

# CUSTOS DE SAÚDE ASSOCIADOS À POLUIÇÃO DO AR EM AMBIENTES INTERNOS: POSSIBILIDADES DA VALORAÇÃO ECONÔMICA AMBIENTAL

*Andréa Basílio Oruê Gomes*

*Mônica Yukie Kuwahara*

## Resumo

Este artigo tem por objetivo identificar os custos econômicos da poluição do ar em ambientes internos. Em termos específicos procura-se: (1) descrever as abordagens econômicas existentes para o tratamento da poluição do ar em ambientes internos; (2) descrever os efeitos da poluição do ar sobre a saúde e o bem estar humanos; e (3) identificar os métodos de valoração econômica do meio ambiente passíveis de quantificar os custos da poluição do ar em ambientes internos. Entre os procedimentos, destaca-se a revisão bibliográfica e a consulta a órgãos internacionais que definam parâmetros técnicos para a definição dos poluentes presentes no ar interno e suas conseqüências para a saúde. A análise dos métodos de valoração ambiental se baseia nos trabalhos de Ronaldo S. Motta. Identificou-se o método de valoração de vida sacrificada como capaz de captar os custos econômicos deste tipo específico de externalidade urbana.

**Palavras chave:** Poluição do ar interna, valoração econômica ambiental, externalidades

## INTRODUÇÃO

A pesquisa que originou esse artigo se preocupou com os custos econômicos associados à poluição do ar em ambientes internos, uma vez que esse tipo de poluição pode resultar em custos econômicos, com conseqüências negativas para a saúde e bem estar dos seres humanos, apesar de não receber tanta atenção quanto a poluição do ar externo. Assim, a realização de pesquisas e estudos na área de qualidade do ar de interiores, através da aplicação de métodos de valoração econômica do meio ambiente, pode contribuir de forma a compreender melhor a relação entre poluentes do ar interno e sintomas e doenças provenientes desse tipo de poluição, de forma a minimizar gastos com medicamentos, dias de trabalho perdidos e ausência de crianças da escola.

A poluição do ar em ambientes externos intensificou-se após a Revolução Industrial devido a uma maior utilização de combustíveis fósseis em processos industriais e nos meios de transporte, especialmente em áreas urbano-industriais. Em ambientes internos, uma maior utilização de aparelhos tais como ventiladores e condicionadores de ar tem como contrapartida a necessidade de se manter a qualidade do ar e sua não poluição. Assim como quando se discute a problemática da poluição do ar externa, no caso da interna também existe a necessidade da busca de soluções e abordagens interdisciplinares.

A abordagem proposta para este artigo emerge da ciência econômica, encarando o ar limpo como um bem público e sem restrições de acesso ou consumo por parte de indivíduos que não pagaram pelo

seu uso. Dada a condição de bem público que o ar assume, tal fato implica em não permitir que o bem tenha preços estabelecidos em mercado, ao mesmo tempo em que dificulta a valoração econômica da sua degradação.

Diante da problemática previamente apresentada, a presente proposta estabeleceu o seguinte problema de pesquisa: quais os custos econômicos da poluição do ar em ambientes internos? A hipótese básica é de que, apesar de constituir um bem público, o valor do ar limpo pode ser inferido dos custos indiretos causados pelo ar não limpo que se tornam benefícios da não degradação.

Para buscar responder a questão, e cumprir o objetivo geral de identificar formas de mensurar os custos econômicos da poluição do ar em ambientes internos, buscou-se, em termos específicos, descrever as abordagens econômicas existentes para o tratamento da poluição do ar em ambientes internos bem como descrever os efeitos da poluição do ar sobre a saúde e o bem estar humanos, de forma a identificar os métodos de valoração econômica do meio ambiente passíveis de quantificar os custos da poluição do ar em ambientes internos.

Para fins de cumprimento dos objetivos desta proposta, o método de investigação predominante é a revisão bibliográfica, impondo um caráter exploratório à pesquisa. Diante do caráter interdisciplinar do objeto de estudo, os procedimentos envolveram a revisão bibliográfica em diferentes áreas do saber, à busca de conceitos e abordagens para o problema que possuíssem como denominador a possibilidade de cotejamento de teorias.

Para a definição de poluentes do ar interno e seus efeitos sobre a saúde, por exemplo, buscaram-se as fontes oficiais representadas por órgãos públicos e internacionais. Os principais órgãos responsáveis pela definição de poluentes internos e suas conseqüências são o EPA – *Environmental Protection Agency* e a Organização Mundial da Saúde, que atualmente definem os principais parâmetros técnicos para a definição da qualidade do ar em ambientes internos, influenciando, portanto, o desenho das políticas ambientais.

Nos Estados Unidos a EPA, juntamente com a CPSC (*U.S. Consumer Product Safety Commission*) reuniram em um manual chamado "*The Inside Story: A Guide to Indoor Air Quality*" (1995) as principais informações relativas à poluição do ar em ambientes internos, como possíveis causas da poluição em ambientes internos e os poluentes químicos e biológicos presentes no ar interno. O manual visa estabelecer os níveis prejudiciais para a saúde humana e as medidas adequadas para que os níveis de concentração dos poluentes sejam minimizados ou, quando necessário, erradicados.

Já a Organização Mundial da Saúde (OMS), que é a agência das Nações Unidas especializada em saúde, mantém disponível em suas publicações os principais problemas relacionados com a saúde dos seres humanos devido à presença de poluentes químicos ou biológicos em ambientes internos.

Os efeitos da poluição do ar foram definidos a partir da regulamentação nacional e internacional. No caso brasileiro, as principais fontes de informação consultadas foram: (a) o Ministério da Saúde, através da Portaria nº 3523, que traz um regulamento técnico contendo medidas de limpeza de sistemas de climatização bem como os padrões da qualidade do ar para cada poluente químico, físico e biológico; (b) a Resolução nº09 publicada pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) com uma Orientação Técnica sobre padrões referenciais de qualidade do ar interno; (c) e o Inmetro que, através do Programa de Análise de Produtos, procurou verificar a conformidade do ar em alguns estabelecimentos públicos, adotando como referência a Portaria do Ministério da Saúde e a Resolução da ANVISA, na determinação de quais poluentes a serem coletados e passíveis de levantamento estatístico.

Para a identificação dos problemas de saúde causados pela poluição do ar, uma primeira referência teórica a ser citada é Derisio (2000), que em seu livro apresenta um item dedicado à poluição do ar de forma geral, definição de poluição do ar e de danos à saúde. Apesar de apresentar um foco maior

na poluição do ar externo, apresenta as definições de poluentes que também estão presentes no ar interno, como material particulado e monóxido de carbono, servindo como base técnica para compreender os efeitos à saúde dos poluentes do ar.

Gioda & Aquino Neto (2003) forneceram o histórico da regulamentação da poluição do ar interna, descrevendo portarias e resoluções existentes no Brasil além de indicar os trabalhos pioneiros sobre poluição do ar interno no país. No entanto, a descrição dos poluentes requereu consulta também a autores das ciências naturais. Em seu livro “Química Ambiental”, Baird (2002) descreve os principais poluentes do ar interno, bem como suas fontes e conseqüências para a saúde humana, baseada, na maioria das vezes, em testes realizados em animais. Suas definições têm como suporte as definições e estudos de pesquisa realizados internacionalmente de forma que a leitura de Baird (2002) associada à leitura de Derísio (2000) permitiram estabelecer um panorama geral da poluição do ar, seus efeitos e causas de modo a contribuir na identificação de métodos de valoração econômica aplicáveis a estes casos. A definição de qualidade do ar, por sua vez, foi extraída de Brickus & Aquino Neto (1999) que tem como objetivo mostrar o histórico da poluição do ar no Brasil e no mundo e a partir deste histórico, definem a qualidade do ar bem como os indicadores para uma qualidade do ar de interiores.

Para identificar os métodos de valoração, a revisão bibliográfica baseou-se nos trabalhos de Ronaldo Serôa da Motta, especialista em valoração do Instituto de Pesquisa Econômica (IPEA) e autor da principal obra de referência sobre valoração econômica ambiental. A partir de Serôa da Motta, buscaram-se trabalhos com a descrição de aplicações práticas destes métodos em Anais de congressos ambientais, priorizando os trabalhos divulgados pela Sociedade de Economia Ecológica - ECOECO, e os trabalhos apresentados nos Encontros de Gestão Empresarial e Meio Ambiente (ENGEMA).

O resultado deste esforço de reflexão apresenta-se em três itens. No primeiro apresenta-se um panorama do debate sobre sustentabilidade, indicando a forma como o tema foi configurando uma agenda de pesquisa na área econômica. No segundo item buscam-se identificar os efeitos decorrentes da presença de poluentes no ar interno, como os sintomas e as doenças mais comuns. No terceiro e último item são apresentados os métodos de valoração econômica ambiental e as possibilidades de aplicação de cada um dos métodos para a poluição do ar interno, bem como a apresentação do método de vida sacrificada como uma possibilidade de valoração dos custos econômicos decorrentes da poluição do ar.

Entre as principais conclusões do trabalho destaca-se a quase que ausência de informações sobre os efeitos da poluição do ar interno sobre a saúde das pessoas que, normalmente, associam seus males a outras causas, tais como gripes e resfriados, e não identificam na poluição do ar uma possível fonte de males. Esta dificuldade de percepção das pessoas é um dos fatores que pode comprometer a aplicação do método de valoração contingente de modo que, nesta pesquisa, o método que acabou por se mostrar factível de aplicação foi o de vida sacrificada.

## **1. POLUIÇÃO DO AR EM AMBIENTES INTERNOS:** contexto histórico e teórico do debate da sustentabilidade

Neste primeiro item, procura-se caracterizar a poluição do ar em ambientes internos, abordando quais os poluentes mais comuns, suas origens, níveis de concentração e níveis oficialmente permitidos. O item apresenta-se dividido em três sub-itens. No primeiro, um breve histórico do debate sobre a incorporação do tema da poluição do ar interno no conjunto das preocupações ambientais. No segundo, as principais abordagens econômicas para a questão da poluição são descritas e no sub-item final, a definição de poluição do ar propriamente dita é estabelecida.

### **1.1. Poluição do ar interno: problema recente?**

Na década de 70, o Brasil passou por um período de grande crescimento econômico, chamado Milagre Econômico. Durante esse período, houve uma mudança na tendência da construção dos edifícios que passaram a ter menos aberturas para a ventilação (INMETRO, 2002). Esta tendência de prédios fechados e de maior vedação térmica parece ser decorrente da necessidade de reduzir a amplitude térmica nos interiores, assim como do estilo arquitetônico do período e, também, uma resposta às edificações cada vez mais verticalizadas (BRICKUS; AQUINO NETO, 2003).

Os sistemas de ar condicionado necessitavam, assim, de uma automatização para que variáveis como a “temperatura” fossem passíveis de controle, mas com um conseqüente aumento no nível dos poluentes internos, devido à baixa troca de ar interno com o externo (INMETRO, 2002).

Apesar dos efeitos deletérios sobre a saúde humana da poluição do ar interna, é a poluição do ar externa que ganhou mais espaço nos meios de comunicação e na comunidade científica. Em parte, esta exposição do tema se deve às repercussões da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, conhecida como Cúpula da Terra ou como Rio-92 que ocorre no Brasil, aumentando a percepção ambiental da sociedade brasileira nos anos 90, reconhecendo a mudança do clima como preocupação comum da humanidade (PEREIRA; MAY, 2003). Apesar de importante, a Convenção apenas tratou de assuntos relacionados com a mudança climática, que é um problema ligado à poluição do ambiente externo. A poluição do ar em ambientes internos, apesar de ser tão ou mais danosa à saúde humana, não foi discutida durante a RIO-92.

Embora o aumento da percepção ambiental da década de 90 tenha se elevado, há uma ausência de informações sobre poluição do ar interno, justificada principalmente por três fatores. O primeiro deles diz sobre a atenção destinada às mudanças climáticas e ao Protocolo de Kyoto, seus mecanismos de flexibilidade e suas aplicações. Outro fator importante associado à ausência de informações sobre poluição do ar em ambientes internos é a falta da capacidade de percepção dos impactos causados pelos poluentes do ar de interiores. De acordo com a Agência Norte-americana de Proteção Ambiental (1995) – EPA - *Environmental Protection Agency*, os sintomas relacionados com a poluição do ar interno podem ser de curto ou de longo prazo, sendo que seus efeitos imediatos e também os de longo prazo estão quase sempre associados a viroses comuns, como gripes e resfriados, dificultando a determinação da associação entre os sintomas e a poluição de ambientes interiores, sendo que a maneira mais eficiente de se perceber se os sintomas são realmente provocados pelos poluentes internos é estar sempre atento sobre a hora e o local onde os sintomas aparecem.

A EPA (1995) afirma ainda que alguns outros sintomas podem ser agravados em decorrência de uma má manutenção de sistemas de aquecimento e refrigeração e pelas condições de umidade no interior dos ambientes. A falta de um mecanismo preciso dos impactos causados pela poluição do ar interno sobre a saúde humana é reconhecida pela OMS (2005) que, apesar desse fato, tem realizado pesquisas nessa área como forma de alertar os governos sobre a importância de mais incentivos destinados à pesquisa e estudos sobre poluição do ar interno e suas conseqüências.

No Brasil, entretanto, a existência de pesquisas e estudos na área da poluição de ambientes internos é recente e pouco explorada. Esse fato é atribuído às diferenças existentes nos países desenvolvidos onde são realizadas a maior parte das pesquisas. Essas pesquisas realizadas sobre poluição do ar interno e suas conseqüências provêm de países de clima frio, onde há uma maior necessidade de sistemas de aquecimento e refrigeração. No Brasil, por se tratar de um país com clima subtropical, é pouca a necessidade de refrigeração e calefação constantes. Os edifícios hermeticamente fechados do Brasil têm como objetivo satisfazer fatores como um menor nível de ruído, climatização e estética no interior dos edifícios, adotando assim um sistema de ar condicionado central (BRICKUS; AQUINO NETO, 2003).

A OMS, em uma publicação denominada “*The health effects of indoor air pollution exposure in developing countries*” (2002), afirma que, em geral, o problema da poluição do ar em ambientes

internos é atribuído comumente à urbanização e à industrialização e também às cidades dos países desenvolvidos, mas que os piores casos de poluição em ambientes internos, atualmente, verificam-se nos países em desenvolvimento.

Dessa forma, apesar da Qualidade do Ar de Interiores ter surgido como ciência há poucas décadas, os efeitos negativos até o momento reconhecidos da poluição do ar de ambientes internos sobre a qualidade de vida de freqüentadores e residentes de prédios, escritórios e residências possivelmente contaminados nos indicam a necessidade da ampliação de estudos na área, de forma a garantir melhoria na saúde e bem-estar dos indivíduos, bem como a redução das taxas de mortalidade e morbidade associadas à poluição interna.

## 1.2. Abordagens teóricas para a poluição do ar

O ar possui várias formas de uso, como o uso metabólico natural pelos seres humanos, animais e vegetais, atuando também como receptor e meio de transporte dos resíduos das atividades realizadas pelo homem. Assim, a poluição do ar surge a partir do momento em que o ar, dada a sua disponibilidade, é utilizado de forma não controlada principalmente em áreas geográficas limitadas ou confinadas (DERISIO, 2000).

Pindyck e Rubinfeld (2002) e Varela (2001) definem externalidades como os resultados das atividades de produção e consumo que implicam em benefícios ou custos sobre outros agentes, mas que não são refletidos diretamente no mercado, configurando-se como falha no sistema de preços. As externalidades podem aparecer entre consumidores, produtores ou entre consumidores e produtores e ser positivas ou negativas. Externalidades negativas são aquelas resultantes da ação de uma das partes que impõe custos à outra (PINDYCK; RUBENFELD, 2002). O uso indiscriminado do recurso natural "ar", as ações que geram a sua poluição, bem como de outros recursos naturais, podem ser considerados exemplos de externalidades negativas (VARELA, 2001).

Externalidades necessitam de correção, haja vista consistirem falhas no sistema de preços, comprometendo a capacidade de decisão dos agentes econômicos. A existência da poluição do ar configura uma externalidade negativa, fazendo necessária a adoção de um instrumento de política ambiental, que deve ser aplicado corretamente, tarefa não trivial aos gestores de política ambiental. A dificuldade na adoção do instrumento correto deve-se ao fato de que recursos naturais como o ar são bens de propriedade comum, que não têm direitos de propriedade bem definidos (VARELA, 2001) e podem ser utilizados sem a necessidade de pagamento pelo uso do recurso (PINDYCK; RUBENFELD, 2002).

A existência de um grande número de empresas e indivíduos envolvidos em mercados onde há a presença de externalidades, somada à existência de bens de propriedade comum, imprime ao governo papel fundamental como agente promotor de acordo entre as partes, de forma que haja a internalização das externalidades, ou seja, para que os custos dos problemas ambientais sejam internalizados (VARELA, 2001), favorecendo processos onde a sustentabilidade possa ser alcançada.

Ainda de acordo com Varela (2001), vários são os instrumentos que ajudam a gerir os problemas ambientais, podendo ser instrumentos de políticas que atuam sobre quantidades, tais como os de comando e controle, ou que atuam sobre custos, como os incentivos econômicos. As políticas de comando e controle são aquelas que não permitem outras soluções para o agente econômico na solução do problema ambiental, ou seja, não é um mecanismo que permite uma flexibilidade na tentativa de encontrar soluções ambientais e, via de regra, são determinadas legalmente.

De acordo com Serôa da Motta e Reis (*apud* VARELA, 2001, p.8) essas políticas são realizadas via regulação direta e indireta, adoção de legislação e normas, sendo as regulações no Brasil divididas basicamente em quatro categorias, a saber: padrões ambientais de qualidade e de emissão, controle do uso do solo (saneamento e áreas de proteção), licenciamento que exige estudo e relatório de

impacto ambiental (EIA e RIMA, respectivamente) e através de multas ou compensações, como forma de penalidades. Os instrumentos previstos pela política de comando e controle são os padrões de emissão, o zoneamento, as cotas não transferíveis e o controle de equipamentos, processos e insumos (VARELA, 2001).

Os mecanismos que prevêm uma maior flexibilidade para que não haja comprometimento da eficiência das soluções ambientais são os incentivos de mercado. Os incentivos de mercado têm como objetivo, além da possibilidade de flexibilidade para as partes envolvidas, diminuir a regulamentação e os custos de se controlar os problemas ambientais, estimulando um desenvolvimento tecnológico mais limpo (VARELA, 2001). Entre os instrumentos previstos pelos incentivos de mercado estão as taxas e tarifas, sistemas de restituição de depósitos, subsídios a processos produtivos menos poluentes e as cotas transferíveis (VARELA, 2001).

Varela (2001) afirma ainda que a solução para a problemática ambiental deverá ter como objetivo a junção de políticas que atendam aos critérios de eficiência, na busca de um menor custo, e ao critério de efetividade, de forma a atingir os objetivos ambientais desejados. A definição de objetivos ambientais, porém, depende da forma como a sociedade define seus próprios objetivos, ou, da forma como o problema ambiental é enfrentado por esta sociedade em termos de ordenação de prioridades. Neste sentido, a correção das externalidades também depende da abordagem teórica adotada pelo gestor do instrumento econômico. Para compreender melhor as possíveis abordagens, o referencial teórico desta pesquisa identifica na Economia do Meio Ambiente duas correntes distintas para a definição do que é uma economia do ponto de vista sustentável, sendo elas a Economia Ambiental e a Economia Ecológica.

A Economia Ambiental é aquela proveniente do *mainstream* neoclássico, onde os recursos naturais não representam um limite ao crescimento econômico de longo prazo. Essa definição de desenvolvimento sustentável é denominada sustentabilidade fraca, ou seja, a fraca possibilidade de se limitar a expansão da economia pelos recursos naturais. Esse raciocínio é justificado através da perfeita substitutibilidade entre capital, trabalho e recursos naturais. O progresso tecnológico e científico permitiriam que houvesse uma perfeita substituição dos recursos naturais por trabalho ou capital, relevando o fato de que muitos recursos naturais não podem ser produzidos e, conseqüentemente, não podem ser substituídos pela ação do homem.

Haveria uma economia não sustentável quando houvesse uma taxa de poupança que se situasse abaixo da taxa de depreciação dos ativos produzidos ou não. A idéia predominante na hipótese de sustentabilidade fraca é a de que o consumo e produção presentes seriam compensados pelo investimento, que por sua vez, compensaria as gerações futuras pelas perdas de ativos causadas hoje (ROMEIRO, 2003).

A Economia Ecológica é caracterizada pela hipótese de sustentabilidade forte. Os recursos ambientais, segundo essa concepção, representariam um limite absoluto à expansão da economia, e não há a idéia de perfeita substitutibilidade entre capital construído e recursos naturais, pois esses são complementares e não substitutos. O progresso da tecnologia e do conhecimento científico não permitiriam, portanto, uma perfeita substituição entre capital, trabalho e recursos naturais, mas teriam papel fundamental para aumentar a eficiência na utilização dos recursos naturais, para que o desenvolvimento sustentável fosse alcançado (ROMEIRO, 2003).

Outro ponto importante diz respeito à necessidade de estabilização dos níveis de consumo *per capita* respeitando a capacidade de carga do planeta, como forma complementar de se alcançar o desenvolvimento sustentável. A capacidade de carga seria o limite físico, químico, biológico de cada ambiente na sustentação da vida e indicaria o máximo de crescimento econômico que o ambiente natural suportaria (ROMEIRO, 2003).

Embora a abordagem ecológica seja mais abrangente, posto considerar os múltiplos efeitos da ação humana sobre o meio ambiente e por considerar a possibilidade dos efeitos entrópicos destas ações, a mensuração dos impactos em termos de custos monetários não é priorizada por esta abordagem. A abordagem neoclássica, por sua vez, apesar de todas as limitações dos seus pressupostos iniciais, permite a redução dos problemas ambientais a análises de custo de oportunidade do recurso ambiental, priorizando métodos de contabilização monetária tanto dos benefícios quanto dos custos ambientais. Neste sentido, esta pesquisa optou pela abordagem neoclássica por se encontrar mais próxima dos objetivos propostos.

Por se tratar de um problema cujo objeto tem um caráter interdisciplinar, as definições de poluição e seus efeitos sobre a saúde são buscados no marco regulatório das políticas ambientais. É neste sentido que, conforme esclarecido no item seguinte, as definições técnicas para a poluição serão buscadas na Agência norte-americana de proteção ambiental e na Organização mundial de Saúde.

### **1.3. Poluição do ar: aspectos técnicos**

De acordo com o EPA (1995) as fontes de poluentes em ambientes internos são inúmeras e podem ter origem interna ou externa. Dentre as fontes de origem interna a EPA (1995) cita o mobiliário feito com madeira compensada, como armários ou móveis em geral, fontes ligadas à combustão de certos materiais como produtos derivados do tabaco, querosene, gás, carvão, óleo e madeira. Outras fontes internas de poluição do ar são apresentadas pela EPA, tais como os materiais utilizados como isolamento e que são feitos a base de amianto, sistemas de aquecimento ou resfriamento centrais e aparelhos umidificadores, tapetes molhados ou úmidos, a utilização nas residências e escritórios de produtos para limpeza e manutenção e produtos para o cuidado pessoal ou *hobby*.

Alguns outros poluentes internos têm fontes externas, segundo a EPA (1995), ou seja, provêm da própria poluição do ar externa, do radônio e da utilização de pesticidas. Entre estes poluentes estão incluídos o radônio, a fumaça ambiental do tabaco, os poluentes biológicos, o monóxido de carbono, o dióxido de nitrogênio, os gases orgânicos, as partículas respiráveis, o formaldeído, os pesticidas, o amianto e o chumbo.

A fumaça de tabaco no ambiente, com sigla em português FTA e sigla em inglês ETS, é um agente químico poluente do ar em ambientes interiores originada, segundo a ANVISA (2003) a partir da combustão final de outros produtos à base de tabaco, como charuto, cachimbo e o cigarro, além da fumaça que é emitida pelo fumante (EPA, 1995). É constituída por gases e partículas, como o monóxido de carbono e a nicotina, respectivamente (BAIRD, 2002), sendo uma mistura complexa que chega a exceder 4.000 componentes, sendo 40 deles conhecidos como carcinogênicos, provocando efeitos tanto sobre os seres humanos quanto em animais, além de causar forte irritação em pessoas expostas à mesma (EPA, 1995). Os níveis de concentração de fumaça de tabaco em ambientes internos dependem da existência ou não de residentes e freqüentadores, fumantes ou não, e da existência de fontes poderosas de emissão de fumaça de tabaco (EPA, 1995).

Além de contaminantes químicos e físicos presentes no ar em ambientes internos, há a presença de poluentes biológicos, tão numerosos quanto os demais poluentes. Os poluentes de caráter biológico incluem, segundo a ANVISA (2003) as algas, bactérias, fungos, o pólen, os protozoários, os artrópodes, os animais e os vírus. Além desses agentes biológicos, EPA (1995) inclui restos da descamação de peles de animais, saliva de gatos, ácaros e baratas.

As fontes de poluentes biológicos são tão numerosas quanto a própria quantidade de poluentes. Paredes molhadas ou úmidas e tetos, roupa de cama, carpetes, mobiliário em geral, aparelhos de ar condicionado, umidificadores e desumidificadores sem manutenção adequada, além da presença de animais domésticos. Animais domésticos são fontes de saliva e restos de pele morta; outros animais como roedores, morcegos e aves também são fonte de poluição interna. A proteína existente na urina de ratos e roedores é um forte alergênico. Sendo os animais fontes de poluição do ar interno, a

ANVISA recomenda a restrição do acesso desses animais em residências e ambientes fechados, controlando o número de roedores e morcegos, bem como a presença de aves e seus ninhos e as fezes (excrementos) deixadas por esses animais. (ANVISA, 2003; EPA, 1995).

De acordo com EPA (1995), sistemas climatizados são os mais propícios para a proliferação de fungos e bolor e de outras fontes de poluentes biológicos, além de terem a capacidade de distribuir os contaminantes pelo interior da residência. Assim, na presença de ambientes climatizados, as principais fontes de bactéria são as torres de resfriamento, as serpentinas de condicionadores de ar, superfícies úmidas e quentes, os reservatórios com água estagnada, as bandejas de condensado, os umidificadores e os desumidificadores (ANVISA, 2003).

Entre os poluentes do ar interno monitorados pelos órgãos nacionais e internacionais está um gás cujos efeitos refletem-se diretamente na queda da capacidade de transporte de oxigênio pelo corpo, para a realização das atividades vitais dos indivíduos. Esse gás é o monóxido de carbono, CO, cuja principal característica é a ausência de cor e de odor (EPA, 1995).

Entre os principais combustíveis fósseis que atuam como agentes poluentes de ambientes internos pela emissão de monóxido de carbono estão os combustíveis à base de carbono, como querosene, gás, madeira e gasolina (BAIRD, 2002). As principais fontes de monóxido de carbono em ambientes internos provêm da utilização dos combustíveis fósseis em fogões a lenha e a gás, aquecedores de ambientes a base de gás e querosene que, devido a uma ventilação inadequada, elevam os níveis de monóxido em ambientes internos. (EPA, 1995). Os problemas em decorrência da poluição pelo monóxido de carbono aparecem em geral por dois motivos: seja pela falta de ventilação adequada ou pelo mal funcionamento de aparelhos a base de combustíveis fósseis e combustíveis a base de carbono.

Em ambientes externos, o monóxido de carbono tem seus níveis mais elevados nos locais onde há uma grande circulação de veículos. Em ambientes internos, como estacionamentos e garagens em andares subterrâneos, os níveis de concentração de monóxido de carbono são elevados pela emissão do gás por veículos automotores, onde a falta ou a pouca ventilação é um fator agravante para que um nível de concentração de monóxido de carbono seja elevado (BAIRD, 2002). “A introdução de substâncias oxigenadas, que são hidrocarbonetos nos quais alguns átomos foram substituídos por oxigênio, na gasolina americana, tem como objetivo reduzir as emissões de CO dos veículos” (BAIRD, 2002, p. 178). Assim, Baird (2002) afirma que a introdução das substâncias oxigenadas teve resultados significativos, como os níveis de concentração externa de monóxido de carbono nos Estados Unidos que foram reduzidos em 37% entre os anos de 1986 e 1995. No Brasil, a composição da gasolina inclui uma parcela de álcool que, na qualidade de substância oxigenada, alcança os mesmos objetivos que a similar norte-americana.

O dióxido de carbono, CO<sub>2</sub>, é um composto proveniente da combustão completa de combustíveis fósseis e resultado do processo de respiração aeróbia dos seres vivos (BRAGA *et al*, 2005). As principais fontes de CO<sub>2</sub> em ambientes interiores provêm da combustão de cigarros, veículos automotores e queimadores de fogão e dos produtos do metabolismo humano (ANVISA, 2003).

Entre os demais poluentes presentes em ambientes internos, podemos encontrar os óxidos de nitrogênio, como o óxido de nitrogênio, NO, e o dióxido de nitrogênio, NO<sub>2</sub>, sendo em grande parte originados, também, a partir de processos de combustão (BRAGA *et al*, 2005). Os gases orgânicos, por sua vez, são poluentes provenientes de produtos domésticos, incluindo pinturas, tintas e outros solventes, conservadores de madeira, spray aerossol, limpadores e desinfetantes, repelentes de traças, purificadores de ar e produtos automotivos (BAIRD, 2002).

As partículas respiráveis também pertencem ao grupo de poluentes presentes em ambientes internos reconhecidos pelo EPA. Lareiras, fogões à lenha e aquecedores à base de querosene e a fumaça ambiental do tabaco são as principais fontes de partículas respiráveis. Irritação de nariz, garganta e

olhos, infecções respiratórias e bronquite são os efeitos associados à saúde em decorrência da contaminação por partículas respiráveis, além de câncer de pulmão (BAIRD, 2002).

O ambiente interno pode ainda ser contaminado por pesticidas cujas fontes são os produtos utilizados para matar pragas domésticas, como inseticidas e desinfetantes, além da utilização de produtos usados em gramas e jardins que têm suas partículas levadas para dentro da casa pelas correntes de ar, causando poluição do ar interna. Um estudo realizado nos Estados Unidos mostrou que 80% da exposição dos seres humanos a pesticidas ocorrem em ambientes internos e não em ambientes externos (EPA, 1995).

Em ambientes internos há a ainda a presença de ozônio, O<sub>3</sub>. O ozônio é um gás oxidante que pode contribuir para o desgaste de móveis e materiais de construção por gerar produtos de oxidação, ao reagir em meios heterogêneos (BRICKUS; AQUINO NETO, 1999). De acordo com a ANVISA (2003), as principais fontes de ozônio em ambientes internos resultam da presença de máquinas copiadoras e impressoras a laser.

De acordo com Brickus & Aquino Neto (1999) é a evaporação dos compostos orgânicos voláteis a principal fonte de poluição em ambientes fechados. A evaporação dos compostos orgânicos voláteis (COVs) é originada de móveis, materiais de construção, de decoração e de acabamento. Um fato agravante é o transporte dos COVs para a fase vapor proporcionada pelos sistemas de ar condicionado, pelos umidificadores de ar e pela utilização de produtos feitos de aerossol. A contribuição para uma queda da qualidade do ar interno pela presença dos compostos orgânicos voláteis é proveniente também de ações como tirar fotocópias, fumar e a entrada de ar externo. O formaldeído é um composto orgânico volátil e um dos poluentes orgânicos mais importantes em ambientes internos. O formaldeído, segundo o EPA (1995), é um subproduto da combustão e de alguns outros processos naturais, sendo um importante composto químico utilizado na fabricação de materiais de construção e vários produtos domésticos produzidos pela indústria. O formaldeído é utilizado para a secagem e colagem de carpetes, tecidos e pisos (BAIRD, 2002).

De acordo com a ANVISA (2003) as principais fontes de formaldeído são os materiais de acabamento, produtos de limpeza, cola e mobiliário em ambientes fechados. Baird (2002) afirma que em ambientes internos a fonte mais importante de formaldeído é proveniente de materiais sintéticos que possuem um tipo de plástico chamado resina de formaldeído. Essas resinas de formaldeído servem de adesivo de laminado de madeira aglomerada e compensada e também como isolante em espumas de uréia-formaldeído.

Outros materiais contribuem para a má qualidade do ar interno. O amianto, presente em muitos materiais de construção, como telhas e tubulações, e nas pastilhas de freios de automóveis, quando mal manipulados podem afetar a saúde das pessoas diante de uma elevação de sua concentração. O chumbo é um dos poluentes mais perigosos presentes em ambientes internos e externos; entretanto, antes do conhecimento da gravidade quando da exposição ao chumbo, ele era utilizado em combustíveis, como a gasolina, em tintas e em tubos de canalização de água. As fontes de chumbo são as mais diversas, sendo que a exposição de uma pessoa ao chumbo poderá ocorrer através do contato com ar contaminado, através da ingestão de comida, água ou solos contaminados, poeira e pinturas em paredes em estado de deterioração. Partículas de chumbo penetram no corpo quando uma pessoa respira ou engole partículas do chumbo (EPA, 1995).

Material particulado é um dos poluentes químicos previstos pela ANVISA (2003). Braga *et al* (2005) define matéria particulada os poluentes do ar como partículas como pólen, poeira, fuligem e as partículas de óleo, partículas provenientes de materiais líquidos ou sólidos e que podem permanecer em suspensão, originadas a partir de fenômenos naturais (no caso da dispersão do pólen ou suspensão de material particulado em razão da ação do vento) e do processo de combustão (fuligem e partículas de óleo). Segundo Brickus & Aquino Neto (1999) matéria particulada é a forma

visualmente permitida de poluentes do ar, presente em ambientes internos pela presença de alérgenos e aerossóis, restos de comida e insetos, fibras sintéticas, amianto, pólen e esporos de mofo. O tamanho das partículas são o principal determinante no destino das mesmas, ou seja, se ficarão em suspensão no ar ou se serão removidas por filtros de condicionadores de ar ou aspirados a vácuo.

Consideradas as fontes de poluição interna do ar, resta definir a forma como serão analisados os efeitos da mesma sobre a saúde humana. O próximo item discute em maior detalhe os efeitos sobre a saúde que podem decorrer da presença de poluentes do ar em ambientes internos para que, no terceiro item, se possa discutir formas de mensurar os custos advindos dos danos à saúde provocados por estes poluentes.

## 2. CUSTOS DO NÃO-CONTROLE DA POLUIÇÃO DO AR SOBRE A SAÚDE HUMANA

Neste segundo item, busca-se identificar os efeitos dos poluentes internos sobre a saúde humana, como as doenças e outros sintomas mais comuns. Para isso, o item baseia-se nas informações técnicas apresentadas no item anterior e procura se concentrar nas doenças e malefícios associados aos poluentes lá descritos. A maior dificuldade para estabelecer métodos de valoração com base nos efeitos sobre a saúde está no fato de que muitas destas doenças e sintomas ser resultante de uma combinação de fatores que incluem desde disposição genética até a exposição ao poluente propriamente dita. Abaixo, no Quadro 1, relacionam-se os efeitos já identificados, os poluentes associados e suas fontes e logo após, discutem-se as doenças com mais detalhes.

Os poluentes presentes em ambientes internos são responsáveis, na maioria das vezes, por sintomas e efeitos que nem sempre culminam em morte dos indivíduos contaminados; alguns desses sintomas são imediatos e desaparecem quando o indivíduo sai do ambiente contaminado, mas são responsáveis por aumento da taxa de morbidade, como perdas de dia de trabalho ou ausência do ambiente escolar, gastos com medicamentos e internação, queda da produtividade no trabalho, ausência do convívio familiar e social, perda de horas de lazer, entre outras.

As doenças e sintomas aqui presentes estão subdivididas em dois grandes grupos. Um deles é composto por doenças que efetivamente levam à morte e o outro grupo é composto por outras doenças e sintomas que podem não causar a morte, mas levam a um aumento da taxa de morbidade.

### Quadro 1. Efeitos sobre a saúde dos poluentes do ar interno

Efeito para a saúde	Poluente	Fonte emissora
Irritação nos olhos, nariz, garganta, pele e trato respiratório	formaldeído, fumaça de tabaco, dióxido de nitrogênio, dióxido de enxofre, compostos orgânicos voláteis e os poluentes biológicos	Bactérias, fungos, saliva de gatos, ácaros, baratas, algas, peles de animais, artrópodes, protozoários, pólen, animais, vírus, paredes úmidas ou molhadas, roupas de cama, carpetes, tapetes, cortinas, condicionadores de ar, umidificadores, urina de ratos e roedores, fezes de aves, reservatórios de água contaminada, torres de resfriamento, bandejas de condensado, materiais de construção, utilizado na secagem e colagem de carpetes, pisos e tecidos, adesivo de laminado de madeira aglomerada ou compensada, fumaça de cigarro, charutos, cachimbos, poeira ou solo contaminado por pesticidas, inseticidas, fungicidas, desinfetantes, queima de combustíveis como o diesel, queima de madeira, máquinas fotocopiadoras
Câncer de pulmão	Fumaça de tabaco, radônio, asbesto, formaldeído	Materiais de construção, tubulações, telhas, materiais isolantes e a prova de fogo, cigarro, charutos, cachimbos, mármore, granito, tijolo, concreto, pedras, arenito, materiais de construção em geral, formaldeído utilizado na secagem e colagem de carpetes, pisos e tecidos, adesivo de laminado de madeira aglomerada ou compensada

Câncer		Fumaça de tabaco, formaldeído, pesticidas, dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio, monóxido de carbono	Vapor e poeira contaminados por pesticidas, cigarro, charutos
Déficits cognitivos em crianças	Chumbo		Ingestão de comida contaminada por paredes descascadas
Danos ao desenvolvimento de crianças	Chumbo		Ingestão de comida contaminada por paredes descascadas
Asbestose	Asbesto		Materiais de construção, tubulações, telhas, materiais isolantes e a prova de fogo
Mesotelioma	Asbesto		Materiais de construção, tubulações, telhas, materiais isolantes e a prova de fogo
Doenças respiratórias em geral	Fumaça de tabaco, dióxido de nitrogênio, dióxido de enxofre,		Aquecedores de ar e de água, fogão a gás, cigarro, charuto, cachimbo
Asma	Fumaça de tabaco,		Cigarro, charuto, cachimbo
Edema pulmonar	Fumaça de tabaco, dióxido de enxofre		Cigarro, charuto, cachimbo
Síndrome dos Doentes	Edifícios	Poluentes biológicos	Bactérias, fungos, saliva de gatos, ácaros, baratas, algas, peles de animais, artrópodes, protozoários, pólen, animais, vírus, paredes úmidas ou molhadas, roupas de cama, carpetes, tapetes, cortinas, condicionadores de ar, umidificadores, urina de ratos e roedores, fezes de aves, reservatórios de água contaminada, torres de resfriamento, bandejas de condensado
Angina	Fumaça de tabaco		Cigarro, charuto, cachimbo
Inflamação pulmonar por hipersensibilidade	Poluente biológicos		Bactérias, fungos, saliva de gatos, ácaros, baratas, algas, peles de animais, artrópodes, protozoários, pólen, animais, vírus, paredes úmidas ou molhadas, roupas de cama, carpetes, tapetes, cortinas, condicionadores de ar, umidificadores, urina de ratos e roedores, fezes de aves, reservatórios de água contaminada, torres de resfriamento, bandejas de condensado
Micotoxinas	Poluentes biológicos (fungos)		Ambientes úmidos, materiais porosos orgânicos e paredes e isolamentos úmidos, forros, condicionadores de ar, dutos, vasos de terra com plantas
Contaminação por chumbo	Chumbo		Tintas, tubos de canalização de água, gasolina, solda e fabricação de vidro colorido
Febre por umidade	Poluentes biológicos		Bactérias, fungos, saliva de gatos, ácaros, baratas, algas, peles de animais, artrópodes, protozoários, pólen, animais, vírus, paredes úmidas ou molhadas, roupas de cama, carpetes, tapetes, cortinas, condicionadores de ar, umidificadores, urina de ratos e roedores, fezes de aves, reservatórios de água contaminada, torres de resfriamento, bandejas de condensado
Contaminação compostos orgânicos	por Compostos orgânicos voláteis e semi-voláteis		Produtos de limpeza, tintas, colas, solventes, produtos domissanitários, cera, móveis em geral, materiais de revestimento e acabamento, poeira ou solo contaminado por pesticidas, inseticidas, fungicidas, desinfetantes, queima de combustíveis como o diesel, queima de madeira, fumaça de tabaco, máquinas fotocopadoras
Doenças cardíacas	Fumaça de tabaco, monóxido de carbono,		Queima de combustíveis a base de carbono, como querosene, gasolina, madeira, fogões a lenha e a gás, aquecedores de ambientes, fumaça de cigarro, charutos, cachimbos, veículos automotores

Doenças dos Legionários	Bactéria denominada legionella pneumophila	sistemas de refrigeração, mas também em torneiras de água residenciais, umidificadores, sistemas que armazenam comida e vegetais em supermercados
Vapor de mercúrio	Mercúrio	Pinturas interiores de látex a base de água, que contêm PMA ou phenylmercuric acetate
Carboxihemoglobina	Fumaça de tabaco, monóxido de carbono	Cigarro, charutos, cachimbos, Queima de combustíveis a base de carbono, como querosene, gasolina, madeira, fogões a lenha e a gás, aquecedores de ambientes, veículos automotores

---

**Fonte:** Elaboração própria com base em EPA (1995); ANVISA (2003).

## 2.1. Mortalidade

Algumas das doenças relacionadas à poluição do ar em ambientes internos estão diretamente relacionadas à possibilidade de causar a morte do indivíduo contaminado. As principais doenças que podem e muitas vezes levam à morte por contaminação pelos poluentes internos são o câncer, as doenças cardíacas, a Doença dos Legionários e a Tuberculose.

Alguns dos poluentes presentes em ambientes internos são potentes carcinogênicos, ou seja, sua presença em ambientes fechados em altos níveis de concentração ou devido à exposição contínua dos indivíduos levam ao desenvolvimento de câncer, principalmente no trato respiratório e nos pulmões. Entre os possíveis agentes cancerígenos presentes em ambientes internos está a fumaça de tabaco, o formaldeído, o asbesto ou amianto e o radônio.

Câncer no sistema respiratório, inclusive no nariz, pode se desenvolver a partir da exposição ao formaldeído, apesar da maioria dos estudos estarem ligados à exposição ocupacional (BAIRD, 2002, p. 177). No caso da fumaça de tabaco, os efeitos cancerígenos sobre o sistema respiratório são mais relevantes, ainda que algumas estatísticas sobre esses efeitos sejam contraditórias devido à ausência de estudos na área de qualidade do ar de interiores. Apesar disso, a fumaça de tabaco é responsável pela maioria dos casos de câncer de pulmão, seguida pelo radônio, entre a população fumante e não-fumante (BAIRD, 2002).

O radônio é o segundo maior responsável pelos casos de câncer de pulmão. A exposição ocupacional aos filhos do radônio é a principal causa de câncer de pulmão entre a população de mineiros que trabalha arduamente em minas subterrâneas de urânio com condições precárias de ventilação, mesmo após correções levando em consideração os fumantes (BAIRD, 2002, p. 184). Na Alemanha um estudo estimou que aproximadamente 2.000 pessoas morrem de câncer de pulmão todos os anos, em decorrência da exposição ao radônio em ambientes internos (BAIRD, 2002, p. 181).

Câncer de pulmão pode ser causado pela presença de asbesto em ambientes internos, responsável também pelo surgimento de outros tipos de câncer de pulmão, como asbestose e mesotelioma. Asbestose é marcado por causar feridas irreversíveis nos pulmões e que pode levar à morte; já o Mesotelioma é um tipo de câncer incurável que afeta os tecidos do peito e do abdômen. Os efeitos da exposição ao asbesto ocorrem após 20 ou 30 anos após o início da exposição, em geral atribuída a uma exposição ocupacional, ou exposição durante longos períodos de tempo (EPA, 1995).

Doenças cardíacas podem ser causadas ou agravadas, no caso de doenças pré-existentes, pela exposição à fumaça de tabaco, ao monóxido de carbono e a algumas substâncias presentes em produtos de limpeza. Anualmente, cerca de sessenta mil norte-americanos morrem por doenças cardíacas por exposição à fumaça de tabaco. Segundo Baird (2002, p.180) as mortes mostram que existe uma relação linear entre a exposição à fumaça de tabaco e doenças cardíacas.

A exposição ao monóxido de carbono reflete-se em efeitos agudos como a formação da carboxihemoglobina, ou COHb. Tal fato ocorre porque o monóxido de carbono está diretamente relacionado com a capacidade que o mesmo tem de se compor com a hemoglobina do sangue, formando a carboxihemoglobina, fato esse que passa a impedir a circulação de oxigênio pelo sangue. Tintas podem emitir *methylene chloride*, também emitido por alguns produtos de limpeza, que é um fator adicional na formação de carboxihemoglobina.

A pessoa que possui carboxihemoglobina apresenta alguns sintomas que podem ser confundidos com os sintomas de uma pessoa com gripe e incluem a fadiga, dificuldade cognitiva, taquicardia, dores de cabeça, náuseas, tonturas e vômitos. O grupo mais afetado é aquele formado por fetos, pessoas com problemas cardiovasculares e nos pulmões (EPA, 1994).

A Doença dos Legionários é uma doença presente em ambientes internos, cujo índice de mortalidade é alto, podendo variar de 5% a 15% das pessoas que adquirem a doença e está fortemente associada à presença de sistemas de refrigeração (EPA, 1994). A doença é propiciada pelo agente *legionella pneumophila*, que se desenvolve não somente em sistemas de refrigeração, mas também em torneiras de água residenciais, umidificadores, e sistemas que armazenam comida e vegetais em supermercados (EPA, 1994).

A presença de tuberculose, bem como outras doenças infecciosas, está associada a uma má qualidade do ar, à existência de problemas de ventilação em prédios e residências e à aglomeração de locais fechados. Os locais mais afetados são locais onde são realizados tratamentos médicos com muitas pessoas, como é o caso de hospitais, onde a falta ou a inadequada existência de ventilação é fator determinante na probabilidade de se contrair a tuberculose (EPA, 1994).

## 2.2 Morbidade

Malefícios da poluição do ar de ambientes internos se expressam por sintomas e doenças que culminam em ausência de adultos ao trabalho, crianças que faltam na escola, ausência do convívio social, perda de horas de lazer e custos financeiros com tratamento, medicação e internação. Neste tópico são apresentados as principais doenças e sintomas que, em alguns casos, até podem levar ao óbito, mas que inicialmente contribuem para o aumento da taxa de morbidade de indivíduos expostos à poluição do ar interno.

Os poluentes internos são responsáveis pela maior parte dos problemas relacionados com irritações dos olhos, nariz, garganta, pele e trato respiratório são o formaldeído, a fumaça de tabaco, o dióxido de nitrogênio, o dióxido de enxofre, os compostos orgânicos voláteis e os poluentes biológicos.

O sistema respiratório de adultos é afetado pela exposição a poluentes internos, tais como fumaça de tabaco, dióxido de nitrogênio e dióxido de enxofre, e podem variar em consequência do tipo, nível de concentração e tempo de exposição ao poluente (EPA, 1994). A fumaça de tabaco e seus componentes gasosos, como o formaldeído, além de atuar diretamente sobre o sistema respiratório, causam irritação e sensação de ardor, além de emitir odor pungente (BAIRD, 2002). Em resumo, o dióxido de enxofre e o dióxido de nitrogênio atuam como irritantes do trato respiratório, atingindo ainda a mucosa dos olhos, da garganta, do nariz e o (EPA, 1994).

Entre as doenças respiratórias causadas por poluentes internos, tem-se a asma como uma das mais importantes causada, segundo Baird (2002, p.179) por poluentes biológicos, pelo dióxido de nitrogênio, pelos compostos orgânicos voláteis e pela fumaça de tabaco. A relação entre poluição do ar em ambientes internos e asma é complexa e controversa, na maioria dos estudos realizados. Entretanto, crises asmáticas em escritórios e em ambientes de trabalho fechados e com sistemas de ar condicionado podem ser desencadeadas por poluentes biológicos menos comuns como as algas e as enzimas bacterianas. (EPA, 1994). Exposição a baixos níveis de dióxido de nitrogênio leva a um

aumento casos de bronquite em asmáticos. A pré-existência de asma pode levar a uma constrição bronquial aguda devido à exposição do indivíduo ao dióxido de enxofre mesmo em exposições curtas e a baixos níveis de concentração do poluente (EPA, 1994).

Pessoas expostas aos compostos orgânicos voláteis apresentam vários tipos de sintomas, entre eles tontura, êmese, fadiga, dores de cabeça, dispnéia, desconforto no nariz e na garganta, irritação conjuntival, irritação dos olhos, irritação no trato respiratório superior, prurido, náuseas, vômitos, erupção e reações alérgicas na pele e epistaxe (sangramento do nariz), este último no caso da presença de vapor de formaldeído (EPA, 1994).

Contaminantes biológicos podem causar três tipos de doenças em seres humanos: doenças de hipersensibilidade, infecções e toxicoses. Doenças relacionadas com hipersensibilidade ocorrem por uma ativação específica do sistema imunológico. As infecções são decorrentes da invasão dos tecidos humanos por patogêneses. Finalmente, as toxicoses são causadas por substâncias químicas que são produzidas por agentes biológicos e que causam efeitos tóxicos (EPA, 1994). Tuberculose, reações alérgicas, doença dos legionários, micotoxinas, febre por umidade e inflamação pulmonar por hipersensibilidade são as principais doenças causadas por contaminantes biológicos.

Não somente adultos são alvo dos efeitos negativos dos poluentes presentes em ambientes internos, uma vez que esses efeitos são muitas vezes mais perigosos para crianças em fase de desenvolvimento e até mesmo para os fetos. Crianças são afetadas pela exposição aos poluentes internos, uma vez que o pulmão das mesmas está mais suscetível aos efeitos nocivos de alguns poluentes, como é o caso da fumaça de tabaco (EPA, 1994), que pode levar ao surgimento de otite média, causando um alto índice de morbidade entre crianças, incluindo a surdez (WHO, 2002, p.15), além de contribuir para que haja uma redução das funções pulmonares em adultos que foram expostos a essa fumaça durante a infância (EPA, 1995, p.5).

A fumaça de tabaco é responsável pelo dobro de casos de bronquite, bronquiolite e pneumonia em bebês e crianças até 3 anos, e que reduz as funções e o crescimento dos pulmões (EPA, 1995, p.5). Segundo cientistas, o ato de fumar passivo é responsável por milhares de casos de morte súbita nos EUA todos os anos e causa bronquite, pneumonia e outras infecções em mais de 300 mil crianças todos os anos (BAIRD, 2002, p.179-80).

Fumar na gravidez tem sido associado a um aumento na incidência da síndrome da morte súbita infantil, ainda que não tenha sido determinado em qual extensão esse aumento é devido a uma exposição no útero ou pós-natal, através do leite e da exposição à fumaça de tabaco (EPA, 1994). No caso do NO<sub>2</sub>, a exposição a baixos níveis desse poluente pode aumentar o risco de infecções respiratórias principalmente em crianças (EPA, 1994). Além disso, NO<sub>2</sub> causa prejuízo às funções pulmonares e aumenta o risco de infecções respiratórias (EPA, 1995).

### **3. MÉTODOS DE VALORAÇÃO ECONÔMICA AMBIENTAL: AS POSSIBILIDADES DO MÉTODO DE VIDA SACRIFICADA**

Neste terceiro item procura-se identificar os modelos de valoração econômica ambiental mais adequados para avaliar o risco ambiental percebido como causado pelos poluentes de ar internos. Para que o valor econômico do recurso ambiental seja passível de valoração, faz-se necessário primeiramente conhecer qual o valor que se deseja captar, uma vez que esse valor nem sempre é obtido através de preços que refletem o seu custo de oportunidade (SERÔA DA MOTTA, 1998). Neste sentido, o item está dividido em dois sub-itens. No primeiro, um panorama dos principais métodos de valoração é apresentado, discutindo-se como podem ou não ser aplicados ao caso da poluição do ar interno. No segundo, discute-se o método de vida sacrificada e o uso de uma função dose-resposta para o caso da poluição do ar. Saliente-se que os dados necessários para o cálculo estão dispersos e muitos indisponíveis (tais como os dados de internação), indicando uma agenda

importante de pesquisa, tanto para a economia ambiental quanto para a saúde pública e demais interessados nos problemas relativos à qualidade de vida.

### 3.1 Valoração econômica ambiental: apontamentos iniciais

O valor econômico de um recurso ambiental é determinado pela soma dos seus atributos, que por sua vez são definidos pelos fluxos de bens e serviços ambientais derivados do consumo do próprio recurso ambiental. Por outro lado, os atributos que contribuem para a determinação do valor econômico de um recurso ambiental nem sempre estão associados a um uso, “ou seja, o consumo de um recurso ambiental se realiza via uso e não-uso”. Dessa forma, esses atributos podem estar associados ao uso do recurso ambiental, ao seu não-uso ou à sua existência (SERÔA DA MOTTA, 1998).

A literatura sobre os métodos de valoração dos recursos ambientais costuma separar e definir o valor econômico de um recurso ambiental (VERA) em dois grupos, a saber: valor de uso, que por sua vez compreende o valor de uso direto (VUD), indireto (VUI) ou valor de opção (VO), e valor de não-uso ou valor de existência (VE).

Dessa forma, a expressão do valor econômico de um recurso ambiental é dada por:

$$\text{VERA} = (\text{VUD} + \text{VUI} + \text{VO}) + \text{VE}$$

O valor de uso direto, ou VUD, diz respeito ao uso direto do recurso ambiental, através de atividades de consumo ou de produção que utilizam forma direta esse recurso (SERÔA DA MOTTA, 1998). O valor de uso indireto, ou VUI, refere-se a valores provenientes da própria função ecológica que o recurso ambiental possui, “ou aqueles derivados de uso *ex-situ* ao ambiente do recurso” (ORTIZ, 2003). O valor de opção, VO, diz respeito ao valor de uso direto ou indireto que um indivíduo atribui ao recurso ambiental, mas que não representa a sua utilização no presente, mas sim no futuro. Em outras palavras, corresponde ao valor que os indivíduos estão dispostos a pagar para que o recurso ambiental seja mantido para que possa ser utilizado no futuro (SERÔA DA MOTTA, 1998 ; ORTIZ, 2003)

O valor de existência, VE, ou valor de não-uso, como o próprio nome diz, representa o valor de existência de um recurso ambiental, e não é atribuído ao uso presente ou futuro do recurso ambiental, como no caso do valor de opção. Segundo Ortiz (2003, p.83) o valor de existência representa a satisfação pessoal de um indivíduo em manter um recurso, ainda que ele não tenha contato com o recurso, como no caso do pagamento pelo não-desflorestamento de uma floresta que o indivíduo talvez nunca visite ou conheça pessoalmente.

Os métodos de valoração dos recursos ambientais têm por objetivo estimar, a partir de funções de demanda ou de produção, os valores ambientais baseados na realidade econômica contemporânea, ou seja, estimar os custos ou benefícios propiciados pela utilização dos recursos ambientais. Entretanto, devem-se estimar os custos e benefícios no tempo, considerando as condições atuais e futuras, uma vez que seus correspondentes valores podem variar de acordo com tais condições (SERÔA DA MOTTA, 1998).

Os métodos da função de demanda são métodos que assumem que uma alteração do nível de bem-estar das pessoas ocorre quando há uma variação da disponibilidade de um recurso natural específico ou do seu bem complementar (SERÔA DA MOTTA, 1998). Estes métodos são utilizados de forma que medidas de disposição a aceitar ou a pagar dos indivíduos em relação a variações da disponibilidade dos recursos ambientais sejam passíveis de identificação (SERÔA DA MOTTA, 1998). A partir da identificação dessas medidas, as variações do nível de bem-estar são estimadas, e correspondem ao excedente do consumidor frente às variações em que o recurso ambiental está disponível; esse excedente corresponde à área acima da linha do preço e abaixo da curva de

demanda. Em outras palavras, as variações de bem-estar indicam o excesso de satisfação obtida por um consumidor, ao pagar ou não pagar nada pelo recurso ambiental um preço abaixo daquele que esse consumidor estaria disposto a pagar (SERÔA DA MOTTA, 1998).

Dessa forma, a função de demanda estimada para o recurso ambiental em análise nos informa a variação do excedente do consumidor, que por sua vez representa o custo ou o benefício decorrentes da variação da disponibilidade do recurso ambiental analisado (SERÔA DA MOTTA, 1998).

A função de demanda pode ser estimada através de uma pesquisa aplicada a uma amostra populacional questionando valores de pagamento de uma taxa ou imposto que teria como contrapartida sua aplicação em investimentos no meio ambiente, como medida protecionista da biodiversidade (SERÔA DA MOTTA, 1998).

### **3.2 Métodos de função demanda**

As funções de demanda estimadas através dos métodos da função de demanda são originadas a partir de dois tipos de mercado. Um deles é hipotético e criado especificamente para o recurso ambiental. O outro tipo de mercado é o de bens ou serviços privados e complementares ao recurso ambiental. Dois métodos compõem os métodos de função de demanda: o método dos bens complementares, representados pelo método de preços hedônicos e o método do custo de viagem, e o método da valoração contingente.

Ao se pensar no caso da poluição do ar interno, os métodos de função demanda poderiam ser utilizados na medida em que as alterações na qualidade do ar implicariam em perdas econômicas em termos de gastos com medicamentos, custos com internação, perdas de dias de trabalho e morte dos indivíduos.

O método de preços hedônicos é muito citado como forma de captar o valor de “amenidades” urbanas, dentre as quais a poluição do ar externo é incluída. Embora de fácil aplicação, se comparado ao método de valoração contingente, para o caso da poluição do ar interno não é um método indicado, haja vista a dificuldade de estabelecer um mercado perfeitamente substituível ao que apresenta o atributo ambiental “não poluição do ar”. Outro problema adicional, descrito nos itens anteriores, é a dificuldade de percepção que os agentes tem dos efeitos da poluição sobre suas vidas. O exemplo mais comum são as dificuldades respiratórias e a morbidade, muitas vezes não associada à poluição do ar.

O método do custo de viagem é um método de valoração que procura estimar uma demanda por um recurso ambiental através da demanda por atividades recreacionais de um local de visitação. O método leva em consideração o tempo de deslocamento e os custos que cada indivíduo tem ao buscar atividades recreacionais proporcionadas por um sítio recreativo (SÉROA DA MOTTA, 1998, pp.15-16). No que diz respeito à poluição do ar de ambientes internos, o método não é aplicável, uma vez que a poluição do ar interna não está relacionada ao deslocamento dos indivíduos que apresentam doenças e sintomas em decorrência dessa poluição. Em outras palavras, apesar da poluição externa afetar a qualidade do ar interno, não há um deslocamento do indivíduo “em busca” de uma poluição do ar. Além disso, o método busca captar o valor de uso de um recurso ambiental, e não a percepção dos efeitos da poluição do ar sobre a saúde dos visitantes do sítio natural.

O método da valoração contingente é o método que procura estimar o valor de existência de um recurso ambiental, através da utilização de mercados hipotéticos para o recurso ambiental, onde são simuladas as disposições a pagar ou a aceitar por uma variação na qualidade ou na quantidade disponível de um recurso ambiental (SERÔA DA MOTTA, 1998, pp.17-18). Nesse sentido, o método poderia ser aplicável à poluição do ar de ambientes internos, baseado em uma pesquisa de campo com questionários onde se questiona disposição a pagar ou a aceitar de cada indivíduo por uma melhora ou pela manutenção de uma boa qualidade do ar interno. Por outro lado, o método envolve

esforços de pesquisa muito grandes, uma formalização econométrica apurada e um custo financeiro alto e, como no método de preços hedônicos, as disposições a pagar ou a aceitar podem se referir a valores dos recursos ambientais que as pessoas simplesmente desconhecem ou não compreendem; logo, esses valores não refletiriam o real valor atribuído ao valor de existência do recurso ambiental, que poderá ser subestimado ou superestimado. Um dos motivos da falta de compreensão sobre o recurso ambiental em questão é a presença de cenários simulados nos questionários. Se o indivíduo desconhece a existência da poluição do ar interno como causa de mortalidade e aumento da taxa de morbidade entre adultos e crianças, não como atribuir um valor a manutenção da qualidade do ar interno. Além disso, a poluição do ar externa é um tema mais recorrente do que a poluição interna, e nesse caso o método de valoração contingente poderia ser mais facilmente aplicado à poluição externa.

### **3.3 Métodos de função de produção**

Os métodos da função de produção assumem que o recurso ambiental possui valor por contribuir como insumo ou substituto na produção de um bem ou serviço privado; assim, os preços desses bens e serviços são utilizados para que o valor econômico do recurso ambiental possa ser estimado (SERÔA DA MOTTA, 1998). Inclui os métodos da produtividade marginal e de mercados de bens substitutos, que por sua vez compreendem os métodos de custo de reposição, de gastos evitados e de custos de controle.

Os métodos da função de produção poderiam ser aplicáveis à poluição do ar interno na medida em que assume as variações de disponibilidade de um recurso ambiental, nesse caso o ar, implicam em custos ou benefícios que podem ser estimados. Os métodos de mercado de bens substitutos assumem que a produção de um determinado produto é afetada diretamente pelas variações do recurso ambiental, mas que existem mercados substitutos tanto para o recurso ambiental quanto para o produto em questão. Dessa forma, existem substitutos perfeitos para o recurso ambiental e para o produto que utiliza esse recurso na sua produção. Além disso, são captados apenas valores de uso para o recurso ambiental, enquanto valores de opção e de existência não são captados e quando são positivos, o método tende a subestimá-los (SERÔA DA MOTTA, 1998). Em relação à poluição do ar, tanto externa quanto interna, não podemos assumir que existam substitutos perfeitos para o ar. No caso do método de valoração dos custos de reposição, gastos defensivos e custos de controle, a hipótese de perfeita substitutibilidade exclui a aplicação do método para a poluição do ar interno, uma vez que não existem substitutos perfeitos para os recursos ambientais como o ar, mas sim substitutos que possuem apenas algumas características que esses recursos possuem, ainda que hajam investimentos em reposição.

O método do custo de reposição, apesar da vantagem de ser facilmente aplicado por não depender de trabalho de campo e por estimar os custos para que haja reposição ou restauração do recurso ambiental que foi danificado, não é aplicável à poluição do ar de ambientes internos, pois nesse caso o objetivo é captar os custos em consequência da poluição interna, e não restaurar o recurso ambiental "ar", devido à sua poluição. O método dos gastos defensivos, assim como os outros métodos de mercado de bens substitutos, não é aplicável na tentativa de mensurar a poluição do ar em ambientes internos, uma vez que esse método tem por hipótese saber quais os gastos com bens substitutos que devem ser feitos para se evitar que o recurso natural ar seja exaurido. O método do custo de controle procura estimar quais os gastos com controle realizados para que o recurso ambiental não seja degradado, ou seja, quais os investimentos que devem ser feitos para que não haja diminuição no estoque dos recursos naturais (SERÔA DA MOTTA, 1998). Nesse método há também a hipótese de perfeita substitutibilidade do recurso natural; logo, não é aplicável à poluição do ar interno, pela inexistência de um substituto perfeito para o recurso ambiental ar e porque nesse caso os gastos com a variação do estoque de capital natural não é o objeto de valoração, mas sim os custos incorridos para os indivíduos em função da poluição do ar interno.

### 3.4 Os limites dos métodos na captação dos efeitos sobre a saúde

**Quadro 2 – Possíveis variáveis para a proxy do valor**

Efeito para a saúde	Fonte emissora	Possíveis variáveis para a proxy do valor
Irritação nos olhos, nariz, garganta, pele e trato respiratório	Bactérias, fungos, saliva de gatos, ácaros, baratas, algas, peles de animais, artrópodes, protozoários, pólen, animais, vírus, paredes úmidas ou molhadas, roupas de cama, carpetes, tapetes, cortinas, condicionadores de ar, umidificadores, urina de ratos e roedores, fezes de aves, reservatórios de água contaminada, torres de resfriamento, bandejas de condensado, materiais de construção, utilizado na secagem e colagem de carpetes, pisos e tecidos, adesivo de laminado de madeira aglomerada ou compensada, fumaça de cigarro, charutos, cachimbos, poeira ou solo contaminado por pesticidas, inseticidas, fungicidas, desinfetantes, queima de combustíveis como o diesel, queima de madeira, máquinas fotocopadoras	Perdas de dias de trabalho, custos com tratamento, medicamentos
Câncer de pulmão	Materiais de construção, tubulações, telhas, materiais isolantes e a prova de fogo, cigarro, charutos, cachimbos, mármore, granito, tijolo, concreto, pedras, arenito, materiais de construção em geral, formaldeído utilizado na secagem e colagem de carpetes, pisos e tecidos, adesivo de laminado de madeira aglomerada ou compensada	Dias de internação, custos de medicamentos, morte
Câncer	Vapor e poeira contaminados por pesticidas, cigarro, charutos	Dias de internação, custos de medicamentos, morte
Déficits cognitivos em crianças	Ingestão de comida contaminada por paredes descascadas	Custos com medicamentos
Danos ao desenvolvimento de crianças	Ingestão de comida contaminada por paredes descascadas	Custos com medicamentos
Asbestose	Materiais de construção, tubulações, telhas, materiais isolantes e a prova de fogo	Dias de internação, custos de medicamentos, morte
Mesotelioma	Materiais de construção, tubulações, telhas, materiais isolantes e a prova de fogo	Dias de internação, custos de medicamentos, morte
Doenças respiratórias em geral	Aquecedores de ar e de água, fogão a gás, cigarro, charuto, cachimbo	Dias de internação, custos de medicamentos, perda de dias de trabalho, ausência de crianças na escola
Asma	Cigarro, charuto, cachimbo	Dias de internação, custos com medicamentos, perda de dias de trabalho, ausência de crianças na escola
Edema pulmonar	Cigarro, charuto, cachimbo	Dias de internação, custos de medicamentos, perda de dias de trabalho, ausência de crianças na escola
Síndrome dos Edifícios Doentes	Bactérias, fungos, saliva de gatos, ácaros, baratas, algas, peles de animais, artrópodes, protozoários, pólen, animais, vírus, paredes úmidas ou molhadas, roupas de cama, carpetes, tapetes, cortinas, condicionadores de ar, umidificadores, urina de ratos e roedores, fezes de aves, reservatórios de água contaminada, torres de	Dias de internação, custos de medicamentos, perda de dias de trabalho

	resfriamento, bandejas de condensado	
Tuberculose	Ambientes fechados, aglomerados, falta de ventilação	Morte
Angina	Cigarro, charuto, cachimbo	Dias de internação, custos com medicamento, perda de dias de trabalho
Inflamação pulmonar por hipersensibilidade	Bactérias, fungos, saliva de gatos, ácaros, baratas, algas, peles de animais, artrópodes, protozoários, pólen, animais, vírus, paredes úmidas ou molhadas, roupas de cama, carpetes, tapetes, cortinas, condicionadores de ar, umidificadores, urina de ratos e roedores, fezes de aves, reservatórios de água contaminada, torres de resfriamento, bandejas de condensado	Morte, custos com medicamento, perda de dias de trabalho, dias de internação
Micotoxinas	Ambientes úmidos, materiais porosos orgânicos e paredes e isolamentos úmidos, forros, condicionadores de ar, dutos, vasos de terra com plantas	Custos com medicamento, perda de dias de trabalho, dias de internação
Contaminação por chumbo	Tintas, tubos de canalização de água, gasolina, solda e fabricação de vidro colorido	Morte, custos com medicamento, perda de dias de trabalho, dias de internação
Febre por umidade	Bactérias, fungos, saliva de gatos, ácaros, baratas, algas, peles de animais, artrópodes, protozoários, pólen, animais, vírus, paredes úmidas ou molhadas, roupas de cama, carpetes, tapetes, cortinas, condicionadores de ar, umidificadores, urina de ratos e roedores, fezes de aves, reservatórios de água contaminada, torres de resfriamento, bandejas de condensado	Morte, custos com medicamento, perda de dias de trabalho, dias de internação
Contaminação por compostos orgânicos	Produtos de limpeza, tintas, colas, solventes, produtos domissanitários, cera, móveis em geral, materiais de revestimento e acabamento, poeira ou solo contaminado por pesticidas, inseticidas, fungicidas, desinfetantes, queima de combustíveis como o diesel, queima de madeira, fumaça de tabaco, máquinas fotocopadoras	Custos com medicamento, perda de dias de trabalho, dias de internação
Doenças cardíacas	Queima de combustíveis a base de carbono, como querosene, gasolina, madeira, fogões a lenha e a gás, aquecedores de ambientes, fumaça de cigarro, charutos, cachimbos, veículos automotores	Custos com medicamento, perda de dias de trabalho, dias de internação, morte
Doenças dos Legionários	sistemas de refrigeração, mas também em torneiras de água residenciais, umidificadores, sistemas que armazenam comida e vegetais em supermercados	Custos com medicamento, perda de dias de trabalho, dias de internação, morte
Vapor de mercúrio	Pinturas interiores de látex a base de água, que contêm PMA ou phenylmercuric acetate	Custos com medicamento, perda de dias de trabalho, dias de internação, morte
Carboxihemoglobina	Cigarro, charutos, cachimbos, Queima de combustíveis a base de carbono, como querosene, gasolina, madeira, fogões a lenha e a gás, aquecedores de ambientes, veículos automotores	Custos com medicamento, perda de dias de trabalho, dias de internação, morte

**Fonte:** Elaboração própria com base em EPA (1995); ANVISA (2003).

Dada a limitação dos métodos de valoração econômica do meio ambiente, seja pela parcela do valor que se deseja captar, seja pela presença de vieses estimativos, o método cujo objetivo mais se aproxima do objetivo do presente trabalho é o método de vida sacrificada ou capital humano.

O método de vida sacrificada é um método de valoração indireta e que capta o valor de uso direto e indireto do recurso ambiental. O método da produção sacrificada é o mais indicado para que custos de saúde sejam estimados, ou seja, através desse método é possível que a produção sacrificada de

um trabalhador em decorrência de um dano ambiental seja estimada (SERÔA DA MOTTA *et al*, 1998).

Através desse método pode-se estimar a disposição a pagar dos indivíduos frente a uma mudança no risco de morte relacionado a uma atividade específica; no caso da poluição do ar em ambientes internos, os indivíduos estão sujeitos a riscos de morte em decorrência da poluição interna. A partir da disposição a pagar dos indivíduos, pode-se estimar o VVE ou valor de uma vida estatística, que é definido por Ortiz (2003, p.92) “como a soma dos valores individuais associados à redução do risco de uma morte na sociedade”. Assim, o valor aproximado de uma vida estatística pode ser considerado como a produção ou a renda perdida de um indivíduo, em caso de morte prematura (ORTIZ, 2003). A hipótese que permeia esse método é a da teoria do capital humano, cuja avaliação dos impactos negativos decorrentes da exposição à poluição interna e que podem levar o indivíduo à morte, teoria essa aplicada à abordagem da Produção Sacrificada de Anos de Vida Perdidos, ou seja, o valor presente da produção futura de um indivíduo é o valor que uma vida representa para a sociedade, um custo de oportunidade para a sociedade (ORTIZ, 2003 ; SERÔA DA MOTTA *et al*, 1998).

Em termos de poluição do ar em ambientes internos, a aplicação do método da produção sacrificada pode ser feita através da estimativa de uma função dose-resposta, função essa que associa a variação da qualidade ou do estoque de um recurso ambiental a um determinado nível de dano físico ambiental para que o efeito desse dano físico em um determinado nível de produção seja passível de identificação, ou seja, a identificação do próprio valor do recurso ambiental (SERÔA DA MOTTA, 1998). No caso da poluição do ar interna, a dose de poluição pode ser representada pela contaminação e conseqüente queda da qualidade do ar interno, enquanto a resposta pode ser representada pelo número de mortes por doenças cardíacas e respiratórias e aumento da taxa de morbidade em decorrência dessa poluição (MAIA *et al*, 2004). A estimativa de uma função dose-resposta é necessária nesse método para que a variação do dano em decorrência de uma variação no bem ou serviço ambiental que afeta a produção de um bem seja estimada (SERÔA DA MOTTA, 1998).

Apesar do método da vida sacrificada ser o método mais aconselhável para que os custos em decorrência da poluição interna sejam estimados, o mesmo é alvo de vieses estimativos, assim como os demais métodos de valoração. Nesse caso, as funções de dano estimadas para a poluição do ar interno podem se de difícil estimativa, pois o caráter interdisciplinar dessa estimativa leva à necessidade de se conhecer relações ecossistêmicas que nem sempre são conhecidas (SERÔA DA MOTTA, 1998), como os reais efeitos da poluição interna sobre a saúde dos ocupantes um prédio ou residência fechado. Além do conhecimento das relações antes citadas, o método requer um estudo de campo com uma maior sofisticação e um maior número de variáveis (SERÔA DA MOTTA, 1998), o que torna a aplicação do método um pouco mais difícil. Por trabalhar com dados demográficos, as preferências individuais e as percepções de risco das pessoas não são consideradas, por trabalhar apenas com valores médios da disposição a pagar, subestimando essas disposições, na maioria das vezes. Além disso, quando a renda média de um indivíduo é baixa os valores de disposição a pagar gerados são baixos, levando a concluir erroneamente que a vida de uma pessoa mais pobre vale menos do que a vida de uma pessoa com melhor nível de renda (ORTIZ, 2003).

## **Conclusão**

Neste artigo procurou-se identificar quais os custos econômicos associados à poluição do ar interno e os resultados das reflexões promovidas neste texto se apresentaram em três itens, cumprindo cada um deles um objetivo específico.

O primeiro item apresentou um contexto histórico e teórico a respeito do debate sobre a sustentabilidade, com uma breve discussão sobre a mudança dos padrões de construção que, na

década de 1970, levaram a uma maior preocupação com a qualidade do ar de ambientes internos, dando origem a um novo campo de estudo sobre qualidade do ar. Apesar disso, se por um lado houve um aumento da percepção por parte dos indivíduos sobre os efeitos dos poluentes externos durante a década de 90, em grande parte devido à Conferência de Mudança do Clima também conhecida como RIO-92 e pela atenção dada às mudanças climáticas, ao Protocolo de Kyoto e à poluição externa, não se pode afirmar o mesmo sobre a percepção dos efeitos dos poluentes presentes em ambientes internos.

O item também apresentou a definição de poluição das abordagens teóricas para a poluição do ar, para que a poluição do ar interno fosse caracterizada em seguida. Dessa forma, através de revisão bibliográfica presente no primeiro item, pôde-se identificar os poluentes internos de maior relevância e de maior concentração presentes em ambientes internos e suas fontes, a saber: o monóxido de carbono, o dióxido de nitrogênio, o dióxido de enxofre, o formaldeído, a fumaça de tabaco, os compostos orgânicos voláteis, os poluentes biológicos, o radônio, as partículas respiráveis, os pesticidas, o amianto e o chumbo.

O segundo item teve por objetivo identificar os efeitos da poluição do ar interno sobre a saúde humana, com as doenças e sintomas pertinentes a cada poluente. As doenças foram divididas entre as que podem levar a um aumento da taxa de morbidade e de mortalidade. As doenças relacionadas com um aumento da taxa de mortalidade incluem o câncer, a doença dos legionários, as doenças cardíacas e a tuberculose. As doenças e sintomas que levam a um aumento da taxa de morbidade também foram identificadas no segundo item, com o surgimento de irritação no trato respiratório, garganta, nariz e pele, contribuição para o aumento ou surgimento de doenças respiratórias em adultos e crianças, doenças associadas à presença de poluentes biológicos.

O terceiro item teve por objetivo apresentar os métodos de valoração econômica ambiental e as possibilidades de aplicação de cada um dos métodos em termos de poluição do ar de ambientes internos. Primeiramente definiram-se quais as parcelas de valor que os métodos são capazes de captar. Os métodos identificados foram os métodos da função de produção e da função de demanda. Os métodos da função de produção incluem o método da produtividade marginal e do mercado de bens substitutos, que por sua vez compreendem os métodos de custo de reposição, de gastos evitados e de custos de controle. Os métodos da função de demanda identificados nesse item correspondem ao método dos bens complementares, representado pelo método dos preços hedônicos e do custo de viagem e pelo método da valoração contingente.

Além do alcance dos objetivos específicos para fins de cumprimento do objetivo geral da presente pesquisa, uma das principais conclusões desse trabalho foi a identificação do método de valoração econômica ambiental mais adequada na valoração dos custos de saúde associados à poluição do ar interno. A aplicação do método de valoração contingente é utilizada quando se faz necessária a mensuração dos custos de saúde associados a um tipo de dano ambiental, como no caso da poluição do ar. Entretanto, a viabilidade do método é anulada em grande parte pela falta de percepção das pessoas em relação aos efeitos da poluição do ar interno sobre a saúde das mesmas, ou pelo fato de doenças e sintomas característicos da exposição a poluentes internos serem atribuídos à poluição do ar externo, tornando inviável o questionamento sobre a disposição a aceitar ou a pagar frente a uma variação na qualidade do ar em ambientes internos, como residências e escritórios.

Assim, devido à presença de vieses estimativos e à dificuldade de captar o valor econômico que os custos de saúde representam para a sociedade e à falta de percepção dos efeitos dos poluentes internos sobre a saúde humana, o método que mais se aproximou do nosso objetivo foi o método de valoração de vida sacrificada, método que admite por hipóteses que a produção sacrificada de um indivíduo em decorrência de um dano ambiental é passível de ser estimada, através de uma função dose-resposta. Nessa função, a dose de poluição pode ser representada pela contaminação e conseqüente queda da qualidade do ar interno, enquanto a resposta pode ser representada pelo

número de por doenças cardíacas e respiratórias e aumento da taxa de morbidade em decorrência dessa poluição.

Dessa forma, para que os custos de saúde associados à poluição do ar interno sejam passíveis de valoração, faz-se necessária a captação dos efeitos sobre a saúde humana, através de dados dos custos com medicamentos e internação em decorrência de sintomas e doenças que surgem em função da poluição do ar interno, bem como os dias de internação em decorrência da exposição aos poluentes, os dias de trabalho perdidos e a taxa de mortalidade associada à pessoas que foram vítimas do surgimento ou agravamento de doenças em decorrência da poluição do ar em ambientes internos.

## Bibliografia

ANVISA. **Resolução nº9** de 21 de janeiro de 2003. Disponível em: <http://e-legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php>. Acesso em 19 de março de 2007.

BAIRD, Colin. **Química ambiental**. 2.ed. Porto Alegre: Bookman: 2002.

BRAGA, B. *et al.* **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall: 2005.

BRICKUS, Leila S. R.; AQUINO NETO, Francisco R. de. A qualidade do ar de interiores e a química. **Quím-Nova.**, São Paulo, v. 22, n. 1, 1999. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40421999000100013&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40421999000100013&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em: 02 Maio 2007. Pré-publicação.

CEPA (California Environmental Protection Agency) **Indoor air Pollution in California**. Final Report, 2006. Disponível em <http://www.arb.ca.gov/research/indoor/ab1173/finalreport.htm>. Acesso em 10 de julho de 2007.

DERISIO, Jose Carlos. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 2.ed. São Paulo: Signus Editora, 2000.

EPA (Environmental Protection Agency) **Indoor Air Pollution: An Introduction for Health Professionals**. 1994. Disponível em <http://www.epa.gov/iaq/pubs/hpguide.html>. Acesso em 10 de julho de 2007.

EPA. "The Inside Story: A Guide to Indoor Air Quality" .**Office of Radiation and Indoor Air** (6609J). EPA Document # 402-K-93-007, April 1995. Disponível em: <http://www.epa.gov/iaq/pubs/insidest.html>. Acesso em 23 de março de 2007.

GIODA, Adriana; AQUINO NETO, Francisco Radler de. Chemical pollution related to the indoor air in Brazil. **Quím. Nova.**, São Paulo, v. 26, n. 3, 2003. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40422003000300013&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422003000300013&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 02 Maio 2007. Pré-publicação.

INMETRO - **Qualidade do Ar em Estabelecimentos de Uso Público e Coletivo**. Disponível em <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/qualidadedoAr.asp> . Acesso em 02 de abril 2007

JACOBS, Jane. **Morte e Vida de Grandes Cidades**. São Paulo: Martins Fontes: 2001.

MAIA, A.G., ROMEIRO, A.R., REYDON, B.P. **Valoração de Recursos Ambientais – Metodologias e Recomendações**. Texto para discussão nº 116. IE / UNICAMP. Março 2004. Disponível em [www.eco.unicamp/publicacoes/textos/download/texto116.pdf](http://www.eco.unicamp/publicacoes/textos/download/texto116.pdf). Acesso em 16 de novembro de 2007.

MAY, P.& LUSTOSA, M.C. & VINHA, V. **Economia do Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Campus, 2003.

Ministério da Saúde. **Portaria 3523** do Ministério da Saúde. Disponível em: [http://www.anvisa.gov.br/legis/portarias/3523\\_98.htm](http://www.anvisa.gov.br/legis/portarias/3523_98.htm). Acesso em 19 de março de 2007.

OMS – Organização Mundial da Saúde. Junho de 2005. **Fact sheet N°292**. Disponível em <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs292/en/index.html>. Acesso em 03 de maio de 2007.

OMS - **The health effects of indoor air pollution exposure in developing countries** Disponível em [http://www.who.int/indoorair/publications/health\\_effects/en/index.html](http://www.who.int/indoorair/publications/health_effects/en/index.html), [http://whqlibdoc.who.int/hq/2002/WHO\\_SDE\\_OEH\\_02.05.pdf](http://whqlibdoc.who.int/hq/2002/WHO_SDE_OEH_02.05.pdf) Acesso em 03 de maio de 2007

ORTIZ, R.A. “Valoração Econômica ambiental” in MAY, P.& LUSTOSA, M.C. & VINHA, V. **Economia do Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Campus, 2003, pp. 81-99

PINDYCK, Robert S., Rubinfeld, Daniel L. **Microeconomia**. 5.ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

ROMEIRO, A. R. “Economia ou Economia Política da Sustentabilidade” in MAY, P.& LUSTOSA, M.C. & VINHA, V. **Economia do Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Campus, 2003, pp 1-29.

SERÔA DA MOTTA, Ronaldo. **Manual de Valoração**. Brasília: MMA, 1998 Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biodiversidade/publica/mvalora/sumario.html>. Acesso em 19 de março de 2007.

SERÔA DA MOTTA, R., ORTIZ, R.A., FERREIRA, S.F. **Avaliação Econômica dos Impactos Causados pela Poluição Atmosférica na Saúde Humana: Um Estudo de Caso para São Paulo**. Rio de Janeiro: s/e, 1998. Disponível em: [www.race.nuca.ie.ufrj.br/eco/trabalhos/mesa3/5.doc](http://www.race.nuca.ie.ufrj.br/eco/trabalhos/mesa3/5.doc). Acesso em 10 de agosto de 2007.

VARELA, Carmem Augusta. **Instrumentos de Políticas Ambientais** Relatório de Pesquisa Nº 62/2001 EAESP/FGV/NPP. 2001. Disponível em: <http://www.eaesp.fgvsp.br/Interna.aspx?PagId=DLMJMMTJ&ID=215>. Acesso em 19 de março de 2007.