

Clima urbano e saúde: uma revisão sistematizada da literatura recente

HELENA RIBEIRO,^I CÉLIA REGINA PESQUERO^{II}
e MICHELINE DE SOUSA ZANOTTI STAGLIORIO COELHO^{III}

Introdução

O ESTUDO da relação entre clima e saúde é muito antigo e, ao mesmo tempo, bastante atual. Já a relação entre clima urbano e saúde é mais recente, pois o estudo das alterações climáticas causadas pela urbanização ganhou impulso com uma urbanização mais vigorosa, a partir de meados do século XX, e com a ampliação do tamanho das cidades. Efeitos do espaço urbano nos componentes do clima, como temperatura, umidade, radiação e vento têm sido bem documentados no mundo.

A bioclimatologia aplicada às cidades relaciona-se com influência do clima urbano no conforto e na saúde. É relevante o estudo das relações do clima com a saúde, sobretudo em perspectiva das mudanças climáticas globais e na previsão de seus prováveis efeitos e vulnerabilidades (Silva; Ribeiro; Santana, 2014).

Do ponto de vista da saúde, o ambiente térmico, em áreas urbanas, apresenta forte relação entre a termorregulação e a regulação circulatória, que levam à sobrecarga do organismo e ao comprometimento da saúde, até mesmo à morte (ibidem).

A compreensão do clima urbano, em diversas partes do mundo, deve servir para planejamento das cidades e adoção de medidas protetoras da saúde.

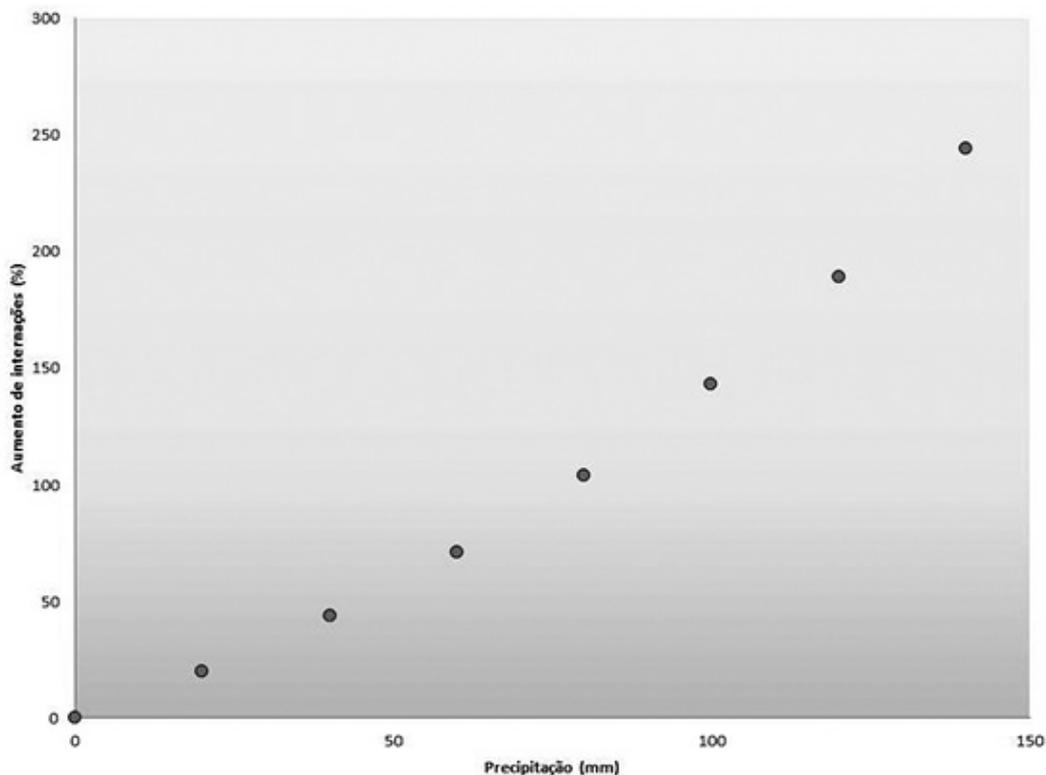
Estima-se que, em 2045, cerca de dois bilhões de pessoas a mais buscarão as cidades para morar (The World Bank, 2016). A urbanização afeta o microclima e grandes cidades têm enorme responsabilidade no aquecimento global, visto que as metrópoles consomem 75% da energia produzida no mundo e emitem 70% de CO₂ (C40cities). A infraestrutura para suprir as demandas das cidades tem provocado alterações na cobertura do solo, com vegetação sendo substituída por ruas, estacionamentos, edificações e moradias. Como resultado, a temperatura do ar das regiões mais pavimentadas cria ilhas de calor, que possuem variabilidade no decorrer do dia e dependem da cobertura do solo e do tempo de exposição à radiação. As ilhas de calor alteram características físicas do ar em contato com a superfície, alterando a magnitude do calor sensível e calor latente, fluxos de momentum e massa, propriedades óticas, altura e característi-

cas da camada limite. Essas alterações impactam na dispersão dos poluentes, na intensidade e desenvolvimento de tempestades e em outros processos químicos e físicos do ambiente urbano, ainda não quantificados apropriadamente (Khan; Simpson, 2001). As ilhas de calor também potencializam o impacto das ondas de calor, podendo provocar adoecimento e mortes em indivíduos mais vulneráveis, como crianças, idosos e doentes crônicos. O Center for Diseases Control and Prevention (CDC) registrou que no período de 1979 a 2003, a exposição ao calor excessivo contribuiu para 3.442 mortes prematuras nos Estados Unidos (CDC, 2016).

A maior cidade da América do Sul, São Paulo, já apresenta alteração na série histórica de precipitação, temperatura e ventos. Utilizando dados meteorológicos de 1950 a 2000, Dufek e Ambrizzi (2008) constataram que as precipitações acima de 20 mm por dia estão ficando mais frequentes no verão. Segundo o INMET (2010) as maiores chuvas ocorridas em 24 horas começaram na década de 1980. Utilizando longa série de dados diários de precipitação (1948-2009) do INMET, verificou-se que chuvas mais intensas estão ocorrendo com mais frequência nesta década. Mesmo quando as chuvas são em menor volume, a impermeabilização do solo interfere na absorção de água e favorece o aumento das enchentes. Por outro lado, segundo relatório climático da estação do IAG (2010), a quantidade de dias sem chuva está aumentando. O padrão de chuva na cidade está se alterando, sugerindo influência da mudança climática global no regime de chuvas (Xavier et al., 1994). Pode-se inferir que grandes cidades recebem influências das mudanças climáticas e microclimáticas.

Enchentes de verão em São Paulo provocam caos urbano, perdas de produtividade, prejuízos econômicos. Além disso, estudo feito por Coelho-Zanotti e Massad (2012) mostrou que, depois de exposição à água contaminada de uma enchente, moradores têm risco de adoecer por leptospirose (Figura 1). Uma chuva de 100 mm, depois de 14 dias da ocorrência da enchente, predispõe um acréscimo de aproximadamente 150% nas internações por leptospirose. Alguns vetores também dependem de chuvas e alta temperatura para proliferarem e transmitir doenças, por exemplo, o *Aedes aegypti*, principal vetor dos vírus da dengue, chikungunya e zika.

Evento de umidade relativa do ar abaixo de 30%, em agosto de 2010, com duração de 11 dias, só havia ocorrido antes em 1999, desde o início das medições meteorológicas feitas pelo INMET em 1943 (INMET, 2010). Durante esse evento atípico, dados de Autopsia do Serviço de Verificação de Óbitos (SVOC) indicaram maior mortalidade de idosos por doenças cardiovasculares na cidade associada a baixa umidade relativa do ar, independente da influência dos poluentes.



Fonte: Coelho-Zanotti e Massad (2012).

Figura 1 – Aumento de internações por leptospirose na cidade de São Paulo de acordo com o volume de precipitação diária.

Devido à importância das cidades, foi formado, em 2005, o C40, Grupo de Liderança das Grandes Cidades pelo Clima, que reúne 40 maiores metrópoles do planeta (São Paulo, Rio de Janeiro, Salvador e Curitiba são cidades-membro), para discutir e unir forças no combate ao aquecimento global. Em 2011, pela primeira vez o evento foi sediado na América do Sul, e o Comitê Gestor Internacional acatou sugestão de São Paulo de incorporar Saúde Humana na pauta do evento (Saldiva et al., 2011). A Prefeitura do Município de São Paulo estruturou sua Política Municipal sobre Mudança do Clima, Lei n.14.933/09.

A prática baseada em evidências, desde os anos 1990, tem ganhado relevância crescente em processos decisórios e auxiliado na busca de ações promotoras da saúde e bem-estar e de prevenção de adoecimento e morte.

As revisões de literatura são importantes na sistematização de dados que propiciem evidências científicas. O objetivo do presente manuscrito foi registrar e organizar as evidências mais recentes encontradas sobre os efeitos à saúde de fenômenos climáticos em áreas urbanas.

Métodos

Foi feita revisão sistematizada (Grant; Booth, 2009) dos artigos encontrados por busca nas plataformas *Web of Science* e PubMed, em janeiro de 2016. A plataforma unificada e multidisciplinar *Web of Science* inclui periódicos científicos de alta qualidade, de todo mundo, com indexação no JCR – *Journal of Citation Reports*. A PubMed foca sobretudo estudos da área médica. A busca usou as palavras-chave *URBAN CLIMATE* e *HEALTH* combinadas, no título ou nos tópicos. Foram encontrados 80 artigos na *Web of Science* e 15 na PubMed, dos quais 67 foram incluídos nesta revisão. Artigos descartados, o foram por tratarem de efeitos da temperatura em plantas, de poluição atmosférica isolada, de ventilação interna, ou de tecnologias. A revisão sistematizada almeja sistematizar o conhecimento sobre o tema e se baseia na busca, em uma ou mais plataformas; na organização de forma sistematizada dos conteúdos dos artigos obtidos; e na análise dos resultados.

Resultados

A classificação de artigos, por ano de publicação (Figura 2), indicou um crescimento em pesquisas sobre o tema *Clima urbano e saúde*, sobretudo a partir de 2011, possivelmente após chamadas feitas por associações de saúde para incorporação do tema das mudanças climáticas de forma mais robusta na Agenda de Pesquisa da Saúde.

Verifica-se que os estudos não se concentram em países do Hemisfério Norte (Figura 3), onde haviam proliferado no século XX. Há, nos últimos anos, uma preocupação com cidades tropicais e subtropicais e em países em desenvolvimento, onde o processo de urbanização tem se intensificado. É provável que a incorporação de novas áreas nos estudos tenha se dado por incentivo e chamada da Organização Meteorológica Mundial. O Brasil lidera em número de trabalhos, seguido da Alemanha, que tem longa tradição em estudos de Clima Urbano. Países asiáticos, africanos e do Leste Europeu aparecem na agenda.

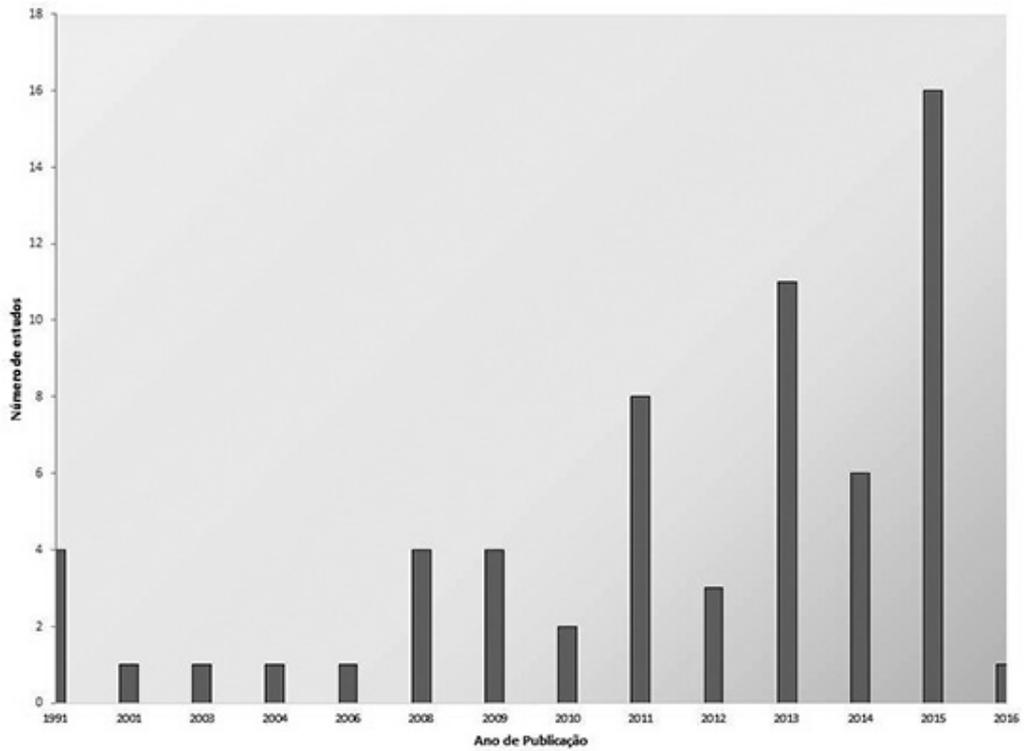


Figura 2 – Ano de publicação dos artigos seleccionados com os termos *Urban Climate e Health*.

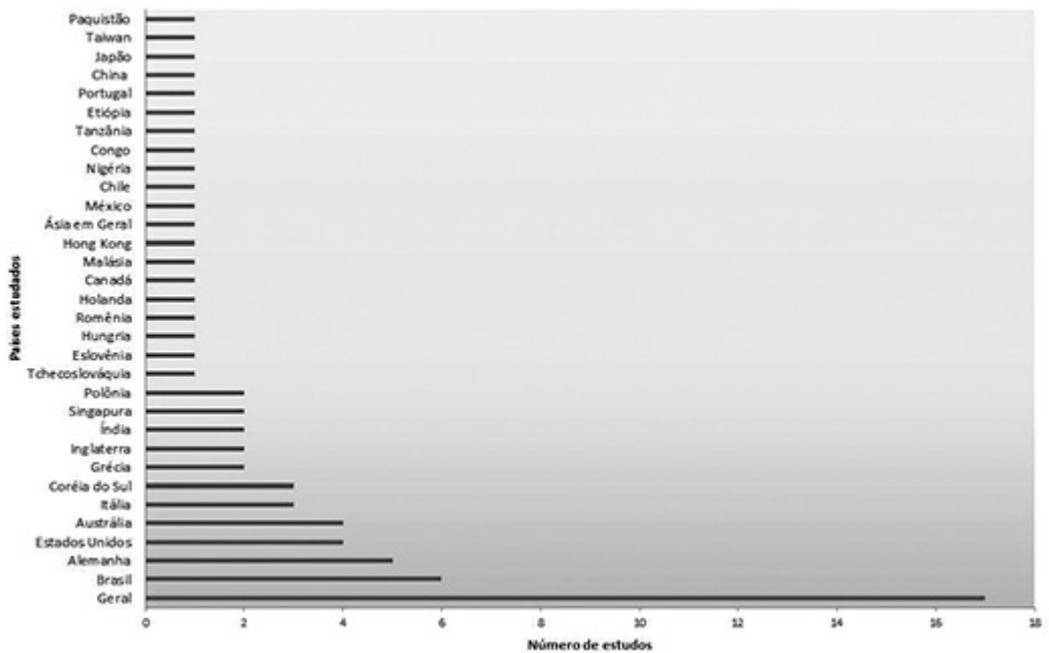


Figura 3 – Países onde se localizam as cidades dos estudos sobre Clima Urbano e Saúde.

Quadro 1 – Temas e resultados principais dos artigos revisados

Temas dos estudos	Resultados
Desafios Teóricos e Metodológicos	
Clima urbano tropical pouco conhecido (Oke; Taesler; Olsson, 1991)	Cidades tropicais crescem enormemente e OMM – Organização Meteorológica Mundial lança pesquisa para estudá-las.
Ferramentas para estudar biometeorologia (Jendritzky, 1991) e planejamento bioclimatológico (Taesler, 1991)	Diferentes aspectos do clima afetam balanço energético humano e seu bem-estar. Propõem mapas bioclimáticos e alterações dos critérios de conforto térmico.
Tecnologias de geoprocessamento e sistemas de suporte a decisões para planejamento urbano (Abbate et al., 2003)	Sistemas demonstraram alta complexidade na cobertura do solo e suas interações com clima, sociedade e economia.
Modelo de clima urbano para diferentes estratégias de planejamento (Coutts; Beringer; Tapper, 2008)	Modelo matemático replica balanço de energia térmica da superfície e, a partir de avaliação atual de 3-4 °C de ilha de calor, desenhou cenário para 2030 e indicou áreas prioritárias para intervenção.
Modelo matemático para estimar aquecimento antropogênico (Sailor et al., 2015)	Perfis de calor antropogênico de 61 maiores cidades norte-americanas para modelo numérico. Aquecimento antropogênico é 40% maior no inverno, mas pico de consumo de energia é maior no verão.
Modelo para avaliar impacto do calor na mortalidade urbana (Kim et al., 2014);	Modelo mostrou potencial de avaliar efeitos do estresse do calor na mortalidade em áreas novas e antigas de Seul, podendo ser usado para planejamento de novas áreas e revitalização de antigas.
(Knowton et al., 2004)	Modelo usado em escala regional, com cidades diferentes, para inferir mortalidade futura, baseado em dados de 1990, previu dobro ou triplo de mortes relacionadas ao calor e à poluição por ozônio no verão em 2050, mas demonstrou grande heterogeneidade geográfica entre cidades de uma mesma região.
Relação entre dinâmica urbana, saúde e estado do planeta (Proust, 2012)	Proposta teórica de abordagem sistêmica, em 3 etapas: desenvolvimento de sistema em alto nível, seleção de espaço problema, modelo conceitual para um subsistema.
Ilha de calor urbana em megacidades (Mavrogianni et al., 2011)	Modelo LUCID do projeto <i>Local Urban Climate Model and its application to the intelligent design of cities</i> , permitirá entender, quantificar e enfrentar melhor a dinâmica da ilha de calor.
Cidades da Índia receberão 500 milhões de habitantes nos próximos 50 anos e riscos climáticos aumentarão (Revi, 2008)	Desafios para instalar e renovar infraestrutura, alojar vulneráveis, melhorar qualidade do ar interno, diminuir impactos à saúde e promover adaptação ao estresse térmico exigem aproximação de cientistas ambientais, urbanistas, engenheiros, planejadores, economistas, políticos, administradores, advogados e comunidades.
Complexidade da adaptação às mudanças climáticas representa desafios e oportunidades para o ambiente construído (Kearns, 2011)	
Cidades resilientes ao clima (Katzschner, 2011)	Feito manual por equipe interdisciplinar com estratégias e conceitos para planejamento urbano mitigar efeitos extremos na saúde e bem-estar.

Evidências de Efeitos do clima urbano na Saúde

Estresse térmico por ilha de calor e ondas de calor

Mortalidade relacionada ao estresse térmico (Scherer et al., 2013)	Cerca de 5% das mortes de maiores de 65 anos associadas a temperaturas elevadas em Berlim, mas correlação fraca com mortalidade em pessoas de idade inferior.
Atendimentos médicos relacionados a ondas de calor (Golden, Hartz, Brazel, 2008)	Mais atendimentos relacionados ao calor, entre 2001 e 2006, em Phoenix, independente de dia da semana, em períodos de pico de radiação e temperaturas máximas diurnas e com elevados índices de conforto (altas temperaturas e umidade relativa).
Mortalidade durante ondas de calor (Gabriel; Endlicher, 2011)	Mortalidade de idosos aumentou no NE da Alemanha durante ondas de calor, entre 1990 e 2006, em áreas urbanas e rurais, mas aumento maior em áreas densamente construídas de Berlim.
Mortes relacionadas ao calor (Kim; Lim; Kim, 2015)	Mortes atribuídas ao calor representaram 3.177 de um total de 271.633 em Seul, entre 1992 e 2009. Desordens neurológicas, mentais e comportamentais apresentaram os maiores riscos relativos de morte acima do 90º percentil de temperaturas máximas diárias.
Mortalidade relacionada a temperaturas extremas em 15 cidades do NE da Ásia (Chung et al., 2015)	Estudo em 3 cidades de Taiwan, 6 da Coreia e 6 do Japão. Efeitos do frio indicaram maiores defasagens (5-11 dias) do que de calor (1-3 dias). Frio teve maior efeito em Taiwan e calor na Coreia e no Japão, ambos para mortalidade cardiorrespiratória. Fatores climáticos parecem afetar diferente distribuição espacial.
Mortalidade relacionada à temperatura do ar e índice de calor (Kim; Ha; Park, 2006)	Estudo em 6 cidades da Coreia do Sul no verão de 1994 a 2003. Temperatura limite estimada entre 27 °C e 29 °C. Para cada 1 °C acima aumento de 16,3% a 6,73% na mortalidade diária, dependendo da cidade. Diferenças regionais precisam ser consideradas.
Mortalidade relacionada ao calor em idosos e proximidade de vegetação e corpo hídrico (Burkart et al., 2015)	Estudo em Lisboa mostrou que proximidade de vegetação e do rio reduz mortalidade relacionada ao calor
Mortalidade, temperatura e ozônio em áreas urbanas e rurais (Madrigano et al., 2015)	No NE dos Estados Unidos, aumento na concentração de ozônio mostrou impacto maior em áreas rurais e temperatura elevada impactos semelhantes no campo e na cidade.
Ambiente térmico e qualidade do ar (Ndetto; Matzarakis, 2015; Santamouris, 2015)	Relação entre poluição atmosférica, índices de calor e saúde destaca necessidade de monitoramento da qualidade do ar em grandes cidades africanas; e técnicas de mitigação de calor urbano: arborização, aumento do albedo, decréscimo na produção de calor, piso dissipador do calor.
Sinergia entre qualidade do ar, temperatura e exposição ao ruído (Vlachokostas et al., 2013)	Necessidade de monitoramento de dados ambientais integrados
Variabilidade de condições biometeorológicas-humanas em Gdansk (Nidzgorska-Lencewicz, 2015)	Em Gdansk estresse térmico se dá, sobretudo, por causa do frio, na metade mais fria do ano e poluição por PM10 se restringe a poucos dias do ano, na área central da cidade.

Onda de calor extremo em Atenas, em Julho de 1987 do ponto de vista da Biometeorologia humana (Matzarakis; Mayer, 1991)	Em Atenas, onda de calor dobrou taxa de mortalidade em 1987, devido a forte estresse térmico e má qualidade do ar.
Revisão da literatura sobre efeitos biometeorológicos em crianças (Vanos, 2015)	Ambientes infantis frequentemente aguçam condições atmosféricas desfavoráveis: calor, poluição e radiação. Estudos não têm focado peculiaridades desta população vulnerável.
Playground infantil: temperatura de superfície em 3 escalas: vizinhança, micro e contato (Vanos et al., 2016)	Escala de Vizinhança 3,8 a 10 °C menos que escala de contato com equipamentos de lazer, que chegam a queimar. Sombreamento melhor forma de mitigar.
Percepção de profissionais de saúde sobre efeitos à saúde de mudanças climáticas, sobretudo ondas de calor (Sheffield; Zarcadoolas, 2011)	Indicados grupos susceptíveis, mas não percebida vulnerabilidade de profissionais de saúde. Mencionadas ações necessárias: lembrar trabalhadores de atitudes para reduzir riscos, educar sobre riscos, notificar aos pacientes de risco quando condições meteorológicas aumentem riscos à saúde.
Relação entre mudanças no uso do solo, expansão da área urbana e aumento da intensidade da ilha de calor (Gee et al., 2013)	Em 10 anos, 2 cidades asiáticas com crescente população e área urbanizada registraram aumento da intensidade da ilha de calor e problemas de saúde relacionados.
Sensoriamento remoto por satélite baseado em análise de imagem dos efeitos devido à urbanização sobre o clima e saúde (Zoran et al., 2013)	Em 20 anos, efeitos semelhantes foram observados em Bucareste.
Alterações climáticas urbana na região central de São Paulo utilizando imagens de satélite de alta resolução (Lombardo; Freitas, 2008)	São Paulo apresenta evolução de forte ilha de calor em áreas menos vegetadas.
Aumento de temperaturas globais deve exacerbar ilha de calor (Kiesel et al., 2013)	Estudo em cidades da Europa Central demonstrou que ilha de calor apresenta variações em contextos urbanos diferentes, em curto e longo prazos, que devem ser consideradas em simulações de mudanças climáticas.
Clima e vulnerabilidade da saúde em áreas de urbanização precária (Scovronick; Lloyd; Kovats, 2015)	Evidências de associações entre clima e saúde, em cidades informais, são restritas. Artigo sumariza métodos epidemiológicos e técnicas de pesquisa a serem usados com poucos recursos, enfatizando necessidade de estudos de detalhe nestas áreas.
Alterações climáticas e vulnerabilidade da saúde em assentamentos urbanos informais no Vale do Rift (Bambrick; Moncada; Briguglio, 2015);	Globalização aumenta carga de doenças e custos de impactos do clima, sobretudo, sobre populações marginalizadas.
A globalização e as alterações climáticas na Ásia: o impacto na saúde urbana (Munslow; O'Dempsey, 2010)	Problemas de poluição e resíduos podem ter soluções tecnológicas, mas inundações e secas causam crises humanitárias graves, que precisam ser consideradas.
Ilha de calor afeta, sobretudo, grupos marginalizados na cidade (Larsen, 2015)	Revegetar cidade melhora clima, drenagem, qualidade do ar e sequestro de carbono, beneficiando toda a população.
Doenças Infeciosas e Clima urbano	
Incidência de Leptospirose (Coelho-Zanotti; Massad, 2012)	Cada 20 mm a mais de precipitação mensal aumenta em 31,5% internações por leptospirose, em São Paulo.
Febre hemorrágica por hantavírus (Hansen et al., 2015)	Fatores climáticos (temperatura, precipitação e umidade) afetam reprodução de ratos e transmissão da doença nas cidades chinesas.

Epidemias de cólera (Munyuli et al., 2013)	Epidemias de cólera são associadas a elevada pluviosidade, que favorece multiplicação da <i>Vibrio Cholerae</i> e contaminação de fontes de água em áreas densamente povoadas e sem condições de higiene e infraestrutura de saneamento.
Ampliação de área do <i>Aedes albopictus</i> nos Estados Unidos (Rochlin et al., 2013)	Área favorável ao desenvolvimento do mosquito deve se ampliar de 5% a 16% da costa leste dos Estados Unidos, para 43% a 49% nas próximas duas décadas.
Aumento da incidência de dengue em Singapura, em 40 anos (Struchiner et al., 2015)	Crescimento populacional contribuiu com 86% do aumento de casos e aumento de temperatura com 14%. Não encontrada correlação com chegada de passageiros aéreos de países onde dengue é endêmica.
Malária em população migrante (Srivastava et al., 2011)	Sul do Gujarat, Índia, possui condições climáticas favoráveis à reprodução do <i>Anopheles</i> e transmissão para população migrante trabalhadora em fornos de tijolo.
Gripe tropical em menores de 5 anos (Imai et al., 2014)	Em Dhaka, influenza tipo A associada a temperaturas mínimas, umidade relativa, duração da insolação e precipitação.
Percepção de mães sobre adoecimento de crianças (Oyekale; Adesanya, 2012)	Em Ibadan, Nigéria, 49% das crianças adoeciam ao menos uma vez a cada quatro meses e 31,8% a cada três meses. Infecção na pele era o principal problema no período seco e catarro na estação chuvosa.
Medidas de mitigação	
Infraestrutura verde benéfica a clima, saúde e bem-estar (Pitman; Daniels; Ely, 2015)	Infraestrutura verde, com rede de espaços verdes e sistemas aquáticos, propicia múltiplos serviços às populações urbanas: ambientais, sociais, econômicos.
O efeito de espaços verdes no clima urbano e na poluição (Makhelouf, 2009); Efeitos da vegetação no clima urbano e nas construções (Walmsers, 1991)	Estudos de caso em cidades demonstraram que áreas verdes e parques contribuem para melhorar microclima urbano, ao diminuir temperaturas e ilha de calor e aumentar precipitação.
Vegetação urbana para reduzir a mortalidade ligada ao calor (Chen et al., 2014)	Modelagem com simulação de plantio de vegetação e introdução de parques nos subúrbios indica redução de temperatura no verão em 0,5 a 2 °C e de mortes relacionadas ao calor em 37% a 99%, em Melbourne.
(Fallmann; Emeis; Suppan, 2013)	Ilha de calor urbana pode ser mitigada em 2 °C com tinta reflexiva nos telhados e em 1 °C com substituição de superfícies impermeáveis por vegetação, em Stuttgart.
(Demuzere et al., 2014)	Natureza multifuncional e multiescalar da infraestrutura verde propicia caminhos para novas pesquisas em diferentes cidades, climas e contextos sociais.
Árvores como indicadores de estresse térmico em cidades (Jochner et al., 2013)	Fenologia de algumas árvores se mostrou útil indicador de variações de temperatura e de ilha de calor em cidades tropicais, com potencial para estudos sobre mudanças climáticas.
Plano Diretor para controlar uso do solo urbano (Viegas et al., 2013)	Estudo demonstrou papel importante do plano diretor, mas ainda insuficiente para controlar espraiamento urbano, aumento do número de veículos, emissão de gases de efeito estufa e aumento da temperatura do ar, em Porto Alegre.

Tecnologias disponíveis para controlar poluição atmosférica de combustíveis fósseis em cidades para mitigar mudanças climáticas (Cinfuentes et al., 2001)	Simulação para 20 anos em México, Santiago, São Paulo e Nova York indica que 64.000 mortes infantis, 65.000 casos de bronquite e 37 milhões de dias de trabalho perdidos poderiam ser evitados com redução de poluição por material particulado e ozônio.
Benefícios de políticas de redução de emissão de CO ₂ por transporte ativo, atividade física e redução da emissão de motores de veículos (Woodcock et al., 2009; De Nazelle et al., 2009)	Avaliação comparativa de risco feita em Londres e em Delhi mostrou que maiores benefícios em DALY's adviriam de aumento em transporte ativo e menor uso de veículos automotores. O projeto TAPAS – Transportation, Air pollution and Physical activities enfoca a mesma perspectiva.
Cobenefícios e articulações políticas	
Workshop unindo políticos e cientistas para mostrar importância de dados de saúde como indicadores de mudanças climáticas (Keune et al., 2012).	Necessária maior cooperação entre cientistas e políticos em questões climáticas nas cidades.
Urbanização causa e solução para mudanças climáticas (Friel et al., 2011)	Muito a aprender como mudança climática afeta equidade em saúde urbana, mas exige ação intersectorial: planejamento e desenho urbano, saúde e segurança no trabalho, agricultura urbana.
Populações de cidades com rápido crescimento são particularmente vulneráveis às mudanças climáticas, sobretudo idosos, grupos de menor nível socioeconômico, pessoas com doenças crônicas (Bambrick et al., 2011)	Necessidade de grandes mudanças em códigos de construção, desenho urbano e capacidade da infraestrutura, que propiciarão cobenefícios à saúde e ao clima.
Análise da Iniciativa Regional sobre a Ilha de Calor de Nova York (Coburn, 2009)	Questões técnicas não podem ser divorciadas do ambiente social e do envolvimento dos atores sociais para construção de políticas bem-sucedidas.

A organização dos artigos publicados por temas nos permitiu fazer algumas análises.

A primeira categoria de tema criada foi a de artigos que se referiam à necessidade de estudos, ferramentas e métodos de pesquisa. Foram incluídos nessa categoria os artigos mais antigos da série, que clamavam por pesquisas em biometeorologia e/ou bioclimatologia urbana e, sobretudo, por pesquisas em cidades tropicais. A partir daquela época, surgiram artigos que discutem uso de metodologias e ferramentas na concretização de pesquisas nesse tema, em diferentes cidades do mundo. A busca de novos métodos e tecnologias de pesquisa continua atualmente, com instrumentos mais sofisticados e baseados em evidências já obtidas em estudos anteriores.

A segunda categoria de tema foi a de artigos que mostram evidências de efeitos do clima na saúde. Foi dividida em duas subcategorias: uma de efeitos diretos de elementos do clima, sobretudo estresse térmico, às vezes associado à poluição. Dos efeitos registrados em diferentes cidades, depreende-se que não há um padrão homogêneo de formação de ilha de calor, nem de efeitos à saúde de oscilações térmicas. Às vezes estresse de frio se sobrepõe, mas, na maioria das cidades, as ondas de calor têm representado risco à saúde de grupos populacionais mais vulneráveis: idosos, crianças, doentes crônicos, pessoas que habitam bairros precários; a outra subcategoria foi a de estudos que tratam de doenças

infeciosas, em que há um vetor que se beneficia de condições do clima urbano e amplia o risco de doenças. Interessante, que aparecem artigos recentes tratando de “velhas” doenças, como malária, cólera etc.

A terceira categoria de tema foi a de artigos que tratam de medidas mitigadoras. Sobressaem, largamente, formas de arborização para amenizar as temperaturas e reduzir riscos de temperaturas extremas. Aparecem, também, mais recentemente, propostas de controle da poluição atmosférica, baseando-se em formas tradicionais tecnológicas, mas, principalmente, de substituição do uso de veículos por formas de mobilidade ativa e ecologicamente sadia.

Por fim, a quarta categoria é a que enfatiza a existência de cobenefícios do controle de extremos do clima ao ambiente e à saúde e a necessidade de articulações entre grupos sociais, políticos e cientistas para enfrentamento dos problemas do clima e delineamento de políticas com maior chance de sucesso.

Referências

ABBATE, G. et al. Evaluation of remote sensing data for urban planning. 2nd GRSS/ISPRS Joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over urban Areas. Berlin, Germany, 2003. p.201-5.

BAMBRICK, H. J. et al. Climate change and health in the urban environment: adaptation opportunities in Australian Cities. *Asia-Pacific Journal of Public Health*, v.23, n.2, p.67S-79S, 2011.

BAMBRICK, H. J.; MONCADA, S.; BRIGUGLIO, M. Climate change and health vulnerability in informal urban settlements in the Ethiopian Rift Valley. *Environmental Research Letters*, v.10, n.5, 2015.

BURKART, M. et al. Modification of Heat-related mortality in an elderly urban population by vegetation (urban green) and proximity to water (urban blue): evidence from Lisbon, Portugal. *Environmental Health Perspective*. 2015.

C40 CITIES. Disponível em: <<http://www.c40cities.org>>. Acesso em: 20 jan. 2016.

CDC – CENTER FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION. Heat-Related Deaths – United States, 1999-2003. 2004. Morbidity and Mortality Weekly Report. Disponível em: < <http://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/mm5529a2.htm>>. Acesso em 19 jan 2016.

CHEN, D. et al. Urban vegetation for reducing heat related mortality. *Environmental Pollution*. v.192, p.275-84, 2014.

CHUNG, Y. et al. Mortality related to extreme temperature for 15 cities in northeast Asia. *Epidemiology*, v.26, n.2, p.255-62, 2015.

CINFUENTES, L. et al. Assessing the health benefits of urban air pollution reductions associated with climate change mitigation (2000-2020): Santiago, São Paulo, Mexico City and New York City. *Environmental Health Perspectives*, v.109, n.3, p.419-25, 2001.

- COBURN, J. Cities, climate change and urban heat island mitigation: localizing Global Environmental Science. *Urban Studies*, v.46, n.2, p.413-27, 2009.
- COELHO-ZANOTTI, M. S. S.; MASSAD, E. The impact of climate on Leptospirosis in São Paulo, Brazil. *International Journal of Biometeorology*, v.56, p.233-41, 2012.
- COUTTS, A. M.; BERINGER, J.; TAPPER, N. J. Investigating the climatic impact of urban planning strategies through the use of regional climate modeling: a case study for Melbourne, Australia. *International Journal of Climatology*, v.28, n.14, p.1943-57, 2008.
- DE NAZELLE, A. et al. Transportation, air pollution and physical activities: an integrated health risk assessment programme of Climate Change and Urban Politics (TAPAS). *Epidemiology*, v.20, n.6, p.S155-S156, 2009.
- DEMUZERE, M. et al. Mitigating and adapting to climate change: multi-functional and multi-scale assessment of green urban infrastructure. *J Environmental Management*, v.146, p.107-15, 2014.
- DUFEK A. S.; AMBRIZZI T. Precipitation variability in São Paulo State, Brazil. *Theor Appl Climatology*, v.93, p.167-78, 2008.
- FALLMAN, J.; EMEIS, S.; SUPPAN, P. Mitigation of urban heat stress – a modeling case study for the area of Stuttgart. *ERDE*, v.144, n.3-4, p.202-16, 2013.
- FRIEL, S. et al. Urban Health Inequities and the Added Pressure of Climate Change: an action oriented research agenda. *Journal of Urban Health*, v.88, n.5, p.886-95, 2011.
- GABRIEL, K. M. A.; ENDLICHER, W. R. Urban and rural mortality rates during heat waves in Berlin and Brandenburg, Germany. *Environmental Pollution*, v.159, n.8-9, p.2044-50, 2011.
- GEE, O. K. et al. Monitoring the effects of land use/land cover changes and heat island generation. *Earth resources and environmental remote sensing/GIS applications IV*, v.8893, 2013.
- GOLDEN, J. S. et al. A biometeorology study of climate and heat-related morbidity in Phoenix from 2001 to 2006. *International Journal of Biometeorology*, v.52, p.471-80, 2008.
- GRANT, M. J.; BOOTH, A. A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Information and Libraries Journal*, v.26, p.91-108, 2009.
- HANSEN, A. et al. Transmission of haemorrhagic fever with renal syndrome in China and the role of climate factors: a review. *Int. Journal of Infectious Diseases*, v.33, p. 212-18, 2015.
- IAG: Estação Meteorológica. 2010 Disponível em: <http://www.estacao.iag.usp.br/Boletins/2010_vs2.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2011.
- IMAI, C. et al. Tropical Influenza and weather variability among children in an urban low-income population in Bangladesh. *Global health Action*, v.7, 2014.
- INMET. Boletim mensal de dezembro 2010, divulgado por e-mail aos usuários. 2010.
- JACK, D. W.; KINNEY, P. L. Health co-benefits of climate mitigation in urban areas. *Current opinion in Environmental Sustainability*, v.2, n.3, p.172-7, 2010.

- JENDRITZKY, G. Selected Questions of Topical Interest in Human Bioclimatology. *International Journal of Biometeorology*, v.35, p.139-50, 1991.
- JOCHNER, S. et al. Using phenology to assess urban heat islands in tropical and temperate regions. *International Journal of Climatology*, v.33, p.3141-51, 2013.
- KHAN, S. M. ; SIMPSON, R. W. Effect of a heat island on the meteorology of a complex urban airshed. *Boundary Layer Meteorology*, v.1, n.100, p.487-506, 2001.
- KATZSCHNER, L. Urban Climate strategies against future heat stress conditions. Resilient cities: cities and adaptation to Climate change – proceedings of the global Forum 2010. *ICLEI*, Bonn, v.1, p.79-89, 2011.
- KEARNS, A. Climate adaptation engineering: a new direction for environmental science, engineering and technology in urban environments. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, v.18, n.3, p.201-9, 2011.
- KEUNE, H. et al. A Healthy turn in urban climate polities: European city workshop proposes health indicators as polity integrators. *Environmental Health*, v.11, supplement 1, 2012.
- KIESEL, K.; VUCKOVIC, M.; MANDAVI, A. *The extent and implications of the urban heat island phenomenon in Central European region*. Contribution to Building Physics. 2nd European Symposium on Building Physics, Vienna, 2013. p.415-19.
- KIM, C. T. et al. Heat-attributable deaths between 1992 and 2009 in Seoul, South Korea. *Plos One*, v.18, n.10(2), 2015.
- KIM, H.; HA, J. S.; PARK, J. High temperature, heat index, and mortality in 6 major cities in South Korea. *Archives of Environmental and Occupational Health*, v.61, n.6, p.265-70, 2006.
- KIM, K. R. et al. Biometeorological Climate impact assessment system for building-scale impact assessment of heat-stress related mortality. *ERDE*, v.145, n.1-2, p.62-79, 2014.
- KNOWLTON, K. et al. Evaluating global climate change impacts on local health across a diverse urban region. *Epidemiology*, v.15, n.4, p.S100-S100, 2004.
- LARSEN, L. Urban Climate and adaptation strategies. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v.13, n.9, p.486-92, 2015.
- LENZHOLZER, S.; BROWN, R. D. Climate-responsive landscape architecture design education. *Journal of Cleaner Production*, v.61, p.89-99, 2013.
- LOMBARDO, M. A.; FREITAS, M. K. Urban Climate change in central area of São Paulo using high resolution satellite imagery. PROCEEDINGS OF THE 4TH WSEAS INTERNATIONAL CONFERENCE ON REMOTE SENSING. Venice, Italy. 2008. p.26-30.
- MADRIGANO, J. et al. Temperature, ozone, and mortality in urban and non-urban counties in the northeastern United States. *Environmental Health*, v.14, n.3, 2015.
- MAKHELOUF, A. The effect of green spaces on urban climate and pollution. *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering*, v.6, n.1, p.35-40, 2009.
- MATZARAKIS, A; MAYER, H. The extreme heat-wave in Athens in July 1987 from point-of-view of Human Biometeorology. *Atmospheric Environment Part B – Urban Atmosphere*, v.25, n.2, p.203-11, 1991.

- MAVROGIANNI, A. et al. The comfort, energy and health implications of London's Heat island. *Building Services Engineering & Technology*, v.32, n.1, p.35-52, 2011.
- MUNSLOW, B.; O'DEMPSEY, T. Globalization and Climate change in Asia: the urban health impact. *Third World Quarterly*, v.31, n.8, p.1339-56, 2010.
- MUNYULI, M. B. T. et al. The potential Financial costs of Climate Change on Health of Urban and Rural Citizens: a case study of Vibrio cholera infections at Bakavu Towns, South Kivu Province, Eastern of Democratic Republic of Congo. *Iranian Journal of Public Health*, v.42, n.7, p.707-25, 2013.
- NDETTO, E. L.; MATZARAKIS, A. Urban atmospheric environment and human biometeorological studies in Dar es Salaam, Tanzania. *Air Quality Atmosphere and Health*, v.8, n.2, p.175-91, 2015.
- NIDZGORSKA-LENCEWICZ, J. Variability of Human-Biometeorological Conditions in Gdansk. *Polish Journal of Environmental Studies*, v.21, n.1, p.215-26, 2015.
- OKE, T. R.; TAESLER, R.; OLSSON, L. E. The Tropical Urban Climate Experiment (TRUCE). *Energy and Buildings*, v.15, n.1-2, p.67-73, 1991.
- OYEKALE, A. S.; ADESANYA, Y. A. Climate change and urban children's health: a case study of Ibadan South West local government, Nigeria. *Life Science Journal-Acta Zhengzhou University Overseas Edition*, v.9, n.3, p.894-9, 2012.
- PITMAN, S. D.; DANIELS, C. B.; ELY, M. E. Green infrastructure as life support: urban nature and climate change. *Transactions of the Royal Society of South Australia*, v.139, n.1, p.97-112, 2015.
- POLÍTICA DE MUDANÇA DO CLIMA no Município de São Paulo, instituída pela Lei n.14.933/09. Disponível em: <http://www3.prefeitura.sp.gov.br/cadlem/secretarias/negocios_juridicos/cadlem/integra.asp?alt=06062009L%20149330000%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20&secr=30&depto=0&des_cr_tipo=LEI>. Acesso em: 30 jul. 2010.
- PROUST, K. et al. Human health and climate change: leverage points for adaptation in urban environments. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v.9, n.6, p.2134-58, 2012.
- REVI, A. Climate change risk: an adaptation and mitigation agenda for Indian cities. *Environment and Urbanization*, v.20, n.1, p.207-29, 2008.
- ROCHLIN, I. et al. Climate change and the range expansion of the Asian tiger mosquito (*Aedes Albopictus*) in Northeastern USA: implications for public health practitioners. *Plos One*, v.8, n.4, 2013.
- SAILOR, D. J. et al. Development of a national anthropogenic heating database with an extrapolation for international cities. *Atmospheric Environment*, v.118, p.7-18, 2015.
- SALDIVA, P. H. N. et al. *Meio Ambiente e Saúde: O desafio das metrópoles*. São Paulo: Ex-Libris Comunicação Integrada, 2010.
- SALDIVA, P. H. N. et al. Carta de Recomendações em Saúde São Paulo, C40 2011. São Paulo, 2011.
- SANTAMOURIS, M. Regulating the damaged thermostat of the cities-Status, impacts and mitigation challenges. *Energy and Buildings*, v.91, p.43-56, 2015.

- SCHERER, D. et al. Quantification of heat-stress related mortality hazard, vulnerability and risk in Berlin, Germany. *ERDE*, v.144, n.3-4, p.238-59, 2013.
- SCOVRONICK, N.; LLOYD, S. J.; KOVATS, R. S. Climate and health in informal urban settlements. *Environment and Urbanization*, v.27, n.2, p.657-78, 2015.
- SHEFFIELD, P. E.; ZARCADOOLAS, C. Health care provider perceptions of climate-related health risks in a low-income urban community. *Annals of Behavioral Medicine*. v.41, Suppl. 1, p.S115-A115, 2011.
- SILVA, E. N.; RIBEIRO, H.; SANTANA, P. Clima e saúde em contextos urbanos: uma revisão da literatura. *Biblio 3w*, v.XIX, 2014. Disponível em : <<http://www.ub.edu/geocrit/b3w-1092.htm>>.
- SRIVASTAVA, H. C. et al. Malaria in seasonal migrant population in Southern Gujarat, India. *Trop. Biomed*, v.28, n.3, p.638-45, 2011.
- STRUCHINER, C. J. et al. Increasing Dengue Incidence in Singapore over past 40 years: population growth, climate and mobility. *Plos One*, v.10, n.8, 2015.
- TAESLER, R. The Bioclimate in Temperate and Northern Cities. *International Journal of Biometeorology*, v.35, n.3, p.161-8, 1991.
- THE WORLD BANK. Urban Development. Disponível em: <<http://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/overview>>. Acesso em: 12 fev. 2016.
- VANOS, J. K. Children's health and vulnerability in outdoor microclimates: A comprehensive review. *Environment International*, v.76, p.1-15, 2015.
- VANOS, J. K. et al. Hot play grounds and children's health: a multiscale analysis of surface temperatures in Arizona, USA. *Landscape and Urban Planning*, v.146, p.29-42, 2016.
- VIEGAS, C. V. et al. Urban Land Planning: the role of Master Plan in influencing local temperatures. *CITIES*, v.35, p.1-13, 2013.
- VLACHOKOSTAS, C. et al. Synergies between environmental pressures in the urban climate: combined air quality and noise exposure assessment in Thessaloniki, Greece. *Global Nest Journal*, v.15, n.2, p.209-17, 2013.
- WALMERS, F. Effects of Vegetation on Urban Climate and Buildings. *Energy and Buildings*, v.15, n.3-4, p.507-14, 1991.
- WOODCOCK, J. et al. Health and Climate Change 2. Public Health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: urban land transport. *Lancet*, v.374, n. 9705, p.1930-43, 2009.
- XAVIER, T. M. B. S.; XAVIER, A. F. S.; SILVA DIAS, M. A. F. Evolução da precipitação diária num ambiente urbano: O Caso da Cidade de São Paulo. *Rev. Bras. Meteor.*, v.9, n.1, p.44-53, 1994.
- ZORAN, M. et al. Satellite remote sensing image based-analysis of effects due to urbanization on climate and health. *Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications IV*, Dresden, v.8893, 2013.

RESUMO – Foi feita revisão sistematizada de 67 artigos sobre o tema *Clima Urbano e Saúde* a partir de busca nas plataformas Web of Science e Pub Med. Os artigos foram organizados por data de publicação, país de realização do estudo, por temas: metodologias; evidências de riscos à saúde por estresse térmico e por doenças infecciosas relacionadas ao clima; mitigação dos extremos do clima urbano por vegetação e outras formas; cobenefícios e articulações políticas.

PALAVRAS-CHAVE: Clima urbano, Bioclimatologia, Biometeorologia, Ilha de calor urbana.

ABSTRACT – A systematized review of 67 articles on *urban climate and health* was carried out from searches in the Web of Science and PubMed platforms. The articles were organized by date of publication, by the country where the study was undertaken and by subject: methods; evidences of health risks from thermal stress and climate-related infectious diseases; mitigation of extreme urban climate conditions through vegetation and other means; co-benefits and political articulations.

KEYWORDS: Urban climate, Bioclimatology, Biometeorology, Urban heat island.

Helena Ribeiro é geógrafa, mestre em Geografia pela Universidade da Califórnia Berkeley, doutora em Geografia Física pela Universidade de São Paulo. É professora titular do Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo. Pesquisadora do Grupo de Meio Ambiente do Instituto de Estudos Avançados da USP. @ – lena@usp.br

Célia Regina Pesquero é bacharel em Química, mestre em Ciências e doutora em Ciências pela Universidade de São Paulo. Trabalha como química no Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo. @ – celiapes@usp.br

Micheline de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho é graduada em Meteorologia pela Universidade Federal da Paraíba, Matemática pela Universidade Paulista, e Medical Science pela University of Technology Sydney (em curso); mestre em Meteorologia pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) e doutora em Ciências pela Universidade de São Paulo. É pós-doutoranda pela Faculdade de Medicina da USP. Atualmente é Pesquisadora Associada Centre for Air Quality and Health Research and Evaluation (Austrália) e Inaira/LPAE – Faculdade de Medicina da USP. @ – coelhomicheline@gmail.com

Recebido em 22.2.2016 e aceito em 15.3.2016.

^{I,II} Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, Brasil.

^{III} Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, Brasil