6% e 22,0% das internações hospitalares em crianças referentes às médias móveis de 1, 5 e 6 dias, respectivamente. **Conclusão:** Não foram observadas associações significativas para os idosos. Os resultados sugerem que os níveis de partículas em suspensão foram associados à internação hospitalar de doenças respiratórias de crianças.

Association between particulate matter originating from fires and other anthropogenic sources and hospital admissions for respiratory diseases in Cuiaba, Mato Grosso.

ABSTRACT

Objectives: investigate the short-term effects of exposure of the daily variation in concentrations of fine particulate matter (PM_{2.5}) on the daily hospital admissions due to respiratory diseases in children and the elderly. **Materials and methods:** This is an ecological time series study that uses data on daily number of hospitalizations of children and the elderly for respiratory diseases and estimated concentration of PM_{2.5} in the city of Cuiaba, Mato Grosso, in Brazil's Amazon Region during the entire year of 2005 and only in the dry season between June and November. Information on the daily levels of fine particulate matter was made available by the Brazilian National Institute for Spatial Research. To control for confounding factors were included in the model variables related to the time trends, seasonality, temperature, relative humidity and calendar effects. Poisson regression with generalized additive models was used. **Results:** In 2005, a 10 µg/mm³ increase in the level of exposure to particulate matter was associated with increases of 9,1%, 9,2% and 12,1% in hospital admissions due to respiratory diseases in children for moving averages of 1, 2 and 5 days, respectively. For the dry season, the level of exposure to particulate matter was associated with increases of 11,4%, 21,6% and 22,0% in hospital admissions in children for moving averages of 1, 5 and 6 days, respectively. **Conclusion:** Significant associations were not observed for elderly individuals. The results suggest that the levels of particulate matter are associated with hospital admissions on the respiratory health of children.

INTRODUÇÃO

Desde a metade do século passado, têm aparecido na literatura científica relatos sobre a associação entre poluição atmosférica e a maior ocorrência de casos e óbitos por doenças respiratórias na população de diferentes países. Episódios tais como os de Donora (EUA), em 1948 e de Londres (Inglaterra), em 1952, se constituíram em exemplos dessas relações^{1,2} e propiciaram, particularmente nos Estados Unidos, a formulação de uma série de leis, na década de 70, que visavam o controle da poluição do ar³.

Atualmente, a preocupação mundial com as mudanças climáticas globais e os grandes desmatamentos de floresta naturais têm despertado cada vez mais interesse para o controle das queimadas no continente sul-americano. Devido à queima de biomassa, o Brasil contribui de forma importante para a emissão de poluentes atmosféricos, sendo a região Amazônica a área mais crítica do país⁴. Embora existam evidências sobre os riscos representados pela fumaça emitida por queimadas de florestas tropicais para saúde de grupos populacionais expostos, são ainda escassos e recentes os poucos estudos epidemiológicos realizados nesta região^{5,6}.

A poluição do ar originária de queimadas acontece de maneira diversa àquela que ocorre em centros urbanos. Nesses últimos, esta é caracterizada por uma exposição por longos períodos de tempo, enquanto a queima de biomassa tem como principal característica uma sazonalidade bem definida, com alta produção de fumaça restrita a períodos mais curtos, variando entre três e seis meses⁶. Estes picos ocorrem durante a redução das chuvas, em média, dos meses de junho a novembro.

A queima de biomassa libera dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), água e, em sua etapa final, como produtos de combustão incompleta tais como

partículas orgânicas e, entre estas, o material particulado⁷. Este último é o mais estudado é o mais associado a problemas de saúde⁸. Dentre os diversos tamanhos dessas partículas, o material particulado fino tem diâmetros de 0,1 a menores que 2,5 μm ($\text{PM}_{2.5}$) e constitui ao redor de 60 a 70% de todo o material particulado^{9,10}. Além dos efeitos das queimadas para o ecossistema amazônico, as emissões deste poluente contribuem para o aumento da morbidade respiratória nos municípios do chamado arco do desmatamento na região da Amazônia brasileira^{11, 12}.

O padrão de circulação atmosférica determina que as emissões da floresta amazônica se desloquem para o noroeste e norte do continente Sul Americano, tanto pelo Oceano Pacífico tropical quanto pelo Oceano Atlântico Sul, atingindo inclusive a região do Caribe¹³. Desta maneira, a fumaça originária de queima de biomassa na Amazônia Matogrossense, localizada na região nordeste e norte do estado, se desloca, atingindo os demais municípios situados nas regiões central e sul de Mato Grosso, e, entre eles, sua capital, Cuiabá.

Este estudo tem como objetivo analisar os efeitos da exposição ao material particulado fino ($\text{PM}_{2.5}$) oriundo das queimadas sobre as internações por doenças do aparelho respiratório em crianças menores de cinco anos e em idosos com 65 anos ou mais em Cuiabá, Mato Grosso.

MATERIAL E MÉTODOS

O município de Cuiabá tem população de 550.562 habitantes¹⁴ e está situada na unidade geomorfológica denominada Depressão Cuiabana, sendo considerado como porta de entrada da floresta amazônica. As chuvas se concentram de dezembro a abril, enquanto no resto do ano as massas de ar seco sobre o centro do Brasil inibem as formações chuvosas. Nesses meses é comum a chegada de frentes frias vindas do sul do país, deixando o clima mais ameno e úmido. Quando essas frentes se dissipam, o calor, associado à fumaça produzida pelas constantes queimadas, faz com que a umidade relativa do ar caia a níveis baixos. A precipitação média anual de 1.469,4 mm, com intensidade máxima em janeiro, fevereiro e março. A temperatura máxima média chega a 34,1°C, mas as máximas absolutas chegam a mais de 40°C¹⁴. A mínima média em julho, o mês mais frio, é de 16,7°C¹⁵.

Este estudo epidemiológico é do tipo ecológico de séries temporais com registros diários de internação por doenças do aparelho respiratório de crianças menores de cinco anos de idade e de idosos com 65 anos ou mais em todos os hospitais que internam pelo SUS em Cuiabá no período de 1º de janeiro a 31 de dezembro de 2005. Foram utilizadas estimativas de concentrações diárias de material particulado fino, variáveis meteorológicas e de calendário (como dias da semana e feriados). Os grupos etários foram selecionados por serem os mais vulneráveis aos efeitos da poluição atmosférica¹⁶.

Os dados de internações hospitalares por causas respiratórias (Capítulo X- Doenças do aparelho respiratório que compreende as categorias de J00 até J99 da Classificação Internacional de Doenças - CID 10) segundo local de residência foram obtidos dos bancos de dados informatizados do Ministério da Saúde, através das Autorizações de Internações Hospitalares (AIH) do Sistema Único de Saúde (SUS) para o ano de 2005^{17,18}. Medidas diárias de PM_{2.5} foram estimadas pelo modelo desenvolvido

pelo INPE (Coupled Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System, CATT-BRAMS) que fornece medidas de $PM_{2.5}$ para cada período de 3 horas^{19,20}. A partir desses dados, foram calculadas médias aritméticas diárias da concentração de material particulado fino. Informações de temperatura e umidade relativa do ar foram fornecidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) de Cuiabá²¹.

Na análise estatística utilizou-se a técnica dos modelos aditivos generalizados²². A estratégia da análise consistiu em modelar a tendência e a sazonalidade da série através de funções *splines* do tempo; os dias de semana e feriados através de variáveis indicadoras; as condições meteorológicas através de funções *splines* da temperatura e da umidade relativa do ar. Foram realizados diagnósticos em análise de regressão para avaliar a inclusão ou exclusão de termos no modelo, bem como a qualidade de ajuste do modelo final. Finalmente, adicionaram-se ao modelo os termos correspondentes às concentrações diárias dos poluentes assumindo-se que a associação com a variável resposta é log-linear. Analisou-se dois períodos: o ano inteiro de 2005 e apenas o período da seca, que compreendeu os meses de junho a novembro. Investigou-se as associações da exposição no dia corrente, defasagens de até sete dias e médias móveis de dois a sete dias anteriores ao desfecho. As médias móveis representam a exposição acumulada nos dias anteriores ao desfecho. Desta forma, foi possível calcular o excesso de internações. Os riscos relativos (RR) para internações correspondem a um aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de $PM_{2.5}$. As análises foram realizadas através do programa R versão 2.11²³ e da biblioteca **ares**²⁴ que é uma coleção de rotinas para análise de séries temporais no programa estatístico R. Um nível de significância de 5% foi adotado nas análises.

RESULTADOS

Foram internados 1020 idosos e 1152 crianças por doenças do aparelho respiratório nos município de Cuiabá durante o ano de 2005. A média diária de internações por DAR no município foi de 3,1 crianças e 2,8 idosos por DAR no município. Nota-se que no período da seca a média diária de $PM_{2.5}$ foi 50% maior do que em todo o ano de 2005. A tabela 1 contém as estatísticas descritivas das variáveis no período de estudo.

As séries históricas de $PM_{2.5}$, temperatura e umidade relativa do ar estão demonstradas respectivamente nas figuras 1a, 1b e 1c. Na figura 1a observa-se o aumento de $PM_{2.5}$ característico da época de queimadas na Amazônia, que, em 2005, se iniciou no final de julho e começo de agosto, persistindo até no fim de novembro. De maneira inversa, a figura 1c apresenta a típica redução de umidade relativa do ar característica da estação seca.

A análise de correlação não demonstrou associação linear entre o poluente e as variáveis de desfecho. Contudo, é importante destacar a correlação estatisticamente significativa entre temperatura e internação de crianças com DAR, assim como as correlações inversas entre umidade e $PM_{2.5}$ e umidade e temperatura, ambas também estatisticamente significantes, (tabela 2), o que justifica os uso de tais medidas como variáveis de ajustes nos modelos.

Na análise múltipla, quando foram incluídas no modelo as variáveis de ajuste, encontrou-se associações estatisticamente significantes entre exposição ao $PM_{2.5}$ e internação por DAR em crianças para todo o ano de 2005 e apenas para o período de seca tanto pelo método com defasagens quanto pelo método de médias móveis. Nota-se que houve incremento de internação de 9,1% em relação às médias móveis de um dia (IC95% = 1,8% - 18,1%), incremento de 9,2% em relação às médias móveis de dois dias (IC95% = 0,1% - 19,4%) e incremento de 12,1% em relação às médias móveis de cinco dias (IC95% = 0,2% - 25,5%) referente a todo o período de 2005 (Figura 2). No período seco, as

associações foram ainda maiores. Este último período apresentou incremento de 11,4% em relação às médias móveis de um dia (IC95% = 1,7% - 22,2%), incremento de 21,6% em relação às médias móveis de cinco dias (IC95% = 4,9% - 41,1%) e incremento de 22,0% em relação às médias móveis de seis dias (IC95% = 4,3% - 42,8%) (Figura 3). Na análise das relações entre exposição ao $PM_{2.5}$ e internação de idosos por DAR não foram encontradas associações estatisticamente significantes em nenhum dos períodos analisados (Figuras 3).

DISCUSSÃO

O presente estudo trouxe evidências de que a exposição ao material particulado fino originário da queima de biomassa está associada ao aumento das internações por doenças do aparelho respiratório em crianças menores de cinco anos em Cuiabá, região pertencente ao sul da Amazônia Matogrossense. Estes resultados são concordantes com os encontrados em outras investigações publicadas na literatura nacional referentes à queima de biomassa.

Um estudo de análise de séries temporais realizado em Piracicaba (SP), nos anos de 1997 e 1998, quantificou as internações hospitalares diárias por DAR em crianças, adolescentes e idosos com mais de 65 anos. Os autores concluíram que houve um aumento de 32% no número de internações hospitalares por DAR em crianças e adolescentes, associado à variação interquartil do PM_{10} e $PM_{2.5}$ ²⁵. Lopes e Ribeiro²⁶ verificaram a correlação entre os produtos das queimadas de cana-de-açúcar e a incidência de problemas respiratórios em regiões afetadas, através de técnicas de geoprocessamento, nos anos de 2000 a 2004, no estado de São Paulo, encontrando maior ocorrência de doenças respiratórias em regiões onde há prática de queimadas. Arbex e colaboradores²⁷ estudaram o efeito da queima da cana-de-açúcar sobre os atendimentos ambulatoriais para inalação no município de Araraquara (SP) em 1995, através da análise de séries temporais. Como variável de exposição, foi utilizado o peso dos sedimentos originados da queima coletados em recipientes adequados. Os autores observaram que o aumento diário de 10 mg/mm^3 do sedimento estava associado ao aumento de 9% dos atendimentos para inalação.

Em relação à Amazônia Matogrossense, Carmo e colaboradores⁶ encontraram aumentos de 2,9 e 2,6% nos atendimentos ambulatoriais por doenças respiratórias de crianças no 6º e 7º dias subsequentes à exposição por $PM_{2.5}$ e não encontraram associações significativas nos atendimentos de idosos no município de Alta Floresta localizado na Amazônia Matogrossense. Em outro estudo na região²⁸, avaliando a exposição ao mesmo

poluente, os mesmos autores encontraram aumentos de 2,95% no quinto dia e 3,20% no sexto dia em relação ao número de admissões hospitalares de idosos. Botelho e colaboradores²⁹ encontraram uma maior probabilidade de internação hospitalar em crianças menores de cinco anos no período de seca se comparado ao das chuvas ao analisar atendimentos de urgência por doenças respiratórias em Cuiabá. Já Ignotti e colaboradores³⁰ analisaram a associação entre o percentual de horas anuais de PM_{2,5} (modelo CATT-BRAMS) em 8 estados da Amazônia Legal e a taxa de hospitalização por DAR, durante os anos de 2004 e 2005, utilizando a análise de regressão linear múltipla. Para as faixas etárias estudadas (menores de cinco anos, de 5 a 64 anos e 65 anos ou mais) foi observada associação entre aumento do percentual de horas anuais de PM_{2,5} acima de 80 microgramas/m³ e hospitalização. Silva e colaboradores¹², em estudo utilizando as mesmas estimativas do modelo CATT-BRAMS, analisaram espacialmente o efeito da exposição ao material particulado (PM_{2,5}) na ocorrência de doenças do aparelho respiratório de crianças de um a quatro anos e de idosos com sessenta e cinco anos ou mais nos municípios do estado de Mato Grosso em 2004, encontrando associações estatisticamente significativas entre a prevalência de internações por doenças respiratórias e o percentual de horas críticas anuais de material particulado.

Importante destacar que casos que demandam internações hospitalares apresentam risco maior do aqueles que demandam apenas consultas médicas na rede básica. No presente estudo não foi possível realizar o levantamento dos atendimentos ambulatoriais, o que impediu a avaliação dos riscos que a poluição por PM_{2,5} poderia apresentar nestes últimos.

No período da seca nota-se que existe um risco acumulado entre as médias móveis de exposição do 1º ao 7º dia devido à uma permanente associação entre elas e o risco de internação por DAR em crianças, apesar de algumas comparações não terem apresentado significância estatística (figura 2). Este dado aponta para um efeito peculiar e

persistente de $PM_{2.5}$ sobre a morbidade dessas doenças nesta faixa etária em Cuiabá. Além disso, as associações encontradas neste estudo foram maiores do que as encontradas em estudos semelhantes, o que sugere um aprofundamento da compreensão deste fenômeno. Entretanto, o desenho de estudo utilizado que não permite a mensuração da exposição individual ao $PM_{2.5}$, impossibilita a análise conjunta de outros fatores e desfechos que poderiam contribuir para explicar melhor este fenômeno.

De forma similar a outros estudos já citados, não foi observada associação entre a exposição ao $PM_{2.5}$, e internação por doença respiratória em idosos. Sabe-se que particularmente neste estrato a população, além do dano respiratório causado pelos poluentes oriundos de queimadas, existem muitas outras co-morbidades associadas, o que poderia ter contribuído para esta ausência de associação³¹.

Neste trabalho foram utilizados dados de internações por doenças do aparelho respiratório. Bittencurt e colaboradores³² destacam que o Sistema de Informações Hospitalares (SIH), de onde provêm as informações, utiliza como unidade de análise a Autorização de Internação Hospitalar (AIH) e não o indivíduo doente, tendo-se como fragilidade a utilização das internações como aproximação do número de casos de doença. Todavia, este vem sendo apontado como um dos melhores indicadores dos agravos do aparelho respiratório³³.

Importante destacar que Cuiabá é uma cidade localizada na Amazônia Legal em meio ao cerrado matogrossense. Uma parte dos poluentes do ar é oriunda de fontes antropogênicas móveis e estacionárias, bem como de queimadas de lotes e quintais. Contudo, a intensa produção de queimadas do sul da Amazônia se localiza em região adjacente e próxima e esta capital. O modelo CATT-BRAMS realiza a modelagem de poluentes através de um sistema computacional elaborado para simular e estudar o transporte atmosférico de produtos originários da queima de biomassa, predizendo com boa precisão a concentração do $PM_{2.5}$ na região amazônica, e, particularmente, em Cuiabá,

já levando em conta a influência do efeito adicional dos poluentes originários de queimadas. Além disso, a comparação das estimativas deste modelo com medidas reais de $PM_{2.5}$ aferidas in loco foram validadas e consideradas bastante satisfatórias²⁰.

Os resultados da presente investigação evidenciaram a influência de $PM_{2.5}$ sobre a ocorrência de internações por doenças do aparelho respiratório em crianças menores de cinco anos em Cuiabá. É de se esperar que o mesmo se dê em outras cidades e regiões que convivem com grande queima de biomassa.

Espera-se que estes achados possam ser de utilidade para um melhor entendimento do efeito dos poluentes originários da queima de biomassa sobre o processo saúde-doença das populações que residem na Amazônia brasileira.

Tabela 1 - Estatísticas descritivas das internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças e idosos, variáveis meteorológicas e dados de PM_{2.5}, Cuiabá (MT), Brasil, 2005

	Média diária	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
Internações				
Crianças	3,1	2,2	0,0	11,0
Idosos	2,8	1,8	0,0	9,0
Variáveis meteorológicas				
Temperatura (°C)	30,8	3,8	16,0	38,4
Umidade relativa (%)	55,4	15,6	22,0	98,0
PM_{2.5} (µg/m³)				
Anual	7,5	10,4	0,1	91,4
Seca	11,9	13,1	1,2	91,4

Tabela 2 - Matriz de correlação de Pearson das variáveis sob estudo, Cuiabá (MT), Brasil, 2005

	PM _{2.5}	Temperatura	Umidade	Idosos	Crianças
PM _{2.5}	1				
Temperatura	0,10	1			
Umidade	- 0,14 ^a	- 0,60 ^a	1		
Idosos	- 0,03	0,04	- 0,05	1	
Crianças	0,09	0,11 ^b	-0,07	0,16 ^b	1

^a p < 0,001

^b p < 0,05

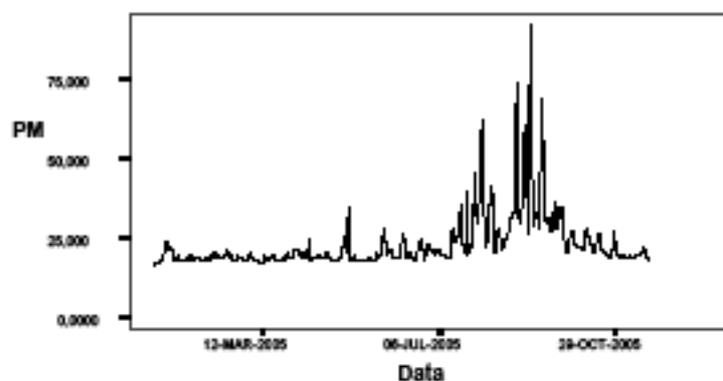


Figura 1a– Série temporal de $PM_{2.5}$ incluída no estudo em Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, 2005.

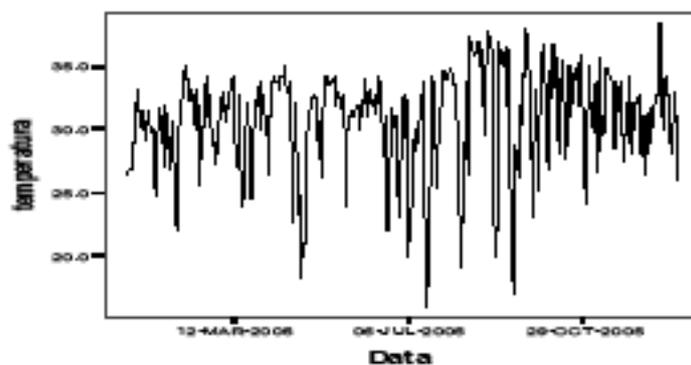


Figura 1b – Série temporal de temperatura ($^{\circ}C$) incluída no estudo em Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, 2005.

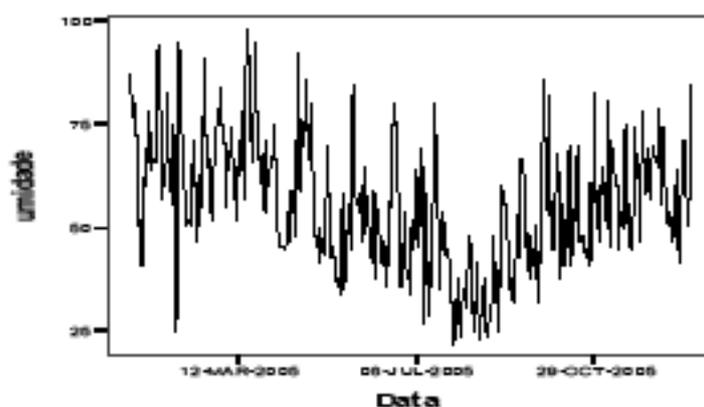


Figura 1c – Série temporal da evolução de umidade relativa do ar(%) incluída no estudo em Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, 2005.

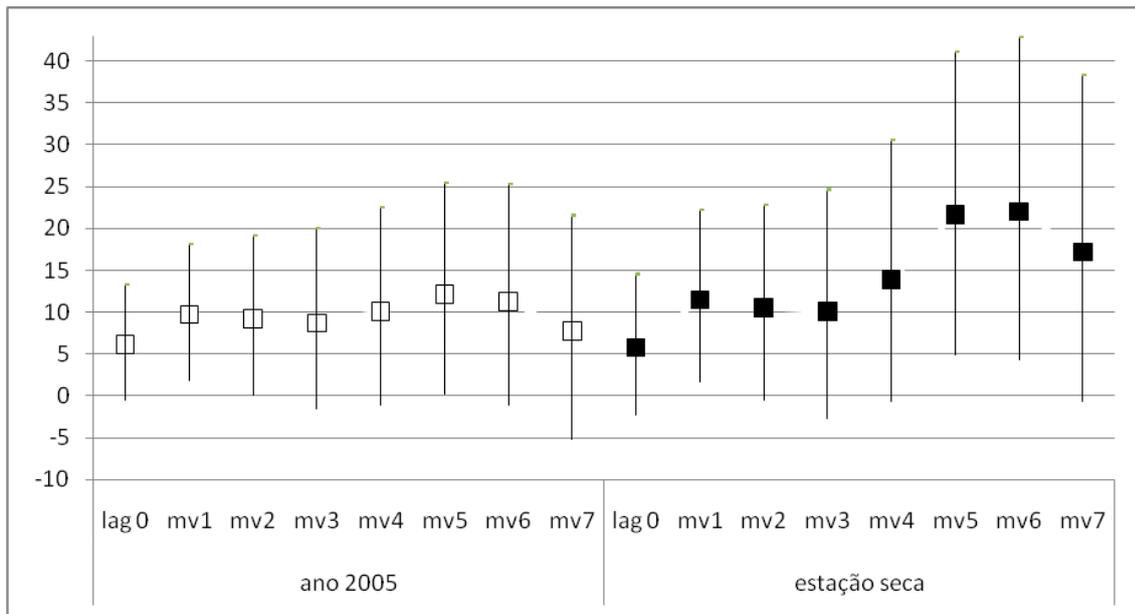


Figura 2 - Incremento percentual e intervalos de confiança para internações hospitalares por doenças respiratórias de crianças em função do aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração do $\text{PM}_{2,5}$ durante o ano de 2005 e durante a estação seca, Cuiabá (MT), Brasil, 2005

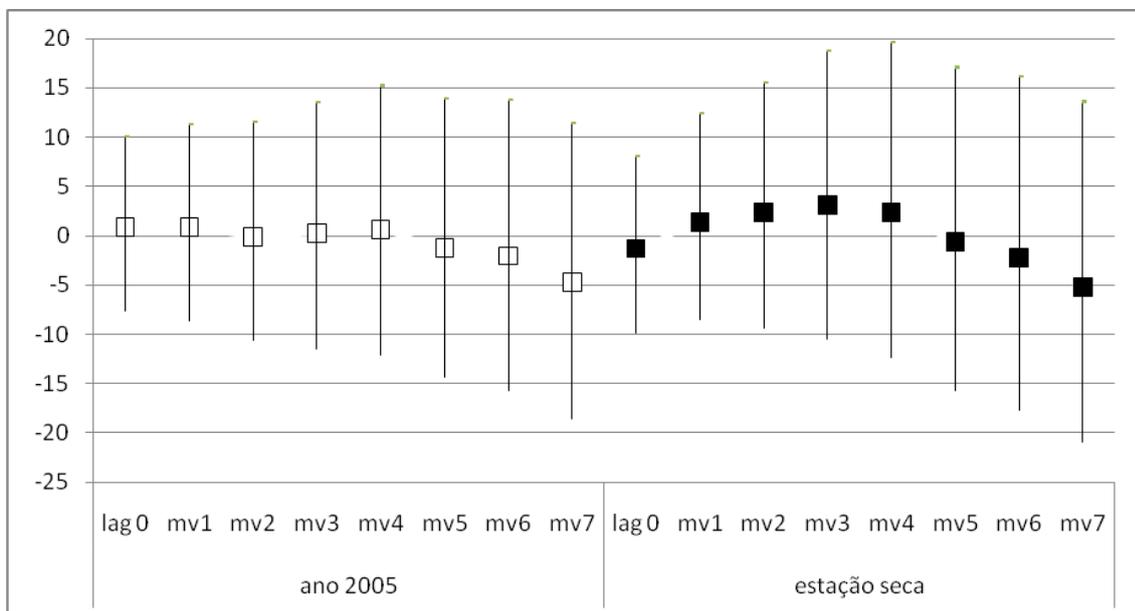


Figura 3 - Incremento percentual e intervalos de confiança para internações hospitalares por doenças respiratórias de idosos em função do aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração do $\text{PM}_{2,5}$ durante o ano de 2005 e durante a estação seca, Cuiabá (MT), Brasil, 2005

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Shrenk, HH, Heimann H, Clayton GD; Gafafer WM, Wexler H. Air pollution in Donora, PA: Epidemiology of the unusual smog episode of October 1948: preliminary report. Washington: US Public Health Service; 1949. (Public Health Bulletin, 306).
2. WHO, Health Guidelines for Vegetation Fire Events, ed. Schwela D.H.; Goldammer, J.G.; Morawska L.H.; Simpson, O. Geneva, World Health Organization, 1999.
3. Committee of the Environmental and Occupational Health Assembly of the American Thoracic Society (CEOHA-ATS). Health effects of outdoor air pollution. *Am J Respir Crit Care Méd.* 1996; 153:3-50.
4. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Projeto PRODES. Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite. <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.html> (acessado em 05/05/2010).
5. Ignotti E, Hacon S, Silva AMC, Junger WL, Castro HA. Efeitos das queimadas na Amazônia: método de seleção de municípios segundo indicadores de saúde. *Rev Bras de Epidemiologia.* Rio de Janeiro. 2007; 10:453-64.
6. Carmo CN, Hacon S, Longo KM, Freitas S, Ignotti E, Ponce de Leon A, et al. Associação entre material particulado de queimadas e doenças respiratórias na região sul da Amazônia brasileira. *Rev Panam Salud Publica.* 2010;27(1):10–6.
7. Salgado PET. Informações Gerais e Ecotoxicológicas de Material Particulado. Série Cadernos de Referência Ambiental. Salvador: Editora PA; 2003.
8. Arbex MA, Cançado JED, Pereira LAA. Biomass burning and its effects on health. *J. bras. Pneumol.* 2004; 30(2):158-75.
9. Seaton A, MacNee W, Donaldson K, Godenn D. Particulate air pollution and acute health effects,. *Lancet* 1995; 345:176-8.
10. Donaldson K, Stone V, Clouter A, MacNee W. Ultrafine Particles. *Occup Environ Med* 2001; 58:211-6.
11. Ignotti E, Hacon SS, Junger WL, Mourão D, Longo K, Freitas S, Artaxo P, de Leon ACMP. Poluição do ar e admissões hospitalares por doenças respiratórias na Amazônia subequatorial: abordagem em séries temporais. *Cadernos de Saúde Pública*, 2010 In press
12. Silva AMC, Mattos IE, Freitas S, Longo K, Hacon SS. Material particulado (PM_{2,5}) de queima de biomassa e doenças respiratórias no sul da Amazônia brasileira. *Rev Bras de Epidemiologia.* Rio de Janeiro. 2010 in press

13. Andrae MO, Browell, EV Garstang M, Gregory GL, Harriss RC, Hill GF, Jacob et al. Biomass burning emissions and associated haze layers over Amazonia. *J. Geophys. Res.* 1988;93(2):1509–27.
14. DATASUS. População Residente – Mato Grosso <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?ibge/cnv/popMT.def> (acessado em 04/05/2010)
15. Médias calculadas com base em dados de 1970 a 2002 do 9º Distrito de Meteorologia. Fonte: Universidade Federal de Mato Grosso. Departamento. de Geografia. Laboratório de Climatologia. Citado por: CUIABÁ, 2004, p. 63.
16. Prietsch SO, Fischer GB, César JA, Lempek BS, Barbosa Jr. LV, Zogbi L, et al. Respiratory illnesses in children younger than 5 years of age in southern Brazil: the influence of the home environment. *Rev Panam Salud Pública* 2003; 13:303-10.
17. DATASUS. Informações em Saúde. <http://w3.datasus.gov.br/datasus/datasus.php> (acessado em 21/04/2010).
18. DATASUS. Sistemas e Apicativos <http://www.datasus.gov.br/cid10/> (acessado em 22/04/2010)
19. Freitas SR, Longo KM, Silva Dias MAF, Chatfield R, Silva Dias PL, Artaxo P et al. The Coupled Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (CATT-BRAMS). Part 1: Model description and evaluation. *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 2843–2861, 2009
20. Longo KM, Freitas SR, Setzer A, Prins E, Artaxo P, Andreae M. The Coupled Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (CATT-BRAMS). Part 2: Model sensitivity to the biomass burning in ventories. *Atmos Chem Phys.* 2007;7:8571–95.
21. BRASIL. Ministério da Agricultura. Normais climatológicas 2001-2009. INMET, 1992.
22. 26. Hastie T, Tibshirani R. Generalized additive models. Londres: Chapman & Hall; 1990.
23. R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Viena: R Foundation for Statistical Computing; 2008.
24. Junger WL. Análise, imputação de dados e interfaces computacionais em estudos de séries temporais epidemiológicas [tese]. Rio de Janeiro: Universidade do Estado do Rio de Janeiro; 2008.
25. Cañado JED, Saldiva PHN, Pereira LAA, Lara, LBLS, Artaxo P, Martinelli LA et al. The Impact of sugar Cane-Burning Emissions on the Respiratory System of Children and the Elderly. *Environ Health Perspect* .2006; 14(5):725-29.
26. Lopes FS, Ribeiro H. Mapeamento de internações hospitalares por problemas respiratórios e possíveis associações à exposição humana aos produtos da queima

- da palha de cana-de-açúcar no estado de São Paulo. *Rev Bras Epidemiol* 2006; 9(2):215-25.
27. Arbex MA, Cançado JED, Pereira LAA. Biomass burning and its effects on health. *J. bras. Pneumol.* 2004; 30(2):158-75
28. Carmo CN, Hacon S, Longo KM, Freitas S, Mourão D, Louzano F, Longo K, Freitas S, Artaxo P. Queima de biomassa e doenças respiratórias na região amazônica: uma aplicação de modelos aditivos generalizados . 2009. XLI SBPO 2009 - Pesquisa Operacional na Gestão do Conhecimento. 1472 – 77
29. Botelho C, Correia AL, Silva AMC, Macedo AG, Clystenenes OS. Fatores ambientais e Hospitalizações em crianças menores de cinco anos com infecção respiratória aguda. *Cad Saude Publica.* 2003;19(6):1771–80.
30. Ignotti E, Valente J G, Longo K, Freitas S, Hacon SS, Artaxo P. Impact on human health of particulate matter emitted from burnings in the Brazilian Amazon region. *Rev. Saúde Pública* [serial on the Internet]. 2010 Feb [cited 2010 May 25] ; 44(1): 121-130. Available from: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-89102010000100013&lng=en. doi: 10.1590/S0034-89102010000100013.
31. Santos JS, Barros MDA. Idosos do Município do Recife, Estado de Pernambuco, Brasil: uma análise da morbimortalidade hospitalar. *Epidemiol. Serv. Saúde*, Brasília, 7(3):177-186, jul-set 2008.
32. Bittencourt AS, Camacho LB, Leal MC O Sistema de Informação Hospitalar e sua aplicação na saúde coletiva. *Cad. Saúde Pública.* 2006; 22(1):19-30
33. Veras, CMT, Martins MS. A confiabilidade dos dados nos formulários de autorização de internação hospitalar (AIH). *Cadernos de Saúde Pública* 1994; 10(3): 339-355.

7- CAPÍTULO III: Efeitos das queimadas na Amazônia: estudo de base populacional sobre a associação entre baixo peso ao nascer, material particulado fino e monóxido de carbono.

Autores:

Ageo Mário Cândido DA SILVA^{1,2}

Inês E. MATTOS¹

Saulo R. FREITAS³

Karla M. LONGO³

Sandra S. HACON¹

1- Escola Nacional de Saúde Pública – Fundação Oswaldo Cruz (ENSP-FIOCRUZ)

2- Instituto de Saúde Coletiva (ISC –UFMT) / Secretaria do Estado de Saúde do Estado de Mato Grosso (SES - MT)

3- Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC –INPE)

Resumo

Objetivo: Avaliar o efeito da exposição a alguns poluentes oriundos da queima de biomassa sobre o peso ao nascer de recém-nascidos a termo em municípios pertencentes ao Arco do Desmatamento em Mato Grosso. **Métodos:** Trata-se de um estudo de corte transversal realizado nos anos de 2004 e 2005. As informações sobre os nascimentos foram obtidos do Sistema de Informações de Nascidos Vivos (SINASC) do Ministério da Saúde. Como variáveis de exposição foram utilizadas as séries históricas das concentrações médias diárias de $PM_{2.5}$ e CO fornecidas pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC–INPE), através do modelo CATT-BRAMS. Estimou-se a exposição materna através das médias dos poluentes para cada trimestre de gestação e para o período total de gestação. Utilizou-se a regressão logística como método de análise multivariado, onde os Odds Ratios ajustados foram calculados para as variáveis de exposição associadas ao BPN. **Resultados:** O número de consultas pré-natal se associou com BPN (OR = 1,67, IC95%=1,10 – 2,53). Na análise da exposição ao $PM_{2.5}$, associações positivas ocorreram em todos os períodos analisados, sendo as de maior magnitude aquelas ocorridas no 2º trimestre de gestação, onde os Odds Ratios variaram de 1,23 a 1,33 e no período gestacional total, onde os valores variaram de 1,03 a 1,37. Quanto ao monóxido de carbono, os maiores efeitos foram observados nos 2º e 3º trimestre de gestação. Os Odds Ratios variaram entre 1,27 e 1,40 (2º trimestre) e 1,20 e 1,45 (3º trimestre). Os aumentos não foram significativos. Os resultados da presente pesquisa reforçam as evidências de que a fumaça originada de queimadas possa estar relacionada à maior prevalência de BPN em algumas regiões da Amazônia.

Effects of biomass burning in Amazonia: population-based study on the association between low birth weight, fine particulate matter and carbon monoxide.

ABSTRACT

Objective: To evaluate the effect of exposure to some pollutants from biomass burning on the birth weight of infants born in towns belonging to the Arc of Deforestation in Mato Grosso. **Methods:** This is a cross-sectional study held in 2004 and 2005. Information on births was obtained from the Information System (SINASC) of the Ministry of Health. As exposure variables, the time series of daily average concentrations of PM_{2.5} and CO were used provided by the Center of Weather Forecasting and Climate Studies of the National Institute of Space Research (CPTEC-INPE), through the model CATT-BRAMS. Maternal exposure was estimated through the pollutants average for each trimester and for the total period of pregnancy. We used logistic regression as a method of multivariate analysis, where the adjusted odds ratios were calculated for exposure variables associated with LBW. **Results:** The number of prenatal visits was associated with LBW (OR = 1.67, 95% CI = 1.10 - 2.53). In the analysis of exposure to PM_{2.5}, positive associations occurred in all periods analyzed, the largest magnitude of those occurring in the 2nd trimester of pregnancy, where the odds ratios ranged from 1.23 to 1.33 and the total gestational period, where the values ranged from 1.03 to 1.37. As for carbon monoxide, the greatest effects were observed in the 2nd and 3rd trimester of pregnancy. The odds ratios ranged between 1.27 and 1.40 (2nd trimester) and 1.20 and 1.45 (3rd trimester). The increases were not significant. **Conclusion:** The results of this research reinforce the evidence that smoke from biomass burning may be related to higher prevalence of LBW in some regions of the Amazon.

INTRODUÇÃO

Atualmente, a preocupação mundial com as mudanças climáticas globais e os grandes desmatamentos de floresta naturais tem despertado interesse cada vez maior nas queimadas que acontecem no continente sul-americano. As queimadas antropogênicas, que ocorrem principalmente em áreas tropicais do planeta, são fontes de gases do efeito estufa, aerossóis e poluentes para a atmosfera^{1,2}. No Brasil, as queimadas na região da Amazônia Legal contribuem de forma significativa para as mudanças da composição química da atmosfera, com reflexos diretos na qualidade do ar de áreas urbanas da Amazônia, onde se encontram as populações expostas aos poluentes liberados nesse processo de combustão incompleta.

Diversos estudos epidemiológicos, no Brasil e no exterior, têm demonstrado a influência dos efeitos deletérios da poluição do ar sobre a saúde humana. Os eventos mais estudados são a morbidade e mortalidade por doenças respiratórias e cardiovasculares em crianças e idosos³⁻⁷. Recentemente, algumas investigações têm relacionado a exposição aos poluentes do ar a efeitos adversos da gravidez. Em estudo realizado em 2002 na cidade do Rio de Janeiro analisando a influência das concentrações de PM₁₀ e SO₂ sobre o baixo peso ao nascer (BPN), Junger e colaboradores⁸ observaram associação entre exposição a maiores concentrações de SO₂ no terceiro trimestre gestacional e BPN. Herring e colaboradores⁹, analisando a ocorrência de partos prematuros entre os anos de 1997 e 2001 em quatro grandes cidades dos Estados Unidos, observaram uma associação positiva entre nascimento pré-termo e exposição a maiores concentrações de material particulado durante a gestação. Ha e colaboradores¹⁰ também observaram associação entre as variações diárias de PM₁₀ no período gestacional e número de nascidos vivos com BPN no 1º e 2º trimestres de gestação. Dugandzic e colaboradores¹¹ avaliaram a associação entre PM₁₀ e outros poluentes e a ocorrência de BPN em recém-nascidos na cidade de Nova Escócia (Canadá)

durante os anos de 1998 e 2000 e observaram um excesso de nascidos vivos com BPN quando ocorria exposição aumentada a PM_{10} no 1º trimestre de gestação. Medeiros e Gouveia¹², em um estudo realizado na cidade de São Paulo durante os anos de 1996 e 2000, observaram um decréscimo do peso dos nascidos vivos relacionado ao aumento da exposição materna ao PM_{10} .

Apesar da existência de estudos que demonstraram associação entre poluentes atmosféricos por fontes antropogênicas e desfechos da gravidez, o entendimento da associação entre BPN e exposição a produtos de queima de biomassa ainda é bastante incipiente, sendo raros os estudos conduzidos nesse sentido¹²⁻¹³.

O objetivo deste trabalho é avaliar o efeito da exposição ao material particulado e monóxido de carbono oriundos da queima de biomassa originária do bioma amazônico e cerrado sobre o peso ao nascer de nascidos vivos em municípios pertencentes ao Arco do Desmatamento em Mato Grosso, Brasil, nos anos de 2004 e 2005.

MATERIAL E MÉTODOS

Trata-se de um estudo de base populacional, realizado em municípios do estado de Mato Grosso situados na área de influência do arco do desmatamento na Amazônia brasileira. Os municípios selecionados pertencem à microrregião de Tangará da Serra (n=12) e à microrregião de Alta Floresta (n=6) e têm sido impactados de forma similar pela degradação socioambiental em decorrência do uso do solo imposto pelos incentivos governamentais aos biomas do cerrado e da floresta amazônica, conforme apontado por Ignotti e colaboradores¹⁴ em estudo anterior.

A fonte de dados utilizada foi Sistema de Informação de Nascidos Vivos do Ministério da Saúde(SINASC)¹⁵. O SINASC é um sistema de informação que agrega os registros contidos na declaração de nascidos vivos, o que permite análise minuciosas na área de saúde materno-infantil. Eram elegíveis para estudo todos os 6.642 nascidos vivos nestes municípios entre 01/10/2004 e 31/12/2005. Estabeleceu-se os seguintes critérios de exclusão: gestações múltiplas (n=71), tempo de gestação inferior a 37 semanas (n=370) e malformação congênita diagnosticada ao nascimento (n = 50). Estas exclusões foram realizadas pela maior probabilidade de ocorrência de baixo peso ao nascer, devido à gestação de risco e prematuridade, o que poderia contribuir para a superestimação dos efeitos da poluição do ar. Como perdas se consideraram os registros com sexo do RN não informado (n = 1) e aqueles com ausência de informação para alguma destas variáveis (n = 2). O banco de dados final permaneceu com 6.148 registros. As medidas de peso foram estratificadas em BPN (RN com peso menor que 2500 gramas) e peso normal ao nascer (2500 gramas ou mais), segundo critérios definidos pela Organização Mundial de Saúde¹⁶, utilizando-se esta categorização como variável resposta.

Como variáveis de exposição para o impacto das queimadas à saúde humana foram utilizadas as séries históricas das concentrações médias diárias de PM_{2,5} e CO

fornecidas pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC–INPE), através do modelo *Coupled aerosol and trace gases transport model to the Brazilian developments of the Regional Atmospheric Modeling System (CATT-BRAMS Model)*^{17,18}. Estas séries históricas são calculadas diariamente pelo modelo 3BEM (Brazilian Biomass Burning Emission Model - CPTEC) com base nos focos de calor identificados por sensoriamento remoto. Uma modelagem é feita através de um sistema computacional que simula as emissões e o transporte atmosférico de produtos originários da queima de biomassa na Amazônia, utilizando parâmetros de difusão horizontais e verticais de radiação solar, umidade e temperatura, e prediz, com boa precisão, a concentração destes poluentes atmosféricos na região em estudo¹⁸. O CATT-BRAMS estima essas concentrações para todos os municípios da Amazônia Brasileira.

Informações sobre possíveis variáveis confundidoras foram também retiradas do SINASC. As variáveis consideradas foram: sexo do RN, escolaridade da mãe em anos e categorizada em até 3 anos de estudo e 4 anos ou mais de estudo; idade da mãe em anos e categorizada em adultos (20 a 39 anos) e outros (menor de 20 anos e 40 anos ou mais); número de consultas pré-natal categorizada em nenhuma, 1 a 3, 4 a 6 e 7 ou mais; esta variável também foi categorizada em de 0 a 3 e 4 ou mais.

A exposição do feto aos poluentes estudados referentes a cada trimestre de gestação foi estimada a partir da média dos poluentes em cada trimestre de gestação, utilizando como data de referência o dia do nascimento do recém-nascido. Como exemplo, considerou-se, como média do 1º trimestre, a média dos valores diários estimados de poluição aferidas da data provável da fecundação (1º dia) até último dia referente ao terceiro mês de gestação. As médias dos demais trimestres foram calculadas da mesma maneira. Também se estimou a média de exposição durante todo o período gestacional, ou seja, da provável data de concepção até a data de nascimento. Todas as médias foram

calculadas com base no ponto médio das categorias de semanas de gestação registradas no SINASC. Posteriormente, as médias trimestrais e as médias de todo período gestacional de $PM_{2.5}$ e CO foram quartilizadas e transformadas em variáveis indicadoras do tipo *dummy*;. Para cada intervalo interquartil de $PM_{2.5}$ e de CO foi atribuído um nível de exposição, utilizando-se o primeiro intervalo interquartil como referência.

A exposição à poluição do ar referente a cada trimestre de gestação foi avaliada separadamente, exceto quando se analisou todo o período gestacional, onde as medidas de $PM_{2.5}$ e CO foram as médias das médias diárias de toda gestação.

Realizou-se primeiramente uma análise bivariada entre BPN e as variáveis de ajuste. Nesta etapa foram calculados os qui-quadrados para análise de tendência linear, quando fosse o caso. Testou-se individualmente cada variável no modelo selecionando-se aquelas cujo nível descritivo de significância fosse menor ou igual a 0,20 na análise bivariada (escolaridade, faixa etária da mãe e N° de consultas de pré-natal)¹⁹. A variável sexo foi mantida no modelo devido à sua importância em relação ao desfecho peso do RN. A variável tipo de parto não foi incluída no ajustamento por apresentar nível de significância estatística maior que 0,20.

Utilizou-se a regressão logística como método de análise multivariado, onde as Odds Ratios ajustadas foram calculadas para as variáveis de exposição associadas ao BPN. A utilização desse método foi possível devido ao fato do desfecho ser um evento de ocorrência rara e a constatação da similitude entre as razões de prevalência e Odds Ratios, na análise bivariada. O nível de significância estatística adotado para todos os testes foi de 0,05. Para a realização da análise multivariada foram construídos dois modelos, um para cada tipo de poluente ($PM_{2.5}$ e CO). Optou-se por não se analisar os modelos com os dois poluentes incluídos simultaneamente, já que houve colinearidade entre $PM_{2.5}$ e CO em todos os períodos analisados.

Foram utilizados os software Epi-Info 2000²⁰ e SPSS 16.0²¹ para a análise.

RESULTADOS

A análise descritiva das observações diárias de $PM_{2.5}$ e CO estão na tabela 1. A prevalência de BPN foi de 3,1%, tendo sido maior entre os RN do sexo masculino e em gestações oriundas de mães com escolaridade entre 8 a 11 anos de estudo (39,9%). Observa-se também que a maioria das gestantes estava na faixa etária de 20 a 29 anos (56,6%) e realizou 7 consultas ou mais (56,4%) de acompanhamento pré-natal.

A tabela 2 apresenta as odds ratios brutas e ajustadas e intervalos de confiança para baixo peso ao nascer, variáveis controle e categorias de exposição nos municípios selecionados. Na análise bivariada, nota-se que o BPN mostrou associação estatisticamente significativa com até 7 anos de escolaridade (OR = 1,40, IC_{95%} = 1,05 – 1,87) e com 1 a 3 consultas pré-natal (OR = 1,79, IC_{95%} = 1,17 – 2,73). A chance de BPN foi maior nos RN do sexo feminino (OR = 1,15, IC_{95%} = 0,85 - 1,54,) e entre as , crianças nascidas de cesárea (OR = 1,13, IC_{95%} = 0,84 - 1,51). Filhos de mães mais jovens (com idade menor que 20 anos) ou com 40 ou mais anos de idade também tiveram mais chance de BPN (OR = 1,29, IC_{95%} = 0,95- 1,75). Na análise ajustada, apenas o número de consultas de pré-natal manteve a significância estatística da associação (OR = 1,67, IC_{95%} = 1,10 – 2,53).

Na análise multivariada, observou-se associação positiva entre exposição ao poluente $PM_{2.5}$ e BPN, observou-se associações positivas em praticamente todos os trimestres de gestação. As únicas exceções foram o quarto intervalo interquartil do 1º trimestre e o segundo intervalo interquartil do 3º trimestre. A maior magnitude de efeitos foi estimada no segundo trimestre, variando entre 1,23 e 1,33 (Tabela 3).

Em relação ao CO, também se observou associações positivas, ainda que sem significância estatística , na maioria das vezes. Os maiores efeitos foram observados nos 2º e 3º trimestre de gestação, com magnitudes que variaram entre 1,27 e 1,40 (2º trimestre) e entre 1,20 e 1,45 (3º trimestre) (Tabela 3).

Quanto ao período gestacional total, nota-se que existe uma tendência de aumento da magnitude das odds ratios relacionada à exposição a maiores concentrações de $PM_{2.5}$. O mesmo não ocorreu ao se analisar a exposição ao CO, sendo observada associação positiva entre o poluente e BPN apenas no terceiro quartil (OR = 1,26), embora sem significância estatística (Tabela 3).

DISCUSSÃO

O desenvolvimento fetal é o primeiro período do ciclo de vida humano, começando na concepção e terminando no nascimento do recém-nascido, sendo influenciado por muitos fatores ambientais que podem produzir particulares efeitos adversos, especialmente em períodos críticos. O BPN é considerado um indicador sensível de efeitos adversos decorrentes de exposições no período gestacional⁷⁻⁹.

A poluição do ar pode afetar a saúde do feto através de efeitos diretos sobre ele mesmo, ou de forma indireta, através de efeitos sobre a saúde da mãe, assim como podem ocorrer os dois efeitos simultaneamente²². Em gestantes portadoras de asma, a alteração da função pulmonar materna devido à exposição aos poluentes tem sido associada à alteração da função vascular placentária, com conseqüente retardo do crescimento fetal e BPN²³⁻²⁵. A inalação materna de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAHs) presentes no PM_{2.5} pode levar a uma desregulação endócrina, também levando a um retardo do crescimento fetal intra-uterino²². A grande exposição ao material particulado pode promover inflamação dos alvéolos pulmonares com conseqüente alteração da viscosidade sanguínea, que também afeta a normalidade da função placentária²⁶. Já o monóxido de carbono liga-se tanto à hemoglobina materna quanto fetal produzindo carboxihemoglobina. Esta, por sua vez, deixa de transportar oxigênio, o que leva à hipóxia celular crônica que também leva ao retardo do crescimento fetal e também BPN²⁷.

A presente investigação buscou avaliar os efeitos da exposição ao material particulado e monóxido de carbono presentes na poluição produzida pela queima de biomassa originária do bioma amazônico sobre o peso ao nascer de nascidos vivos. O baixo peso ao nascer esteve associado à menor escolaridade materna (menos de oito anos de estudo) e ao menor número de consultas pré-natal realizadas (menos de quatro consultas), resultados estes que estão de acordo com os dados da literatura^{8,22,23}.

Importante ressaltar que este é um dos primeiros estudos a ser realizado na região amazônica com esse objetivo, não havendo, portanto, prévios padrões de comparação. Observa-se nesta região características socioeconômicas e contextuais bastante distintas e os municípios estudados possuem grandes áreas geográficas e baixa densidade populacional. Pode-se inferir que a disponibilidade do serviço e sua acessibilidade sejam diferentes dos centros mais desenvolvidos, o que faz com que sua utilização seja menor e, conseqüente, também o seja em relação ao acompanhamento de pré-natal, à medida que aumenta a distância entre as gestantes que demandam atendimento e os centros de saúde²⁸. Em relação à idade materna, diversos estudos mostram que a associação com o BPN se dá pelas particularidades de cada faixa etária, tais como: baixa escolaridade, condição socioeconômica desvantajosa, situação conjugal e imaturidade física e psíquica^{29,30}.

A exposição às maiores concentrações de $PM_{2.5}$ e CO oriundos de queimadas se apresentou associada ao BPN na maioria dos períodos analisados, exceto para CO em relação ao 1º trimestre e ao período contínuo gestacional, apesar das associações não terem sido estatisticamente significantes. No entanto, os estudos com relação aos efeitos da poluição do ar são bastante escassos e controversos³⁰⁻³². No presente estudo, destacam-se o 2º e 3º trimestres de gestação, onde as associações foram positivas para ambos os poluentes e para os intervalos interquartis (2º semestre) e o 3º trimestre, quando apenas o 2º intervalo interquartil de $PM_{2.5}$ não se associou positivamente ao BPN.

Quanto ao 2º trimestre, os achados são concordantes com alguns estudos realizados em outros países. Salam e colaboradores³³ investigaram o efeito de poluentes do ar sobre o peso ao nascer e a redução do crescimento fetal em recém-nascidos na Califórnia entre 1975 e 1987, encontrando que a exposição ao CO durante o segundo trimestre foi associado ao BPN. De maneira semelhante, Bell e colaboradores³⁴, em um estudo que avaliou a exposição materna a $PM_{2.5}$ e peso ao nascer em 358.504 nascimentos em Massachusetts e Connecticut entre 1999 e 2002, encontraram BPN associado à

exposição a $PM_{2.5}$ no segundo e terceiro trimestre de gestação. Já Melo e colaboradores³⁵ demonstraram a importância do segundo trimestre em relação ao desenvolvimento fetal; um estudo conduzido por essa equipe avaliou o efeito de variáveis maternas, socioeconômicas e obstétricas sobre o peso fetal estimado no final da gravidez em uma cidade do interior do Nordeste do Brasil, evidenciando a associação entre o ganho ponderal de peso materno e o peso fetal no segundo trimestre de gestação. Cumpre dizer que no Brasil, embora existam poucos estudos relacionando exposição a poluentes ambientais e BPN, são raros os estudos que relatam ser o 2º trimestre associado ao BPN, encontrando-se inclusive associações inversas entre poluentes atmosféricos e peso ao nascer³².

O terceiro trimestre gestacional é descrito pela maioria dos estudos no Brasil e exterior como importante para o estudo da associação entre poluentes atmosféricos e BPN, tanto para o $PM_{2.5}$ quanto para o CO. Em um estudo de base populacional realizado na Califórnia, Ritz e Yu³⁶ avaliaram a influência dos níveis de poluição sobre o peso ao nascer em 126.000 nascidos vivos a termo, encontrando maior risco de BPN quando a mãe foi exposta a maiores níveis de CO durante o terceiro trimestre gestacional. Na China, Wang e colaboradores³⁷ encontraram associação entre a exposição materna ao total de partículas suspensas (TSP) durante o terceiro trimestre de gestação e o baixo peso ao nascer. A plausibilidade biológica dessa associação é explicada pela ocorrência de um maior desenvolvimento fetal entre a 28ª e a 37ª semanas de gestação, justificando ser este o período mais suscetível para a ocorrência de BPN associada a estas variáveis ambientais^{8,29}.

A exclusão dos recém-nascidos com menos de 37 semanas de gestação (prematuros) das análises realizadas neste estudo, foi embasada no fato de que a prematuridade, por si só, vem acompanhada de BPN^{38,39}. Dessa forma, a exclusão deste

grupo possibilitou analisar exclusivamente o BPN como desfecho da exposição à poluição, sem a influência dessa possível variável confundidora.

A utilização de dados secundários para a realização deste estudo, não possibilitou a aferição de variáveis individuais de exposição da gestante, como, por exemplo, o tabagismo, sendo essa uma limitação. Contudo, como alguns estudos apontam forte correlação entre tabagismo e escolaridade^{8,40}, pode-se considerar que escolaridade materna atue como uma variável *proxy* do hábito tabágico, daí a importância da sua inclusão como controle no modelo de regressão logística. Por outro lado, a utilização do SINASC como fonte de dados possibilitou a realização de um estudo de base populacional.

Em sua maioria, os estudos que avaliam desfechos adversos de gravidez e poluição utilizam dados de variáveis atmosféricas fornecidos por monitores estacionários de grandes centros urbanos. Este estudo é um dos primeiros a verificar a influência de poluentes originários de queimadas sobre desfechos de gravidez na Amazônia brasileira trazendo como contribuição uma melhor compreensão desta associação em nível regional. Além disso, a utilização de dados estimados por modelagem computacional validados permite avaliar a influência de poluentes atmosféricos na morbidade em locais da região amazônica que ainda não possuem monitores locais de aferição de poluição do ar. Em pesquisa que comparou as estimativas do modelo CATT-BRAMS com medidas reais de PM_{2.5} aferidas *in loco*, foi observado um coeficiente de determinação de 0,7, considerado como bastante satisfatório por se tratar de estimativas de poluição atmosférica^{17,18}.

É importante destacar que as maiores concentrações de poluentes da queima de biomassa são originárias de emissões agudas que ocorrem entre os meses de julho a outubro, coincidente com a estação seca da Amazônia. Esta exposição é diferente da exposição urbana aos poluentes oriundos de fonte móveis e estacionárias, não apenas pela diferente composição química dos poluentes, mas pela continuidade da exposição a esses últimos. Considerando-se essas diferenças, os resultados da presente pesquisa reforçam as

evidências de que a produção de PM_{2.5} e CO originada de queimadas possa estar relacionada à maior ocorrência BPN em algumas regiões da Amazônia. É de se esperar que o mesmo se dê em todas as regiões com grande queima de biomassa. A extensão continental do Arco do Desmatamento, onde este problema é mais acentuado, pode levar ao aumento da ocorrência de BPN nos diversos países pertencentes ao bioma amazônico, constituindo este um sério problema de saúde pública.

Tabela 1 – Estatística descritiva de baixo peso ao nascer e observações diárias de PM_{2.5} e CO nos municípios selecionados, Mato Grosso, 2004 e 2005.

	<i>Média</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Mediana</i>	<i>Máximo</i>	<i>Desvio Padrão</i>
PM₁₀	26,27	0,08	8,02	716,87	46,84
CO	237,32	0,84	68,92	6476,60	421,95

Tabela 2 – Odds Ratios Brutos e intervalos de confiança de baixo peso ao nascer para variáveis controle e categorias de exposição nos municípios selecionados, Mato Grosso, 2004 e 2005.

Variável	Odds Ratio bruto (IC95%)	Odds Ratio ajustado (IC95%)
Sexo do RN		
Masculino	1,00	1,00
Feminino	1,15 (0,85 - 1,54)	1,15 (0,86 – 1,53)
Escolaridade materna		
(anos de estudo)		
8 ou +	1,00	1,00
0 – 7	1,40 (1,05 – 1,87)	1,31 (0,97 – 1,77)
Faixa Etária (anos)		
20 a 39	1,00	1,00
Até 19 e 40 ou mais	1,29 (0,95- 1,75)	1,24 (0,91 – 1,67)
Tipo de parto		
Parto normal	1,00	1,00
Cesárea	1,13 (0,84 - 1,51)	1,01 (0,65 – 1,15)
Nº de consultas pré-natal		
4 ou +	1,00	1,00
1 – 3	1,79 (1,17 – 2,73)	1,67 (1,10 – 2,53)

Tabela 3 - Odds Ratios ajustados por variáveis controle* e Intervalos de Confiança para variáveis atmosféricas segundo quartis de exposição nos municípios selecionados em cada trimestre gestacional, Mato Grosso, 2004 e 2005

Variável	1º Trimestre	2º trimestre	3º trimestre	Período Gestacional Total
	Odds Ratio	Odds Ratio	Odds Ratio	Odds Ratio
PM_{2,5}				
Q1	1,00	1,00	1,00	1,00
Q2	1,11 (0,74 - 1,67)	1,23 (0,81 - 1,89)	0,95 (0,61 - 1,49)	1,03 (0,66 - 1,60)
Q3	1,12 (0,74 - 1,68)	1,35 (0,89 - 2,04)	1,34 (0,87 - 2,06)	1,09 (0,71 - 1,67)
Q4	0,82 (0,52 - 1,27)	1,23 (0,80 - 1,85)	1,26 (0,82 - 1,93)	1,37 (0,91 - 2,08)
CO				
Q1	1,00	1,00	1,00	1,00
Q2	1,23 (0,83 - 1,83)	1,27 (0,83 - 1,94)	1,20 (0,78 - 1,85)	0,99 (0,66 - 1,51)
Q3	0,99 (0,66 - 1,50)	1,40 (0,92 - 2,13)	1,29 (0,85 - 1,97)	0,91 (0,59 - 1,39)
Q4	0,88 (0,58 - 1,35)	1,27 (0,83- 1,95)	1,45 (0,96 - 2,19)	1,26 (0,85 - 1,87)

* Sexo do RN, N° de consultas de pré-natal, escolaridade e faixa etária materna.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Andreae MO, Rosenfeld D, Artaxo P, Costa AA, Frank GP, Longo KM, Silva-Dias MAF. Smoking Rain Clouds over the Amazon. *Science*. 2004. 303:1339 -42
2. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Projeto PRODES. Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite. <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.html> (acessado em 02/02/2008).
3. Kettunen J, Lanki T, Tiittanen P, Aalto PP, Koskentalo T, Jaana Kettunen, MSc; Timo Lanki, MSc; Pekka Tiittanen, MSc; Pasi P. Aalto, Koskentalo T et al. Associations of Fine and Ultrafine Particulate Air Pollution With Stroke mortality in an Area of Low Air Pollution Levels. *Stroke*. 2006; 38:918-22.
4. Dominici F, Peng RD, Bell ML, Pham L, McDermott A, Zeger SL et al. Fine Particulate Air Pollution and Hospital Admission for Cardiovascular and Respiratory Diseases. *JAMA*, 2006; 295(10): 1127-34
5. Samet JM, Dominici F, Curriero FC, Coursac I, Zeger SL. Fine particulate air pollution and mortality in 20 U.S. cities, 1987–1994. *The New England Journal of Medicine*. 2000; 343(24): 1742-49.
6. Braga ALF, Pereira LAA, Procópio M, André PA, Saldiva PHS. Associação entre poluição atmosférica e doenças respiratórias e cardiovasculares na cidade de Itabira, Minas Gerais, Brasil. *Cad. Saúde Pública*, Rio de Janeiro, 2007; 23(4):570-78.
7. Caçado JED, Saldiva PHN, Pereira LAA, Lara, LBLS, Artaxo P, Martinelli LA et al. The Impact of sugar Cane-Burning Emissions on the Respiratory System of Children and the Elderly. *Environ Health Perspect* .2006; 14(5):725-29.
8. Junger WL, de Leon AP. Poluição do ar e baixo peso ao nascer no Município do Rio de Janeiro, Brasil, 2002. *Cad. Saúde Pública*; 2007; 23(4):S588-98.
9. Herring A, Neas L, Savitz D, Poole C, Sagiv S, Mendola P et al. A time series analysis of air pollution and preterm birth in Pennsylvania, 1997-2001. *Epidemiology*.2004; 15(4).
10. Ha E, Hong Y, Lee B, Woo B, Schwartz J, Christiani D. Is air pollution a risk factor for low birth weight in Seoul? *Epidemiol* 2001; 12:643-8.
11. Dugandzic R, Dodds L, Stieb D, Smith-Doiron Marc. The association between low level exposures to ambient air pollution and term low birth weight: a retrospective cohort study. *Environmental Health: A Global Access Science Source* 2006, 5(3):1-8
12. Medeiros A, Gouveia N. Relação entre baixo peso ao nascer e a poluição do ar no Município de São Paulo. *Rev Saúde Pública*. 2005; 39(6): 965-72.
13. Ghosh R, Rankin J, Pless-Mulloli T, Glinianaia S. Does the effect of air pollution on pregnancy outcomes differ by gender? A systematic review. *Environmental Research* 2007; 105:400–8.

14. Ignotti E, ; Hacon S, Silva AMC, Junger WL, Castro HA. Efeitos das queimadas na Amazônia: método de seleção de municípios segundo indicadores de saúde. *Rev Bras de Epidemiologia*. Rio de Janeiro. 2007; 10:453-64.
15. DATASUS. Informações em Saúde. <http://w3.datasus.gov.br/datasus/datasus.php> (acessado em 20/07/2008).
16. WORLD HEALTH ORGANIZATION. Physical status: the use and interpretation of anthropometry: report of a Expert Committee. [S.1.]:WHO,1995.(Technical Report Series 854)
17. Freitas SR, Longo KM, Silva Dias MAF, Chatfield R, Silva Dias PL, Artaxo P et al. The Coupled Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (CATT-BRAMS). Part 1: Model description and evaluation. In press: ACPD/EGU MS# 2007-0166.
18. Longo K, Freitas S, Setzer A, Prins E, Artaxo P, Andreae M. The Coupled Aerosol Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (CATT- BRAMS). Part 2: Model sensitivity to the biomass burning inventories. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*. In press, June/2007.
19. Kleinbaum DG, Kupper LL, Morgenstern H. *Epidemiologic research: principle and quantitative methods*. Belmont: Lifetime Learning; 1982
20. Dean AG, Arner TG, Sangan S, Sunki GG, Friedman R, Lantinga M et al. *Epi Info 2000*, a database and statistics program for public health professionals for use on Windows 94, 98, NT and 2000 computers. Atlanta: Center for Disease Control and Prevention; 2000.
21. [SPSS] Statistical Package for the Social Sciences. [computer program]. Release 6.1, standard version. Chicago: SPSS Inc; 1994.
22. Glinianaia SV, Rankin J, Bell R, Pless-Mulloli, Howel D. Particulate air pollution and fetal health. A systematic review of the epidemiologic evidence. *Epidemiology*. 2004;15:36–45.
23. Bracken MB, Triche EW, Belanger K, Saftlas A, Beckett WS, Leaderer BP. Asthma symptoms, severity, and drug therapy: a prospective study of effects on 2205 pregnancies. *Obstet Gynecol*. 2003;102:739–752.
24. Clifton VL, Giles WB, Smith R, Bisits AT, Hempenstall PA, Kessell CG, Gibson PG. Alterations of placental vascular function in asthmatic pregnancies. *Am J Respir Crit Care Med*. 2001;164:546–553.
25. Schatz M, Zeiger RS, Hoffman CP. Intrauterine growth is related to gestational pulmonary function in pregnant asthmatic women. Kaiser-Permanente Asthma and Pregnancy Study Group. *Chest*. 1990;98:389–392.
26. Maisonet M, Correa A, Misra D, Jaakkola JJK. A review of the literature on the effects of ambient air pollution on fetal growth. *Environ Res*. 2004;95:106–115.

27. Perera FP, Jedrychowski W, Rauh V, Whyatt RM. Molecular epidemiologic research on the effects of environmental pollutants on the fetus. *Environ Health Perspect* 3 (1999) 451–460.
28. Viacava e Travassos. Acesso e uso de serviços de saúde em idosos residentes em áreas rurais, Brasil, 1998 e 2003. *Cad. Saúde Pública*. 2007; 23(10):2490-2502.
29. Almeida MF, Mello J, Maria HP. Pequenos para idade gestacional: fator de risco para mortalidade neonatal. *REV Saúde Pública*. 1998;32(3):1-11.
30. Barbieri MA, Silva AA, Bettiol H, Gomes UA. Risk factors for the increasing trend in low birth weight among live births born by vaginal delivery, Brazil. *Rev Saúde Pública* 2000; 34:596-602.
31. Mozurkewich EL, Luke B, Avni M, Wolf FM. Working conditions and adverse pregnancy outcome: a meta-analysis. *Obstetrics & Gynecology*. 2000;95:623-35.
32. Gouveia N, Bremner SA, Novaes HMD. Association between ambient air pollution and birth weight in Sao Paulo, Brazil. *J Epidemiol Community Health* 2004; 58:11-7.
33. Salam MT, Millstein J, Li Y–F, Lurmann FW, Margolis HG, Gilliland FD. Birth outcomes and prenatal exposure to ozone, carbon monoxide, and particulate matter: results from the Children's Health Study. *Environ Health Perspect* 2005; 113:1638–1644.
34. Bell ML, Ebisu K, Belanger K: Ambient air pollution and low birth weight in Connecticut and Massachusetts. *Environ Health Perspect* 2007, 115:1118-1124.
35. Melo ASO. Fatores maternos associados ao peso fetal estimado pela ultra-sonografia. *Rev. Bras. Ginecol. Obstet*. 2008, 30(9):459-465 .
36. Ritz B, Yu F. 1999. The effect of ambient carbon monoxide on low birth weight among children born in Southern California between 1989 and 1993. *Environ Health Perspect* 107:17–25.
37. Wang X, Ding H, Ryan L, Xu X. Association between air pollution and low birth weight: a community- based study. *Environ Health Perspect* 1997;105:514-20.
38. Rugolo LM. Peso de nascimento: motivo de preocupação em curto e longo prazo. *J Pediatr (Rio J)* 2005; 81:359-60.
39. Barbieri MA, Silva AA, Bettiol H, Gomes UA. Risk factors for the increasing trend in low birth weight among live births born by vaginal delivery, Brazil. *Rev Saúde Pública* 2000; 34:596-602.
40. W. Leopércio, A. Gigliotti. Tabagismo e suas peculiaridades durante a gestação: uma revisão crítica. *Jorn.Bras. de Pneumo* 30 (2004) 176-185

8 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo reforça as evidências de que a produção de $PM_{2.5}$ originada de queimadas na Amazônia Legal está relacionada à maior ocorrência de doença respiratória nos municípios do estado de Mato Grosso.

O estudo também reforça a importância da avaliação espacial da morbidade das doenças respiratórias e suas relações com a presença de material particulado originário da queima de biomassa nos biomas amazônico, cerrado e pantanal brasileiro.

É importante destacar as evidências de que a exposição ao material particulado fino originário da queima de biomassa está associada ao aumento das internações por doenças do aparelho respiratório em crianças menores de cinco anos em Cuiabá. Além disso, a análise espacial também indicou que populações idosas também são suscetíveis à intensa produção de $PM_{2.5}$ originária de queimadas em Mato Grosso.

Os resultados da presente pesquisa evidenciam que a produção de $PM_{2.5}$ e CO originada de queimadas possa estar relacionada à maior ocorrência de baixo peso ao nascer em algumas regiões da Amazônia, levando a crer que o mesmo se dê em todas as regiões com grande queima de biomassa.

É importante destacar que as maiores concentrações de poluentes da queima de biomassa são originárias de emissões agudas que ocorrem entre os meses de julho a outubro, coincidente com a estação seca da Amazônia, o que ficou evidenciado na avaliação das internações de crianças com doenças respiratórias em Cuiabá.

Tem-se como fragilidade a qualidade do registro de informações em saúde. É necessário o treinamento e a capacitação de toda a rede de serviço, desde os profissionais de diagnóstico até os digitadores e gerentes dos sistemas de informação para a melhoria desta informação.

Espera-se que esse estudo possa contribuir para a formulação de políticas ambientais e de saúde no estado de Mato Grosso e na região amazônica. Neste sentido, sugere-se a divulgação desses resultados para os serviços de Vigilância em Saúde dos municípios e Estado de Mato Grosso.

9 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 Shrenk, HH, Heimann H, Clayton GD; Gafafer WM, Wexler H. Air pollution in Donora, PA: Epidemiology of the unusual smog episode of October 1948: preliminary report. Washington: US Public Health Service; 1949. (Public Health Bulletin, 306).
- 2 WHO, Health Guidelines for Vegetation Fire Events, ed. Schwela D.H.; Goldammer, J.G.; Morawska L.H.; Simpson, O. Geneva, World Health Organization, 1999.
- 3 Duchiate P. Air pollution and respiratory diseases: a review. Cad. Saúde Pública, 1992; 8(3):311-30.
- 4 Committee of the Environmental and Occupational Health Assembly of the American Thoracic Society (CEOHA-ATS). Health effects of outdoor air pollution. Am J Respir Crit Care Méd. 1996; 153:3-50.
- 5 Dawud Y, Smoke episodes and assessment of health impacts related to haze from forest fires: Indonesian experience health guidelines for vegetation fire Events, Lima, Peru: Background papers, WHO, 1999.
- 6 Atkinson RW, Anderson HR, Sunyer J, Ayres J, Baccini M, Vonk JM et al. Acute effects of particulate air pollution on respiratory admission: results from APHEA 2 project. Air pollution and health: a European Approach. Am J Respir Crit Care 2001;164(10 Pt 1):1860-6.
- 7 WHO. World Health Organization. 2005. Air Quality Guidelines: Global Update pp174. http://www.euro.who.int/InformationSources/Publications/Catalogue/20070323_120 (acessado em 20 de junho de 2007).
- 8 Katsouyanni K. The APHEA Project. Short term effects of air pollution on health: a European approach using epidemiological time series data. J Epidemiol Comm Health, 1996; 50(1)12-S80.
- 9 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Projeto PRODES. Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite. <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.html> (acessado em 02/02/2008).
- 10 Ignotti E, Hacon S, Silva AMC, Junger WL, Castro HA. Efeitos das queimadas na Amazônia: método de seleção de municípios segundo indicadores de saúde. Rev Bras de Epidemiologia. Rio de Janeiro. 2007; 10:453-64.
- 11 Mascarenhas MDM, Vieira LC, Lanzieri TM, Leal APPR, Duarte AF, Hatch LH. Poluição atmosférica devida à queima de biomassa florestal e atendimentos de emergência por doença respiratória em Rio Branco, Brasil - Setembro, 2005. J Bras Pneumol. 2008; 34(1):42-46.
- 12 Ignotti E, Valente JG, Hacon SS, Longo MK, Freitas SR. Aggregated measures of exposure to PM_{2.5} in the Brazilian Legal Amazon region and indicators of human health. 2008; 26p [in press OPAS]

- 13 Salgado PET. Informações Gerais e Ecotoxicológicas de Material Particulado. Série Cadernos de Referência Ambiental. Salvador: Editora PA; 2003.
- 14 Freitas SR, Longo KM, , Silva Dias MAF, Silva Dias PL. Emissões de queimadas em ecossistemas da América do Sul. *Estudos Avançados*. 2005; 19(53):167-85.
- 15 Artaxo P, Gatti LV, Leal AMC, Longo KM, Freitas SR, Lara LL et al. Química atmosférica na Amazônia: A floresta e as emissões de queimadas controlando a composição da atmosfera amazônica. *Acta Amazônica*. 2005; 35(2):185-96.
- 16 Andrae MO, Browell, EV Garstang M, Gregory GL, Harriss RC, Hill GF, Jacob et al. Biomass burning emissions and associated haze layers over Amazonia. *J. Geophys. Res.* 1988;93(2):1509–27.
- 17 Arbex MA, Cançado JED, Pereira LAA. Biomass burning and its effects on health. *J. bras. pneumol*2004; 30(2):158-75.
- 18 Panyacosit L. A review of particulate matter and health: focus on developing countries. Laxenburg, 2000.
- 19 Seaton A, MacNee W, Donaldson K, Godenn D. Particulate air pollution and acute health effects,. *Lancet* 1995; 345:176-8.
- 20 Donaldson K, Stone V, Clouter A, MacNee W. Ultrafine Particles. *Occup Environ Med* 2001; 58:211-6.
- 21 Pope CA III. 2000. Epidemiology of fine particulate air pollution and human health: biologic mechanisms and who's at risk. *Environ Health Perspect* 108(4):713–23.
- 22 Organización Panamericana de la Salud. Evaluación de los efectos de la contaminación del aire en la salud América Latina y el Caribe 2005.
- 23 Villeneuve PJ, Chen L, D Stieb, RB H. Associations between outdoor air pollution and emergency department visits for stroke in Edmonton, Canada. *European Journal of Epidemiology* (2006) 21:689–700.
- 24 O'Neill MS, Shakoor H, Zanobetti A, Ramirez-Aguilar M, · Schwartz J. Impact of control for air pollution and respiratory epidemics on the estimated associations of temperature and daily mortality. *Int J Biometeorol* (2005) 50: 121–129.
- 25 Department of Environmental Quality: Air Quality Division.
<http://www.oregon.gov/DEQ/AQ/index.shtml> (acessado em 25/11/2007).
- 26 Resolução/CONAMA/N.º 003 de 28 de junho de 1990. Diário Oficial da União,. Agosto 1990. Seção I, p. 15.937- 939.
- 27 Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Padrões de Qualidade do ar. <http://www.ambiente.sp.gov.br> (acessado em 21 de outubro de 2007).

- 28 Ward DE, RA Susott, JB Kauffman, RE Babbit, DL Cummings, B Dias et al. Smoke and Fire Characteristics for Cerrado and Deforestation Burns in Brazil: BASE-B Experiment. *J. Geophys. Res.* 1992; 97(13):14601-619.
- 29 Naeher L P, Brauer M, Lipsett M, Zelikoff JT, Simpson CD, Koenig JQ, Smith KR. Woodsmoke Health Effects: A Review. *Inhalation Toxicology.* 2007. 19:67–106.
- 30 Longo K., S. Freitas, M. Silva Dias, R. Chatfield, P. Silva Dias. Numerical modelling of the biomass burning aerosol direct radiative effects on the thermodynamics structure of the atmosphere and convective precipitation. 8th International Global Atmospheric Chemistry Conference, Christchurch, Nova Zelândia. 2004.
- 31 Freitas SR, Longo KM, Silva Dias MAF, Chatfield R, Silva Dias PL, Artaxo P et al. The Coupled Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (CATT-BRAMS). Part 1: Model description and evaluation. In press: *ACPD/EGU MS# 2007-0166*.
- 32 Longo K, Freitas S, Setzer A, Prins E, Artaxo P, Andreae M. The Coupled Aerosol Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (CATT- BRAMS). Part 2: Model sensitivity to the biomass burning inventories. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions.* In press, June/2007.
- 33 Braga ALF, Pereira LAA, Procópio M, André PA, Saldiva PHS. Associação entre poluição atmosférica e doenças respiratórias e cardiovasculares na cidade de Itabira, Minas Gerais, Brasil. *Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, 2007; 23(4):570-78.*
- 34 Cançado JED, Saldiva PHN, Pereira LAA, Lara, LBLS, Artaxo P, Martinelli LA et al. The Impact of sugar Cane-Burning Emissions on the Respiratory System of Children and the Elderly. *Environ Health Perspect .2006; 14(5):725-29.*
- 35 Farhat SCL, Paulo RLP, Shimoda TM, Conceição GMS, Lin CA, , ALF Braga Warth MPN, Saldiva PHN. Effect of air pollution on pediatric respiratory emergency room visits and hospital admissions. *Bras J Med Biol Reseach.* 2005; 38: 227-35.
- 36 O'Neill MS, Hajat S; Zanobetti A, Ramirez-Aguilar M, Schwartz J. Impact of control for air pollution and respiratory epidemics on the estimated associations of temperature and daily mortality. *Int J Biometeorol.* 2005; 50: 121–29.
- 37 Bayer-Oglesby L, Grize, M Gassner L, Takken-Sahli K, Sennhauser FH, Neu U, Schindler C, Braun-Fahrländer C. Decline of Ambient Air Pollution Levels and Improved Respiratory Health in Swiss Children. *Environmental Health Perspectives.* 2005; 113(11): 1632-37.
- 38 Barnett AG, Williams GM, l Schwartz J, Neller AH, Best TL, Petroeschovsky Alet al. Air Pollution and Child Respiratory Health A Case-Crossover Study in Australia and New Zealand. *Am J Respir Crit Care Med.* 2005; 171:1272–78.
- 39 Lin M, Stieb DM, Chen Y. Coarse Particulate Matter and Hospitalization for Respiratory Infections in Children Younger Than 15 Years in Toronto: A Case-Crossover Analysis. *Pediatrics.* 2005; 116(2): e235-40.

- 40 Melson T, Brinch J, Hessen JO, Schei M et al. Asthma and indoor environment in Nepal. *Thorax* 2001; 56:477-81.
- 41 Kettunen J, Lanki T, Tiittanen P, Aalto PP, Koskentalo T, Jaana Kettunen, MSc; Timo Lanki, MSc; Pekka Tiittanen, MSc; Pasi P. Aalto, Koskentalo T et al. Associations of Fine and Ultrafine Particulate Air Pollution With Stroke mortality in an Area of Low Air Pollution Levels. *Stroke*. 2006; 38:918-22.
- 42 Dominici F, Peng RD, Bell ML, Pham L, McDermott A, Zeger SL et al. Fine Particulate Air Pollution and Hospital Admission for Cardiovascular and Respiratory Diseases. *JAMA*, 2006; 295(10): 1127-34.
- 43 Samet JM, Dominici F, Curriero FC, Coursac I, Zeger SL. Fine particulate air pollution and mortality in 20 U.S. cities, 1987–1994. *The New England Journal of Medicine*. 2000; 343(24): 1742-49.
- 44 Villeneuve PJ, Chen L, Stieb D, HR Brian. Associations between outdoor air pollution and emergency department visits for stroke in Edmonton, Canada. *European Journal of Epidemiology*. 2006; 21:689–700.
- 45 Wellenius GA, Bateson TF, Mittleman MA, Schwartz J. Particulate Air Pollution and the Rate of Hospitalization for Congestive Heart Failure among Medicare Beneficiaries in Pittsburgh, Pennsylvania. *AM J Epid*. 2005; 161(11): 10030-36.
- 46 Zeka A, Zanobetti A, Schwartz J. Short term effects of particulate matter on cause by city characteristics specific mortality: effects of lags and modification. *Occup. Environ. Med*. 2005; 62:718-25.
- 47 Ostro B, Broadwin IR, Green S, Feng W, Lipsett M. Fine Particulate Air Pollution and Mortality in Nine California Counties: Results from CALFINE. *Environmental Health Perspectives*. 2006; 114(1):29-33.
- 48 Junger WL, de Leon AP. Poluição do ar e baixo peso ao nascer no Município do Rio de Janeiro, Brasil, 2002. *Cad. Saúde Pública*; 2007; 23(4):S588-98.
- 49 Herring A, Neas L, Savitz D, Poole C, Sagiv S, Mendola P et al. A time series analysis of air pollution and preterm birth in Pennsylvania, 1997-2001. *Epidemiology*. 2004; 15(4).
- 50 Lee BE, Ha EH, Park HS, Kim YJ, Hong YC, Kim H et al. Exposure to air pollution during different gestational phases contributes to risks of low birth weight. *Human Reproduction*. 2003; 18(3):638-43.
- 51 Dugandzic R, Dodds L, Stieb D, Smith-Doiron Marc. The association between low level exposures to ambient air pollution and term low birth weight: a retrospective cohort study. *Environmental Health: A Global Access Science Source* 2006, 5(3):1-8
- 52 Wilhelm M, Ritz B. Local Variations in CO and Particulate Air Pollution and Adverse Birth Outcomes in Los Angeles County, California, USA.

- 53 Medeiros A, Gouveia N. Relação entre baixo peso ao nascer e a poluição do ar no Município de São Paulo. *Rev Saúde Pública*. 2005; 39(6): 965-72.
- 54 Mishra V, Dai X, Smith KR, Mika L. Maternal exposure to biomass smoke and reduced birth weight in Zimbabwe. *Annals of Epidemiology*. 2004; 14(10):740-47.
- 55 Dawud Y, Smoke episodes and assessment of health impacts related to haze from forest fires: Indonesian experience health guidelines for vegetation fire Events, Lima, Peru: Background papers, WHO, 1999.
- 56 Sastry N. Forest Fires, Air Pollution, and Mortality in Southeast Asia. Ed. Rand. 2000; 1-38.
- 57 Mott JA, Meyer P, Mannino D, Redd SC. Wildland forest fire smoke: health effects and intervention evaluation, Hoopa, California, 1999. *West J Med* 2002;176:157-62.
- 58 Lopes FS, Ribeiro H. Mapeamento de internações hospitalares por problemas respiratórios e possíveis associações à exposição humana aos produtos da queima da palha de cana-de-açúcar no estado de São Paulo. *Rev Bras Epidemiol* 2006; 9(2):215-25.
- 59 Arbex MA, Cançado JED, Pereira LAA. Biomass burning and its effects on health. *J. bras. Pneumol*. 2004; 30(2):158-75
- 60 Mascarenhas MDM, Vieira LC, Lanzieri TM, Leal APR, Duarte AF, Hatch DL. Poluição atmosférica devida à queima de biomassa florestal e atendimentos de emergência por doença respiratória em Rio Branco, Brasil - Setembro, 2005. *J Bras Pneumol*. 2008;34(1):42-46.