TEXTO PARA DISCUSSÃO

2517

O CUSTO ECONÔMICO DA POLUIÇÃO DO AR: ESTIMATIVA DE VALOR DA VIDA ESTATÍSTICA PARA O BRASIL

Glauter Rocha
Rafael Lima de Morais
Letícia Klug

ipea

2517
TEXTO PARA DISCUSSÃO
Brasília, outubro de 2019

O CUSTO ECONÔMICO DA POLUIÇÃO DO AR: ESTIMATIVA DE VALOR DA VIDA ESTATÍSTICA PARA O BRASIL

Glauter Rocha[1]
Rafael Lima de Morais[2]
Letícia Klug[3]

1. Especialista em políticas públicas e gestão governamental do governo federal, atuando como pesquisador na Diretoria de Estudos e Políticas Setoriais de Inovação e Infraestrutura (Diset) do Ipea.
2. Pesquisador na Diset/Ipea.
3. Especialista em políticas públicas e gestão governamental do governo federal.

Governo Federal

Ministério da Economia
Ministro Paulo Guedes

ipea **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**

Fundação pública vinculada ao Ministério da Economia, o Ipea fornece suporte técnico e institucional às ações governamentais – possibilitando a formulação de inúmeras políticas públicas e programas de desenvolvimento brasileiros – e disponibiliza, para a sociedade, pesquisas e estudos realizados por seus técnicos.

Presidente
Carlos von Doellinger

Diretor de Desenvolvimento Institucional
Manoel Rodrigues dos Santos Junior

Diretora de Estudos e Políticas do Estado, das Instituições e da Democracia
Flávia de Holanda Schmidt

Diretor de Estudos e Políticas Macroeconômicas
José Ronaldo de Castro Souza Júnior

Diretor de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais
Nilo Luiz Saccaro Júnior

Diretor de Estudos e Políticas Setoriais de Inovação e Infraestrutura
André Tortato Rauen

Diretora de Estudos e Políticas Sociais
Lenita Maria Turchi

Diretor de Estudos e Relações Econômicas e Políticas Internacionais
Ivan Tiago Machado Oliveira

Assessora-chefe de Imprensa e Comunicação
Mylena Fiori

Ouvidoria: http://www.ipea.gov.br/ouvidoria
URL: http://www.ipea.gov.br

Texto para Discussão

Publicação seriada que divulga resultados de estudos e pesquisas em desenvolvimento pelo Ipea com o objetivo de fomentar o debate e oferecer subsídios à formulação e avaliação de políticas públicas.

© Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – **ipea** 2019

Texto para discussão / Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.- Brasília : Rio de Janeiro : Ipea , 1990-

ISSN 1415-4765

1.Brasil. 2.Aspectos Econômicos. 3.Aspectos Sociais. I. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.

CDD 330.908

As publicações do Ipea estão disponíveis para *download* gratuito nos formatos PDF (todas) e EPUB (livros e periódicos). Acesse: http://www.ipea.gov.br/portal/publicacoes

As opiniões emitidas nesta publicação são de exclusiva e inteira responsabilidade dos autores, não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada ou do Ministério da Economia.

É permitida a reprodução deste texto e dos dados nele contidos, desde que citada a fonte. Reproduções para fins comerciais são proibidas.

JEL: Q510.

SUMÁRIO

SINOPSE

1 INTRODUÇÃO 7

2 AS ESTIMATIVAS DE VSL-POLUIÇÃO DO AR EXISTENTES PARA O BRASIL 10

3 DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO.....14

4 ESTIMATIVA DO VSL-POLUIÇÃO DO AR PARA O BRASIL.....18

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....22

REFERÊNCIAS 23

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR.....26

APÊNDICE 27

SINOPSE

Este Texto para Discussão tem como objetivo estimar um parâmetro *plug-in* de custo econômico da poluição do ar para ser usado em análises de custo-benefício de projetos, programas e políticas de infraestrutura, de saúde e ambientais no contexto brasileiro. Sua valoração é expressa em termos de valor da vida estatística (VSL – em inglês, *value of a statistical life*), baseada na disposição a pagar da população para reduzir seu risco de morte devido à poluição do ar, calculada a partir de uma adaptação da técnica de transferência de benefícios. Assim, utilizando a base de dados de metanálise desenvolvida pela Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Econômico (OCDE), estimamos que, para o Brasil, o *VSL-poluição do ar* varia de *R$ 2,17 milhões a R$ 3,93 milhões*, ou de *US$ 0,69 milhão a US$ 1,24 milhão*, em valores de 2017.

Palavras-chave: VSL; poluição do ar; análise custo-benefício.

1 INTRODUÇÃO

No mundo, por ano, seis milhões de pessoas morrem por doenças causadas pela poluição do ar.[1] A maioria desproporcional das ocorrências encontra-se nos países de baixa e de média renda (World Bank, 2016). Esse é um desafio global, que ganha particular notoriedade quando se consideram ações governamentais de grande porte, em áreas como infraestrutura e meio ambiente – que acabam por afetar, direta ou indiretamente, a qualidade do ar. Portanto, é cada vez mais imperativo que se inclua a dimensão dos impactos econômicos associados à poluição do ar nas apreciações dessas intervenções.

Uma ferramenta cada vez mais utilizada para isso é a análise de custo-benefício (CBA, em inglês, *cost-benefit analysis*). Ela compara os custos totais esperados de uma intervenção com o total das expectativas de benefícios, observando se os últimos superam os primeiros, e estimando o valor monetário da diferença entre eles.

Nesse tipo de metodologia, grande parte dos impactos podem ser valorados a preços de mercado – custos de construção, de operação, de manutenção etc. –, outros não. Por isso, estes últimos são usualmente estimados por meio do que a literatura chama de "preços-sombra" (*shadow-prices*). Sua valoração, em geral, é dispendiosa e consome bastante tempo. Assim, numa CBA, costuma-se utilizar preços-sombra pré-existentes, que estão prontos para serem usados – os chamados *plug-ins*. Valorações de impactos relativos à economia de tempo, ao número de vidas salvas, à redução do número de acidentes, à diminuição de ruído e às mudanças na qualidade do ar, por exemplo, utilizam esses *plug-ins*.

No caso do custo da poluição atmosférica, diversos estudos identificam a mortalidade prematura da população, decorrente de doenças a ela associadas, como o impacto mais relevante e prejudicial para a sociedade (World Bank, 2016).[2]

1. Vários estudos epidemiológicos associam a poluição atmosférica a mortes por doenças respiratórias e cardiovasculares, além de relacioná-la a mortes por causas mais específicas, como pneumonia e doença pulmonar obstrutiva crônica (Ortiz, Markandya e Hunt, 2009).

2. Devido a sua relevância e magnitude, a maioria dos estudos hoje priorizam custos relacionados à mortalidade prematura. Entretanto, a literatura identifica – e tenta estimar – diversos outros tipos de custos relacionados à poluição do ar. Alguns estão relacionados à saúde – como mortalidade prematura e morbidade –, outros não. Exemplos desses últimos são: elevação do nível do mar, erosão costeira, destruição de florestas, diminuição da produção agrícola, diminuição do valor das propriedades, afastamento de talentos profissionais etc.

O parâmetro (preço-sombra) comumente utilizado para sua valoração é expresso em termos de valor da vida estatística (VSL, em inglês, *value of a statistical life*).[3] Ele fornece uma estimativa do "valor" que determinada sociedade atribui *ex-ante* para evitar a morte de um de seus indivíduos. Em termos operacionais, expressa, monetariamente, o quanto ela está disposta a pagar por uma dada redução do risco de morte prematura de um indivíduo.[4]

Encontramos hoje na literatura diversos enfoques metodológicos que permitem estimar esse VSL. As abordagens mais comuns são: *i*) disposição a pagar (*willingness to pay approach* – WTP), por meio de métodos de preferências declaradas ou de preferências reveladas; *ii*) renda-perdida (*forgone output approach* – FO); e *iii*) custo das doenças.[5]

Neste trabalho, adotaremos o VSL como variável de medição da disponibilidade agregada a pagar. Esse método, diferente dos outros dois, permite mensurar a ineficiência não avaliada via mercado sendo, portanto, uma medida mais abrangente para valoração de bem-estar social que aquelas que valoram a ineficiência baseadas em preços de mercado

3. Nas análises de custo-benefício de intervenções públicas, o VSL é usado da seguinte forma: estima-se o número esperado de prevenção de mortes em um ano, multiplicando a média anual de redução de risco pelo número de pessoas afetadas pela intervenção. Em seguida, para estimar o benefício anual, aplica-se o VSL para cada morte prevenida naquele ano. Por fim, o benefício é somado no período de vida da intervenção – em valor presente, usando a taxa social de desconto para o país em questão (OECD, 2012).

4. Associar um valor monetário à vida humana pode parecer politicamente incorreto – ou até mesmo insensível. Afinal, a vida não tem preço. Entretanto, os formuladores de política se deparam frequentemente com a tarefa de desenvolver intervenções públicas ou instrumentos regulatórios que se destinam a proteger vidas ou que, de alguma forma, afetam o risco de morte da população. Nesses casos, é preciso levar em conta que mesmo que esses riscos não estejam sendo valorados explicitamente nas tomadas de decisões, necessariamente eles estarão sendo considerados, ainda que de modo implícito. A estimação e explicitação – monetária – desses riscos, por meio de técnicas cuidadosas de valoração, podem melhorar bastante as tomadas de decisões, resultando em formulações de políticas mais consistentes e em melhores e mais efetivas alocações de recursos da sociedade (OECD, 2012).

5. As *abordagens willingness to pay* (WTP *approach*) tentam estimar os *tradeoffs* que os indivíduos estariam dispostos a fazer para reduzir seus riscos de morte por doenças causadas por poluição. Quanto eles estariam dispostos a pagar por uma determinada redução do risco de morrer por doença relacionada à poluição? Em geral, usa-se o VSL como variável de medição da disponibilidade a pagar agregada dos indivíduos por uma redução marginal de seus riscos de morte. Dois tipos principais de métodos são utilizados: *i*) preferências declaradas (*stated preferences*), operacionalizadas por meio de *surveys* em que são apresentados cenários hipotéticos e solicitado que as pessoas façam escolhas; *ii*) preferências reveladas (*revealed preferences*): WTP baseado em observação de comportamento no mercado real, por exemplo, examinando diferenças salariais entre ocupações de maior e menor risco ou observando as diferenças de preços de imóveis entre áreas mais ou menos poluídas.
As *abordagens de renda perdida* (FO *approach*), são aquelas baseadas em renda, em que se iguala o custo financeiro da morte prematura com o valor presente da renda perdida em sua decorrência.
A *abordagem do custo das doenças* (*cost of illness approach* – COI) contabiliza os custos financeiros diretos (custos com ambulâncias, despesas médicas, salários perdidos por trabalhadores doentes etc.) e indiretos (perda de produtividade das firmas, perdas de oportunidades por trabalhadores doentes etc.) das mortes e doenças.

(salários, custos de tratamento etc.). Por meio dele, procuraremos estimar o quanto os indivíduos estariam dispostos a pagar por uma determinada redução do risco de morrer por doença relacionada à poluição do ar.

Em países de alta renda, a abordagem padrão utilizada para valorar o risco de mortalidade prematura associada à poluição do ar é o VSL baseado na disponibilidade agregada a pagar dos indivíduos – normalmente estimado pelo método de valoração contingente,[6] com base em *surveys* (Viscusi, 1993; Cropper, 2000; OECD, 2012; Narain e Sall, 2016; World Bank, 2016). Contudo, estudos dessa natureza ainda são escassos em muitos países em desenvolvimento, inclusive no Brasil.

Frente a essa escassez de pesquisas, muitos especialistas sugerem "transferir" estimativas de países que possuem bons estudos empíricos para contextos de países onde esses não existem ou são insuficientes.[7] Isso consiste em calcular parâmetros a partir da técnica de "transferência de benefícios", que procura ajustá-los ao levar em conta algumas características que provavelmente influenciam a forma como os indivíduos, em diferentes circunstâncias, valoram os riscos associados à mortalidade prematura. A literatura, em geral, aponta a renda da população como a principal dessas características. Entretanto, outros atributos também podem se mostrar relevantes (na seção 3, esboçamos uma descrição dessa técnica).

O objetivo deste estudo é, então, estimar o valor da vida estatística associado à poluição do ar, no contexto brasileiro, para ser usado em análises de projetos, programas e políticas de infraestrutura, de saúde e ambientais. É também escopo deste trabalho avançar no aperfeiçoamento metodológico da técnica de transferência de benefícios, melhorando sua adequação para o uso em países de baixa e de média renda.

Este trabalho se coloca, portanto, como um *background paper* na proposição de parâmetros de valoração (preços-sombra ou *plug-ins*) dos impactos econômicos associados à poluição atmosférica. Ele deve ser entendido como um "documento vivo", que

6. Valoração contingente é um método baseado em *survey* frequentemente utilizado para estimar um valor monetário para bens e serviços ambientais que não são comprados e vendidos no mercado. Nele os respondentes são chamados a declarar suas preferências em um mercado contingente ou hipotético, permitindo estimar a demanda por bens e serviços que não são comercializados no mercado. Existe uma vasta literatura sobre este método de valoração, a exemplo de Mitchell e Carson (1989) e Bateman *et al*. (2002) (Ortiz, Markandya e Hunt, 2009).
7. Importante ressaltar que esses estudos são de custo elevado e de difícil aplicação em contextos em que a população tenha pouco domínio sobre noções básicas de probabilidade.

está aberto à atualização permanente por meio da incorporação de novas estimações do VSL na base de dados utilizada para calcular o VSL-Brasil por "transferência de benefícios", e, quiçá, de outros avanços metodológicos.

Para dar conta dessa tarefa, este texto se estrutura em quatro partes, além desta introdução. A seguir, na seção 2, realizamos uma análise da literatura – nacional e internacional – voltada para a definição de estimativas de *VSL-poluição do ar* para o contexto brasileiro e discutimos seu alcance e adequação. Na seção 3, expomos uma proposta de avanço metodológico na técnica de transferência de benefícios e, na seção 4, a aplicamos para estimar o *VLS-poluição do ar* para o Brasil. Fechando o trabalho, delineamos algumas considerações finais, na seção 5.

2 AS ESTIMATIVAS DE VSL-POLUIÇÃO DO AR EXISTENTES PARA O BRASIL

Uma análise da literatura nacional e internacional mostra que, nas últimas décadas, os estudos que buscaram medir os impactos econômicos da poluição do ar para o contexto brasileiro concentraram-se, principalmente, nos efeitos decorrentes da mortalidade prematura,[8] usando como parâmetro o VSL, calculado, em geral, pelas abordagens metodológicas da disposição a pagar (*WTP approach*) ou da renda perdida (*FO approach*). Do ponto de vista operacional, verifica-se ainda a adoção de duas vias principais: *i*) calcular o indicador realizando pesquisa de campo direta (*survey*) para estimar a WTP; e *ii*) fazer "transferência de benefícios" para o contexto brasileiro utilizando estudos realizados em países de alta renda – onde existe maior densidade de produção acadêmica na área.

8. Segundo World Bank e Institute for Health Metrics and Evaluation (2016), os resultados de saúde não fatais podem ser excluídos do escopo de análise por dois motivos: *i*) a morbidade responde por uma parcela muito pequena do custo total da poluição do ar na saúde – como estimado no *Global burden of disease study* (GBD, 2013). Além disso, as análises regulatórias das políticas de controle de poluição do ar nos Estados Unidos e em outros países têm encontrado, consistentemente, que a maioria dos benefícios econômicos resultantes da melhoria da qualidade do ar vem da prevenção da morte prematura. Assim, focando na morte prematura, seremos capazes de dar conta do maior componente de custo econômico advindo dos impactos da poluição do ar na saúde; *ii*) existe um vasto corpo teórico e empírico de estudos e procedimentos padrão para o cálculo do custo da mortalidade, diferentemente do caso do custo da morbidade (Narain e Sall, 2016). Assim, segundo Hunt *et al*. (2016), excluir os custos da morbidade não influencia significativamente a magnitude das estimativas de custo, embora os resultados não fatais possam representar, pelo menos, outros 10% dos custos totais.

No primeiro caso, identificamos o estudo de Ortiz, Markandya e Hunt (2009) como a tentativa mais robusta e abrangente de estimar esse parâmetro por meio de uma pesquisa de campo direta. Os autores estimaram o VSL baseados na disposição a pagar (WTP) da população para reduzir seu risco de morte devido à poluição do ar, calculada a partir de uma valoração contingente realizada em São Paulo, em março de 2003.[9] A metodologia por eles utilizada foi adaptada dos trabalhos de Krupnick *et al*. (1997; 1999; 2002), desenvolvidos para aplicação nos Estados Unidos. O instrumento de *survey* foi ajustado para as peculiaridades do contexto brasileiro e usado para estimar a disposição a pagar para diferentes reduções da probabilidade de morte.

Como resultado, o estudo encontrou um intervalo de VSL de US$ 0,77 milhão a US$ 6,1 milhões (em US$ de 2003). Entretanto, os próprios autores consideram-no acima do que seria esperado para um país de média renda como o Brasil, tendo como parâmetro as estimativas conhecidas para os contextos europeu e norte-americano[10] e considerando a estreita relação entre as estimativas de disposição a pagar e a renda da população.

Segundo os autores, o "comportamento cooperativo" dos respondentes foi a razão mais provável para o elevado valor encontrado de WTP e VSL: as pessoas tentaram ser cooperativas, dizendo "sim" à maioria das questões. Esse viés pode ter sido introduzido, em parte, pelo uso de um incentivo financeiro concedido a cada respondente, pela participação no *survey* – de pouco mais de um quarto do salário mínimo brasileiro da época. Isso foi evidenciado em diversos comentários feitos pelos respondentes.

Para entender a dimensão desse problema, os autores refizeram seus cálculos para uma subamostra que não incluía potenciais respondentes cooperativos (*yeah-saying*). Os novos resultados sugeriram um intervalo de VSL ainda consideravelmente elevado, entre US$ 0,41 milhão e US$ 0,49 milhão (em US$ de 2003).

9. A amostra do estudo envolveu residentes de São Paulo, entre 40 e 75 anos, com um mínimo de educação (saber ler e escrever) e distribuídos nas classes A, B e C – indivíduos com renda média anual de US$ 3.000,00, um pouco abaixo da renda média da cidade à época, que era de US$ 3.725,00. A distribuição de gênero e de grupo social da amostra seguiu a distribuição da população da cidade.
10. O valor médio do VSL dos países da OCDE (produto interno bruto – PIB *per capita* médio de US$ 37.000), por exemplo, é de US$ 3,83 milhões, em dólares de 2011 (World Bank e Institute for Health Metrics and Evaluation, 2016).

Além do "comportamento cooperativo", o trabalho enfrentou outros problemas em sua tentativa de captar a disposição a pagar, especialmente a falta de conhecimentos básicos de probabilidade por parte dos respondentes.

Frente a tantos óbices e à dificuldade de subscrever os elevados resultados encontrados, os autores sugerem, mas não justificam, o uso de um valor da vida estatística mais conservador – variando entre US$ 0,77 milhão e US$ 1,31 milhão (em US$ de 2003) – para análises de políticas em São Paulo.

Dentre os estudos que optaram pela segunda forma de operacionalização – uso de "transferência de benefícios" –, podemos destacar Motta, Ortiz e Ferreira (2000); Miraglia e Golveia (2014) e Abe e Miraglia (2016) e, ainda, o relatório *The Cost of Air Pollution* do Banco Mundial (World Bank, 2016).

O estudo de Motta, Ortiz e Ferreira (2000), como ressaltam os próprios autores, foi uma tentativa de estimar o impacto da mortalidade e da morbidade associadas à poluição do ar para a Região Metropolitana (RM) de São Paulo, sem o uso de pesquisa direta (*survey*). Foram aplicadas funções de transferência de benefícios, que transpuseram estimativas de países europeus para o contexto da RM de São Paulo.[11] O estudo encontrou um intervalo de VSL – baseado em WTP – de US$ 0,95 milhão a US$ 1,27 milhão (em US$ de 1997).[12]

Miraglia e Golveia (2014), por sua vez, avaliaram o impacto econômico de eventos de saúde ligados com a poluição do ar em regiões metropolitanas brasileiras. A partir de estimativa da mortalidade atribuível às concentrações de material particulado (MP) em 29 RMs, que totalizaram 20.050 óbitos, calcularam os custos associados a esse problema por meio da metodologia Disability Adjusted Life Years (Daly).[13] O custo das mortes

11. Valores extraídos de: ExternE Externalities of Fuel Cycles: Economic Valuation – An Impact Valuation Approach (1998). Disponível em: <http://www.externe.info/externe_d7/>.

12. Esses resultados foram obtidos considerando uma elasticidade-renda igual a 1,0. Os autores também estimaram os resultados para uma elasticidade de 0,54, quais sejam: US$ 1,64 milhão a US$ 2,22 milhões (US$ de 1997). Neste estudo, estimou-se ainda o impacto por duas outras abordagens metodológicas: renda perdida (US$ 0,07 milhão a 0,20 milhão – em US$ de 1997) e preços hedônicos (US$ 0,17 milhão a US$ 0,49 milhão – em US$ de 1997). Como podemos observar, as estimativas do estudo variam significativamente de acordo com a abordagem metodológica considerada.

13. O método DALY é uma medida sumária de saúde expressa por um indicador padrão em unidade de tempo (anos), obtido pela soma de dois componentes: YLL (*years of life lost* ou anos de vida perdidos, em função de uma morte prematura (associada a um desfecho específico) correlacionada à expectativa de vida estimada e o YLD – y*ears lived with disability* (Miraglia e Golveia, 2014).

prematuras no Brasil resultou em US$ 1,7 bilhão anualmente. Os autores, argumentando a falta de parâmetro nacional adequado para o VSL, adotaram o valor estimado por Pearce (1998),[14] que varia no intervalo de US$ 1,6 milhão a US$ 4,8 milhões (em US$ de 1997). Novamente, esses valores são elevados para as condições brasileiras.

Abe e Miraglia (2016) usaram a abordagem *health impact assessment* (HIA) para avaliar cenários de redução de poluição do ar para a cidade de São Paulo, no período 2009-2011. Seus resultados apontaram para a redução de 5.012 mortes prematuras e economia anual de US$ 15,1 bilhões, na hipótese de que São Paulo alcançasse os padrões de MP2,5 recomendados pela Organização Mundial de Saúde (OMS) – 10μg/m^3. O trabalho utilizou para estimar a economia monetária o "valor da vida estatística ano" europeu – US$ 56.640,41 (em US$ de 2016).[15] Este valor foi aplicado diretamente, sem empregar qualquer técnica de transferência de benefícios. Os próprios autores o consideraram alto para os padrões brasileiros, mas justificaram sua adoção "por falta de uma estimativa mais confiável".

Vale mencionar ainda o estudo *The cost of air pollution* do Banco Mundial (World Bank, 2016), que teve como objetivo estimar o custo da poluição do ar para a economia mundial, para estimular países a adotarem medidas de redução de emissões. O trabalho fez um esforço de reunir estimativas do custo da mortalidade prematura devido à poluição do ar em 180 países, incluindo o Brasil. O custo para a economia mundial foi calculado por meio do somatório dos custos desses países. O estudo concluiu que, em 2013, a exposição à poluição do ar custou à economia mundial cerca de US$ 5,11 trilhões em "perda de bem-estar", sendo US$ 82,61 bilhões relativos ao Brasil.

Do ponto de vista metodológico, este último trabalho usou o *Global burden of disease study* (GBD, 2013) – que combina dados de monitoramento terrestre e de satélite com um modelo de transporte químico – para estimar a poluição do ar. Para avaliar o impacto econômico, o estudo focou na mortalidade prematura, utilizando estimativas de VSL calculadas por duas vias: abordagem da disposição a pagar (*WTP approach*) e abordagem da renda perdida (*FO approach*).

14. Pearce (1998) se baseou em revisões realizadas para o contexto dos Estados Unidos (Fisher, Chestnut e Violette, 1989; Cropper e Freeman, 1991; Viscusi, 1993; Miller, 1989) para sugerir um intervalo recomendado de VSL. A partir dessas análises, avaliou que estimativas de VSL entre US$ 1,6 milhão e 4,8 milhões parecem "seguras".
15. Valores extraídos de European Commission (2005).

Ademais, para os países que não possuíam estimativas de VSL confiáveis, utilizou-se a técnica de "transferência de benefícios", ajustando o VSL-base para diferenças de renda (PIB *per capita*). Usou-se como valor-base de VSL o valor médio de estudos realizados em países da OCDE, US$ 3,83 milhões (em US$ PPP de 2011).[16] Assim como nos trabalhos supracitados, pelo mesmo motivo da diferença de renda, esse VSL-base pode ser considerado como muito alto para as condições brasileiras.

Por falta de um parâmetro confiável para países de baixa e média renda, todos esses e studos utilizaram um VSL-base de países de alta renda para fazer a transferência de benefícios para o contexto brasileiro. Entretanto, as evidências empíricas recentes confirmam o pressuposto teórico de que usar um VSL-base de um estudo cujo contexto seja mais semelhante ao da intervenção a ser avaliada pode ajudar a produzir melhores estimativas e reduzir sua sensibilidade à elasticidade-renda (World Bank, 2016).

Assim, com o intuito de avançar na definição de um parâmetro *plug-in* de VSL que melhor se aproxime da realidade brasileira, na seção seguinte, desenvolvemos uma estratégia metodológica que assegura uma maior similaridade entre os contextos de origem e de destino da estimativa transferida. A partir dela, na seção 4, propomos uma estimativa de VSL para o Brasil, que supera o problema da transposição de valores a partir de contextos tão díspares ao nosso.

3 DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO

Em uma análise de custo-benefício, quando é infactível realizar um estudo de disposição a pagar (*survey*) para estimar um VSL customizado para a intervenção em questão – por limitação de tempo ou de recursos financeiros, por exemplo –, pode-se utilizar, em substituição, a técnica de transferência de benefícios. Ela consiste em aplicar o valor monetário de um estudo de valoração, realizado em uma situação específica, em circunstâncias diferentes daquelas em que o estudo foi realizado.

16. Esse VSL-base representa uma média de estimativas de VSL de uma amostra da base de dados de estudos de disposição a pagar composta por países de alta renda, membros da OCDE, com PIB *per capita* médio de US$ 37.000 (US$ PPP 2011).

Em nosso caso, vamos utilizar – com os ajustes necessários – um "VSL-poluição do ar" derivado de estudos realizados para outros países (VSL-base) para análise de intervenções no Brasil. Mas como pode ser feita essa transferência de benefícios entre países?

A literatura mostra que, em geral, dois métodos têm sido utilizados para estimar o VSL de um país específico, a partir do VSL-base de outro(s): *i*) "transferência simples de valor" (*unit-value transfer*), ajustando-se apenas as diferenças relativas no nível de renda, inflação e crescimento da renda no tempo; e *ii*) transferência baseada em "funções de transferência" (*function-based transfer*), em que os parâmetros são estimados a partir de análises de regressão derivadas de metanálises (*meta-regression analysis*) (Narain e Sall, 2016).

No primeiro caso, adota-se a estimativa de um estudo – ou um valor médio de vários estudos – para ser aplicada diretamente ao contexto de política do destino. Assume-se, portanto, a semelhança de características e preferências entre os indivíduos do contexto onde o estudo foi realizado e de onde o valor será aplicado; admite-se também que o risco a ser valorado é o mesmo, produzindo uma utilidade similar para a redução de risco marginal (OECD, 2012). Em geral, para capturar as diferenças entre as populações em questão, o valor do VSL é ajustado apenas pela renda *per capita*, principal parâmetro que afeta as preferências e a disposição a pagar, segundo testes realizados pela OCDE.

No segundo, transferência baseada em "funções de transferência", a disposição a pagar é descrita como uma função de características quantificáveis do estudo de referência e transferida para o contexto desejado por meio dela. O Banco Mundial (2013), por exemplo, usou esse método, para estimar um VSL para Kosovo, aplicando uma "função de transferência" derivada de uma análise de regressão de uma metanálise realizada por Biausque (2012), a partir da base de dados da OCDE. Já Milligan *et al.* (2014) fizeram exercício semelhante para países de baixa e média renda.

Pela simplicidade e transparência, a OECD (2012) recomenda a utilização do método da transferência simples de valores para transportá-los de um país para outro. Segundo Lindhjem e Navrud (2015), seus resultados são tão precisos quanto os de uma complexa "função de transferência" ou de outros métodos mais sofisticados, desde que se faça uma triagem de estudos de alta qualidade para obter o VSL-base e se efetuem os ajustes apropriados para o contexto de política em questão.

Tomadas essas cautelas, a transferência simples de valor é feita a partir de um VSL-base estimado, que é transferido para outros países (e anos) utilizando a fórmula 1 (ou uma variação dela):

$$\mathrm{VSL}_{j,t} = \mathrm{VSL}_{Base} \times \left(\frac{\mathrm{Y}_{j,t}}{\mathrm{Y}_{Base}}\right)^{e} \quad (1)$$

Em que $VSL_{j,t}$ é o VSL para o país *j* no ano *t*, VSL_{base} é a média das estimativas de VSL dos estudos de disposição a pagar nos países da base de dados utilizada, $Y_{j,t}$ é o PIB *per capita* do país *j* no ano *t*, Y_{base} é o PIB *per capita* médio dos países da base de dados de estudos e *"e*" é a elasticidade renda do VSL.

No caso da transferência de benefícios entre países, recomenda-se ainda ajustar os valores, pelo menos, pela variação da inflação (ΔP) e pela variação real de renda *per capita* (ΔY), resultando na fórmula 2:

$$\mathrm{VSL}_{j,t} = \mathrm{VSL}_{Base} \times \left(\frac{\mathrm{Y}_{j,t}}{\mathrm{Y}_{Base}}\right)^{e} \times (1 + \%\Delta\mathrm{P} + \%\Delta\mathrm{Y})^{e} \quad (2)$$

O estudo do World Bank (2016) mostra que, quando se calcula o custo da poluição do ar por disposição a pagar por meio de preferências declaradas, o VSL-base é a fonte mais importante de incerteza na estimativa. Revela, ainda, que as fontes de incerteza variam de acordo com o nível de renda dos países e que a semelhança de contextos entre os países do VSL-base e o de destino pode ajudar a reduzir a sensibilidade dos resultados em relação à elasticidade-renda adotada. Para países de alta renda, a escolha do VSL-base é bem mais influente que as hipóteses sobre a elasticidade-renda do VSL. Para países de baixa e de média renda, a escolha do VSL-base é também a principal fonte de incerteza, embora a elasticidade renda também desempenhe papel importante.

Sendo o VSL-base a principal fonte de incerteza nas estimativas de transferência de benefícios, optamos por inovar no cálculo do VSL-base e abandonamos a metodologia padrão de cálculo do VSL-base que extrai uma média simples das estimativas de estudos e constrói uma combinação ponderada delas, atribuindo pesos maiores àquelas retiradas de contextos que mais se aproximam do país de destino.

Optamos por calcular o VSL-base por meio de uma adaptação de uma etapa do método de controle sintético.[17] Foram selecionados, na base de metanálise da OCDE, os países com estudos de WTP para poluição do ar considerados recomendados. Agregando outras variáveis de controle, foi construído o VSL-base a partir de uma composição estatística de países que mais se aproximavam do Brasil, o qual chamamos de "Brasil sintético".

A escolha dessa combinação é feita a partir do uso de variáveis de controle que influenciem a disposição a pagar dos indivíduos por uma redução de risco de morrer devido a doenças relacionadas à poluição do ar. Assim, orientando-se pelos dados, selecionam-se e atribuem-se pesos maiores às unidades que demonstrem maior afinidade com a unidade de destino, em termos de características quantificáveis observáveis.

Para efetivar essa adaptação, reescrevemos a fórmula 2, como segue:

$$\mathrm{VSL}_{1,t+1} = \left[\sum_{j=2}^{j+1} w_j^{*}\mathrm{VSL}_{j,t} \times \left(\frac{\mathrm{Y}_{1,t}}{Y_{j,t}}\right)^{e}\right] \times (1 + \%\Delta\mathrm{P} + \%\Delta\mathrm{Y})^{e} \qquad (3)$$

Em que $VSL_{1,t+1}$ é o valor da vida estatística a ser estimado para a unidade de destino no tempo $t + 1$; t é o ano da estimativas a serem transferidas; $t + 1$ é o ano da estimativa a ser realizada para o país de destino; w_j é o peso estimado para o j-ésimo país; $Y1,t$ é o PIB *per capita* do país de destino no tempo t; $Y_{j,t}$ é o PIB *per capita* do j-ésimo país no ano t; e é a elasticidade renda do VSL; ΔP é a variação da inflação e ΔY é variação real da renda *per capita* do país de destino, entre os tempos t e $t + 1$.

Na prática, essa adaptação acrescenta uma etapa ao processo de estimação do VSL por transferência de benefícios: encontrar um vetor W que represente a melhor combinação ponderada de países de comparação, baseando-se em variáveis de controle que influenciem a disposição a pagar dos indivíduos por uma redução de risco de morrer devido a doenças relacionadas à poluição atmosférica.

17. O método do controle sintético – desenvolvido por Abadie e Gardeazabal (2003) e, posteriormente, aperfeiçoado por Abadie, Diamond e Hainmueller (2010; 2011; 2015) – é uma metodologia de avaliação de impacto de intervenções, programas e políticas públicas, baseado na simulação de contrafatuais. O elemento-chave desse tipo de procedimento está na sua forma de construção, usualmente baseada na seleção de um grupo de "unidades" que não sofreu intervenção semelhante àquela em análise. Com isso, torna-se possível comparar o grupo dos que foram afetados com o grupo dos que não foram. É uma metodologia estatisticamente robusta, hoje referência de estado da arte em inferência causal com dados não experimentais.

Para encontrar o W, consideremos: Y_{kjt} a k-ésima variável de controle para o j-ésimo país no t-ésimo tempo. Sendo J países controle, K variáveis e T_k instantes de tempo, desejamos encontrar:

$$\sum_{j=2}^{J+1} w_j Y_{kjt} = Y_{k1t}, \forall\ k \text{ e } 1 \leq t \leq T_k.$$

Em que, $W = (w_2, \dots, w_{J+1})'$ é um vetor de pesos, tal que, $\sum_{j=2}^{J+1} w_j = 1$ e $w_j \geq 0\ \forall\ j = 2, \dots, J+1$.

O vetor de pesos é estimado pela matriz W^* que minimiza o erro quadrático médio, $(WY_{kt} - Y_{k1t})^2,\ \forall\ k \text{ e } t$ sujeito às restrições já apresentadas. Essa estimação pode ser vista como um problema de programação quadrática, como apresentado na fórmula 4:

$$\begin{aligned} &Minimize: && \sum_{j=2}^{J+1} (w_j Y_{kjt} - Y_{k1t})^2,\ \forall\ k\ e\ t \\ &Sujeito\ a: && \sum_{j=2}^{J+1} w_j = 1 \\ & && w_j \geq 0\ \forall\ j = 2, \dots, J+1. \end{aligned} \tag{4}$$

Desenvolvidos esses ajustes na técnica, na seção seguinte, a aplicamos para estimar o VSL para o Brasil.

4 ESTIMATIVA DO VSL-POLUIÇÃO DO AR PARA O BRASIL

Nesta seção, estimamos o valor da vida estatística associado à poluição do ar para o contexto brasileiro – relativo ao ano de 2017, valores em reais (R$).

Reescrevemos, portanto, a fórmula 3 como:

$$\text{VSL}_{Brasil,2017} = \left[\sum_{j=2}^{j+1} w_j^* \text{VSL}_{j,2005} \times \left(\frac{\text{Y}_{Brasil,2005}}{\text{Y}_{j,2005}}\right)^e\right] \times (1 + \%\Delta\text{P} + \%\Delta\text{Y})^e \tag{5}$$

O primeiro passo para a solução do problema é encontrar um vetor de pesos – do tipo $W = (w_2, w_3, \ldots, w_{j+1})'$, em que $w_j \geq 0$ para $j = 2, \ldots, J + 1$ e $j = 2, \ldots, J + 1$ e $w_2 + \cdots + w_{j+1} = 1$ – que pondere a importância das estimativas transferidas de acordo com a maior ou menor semelhança entre seus contextos e o brasileiro.

Para a triagem das estimativas, utilizamos a base de dados de estudos de disposição a pagar por preferências declaradas da OCDE – a maior base de metanálise já preparada com estimativas de VSL para contextos de risco em meio ambiente, saúde e transporte. Ela contém mais de mil estimativas, extraídas de estudos realizados em 38 países.[18]

Dela destacamos os estudos associados à poluição do ar para compor a amostra de nosso trabalho – considerando apenas aqueles qualificados como *recomendados* pelos organizadores. Chegamos, assim, ao nosso *donor pool*: Alemanha, China, Dinamarca, Espanha, França, Hungria, Suíça, Polônia, Reino Unido, República Checa, Tailândia e Taiwan.

Esse passa então a servir de base para a escolha, a partir de variáveis de controle, da combinação ponderada de países para a "transferência" de VSL. Pela análise dos estudos teóricos e empíricos da área, assim como da disponibilidade de dados, elegemos como variáveis de controle: PIB *per capita* do país; expectativa de vida e escolaridade da população.

Aplicando a fórmula 4 a esse conjunto de países e aquelas variáveis de controle,[19] obtivemos os pesos relativos do VSL de cada um deles: Tailândia (69,7%), China (26,4%) e Alemanha (3,9%). Dinamarca, Espanha, França, Hungria, Suíça, Polônia, Reino Unido, República Checa e Taiwan obtiveram pesos iguais a zero.

No apêndice A, apresentamos um comparativo dos dois cenários de transferência dos benefícios: aquele que simula o contexto de quando usamos a média simples de todos os países da base de dados *versus* o contexto resultante do nosso método da combinação ponderada de países, ajustado a partir de variáveis de controle. Mostramos que a trajetória das variáveis de controle – PIB *per capita* do país; expectativa de vida e

18. Base de dados *on-line* disponibilizada pela OCDE. Disponível em: <https://bit.ly/2k1XhtY>.
19. No *software* R, esse problema pode ser solucionado por meio da função *ipop* do pacote *kernlab*.

escolaridade da população – do *país hipotético ponderado por nosso vetor W* se aproxima muito mais do comportamento dessas variáveis no contexto real brasileiro do que aquele em que usássemos uma média simples dos países do *donor pool*.

O próximo passo foi definirmos a elasticidade-renda a ser utilizada na transferência do benefício. No estudo do World Bank (2016), as análises de regressão das estimativas de VSL dos países de renda média – utilizando a mesma base de metanálise da OCDE – sugeriram que a elasticidade-renda é maior que 1. No estudo, diferentes valores de elasticidade foram assumidos para países de baixa e de média renda, em detrimento de países de alta renda. Para os países de baixa e média renda, ao final, foi adotado o valor central de 1,2, com um intervalo de 1,0 a 1,4 para análise de sensibilidade.[20] Neste Texto para Discussão, adotaremos, portanto, o valor de 1,2 para elasticidade-renda, dada a utilização da mesma fonte de dados.

As informações de VSL do *donor pool* ($VSL_{j,2005}$), assim como seu PIB *per capita* ($Y_{j,2005}$) foram extraídas da referida base de dados da OCDE (resumidos na tabela 1). O crescimento real do PIB *per capita* do Brasil entre 2005 e 2017 (ΔY) e a variação da inflação no mesmo período (ΔP) tiveram como fonte o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) – 95% e 16%, respectivamente.[21]

TABELA 1
Valor da vida estatística e PIB *per capita* do Brasil e dos países do donor pool com peso maior que zero

País	Valor da vida estatística (VSL/WTP)		PIB *per capita* – 2005$, PPP
	Baseado na média 2005$ GDP-PPP	Baseado na mediana 2005$ GDP-PPP	
Brasil	-	-	8.596
Tailândia	1.698.573	923.599	6.869
China	14.880	43.358	4.091
Alemanha	5.400.000	1.800.000	30.496

Fonte: Base de dados VSL OCDE. Disponível em: <https://bit.ly/2k1XhtY>. Acesso em: abr. 2018.

20. Para países de alta renda, o valor central adotado foi 0,8, com intervalo de 0,6 a 1,0 para análise de sensibilidade. Para uma discussão completa da escolha dessas elasticidades, consultar Narain e Sall (2016).

21. Para análises de custo-benefício de projetos ou políticas específicos, Narain e Sall (2016) argumentam que o uso de taxas de mercado é mais adequado, porque, em geral, seus custos são tomados a taxas de mercado, tornando, assim, a base monetária de comparação consistente. Para comparações de custos de poluição entre países, recomendam o uso de taxas com base em paridade de poder de compra.

Aplicando então os valores definidos na tabela 1 à fórmula 5, obtemos, finalmente, a estimativa para o valor da vida estatística associado à poluição do ar para o contexto brasileiro, que é o objetivo principal deste trabalho. Assim, estimamos que o VSL Brasil em 2017 varia de *R$ 2,17 milhões a R$ 3,93 milhões* (R$ de 2017), ou de *US$ 0,69 milhão a US$ 1,24 milhão* (US$ de 2017).[22]

Mas como saber se esses valores podem ser considerados *razoáveis*? Eles representam avanços em relação às estimativas já existentes para o Brasil (apresentadas na seção 2)?

Embora não haja base empírica sólida para julgar a razoabilidade da transferência de VSL entre países, algumas *regras de ouro* têm sido propostas para avaliá-la. Uma delas, bastante utilizada, é o método da razão VSL/Y (valor da vida estatística sobre PIB *per capita*).

Diversos estudos sugerem que essa razão varia com a renda – Narain e Sall (2016), Cropper e Sahin (2009), Hammitt e Haninger(2011) e Miller (2000). Baseados nas evidências empíricas disponíveis, argumentam que essa taxa é provavelmente menor em países de baixa renda do que de alta renda, ou seja, a elasticidade-renda do VSL aumenta quando a renda cai. Cropper e Sahin (2009), por exemplo, sugerem que a relação VSL/Y é de aproximadamente 140, em países de alta renda, e de 80, em países de média renda (Narain e Sall, 2016). Como apresentado na tabela 2, a relação VSL/Y de nosso estudo varia entre 69 e 124 – mostrando-se, portanto, de escala bastante compatível com as evidências empíricas apresentadas por esses autores.

Além disso, se comparada àquelas estimativas obtidas nos estudos apresentados na seção 2, mostra-se bem mais coerente com os pressupostos teóricos e os achados empíricos da literatura da área. O quociente VSL/Y desses estudos – diferentemente do nosso caso –, são de escala bastante superior à esperada para países de média renda (tabela 2).

22. Considerando o valor médio da taxa de câmbio do ano de 2017: US$ 1 = RS 3,16.

TABELA 2
Relação VSL/Y de estudos realizados para o contexto brasileiro[1]

Estudo	VSL/Y	
	Mínimo	Máximo
Motta, Ortiz e Ferreira (2000)	180	241
Ortiz, Markandya e Hunt (2009)	101	803
Miraglia e Golveia (2014)	304	911
Nossas estimativas	69	124

Fonte: Valores de VLS extraídos dos próprios estudos e de PIB *per capita* (Y) obtidos do IBGE e Banco Mundial. Disponível em: <https://bit.ly/2yUZmdS>.
Elaboração dos autores.
Nota: [1] Os estudos de Ortiz, Markandya e Hunt (2009), Motta, Ortiz e Ferreira (2000) e Miraglia e Golveia (2014) foram desenvolvidos para os contextos da cidade de São Paulo, da Região Metropolitana de São Paulo e das 29 maiores RMs brasileiras, respectivamente. Entretanto, nesta comparação, como analisamos sua adequação como parâmetro para o contexto nacional, utilizamos o PIB *per capita* do Brasil no cálculo da relação VSL/Y.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise de custo-benefício é uma importante ferramenta para avaliar opções de intervenções públicas. A valoração monetária do risco de morrer por doença relacionada à poluição do ar é um *input* essencial para a avaliação de muitas delas, já que a mortalidade prematura de indivíduos de uma população representa o maior dos custos decorrentes do aumento da poluição atmosférica – e sua redução corresponde ao maior dos benefícios.

Este Texto para Discussão teve como objetivo principal estimar o valor da vida estatística – baseado em disposição a pagar, por preferência declarada – como forma de valoração desse risco, para ser usado em análises de projetos, programas e políticas de infraestrutura, de saúde e ambientais, no contexto brasileiro.

Para atingi-lo, foi necessário avançar metodologicamente na técnica de transferência de benefícios, melhorando sua adequação para o uso em países de baixa e de média renda. A propósito, esta é uma contribuição importante deste trabalho, que se propõe a ser um *background paper* na proposição de parâmetros de valoração dos impactos econômicos associados à poluição atmosférica, aberto a atualizações e aperfeiçoamentos permanentes. Este esforço procura oferecer uma forma metodológica coerente, consistente e auditável para avaliar esses custos.

Nossos resultados apontam para uma estimativa de VSL associado à poluição do ar de *R$ 2,17 milhões a R$ 3,93 milhões* – ou de *US$ 0,69 milhão a US$ 1,24 milhão* para o Brasil –, em valores de 2017. Eles são bem mais coerentes com os pressupostos

teóricos e os achados empíricos da literatura da área, se comparados aos obtidos para as estimativas de estudos anteriores realizados para o país. Como mostramos, esses últimos apresentam quocientes VSL/Y de escalas bastante superiores à taxa encontrada para nossos resultados e à esperada para países de média renda.

É importante destacar que esse Texto para Discussão traz importante contribuição para o debate sobre avaliação de custo-benefício e estimativa de VSL para a poluição do ar no Brasil ao aprimorar a metodologia de transferência de benefício no seu componente de maior incerteza – a estimativa do VSL-base. No entanto, há limitações que precisam ser destacadas e podem ser objeto de estudos futuros. A melhor metodologia para definição de um VSL-poluição do ar que considere a disposição a pagar da população, é a realização de uma *survey*. Questões como diferenças culturais, religiosas e preferências ambientais podem ser avaliadas com dados primários e permitem testar e/ou checar se a variável renda absorve bem essas diferenças. Um outro ponto importante a se destacar é que o Brasil é um país muito diverso e, provavelmente, a estimativa desses valores seria diferente nas diferentes regiões do país.

Por fim, lembramos que, embora seja o mais significativo, a mortalidade prematura é apenas um dos efeitos da poluição do ar. Ela representa somente uma parte de seu custo total. Além do custo das doenças (morbidade) e internações, ela prejudica a economia de várias outras formas: diminuição da produção agrícola e do valor das propriedades, afastamento de talentos profissionais, dentre outros. Portanto, muito precisamos avançar ainda para uma completa valoração dos efeitos da poluição do ar sobre a saúde e a qualidade de vida humana.

REFERÊNCIAS

ABADIE, A.; GARDEAZABAL, J. The economic costs of conflict: a case study of the Basque country. **The American Economic Review**, v. 93, n. 1, p. 113-132, 2003.

ABADIE, A.; DIAMOND, A.; HAINMUELLER, J. Synthetic control methods for comparative case studies: estimating the effect of California's tobacco control program. **Journal of the American Statistical Association**, v. 105, n. 490, p. 493-505, 2010.

_____. Synth: an R package for synthetic control methods in comparative case studies. **Journal of Statistical Software**, v. 42, n. 13, 2011.

_____. Comparative politics and the synthetic control method. **American Journal of Political Science**, v. 59, n. 2, p. 495-510, Apr. 2015.

ABE, K. C.; MIRAGLIA, S. G. Health impact assessment of air pollution in São Paulo, Brazil. **International Journal of Environmental Research Public Health**, v. 13, 2016. Disponível em: <https://bit.ly/2klWpRg>.

BANCO MUNDIAL. **Kosovo country environmental analysis**: cost assessment of environmental degradation, institutional review, and public environmental expenditure review. Washington, D.C: World Bank, 2013.

BATEMAN, I. J. *et al*. **Economic valuation with state preference technique**: a manual. Cheltenham: Edward Elgar, 2002.

BIAUSQUE, V. **The value of statistical life**: a meta-analysis. Paris: Working Party on National Environmental Policies, Organization for Economic Co-operation and Development, 2012.

CROPPER, M. Has economic research answered the needs of environmental policy? **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 39, n. 3, p. 328-350, 2000.

CROPPER, M.; FREEMAN, A. Environmental health effects. *In*: BRADEN, J.; KOLSTAD, C. (Eds.). Measuring the demand for environmental quality. New York: North Holland, 1991.

CROPPER, M.; SAHIN, S. Valuing mortality and morbidity in the context of disaster risks. **Policy Research Working Paper**, n. 4832, 2009. Disponível em: <https://bit.ly/2m2Brar>.

EUROPEAN COMMISSION. **ExternE** – externalities of energy: methodology 2005 Update. Luxembourg: 2005.

FISHER, A.; CHESTNUT, L.; VIOLETTE, D. The value of reducing risks of death: a note on new evidence. **Journal of Policy Analysis and Management**, v. 8, n. 1, p. 88-100, 1989.

HAMMITT, J.; HANINGER, K. **Valuing morbidity risk**: willingness to pay per quality – adjusted life year, 2011. Disponível em: <https://bit.ly/2kyOno7>.

HUNT, A. *et al*. Social costs of morbidity impacts of air pollution. **OECD Environment Working Paper**, n. 99, 2016. Disponível em: <https://bit.ly/2m5fmrR>.

KRUPNICK, A. *et al*. **New directions in risk valuation and stated preferences methods**: preliminary results. Washington D.C: Resource for the Future, 1997.

_____. Mortality risk valuation for environmental policy. **Resource for the Future Discussion Paper 99-47**, Washington D.C, Aug. 1999.

_____. Age, health and the willingness to pay for mortality risk reductions: a contingent valuation survey of Ontario residents. **Journal of Risk and Uncertainty**, n. 24, p. 161-186, 2002. Disponível em: <https://bit.ly/2kmIWZv>.

LINDHJEM, H.; NAVRUD, S. Reliability of meta-analytic benefit transfers of international value of statistical life estimates: tests and illustrations. *In*: JOHNSTON, R. *et al*. (Eds.). **Benefit transfer of environmental and resource values: a guide for researchers and practitioners**. Dordrecht: Springer, 2015, p. 441-464.

MILLER, T. **Willingness to pay comes of age**: will the system survive? Northwestern University Law Review, n. 83, p. 876-907, 1989.

_____. Variations between countries in values of statistical life. **Journal of Transport Economics and Policy**, v. 34, n. 2, p. 169-188, 2000.

MILLIGAN, C. *et al*. 2014. Value of a statistical life in road safety: a benefit-transfer function with risk-analysis guidance based on developing country data. **Accident Analysis and Prevention**, n. 71, p. 236-47, 2014.

MIRAGLIA, S. G. K.; GOUVEIA, N. Custos da poluição atmosférica nas regiões metropolitanas brasileiras. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 19, n. 10, 2014.

MITCHELL, R. C.; CARSON, R. T. **Using surveys to value public goods**: the contingent valuation method. Washington, D.C: Resources for the Future, 1989.

MOTTA, R. S.; ORTIZ, R.; FERREIRA, S. F. **Health and economic values for mortality and morbidity cases associated with air pollution in Brazil** – ancillary benefits and costs of greenhouse gas mitigation. Paris: OECD/RFF, 2000.

NARAIN, U.; SALL, C. **Methodology for valuing the health impacts of air pollution**: discussion of challenges and proposed solutions. Washington, D.C: World Bank, Mar. 2016. Disponível em: <https://bit.ly/2m07I1I>.

OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Mortality risk valuation in environment, health, and transport policies**. Paris: OECD, 2012.

ORTIZ, R. A.; MARKANDYA, A.; HUNT, A. **Willingness to pay for mortality risk reduction associated with air pollution in São Paulo**. Rio de Janeiro: RBE, v. 63, n. 1, p. 3-22, jan./mar. 2009. Disponível em: <https://bit.ly/2kCRkUu>.

PEARCE, D. Valuing statistical lives. **Planejamento e Políticas Públicas**, v. 18, n. 1, p. 69-121, 1998. Disponível em: <https://bit.ly/2kb6v7p>.

VISCUSI, W. K. The value of risks to life and health. **Journal of Economic Literature**, n. 31, p. 1912-1946, 1993.

WORLD BANK. **The cost of air pollution**: strengthening the economic case for action. Washington, D.C: World Bank, 2016. Disponível em: <https://bit.ly/2AslzRh>.

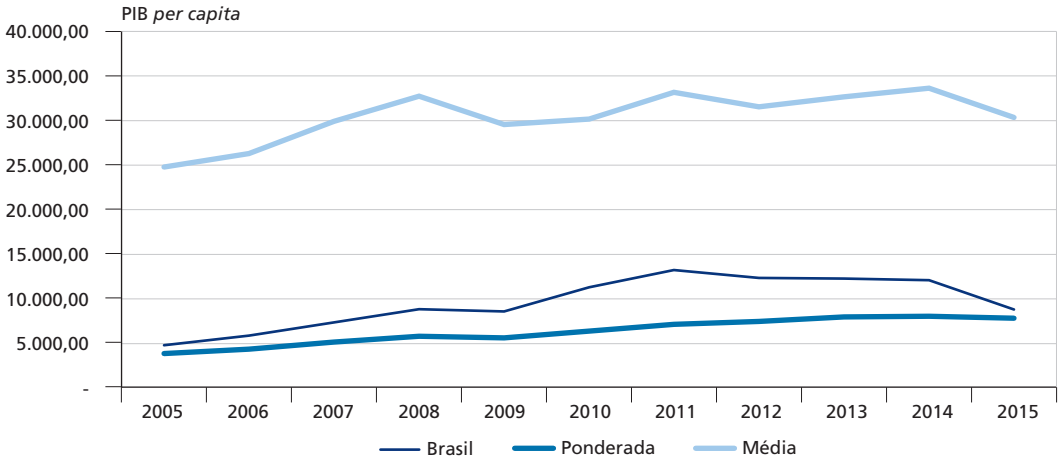
BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

DALBEM, M. C.; BRANDÃO, L.; MACEDO-SOARES, T. D. L. Avaliação econômica de projetos de transporte: melhores práticas e recomendações para o Brasil. **Revista de Administração Pública**, v. 44, n. 1, 2010. Disponível em: <https://bit.ly/2ku5l71>.

APÊNDICE A

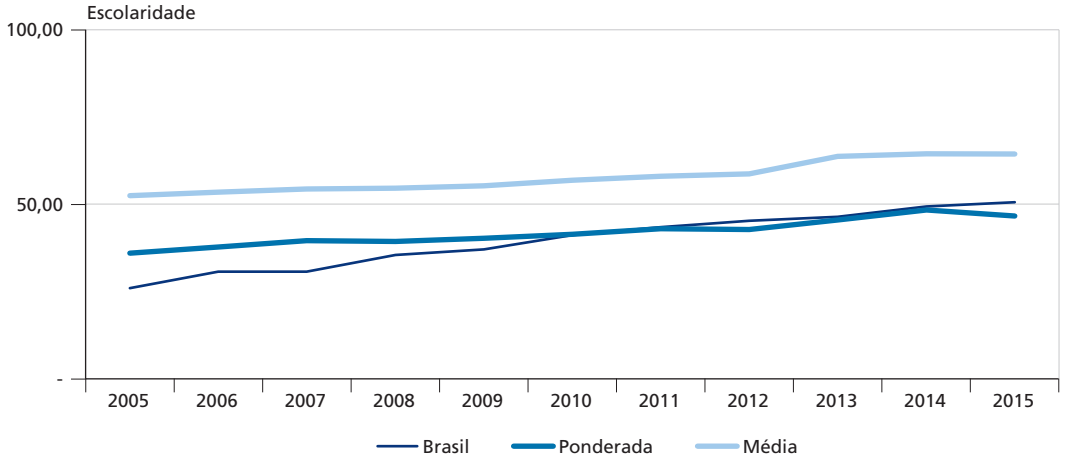
Os gráficos a seguir ilustram o ajuste de cada variável de controle (Y_{kjt}). Neles, podemos observar que, entre 2005 e 2015, a trajetória de $w_j Y_{kjt}$ se aproxima muito mais da realidade do Brasil do que a trajetória da média dessas variáveis para os países de nosso donor pool – Alemanha, China, Dinamarca, Espanha, França, Hungria, Suíça, Polônia, Reino Unido, República Checa, Tailândia e Taiwan.

GRÁFICO A.1
Ajuste das variáveis de controle – PIB *per capita* do país (2005-2015)



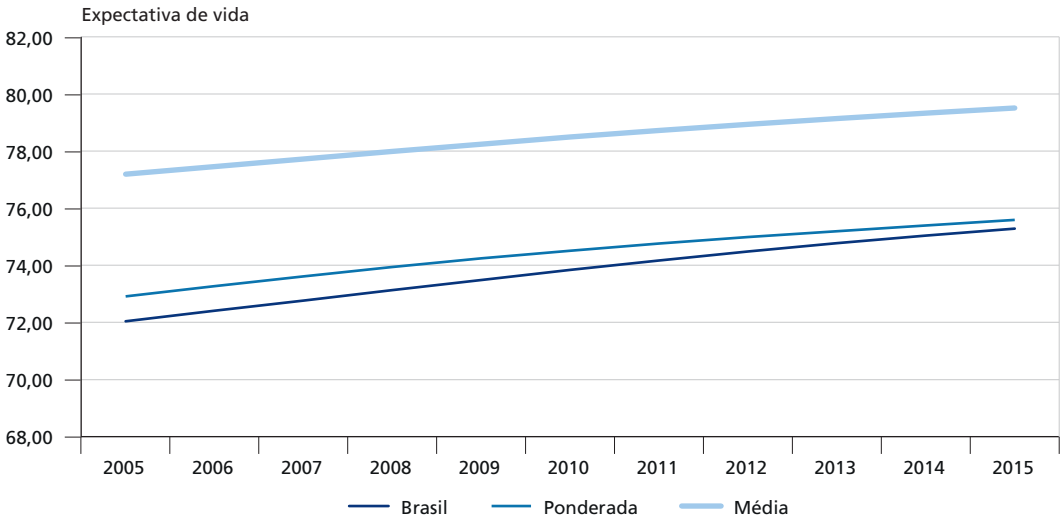
Elaboração dos autores.

GRÁFICO A.2
Ajuste das variáveis de controle – escolaridade da população (2005-2015)



Elaboração dos autores.

GRÁFICO A.3
Ajuste das variáveis de controle – expectativa de vida (2005-2015)



Elaboração dos autores.

Ipea – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

EDITORIAL

Coordenação
Reginaldo da Silva Domingos

Assistente de Coordenação
Rafael Augusto Ferreira Cardoso

Supervisão
Camilla de Miranda Mariath Gomes
Everson da Silva Moura

Revisão
Ana Clara Escórcio Xavier
Ângela Pereira da Silva de Oliveira
Clícia Silveira Rodrigues
Idalina Barbara de Castro
Luiz Gustavo Campos de Araújo Souza
Olavo Mesquita de Carvalho
Regina Marta de Aguiar
Alice Souza Lopes (estagiária)
Amanda Ramos Marques (estagiária)
Ana Luíza Araújo Aguiar (estagiária)
Hellen Pereira de Oliveira Fonseca (estagiária)
Ingrid Verena Sampaio Cerqueira Sodré (estagiária)
Isabella Silva Queiroz da Cunha (estagiária)
Lauane Campos Souza (estagiária)

Editoração
Aeromilson Trajano de Mesquita
Bernar José Vieira
Cristiano Ferreira de Araújo
Danilo Leite de Macedo Tavares
Herllyson da Silva Souza
Jeovah Herculano Szervinsk Junior
Leonardo Hideki Higa

Capa
Danielle de Oliveira Ayres
Flaviane Dias de Sant'ana

Projeto Gráfico
Renato Rodrigues Bueno

The manuscripts in languages other than Portuguese published herein have not been proofread.

Livraria Ipea
SBS – Quadra 1 – Bloco J – Ed. BNDES, Térreo
70076-900 – Brasília – DF
Tel.: (61) 2026-5336
Correio eletrônico: livraria@ipea.gov.br

Composto em adobe garamond pro 12/16 (texto)
Frutiger 67 bold condensed (títulos, gráficos e tabelas)
Brasília-DF

Logotipo/slogan de governo removido em observancia ao disposto no art. 40 da Lei n 9.504/1997

Missão do Ipea
Aprimorar as políticas públicas essenciais ao desenvolvimento brasileiro por meio da produção e disseminação de conhecimentos e da assessoria ao Estado nas suas decisões estratégicas.

ipea Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

MINISTÉRIO DA
ECONOMIA

ISSN 1415-4765