

ANÁLISE DE CUSTO-BENEFÍCIO DA NORMA P-8 DE EMISSÕES DE VEÍCULOS PESADOS NO BRASIL

Joshua Miller e Cristiano Façanha

Autores: Joshua Miller e Cristiano Façanha

Data: Março de 2016

CONTRIBUIDORES

Joshua Miller é pesquisador com experiência em modelagem de emissões de veículos e análises de custo-benefício. Cristiano Façanha é o líder do programa Roadmap do ICCT (Conselho Internacional de Transporte Limpo) e coordenador regional no Brasil. Francisco Posada é pesquisador sênior com experiência em tecnologias de controle de emissões de veículos.

AGRADECIMENTOS

O financiamento desta pesquisa foi generosamente fornecido pela Pisces Foundation e pela William and Flora Hewlett Foundation. Os autores agradecem aqueles que contribuíram para este trabalho, incluindo Francisco Posada (ICCT), por fornecer estimativas de custos de tecnologias veiculares, assim como Kate Blumberg, Ray Minjares, Rachel Muncrief (ICCT) e Silvio Figueiredo por suas análises construtivas. Os autores também agradecem os técnicos do Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA).

Para mais informações:

International Council on Clean Transportation
1225 I Street NW Suite 900
Washington, DC 20005 USA

communications@theicct.org | www.theicct.org | [@TheICCT](https://twitter.com/TheICCT)

© 2016 International Council on Clean Transportation

ÍNDICE

Sumário Executivo	iv
1 Introdução.....	2
2 Métodos	6
Escopo da análise.....	6
Cenários de políticas.....	6
Análise de sensibilidade.....	6
Prazo de implementação, moeda e desconto	6
Definições de classes de veículos	7
Fatores técnicos não monetizados neste estudo.....	7
Atividade e vendas de veículos.....	8
Fatores de emissão de escapamento	10
Benefícios à saúde.....	11
Atividade veicular urbana	12
Monetização de impactos à saúde	12
Benefícios climáticos.....	14
Custos de tecnologias veiculares	15
Custos de manutenção veicular	17
Custos do ARLA-32.....	17
Benefícios cumulativos líquidos.....	18
3 Resultados.....	19
Reduções de emissões	19
Conformidade com a norma P-7	20
Benefícios à saúde.....	22
Benefícios climáticos.....	22
Custos de tecnologias veiculares	23
Custos de manutenção veicular.....	24
Benefícios cumulativos líquidos.....	24
Análise de sensibilidade	26
Sensibilidade à taxa de desconto e VSL.....	26
Custo do atraso na implementação.....	29
Impacto provável de fatores técnicos adicionais	29
4 Conclusões e recomendações de políticas.....	31
Lista de acrônimos	33
Referências.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Definições de classes de veículos.....	7
Tabela 2. Parcela da atividade veicular urbana por tipo de veículo	12
Tabela 3. Premissas para ajuste do VSL recomendado pela EPA dos EUA para o Brasil	14
Tabela 4. Impactos climáticos de vida curta no aquecimento global e temperatura.....	15
Tabela 5. Aumento dos custos de tecnologias Euro VI sobre a norma Euro V (PROCONVE P-7) (2015 USD)	16
Tabela 6. Aumento dos custos de tecnologias Euro VI sobre a norma Euro V (PROCONVE P-7) (2015 R\$).....	16
Tabela 7. Aumento dos custos por veículo do Euro V ao Euro VI.....	17
Tabela 8. Reduções de emissões cumulativas devido à norma P-8 (2018-2048).....	19
Tabela 9. Redução cumulativa de emissões de poluentes climáticos (MtCO ₂ e)	22
Tabela 10. Relação benefício-custo de normas de emissões de veículos pesados no Brasil, México, EUA, Índia e China.....	26
Tabela 11. Custo no atraso da implementação da norma P-8	29
Tabela 12. Impacto provável de fatores técnicos adicionais sobre os benefícios líquidos.....	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Prazo para implementação de normas nacionais de emissões para veículos pesados a diesel.....	iv
Figura 2. Benefícios e custos cumulativos da norma P-8 (2018-2048)	1
Figura 3. Emissões de $PM_{2,5}$ e NO_x de veículos rodoviários no Brasil (2015)	2
Figura 4. Média anual de $MP_{2,5}$ em cidades brasileiras em comparação com a recomendação da OMS de $10 \mu g/m^3$	3
Figura 5. Prazo para implementação de normas nacionais de emissões para veículos pesados a diesel.....	3
Figura 6. Veículos-km percorridos projetados por caminhões e ônibus pesados a diesel (2018-2050).....	9
Figura 7. Vendas projetadas de caminhões e ônibus pesados a diesel (2018-2048).....	9
Figura 8. Atividade relativa de veículos pesados a diesel por fase PROCONVE.....	10
Figura 9. Fatores de emissão de $MP_{2,5}$ e NO_x (gramas por VKT).....	11
Figura 10. Estimativas de VSL com renda ajustada para o Brasil com elasticidades de 0,5, 1,0 e 2,0.....	14
Figura 11. Emissões de diesel por tipo de veículo pesado (2015)	19
Figura 12. Emissões anuais de escapamento de $MP_{2,5}$, BC e NO_x de veículos pesados a diesel.....	20
Figura 13. Emissões anuais de NO_x de veículos pesados a diesel.....	21
Figura 14. Mortes prematuras anuais evitadas e valor dos benefícios à saúde com a implementação da norma P-8 em 2018.....	22
Figura 15. Custos de tecnologias veiculares anuais e cumulativos descontados em 2015 USD, taxa de 5% de desconto (2018-2048).....	23
Figura 16. Atividade veicular de veículos P-8 e custos de manutenção anuais sem descontos no cenário P-8	24
Figura 17. Benefícios cumulativos líquidos da norma P-8, usando uma taxa de descontos de 5%.....	25
Figura 18. Sensibilidade de resultados de custo-benefício quanto à taxa de descontos e VSL	28
Figura 19. Sensibilidade de resultados de custo-benefício quanto à taxa de descontos.....	28

SUMÁRIO EXECUTIVO

Veículos pesados são responsáveis por uma grande parcela das emissões de poluentes locais que causam graves danos à saúde humana, sendo assim fortes candidatos ao controle de emissões. O Brasil tem controlado as emissões veiculares através do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) desde 1990, seguindo os precedentes europeus de limites de emissões e procedimentos de certificação. As fases do PROCONVE para veículos pesados têm sido implementadas com uma defasagem média de 5 anos do programa europeu, com a mais recente (P-7, equivalente à norma Euro V da Europa) implementada em 2012. Apesar das múltiplas fases do PROCONVE, a qualidade do ar nas grandes regiões metropolitanas do Brasil ainda está muito aquém dos níveis recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS).

Para mitigar a poluição urbana e promover o progresso tecnológico consistente com desenvolvimentos internacionais, é necessário implementar novas fases do PROCONVE. Além de limites de emissões mais rigorosos, a fase P-8 (assumindo a equivalência à norma europeia Euro VI) fortalecerá significativamente o PROCONVE, já que incluirá a adoção de ciclos de testes mais representativos, sistemas mais avançados de diagnóstico de bordo (OBD) e mecanismos antifalha para garantir o uso e funcionamento correto dos sistemas de redução catalítica seletiva (SCR, em sua sigla em Inglês), e o atendimento dos requisitos de conformidade em uso. Estas melhorias assegurarão que a norma P-8 atinja as reduções de emissões esperadas em situações reais e não apenas no laboratório.

Cinco dos maiores mercados automotivos — a União Europeia (UE), os Estados Unidos (EUA), o Canadá, o Japão e a Coreia do Sul — já implementaram normas equivalente à Euro VI e o México propôs normas equivalentes com a implementação planejada para 2018. Se a norma P-8 for implementada em 2018, o Brasil estará 5 e 8 anos defasado com relação à UE e EUA respectivamente (Figura 1).

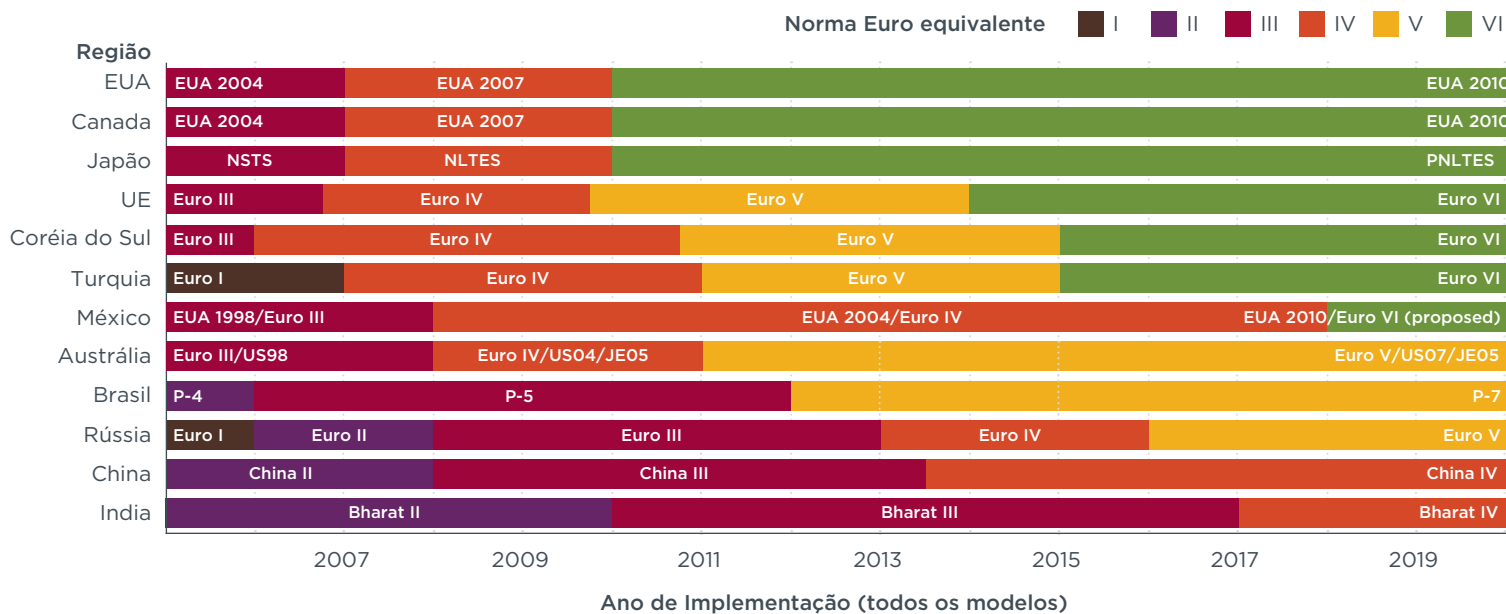


Figura 1. Prazo para implementação de normas nacionais de emissões para veículos pesados a diesel

O Brasil tem uma vantagem estratégica com relação a outros países em

desenvolvimento, pois já possui diesel com teor ultrabaixo de enxofre (S10) e fluido de exaustão de diesel (ARLA-32) em nível nacional. Ambos insumos são exigidos pelas normas equivalentes a Euro VI. Análises de custo-benefício são normalmente conduzidas por agências reguladoras e organizações de pesquisa independentes para avaliar os impactos potenciais de políticas de controle da poluição do ar por veículos em grandes mercados automotivos, incluindo os EUA, Canadá e México. Estas análises capturam os benefícios mais importantes para o clima e a saúde, assim como os custos associados a novas tecnologias de controle de emissões, qualidade do combustível e ultimamente a operação de veículos mais limpos. Após a conclusão de análises de custo-benefício no México, China e Índia, o ICCT avaliou os benefícios e custos para adoção da norma P-8 para veículos pesados a diesel no Brasil, com implementação assumida em 2018. Esta análise monetiza os dois impactos mais importantes da norma P-8: o risco reduzido de mortes prematuras por exposição a emissões de partículas finas ($MP_{2,5}$) e o aumento do custo de tecnologias de controle de emissões veiculares. Além dos custos e benefícios monetizados, o estudo também quantifica reduções potenciais de emissões de óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC) e carbono negro (BC, em sua sigla em Inglês) e avalia os benefícios climáticos das reduções de BC em toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO_2e).

Esta análise conclui que a norma P-8 no Brasil é altamente custo-efetiva para reduzir os impactos ambientais de veículos pesados a diesel no Brasil. Em um período de 30 anos iniciando em 2018, a norma P-8 resultaria em benefícios à saúde avaliados em USD 74 bilhões a um custo de USD 7 bilhões, com uma relação benefício-custo de 11:1. Tal valor é consistente com análises de custo-benefício equivalentes em outros mercados, variando de 11:1 no México a 16:1 nos EUA. Embora se espere que as montadoras venham a arcar com um aumento médio de USD 2.460 por veículo devido às novas tecnologias, a norma P-8 provavelmente não aumentará os custos com combustível em comparação à norma atual, uma vez que os veículos P-7 já usam diesel S10 e ARLA-32. No mesmo período, a norma P-8 evitaria 74.000 mortes prematuras por exposição a emissões de partículas finas ($MP_{2,5}$) em zonas urbanas, além de menores emissões de NO_x e BC (Figura 2). Cada ano de atraso na implementação da norma P-8 após 2018 resultará em mais 2.500 mortes prematuras, o que destaca a importância da ação em tempo hábil.



Figura 2. Benefícios e custos cumulativos da norma P-8 (2018-2048)

1 INTRODUÇÃO

Veículos pesados (caminhões e ônibus) são uma fonte significativa de emissões de poluentes locais e impactos negativos à qualidade do ar no Brasil. Através do modelo Roadmap do International Council on Clean Transportation (ICCT), se estima que em 2015, caminhões e ônibus a diesel representaram 88% das emissões de $PM_{2.5}$ e 89% das emissões de NO_x do transporte rodoviário (Figura 3). Dentre as emissões veiculares, estes dois poluentes estão entre os mais nocivos à saúde humana. A frota de veículos pesados (HDVs, em sua sigla em Inglês) é bem menor do que a frota de veículos leves (LDVs, em sua sigla em Inglês), e o Ministério do Meio Ambiente do Brasil estima que os veículos pesados representavam menos que 5% da frota rodoviária em 2009 (Ministério do Meio Ambiente, 2011). No entanto, além de maiores taxas de emissões, HDVs percorrem maiores distâncias e têm vidas úteis mais longas, o que os tornam uma boa população alvo para o controle de emissões veiculares.

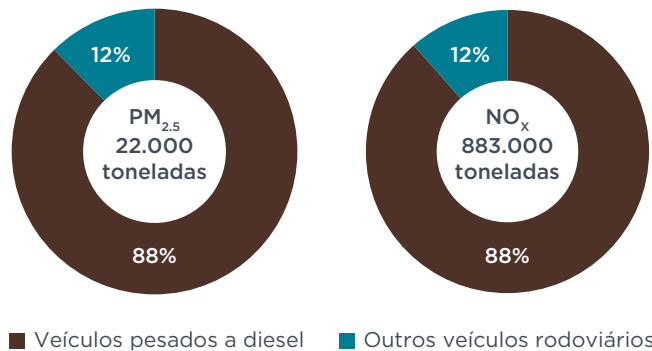


Figura 3. Emissões de $PM_{2.5}$ e NO_x de veículos rodoviários no Brasil (2015)

O Brasil tem controlado as emissões veiculares através do PROCONVE desde 1990, seguindo os precedentes europeus de limites de emissões e procedimentos de certificação, mas com uma defasagem média de cinco anos com relação ao programa europeu (TransportPolicy.net, 2014). O Brasil implementou a última fase PROCONVE para veículos pesados (P-7, equivalente à norma europeia Euro V) em 2012. Embora os limites de emissões da fase P-7 sejam mais de 80% menores que aqueles estabelecidos pela primeira fase do PROCONVE, a qualidade do ar nas grandes regiões metropolitanas ainda está muito abaixo dos níveis recomendados pela OMS. Das 40 cidades brasileiras contempladas pelo Banco de Dados de Poluição do Ar Ambiente da OMS em 2014, somente uma não excedeu o padrão recomendado pela OMS de até 10 microgramas por metro cúbico ($\mu g/m^3$) de $PM_{2.5}$ (Figura 4) (OMS, 2014). Além disso, muitas cidades no Estado de São Paulo excederam as normas brasileiras de qualidade do ar para PM_{10} , e uma tendência similar tem sido observada com todos os outros poluentes monitorados (CETESB, 2014).

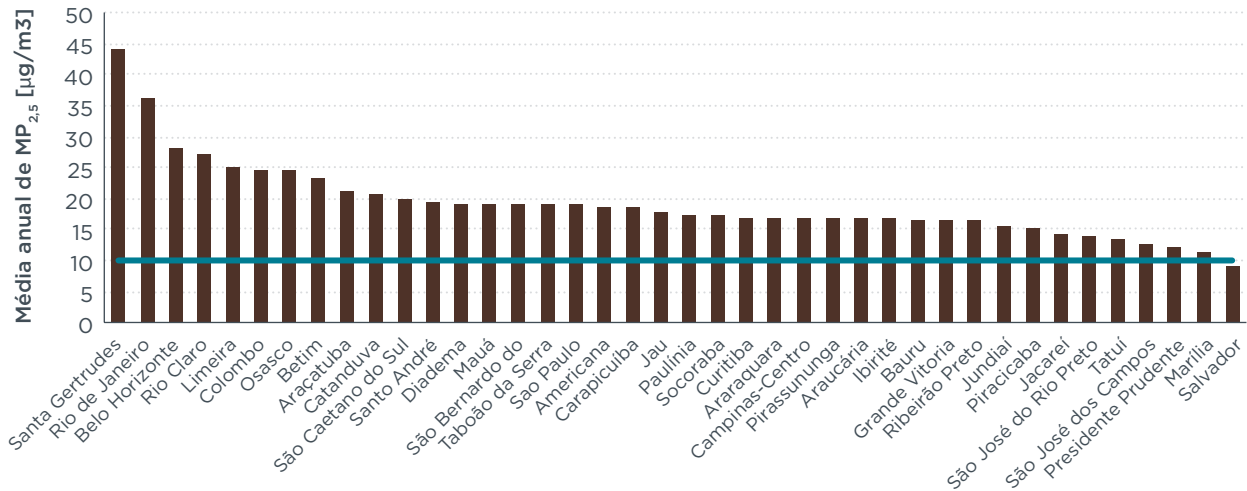


Figura 4. Média anual de MP_{2.5} em cidades brasileiras em comparação com a recomendação da OMS de 10 µg/m³

Para mitigar a poluição urbana e promover o progresso tecnológico consistente com desenvolvimentos internacionais, é necessário implementar novas fases do PROCONVE. Seis dos maiores mercados automotivos - UE, EUA, o Canadá, o Japão, a Coréia do Sul e a Turquia - já implementaram a próxima fase das normas (equivalentes à norma europeia Euro VI) e o México propôs normas equivalentes com implementação planejada para 2018 (Blumberg & Posada, 2014). Se a norma P-8 for implementada em 2018, o Brasil terá uma defasagem nas normas de emissões de veículos pesados de 5 e 8 anos com relação a UE e EUA, respectivamente (Figura 5).

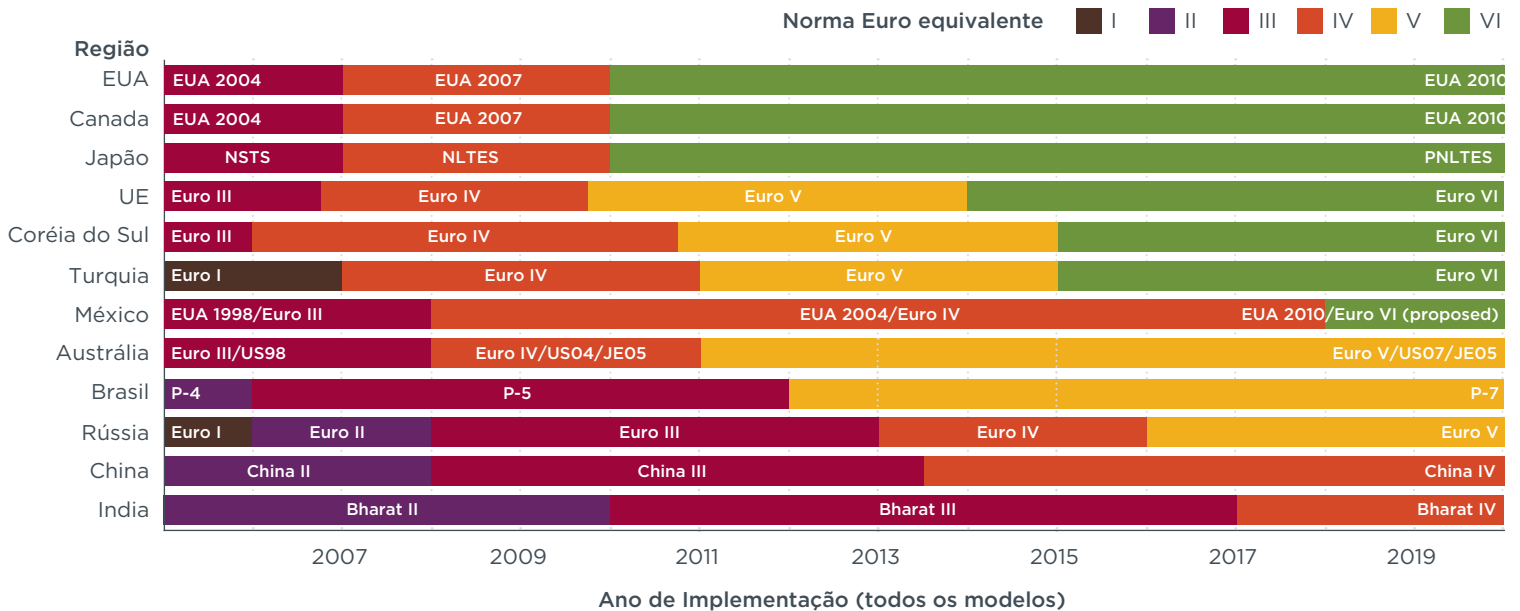


Figura 5. Prazo para implementação de normas nacionais de emissões para veículos pesados a diesel

O avanço das atuais normas P-7 para P-8 (assumida como equivalente à norma europeia Euro VI) traria os seguintes benefícios:

- » **Limites de emissões mais rígidos.** A norma Euro VI exige que as montadoras reduzam as emissões de NO_x em 80% e as emissões de MP em 50% em comparação à norma Euro V (essencialmente garantindo o uso de filtros de particulados de diesel, ou DPFs). Em comparação com um veículo P-7 fora de conformidade, a norma Euro VI poderia reduzir as emissões de NO_x em mais de 90%. Além disso, a norma Euro VI inclui um limite de número de partículas para fortalecer o controle de partículas finas.
- » **Exigência de sistemas OBD mais avançados.** A norma Euro VI traz melhorias nos sistemas OBD sobre as gerações anteriores, incluindo valores limite mais exigentes e homologação com base no WHTC (ciclo de condução transiente harmonizado, em sua sigla em Inglês); a adoção de razões de performance em uso (IUPRs, em sua sigla em Inglês), que indicam com que frequência as condições sujeitas ao monitoramento ocorreram e com que frequência o monitoramento foi realizado; e requisitos adicionais de monitoramento do fluxo de EGR (recirculação de gases de exaustão, em sua sigla em Inglês), sistema de arrefecimento de EGR, sistemas de “boost” e injeção eletrônica (Posada et al. 2015).
- » **Ciclos de testes mais representativos.** O ciclo de testes de certificação usado na norma Euro VI (WHTC) melhor representa condições normais de uso que os ciclos ESC e ELR usados nas normas Euro III a V. Esta mudança nos ciclos de testes de certificação (incluindo partidas a frio e direção em baixa velocidade) efetivamente força as montadoras a usarem catalisadores mais efetivos (ex.: cobre-zeólita em vez de vanádio), resultando em taxas de emissão mais similares entre veículos em uso e homologados.
- » **Requisitos de conformidade em uso.** A norma Euro VI contém exigências específicas para conformidade em uso, o que garante que as emissões sejam efetivamente limitadas em todas as condições de operação em uso e não apenas nas condições de testes. A norma Euro VI também diminui o limite de NTE (not to exceed, em sua sigla em Inglês) em uso para 1,5 vez o limite de teste no ciclo WHTC e exige testes de veículos em uso para demonstrar conformidade. Isto essencialmente coloca o ônus sobre as montadoras para produzir veículos que cumpram com os limites de emissão não apenas em condições de testes, mas também em uma ampla variedade de condições em uso.

Fonte: Façanha (2015)

Para cumprir com a norma P-7 atual, o Brasil disponibilizou diesel com teor ultrabaixo de enxofre — S10, com teor de enxofre de 10 partículas por milhão (ppm) e fluido de exaustão de diesel (ARLA-32) a nível nacional. Ambos insumos também são pré-requisitos para normas equivalentes à Euro VI. Vale destacar que o diesel com teor de enxofre de 500 ppm (S500) continua sendo vendido fora das regiões metropolitanas, e embora a descontinuação do diesel S500 possa eliminar o risco de abastecimento indevido de veículos P-7 e P-8, esta análise presume que todos os veículos destas categorias são abastecidos corretamente com diesel S10. Esta análise não considera

o aumento dos custos ou benefícios do abastecimento de veículos das fases P-5 ou anteriores com diesel S10. Além do diesel S10, veículos P-7 também exigem um agente redutor líquido (vendido como ARLA-32 no Brasil) para o funcionamento adequado dos sistemas de pós-tratamento de NO_x . O ARLA-32, uma mistura de 32,5% de ureia (por peso) em água, está disponível no Brasil desde 2012.

Agências reguladoras e organizações de pesquisa independentes nos maiores mercados automotivos (ex., EUA, Canadá, México) normalmente conduzem análises de custo-benefício para avaliar os impactos de políticas de controle ambiental veicular (EPA, 2000; Departamento de Meio Ambiente, 2014; Miller, Blumberg & Sharpe, 2014). Estas análises capturam os benefícios mais importantes para o clima e a saúde, assim como os custos de novas tecnologias de controle de emissões, qualidade do combustível e operação de veículos mais limpos. Através destas análises, agências reguladoras ambientais tomam decisões mais embasadas e garantem que os benefícios sociais das normas compensem seus custos. Após o desenvolvimento de análises de custo-benefício dos padrões Euro VI no México, China e Índia, o ICCT avaliou os benefícios e custos para a norma P-8 (equivalentes a Euro VI) para veículos pesados a diesel no Brasil. Esta análise monetiza os impactos mais importantes da norma P-8: risco reduzido de mortes prematuras por exposição a emissões de partículas finas, o aumento do custo de tecnologias para o controle de emissões veiculares e o aumento do custo de manutenção de veículos P-8. Além dos custos e benefícios monetizados, esta análise também quantifica potenciais reduções de emissões de NO_x , CO, HC, e BC e avalia os benefícios climáticos das reduções de BC em toneladas de CO_2 e.

2 MÉTODOS

ESCOPO DA ANÁLISE

Esta seção define os cenários de políticas modelados, as classes de veículos incluídas nesta análise, assim como as premissas para datas de implementação, taxas de conversão de moedas e desconto. Esta seção também inclui uma lista sucinta dos fatores técnicos que não foram monetizados, mas abordados de forma qualitativa na seção “Análise de Sensibilidade” do Capítulo 3.

Cenários de políticas

A análise básica da norma P-8 considera os custos para proprietários e operadores de veículos, e os benefícios para a sociedade em termos da redução de risco de mortes prematuras por exposição a emissões veiculares. Os custos e benefícios da norma P-8 foram estimados através da comparação de dois cenários:

- » **P-7 conformidade completa:** Novos veículos pesados a diesel atendem os requisitos P-7 (Euro V) a partir de 2012, e são abastecidos com diesel S10 e níveis apropriados de ARLA-32.
- » **P-8 em 2018:** Novos veículos pesados a diesel atendem os requisitos P-8 (Euro VI) a partir de 2018 e continuam a usar diesel S10 e níveis apropriados de ARLA-32.

Análise de sensibilidade

Considerando as incertezas inerentes em análises de custo-benefício de políticas ambientais, este estudo inclui várias análises de sensibilidade para examinar a robustez das conclusões de acordo com múltiplas premissas analíticas. Estas análises consideram premissas alternativas para o valor estatístico da vida (VSL, em sua sigla em Inglês), taxas de descontos, e níveis de conformidade com a norma P-7, além dos custos do atraso da implementação e os impactos prováveis dos fatores que não foram monetizados nesta análise.

Esta análise de sensibilidade considera três cenários adicionais para avaliar os impactos de diferentes níveis de conformidade com o padrão P-7, assim como os impactos do atraso na implementação da norma P-8:

- » **P-7 conformidade parcial:** Igual ao cenário P-7 descrito anteriormente, exceto que apenas 68% da distância percorrida pelos veículos pesados (VKT, em sua sigla em Inglês) são abastecidos com níveis apropriados de ARLA-32. Presume-se que veículos fora de conformidade emitem NO_x em níveis equivalentes à norma P-5 (Euro III).
- » **P-8 em 2020:** Novos veículos pesados a diesel atendem o padrão P-8 a partir de 2020 (refletindo um atraso de 2 anos) e continuam a usar diesel S10 e níveis apropriados de ARLA-32.
- » **P-8 em 2022:** Novos veículos pesados a diesel atendem o padrão P-8 a partir de 2022 (refletindo um atraso de 4 anos) e continuam a usar diesel S10 e níveis apropriados de ARLA-32.

Prazo de implementação, moeda e desconto

Custos e benefícios foram avaliados em um período de trinta anos após a implementação da norma P-8 (2018-2048). Embora a norma se aplique a todas as

vendas de veículos pesados novos, seus efeitos podem levar até duas décadas para surtir completo efeito devido ao lento giro da frota. Adicionalmente, mortes prematuras causadas por doenças cardiopulmonares e câncer do pulmão poderão ocorrer em um período de vinte anos, após a exposição contínua a emissões veiculares nocivas (EPA, 2011). O prazo selecionado para esta análise considera tanto o período inicial, quando apenas uma pequena parte da frota é contemplada pela nova norma, assim como o período posterior, quando uma grande parcela da frota já terá sido substituída; este enfoque analítico é compatível com os métodos da Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA, em sua sigla em Inglês) para escolha de um período de análise para as mais recentes normas de emissões de veículos pesados nos EUA (EPA, 2000). Os benefícios e custos são descontados de forma a refletir a preferência da sociedade por benefícios financeiros no curto prazo sobre aqueles ao longo prazo. A análise principal usa uma taxa de desconto de 5%, e uma análise de sensibilidade inclui taxas de 0% e 10%, conforme recomendado pelo Ministério da Saúde do Brasil (2009).¹ Nesta análise, os benefícios e custos são reportados em dólares americanos de 2015 (USD) para eliminar o impacto das taxas de câmbio. Nos casos em que se usa Reais (R\$), foi aplicada uma taxa de câmbio de 1 dólar americano para 4 Reais.

Definições de classes de veículos

A atividade e emissões veiculares foram modeladas através do modelo Roadmap do ICCT, que agrupa as sete classes de veículos usadas pela Associação Nacional de Montadoras de Automóveis (ANFAVEA) em quatro classes, incluindo uma classe para ônibus e três classes para caminhões (HDTs) — leves, médios e pesados (Tabela 1). Esta nova classificação permitiu o uso de dados empíricos de outras fontes (ex., fatores de emissão do modelo COPERT). Apenas veículos a diesel foram considerados nesta análise.

Tabela 1. Definições de classes de veículos

Classe de veículos	Classe	Definição	Tamanho médio do motor (L) em 2012	Parcela de vendas em 2012
Leve	Caminhão semileve	3.5 t < GVWR < 6 t	3,6	1,6%
Médio	Caminhão leve	6 t ≤ GVWR < 10 t	4,2	20,1%
	Caminhão médio	10 t ≤ GVWR < 15 t	4,5	7,5%
Pesado	Caminhão semipesado	Caminhão não articulado: 15 t ≤ GVWR ≤ 45 t Cabine com carroceria: GVWR ≥ 15 t e GCWR < 40 t	6,5	30,4%
	Caminhão pesado	Caminhão não articulado: GVWR > 45 t Cabine com carroceria: GVWR ≥ 15 t e GCWR ≥ 40 t	11,1	25,1%
Ônibus	Micro-ônibus	Micro-ônibus urbano convencional: GVWR geralmente 5 a 12 t	4,2	3,1%
	Ônibus	Ônibus urbanos e intermunicipais: GVWR geralmente 8 a 41 t	6,9	12,2%

t: toneladas métricas; GVWR: Peso bruto do veículo; GCWR: Peso bruto combinado

Definições de caminhões da ANFAVEA (2014); tamanho médio do motor e parcela de vendas baseados em dados de 2012 fornecidos pelo IEMA.

Fatores técnicos não monetizados neste estudo

Esta análise se baseia nas *Diretrizes para Preparação de Análises Econômicas* da EPA (EPA, 2010b), onde se compara uma intervenção política com uma linha de base

¹ Esta variação representa um leque ainda mais amplo de possíveis preferências sociais que a variação usada pela EPA (Agência de Proteção Ambiental) dos EUA (EPA, 2010b). Para mais detalhes, consulte a seção resultados, “Sensibilidade à taxa de descontos e VSL.”

realística, se aplica uma faixa de taxas de desconto para converter custos e benefícios futuros em termos atuais, se considera os custos e benefícios mais importantes para avaliar se a política é eficaz, e se descreve as incertezas e seus potenciais impactos nos resultados da análise. O ICCT aplicou esta abordagem à análise de custo-benefício de normas de emissões de veículos pesados no México (Miller et al., 2014). Embora esta análise capture os custos e benefícios mais importantes, vários fatores não foram considerados, ou foram quantificados mas não incluídos nas estimativas de valor presente líquido:

- » Mudanças no consumo de combustível de novos veículos equipados com DPF para atender os limites de $MP_{2,5}$ do padrão P-8.
- » Incidência reduzida de mortes prematuras resultantes da exposição ao ozônio e partículas finas formadas na atmosfera. Estes impactos seriam adicionais àqueles quantificados nos métodos de impacto à saúde (Chambliss, Miller, Façanha, Minjares, & Blumberg, 2013).
- » Impactos à saúde não fatais por exposição a exaustão de veículos e poluição secundária.
- » Benefícios relacionados à redução dos impactos climáticos decorrentes de reduções de BC.
- » Benefícios relacionados a aumentos na produtividade agrícola decorrentes das reduções de BC.

Considerando os impactos prováveis de cada um destes fatores, a inclusão de todos os fatores acima poderia aumentar os benefícios líquidos estimados associados à implementação da norma P-8 (consulte “Impacto provável de fatores técnicos adicionais”).

ATIVIDADE E VENDAS DE VEÍCULOS

Uma análise de dados históricos do produto interno bruto (PIB) e VKT por veículos pesados indicam que estas variáveis estão intrinsecamente vinculadas (Figura 6). Dados do Banco Central do Brasil refletem uma desaceleração da economia em 2014, seguida de uma crise nos dois primeiros semestres de 2015 (Banco Central do Brasil, 2015). Considerando o crescimento que tem seguido cada crise econômica no Brasil desde 1980, esta análise presume que no longo prazo (até 2050²) o crescimento econômico será de certa forma compatível com a tendência histórica observada de 1980 a 2014. Da mesma forma, devido à forte relação histórica entre crescimento econômico e atividade veicular no setor de veículos pesados, esta análise prevê um crescimento da atividade veicular com base nestas tendências do PIB.

Levando em conta projeções de VKT fornecidas pelo Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA), esta análise estima as vendas futuras de veículos até 2050 necessárias para manter um estoque de veículos consistente com as projeções de VKT mostradas na Figura 6.³ Estes cálculos levam em conta a renovação da frota e a diminuição da distância anual percorrida à medida que os veículos envelhecem. No geral, estas projeções indicam que as vendas anuais de veículos pesados aumentarão de cerca de 143.000 em 2018 para aproximadamente 207.000 em 2048, um aumento de 44% (Figura 7).

2 Observe que o prazo da análise de custo-benefício se estende até 2048 — 30 anos após a implementação presumida da norma P-8 em 2018.

3 Projeções de longo prazo de VKT, estoque e vendas não foram disponibilizados por fontes brasileiras.

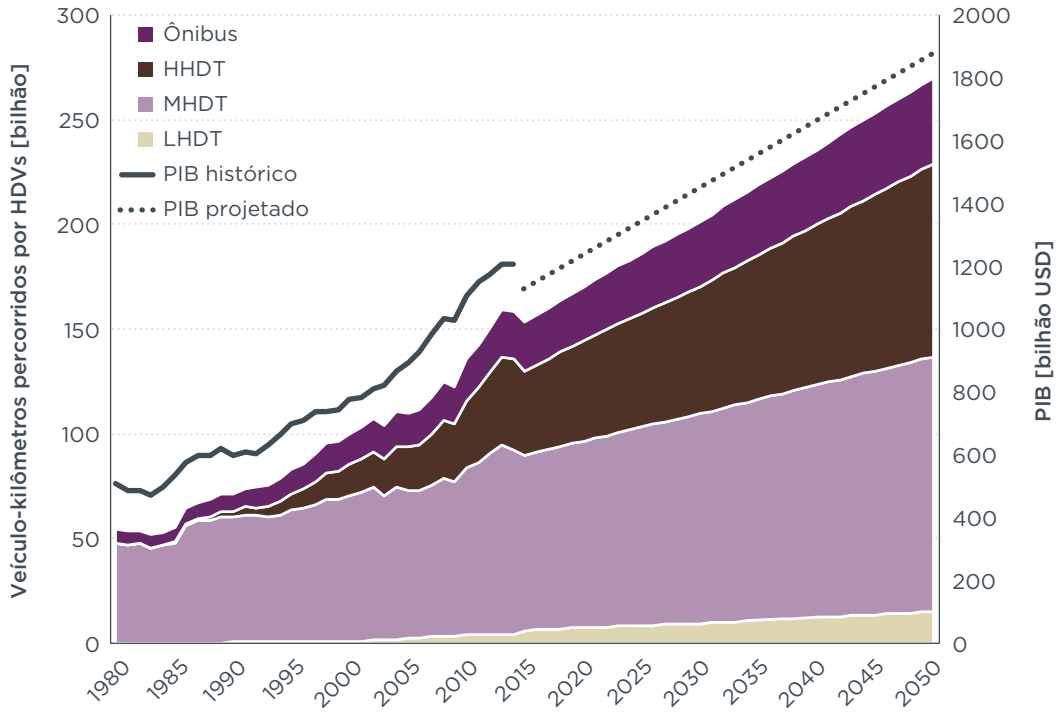


Figura 6. Veículos-km percorridos projetados por caminhões e ônibus pesados a diesel (2018-2050)

Estimativas de atividade veicular históricas fornecidas pelo IEMA. Dados de PIB histórico fornecidos pelo Banco Mundial (2015a).

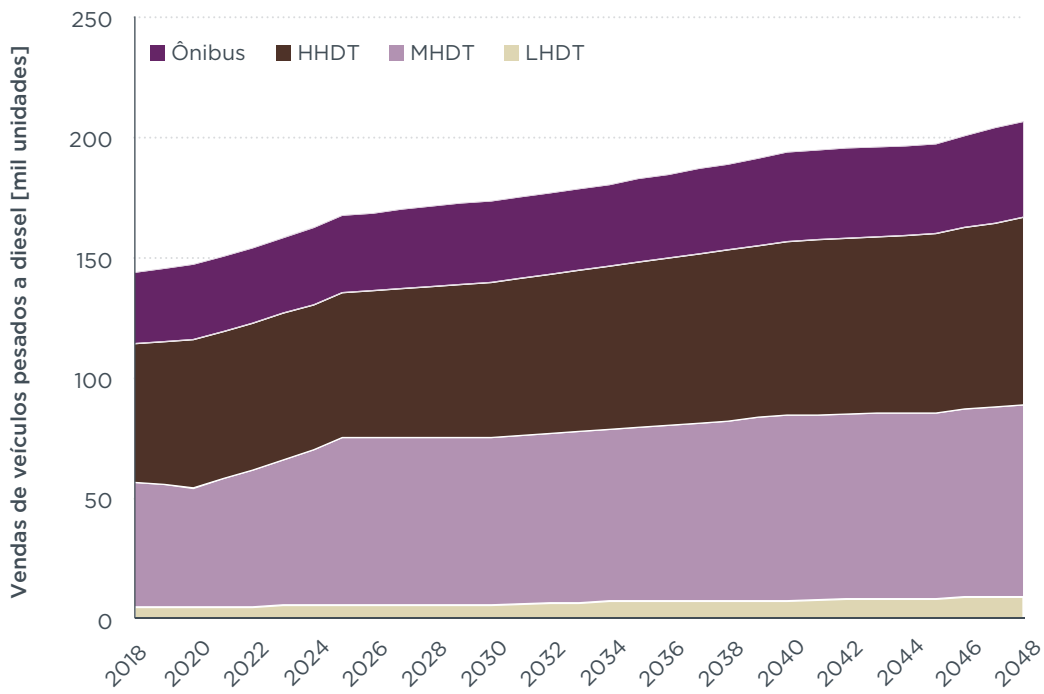


Figura 7. Vendas projetadas de caminhões e ônibus pesados a diesel (2018-2048)

A Figura 8 compara a parcela de atividade veicular por fase do PROCONVE nos cenários das normas P-7 e P-8, onde os veículos P-8 poderiam representar cerca de 90% da atividade de veículos pesados a diesel em 2035.

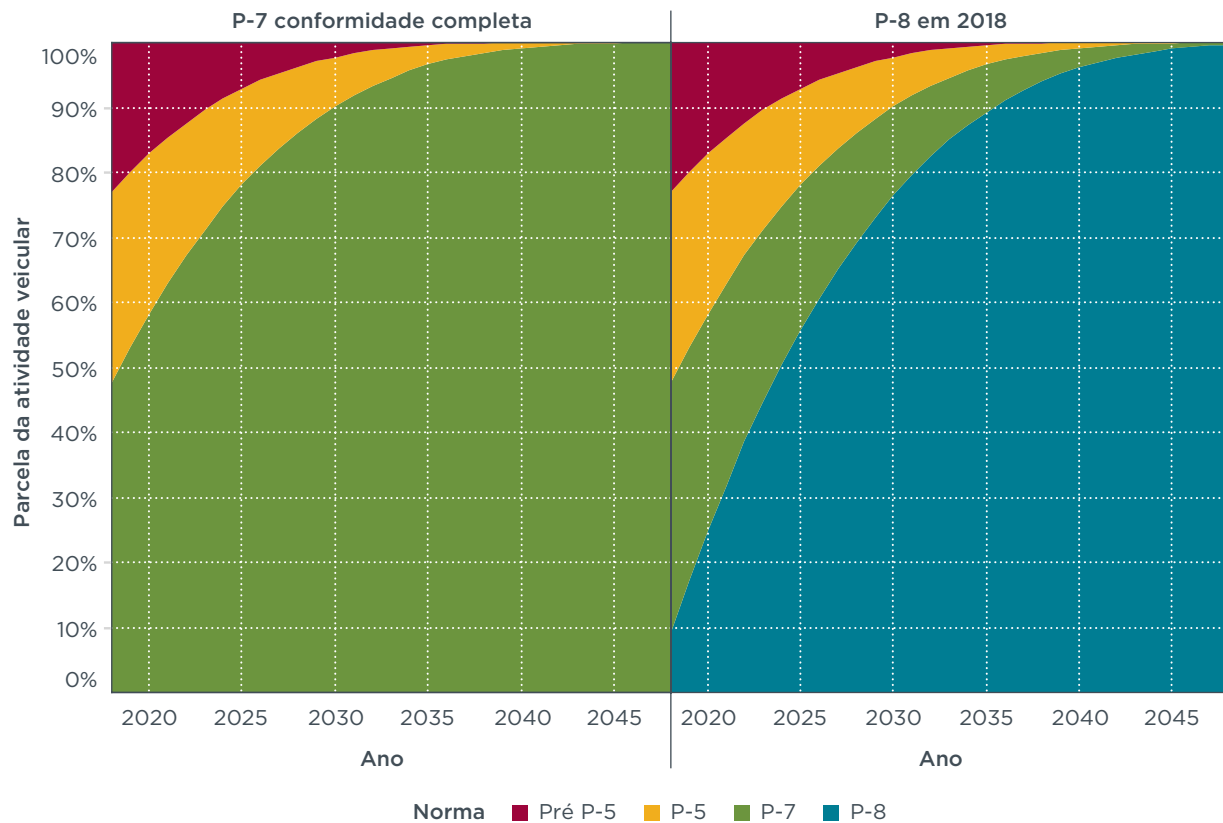


Figura 8. Atividade relativa de veículos pesados a diesel por fase PROCONVE

FATORES DE EMISSÃO DE ESCAPAMENTO

Embora a norma P-7 regule as emissões de escapamentos de CO, HC, NO_x, MP e fumaça, as estimativas de custo-benefício desta análise focam no impacto das emissões que são mais nocivas à saúde (MP_{2,5}). Além destes impactos que estão incluídos na análise de custo-benefício, esta análise reporta potenciais reduções de NO_x, CO e HC, assim como BC e seus respectivos impactos climáticos (em toneladas de CO₂ equivalente). As emissões de escapamentos foram estimadas usando o modelo Roadmap do ICCT, que inclui fatores médios de emissão durante a vida do veículo, derivados do modelo COPERT da Agência Ambiental Europeia (Katsis, P., Ntziachristos, L., & Mellios, G., 2012). Uma vez que esta análise utilizou fatores de emissão modelados em vez de fatores reais, testes de emissão com veículos pesados em condições reais no Brasil poderiam fornecer dados valiosos para comparar com os resultados deste estudo. Estes fatores de emissão (para veículos a diesel) são expressos em gramas por quilômetro percorrido e são diferenciados por poluente, tipo de veículo e nível de certificação de emissão. Para estimar as emissões da frota, estes fatores foram multiplicados pelos VKT anuais para cada poluente, tipo de veículo, tipo de combustível e nível de certificação de emissão em um determinado ano e convertidos em toneladas de emissões. Para mais informações sobre os métodos do modelo Roadmap para o cálculo das emissões de

escapamentos, consulte o Apêndice II em Chambliss et al. (2013). A Figura 9 resume os fatores de emissão absolutos de $MP_{2,5}$ e NO_x , assim como sua redução sobre níveis do padrão anterior. Os fatores de emissão de $MP_{2,5}$ foram derivados de testes usando um combustível de referência especificado; estes fatores são ajustados no modelo Roadmap de acordo com o teor de enxofre do óleo diesel.

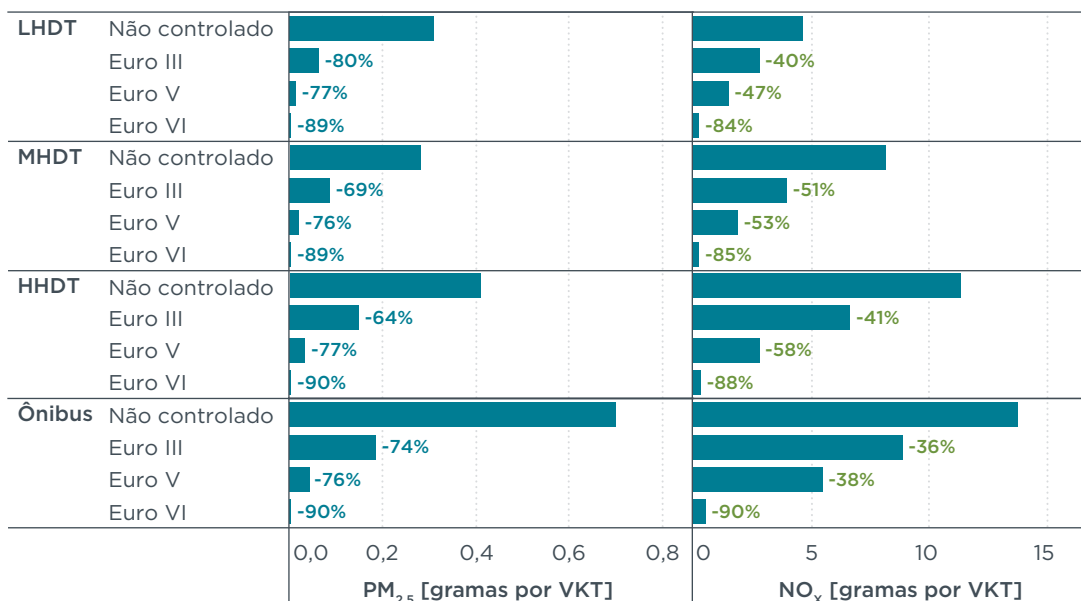


Figura 9. Fatores de emissão de $MP_{2,5}$ e NO_x (gramas por VKT)

As porcentagens indicam a redução sobre a norma anterior. Fonte: Análise do ICCT baseada no COPERT 4, versão 10.0.

BENEFÍCIOS À SAÚDE

O ICCT desenvolveu uma metodologia simplificada para estimar o número de mortes prematuras por câncer do pulmão, doenças cardiopulmonares e infecção respiratória aguda resultante da exposição a emissões de escapamentos de $MP_{2,5}$ em zonas urbanas (Chambliss et al., 2013; Minjares et al., 2014). Esta metodologia converte as emissões de $MP_{2,5}$ em concentrações de qualidade do ar por meio de um conjunto pré-calculado de frações de entrada (*intake fractions*) que inclui densidade da população, clima e características topográficas de 127 cidades do Brasil. Não são contadas as exposições da população fora destas 127 cidades (em grande parte nas zonas rurais do Brasil) nem é capturada a exposição a formas secundárias de particulados. Os dados de concentrações de qualidade do ar e população são então combinados com funções concentração-resposta que estimam a mudança na incidência de mortes prematuras devido a alterações na concentração de poluição. Para mais detalhes sobre os métodos do ICCT para estimar os impactos à saúde, consulte o Apêndice III em Chambliss et al. (2013).

Consistente com a metodologia aplicada pela EPA, as estimativas de mortes prematuras em um determinado ano foram distribuídas sobre os 20 anos seguintes para melhor refletir quando estas mortes realmente ocorreriam (EPA, 2011). Este “atraso na mortalidade” implica que, embora esta análise considere os custos e benefícios associados à norma P-8 de 2018 a 2048, ela não captura a porção dos

benefícios para a saúde atrasados que ocorreriam de 2049 a 2068 em decorrência da exposição ao $MP_{2.5}$ emitido de 2029 a 2048, sendo assim uma estimativa conservadora dos benefícios para a saúde.

Atividade veicular urbana

Para estimar os impactos à saúde resultantes da exposição a emissões nas maiores zonas urbanas, apenas uma parcela (diferenciada por tipo de veículo) da atividade veicular nacional foi alocada para zonas urbanas, garantindo assim que os benefícios à saúde não fossem superestimados (Tabela 2).

Tabela 2. Parcela da atividade veicular urbana por tipo de veículo

Tipo de veículo	Fatía de atividade em zonas urbanas
LHDT	31%
MHDT	26%
HHDT	17%
Ônibus	49%

Com base em uma metodologia global de avaliação dos impactos à saúde pelos veículos rodoviários, conforme descrito em Chambliss et al. (2013).

Monetização de impactos à saúde

Assim como nos estudos anteriores realizados para o México e China (Miller et al., 2014; Shao & Wagner, 2015), esta análise aplica uma abordagem de VSL padrão para monetizar os benefícios ao se evitar mortes prematuras por exposição a emissões veiculares (EPA, 2000; EPA, 2011; Minjares et al., 2014). Ao invés de designar um valor normativo para uma vida humana conforme o próprio termo sugere, esta abordagem “reflete a agregação da disposição das pessoas a pagar pela redução de um risco de fatalidade e assim o valor econômico para a sociedade de reduzir a incidência estatística de mortes prematuras na população em um” (He & Wang, 2010). Ao refletir a disposição das pessoas a pagar pela redução do risco de mortes prematuras, o VSL permite que os governos avaliem o benefício social das ações que reduzem o risco de mortes prematuras. O ideal é que as estimativas de VSL sejam baseadas em estudos empíricos locais que reflitam uma combinação da preferência declarada e dos métodos de preferência revelados; no entanto, em países onde dados empíricos não sejam disponíveis ou suficientes, as estimativas podem ser ajustadas a partir de dados de outros países usando uma abordagem de “transferência de benefícios” (Minjares et al., 2014). Na ausência de evidências empíricas suficientes no Brasil, esta análise aplica a abordagem de transferência de benefícios descrita em Miller et al. (2014).

Para análises de políticas ambientais nos EUA, a EPA recomenda um VSL central estimado de USD 7,4 milhões (USD de 2006) ajustados ao ano da análise (EPA, 2010a). Este valor foi derivado de uma meta-análise de 26 estudos de avaliação de contingente e mercado de trabalho realizados predominantemente na população dos EUA entre 1976 e 1991. A EPA ajustou as conclusões destes estudos para USD de 2006, encaixou estes valores em uma Distribuição Weibull e estimou um valor central de USD 7,4 milhões.

A premissa principal da abordagem de transferência de benefícios é que as diferenças de renda per capita são os fatores determinantes mais importantes nas diferenças em disposição a pagar pela redução do risco de mortalidade entre as populações. Outros fatores como idade e tipo de fatalidade têm uma base conceitual para influenciar a disposição a pagar pela redução do risco de mortalidade, mas são necessárias mais pesquisas para ajustar estes fatores de maneira confiável (Minjares et al., 2014). A abordagem de transferência de benefícios ajusta o VSL com base na seguinte equação, adaptada de Hammitt e Robinson (2011):

$$VSL_b = VSL_a \times \frac{PPP\ GNI\ per\ capita_b^e}{PPP\ GNI\ per\ capita_a}$$

Sendo que o país “a” é o país para o qual a estimativa de VSL original foi derivada, o país “b” é o país alvo da análise, *PPP GNI per capita* é a renda nacional bruta per capita ajustada com base na paridade do poder de compra e “e” é a elasticidade da renda. *PPP-GNI per-capita* é a medida favorita do Banco Mundial para avaliar a saúde monetária entre países (Minjares et al., 2014). A elasticidade de renda representa o aumento de porcentagem na disposição a pagar (WTP, em sua sigla em Inglês) por uma redução no risco de mortalidade que acompanha um aumento na porcentagem da renda per capita. Com o aumento da renda por exemplo, uma elasticidade de 0,5 significa que para um aumento de 10% na renda, o VSL aumenta em 5%. Com uma diminuição da renda (assim como com a abordagem de transferência de benefícios), a mesma elasticidade de 0,5 significa que para uma diminuição de 10% na renda, o VSL diminui em 5%. Assim, ao transferir estimativas de VSL de um país de alta renda para um país de renda menor, altas elasticidades (ex.: 2,0) resultarão em VSLs menores que as baixas elasticidades (ex.: 0,5), uma vez que o VSL é mais sensível a alterações na renda per capita.

Estudos têm estimado uma variedade de elasticidades de renda, de 0,5 a 0,6 (Viscusi & Aldy, 2003) e 0,8 (OECD, 2012) em países desenvolvidos, a 1,0, como estimativa central baseada em recomendações de técnicos do Banco Mundial (Minjares et al., 2014) e maiores que 1,0 em populações de renda menor (Hammitt & Robinson, 2011). As principais estimativas deste trabalho aplicam uma elasticidade de renda de 1,0.

Fonte: Miller et al. (2014)

A Tabela 3 indica as etapas seguidas nesta análise para ajustar o VSL recomendado pela EPA para o Brasil. Esta abordagem resulta em uma estimativa de 2,44 milhões (USD de 2015) para o VSL com renda ajustada no Brasil em 2015, assumindo uma

elasticidade de renda de 1,0. Este valor aumenta para \$2,52 milhões em 2018 e \$3,46 milhões em 2048, de acordo com o crescimento projetado da renda per capita. Assim como em Miller et al. (2014), estudo estudo inclui uma análise de sensibilidade usando estimativas de VSL com elasticidades de 0,5 e 2,0 (veja a seção sobre “Sensibilidade à taxa de descontos e VSL”). Conforme mostrado na Figura 10, a escolha da elasticidade da renda tem um impacto substancial nas estimativas de VSL que usam a abordagem de transferência de benefício.

Tabela 3. Premissas para ajuste do VSL recomendado pela EPA dos EUA para o Brasil

Etapa	Resultado	Fonte
1. Identificar o VSL recomendado pela EPA para aplicação nos EUA	7,4 milhões (2006 USD)	EPA (2010a)
2. Converter dólares de 2006 para dólares de 2015	8,75 milhões (2015 USD)	BLS (2015)
3. Calcular a razão de renda per capita (PPP-GNI per-capita) no Brasil e nos EUA no ano mais recente	0,28 = (15.590 / 55.860)	Banco Mundial (2015b)
4. Definir a relação entre renda per capita e VSL (elasticidade de renda)	1,0	Minjares et al. (2014)
5. Prever o crescimento da renda per capita em longo prazo usando tendências históricas	Aumento anual de 1% a 1,1%	Dados históricos (World Bank, 2015a)

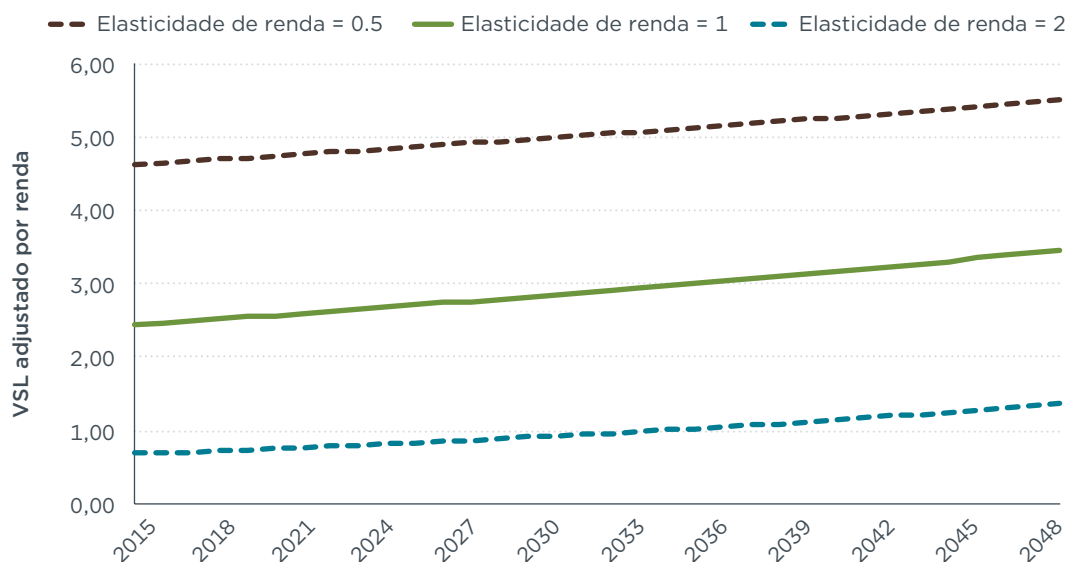


Figura 10. Estimativas de VSL com renda ajustada para o Brasil com elasticidades de 0,5, 1,0 e 2,0

BENEFÍCIOS CLIMÁTICOS

O carbono negro (BC) é um componente de particulados finos que também é um poluente climático de vida curta (SLCP, em sua sigla em Inglês) potente. O carbono orgânico (OC) e os sulfatos, também componentes dos particulados finos, têm efeitos de arrefecimento do clima. As emissões de BC podem constituir até 75% do MP de escapamento de veículos a diesel com controles de emissão equivalentes a Euro V e diesel de baixo teor de enxofre (EPA, 2012). Esta análise quantificou os potenciais benefícios climáticos da norma P-8 em termos de potencial de aquecimento global

(GWP, em sua sigla em Inglês) e potencial de temperatura global (GTP, em sua sigla em Inglês) em um horizonte de 20 e 100 anos. Estes potenciais benefícios climáticos são fornecidos como referência para autoridades políticas, mas não são incorporados nas estimativas de custo-benefício.

Embora o GWP seja amplamente usado entre autoridades globais, ele é uma medida imperfeita dos impactos climáticos dos SLCPs, uma vez que só leva em conta a força radioativa e o tempo de vida atmosférico em vez da mudança total de temperatura. Em 2007, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) introduziu o parâmetro GTP com o objetivo de resolver as limitações do GWP aplicado a poluentes de vida curta e para comunicar um ponto final de temperatura (ou seja, a mudança de temperatura) que seja mais relevante para as políticas climáticas (Forster et al., 2007). Para poluentes de vida curta, o GTP tende a ser menor que o GWP. A Tabela 4 indica os valores de GWP e GTP aplicados para emissões de BC, OC e sulfatos. Em cada ano, as emissões destes poluentes foram multiplicadas por seus respectivos valores para estimar os impactos climáticos em termos de dióxido de carbono equivalente (CO₂e).

Tabela 4. Impactos climáticos de vida curta no aquecimento global e temperatura

Poluentes	GWP-20	GWP-100	GTP-20	GTP-100	Fonte / Notas
CO ₂	1	1	1	1	Por definição, o GWP e GTP de CO ₂ são iguais a 1
BC	3200	900	920	120	IPCC AR5 (Myhre et al., 2013)
OC	-240	-65	-71	-9	IPCC AR5 (Myhre et al., 2013); Fuglestedt et al. (2010)
Sulfato	-360	-100	-41	-6,3	Fonte: Bond et al. (2013); Fuglestedt et al. (2010)

IPCC AR5: Relatório da Quinta Avaliação, Grupo de Trabalho 1.

CUSTOS DE TECNOLOGIAS VEICULARES

Os custos das tecnologias veiculares foram calculados estimando-se o aumento do custo por veículo para atender a norma P-8 em comparação à norma P-7 e multiplicando-se estes aumentos de custos pelo número de veículos vendidos em cada ano. Os aumentos nos custos de tecnologia foram estimados usando uma análise de custos *bottom-up*, que considera os custos diretos dos fabricantes, incluindo custos variáveis que dependem do tamanho do motor, assim como custos fixos (Tabela 5). O ICCT realizou análises similares em tecnologias de veículos de categoria leve (Posada, Bandivadekar, & German, 2012). Embora alguns fabricantes possam incluir uma margem sobre o custo dos controles de emissão para gerar lucros, os aumentos dos custos para atender as normas mais exigentes ainda são capturados como custos diretos dos fabricantes. Estes custos representam uma estimativa conservadora por várias razões: como estas tecnologias são maduras e já são produzidas em larga escala nos EUA, Canadá, UE e outros países que implementaram normas avançadas, esta análise não presume mais reduções de custos devido ao aprendizado da tecnologia. Estas estimativas também excluem o potencial para reduções de custos associado à redução de despesas com mão de obra no Brasil.

Os aumentos de custos médios com tecnologia foram estimados com base no tamanho médio do motor ponderado pelas vendas para cada tipo de veículo (Tabela 5). Resumindo, atender a norma P-8 em vez da P-7 custaria uma média de \$2.460,00

por veículo, com custos mais baixos para motores menores e custos mais altos para motores maiores. A Tabela 6 mostra estas mesmas estimativas de custos convertidas para Reais de 2015. O custo exato pode flutuar, dependendo da taxa de câmbio e do local de fabricação.

Tabela 5. Aumento dos custos de tecnologias Euro VI sobre a norma Euro V (PROCONVE P-7) (2015 USD)

Tecnologias Euro VI	Tamanho do motor (litros)						Notas
	3,6 L	4,2 L	4,5 L	6,5 L	6,9 L	11,1 L	
Injeção de combustível 2200-2500 bar	20	25	26	37	40	63	(2) FEV. 2012
Turbocharger com geometria variável	45	53	57	82	87	140	Feedback de especialistas
Melhorias de EGR	15	15	15	20	20	26	Estimativa
Melhorias na combustão	36	36	36	36	36	36	EPA 2000
Calibração do motor	28	28	28	28	28	28	EPA 2000
Filtração fechada na caixa do virabrequim	17	19	21	31	33	52	EPA 2000
Custos com gestão de ar e combustível (50%) (1)	162	176	182	233	242	345	—
OBD	371	371	371	371	371	371	(3) EPA 2008
Melhorias do SCR sobre Euro V	353	364	369	406	413	491	(4) ICCT 2012
DPF	720	819	870	1.202	1.269	1.965	ICCT 2012
Custo direto de fabricação adicional total	1.606	1.731	1.792	2.213	2.296	3.172	

(1) Os custos com gestão de ar e combustível são contabilizados a uma taxa de 50% devido ao fato que as mudanças na gestão do ar e combustível na tecnologia são projetadas para melhorar não apenas as emissões, mas também a economia de combustível do veículo.

(2) Aumento a partir de 2000 bar usado para Euro V.

(3) Documento de Suporte Técnico da EPA para Regulamentação de sistema OBD para veículos pesados. www.epa.gov/obd/regtech/420r08019.pdf

(4) Circuito fechado – sensor de NO_x acrescentado; mudança de catalisador de vanádio para zeólita

Tabela 6. Aumento dos custos de tecnologias Euro VI sobre a norma Euro V (PROCONVE P-7) (2015 R\$)

Tecnologias Euro VI	Tamanho do motor (litros)					
	3,6 L	4,2 L	4,5 L	6,5 L	6,9 L	11,1 L
Injeção de combustível 2200-2500 bar	R\$ 82	R\$ 98	R\$ 102	R\$ 147	R\$ 160	R\$ 254
Turbocharger com geometria variável	R\$ 180	R\$ 213	R\$ 229	R\$ 327	R\$ 348	R\$ 561
Melhorias de EGR	R\$ 61	R\$ 61	R\$ 61	R\$ 82	R\$ 82	R\$ 102
Melhorias na combustão	R\$ 143	R\$ 143	R\$ 143	R\$ 143	R\$ 143	R\$ 143
Calibração do motor	R\$ 110	R\$ 110	R\$ 110	R\$ 110	R\$ 110	R\$ 110
Filtração fechada na caixa do virabrequim	R\$ 70	R\$ 78	R\$ 86	R\$ 123	R\$ 131	R\$ 209
Custos com gestão de ar e combustível (50%) (1)	R\$ 647	R\$ 704	R\$ 728	R\$ 933	R\$ 970	R\$ 1.379
OBD	R\$ 1.485	R\$ 1.485	R\$ 1.485	R\$ 1.485	R\$ 1.485	R\$ 1.485
Melhorias do SCR sobre Euro V	R\$ 1.412	R\$ 1.457	R\$ 1.477	R\$ 1.625	R\$ 1.653	R\$ 1.964
DPF	R\$ 2.881	R\$ 3.278	R\$ 3.478	R\$ 4.808	R\$ 5.074	R\$ 7.861
Custo direto de fabricação adicional total	R\$ 6.424	R\$ 6.924	R\$ 7.169	R\$ 8.851	R\$ 9.182	R\$ 12.689

Estimativa usando taxa de câmbio de 1 Real (R\$) para 0,25 dólares americanos em 2015.

Tabela 7. Aumento dos custos por veículo do Euro V ao Euro VI

Moeda	LHDT	MHDT	HHDT	Ônibus	Média ponderada por vendas
2015 USD	1.606	1.991	3.172	2.183	2.459
2015 R\$	R\$ 8.730	R\$ 12.689	R\$ 6.424	R\$ 7.964	R\$ 9.834

CUSTOS DE MANUTENÇÃO VEICULAR

Veículos pesados equipados com DPF provavelmente sofrerão aumentos nos custos de manutenção devido à limpeza periódica dos filtros. Estes custos, que são principalmente relacionados à mão de obra, podem chegar a USD 200 nos EUA (Minjares et al., 2014). Este estudo ajustou o custo estimado de uma única limpeza de DPF para refletir a diferença nos custos com mão de obra entre os EUA e o Brasil, estimando USD 62 com base na proporção de custos com mão de obra no Brasil para os EUA em 2012 (Bureau of Labor and Statistics, 2013). Este custo por limpeza de DPF foi convertido para um custo estimado por VKT, presumindo um intervalo de manutenção de 75.000 km — o intervalo tipicamente recomendado pelos fabricantes de equipamentos originais dos EUA para veículos com demandas de serviço severas, altos tempos em marcha lenta, e menor utilização em rodovias (Minuteman Trucks Inc., 2015). Este intervalo resulta em uma estimativa de custos de USD 0,55 por mil VKT, equivalente à limpeza de DPF a cada 1 ou 2 anos para veículos P-8 operando no Brasil. Para cada ano de 2019 a 2048 (presumindo nenhum custo de manutenção durante o primeiro ano de operação), o aumento total nos custos de manutenção no cenário P-8 foi calculado como o produto do VKT por veículos P-8 e o custo por VKT.

CUSTOS DO ARLA-32

Os veículos pesados a diesel normalmente usam sistemas SCR para atender aos limites de emissões de NO_x segundo a norma P-7. No Brasil, estes sistemas utilizam ARLA-32 para reduzir o NO_x do motor em gás nitrogênio e vapor de água, sendo estes dois inócuos para a saúde humana (Petrobras, 2015). Nesta análise, o volume de ARLA-32 consumido é estimado em 4% do consumo de óleo diesel para veículos categorias P-7 e P-8. Presumindo que não haveria mudança no volume de ARLA-32 necessário para atender a norma P-8, não haveria aumento de custos em comparação com o cenário P-7. Montadoras no exterior estão alcançando emissões de NO_x menores mantendo taxas similares de consumo de ureia, refletindo uma maior eficiência da conversão de NO_x do sistema SCR. Esta melhoria no SCR é baseada em dois elementos principais. Primeiro, o catalisador de SCR é melhorado de vanádio para zeólitas, o que proporciona uma melhor eficiência na conversão de NO_x em uma ampla gama de temperaturas de exaustão. Segundo, a injeção de ureia é monitorada de modo mais eficaz, uma vez que os sensores de NO_x são agora instalados antes e depois do sistema SCR para uma melhor eficiência de conversão e menor fuga de amônia (NH₃) (observe que a NH₃ é regulada pelo programa Euro VI) (Chambliss & Bandivadekar, 2015). Observe que a maioria das montadoras não tinha sensores de NO_x em aplicações categoria Euro IV e Euro V e contavam com dados do motor para fornecer a ureia para o sistema SCR. Todos os custos associados com a melhoria dos catalisadores e sensores adicionais de NO_x estão incluídos na estimativa de custos apresentada na Tabela 5.

BENEFÍCIOS CUMULATIVOS LÍQUIDOS

Para somar os benefícios e custos que ocorrem em múltiplos anos, é necessário aplicar uma taxa de desconto, que converte benefícios e custos futuros em valores atuais (ou seja, o valor de hoje que a sociedade coloca em vantagens futuras). Estimativas acumuladas de benefícios e custos descontados são denominadas como o valor descontado presente (PDV) destas vantagens financeiras. Nesta análise, os benefícios líquidos cumulativos são calculados como o PDV dos benefícios menos o PDV dos custos sobre o período de tempo considerado (2018-2048).

3 RESULTADOS

REDUÇÕES DE EMISSÕES

Em 2015, os MHDTs contribuíram com 43%-44% de $MP_{2,5}$, BC, e NO_x de veículos pesados a diesel, com HHDTs e ônibus também contribuindo com uma parcela substancial de emissões (Figura 11). Das 20.000 toneladas de $MP_{2,5}$ emitidas por veículos pesados a diesel no Brasil, estima-se que o BC representou 60% das emissões de MP por massa. Embora a exposição direta a emissões de $MP_{2,5}$ seja nociva à saúde humana, aumentando o risco de mortes prematuras, as emissões de NO_x são um fator contribuinte importante para o MP secundário e ozônio, sendo que ambos aumentam o risco de hospitalização e morte por problemas respiratórios (Jerrett et al., 2009; Burnett et al., 2001). Em 2015, os veículos pesados a diesel no Brasil emitiram 40 vezes mais NO_x que $MP_{2,5}$ (por massa).

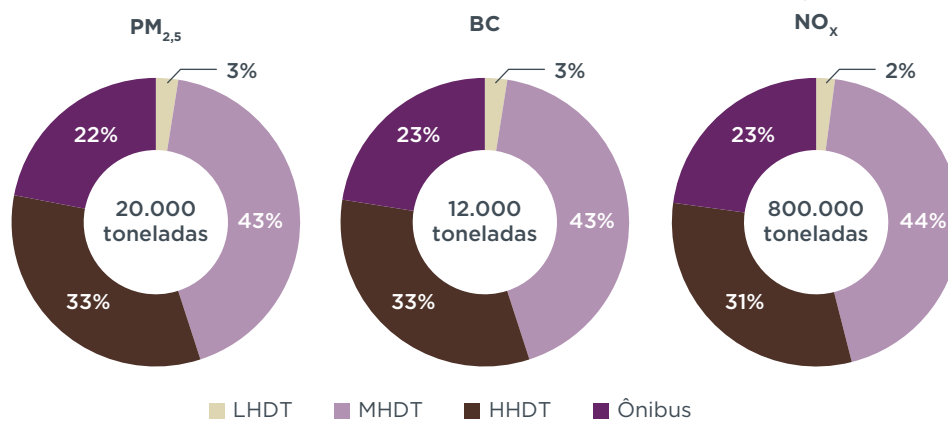


Figura 11. Emissões de diesel por tipo de veículo pesado (2015)

A Figura 12 mostra as emissões anuais projetadas destes três poluentes com e sem a implementação da norma P-8. Em um período de 30 anos (2018-2048), a implementação efetiva da norma P-8 poderia reduzir as emissões em 89%-99% sobre os níveis atuais, o que é equivalente a uma redução cumulativa de 130.000 toneladas de $MP_{2,5}$, 110.000 toneladas de BC, 12 milhões de toneladas de NO_x , 2,7 milhões de toneladas de CO e 24.000 toneladas de HC (Tabela 8).⁴

Tabela 8. Reduções de emissões cumulativas devido à norma P-8 (2018-2048)

Poluente	Emissões cumulativas (2018-2048) [mil toneladas]		Emissões cumulativas com a norma P-8 em comparação com P-7 [mil toneladas]
	P-7 conformidade total	P-8 em 2018	Δ com P-8 em 2018
$MP_{2,5}$	270	150	-130
BC	190	80	-110
NO_x	19.900	7.900	-12.000
CO	8.100	5.400	-2.700
HC	339	314	-24

Fonte: Modelo Global Transportation Roadmap do ICCT

4 Todas as toneladas reportadas são métricas. As estimativas são normalmente arredondadas para dois dígitos significativos.

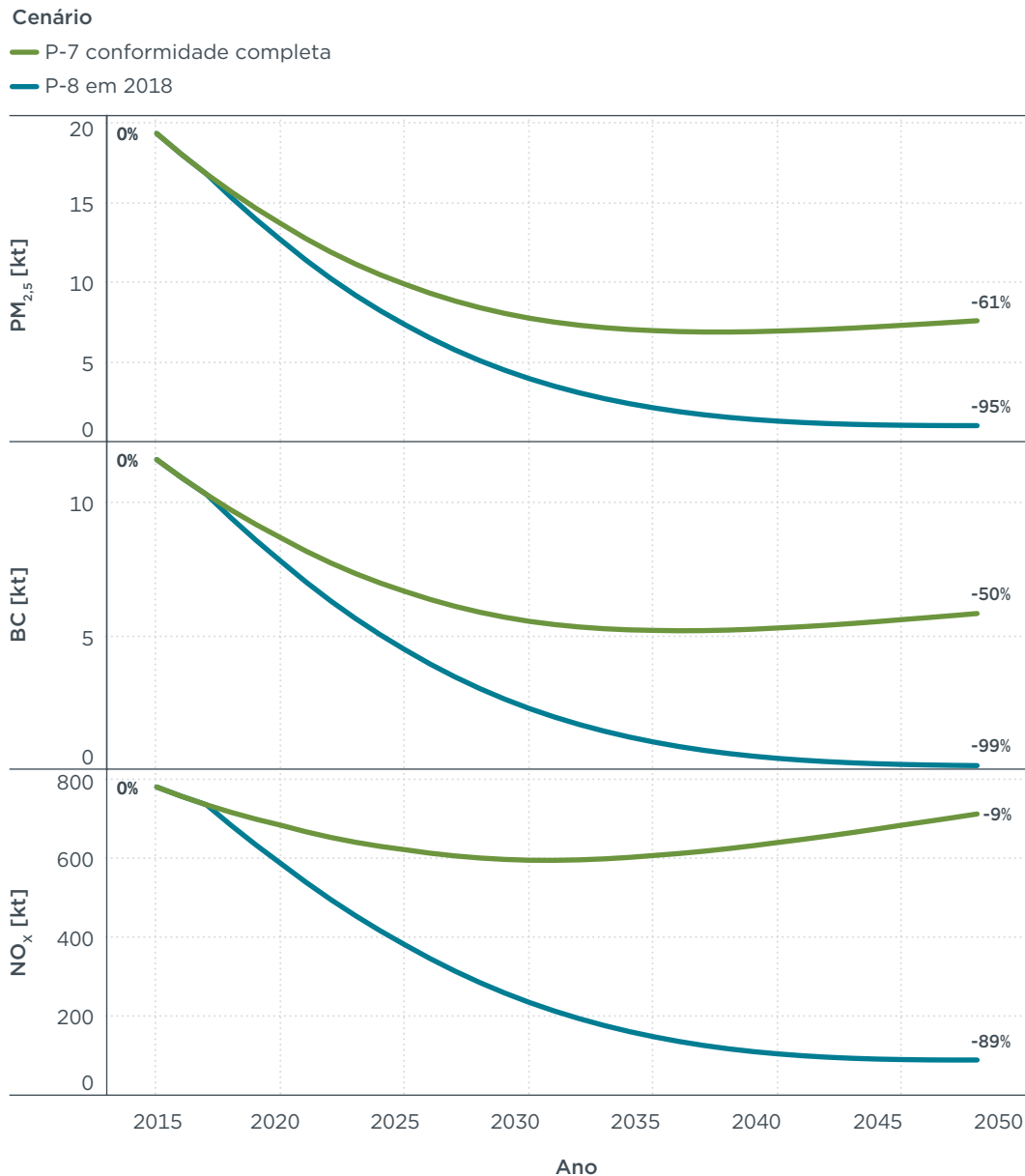


Figura 12. Emissões anuais de escapamento de $PM_{2,5}$, BC e NO_x de veículos pesados a diesel
 As porcentagens indicam a variação nas emissões com relação a 2015. “kt” indica mil toneladas métricas. As estimativas são geradas usando o Modelo Global Transportation Roadmap do ICCT.

Conformidade com a norma P-7

Os veículos pesados a diesel normalmente usam sistemas SCR para atender aos limites de emissões de NO_x segundo a norma P-7. No Brasil, estes sistemas utilizam ARLA-32 para reduzir o NO_x do motor em gás nitrogênio e vapor de água, sendo estes dois inócuos para a saúde humana; no entanto, estimativas da associação de fabricantes de equipamentos de controle de emissões veiculares na América do Sul (AFEEVAS) sugerem que as vendas de ARLA-32 não estão acompanhando a demanda esperada e a norma P-7 pode não resultar em todos os benefícios desejados a respeito de emissões (Façanha, 2015). Existem também problemas relacionados a altas emissões de NO_x por veículos pesados Euro IV e Euro V em

condições urbanas (Muncrief, 2015), que são contabilizadas nos fatores de emissão aplicados nesta análise.

Espera-se que a norma P-8 melhore a conformidade em uso com relação à norma atual P-7, uma vez que conta com novos ciclos de testes que melhor representam situações reais; mecanismos antifalha que detectam baixos níveis de ARLA-32, líquidos incorretos ou falhas no sistema SCR; e induzimentos progressivos ao motorista, incluindo alertas, redução de desempenho ou imobilização no caso de problemas graves (Posada e Bandivadekar, 2015). Por este motivo, espera-se que a norma P-8 resolverá os problemas de conformidade atualmente presentes com a norma P-7.

A Figura 13 compara as emissões de NO_x de veículos pesados a diesel em três cenários de conformidade:

- » **P-7 conformidade parcial:** Novos veículos pesados a diesel atendem os requisitos P-7 (Euro V) iniciando em 2012 e são abastecidos com diesel S10, exceto que apenas 68% de VKT são abastecidos com níveis apropriados de ARLA-32. Esses veículos (que percorrem 32% de VKT) supostamente emitem NO_x em níveis equivalentes à norma P-5 (Euro III).
- » **P-7 conformidade completa:** Novos veículos pesados a diesel atendem os requisitos P-7 (Euro V) iniciando em 2012 e são abastecidos com diesel S10, e 100% de VKT são abastecidos com níveis apropriados de ARLA-32.
- » **P-8 em 2018:** Novos veículos pesados a diesel atendem os requisitos P-8 (Euro VI), iniciando em 2018 e continuam a usar diesel S10 e níveis apropriados de ARLA-32.

No caso da conformidade parcial com a norma P-7, os benefícios do avanço à P-8 seriam aproximadamente 50% maiores que seus benefícios em comparação a um cenário de conformidade completa com a norma P-7 (Figura 13). Como as estimativas de custo-benefício incluem apenas os impactos de mortalidade oriundas das emissões de MP_{2,5} de escapamentos, uma avaliação dos benefícios resultantes da melhoria da conformidade de NO_x está fora do escopo deste estudo; no entanto, espera-se que a inclusão de tais benefícios aumente os benefícios líquidos da norma P-8 (EPA, 2014).

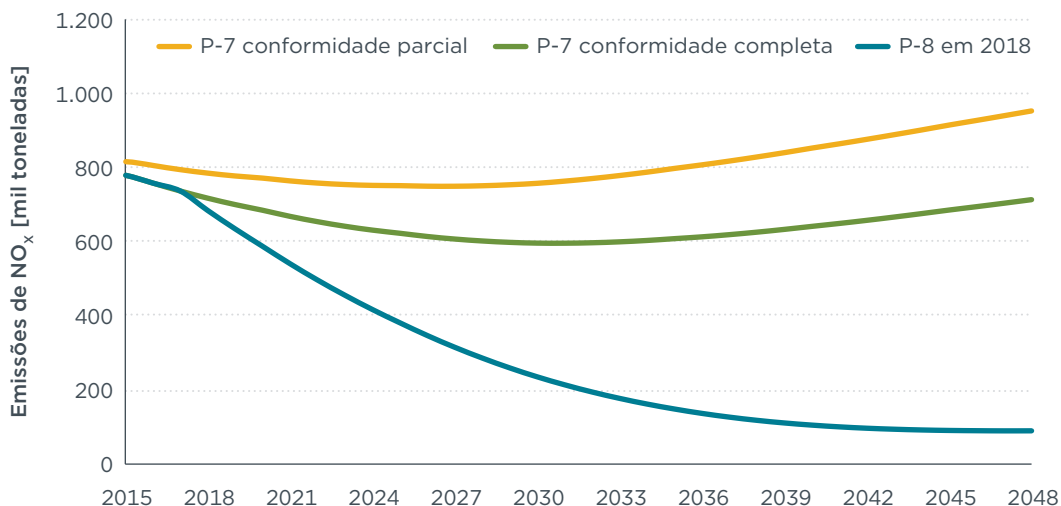


Figura 13. Emissões anuais de NO_x de veículos pesados a diesel

BENEFÍCIOS À SAÚDE

As reduções de $MP_{2.5}$ reduziriam o número de mortes prematuras por doenças cardiopulmonares, câncer do pulmão e doenças respiratórias agudas resultantes da exposição a concentrações de $MP_{2.5}$ em zonas urbanas. A implementação efetiva da norma P-8 poderia evitar mais de 5.500 mortes prematuras em 2048, o que é equivalente a 74.000 a mortes prematuras evitadas no período entre 2018-2048 (Figura 14). O valor destas mortes prematuras foi estimado através de um VSL derivado do valor recomendado da EPA e ajustado para a renda per capita média no Brasil, presumindo uma elasticidade de renda de 1,0. A linha azul reflete o valor (sem desconto) dos benefícios anuais para a saúde, usando este VSL com renda ajustada para o Brasil. O valor dos benefícios para a saúde parece aumentar mais rapidamente nos últimos anos conforme o VSL aumenta com o crescimento da renda.

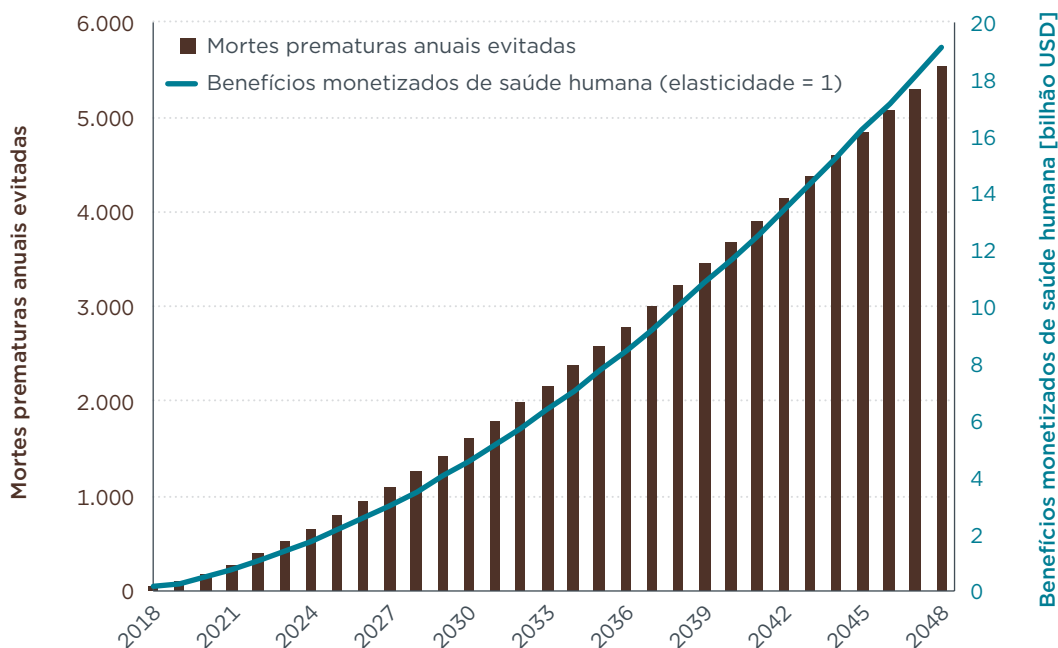


Figura 14. Mortes prematuras anuais evitadas e valor dos benefícios à saúde com a implementação da norma P-8 em 2018

BENEFÍCIOS CLIMÁTICOS

De 2018 a 2048, a norma P-8 poderia eliminar 110.000 toneladas de BC, com benefícios climáticos reduzidos por menos de 2% devido a reduções concomitantes em emissões de sulfato e OC, cujo efeito climático é de arrefecimento. Os benefícios climáticos líquidos cumulativos da redução de emissões de BC, OC e sulfato são equivalentes a 92 milhões de toneladas métricas de CO_2 ($MtCO_2e$) usando um GWP de 100 anos, e até 350 $MtCO_2e$ usando um GWP de 20 anos (Tabela 9).

Tabela 9. Redução cumulativa de emissões de poluentes climáticos ($MtCO_2e$)

Impacto climático ($MtCO_2e$)	Potencial de aquecimento global		Potencial de temperatura global	
	GWP-20	GWP-100	GTP-20	GTP-100
BC	352	93	101	13
OC e sulfato	-4	-1	-1	-0,2
Total ($MtCO_2e$)	348	92	100	13

CUSTOS DE TECNOLOGIAS VEICULARES

A Figura 15 mostra o aumento dos custos anuais (sem descontos) de tecnologias veiculares para atender a norma P-8 de 2018 a 2048. Estes custos levam em conta um aumento projetado de 44% nas vendas de veículos pesados novos nesse período, e assumem que o aumento nos custos de tecnologia por veículo permanece constante ao longo do tempo.⁵ Presumindo uma taxa de desconto de 5%, os custos cumulativos com tecnologia veicular (mostrados no eixo direito) chegam a 5,9 bilhões (USD de 2015) até 2048.

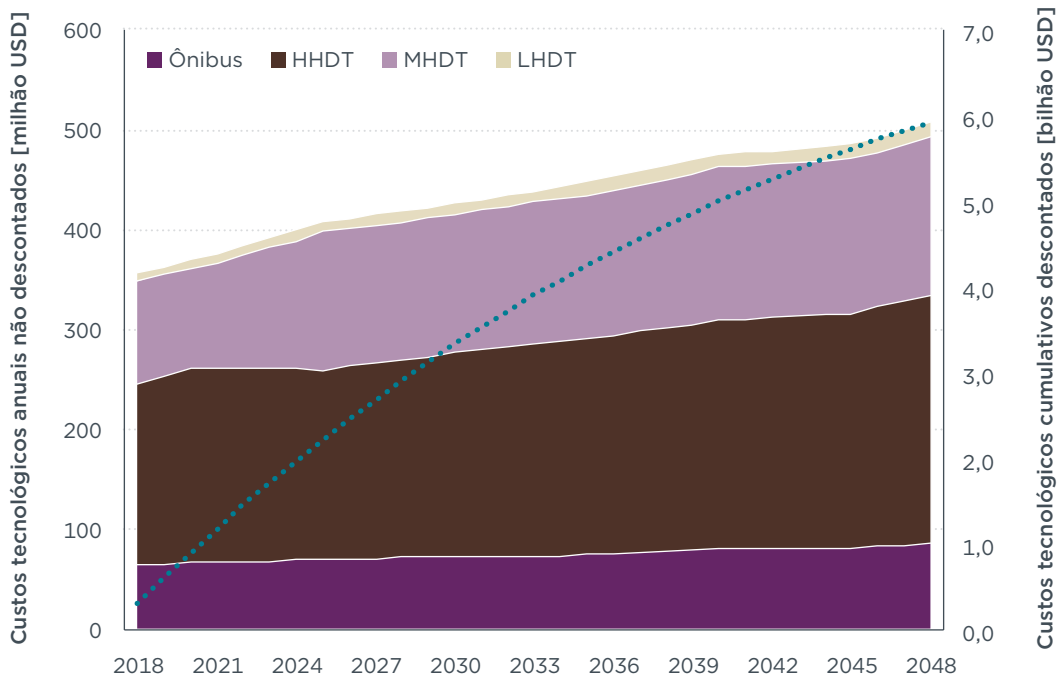


Figura 15. Custos de tecnologias veiculares anuais e cumulativos descontados em 2015 USD, taxa de 5% de desconto (2018-2048)

⁵ Esta análise não presume qualquer diminuição ao longo do tempo no aumento do custo de tecnologia por veículo devido ao aprendizado (diminuição dos custos da montadora em decorrência de desenvolvimento de tecnologias) ou economias de escala. Esta premissa resulta em estimativas conservadoramente altas de aumento nos custos de tecnologia.

CUSTOS DE MANUTENÇÃO VEICULAR

A Figura 16 mostra a atividade veicular por veículos P-8 no eixo esquerdo e os custos de manutenção anuais no eixo direito no cenário P-8. Os VKT e os custos de manutenção aumentam proporcionalmente, uma vez que os custos de manutenção são o produto da atividade veicular e os USD 0,55 estimados por mil VKT para limpeza do DPF.

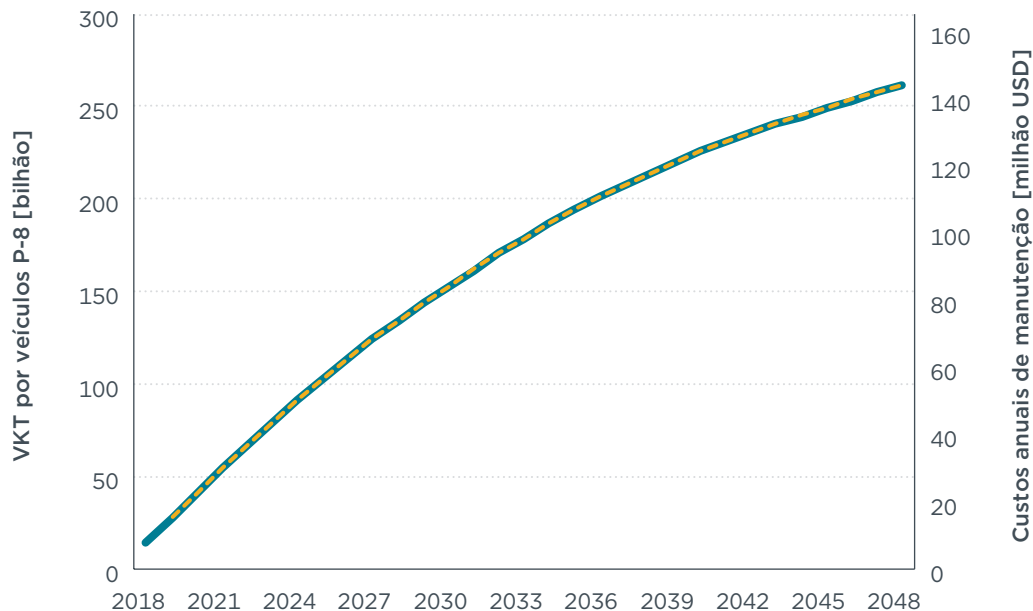


Figura 16. Atividade veicular de veículos P-8 e custos de manutenção anuais sem descontos no cenário P-8

BENEFÍCIOS CUMULATIVOS LÍQUIDOS

A Figura 17 ilustra os custos e benefícios cumulativos da norma P-8 de 2018 a 2048, usando uma taxa de desconto de 5%. Se implementada em 2018, estima-se que a norma P-8 resultará em benefícios para a saúde avaliados em USD 74 bilhões, a um custo de USD 7 bilhões, com uma relação de benefício sobre custo de 11:1. Ao subtrair os custos cumulativos dos benefícios, é gerada uma estimativa de USD 67 bilhões em benefícios líquidos cumulativos. Devido à natureza imediata dos custos com tecnologias veiculares, gerados imediatamente mediante a venda do veículo, e os impactos distribuídos das emissões sobre a saúde humana, que ocorrem até 20 anos após a exposição, vale destacar que os benefícios cumulativos para a sociedade já excedem os custos em menos de quatro anos após a implementação da norma P-8.⁶ Uma das razões para este rápido retorno de investimento é o fato de que o Brasil já investiu bilhões de Reais para disponibilizar diesel S10 em todo o país (Petrobras, 2010). Sem a adoção da norma P-8, o Brasil não aproveitaria todos os benefícios deste investimento.

Após os primeiros anos de implementação da norma P-8, os benefícios para a saúde acumularão mais rapidamente que os custos tecnológicos, resultando no aumento dos benefícios líquidos ao longo do tempo (até o prazo de 30 anos considerado nesta análise). As análises de sensibilidade que avaliam outras escolhas de taxas de descontos, VSL e ano de implementação são descritas na próxima seção.

⁶ Nos primeiros três anos de implementação, os custos com tecnologia são maiores que os benefícios para a saúde proporcionados nestes anos; isto pode ser esperado em qualquer investimento em tecnologia.

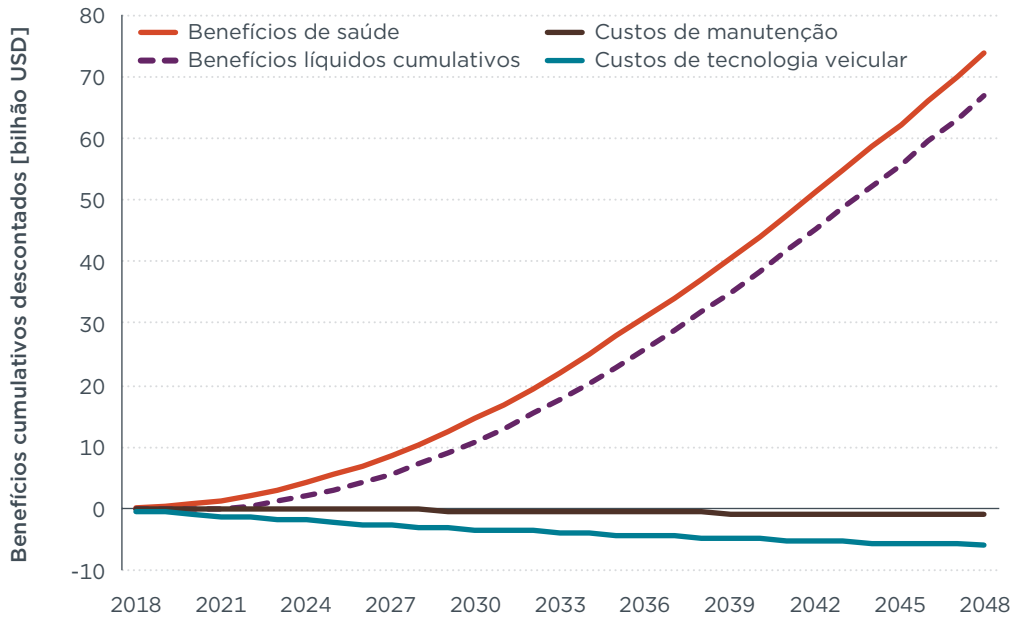


Figura 17. Benefícios cumulativos líquidos da norma P-8, usando uma taxa de descontos de 5%. Os custos são apresentados como benefícios negativos.

As constatações desta análise são consistentes com os resultados de análises similares no México, EUA e Índia (Tabela 10). Estas análises examinaram a relação custo-benefício sob o ponto de vista da sociedade, ou seja, os benefícios sociais — na forma da redução do risco de mortes prematuras e mitigação de poluentes climáticos⁷ — sempre compensam os custos para os proprietários e operadores de veículos por uma tecnologia melhorada de controle de emissões veiculares. A consistência das constatações nos estudos de países em vários níveis de renda e desenvolvimento econômico, assim como os resultados de estudos globais nos impactos para a saúde de emissões de veículos rodoviários (Chambliss et al., 2013), sugerem que normas de emissões equivalentes a Euro VI (e EPA 2010) para veículos pesados poderiam resultar em benefícios líquidos avaliados em centenas de bilhões de dólares, se implementados em outros países com vendas significativas de novos veículos pesados.

7 Quantificados, mas não monetizados nesta análise.

Tabela 10. Relação benefício-custo de normas de emissões de veículos pesados no Brasil, México, EUA, Índia e China

Regra	Anos*	Benefícios	Custos	Relação benefício-custo	Fonte
Norma P-8 no Brasil	2018-2048	\$74 bilhões	\$7 bilhões	11:1	Esta análise
Emissões de veículos pesados nos EUA em 2010	2030	\$70 bilhões	\$4,2 bilhões	16:1	EPA (2000)
NOM-044 de veículos pesados no México	2018-2037	\$135 bilhões	\$12 bilhões	11:1	Miller et al. (2014)
6/VI na China**	2050	\$86 bilhões	\$10 bilhões	9:1	Shao & Wagner (2015)
Bharat VI na Índia***	2035	\$107 bilhões	\$14 bilhões	8:1	Bansal & Bandivadekar (2013)

As razões de benefício sobre custo são arredondadas para o número inteiro mais próximo.

*Ano de apuração dos custos e benefícios.

** Avalia a norma 6/VI na China para veículos leves e pesados a gás natural, diesel e gasolina. Esta análise da norma P-8 foca nos veículos pesados a diesel da categoria mais eficaz em termos de custo. Assim, espera-se que a análise encontre uma relação maior de benefícios sobre os custos que o estudo 6/VI na China.

*** Inclui veículos leves, motocicletas e triciclos.

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Este estudo se baseia em premissas e métodos compatíveis com uma estimativa conservadora de benefícios líquidos. Os seguintes fatores indicam que o valor presente líquido estimado nesta análise é intencionalmente subestimado, e logo será maior em situações reais:

- » Considera-se apenas os impactos para a saúde devido à exposição a emissões primárias de $MP_{2,5}$ em áreas urbanas. A inclusão dos impactos rurais ou dos impactos do $MP_{2,5}$ secundário e ozônio aumentariam os benefícios líquidos estimados.
- » Presume-se que uma parcela relativamente baixa da atividade veicular ocorre em zonas urbanas com alta exposição a emissões de transportes.
- » O estudo não captura a porção dos benefícios para a saúde que ocorreriam de 2049 a 2068 em decorrência da menor exposição ao $MP_{2,5}$ emitido de 2029 a 2048 devido à implementação do P-8.
- » O estudo não considera a potencial redução dos custos tecnológicos ao longo do tempo em decorrência do aprendizado ou economias de escala (para mais detalhes, consulte a seção sobre custos de tecnologias veiculares).

Além disso, análises de sensibilidade foram conduzidas para examinar os impactos de VSLs alternativos, taxas de descontos, níveis variados de conformidade com a norma P-7, assim como os custos no atraso da implementação e os impactos prováveis dos fatores que não foram monetizados nesta análise. Essas análises de sensibilidade agregam mais confiança às constatações que os benefícios da norma P-8 compensarão e muito seus custos e que sua implementação em tempo hábil será essencial para minimizar o número de mortes prematuras resultantes da exposição à poluição do ar.

Sensibilidade à taxa de desconto e VSL

O valor para a sociedade da redução do risco de mortes prematuras é um importante fator para a relação custo-benefício das políticas de controle de emissões de partículas finas. Conforme descrito no capítulo de métodos, estima-se um VSL no Brasil por meio da abordagem de transferência de benefícios, que ajusta o VSL recomendado pela EPA

de acordo com as diferenças na renda per capita entre os EUA e o Brasil. A premissa principal desta abordagem é que rendas per capita menores resultam em menor disposição (ou capacidade) a pagar pela redução do risco de mortes prematuras por exposição à poluição do ar. Considerando a variação nas estimativas de elasticidade de renda entre os estudos, esta análise de sensibilidade avalia a variação de estimativas de elasticidade de renda encontradas na literatura: 0,5 e 2,0.

Embora a escolha do VSL afete as estimativas anuais e cumulativas dos benefícios, a escolha da taxa de descontos (a taxa que reflete o equilíbrio na escolha da sociedade entre ganhos presentes e ganhos no ano seguinte, je ou no próximo ano) influencia a avaliação de custos e benefícios ao longo do tempo. Baixas taxas de desconto retêm mais do valor dos ganhos financeiros proporcionados nos anos futuros em comparação com altas taxas de descontos, que colocam significativamente mais peso sobre ganhos de curto prazo. Uma taxa de desconto social ideal deve refletir a taxa média em que os indivíduos afetados estão dispostos a trocar o consumo atual por um consumo futuro. Estudos de taxas de descontos sociais encontraram uma faixa de 2%-4% para ganhos individuais sem riscos, chamadas de “taxa de juros de consumo”, e uma faixa de 4,5%-7% para investimentos privados antes dos impostos, chamadas de “custo de oportunidade do capital” (EPA, 2010b). Tanto a EPA quanto o Ministério da Saúde do Brasil recomendam uma taxa de desconto central de 5%, com uma análise de sensibilidade para taxas menores e maiores; no entanto, embora os limites mínimo e máximo da EPA de 3% e 7% reflitam taxas de desconto tipicamente estimadas em estudos de taxas em situações reais, as estimativas do Ministério da Saúde de 0% e 10% cobrem uma gama mais ampla de taxas que seriam esperadas em circunstâncias normais (EPA, 2010b; Ministério da Saúde, 2009). Assim, embora não esperemos que o resultado mínimo ou máximo se materialize, análises de sensibilidade de uma variedade de taxas de desconto asseguram de que as constatações (ou seja, se os benefícios líquidos são positivos ou negativos) não seriam afetadas pela escolha de uma taxa de desconto alternativa em situações reais. A Figura 19 indica que ao presumir uma elasticidade de renda de 1,0 para VSL, os benefícios líquidos cumulativos são positivos (benefícios superam os custos) em todas as taxas de desconto entre 0% e 15%.

A Figura 18 mostra os resultados das análises de sensibilidade combinadas usando três diferentes taxas de desconto e três diferentes elasticidades de renda. Esta variação reflete intencionalmente um amplo espectro de preferências sociais normativas para o valor de redução de mortes prematuras e o peso dado a futuros ganhos financeiros com relação a hoje. Mesmo neste amplo espectro de possíveis preferências sociais, conclui-se que os benefícios da norma P-8 sempre compensam os custos. O resultado principal deste estudo, baseado em uma taxa de desconto de 5% e uma elasticidade de renda de 1,0, de USD 67 bilhões em benefícios líquidos cumulativos e uma relação benefício-custo de 11:1 em um período de 30 anos é intencionalmente conservador e reside na parte mais conservadora deste intervalo.

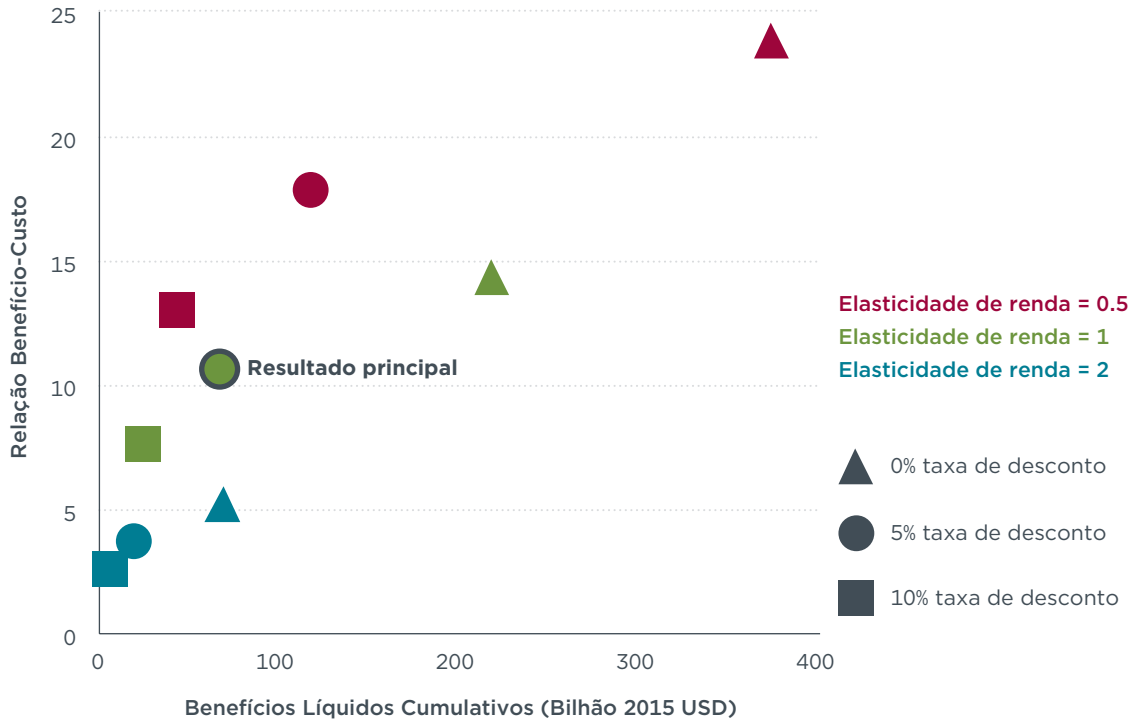


Figura 18. Sensibilidade de resultados de custo-benefício quanto à taxa de descontos e VSL

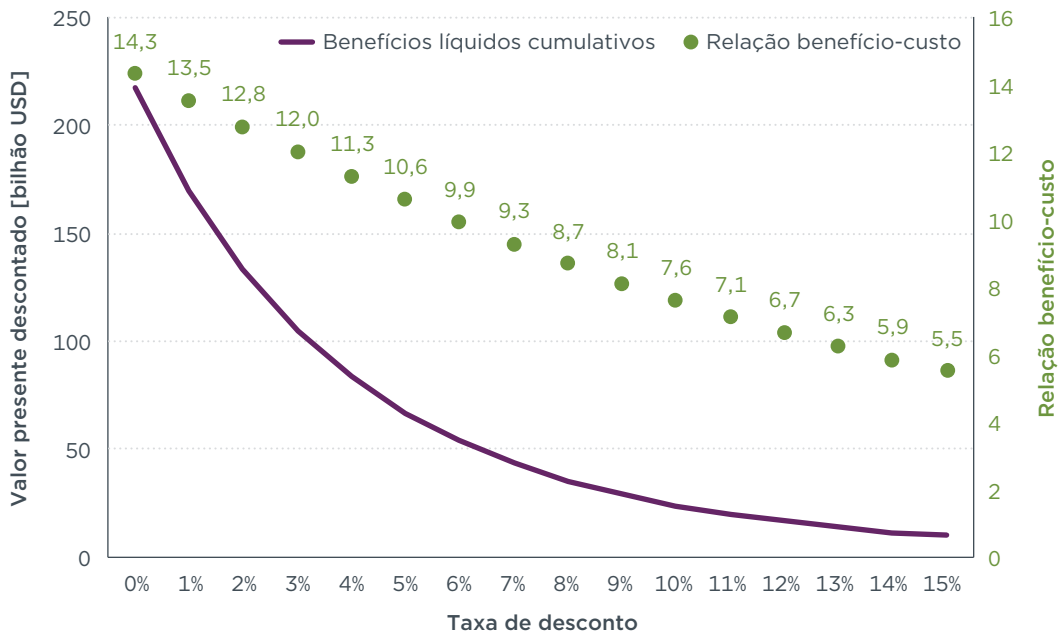


Figura 19. Sensibilidade de resultados de custo-benefício quanto à taxa de descontos

Custo do atraso na implementação

Esta análise avaliou o impacto da implementação da norma P-8 em 2018 e constatou que os benefícios excedem e muito os custos nas próximas décadas. Considerando a possibilidade de que a data de implementação da norma possa ser adiada após 2018, este estudo também estimou a parcela das emissões e benefícios para a saúde que seriam perdidos se a implementação da norma fosse adiada em 2 a 4 anos, mantendo o período da análise constante (Tabela 11). Conforme indicado na primeira linha, cada ano de atraso poderia resultar em 5 mil toneladas adicionais de $MP_{2.5}$, equivalentes a 3%-4% dos benefícios cumulativos estimados em um período de 30 anos. Cada ano de atraso poderia resultar em cerca de 2.500 mortes prematuras adicionais por exposição a emissões de $MP_{2.5}$ – e os custos de um atraso de 4 anos resultariam em mais de 10.000 mortes prematuras adicionais. Para minimizar o número de mortes prematuras resultantes da exposição à poluição do ar, quanto mais cedo a norma P-8 puder ser efetivamente implementada, melhor.

Tabela 11. Custo no atraso da implementação da norma P-8

Variável	P-8 em 2018	P-8 em 2020 [2 anos de atraso]	P-8 em 2022 [4 anos de atraso]
Redução cumulativa de $MP_{2.5}$ a partir do cenário P-7 [kt]	140	130	120
Parcela dos benefícios perdidos com o atraso		7%	14%
Mortes prematuras adicionais		5.000	10.000

As estimativas são arredondadas para um máximo de dois dígitos significativos. "kt" indica mil toneladas.

Impacto provável de fatores técnicos adicionais

Embora esta análise capture os custos e benefícios mais importantes, vários fatores não foram considerados, ou foram quantificados mas não incluídos nas estimativas do valor presente líquido associado à implementação das políticas. A Tabela 12 resume o impacto que estes fatores provavelmente teriam no valor líquido presente se fossem incorporados. Considerando a alta relação benefício-custo sobre uma ampla gama de taxas de desconto, a inclusão destes fatores provavelmente não alteraria a conclusão da análise — notadamente o fato que os benefícios da norma P-8 no Brasil superam e muito os seus custos.

Tabela 12. Impacto provável de fatores técnicos adicionais sobre os benefícios líquidos

Fator	Comentários	Impacto provável sobre os benefícios líquidos
Consumo de combustível	Novos veículos equipados com DPF para atender os requisitos da norma Euro VI podem ter menor economia de combustível em comparação aos veículos sem filtros; no entanto, melhorias simples na eficiência do motor, ajustes finos, e outros fatores podem compensar esta penalização.	+/-
Impacto de poluentes secundários à saúde	As mortes prematuras por exposição a emissões de MP _{2,5} primário tipicamente constituem mais de 90% dos benefícios à saúde monetizados das normas de emissões para veículos pesados, e a inclusão de poluentes secundários aumentaria os benefícios. A inclusão de tais poluentes, que tornaria a análise significativamente mais complexa e custosa, não é necessária pois a norma já possui uma excelente relação benefício-custo somente com a consideração do MP _{2,5} primário.	+
Custo social dos impactos climáticos do BC	O Brasil não adotou um esquema <i>cap and trade</i> ou estabeleceu um preço para o carbono equivalente para poluentes climáticos de vida curta. A monetização dos poluentes climáticos aumentaria os benefícios líquidos da norma P-8; no entanto, isto requer um desenvolvimento metodológico adicional, com foco no desconto apropriado de emissões de CO ₂ e.	+
Impactos agrícolas do BC	Não se considerou os aumentos na produtividade agrícola decorrentes das reduções nas emissões de BC do setor de transporte rodoviário.	+

“+” indica um pequeno aumento; “-” indica uma pequena diminuição; “+/-” indica que há incerteza.

4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES DE POLÍTICAS

Os resultados desta análise indicam que a norma P-8 (assumida como equivalente à norma europeia Euro VI) é altamente custo-efetiva para a redução dos impactos ambientais de veículos pesados a diesel no Brasil. Esta norma acarretará custos razoáveis para a indústria, e reduzirá significativamente os impactos ambientais do setor de transportes. Em suma, esta análise constatou que:

- » Em um período de 30 anos (2018 a 2048), a norma P-8 resultaria em benefícios para a saúde avaliados em USD 74 bilhões a um custo de USD 7 bilhões.
- » Os benefícios monetizados da norma P-8 compensariam os custos em uma relação de 11:1, compatível com os resultados de estudos similares no México, EUA e Índia.
- » Não se espera que a norma P-8 aumente os custos de combustível em comparação à norma atual, uma vez que veículos novos já abastecem com S10 e ARLA-32 para atender a norma P-7.
- » Espera-se que as montadoras tenham um aumento nos custos das tecnologias veiculares de USD 1.600 a USD 3.200 por veículo, dependendo do tamanho do motor, com uma média ponderada por vendas de USD 2.460 por veículo. Estes custos de capital resultarão em benefícios sociais que compensarão seus custos em 4 anos.
- » Ao longo de 30 anos, os benefícios cumulativos da norma P-8 incluem:
 - » Prevenção de 74.000 mortes prematuras por exposição a emissões de $MP_{2,5}$ em zonas urbanas;
 - » Redução de 130.000 toneladas de $MP_{2,5}$ primário e 12 milhões de toneladas de NO_x ;
 - » Redução de até 350 milhões de toneladas de CO_2 equivalente ($MtCO_2e$) usando um potencial de aquecimento global de 20 anos (GWP-20) e 92 $MtCO_2e$ usando GWP-100, como resultado da redução de BC.
- » Cada ano de atraso na implementação da norma P-8 após 2018 resultarão em mais 2.500 mortes prematuras, o que destaca a importância da ação em tempo hábil.

Além da implementação em tempo hábil da norma P-8, algumas políticas complementares poderiam acelerar os benefícios para a saúde de veículos equivalentes a norma Euro VI e aumentar as vendas de novos veículos:

- » Estabelecer incentivos fiscais para estimular a adoção voluntária de veículos P-8 antes de 2018 (ex.: reduzir ou eliminar temporariamente impostos sobre vendas de veículos P-8 vendidos antes de 2018);
- » Oferecer incentivos fiscais para sucatear caminhões e ônibus antigos e substituí-los por veículos equivalentes a Euro VI (renovação de frota);
- » Favorecer a compra de ônibus coletivos que atendam as normas equivalentes a Euro VI;
- » Reduzir o valor do pedágio para veículos que atendam as normas equivalentes a Euro VI;
- » Impor restrições ao uso em zonas urbanas densamente povoadas de veículos de fases iniciais do PROCONVE.

Como os benefícios da norma P-8 superam seus custos significativamente, este estudo recomenda que o Brasil considere estas políticas complementares como um meio de acelerar a introdução de veículos P-8. Vale também destacar que o diesel S500 continua sendo vendido fora das regiões metropolitanas. Embora as normas com dois tipos combustíveis tenham sido bem sucedidas, a descontinuação do diesel S500 eliminaria o risco de abastecimento incorreto de veículos P-7 e P-8 e reduziria as emissões de $MP_{2,5}$ de veículos em uso que atendam as normas P-5 ou anteriores. Por estas razões, recomenda-se planejar a descontinuação do diesel S500 como uma política complementar à nova norma P-8.

LISTA DE ACRÔNIMOS

ANFAVEA	Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotores (Brasil)
ARLA 32	Agente Redutor Líquido Automotivo
BC	Carbono negro
COPERT	programa de computador para calcular emissões do setor de transporte rodoviário (modelo da Comissão Europeia)
CO₂e	dióxido de carbono equivalente
DPF	filtro de particulados de diesel
EPA	Agência de Proteção Ambiental (Estados Unidos)
EUA	Estados Unidos da América
PIB	produto interno bruto
RNB	renda nacional bruta
GTP-20, GTP-100	potencial de temperatura global em um horizonte de 20 e um de 100 anos
GWP-20, GWP-100	potencial de aquecimento global em um horizonte de 20 e um de 100 anos
HD, HDV	<i>heavy duty</i> , veículos pesados
ICCT	International Council on Clean Transportation (Clean Internacional de Transporte Limpo)
IEMA	Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA)
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
MtCO₂	milhões de toneladas métricas de dióxido de carbono
NO_x	óxidos de nitrogênio
OC	carbono orgânico
OMS	Organização Mundial da Saúde
MP, MP_{2.5}	material particulado, particulados finos com diâmetro aerodinâmico menor que 25 micrômetros
PPP-GDP	produto interno bruto em paridade de poder de compra
PROCONVE	Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
ppm	partes por milhão
SCR	redução catalítica seletiva
UE	União Europeia
USD	dólares americanos
VKT	veículos-quilômetros percorridos
VSL	valor de uma vida estatística
WTP	disposição em pagar

REFERÊNCIAS

- Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. (2014). Brazilian automotive industry yearbook. Fonte: <http://www.anfavea.com.br>
- Banco Central do Brasil. (2015). I.53 – Quarterly GDP. [Economic indicators dated November 11, 2015]. Fonte: <http://www.bcb.gov.br/?INDICATORS>
- Bansal, G. & Bandivadekar, A. (2013). Overview of India's vehicle emissions control program: Past successes and future prospects. Fonte: <http://www.theicct.org/indias-vehicle-emissions-control-program>
- Blumberg, K., & Posada, F. (2014). Regulaciones sobre emisiones de vehículos pesados en México [Emission regulations for heavy vehicles in Mexico]. Fonte: <http://www.theicct.org/mexico-nom-044-update-dec2014-esp>
- Bond, T. C., Doherty, S. J., Fahey, D. W., Forster, P. M., Berntsen, T., DeAngelo, B. J., ... Zender, C. S. (2013). Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 118(11) : 5380–5552. doi:10.1002/jgrd.50171
- Bureau of Labor Statistics. (2013). International comparisons of hourly compensation costs in manufacturing, 2012. Fonte: <http://www.bls.gov/fls/ichcc.htm>
- Bureau of Labor Statistics (2015). CPI inflation calculator. Fonte: <http://data.bls.gov/cgi-bin/cpicalc.pl?cost1=7.4&year1=2006&year2=2015>
- Burnett, R. T., Smith-Doiron, M., Stieb, D., Raizenne, M.E., Brook, J.R., Dales, R.E., ... Krewski, D. (2001). Association between ozone and hospitalization for acute respiratory diseases in children less than 2 years of age. *American Journal of Epidemiology*, 153, 444–452.
- CETESB. (2014). Qualidade do ar no estado de São Paulo. Fonte: http://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/37/2013/12/rqar_2014.pdf
- Chambliss, S., & Bandivadekar, A. (2015). Accelerating progress from Euro 4/IV to Euro 6/VI vehicle emissions standards. Fonte: <http://www.theicct.org/briefing-leapfrogging-to-euro-6-vi-mar2015>
- Chambliss, S., Miller, J., Façanha, C., Minjares, R., & Blumberg, K. (2013). The impact of stringent fuel and vehicle standards on premature mortality and emissions. Fonte: <http://theicct.org/global-health-roadmap>
- Department of the Environment. (2014). Regulations amending the on-road vehicle and engine emission regulations and other regulations made under the Canadian Environmental Protection Act, 1999: Regulatory impact analysis. Fonte: <http://www.gazette.gc.ca/rp-pr/p1/2014/2014-09-27/html/reg1-eng.php>
- Façanha, C. (2016). Deficiencies in the Brazilian PROCONVE P-7 and the case of P-8 standards. Fonte: <http://www.theicct.org/deficiencies-proconve-p7-case-for-p-8-standards-brazil>
- Forster, P., Ramaswamy, V., Artaxo, P., Berntsen, T., Betts, R., Fahey, D.W., ... Van Dorland, R. (2007). Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. In S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (Eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA: Cambridge University Press.

- Hammitt, J. K., & Robinson, L. A. (2011). The income elasticity of the value per statistical life: Transferring estimates between high and low income populations. *Journal of Benefit-Cost Analysis* 2 (1): Article 1.
- He, J., & Wang, H. (2010). The value of statistical life: a contingent investigation in China. *The World Bank*. doi:10.1596/1813-9450-5421
- Jerrett, M., Burnett, R. T., Pope III, C. A., Ito, K., Thurston, G., Krewski, D., ... Thun, M. (2009). Long-term ozone exposure and mortality. *New England Journal of Medicine*, 360(11), 1085-1095.
- Katsis, P., Ntziachristos, L., & Mellios, G. (2012). Description of new elements in COPERT 4 v10.0. Fonte: http://emis.com/sites/default/files/COPERT4_v10_0.pdf
- Miller, J., Blumberg, K., & Sharpe, B. (2014). Cost-benefit analysis of Mexico's heavy-duty emission standards (NOM 044). Fonte: <http://www.theicct.org/cost-benefit-analysis-mexicos-heavy-duty-emission-standards-nom-044>
- Ministério da Saúde. (2009). Estudos de avaliação econômica de tecnologias em saúde. Fonte: http://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/avaliacao_economica_tecnologias_saude_2009.pdf
- Ministério do Meio Ambiente (2011). 1o inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários. Fonte: http://www.mma.gov.br/estruturas/163/publicacao/163_publicacao27072011055200.pdf
- Minjares, R., Wagner, D., Baral, A., Chambliss, S., Galarza, S., Posada, F., ... & Akbar, S. (2014). Reducing black carbon emissions from diesel vehicles: Impacts, control strategies, and cost-benefit analysis. Fonte: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/17785>
- Minuteman Trucks Inc. (2015). DPF cleaning. Fonte: <http://www.minutemantrucks.com/dpf-cleaning>
- Muncrief, R. (2015). Comparing real-world off-cycle NOX emissions control in Euro IV, V, and VI. Fonte: <http://www.theicct.org/comparing-real-world-nox-euro-iv-v-vi-mar2015>
- Myrhø, G., Shindell, D., Bréon, F.-M., Collins, W., Fuglestedt, J., Huang, J., ... Zhang, H. (2013). Anthropogenic and natural radiative forcing supplementary material. In Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., ... Midgley, P.M. (Eds.) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- OECD. (2012). Mortality risk valuation in environment, health and transport policies. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264130807-en>
- Petrobras. (2015). Arla 32 (Petrobras Flua). Fonte: <http://www.petrobras.com.br/en/products-and-services/products/automotive/arla-32-petrobras-flua/>
- Petrobras. (2010). 2010 sustainability report. Available from <http://www.investidorpetrobras.com.br/pt/relatorios-anuais/relatorio-de-sustentabilidade>
- Posada Sanchez, F., & Bandivadekar, A. (2015). Global overview of on-board diagnostic (OBD) systems for heavy-duty vehicles. Fonte: <http://www.theicct.org/global-overview-board-diagnostic-obd-systems-heavy-duty-vehicles>
- Posada Sanchez, F., Bandivadekar, A., & German, J. (2012). Estimated cost of emission reduction technologies for LDVs. Fonte: <http://www.theicct.org/estimated-cost-emission-reduction-technologies-ldvs>

- Shao, Z., & Wagner, D. (2015). Costs and benefits of motor vehicle emission control programs in China. Fonte: <http://www.theicct.org/costs-and-benefits-motor-vehicle-emission-control-programs-china>
- TransportPolicy.net. (2014). Brazil: Heavy-duty: Emissions. Fonte: http://transportpolicy.net/index.php?title=Brazil:_Heavy-duty:_Emissions
- U.S. Environmental Protection Agency. (2000). Regulatory impact analysis: Heavy-duty engine and vehicle standards and highway diesel fuel sulfur control requirements. EPA420-R-00-026. Fonte: <http://www3.epa.gov/otaq/regs/hd-hwy/2000frm/420r00026.pdf>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2010a). Appendix B: Mortality risk valuation estimates. In Guidelines for preparing economic analyses. Fonte: <http://yosemite.epa.gov/EE%5Cepa%5Ceed.nsf/webpages/guidelines.html>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2010b). Chapter 6: Discounting future benefits and costs. In Guidelines for preparing economic analyses. Fonte: <http://yosemite.epa.gov/EE%5Cepa%5Ceed.nsf/webpages/guidelines.html>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2011). The benefits and costs of the Clean Air Act from 1990 to 2020. . Fonte: <http://www.epa.gov/clean-air-act-overview/benefits-and-costs-clean-air-act-1990-2020-second-prospective-study>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2012). Report to Congress on Black Carbon. Fonte: <http://www3.epa.gov/blackcarbon/>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2014). Control of Air Pollution from Motor Vehicles: Tier 3 Motor Vehicle Emission and Fuel Standards Final Rule. Regulatory Impact Analysis. Fonte: <http://www3.epa.gov/otaq/tier3.htm>
- Viscusi, W.K., & Aldy, J.E. (2003). The value of a statistical life: a critical review of market estimates throughout the world. *Journal of Risk and Uncertainty* 27: 5-76.
- World Bank. (2015a). GDP per capita, PPP (current international \$) [World Bank open data]. Fonte: <http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.PP.CD>
- World Bank. (2015b). GNI per capita, PPP (current international \$) [World Bank open data]. Fonte: <http://data.worldbank.org/indicator/NY.GNP.PCAP.PP.CD>
- World Health Organization. (2005). Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide — Global update 2005. Fonte: http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/outdoorair_agg/en/
- World Health Organization. (2014). Ambient Air Pollution Database. Fonte: http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/cities/en/