

# Mudanças climáticas e ambientais e as doenças infecciosas: cenários e incertezas para o Brasil\*

## Climatic and Environmental Changes and their Effect on Infectious Diseases: Scenarios and Uncertainties for Brazil

**Christovam Barcellos**

Centro de Informação Científica e Tecnológica, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro-RJ, Brasil

**Antonio Miguel Vieira Monteiro**

Divisão de Processamento de Imagens, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos-SP, Brasil

**Carlos Corvalán**

Coordenação de Intervenções para Ambientes Saudáveis, Organização Mundial de Saúde, Brasília-DF, Brasil

**Helen C. Gurgel**

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Cachoeira Paulista-SP, Brasil

**Marília Sá Carvalho**

Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro-RJ, Brasil

**Paulo Artaxo**

Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, Brasil

**Sandra Hacon**

Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro-RJ, Brasil

**Virginia Ragoni**

Divisão de Processamento de Imagens, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos-SP, Brasil

### Resumo

O processo de mudanças climáticas e ambientais globais, que vem se agravando nas últimas décadas mas que foi divulgado mais amplamente pela mídia nos últimos dois anos, porta para a sociedade e setores de governo um desafio sobre as causas e o papel das alterações ambientais sobre as condições de saúde. Esse trabalho tem como objetivo avaliar cenários de mudanças climáticas e ambientais e suas incertezas para o Brasil. Além disso identifica recursos que podem ser utilizados para desenvolver uma rede de diagnóstico, modelagem, análise e intervenção sobre as repercussões dessas mudanças sobre as condições de saúde. Os principais grupos de doenças que podem ser afetados por essas mudanças são as doenças de veiculação hídrica, as transmitidas por vetores e as respiratórias. No entanto, os riscos associados às mudanças climáticas globais não podem ser avaliados em separado do contexto globalização, mudanças ambientais e precarização de sistemas de governo. Cabe ao setor saúde, não só prevenir esses riscos, mas atuar na redução de suas vulnerabilidades sociais.

**Palavras-chave:** mudanças globais; vigilância ambiental em saúde; vigilância epidemiológica; modelos preditivos.

### Summary

*Global climate and environmental change has been aggravating along the last decades but only circulated by the media over the recent years. This process poses a challenge to society and government on the causes and the role of environmental change on health conditions. This work aims to evaluate scenarios of climatic and environmental changes and their uncertainties for Brazil. The work also identifies resources that can be mobilized to develop a network for diagnosis, modeling, analysis and intervention on the results of these changes on health conditions. The main groups of diseases that may be affected by these changes are water related, vector-borne and respiratory diseases. However, the risks associated with global climate change can not be assessed separately from other processes such as globalization, environmental changes and instability of governmental systems. The health sector, must not only prevent these risks, but be active to reduce social vulnerability.*

**Key words:** global changes; environmental health surveillance; epidemiological surveillance; predictive models.

\* Artigo originalmente publicado pela Organização Pan-Americana da Saúde/OMS, em parceria com a Secretaria de Vigilância em Saúde/MS e Fundação Oswaldo Cruz/MS. Série Saúde Ambiental 1, Brasília, 2008. Republicado mediante autorização prévia dos editores da versão original.

**Endereço para correspondência:**

Ministério da Saúde, Fundação Oswaldo Cruz, Departamento de Informações em Saúde, Av. Brasil 4365, Manguinhos, Rio de Janeiro-RJ, Brasil. CEP: 21045-900  
E-mail: xris@cict.fiocruz.br

## Introdução

A ocorrência do processo de mudanças climáticas, principalmente aquelas devidas ao aquecimento global induzido pela ação humana, foi pela primeira vez alertada na década de 1950. Já no final do século XIX o pesquisador sueco Svante Arrhenius havia levantado a possibilidade de aumento de temperatura devido a emissões de dióxido de carbono. Ao longo dos anos 1980 cresceu a preocupação de pesquisadores ligados a questões ambientais com o impacto dessas mudanças sobre ecossistemas. Na década de 1990 foram desenvolvidos modelos que permitiram, de um lado explicar a variabilidade de clima ocorrida ao longo do século e de outro lado, avaliar a contribuição de componentes naturais (vulcanismo, alterações da órbita da Terra, explosões solares, etc.) e antropogênicos (emissão de gases do efeito estufa, desmatamento e queimadas, destruição de ecossistemas, etc.) sobre estas variações. O primeiro relatório global sobre as mudanças climáticas e a saúde foi publicado pela OMS em 1990.<sup>1</sup> Durante a ECO-92, foi instalada a convenção sobre mudanças climáticas, junto com as convenções sobre diversidade biológica e a desertificação. No entanto, o tema das mudanças climáticas somente tomou a mídia com maior intensidade no último ano, repercutindo sobre agendas de governos e pesquisa e no imaginário popular, como a divulgação do 4º relatório de avaliação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas em fevereiro de 2007;<sup>2</sup> o filme “Uma verdade inconveniente”, ganhador do Oscar de melhor documentário de 2007.

Além disso, o tratamento midiático dado a uma série de eventos extremos do ponto de vista climático e catastróficos do ponto de vista social como o furacão Katrina, que destruiu grande parte de Nova Orleans; a onda de calor na Europa em 2003 quando foi registrado um excesso de mais de 35 mil mortes, o Catarina, que atingiu o sul do Brasil em 2004, a seca no oeste da Amazônia em 2005, mesmo sem consenso para suas determinações causais, contribuíram para trazer à tona e reforçar o debate sobre as origens e os efeitos das mudanças climáticas em escala global. Tanto o furacão Katrina como a onda de calor na Europa evidenciaram que os impactos das mudanças climáticas não seriam exclusivos dos países mais pobres, mas realmente global e ao mesmo tempo localizado. Esse debate tem sido marcado pelo inevitável entrelaçamento entre questões técnicas, tecnológicas, políticas e sociais. Se

por um lado a visibilidade dada às mudanças globais tem permitido a retomada da agenda ambientalista em sua versão mais ampliada, a visão catastrofista e globalizante sobre essas mudanças pode gerar um sentimento de impotência ou mesmo insensibilidade frente a mudanças que podem parecer inexoráveis. Além disso, esse debate carrega problemas intrínsecos relacionados às diferentes linguagens e interesses de pesquisadores, empresários, gestores e sociedade civil. Longe de pretender obter um consenso entre esses atores sociais, esse texto tem como objetivo principal avaliar, em um cenário de mudanças climáticas e ambientais em escala global, suas incertezas para o Brasil, bem como contribuir para a identificação de recursos que podem ser utilizados para desenvolver uma rede de diagnóstico, modelagem, análise e intervenção sobre as repercussões dessas mudanças sobre as condições de saúde da população brasileira no século XXI.

## Processos climáticos: tendências e incertezas

Em primeiro lugar é importante destacar que o clima da Terra esteve, desde sempre, sujeito a mudanças, produzidas por ciclos longos ou curtos, que estão registrados na história da Humanidade. Na Idade Média foram observados períodos de aquecimento seguido de um período de esfriamento, conhecido como pequena Era do Gelo. Algumas das grandes ondas de migração humana, como as chamadas “invasões bárbaras” de povos do norte e leste em direção ao sul da Europa, e a entrada de grupos asiáticos no continente americano pelo Estreito de Bering, são em parte devidas a fenômenos climáticos. Esses ciclos podem ter sua origem explicada por processos naturais, ligados a alterações no eixo de rotação da terra, explosões solares e dispersão de aerossóis emitidos por vulcões. Outros fenômenos climáticos, mais localizados no espaço e mais concentrados no tempo são bastante frequentes, como os furacões, enchentes decorrentes de chuvas intensas ou degelo, ondas de calor, etc. Até o século XX, estes fenômenos eram considerados como manifestações da “natureza” como concepção aristotélica, não podendo por isso ser controlados, previstos ou mitigados. Recentemente, muitos desses fenômenos passaram a ser atribuídos a mudanças climáticas globais, o que sem dúvida constitui um exagero, muitas vezes estimulado pela mídia.

Uma importante discussão que vem sendo travada nos fóruns acadêmicos sobre clima diz respeito à parcela atribuível desses fenômenos às mudanças climáticas globais, já que uma parte dos fenômenos atmosféricos se deve ao aumento do efeito estufa, outra parte é inerente de ciclos naturais. Os primeiros registros sistemáticos de temperatura datam da década de 1850 e a análise histórica desses registros permite reconhecer algumas tendências de aumento da temperatura média do planeta. Esse aumento vem acompanhando o processo de industrialização e de emissão de gases resultantes da queima de combustíveis fósseis. A recuperação de dados mais remotos sobre o clima da Terra tem sido possível através da análise da composição de testemunhos de gelo do Ártico e Antártica. Esses dados têm demonstrado que as concentrações de CO<sub>2</sub> e de CH<sub>4</sub> na atmosfera nunca foram tão altas nos últimos 600.000 anos.<sup>2</sup> O aumento do efeito estufa, causado pela acumulação de gases, produziu um acréscimo de um grau Celsius na temperatura média ao longo do último século. Ressalta-se que o efeito estufa existe mesmo antes do aparecimento do homem na Terra, sendo responsável por efeitos benéficos, como a filtragem de raios solares, a estabilização da temperatura da atmosfera e a ciclagem de gases essenciais para a vida.

As mudanças climáticas podem ser entendidas como qualquer mudança no clima ao longo dos anos, devido à variabilidade natural ou como resultado da atividade humana.<sup>2</sup> O IPCC divulgou recentemente que há 90% de chance do aquecimento global observado nos últimos 50 anos ter sido causado pela atividade humana,<sup>3</sup> através do aumento das emissões de gases de efeito estufa. Este aumento nas emissões de gases estufa poderá induzir um aquecimento da atmosfera, o que pode resultar em uma mudança no clima mundial a longo prazo.<sup>4</sup> As mudanças climáticas refletem o impacto de processos socioeconômicos e culturais, como o crescimento populacional, a urbanização, a industrialização e o aumento do consumo de recursos naturais e da demanda sobre os ciclos biogeoquímicos.<sup>5</sup>

Segundo o relatório do IPCC,<sup>2</sup> a prosseguir essa tendência, alguns dos efeitos do aquecimento global poderão ser:

- Até o fim deste século, a temperatura média da Terra pode subir de 1,8°C até 4°C. Na pior das previsões, essa alta pode chegar a 6,4°C;

- O nível dos oceanos vai aumentar de 18 a 59 centímetros até 2.100;
- As chuvas devem aumentar em cerca de 20%;
- O gelo do Pólo Norte poderá ser completamente derretido no verão, por volta de 2100;
- O aquecimento da Terra não será homogêneo e será mais sentido nos continentes que no oceano. O hemisfério norte será mais afetado do que o sul.

Essas previsões são resultantes de modelos de simulação que vêm sendo aperfeiçoados por diversas instituições do mundo. No Brasil, destaca-se o papel do INPE, notadamente o CPTEC no monitoramento e desenvolvimento de Modelos Globais Atmosféricos (GCMs) e Modelos Globais Acoplados Oceano-Atmosfera (AOGCMs) para a previsão de mudanças climáticas.<sup>6</sup> Deve-se observar que estes modelos são sensíveis a condições de contorno como os cenários de emissão de gases e à qualidade e cobertura de dados meteorológicos.

Os resultados do modelo de avaliação de anomalias para 2005 mostram um aumento de temperatura acima de 2°C nas altas latitudes do hemisfério norte e de 1°C próximo do equador. Em regiões onde é baixa a densidade de estações meteorológicas, há uma tendência de superestimar as anomalias ou produzir valores não confiáveis, como na África equatorial, Oriente Médio e Antártica. O Brasil conta com uma rede de estações meteorológicas que cobre boa parte do litoral, mas tem baixa densidade no interior, principalmente nas regiões Norte e Centro-Oeste. Além disso, grande parte das estações não é automática e registra somente dados pluviométricos, não as temperaturas.

Os modelos de previsão global produzem valores pouco confiáveis quando aplicados no nível regional. A maior parte dos modelos leva em consideração os fluxos de energia entre solo, ar e oceano, mas subestimam o papel do uso e da cobertura da terra nesses fluxos. A Amazônia, por exemplo, vem exercendo um papel de tamponamento de variações de temperatura devido à grande quantidade de água circulante e da evapotranspiração. A diminuição da sua cobertura vegetal nativa produziria efeitos de difícil previsão sobre todo o planeta, já que haveria um excedente de água e calor a ser redistribuído por todo o planeta.<sup>7</sup> Alterações nos padrões de temperatura e precipitação acarretam necessariamente em mudanças de composição e localização de biomas,

além de causar mudanças nas práticas agrícolas. Por outro lado, essas alterações de uso da terra promovem alterações de ciclos de nutrientes, água e calor.<sup>8</sup> Esses processos de retroalimentação das mudanças climáticas globais são raramente considerados nos modelos de previsão.

Para o Brasil, alguns cenários de alterações climáticas são destacados por pesquisadores:<sup>6</sup>

- Eventos El Niño-Oscilação Sul (ENSO) mais intensos: Secas no Norte e Nordeste e enchentes no Sul e Sudeste;
- Diminuição de chuvas no Nordeste;
- Aumento de vazões de rios no Sul;
- Alteração significativa de ecossistemas como o mangue, Pantanal e Hiléia Amazônica.

Como destacado anteriormente, não há como separar o efeito desses fenômenos climáticos dos processos de ocupação que vêm sofrendo essas regiões. Na Amazônia, particularmente, se sobrepõem às oscilações climáticas a intensificação de queimadas e desflorestamento. A seca de 2005 no oeste da Amazônia pode ter sido resultado, não de processos climáticos globais, mas de alterações do padrão de uso da terra no Brasil e países limítrofes.<sup>6</sup> O desflorestamento causa uma diminuição da capacidade de retenção de água de chuva e um aumento proporcional do escoamento superficial dessas águas pelos rios. Em suma, aumenta a variabilidade da vazão de rios. Essa mudança de regime de rios pôde ser sentida pela ocorrência de enchentes na mesma região da Amazônia, poucos meses após o período de seca.

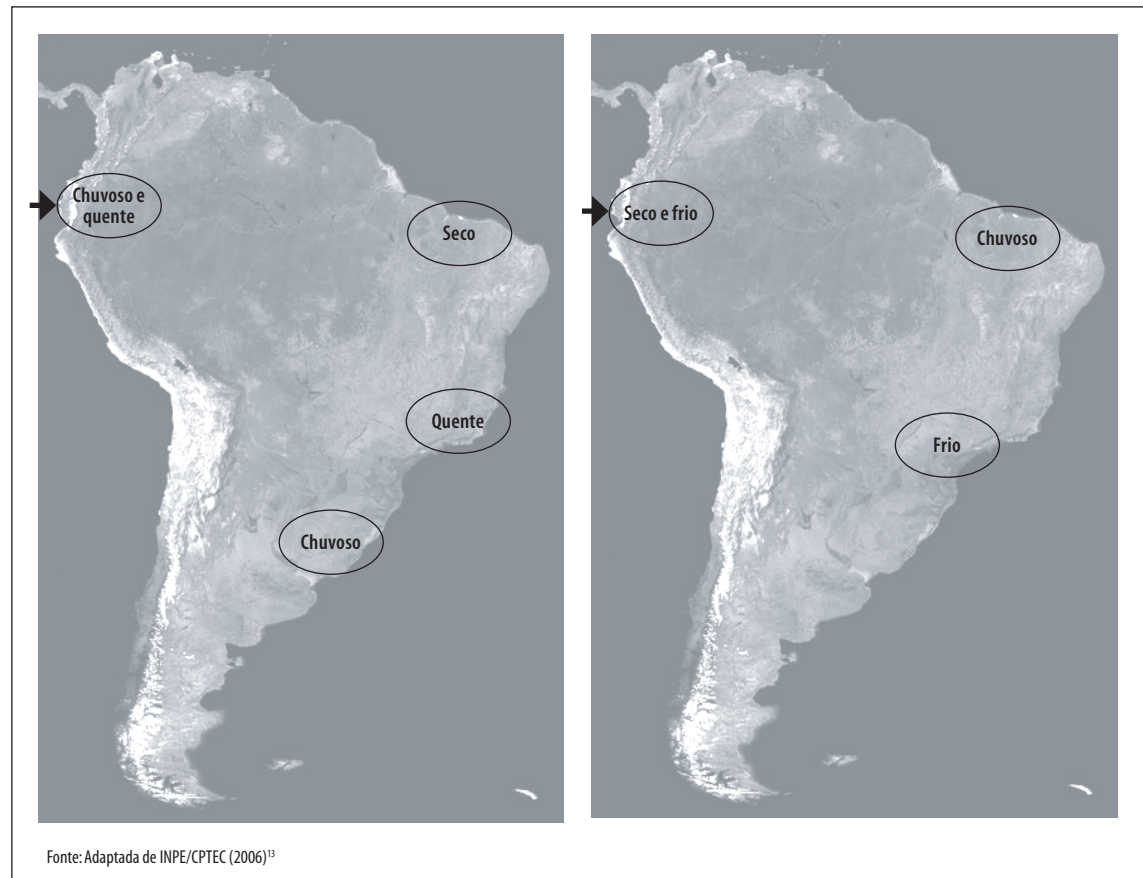
Também do ponto de vista da termodinâmica, o processo de aquecimento global pode ser assumido como uma acumulação de calor, não só pela atmosfera, mas também na água e solo. Essa energia pode ser mobilizada e dissipada de forma rápida e concentrada, gerando eventos extremos.<sup>9</sup> Essa é uma possível explicação para o aumento da frequência e intensidade de furacões no hemisfério norte.

As grandes cidades se caracterizam pela geração de calor e a sua cobertura por construções diminui a percolação de água de chuva, e aumenta o fluxo ascendente de ventos, o que as torna vulneráveis para efeitos de aquecimento e enchentes.<sup>10</sup> Em resumo, mais que causar o aumento global de temperatura, esses processos, conjugados às alterações de uso da terra, podem aumentar a amplitude de variações de temperatura e precipitação.

A variabilidade climática anual já é bem caracterizada. Possui um ritmo pendular com a alternância de estações quentes e frias nas zonas temperadas, e secas e úmidas nas zonas tropicais. Há certos períodos nos quais se observa uma ruptura deste ritmo. Numa escala inter-anual e mundial, distinguem-se o fenômeno El Niño (fase quente), também conhecido como ENSO (El Niño/Southern Oscillation) e La Niña (fase fria). Esta oscilação é caracterizada por irregularidades da temperatura da superfície de águas do oceano Pacífico, que influenciam a circulação atmosférica e alteram as precipitações e a temperatura em diversos lugares do mundo. O aquecimento e o subsequente resfriamento num episódio típico de ENSO pode durar de 12 a 18 meses.<sup>11</sup> Este fenômeno tem geralmente conseqüências de grande amplitude e produzem-se a intervalos irregulares. A origem destas modificações ainda é mal conhecida, e conseqüentemente a sua previsão e a sua amplitude a longo prazo são ainda difíceis de avaliar.

No Brasil, alguns estudos indicam que o semi-árido do nordeste, norte e leste da Amazônia, sul do Brasil e vizinhanças são afetados de forma pronunciada pelo fenômeno ENSO. Na região sul ocorre um aumento da precipitação, particularmente durante a primavera do primeiro ano e no fim do outono e início do inverno do segundo ano. O norte e o leste da Amazônia, bem como e o nordeste do Brasil são afetados pela diminuição da precipitação, principalmente no segundo ano, entre fevereiro e maio, quando se tem a estação chuvosa do semi-árido. O sudeste do Brasil apresenta temperaturas mais altas, tornando o inverno mais ameno. Nas demais regiões do país, os efeitos são menos pronunciados e variam de um episódio para outro.<sup>12</sup> Uma visão geral do que ocorre sobre o Brasil e no continente sul americano durante o El Niño e la Niña pode ser observada na Figura 1.<sup>13</sup>

Entretanto, o evento El Niño de 1997-1998 chamou a atenção devido às graves conseqüências a nível mundial, com importantes prejuízos físicos e econômicos (seca, inundação, perda de produtividade agrícola, etc.) e perdas em vidas humanas. Apesar da dificuldade para reunir dados homogêneos e completos, o *Compendium of climate variability* indica que quase 10 milhões de pessoas foram afetadas ou deslocadas pelos efeitos desastrosos deste fenômeno.<sup>14</sup> Epidemias importantes de malária foram registradas em vários lugares do mundo, como no Paquistão, Sri Lanca,



**Figura 1 - Impactos do El Niño (mapa da esquerda) e da La Niña (mapa da direita) sobre a América do Sul**

Vietnã e em diversos países endêmicos da África e da América Latina.

Desde esse importante evento de El Niño, epidemiologistas e entomologistas começaram a dar uma atenção especial aos impactos dos grandes fenômenos climáticos sobre a saúde. A OMS criou um grupo de estudo específico sobre este tema em 1999 que enfatizou a permanência de eventos como El Niño e os desafios para não esquecer e repetir erros do passado.<sup>15</sup> No entanto, a maior parte dos estudos que relacionam este acontecimento a doenças vetoriais é feita no nível planetário ou continental,<sup>16-19</sup> enquanto que os impactos de El Niño são muito variáveis de acordo com a intensidade do evento e as regiões que ele atinge.<sup>20</sup> São ainda necessários estudos mais detalhados no nível regional para verificar o impacto destes eventos na dinâmica de doenças infecciosas. Porém, a dificuldade de realizar esse tipo de estudo ainda é grande devido à dificuldade de obter dados climáticos e de saúde nessa escala, com

uma série histórica compatível que permita avaliar o impacto das anomalias climáticas na saúde.

Além do conhecido ENSO, outras anomalias climáticas afetam a dinâmica do clima no Brasil, em especial a precipitação, como as oscilações intra-sazonais (30 a 60 dias) de Madden-Julian Oscillation (MJO), os sistemas intertropicais como os vórtices ciclônicos em altos níveis (VCAN) na região nordeste e as zonas de convergência do atlântico sul (ZCAS) no sul e sudeste, entre outros.<sup>21,22</sup>

### **Mudanças de uso do solo e alterações climáticas – o exemplo do Bioma Amazônia**

A Amazônia legal tem sofrido nas últimas décadas significativas mudanças nos padrões de uso e cobertura do solo, através de intenso processo de ocupação humana acompanhado de pressões econômicas nacionais

e internacionais. A Amazônia perdeu aproximadamente 17% de floresta nativa nas últimas três décadas.<sup>23</sup> A complexidade da Amazônia, um bioma único, que acomoda quase 13 milhões de brasileiros e, como destaca Bertha Becker,<sup>24</sup> uma “floresta urbanizada”, nos apresenta um desafio imenso para decifrá-la. Compreender o mosaico de processos, em diferentes escalas no tempo e no espaço, responsáveis pelas mudanças de uso e cobertura da terra na região, observados através da dinâmica dos padrões espaciais de áreas desmatadas, é fundamental. A interação de modelos de uso e cobertura mais realistas com os modelos de clima, observando as diferentes escalas, a heterogeneidade do espaço amazônico, suas diferentes expressões culturais e suas peculiares formas de configuração e uso do território, é essencial para os estudos das relações entre clima, ambiente e saúde. A Amazônia são muitas Amazônias e, por isso, constitui um grande, porém crucial desafio, em tempos de mudanças globais e suas implicações para as doenças infecciosas e a vigilância em saúde de base territorial no século XXI.

Vários fatores políticos, econômicos e sociais pressionam os ecossistemas resultando no desmatamento e, conseqüentemente, na queima de biomassa. As várias dimensões envolvidas na questão têm provocado um constante debate sobre as causas do desmatamento. A construção de estradas, a expansão da pecuária, a crescente extração de madeira, o aumento intensivo da agricultura de monocultivos, a fraqueza das instituições constituídas, a mobilidade da população, o sistema de **aviamento** tradicional desde o século XIX na Amazônia baseado na violência e ilegalidade,<sup>25,26</sup> as redes multi-modais, as novas redes informacionais e as novas e velhas redes sociais nos apresentam um quadro complexo de atores, processos e padrões de desmatamento e emissões na Amazônia brasileira.<sup>27-31</sup> A complexa interação destas forças tem produzido um padrão de atividades econômicas que tem sido responsável por emissões de gases e partículas de aerossóis para a atmosfera, através da queima de biomassa em áreas de pastagem, cerrado e florestas primárias.<sup>32,33</sup>

A identificação da influência humana na alteração do clima é um dos principais aspectos analisados pelo IPCC-TAR de 2001.<sup>34</sup> A queima de biomassa em florestas tropicais é um dos exemplos de pressão humana com alterações significativas de perdas ambientais, ou seja, perdas de oportunidades para o uso sustentável. Dentre os vários serviços que os ecossistemas desem-

penham como reguladores das condições de vida estão a manutenção da biodiversidade, da ciclagem de água e dos estoques de carbono, que mitigam o agravamento do efeito estufa.

Nas regiões tropicais e subtropicais da América do Sul, África, sudeste da Ásia e parte da Oceania estão os países que mais queimam biomassa em todo o globo terrestre,<sup>35</sup> contribuindo diretamente para o fenômeno das mudanças climáticas globais. Na América do Sul, as estimativas de liberações de partículas de aerossóis para a atmosfera por queima de biomassa representam um terço do total do material particulado liberado mundialmente para a atmosfera, chegando a 34 Tg/ano de partículas.<sup>36</sup> No Brasil, os principais ecossistemas afetados pelas queimadas são a Floresta Amazônica e o Cerrado.<sup>36</sup> Em um quadro de aquecimento global, um estudo apresentado em 2004,<sup>37</sup> aponta para a possibilidade de que a Floresta Amazônica, com intensificação do período de seca, possa perder muita umidade, tornando a região mais vulnerável às queimadas.

Para o clima global, a Floresta Amazônica tem como uma de suas características um intenso metabolismo que resulta em fonte natural de gases traço, partículas de aerossóis, compostos orgânicos voláteis e vapor de água para atmosfera global.<sup>38,39</sup> Mesmo considerando que a principal fonte global de emissão para gases de efeito estufa sejam as produzidas por combustíveis fósseis, as queimadas na Amazônia e no Cerrado representam a principal contribuição brasileira para as fontes globais de vários gases de efeito estufa como CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), CH<sub>4</sub> (metano) e N<sub>2</sub>O (óxido nitroso).<sup>40</sup> Elas também contribuem com emissões significativas de CO (monóxido de carbono), NO<sub>2</sub> (dióxido de nitrogênio), HCNM (Hidrocarbonetos não metano), cloreto e brometo de metila, compostos orgânicos voláteis (VOCs) e dezenas de outros gases.<sup>41</sup> As emissões de gases precursores da formação de ozônio pelas queimadas fazem com que as concentrações deste gás sejam elevadas, podendo comprometer a saúde das populações nas áreas de influência das queimadas assim como a manutenção da floresta não queimada, uma vez que o ozônio é fitotóxico e alcança milhares de quilômetros a partir das áreas queimadas.<sup>33</sup>

A grande disponibilidade de radiação solar somada à expressiva quantidade de vapor de água na atmosfera são características que favorecem uma alta reatividade química atmosférica na região tropical.<sup>39</sup> As emissões de metano e dióxido de carbono em áreas alagáveis

da Floresta Amazônica representam uma parcela importante das emissões destes gases, recentemente observada em larga escala na Amazônia.<sup>42</sup> O estudo do comportamento e composição das partículas de aerossóis emitidas naturalmente pela floresta Amazônica tem sido um desafio para o entendimento do componente químico atmosférico e sua relevância na complexidade dos impactos das mudanças climáticas em níveis regional e global.

A maioria dos estudos enfatiza a ameaça que as queimadas representam para a Floresta Amazônica acelerando as mudanças climáticas. As partículas de aerossol são de especial interesse climático porque atuam como núcleos de condensação de nuvens (NCC) alterando os seus mecanismos de formação e o albedo, conseqüentemente alterando os processos radiativos, afetando a carga de radiação.<sup>43</sup> As queimadas alteram os ciclos hidrológicos nas regiões tropicais, reduzindo o volume pluviométrico, e a composição química e física da atmosfera.<sup>44</sup> Também podem reduzir a radiação incidente na superfície devido à grande carga

de aerossóis, podendo ter implicações na produção primária dos ecossistemas vulneráveis.<sup>45</sup> As emissões de gases traço e partículas de aerossol da Amazônia têm como trajetória o continente Sul Americano por duas vias principais: o Oceano Atlântico Sul e o Oceano Pacífico Tropical.<sup>46,47</sup> Logo, os impactos ambientais das queimadas têm papel fundamental nas mudanças climáticas nos níveis local, regional e global.

### Dinâmica da atmosfera e problemas de saúde

Acredita-se que os problemas de saúde humana associados às mudanças climáticas não têm sua origem necessariamente nas alterações climáticas. A população humana sob influência das mudanças climáticas apresentará os efeitos, de origem multi-causal, de forma exacerbada ou intensificada. Muitas são as pesquisas, tendo como foco as questões de saúde pública, que tentam se relacionar com as mudanças climáticas. As pesquisas em saúde geralmente alertam para fatores

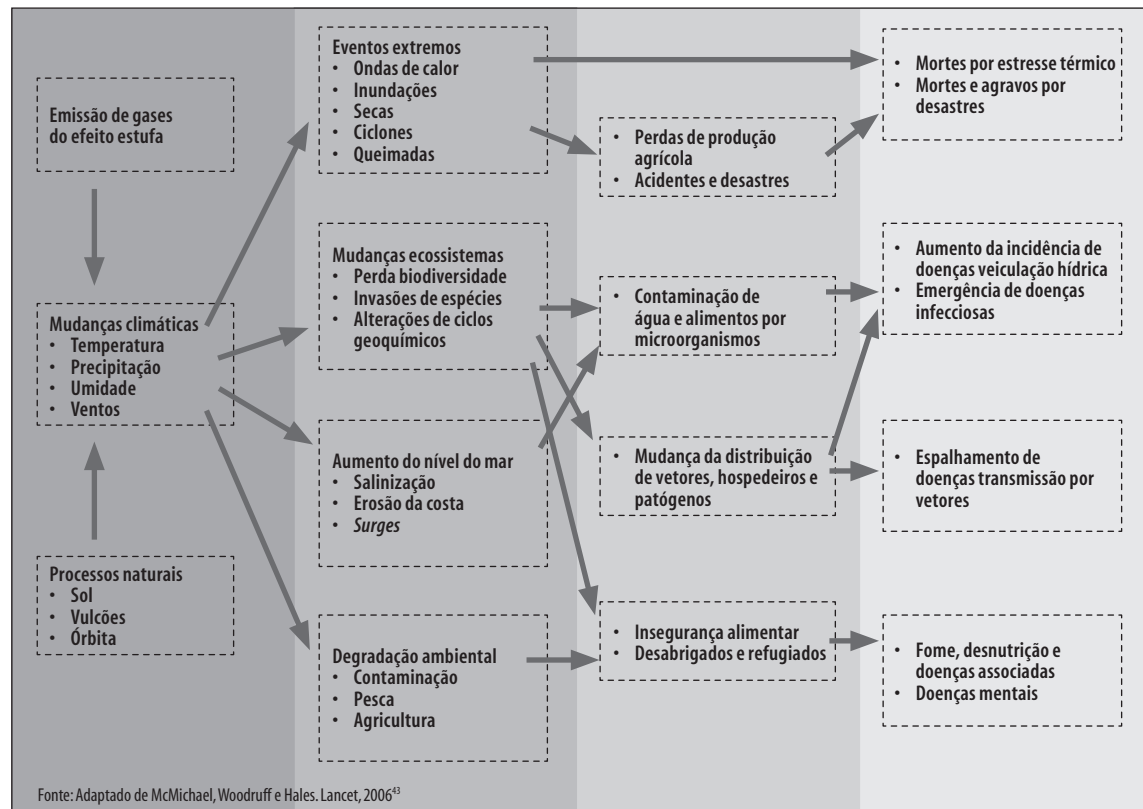


Figura 2 - Possíveis caminhos dos efeitos das mudanças climáticas sobre as condições de saúde

relacionados às alterações climáticas que afetam a saúde humana, mas geralmente não são desenvolvidas com este objetivo. A avaliação dos efeitos sobre a saúde relacionados com os impactos das mudanças climáticas é extremamente complexa e requer uma avaliação integrada com uma abordagem interdisciplinar dos profissionais de saúde, climatologistas, cientistas sociais, biólogos, físicos, químicos, epidemiologistas, dentre outros, para analisar as relações entre os sistemas sociais, econômicos, biológicos, ecológicos e físicos e suas relações com as alterações climáticas.<sup>4</sup>

As mudanças climáticas podem produzir impactos sobre a saúde humana por diferentes vias. Por um lado impacta de forma direta, como no caso das ondas de calor, ou mortes causadas por outros eventos extremos como furacões e inundações. Mas muitas vezes, esse impacto é indireto, sendo mediado por alterações no ambiente como a alteração de ecossistemas e de ciclos biogeoquímicos, que podem aumentar a incidência de doenças infecciosas, tratadas nesse documento com maior detalhe, mas também doenças não-transmissíveis, que incluem a desnutrição e doenças mentais. Deve-se ressaltar, no entanto, que nem todos os impactos sobre a saúde são negativos. Por exemplo, a alta de mortalidade que se observa nos invernos poderia ser reduzida com o aumento das temperaturas. Também o aumento de áreas e períodos secos pode diminuir a propagação de alguns vetores. Entretanto, em geral considera-se que os impactos negativos serão mais intensos que os positivos.

As conseqüências desse aumento da variabilidade e o aumento de eventos climáticos extremos são de difícil previsão para a saúde pública. Alguns modelos devem ser buscados para concatenar processos climáticos com eventos de saúde. O esquema apresentado na Figura 2 foi adaptado a partir da proposta de McMichael e colaboradores.<sup>48</sup>

Pode-se observar pelo esquema que o aquecimento global pode ter conseqüências diretas sobre a morbidade e mortalidade, por meio da produção de desastres como enchentes, ondas de calor, secas e queimadas. A onda de calor que atingiu a Europa Ocidental no verão de 2003 causou cerca de 15.000 óbitos na França. No entanto, nesse e em diversos outros casos, o clima e os eventos extremos não podem ser responsabilizados pelos agravos à saúde. Pesaram sobre os efeitos a incapacidade do setor saúde de lidar com situações de emergência e as profundas desigual-

dades sociais, mesmo em países centrais com grande tradição de políticas de bem-estar social.

As flutuações climáticas sazonais produzem um efeito na dinâmica das doenças veiculares, como por exemplo, a maior incidência da dengue no verão e da malária na Amazônia durante o período de estiagem. Os eventos extremos introduzem considerável flutuação que podem afetar a dinâmica das doenças de veiculação hídrica, como a leptospirose, as hepatites virais, as doenças diarreicas, etc. Essas doenças podem se agravar com as enchentes ou secas que afetam a qualidade e o acesso à água. Também as doenças respiratórias são influenciadas por queimadas e os efeitos de inversões térmicas que concentram a poluição, impactando diretamente a qualidade do ar, principalmente nas áreas urbanas. Além disso, situações de desnutrição podem ser ocasionadas por perdas na agricultura, principalmente a de subsistência, devido às geadas, vendavais, secas e cheias abruptas.

A variação de respostas humanas relacionadas às mudanças climáticas parece estar diretamente associada às questões de vulnerabilidade individual e coletiva. Variáveis como idade, perfil de saúde, resiliência fisiológica e condições sociais contribuem diretamente para as respostas humanas relacionadas às variáveis climáticas.<sup>49</sup> Alguns estudos também apontam que alguns fatores que aumentam a vulnerabilidade dos problemas climáticos são uma combinação de crescimento populacional, pobreza e degradação ambiental.<sup>4,34</sup>

As condições atmosféricas podem influenciar o transporte de microorganismos, assim como de poluentes oriundos de fontes fixas e móveis e a produção de pólen.<sup>50</sup> Os efeitos das mudanças climáticas podem ser potencializados, dependendo das características físicas e químicas dos poluentes e das características climáticas como temperatura, umidade e precipitação. Estas características definem o tempo de residência dos poluentes na atmosfera, podendo ser transportados a longas distâncias em condições favoráveis de altas temperaturas e baixa umidade. Estes poluentes associados às condições climáticas podem afetar a saúde de populações distantes das fontes geradoras de poluição.

As alterações de temperatura, umidade e o regime de chuvas podem aumentar os efeitos das doenças respiratórias, assim como alterar as condições de exposição aos poluentes atmosféricos. Dada a evidência da relação entre alguns efeitos na saúde



devido às variações climáticas e aos níveis de poluição atmosférica, tais como os episódios de inversão térmica, aumento dos níveis de poluição e o aumento de problemas respiratórios, parece inevitável que as mudanças climáticas de longo prazo possam exercer efeitos à saúde humana a nível global.

Em áreas urbanas alguns efeitos da exposição a poluentes atmosféricos são potencializados quando ocorrem alterações climáticas, principalmente as inversões térmicas. Isto se verifica em relação à asma, alergias, infecções bronco-pulmonares e infecções das vias aéreas superiores (sinusite), principalmente nos grupos mais suscetíveis, que incluem as crianças menores de 5 anos e indivíduos maiores de 65 anos de idade. Os efeitos da poluição atmosférica na saúde humana têm sido amplamente estudados em todo o mundo. Estudos epidemiológicos evidenciam um incremento de risco associado às doenças respiratórias e cardiovasculares, assim como da mortalidade geral e específica associadas à exposição a poluentes presentes na atmosfera.<sup>51-55</sup> Segundo a OMS, 50% das doenças respiratórias crônicas e 60% das doenças respiratórias agudas estão associadas à exposição a poluentes atmosféricos. A maioria dos estudos relacionando os níveis de poluição do ar com efeitos à saúde foi desenvolvida em áreas metropolitanas, incluindo as grandes capitais da região sudeste no Brasil, e mostram associação da carga de morbimortalidade por doenças respiratórias, com incremento de poluentes atmosféricos, especialmente de material particulado.<sup>56,57</sup> O tamanho da partícula, superfície e a composição química do material particulado determinam o risco para a saúde humana que a exposição representa a este agente.

As emissões gasosas e de material particulado para a atmosfera derivam principalmente de veículos, indústrias e da queima de biomassa. No Brasil, as fontes estacionárias e grandes frotas de veículos concentram-se nas áreas metropolitanas localizadas principalmente na Região Sudeste, enquanto a queima de biomassa ocorre em maior extensão e intensidade na Amazônia Legal, situada ao norte do país. Segundo o inventário brasileiro de emissões de carbono, 74% das emissões ocorrem através das queimadas na Amazônia, em contraste com 23% de emissões do setor energético.<sup>58</sup>

Na Amazônia, a intensa queima de biomassa cobre uma área de cerca de 4 a 5 milhões de Km<sup>2</sup> observada através de sensoriamento remoto.<sup>55</sup> Estudos na

região realizados durante a estação chuvosa, quando predominam as emissões naturais, mostram que a concentração de partículas de aerossóis é da ordem de 10 a 15 µg.m<sup>-3</sup>. Na estação seca, devido às emissões provenientes de queimadas, a concentração sobe para cerca de 300 a 600 µg m<sup>-3</sup>.<sup>44</sup> A maioria das partículas biogênicas encontra-se na fração grossa, com diâmetros maiores que 2 µm, e tem como constituição principalmente fungos, esporos, fragmentos de folhas e bactérias, em uma enorme variedade de partículas.

Quanto mais próximo for o local de exposição aos focos de queimadas, geralmente maior é o seu efeito à saúde. Mas a direção e a intensidade das correntes aéreas têm muita influência sobre a dispersão dos poluentes atmosféricos e sobre as áreas afetadas pela pluma oriunda do fogo. Se os ventos predominantes dirigirem-se para áreas densamente povoadas, um número maior de pessoas estará sujeito aos efeitos dos contaminantes. Esse é o caso do Sudeste Asiático, onde queimadas provocam névoa de poluentes de extensão regional com impactos à saúde de centenas de milhões de pessoas.<sup>59</sup>

Na região do arco do desmatamento, que abrange os estados do Acre, Amapá, Amazonas, parte do Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins, foram detectados em 2005 mais de 73% dos focos de queimadas do país. Destes, o estado de Mato Grosso foi o que concentrou o maior percentual de área desmatada e focos de queimadas, com 38% e 30% e respectivamente.<sup>60</sup> No estado de Mato Grosso, as doenças do aparelho respiratório foram as principais causas das internações em crianças menores de cinco anos, respondendo por 70% dos casos na região de Alta Floresta. Dentre as principais categorias de internações por doenças do aparelho respiratório nessa faixa etária estão a pneumonia, responsável por 73% das internações no estado, seguida da asma, respondendo por 14% das internações por doenças do aparelho respiratório no estado de Mato Grosso.<sup>61</sup> Em Rio Branco, no Acre, um dos principais impactos negativos ocasionados pela poluição do ar através das queimadas está na taxa de mortalidade, que no período de 1998 a 2004 apresentou uma diferença de cerca de 21% no período de queimadas em relação ao período de não-queimadas.

Alguns estudos evidenciam que a associação entre altas temperaturas e elevadas concentrações de poluentes atmosféricos pode gerar um incremento

das hospitalizações, atendimentos de emergência, consumo de medicamentos e taxas de mortalidade.<sup>62</sup> A interação entre poluição e clima também deve ser considerada como fator de risco para as doenças do coração, seja como consequência de stress oxidativo, infecções respiratórias ou alterações hemodinâmicas. O aumento da temperatura também está associado ao incremento de partículas alergênicas produzidas pelas plantas, aumentando o número de casos de pessoas com respostas alérgicas e asmáticas.<sup>63,64</sup>

As condições sociais como situação de moradia, alimentação e acesso aos serviços de saúde são fatores que aumentam a vulnerabilidade de populações expostas aos episódios das mudanças climáticas, que somados à exposição a poluentes atmosféricos, poderá apresentar efeitos sinérgicos com agravamento de quadros clínicos. Em áreas sem ou com limitada infra-estrutura urbana, principalmente em países em desenvolvimento, todos esses fatores podem recair sobre as populações mais vulneráveis, aumentando a demanda e gastos de serviços de saúde.<sup>34,49</sup>

### Efeitos sobre doenças infecciosas

No caso das doenças infecciosas, os mecanismos de produção de agravos e óbitos são ainda mais indiretos

e mediados por inúmeros fatores ambientais e sociais. Dois exemplos são destacados nesse texto: a possível expansão das áreas de transmissão de doenças relacionadas a vetores e o possível aumento dos riscos de incidência de doenças de veiculação hídrica.

Diversas doenças, principalmente as transmitidas por vetores, são limitadas por variáveis ambientais como temperatura, umidade, padrões de uso do solo e de vegetação.<sup>65</sup> As doenças transmitidas por vetores constituem, ainda hoje, importante causa de morbidade e mortalidade no Brasil e no mundo. O ciclo de vida dos vetores, assim como dos reservatórios e hospedeiros que participam da cadeia de transmissão de doenças, está fortemente relacionado à dinâmica ambiental dos ecossistemas onde estes vivem. A dengue é considerada a principal doença reemergente nos países tropicais e subtropicais. A malária continua sendo um dos maiores problemas de saúde pública na África, ao sul do deserto do Saara, no sudeste asiático e nos países amazônicos da América do Sul. As leishmanioses, tegumentar e visceral, têm ampliado sua incidência e distribuição geográfica. Outras doenças, como a febre amarela, a filariose, a febre do oeste do Nilo, a doença de Lyme, e outras transmitidas por carrapato e inúmeras arboviroses, têm variável importância sanitária em diferentes países de todos os continentes. O aquecimento global

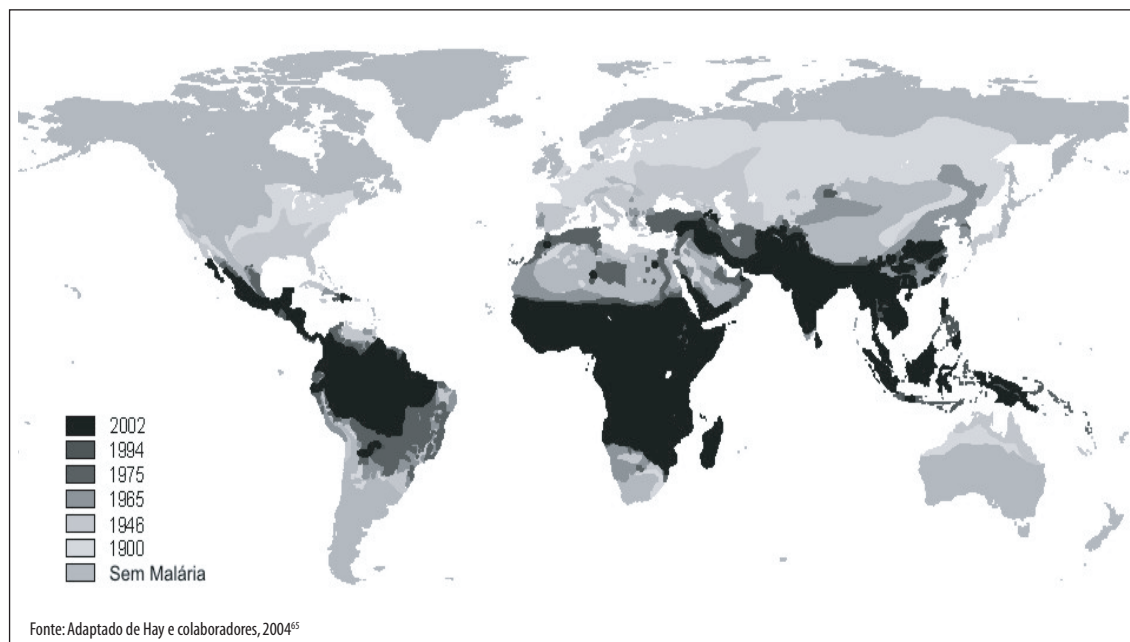


Figura 3 - Retração das áreas de transmissão de malária no Século XX

do planeta tem gerado ainda uma preocupação sobre a possível expansão da área atual de incidência de algumas doenças transmitidas por insetos.<sup>66</sup> Porém, deve-se levar em conta que são múltiplos os fatores que influenciam a dinâmica das doenças transmitidas por vetores, além dos fatores ambientais (vegetação, clima, hidrologia), como os sócio-demográficos (migrações e densidade populacional), além dos biológicos (ciclo vital dos insetos vetores de agentes infecciosos) e dos médico-sociais (estado imunológico da população; efetividade dos sistemas locais de saúde e dos programas específicos de controle de doenças, etc.) e a história da doença no lugar, estes dois últimos sempre muito esquecidos nas apressadas análises causais entre o impacto das mudanças climáticas e as doenças vetoriais.<sup>67</sup>

As doenças transmitidas por vetores, mais frequentes nos países de clima tropical, aparecem como um dos principais problemas de saúde pública que podem decorrer do aquecimento global. Vários modelos matemáticos foram construídos a fim de prever as conseqüências do aumento da temperatura sobre a malária, por exemplo.<sup>68,69</sup>

Contudo, a relação entre o clima e a transmissão da malária continua bastante complexa e pode ser modificada de acordo com os lugares que se estuda.<sup>70</sup> Pelo menos para a malária, a dengue e a febre amarela, raramente o clima foi o principal determinante para sua prevalência ou seu alcance geográfico. Ao contrário, impactos nos ecossistemas em nível local provocados por atividades humanas têm se mostrado muito mais significativos.<sup>71,72</sup> A maior parte dos modelos é baseada em dados restritos a alguns locais e variáveis ambientais vinculadas sobretudo aos vetores ou ao plasmódio, sem levar em conta os fatores sociais e de políticas de desenvolvimento e controle que são igualmente importantes na dinâmica da malária, assim como nas demais doenças vetoriais.

A história da malária, uma das doenças vetoriais mais antigas que se tem registro, mostra claramente a importância desses fatores. Devido ao seu caráter endêmico, ela foi responsável em vários momentos da história por tantas mortes quanto as guerras.<sup>73</sup> Durante quase cinco séculos, devastou grande parte da Europa e do resto do mundo (Figura 3). O pior período da transmissão dessa doença na Europa foi muito mais frio que o atual, durante a Pequena Idade do Gelo na Idade Média.<sup>74</sup> Esta época era caracterizada por

condições sanitárias bastante degradadas. A partir do século XVIII, numerosas modificações das condições de vida da população como o saneamento, as melhorias das condições de habitação, mas também as obras de drenagem, bem como as mudanças de utilização do solo e as práticas agrícolas, promoveram um recuo da malária em diversas regiões do mundo como mostra a Figura 3.<sup>65</sup> No Brasil, até a década de 1970, havia o registro de incidência da malária em diversas regiões brasileiras, passando a se reconcentrar mais recentemente na região Amazônica.<sup>75</sup>

Esses fatos mostram que a complexidade dos processos ambiente-doença deve ser considerada pelos investigadores, antes de se afirmar que a expansão da malária, assim como outras doenças vetoriais, pode ser causada diretamente pelo aquecimento climático global.

Outro grupo de doenças infecciosas que podem ser fortemente afetadas por mudanças ambientais e climáticas são as doenças de veiculação hídrica, que têm no saneamento sua principal estratégia de controle. Desde as primeiras intervenções de saneamento de grandes cidades no fim do século XIX, houve redução significativa de indicadores como a mortalidade infantil e a ocorrência de epidemias. No Brasil, tem-se observado um aumento gradual da cobertura dos serviços de abastecimento de água, que alcança hoje 91,3% da população urbana (segundo dados da PNAD de 2002). O processo de urbanização impõe as grandes redes de abastecimento de água como solução para o suprimento doméstico de água. Os excluídos desses sistemas, isto é, aqueles que se utilizam de poços e pequenos mananciais superficiais, podem obter água em quantidade e qualidade adequadas fora do perímetro das cidades. Mas nos ambientes de grande adensamento populacional essas soluções individuais apresentam grandes riscos de doenças devido à contaminação dessas fontes de água.

Ao mesmo tempo em que aumenta a cobertura dos sistemas de abastecimento de água, permanecem altas as incidências de diversas das doenças de veiculação hídrica no Brasil, como a esquistossomose, hepatite A, leptospirose, gastroenterites, entre outras. Segundo avaliações preliminares da OMS,<sup>76</sup> os problemas relacionados ao saneamento básico causam cerca de 15 mil óbitos por ano no Brasil.

Esses grandes sistemas são vulneráveis a mudanças ambientais. Há diversos relatos de surtos de doenças

de veiculação hídrica transmitidos pelo sistema de distribuição de água no mundo.<sup>77,78</sup> A expansão destes sistemas, neste caso, pode atuar também como meio de amplificação de riscos. A decadência dos serviços públicos de saneamento na Rússia tem promovido um aumento de riscos associados à distribuição de água devido à precariedade destes sistemas.<sup>79</sup> O sistema de abastecimento, neste caso, funciona mais como veículo de difusão de agentes infecciosos que como fator de proteção das populações.<sup>78</sup> A existência de uma geração (*coorte*) de pessoas moradoras de grandes cidades que nunca tiveram contato com alguns agentes infecciosos transmitidos pela água pode tornar esses surtos acentuados, do ponto de vista epidemiológico, e graves, do ponto de vista clínico.

Segundo Lee e Schwab,<sup>80</sup> os principais problemas enfrentados hoje pelos sistemas de abastecimento de água no Terceiro Mundo são ligados à vulnerabilidade e intermitência destes sistemas, mais do que a sua cobertura. A intermitência do regime de abastecimento, por sua vez, permite a intrusão de agentes patogênicos através da água contaminada nas redes de distribuição.<sup>81</sup> A maior parte da população do Município do Rio de Janeiro (cerca de 97% dos domicílios segundo o censo demográfico de 2000) é abastecida de água pela rede geral. Por outro lado, a contaminação da rede geral de abastecimento de água por coliformes abrange a maior parte da população sob risco, representando cerca de 35% da população total do município.<sup>82</sup> Devido à conhecida heterogeneidade na ocupação do solo urbano e à acidentada topografia da cidade, os problemas com o abastecimento de água são concentrados em áreas e grupos sócio-espaciais vulneráveis.

Nesse sentido, o aquecimento e as mudanças ambientais globais podem ter conseqüências sobre as doenças de veiculação hídrica, aumentando a vulnerabilidade desses sistemas. Esse cenário de **universalização precária** dos serviços de saneamento pode agravar os riscos das populações servidas por esses sistemas. O aumento da variabilidade, tanto da qualidade quanto da quantidade de água nos mananciais, pode afetar gravemente o funcionamento dos sistemas de abastecimento de água. Esses sistemas são sujeitos à entrada de micro-organismos e à produção de surtos de doenças de veiculação hídrica. Além disso, acidentes, como o rompimento de barragens em mananciais de água, a danificação da rede ou de reservatórios de água e uma pressão de consumo devido ao aumento de temperatura

podem levar a um colapso dos sistemas de abastecimento. Mesmo em países onde o saneamento é universal e de bom funcionamento estão sendo propostas medidas para aumentar a flexibilidade e capacidade de adaptação desses sistemas frente às mudanças climáticas e ambientais, por meio do aumento do estoque de água nos domicílios e nas cidades, bem como a busca de fontes alternativas de suprimento.<sup>83</sup>

### Alternativas metodológicas para o monitoramento e preparação

A avaliação dos possíveis impactos dos processos de mudanças globais sobre a saúde é dificultada pela inadequação de metodologias tradicionais utilizadas para a análise das relações entre ambiente e saúde. Destacam-se como maiores desafios a ausência ou insuficiência de dados históricos sobre a incidência de doenças no Brasil. A maior parte dos bancos de dados nacionais foi criada nas décadas de 1980 e 1990, impedindo uma análise de tendências de longo prazo. A maior parte das previsões das condições de saúde frente a mudanças globais é produzida pela extrapolação de estudos locais e de curta duração para cenários globais e de longo prazo, o que pode gerar inúmeras incertezas e imprecisões. Os desenhos de estudos epidemiológicos de base individual parecem não ser adequados para esses problemas, uma vez que pressupõem a distinção entre grupos expostos e não-expostos, o que não é o caso dos estudos relacionados a mudanças globais.<sup>84</sup> Além disso, a dinâmica de eventos extremos também se altera em um cenário de aquecimento global, e o estudo do efeito destas condições climáticas sobre a saúde é ainda mais complexo. Por outro lado, a modelagem estatística clássica não permite incorporar relações não-lineares e estruturas de dependência entre observações, esperadas neste contexto.

Novas metodologias devem ser buscadas, o que inclui a análise de extensas séries temporais, a adoção de eventos e áreas sentinela e o uso do geoprocessamento para a análise de situações particulares de produção de agravos. Há necessidade de implementar sistemas de alerta baseados em parâmetros ambientais que possam detectar precocemente alterações nas doenças infecciosas.

Um monitoramento ambiental para aplicação em saúde abrange diversos agravos e fatores como

queimadas, desmatamentos, enchentes, urbanização, entre outros. Todos esses aspectos contribuem e serão afetados pelas mudanças climáticas. A interação entre esses fatores é complexa e carregada de incertezas. Em condições climáticas favoráveis, algumas doenças estão limitadas à proporção de suscetíveis na população e a outros fatores, como mobilidade populacional, medidas de intervenção, e condições de moradia e alimentação, que não são diretamente relacionados ao clima, mas afetam o padrão das doenças.

Uma das ferramentas úteis para monitoramento da dinâmica ambiental é o sensoriamento remoto, especificamente no Brasil, com um território extenso, com diversidade de fauna e flora e regiões de difícil acesso. Alguns satélites, de média e alta resolução espacial, porém baixa resolução temporal, são aplicados a estudos de mudanças de uso e cobertura do solo como o LANDSAT, CBERS, SPOT, IKONOS. Já os satélites de alta resolução temporal são ideais para trabalhar com o monitoramento da dinâmica climática.

Dados climáticos podem ser obtidos por medidas locais a partir de estações meteorológicas ou medidas derivadas de imagens de satélite. Dados de sensoriamento remoto podem gerar índices que substituem variáveis meteorológicas como, por exemplo, o índice de temperatura média da superfície da terra (LST) e do status da vegetação (NDVI). Um outro índice, *cold cloud duration* (CCD), obtido por satélites meteorológicos como GOES e Meteosat, é utilizado como variável indicadora de precipitação. Esses sensores têm uma resolução temporal alta, respectivamente, de 15 minutos (GOES e Meteosat), 12 horas (NOAA) e 24 horas (MODIS) e as cenas cobrem porções continentais. As informações obtidas, a tempo real dos satélites meteorológicos, GOES e Meteosat, são utilizadas nos modelos de previsão de tempo ([www.cptec.inpe.br](http://www.cptec.inpe.br)). Além disso, para a maioria desses satélites/sensores, existem dados por um período relativamente longo. Os dados do sensor AVHRR dos satélites NOAA, por exemplo, fornecem estimativas diárias de LST e NDVI desde 1981 e esses dados estão armazenados e disponíveis para análise. Pode-se, por exemplo, construir uma série temporal de ocorrências de malária e de variáveis ambientais para diversos níveis de agregação espaço-temporais, verificando sazonalidades e anomalias. Esses gráficos podem mostrar os padrões cíclicos inerentes à doença, assim como indicar fatores, como subnotificação, intervenções e correlações com fatores

ambientais.<sup>85</sup> O que se faz necessário é fornecer dados obtidos por satélite em uma escala espacial-temporal adequada ao tipo de análise. Isso ainda não existe. O ideal seria manipular esses dados disponibilizando os índices em escalas úteis, assim como os demais dados ambientais e de saúde.

As conseqüências do aquecimento global para a saúde podem ser minoradas através de medidas preventivas como, melhorar os sistemas de vigilância para que sirvam de alerta para a emergência ou reemergência de doenças infecciosas ou dos vetores. Essa medida poderia controlar a proliferação de vetores sem danos ao meio ambiente, informar ao público como se proteger, vacinar e tratar rapidamente a população em risco. Uma outra medida seria minimizar os riscos prevendo quando as condições ambientais, especificamente as climatológicas, estão favoráveis à ocorrência da doença. Nesse caso as imagens de satélite e os modelos climáticos podem ser particularmente úteis.<sup>86</sup>

Para ampliar a capacidade do setor saúde no controle das doenças transmissíveis, é necessário desenvolver novos instrumentos para a prática da vigilância epidemiológica, incorporando os aspectos ambientais, identificadores de riscos, e métodos automáticos e semi-automáticos, que permitam a detecção de surtos e o seu acompanhamento no espaço e no tempo. Isto forneceria melhores informações sobre a dinâmica das variáveis climático-ambientais envolvidas nos modelos integrados de caracterização de risco. Precisamos produzir os instrumentos necessários à antecipação e, conseqüentemente, à ampliação da capacidade preventiva do setor saúde, para que este possa otimizar suas atividades e recursos visando a prevenção das doenças, a promoção da saúde, e a minimização dos danos à população exposta a estes riscos.

A estruturação do setor saúde nos últimos anos, permitiu e ampliou, com grande competência, o sistema de registro de eventos e agravos de saúde. A estrutura hierárquica e territorial definida com o estabelecimento constitucional do SUS, em 1988, também definiu unidades espaciais de coleta de informação e o Datasus tem cumprido sua missão de organizar as bases de dados de saúde. Some-se a isso a crescente possibilidade de acesso a um conjunto bem mais amplo de dados demográficos e ambientais, como é o caso do Censo 2000, publicado pelo IBGE com a malha de setores censitários disponibilizada por município. Por outro lado os sistemas de produção sistemática

de dados climáticos e ambientais evoluíram muito nos anos recentes. O INPE, em particular, e observando uma escala nacional, tem avançado na tarefa de disponibilização de dados e informações climáticas e da situação de biomas brasileiros. Mais importante, há um alinhamento das políticas relativas aos dados produzidos na linha de caracterizá-los como um bem público e, portanto, de acesso irrestrito e gratuito. Dados dos satélites brasileiros da série CBERS (Satélite Sino-Brasileiro de Sensoriamento Remoto da Terra - <http://www.cbears.inpe.br/>) têm suas imagens distribuídas pela Internet e sem custos. Os dados de modelos e informações climáticas são produzidos e distribuídos pelo CPTEC-INPE sob a mesma política.

Em tempos de mudanças globais, uma das mais importantes e necessárias é a alteração nas políticas institucionais, em escala global e local, para o acesso aos dados ambientais, imagens de satélite, dados de tempo e clima e informações sócio-demográficas com registro de localização em coordenadas geográficas que possam ser incorporadas nas análises e na produção de mapas em saúde. A capacidade brasileira de geração de dados com referência espaço-temporal cresceu muito. O que não avançou como desejado foram as políticas de acesso. Dados espaciais com função social, geodados, precisam ser liberados (*Habeas Data*), estabelecendo uma possibilidade de acesso integrado entre os sistemas de informação de saúde e os sistemas de informações climático-ambientais. Mais que isso, é preciso uma nova compreensão, mais abrangente, para os sistemas de informação de saúde (SIS). Para os novos desafios da vigilância em saúde de base territorial, ter acesso aos dados de natureza climática e ambiental de modo mais direto é essencial. Trabalhar esta integração é fundamental para o setor saúde. Não é uma integração somente tecnológica, exige um esforço multi-institucional e a formação de recursos humanos na saúde com capacidade para produzir, coletar, armazenar, recuperar, tratar e analisar estes dados e informações.

No entanto, a capacidade brasileira de analisar este conjunto de dados, em várias escalas e unidades espaciais, ainda é bem menor que a nossa capacidade de produzi-los. É preciso estabelecer novos métodos de análise espaço-tempo, que permitam detectar os padrões e as alterações na ocorrência de múltiplos eventos, em apoio à vigilância epidemiológica de base territorial.<sup>87-96</sup> No campo das Tecnologias da

Informação (TI), as geotecnologias permitem analisar e reconhecer padrões espaço-temporais de dados provenientes de fontes diversas. São estes padrões que podem revelar processos, cujas estruturas se buscam detectar, monitorar e visualizar.

Para vencer este desafio, é necessário compartilhar trabalhos, dados, metodologias, *softwares* e resultados. Esse uso compartilhado se desenvolve com base em três linguagens comuns: a primeira, a do espaço, a informação que permite localizar os elementos de análise nos territórios; a segunda, a metodológica, que posiciona o problema como tendo muitas dimensões e permite superar a armadilha da redução a uma determinação unicamente ambiental, ou uma determinação social ou uma determinação biológica exclusiva para o processo saúde-doença em investigação; a terceira é a técnico-científica, que apresenta a necessidade de novos métodos e instrumentos para tratar um problema intrinsecamente complexo.

São necessários Sistemas de Informação Sócio-Ambientais para a Saúde do nível local ao nacional. Estes sistemas não devem contemplar somente os dados e indicadores, mas incluir as tecnologias de suporte como os Bancos de Dados Geográficos, Sistemas de Informação Geográfica e Análise Espaço-Temporal, e capacidade de incorporar estas novas técnicas e metodologias na dinâmica dos serviços, no contexto do controle de endemias.

Em um contexto de mudanças climáticas e ambientais globais, em que as incertezas sobre a natureza de seu impacto na escala dos ecossistemas locais se somam às complexidades das novas realidades de um Brasil urbano, sugerem novas questões no enfrentamento do velho problema das doenças transmissíveis no contexto da saúde pública. A sinergia existente entre os processos sociais e os ecossistemas sobre os quais eles se desenvolvem, associada à persistência de condições inadequadas de vida, tem possibilitado a proliferação de doenças endêmicas em novos contextos. A leptospirose é um bom exemplo, com dois perfis distintos de ocorrência. Na situação endêmica, os grupos populacionais atingidos são os mais carentes, graças ao modo de transmissão baseado no contato com urina de rato, que pressupõe condições de saneamento extremamente precárias. No entanto, com as enchentes causadas por chuvas intensas, ainda que estas atinjam também populações carentes, a doença tem um raio de risco muito ampliado.<sup>97</sup>

O mesmo ocorre com a transmissão de dengue, de filariose e da leishmaniose visceral, todas ocorrendo em grandes cidades brasileiras, algumas atingindo os mesmos grupos populacionais, todas transmitidas por vetores, outras com reservatórios animais importantes, cada uma das quais com diferentes características, mas sobre as quais não se podem isolar os efeitos do controle de cada uma sobre as demais. Dois são os aspectos fundamentais para o enfrentamento destes problemas: a capacidade de detecção, registro e acompanhamento precoce de número de casos e local de sua ocorrência, e a identificação e modelagem de fatores de risco e de proteção nas situações endêmica e epidêmica para estes territórios.

### **Conclusões**

#### **Um olhar além das mudanças climáticas**

O setor saúde se encontra frente a um grande desafio. As mudanças climáticas ameaçam as conquistas e os esforços de redução das doenças transmissíveis e não-transmissíveis. Ações para construir um ambiente mais saudável poderiam reduzir um quarto da carga global de doenças, e evitar cerca de 13 milhões de mortes prematuras.<sup>98</sup> Do ponto de vista epidemiológico, se as mudanças climáticas representam uma série de exposições a diversos fatores de risco, a causa mais distal dessas exposições é a alteração do estado ambiental devido à acumulação de gases do efeito estufa. Isso significa que não é possível a curto prazo evitar essas exposições. As modificações que se possam promover para alterar esse quadro no nível global podem consumir décadas para se obter um efeito estabilizador do clima. Portanto, o setor saúde deve tomar medidas e intervenções de “adaptação”, para reduzir ao máximo os impactos via ambiente que, de outra maneira serão inevitáveis. Essa adaptação deve começar por: discussões intersetoriais, uma vez que as ações (inclusive de luta contra a emissão de gases e redução do consumo) dos outros setores que afetam as ações do setor saúde; investimento estratégico em programas de proteção da saúde para populações ameaçadas pelas mudanças climáticas e ambientais, como sistemas de vigilância de doenças transmitidas por vetores, suprimento de água e saneamento, bem como a redução do impacto de desastres. Por outro lado, os determinantes das mudanças climáticas globais podem somente ser superados a longo prazo,

com medidas de “mitigação”. Também nesse caso, o setor saúde pode ter um papel importante. Deve-se ressaltar que o modelo de desenvolvimento e a própria produção de energia causam mudanças climáticas, mas também problemas de saúde através da poluição do ar, que resulta em mais de 800 mil óbitos por ano; acidentes de trânsito, que causam 1,2 milhões de óbitos por ano e a redução da atividade física, que resulta em 1,9 milhões de óbitos por ano.<sup>99</sup> Isto significa que uma mudança na infra-estrutura de produção, consumo e circulação pode representar uma redução de emissões de gases efeito estufa, por uma parte, e por outro lado, a diminuição de várias causas importantes de mortalidade.

O mundo vem passando por mudanças que não estão limitadas apenas a aspectos climáticos. Paralelos aos processos de mudanças climáticas, vem se acelerando a globalização (aumentando a conectividade de pessoas, mercadorias e informação), as mudanças ambientais (alterando ecossistemas, reduzindo a biodiversidade e acumulando no ambiente substâncias tóxicas) e a precarização de sistemas de governo (reduzindo investimentos em saúde, aumentando a dependência de mercados e aumentando as desigualdades sociais). Os riscos associados às mudanças climáticas globais não podem ser avaliados em separado desse contexto. Ao contrário, deve-se ressaltar que os riscos são o produto de **perigos e vulnerabilidades**, como costumam ser medidos nas engenharias. Os perigos, no caso das mudanças globais, são dados pelas condições ambientais e pela magnitude de eventos. Já as vulnerabilidades são conformadas pelas condições sociais, marcadas pelas desigualdades, as diferentes capacidades de adaptação, resistência e resiliência. Uma estimativa de vulnerabilidade das populações brasileiras apontou o Nordeste como uma região mais sensível a mudanças climáticas devido a baixos índices de desenvolvimento social e econômico.<sup>98</sup> Essas avaliações são baseadas no pressuposto de que grupos populacionais com piores condições de renda, educação e moradia sofreriam os maiores impactos das mudanças ambientais e climáticas. No entanto, como ressalta Guimarães,<sup>100</sup> as populações mais pobres nas cidades e no campo têm demonstrado uma imensa capacidade de adaptação, uma vez que já se encontram excluídas de sistemas técnicos. Se a vulnerabilidade é maior entre pobres, não se pode afirmar que a parcela incluída e mais afluente da sociedade esteja isenta de riscos, ao

contrário, sua capacidade de resposta (imunológica e social) é mais baixa.

A possível expansão de áreas de transmissão de doenças não pode ser compreendida como um regresso de doenças como a malária, febre amarela, dengue, leptospirose, esquistossomose entre outras. Ou melhor, a possibilidade de retorno dessas doenças se dá sobre bases históricas completamente distintas daquelas existentes no século XIX. As transformações sociais e tecnológicas ocorridas no mundo nas últimas décadas permitem antever que essas doenças adquiriram, ao longo dessas décadas, outras características, além dos fatores biológicos intrínsecos. A possibilidade de prevenir, diagnosticar e tratar algumas pessoas e excluir outras desses sistemas aprofundou as diferenças regionais e sociais de vulnerabilidades e transformou as desigualdades sociais num importante diferencial de riscos ambientais. Cabe ao setor saúde não só prevenir esses riscos fornecendo respostas para os impactos causados pelas mudanças ambientais e climáticas, mas atuar na redução de suas vulnerabilidades sociais, através de mudanças no comportamento individual, social e político, por um mundo mais justo e mais saudável.

## Agradecimentos

O autores agradecem as contribuições dos participantes e organizadores da Oficina de Trabalho sobre

Mudanças climáticas globais, produção e propagação de doenças, realizada durante a 7ª Mostra Nacional de Experiências Bem-Sucedidas em Epidemiologia, Prevenção e Controle de Doenças – EXPOEPI, promovida pela SVS em novembro de 2007: Aderita R. Martins de Sena (CGVAM/SVS/MS), Ana Emilia Oliveira de Andrade (Devep/SVS/MS), Ana Nilce Silveira Maia (Devep/SVS/MS), André Fenner (CGVAM/SVS/MS), Caio Augusto dos Santos Coelho (CPTEC/INPE), Carlos Corvalan (OPAS/OMS), Cristiane Penaforte N. Dimech (Devep/SVS/MS), Eduardo Hage Carmo (Devep/SVS/MS), Eliane Lima e Silva (CGVAM/SVS/MS), Fabiana de Oliviera Sá (CGVAM/SVS/MS), George Santiago Dimech (CIEVS/SVS/MS), Guilherme Abbad Silveira (CGPNCM/SVS/MS), Guilherme Franco Netto (CGVAM/SVS/MS), Helen da Costa Gurgel (CGVAM/SVS/MS), Joaquim G. Aleixo (GDF/SES/VE), Juliana Watzasek Rulli Villardi (CGVAM/SVS/MS), Mara Lucia Carneiro Oliveira (OPAS/OMS), Marge Tenorio (SCTIE/Decit/MS), Maria Aparecida de Oliveira (CGVAM/SVS/MS), Maurício Lima Barreto (ISC-UFBA), Micheline de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho (Inmet-SP), Nicolas Degallier (IRD), Noely Fabiana Oliveira de Moura (CIEVS/SVS/MS), Paulo Sabroza (Fiocruz-RJ), Paulo Sérgio Lúcio (DEST/CCET/UFRN), Pedro Luiz Tauil (SBMT-UNB-DF), Perciliana Joaquina B. Carvalho (TO/Sesau/DVE), Rita de Cássia Barradas Barata (FCM Santa Casa-SP), Talita Leal Chamone (SES/MG).

## Referências

1. World Health Organization. Potential health effects of climatic change. Report of a WHO Task Group, Doc. WHO/PEP/90.10. Geneva: WHO; 1990.
2. Intergovernmental Panel on Climate Change [homepage on the Internet]. Washington DC: IPCC; 2007 [cited 2007 Feb.]. Available from: <http://www.ipcc.ch>.
3. Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Climate Change: 2007: the Physical Science Basis. Summary for Policemakers. IPCC WGI Fourth Assessment Report; 2007.
4. McMichael AJ. Global climate change and health: an old story writ large. In: McMichael AJ, Campbell-Lendrum DH, Corvalan CF, Ebi KL, Githenka A, Scheraga JD, et al, editors. Climate change and human health. Risks and responses. Geneva: WHO; 2003. p. 1-17.
5. McMichael AJ. From hazard to habitat: rethinking environment and health. *Epidemiology* 1999;10(4):460-464.
6. Marengo JA. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília: MMA; 2007.
7. Gerten D, Schaphoff S, Haberlandt U, Lucht W, Sitch S. Terrestrial vegetation and water balance - hydrological evaluation of a dynamic global vegetation model. *Journal of Hydrology* 2004;286(1-4):249-270.
8. Nobre CA, Sampaio G, Salazar L. Mudanças climáticas e Amazônia. *Ciência e Cultura* 2007;59(3):22-27.
9. Nordell B. Global warming is large-scale thermal energy storage. In: *Thermal Energy Storage for*



- Sustainable Energy Consumption Fundamentals, Case Studies and Design. Springer Netherlands; 2007. p. 75-86.
10. Campbell-Lendrum D, Corvalán C. Climate change and developing-country cities: implications for environmental health and equity. *Journal of Urban Health* 2007;84(1):109-117.
  11. Trenberth KE. The definition of El Niño. *Bulletin of the American Meteorological Society* 1997;78(12): 2771-2777.
  12. Sampaio G. O El Niño e você - o fenômeno climático. São José dos Campos: Transtec Editorial; 2000.
  13. Instituto de Pesquisas Espaciais, Centro de Previsão do Tempo e Estudo do Clima. El Niño e La Niña [monografia na Internet]. São José dos Campos: INPE; 2006. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/enos/>.
  14. Sari Kovats R. El Niño and human health. *Bulletin of the World Health Organization* 2000;78(9): 1127-1135.
  15. Organización Panamericana de la Salud. Crónicas de desastres: Fenómeno El Niño 1997-1998. Washington DC: OPS; 2000.
  16. Githeko AK, Lindsay SW, Confalonieri UE, Patz JA. Climate change and vector-borne diseases: a regional analysis. *Bulletin of the World Health Organization* 2000;78(9):1136-1147.
  17. Gagnon AS, Smoyer-Tomic KE, Bush ABG. The El Niño Southern Oscillation and malaria epidemics in South America. *International Journal of Biometeorology* 2002;46(2):81-89.
  18. Basher R, Cane M. Climate variability, climate change and malaria. In: Casman EA, Dowlatabadi H. The contextual determinants of malaria. Washington DC: RFF Press; 2002. p. 189-215.
  19. Thomson MC, Abayomi K, Barnston AG, Levy M, Dilley M. El Niño and drought in southern Africa. *The Lancet* 2003;361(9355):437-438.
  20. Dessay N, Laurent H, Machado LAT, Shimabukuro YE, Batista GT, Diedhiou A, et al. Comparative study of the 1982-1983 and 1997-1998 - El Niño events over different types of vegetation in South America. *International Journal of Remote Sensing* 2004;25(20):4063-4077.
  21. Kiladis GN, Mo KC. Interannual and intraseasonal variability in the Southern Hemisphere. In: *Meteorology of the Southern Hemisphere*. American Meteorological Society; 1998. p. 307-336.
  22. Cunningham CAC, Cavalcanti IFA. Intraseasonal modes of variability affecting the South Atlantic Convergence Zone. *International Journal of Climatology* 2006;26(9):1165-1180.
  23. Projeto PRODES. Monitoramento da Floresta Amazônica por satélite [monografia na Internet]. PRODES; 2005 [acessado 2007 out. 10]. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.html>.
  24. Becker B. Amazônia: geopolítica na virada do III milênio. São Paulo: Ed. Garamond; 2004.
  25. Santos Júnior RAO, Léna PM, Geffray C. Avant-Propos. In: *L'oppression Paternaliste au Brésil*. Paris: Lusotopie; 1996. v. 3.
  26. Araujo R. The drug trade, the black economy and society in Western Amazonia. *International Social Science Journal* 2001;53(3):451-457.
  27. Fearnside PM. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. *Acta Amazônica* 2006;36(3):395-400.
  28. Soares-Filho BS, Nepstad D, Curran L, Cerqueira G, Garcia RA, Ramos CA, et al. Cenários de desmatamento para Amazônia. *Estudos Avançados* 2005;19(54):138-152.
  29. Escada MIS, Vieira ICG, Kampel SA, Araújo R, Veiga JB, Aguiar APD, et al. Processo de ocupação nas novas fronteiras da Amazônia: o interflúvio do Xingu/Iriri. *Estudos Avançados* 2005;19:9-23.
  30. Câmara G, Aguiar APD, Escada MIS, Amaral S, Carneiro T, Monteiro AMV, et al. Amazon deforestation models. *Science* 2005;307(15):1043-1044.
  31. Evans TP, Moran E. Spatial integration of social and biophysical factors related to landcover change. *Population and Development Review* 2002;Suppl 28:165-186.
  32. Artaxo PJV, Martins MA, Yamasoe AS, Procópio TM, Pauliquevis MO, Andreae P, et al. Physical and chemical properties of aerosols in the wet and dry season in Rondônia, Amazonia. *Journal of Geophysical Research* 2002;107(D20):49.1-49.14.
  33. Bulbovas P, Souza SR, Moraes RM, Luizão F, Artaxo P. Plântulas de soja 'Tracajá' expostas ao ozônio sob condições controladas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 2007;42(5):641-646.

34. Intergovernmental Panel on Climate Change. The Science of Climate Change – The Scientific Basis – Contribution of Working Group 1 to the IPCC. The assessment report. Cambridge Univ; 2001.
35. Freitas SR, Longo KM, Dias MAFS, Dias PLS, Chatfield R, Prins E, et al. Monitoring the transport of biomass burning emissions in South America. *Environmental Fluid Mechanics* 2005;5(1-2):135-167.
36. Andreae MO. Biomass burning: its history, use and distribution and its impact on environmental quality and global climate. In: Levine JS, editor. *Global Biomass Burning: atmospheric, climatic and biospheric implications*. Cambridge: MIT Press; 1991. p. 3-21.
37. Nepstad D, Lefreve P, Silva UL, Tomasella J, Schlesinger P, Solorzano L, et al. Amazon drought and its implications for forest flammability and tree growth: a basin-wide analysis. *Global Change Biology* 2004;10:704-717.
38. Guenthe A, Hewitt CN, Erickson D, Fall R, Geron C. A global model of natural volatile organic compound emissions. *Journal of Geophysical Research* 1995;100:8873-8892.
39. Andreae MO, Crutzen PJ. Atmospheric aerosols: biogeochemical sources and role in atmospheric chemistry. *Science* 1997;276:1052-1058.
40. Lioussé C, Cachier H, Grégoire JM, Penner J, Lavoué D, Hobbs P, et al. Deriving global quantitative estimates for spatial and temporal distributions of biomass burning emissions. In: Granier C, Artaxo P, Reeves C, editors. *Emissions of trace gases and aerosols into the atmosphere*. London: Kluwer Academic Publishers; 2004.
41. Andreae MO, Artaxo P, Brandão C, Carswell FE, Ciccioli P, Costa AL, et al. Biogeochemical cycling of carbon, water, energy, trace gases and aerosols in Amazonia: the LBA-EUSTACH experiments. *Journal of Geophysical Research* 2002;107(D20):33-25.
42. Artaxo P, Gatti IV, 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):185-196.
43. Guyon P, Graham B, Roberts GC, Mayol-Bracero OL, Maenhaut W, Artaxo P, et al. Sources of optically active aerosol particles over the Amazon forest. *Atmospheric Environment* 2004;38(7):1039-1051.
44. Yamasoe EMA, Artaxo P, Miguel AH, Allen AG. Chemical composition of aerosol particles from direct emissions of vegetation fires in the Amazon Basin: water-soluble species and trace elements. *Atmospheric Environment* 2000;34:1641-1653.
45. Eck TF, Holben BN, Slutsker I, Setzer A. Measurements of irradiance attenuation and estimation of aerosol single scattering albedo for biomass burning aerosols in Amazonia. *Journal of Geophysical Research - D: Atmospheres* 1998;103(24):31865-31878.
46. Freitas SR. Modelagem numérica do transporte e das emissões de gases traços e aerossóis de queimadas no Cerrado e Floresta Tropical da América do Sul [tese de Doutorado]. São Paulo (SP): Universidade de São Paulo; 1999.
47. Freitas SR, Silva Dias MAF, Silva Dias PL, Longo KM, Artaxo P, Andreae MO, et al. A convective kinematic trajectory technique for low-resolution atmospheric models. *Journal of Geophysical Research* 2000;105(D19):24375-24386.
48. McMichael AJ, Woodruff RE, Hales S. Climate change and human health: present and future risks. *The Lancet* 2006;367:859-869.
49. Martins MCH, Fatigati FL, Vespoli TC, Martins LC, Pereira LAA, Martins MA, et al. Influence of socioeconomic conditions on air pollution adverse health effects in elderly people: an analysis of six regions in Sao Paulo, Brazil. *Journal of Epidemiology and Community Health* 2004;58(1):41-46.
50. Moreno AR. Climate change and human health in Latin America: drives, effects and policies. *Environmental Change* 2006;6:157-164.
51. Pope CA III, Thun MJ, Namboodiri MM, Dockery DW, Evans JS, Speizer FE, et al. Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S. adults. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 1995;151:669-674.
52. Organización Panamericana de la Salud. Evaluación de los efectos de la contaminación del aire en la salud América Latina y el Caribe. Washington DC: OPS; 2005.
53. Anderson HR, Ponce de Leon A, Bland JM, Bower JS, Strachan DP. Air pollution and daily mortality in London: 1987-92. *British Medical Journal* 1996;312(7032):665-669.
54. Rumel D, Riedel LF, Latorre MR, Duncan BB. Myocardial infarct and cerebral vascular disorders

- associated with high temperature and carbon monoxide in a metropolitan area of southeastern Brazil. *Revista de Saúde Pública* 1993;27(1):15-22.
55. Cifuentes LA, Borja-Aburto VH, Gouveia N, Thurston G, Davis DL. 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* 2001;109 Suppl 3:419-425.
  56. Gouveia N, Freitas CU, Martins LC, Marcilio IO. Respiratory and cardiovascular hospitalizations associated with air pollution in the city of Sao Paulo, Brazil. *Cadernos de Saúde Pública* 2006;22(12):2669-2677.
  57. Saldiva PH, Lichtenfels AJ, Paiva PS, Barone IA, Martins MA, Massad E, et al. Association between air pollution and mortality due to respiratory diseases in children in Sao Paulo, Brazil: a preliminary report. *Environmental Research* 1994;65(2):218-225.
  58. Ministério da Ciência e Tecnologia. Inventário nacional de emissões de gases de efeito estufa. Brasília: MCT; 2005.
  59. Ribeiro H, Assunção JV. Efeitos das queimadas na saúde humana. *Estudos Avançados* 2002;16(44):125-148.
  60. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais. Ibama [dados na Internet]. Brasília: Ibama [acessado 2007 out. 22]. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/proarco>.
  61. Mourão DS, Viana L, Hacon S, Barcellos C. Impacto das emissões de queimadas para a saúde em duas áreas do Estado de Mato Grosso - Amazônia Legal. XV Reunião Anual de Iniciação Científica, Rio de Janeiro, 2007.
  62. United States Environmental Protection Agency. Climate Change - Health and Environmental Effects [monography on the Internet]. EPA [cited 2007 Nov.]. Available from: <http://epa.gov/climatechange/effects/health.html>. A
  63. Zamorano A, Marquez S, Aranguis JL, Bedregal P, Sanchez I. Relación entre bronquiolitis aguda con factores climáticos y contaminación ambiental. *Revista Médica de Chile* 2003;131(10):1117-1122.
  64. United States Department of State. U.S. Climate Action Report. Washington DC; 2007.
  65. Hay SI, Guerra CA, Tatem AJ, Noor AM, Snow RW. The global distribution and population at risk of malaria: past, present and future. *Lancet Infectious Diseases* 2004;4(6):327-336.
  66. Tauil PL. Controle de doenças transmitidas por vetores no Sistema Único de Saúde. *Informe Epidemiológico do SUS* 2002;11(2):59-60.
  67. Bruce-Chwatt IJ, Zulueta J. The rise and fall of malaria in Europe, a historico-epidemiological study. Oxford: Oxford University Press; 1980.
  68. Tanser FC, Sharp B, Le Sueur D. Potential effect of climate change on malaria transmission in Africa. *Lancet* 2003;362(9398):1792-1798.
  69. Hales S, Woodward A. Climate change will increase demands on malaria control in Africa. *Lancet* 2003;362(9398):1775.
  70. Reiter P, Thomas C, Atkinson P, Hay S, Randolph S, Rogers D, et al. Global warming and malaria: a call for accuracy. *Lancet Infectious Diseases* 2004;4(6):323-324.
  71. Reiter P. Climate change and mosquito-borne disease. *Environmental Health Perspectives* 2001; 109:141-161.
  72. Rogers DJ, Randolph SE. The global spread of malaria in a future. *Warmer World Science* 2000;289(5485):1763-1766.
  73. Mouchet J, Carnevale P, Coosemans M, Julvez J, Manguin S, Richard-Lenoble D, et al. Biodiversité du paludisme dans le monde. Paris: J. Libbey Eurotext; 2004.
  74. Reiter P. Réchauffement global: paludisme en Europe? Comprendre le passé. Prévenir le futur. *Changement climatiques, maladies infectieuses et allergiques. Annales de l'Institut Pasteur/Actualités* 2003; 16: 63-89.
  75. Barata RB. Malária e seu controle. São Paulo: Hucitec; 1998.
  76. World Health Organization. Quantifying environmental health impacts [monography on the Internet]. Geneva: WHO; 2007 [cited 2007 Nov.]. Available from: [http://www.who.int/quantifying\\_ehimpacts/en](http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/en).
  77. Godoy P, Borrull C, Pala M, Caubet I, Bach P, Nuin C, et al. Brote de gastroenteritis por agua potable de suministro público. *Gaceta Sanitaria* 2003; 17(3):204-209.
  78. Winston G, Lerman S, Goldberger S, Collins M, Leventhal A. A tap water turbidity crisis in Tel Aviv, Israel, due to technical failure: toxicological and risk

- management issues. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 2003;206(3):193-200.
79. Semenza JC, Roberts L, Henderson A, Bogan J, Rubin CH. Water distribution system and diarrheal disease transmission: a case study in Uzbekistan. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 1998;59(6):941-946.
80. Lee EJ, Schwab KJ. Deficiencies in drinking water distribution systems in developing countries. *Journal of Water and Health* 2005;3(2):109-127.
81. LeChevallier M, Richard WG, Mohammad K, American Water Works Service Company, Voorhees NJ. The potential for health risks from intrusion of contaminants into the distribution system from pressure transients. *Journal of Water and Health* 2003;1(1):3-14.
82. Barcellos C, Barbosa KC, Pina MF, Magalhães MMAF, Paola JCMD, Santos SM. Inter-relacionamento de dados ambientais e de saúde: análise de risco à saúde aplicada ao abastecimento de água no Rio de Janeiro utilizando Sistema de Informações Geográficas. *Cadernos de Saúde Pública* 1998;14(3):597-605.
83. Meuleman AF, Cirkel G, Zwolsman GJ. When climate change is a fact! Adaptive strategies for drinking water production in a changing natural environment. *Water Science & Technology* 2007;56(4):137-144.
84. McMichael AJ. Population, environment, disease and survival: past patterns, uncertain futures. *Lancet* 2002;359(9312):1145-1148.
85. Kuhn K, Campbell-Lendrum D, Haines A, Cox J. Using climate to predict infectious disease epidemics. Geneva: WHO; 2005.
86. Epstein PR. Is global warming harmful to health? *Scientific American* 2000;283(2):50-57.
87. Knorr-Held L, Richardson S. A hierarchical model for space-time surveillance data on meningococcal disease incidence. *Applied Statistics* 2003;52 part 2:169-183.
88. Kulldorff M. Prospective time periodic geographical disease surveillance using a scan statistic. *Journal of the Royal Statistical Society Series A* 2001; 164(1):1-72.
89. Rogerson PA. Monitoring point patterns for the development of space-time clusters. *Journal of the Royal Statistical Society Series A* 2001;164(1):87-96.
90. Assunção RM, Potter JE, Cavenaghi S. A Bayesian Space Varying Parameter Model Applied to Estimating Fertility Schedules. *Statistics in Medicine* 2002;21 Issue 14:2057-2075.
91. Assunção RM, Reis IA, Oliveira CL. Diffusion and prediction of leishmaniasis in a large metropolitan area in Brazil: a Bayesian Space-Time Model. *Statistics in Medicine* 2001;20:2319-2335.
92. Câmara G, Monteiro AMV. Geocomputation techniques for spatial analysis: are they relevant for health data? *Cadernos de Saúde Pública* 2001;17(5):1059-1081.
93. Christensen OF, Ribeiro Jr PJ. GeoRglm: a package for generalised linear spatial models. *R-NEWS [serial on the Internet]*. 2002;2(2): 26-28. Available from: <http://www.maths.lancs.ac.uk/~christen/geoRglm>.
94. Ribeiro Jr PJ, Diggle PJ. GeoR: a package for geostatistical analysis. *R-NEWS [serial on the Internet]*. 2001;1(2):15-18. Available from: <http://www.est.ufpr.br/~paulojus/geoR>.
95. Carvalho MS, Santos RS. Análise de dados espaciais em saúde: métodos, problemas e perspectivas. *Cadernos de Saúde Pública* 2005;21(2):361-378.
96. Correia VMC, Carvalho MS, Sabroza PC, Vasconcelos C. Remote sensing as a tool to survey endemic diseases in Brazil. *Cadernos de Saúde Pública* 2004;20(4):891-904.
97. Barcellos C, Sabroza PCT. The place behind the case: leptospirosis risks associated environmental conditions in a flood-related outbreak in Rio de Janeiro. *Cadernos de Saúde Pública* 2001; 17 Supl:1-14.
98. Pruss-Ustun A, Corvalan C. Ambientes saludables y prevención de enfermedades. Ginebra: OMS; 2006.
99. Confalonieri UEC. Regional climate change and human health in South America. In: Dias PLS, Ribeiro WC, Nunes LH. A contribution to understand the regional impact of global change in South America. São Paulo: USP; 2005.
100. Guimarães RB. Health and global changes in the urban environment. In: Dias PLS, Ribeiro WC, Nunes LH. A contribution to understand the regional impact of global change in South America. São Paulo: USP; 2005.

Recebido em 20/11/2008  
Aprovado em 05/03/2009