



Empresa de Pesquisa Energética

NOTA TÉCNICA

# Impacto na saúde humana pelo uso de biocombustíveis na Região Metropolitana de São Paulo

Fevereiro de 2021

MINISTÉRIO DE  
MINAS E ENERGIA



**Coordenação Executiva**

Angela Oliveira da Costa

**Coordenação Técnica**

Rafael Barros Araujo

**Equipe Técnica**

Angela Oliveira da Costa

Dan Abensur Gandelman

Kriseida C. P. G. Alekseev

Lucas Ribeiro Magalhães

Marina Damião Besteti Ribeiro

Rachel Martins Henriques

Rafael Barros Araujo

**Suporte Administrativo**

Sergio Augusto Melo de Castro

**Imagens da Capa**

1. Desenvolvido por Racool\_studio em Freepik.
2. Divulgação livre. Obtido em Pixabay.
3. Desenvolvido por master1305 em Freepik.
4. Divulgação livre. Obtido em Pixabay.

MINISTÉRIO DE  
MINAS E ENERGIA



**Ministro de Estado**

Bento Costa Lima Leite de Albuquerque Junior

**Secretária-Executiva**

Marisete Fátima Dadald Pereira

**Secretário de Planejamento e Desenvolvimento  
Energético**

Paulo Cesar Magalhães Domingues

**Secretário de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**

José Mauro Ferreira Coelho

<http://www.mme.gov.br>



**Presidente**

Thiago Vasconcelos Barral Ferreira

**Diretor de Estudos Econômico-Energéticos e  
Ambientais**

Giovani Vitória Machado

**Diretor de Estudos de Energia Elétrica**

Erik Eduardo Rego

**Diretora de Estudos do Petróleo, Gás e  
Biocombustíveis**

Heloisa Borges Bastos Esteves

**Diretora de Gestão Corporativa**

Angela Regina Livino de Carvalho

<http://www.epe.gov.br>

## ■ Identificação do Documento e Revisões



### Área de estudo

---

Diretoria de Estudos do Petróleo, Gás e Biocombustíveis (DPG)

Superintendência de Derivados de Petróleo e Biocombustíveis (SDB)

### Estudo

---

Impacto na Saúde Humana pelo Uso de Biocombustíveis na Região Metropolitana de São Paulo

---

Revisão	Data de emissão	Descrição
---------	-----------------	-----------

r0	24/02/2021	
----	------------	--

---

## ■ Sumário

<b>Introdução</b> .....	<b>1</b>
<b>1. Caracterização</b> .....	<b>2</b>
1.1. Políticas Públicas para Biocombustíveis .....	2
1.2. Material Particulado .....	3
<b>2. Metodologia</b> .....	<b>4</b>
2.1. Área de Estudo .....	4
2.2. Dados Utilizados.....	4
2.3. Ferramenta AirQ+ .....	5
2.4. Premissas das Simulações.....	5
<b>3. Resultados e Discussão</b> .....	<b>6</b>
3.1. Etanol .....	6
3.2. Biodiesel Base Éster .....	7
3.3. Valor Implícito à Melhoria na Qualidade de Vida.....	8
<b>4. Considerações Finais</b> .....	<b>9</b>
<b>Referências bibliográficas</b> .....	<b>11</b>
<b>Anexo A – Metodologia</b> .....	<b>13</b>
Emissões.....	13
Emissão relativa veicular.....	13
Modelagem da concentração ambiental .....	14
Alteração da participação de renováveis nos combustíveis comerciais .....	14
Variação no padrão de consumo dos combustíveis .....	14
Estimativa dos impactos na saúde.....	15
Mortalidade .....	16
Impacto nas interações.....	17

## Introdução

---

A poluição ambiental do ar gera relevantes problemas de saúde que afetam especialmente a parcela da população que vive em grandes centros urbanos. A Organização Mundial de Saúde (OMS, 2019) estima que a poluição atmosférica nas cidades e áreas rurais cause anualmente 4,2 milhões de mortes prematuras em todo o mundo (dados de 2016). Essa mortalidade se deve, principalmente, à exposição aos materiais particulados, pequenas partículas de diâmetro menor ou igual a 2,5 microm (µm) (MP2,5), que estão relacionados à ocorrência de doenças cardiovasculares e respiratórias, bem como a diversos tipos de câncer.

A OMS avalia que, em 2016, 58% das mortes prematuras relacionadas à poluição ambiental do ar foram causadas por doenças isquêmicas do coração e derrames, 18% foram provocadas por doença pulmonar obstrutiva crônica e infecções respiratórias agudas inferiores, enquanto 6% podem ser atribuídas ao câncer de pulmão<sup>1</sup>. O material particulado é associado ao aumento da incidência de câncer, especialmente o de pulmão, segundo avaliação realizada em 2013 pela Agência Internacional de Pesquisa do Câncer da OMS (IARC em inglês). Também foi observada associação entre poluição do ar externo e aumento do câncer do trato urinário/bexiga (OMS, 2019).

A maioria das fontes de poluição do ar está muito além do controle de indivíduos, como aponta a OMS, o que exige a ação coordenada de formuladores de políticas em âmbito local, nacional e regional, nos diferentes setores envolvidos: transporte, energia, gestão de resíduos, planejamento urbano e agricultura.

Buscando contribuir com estudos relevantes para apoiar políticas públicas com foco em energia, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) elaborou uma avaliação sobre o impacto na saúde humana decorrente do uso de biocombustíveis no setor de transportes.

O presente estudo utilizará a metodologia descrita pela OMS, em seus manuais do AirQ+, aplicando-a à Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), escolhida para o estudo devido à disponibilidade de dados, com destaque para o inventário de poluição atmosférica (CETESB, 2018). Para isso, duas macroanálises serão realizadas, sendo a primeira, focando no uso de etanol nos veículos leves e a segunda, relativa à adição de biodiesel base éster ao diesel B.

Cumprido destacar que, embora outros poluentes também causem impactos relevantes à saúde humana, esta análise irá focar apenas no material particulado, especialmente no MP 2,5, o que origina o maior efeito dentre todos. As simulações realizadas tomam como base a frota da RMSP de 2018, ano de registro das medições.

---

<sup>1</sup> Algumas mortes podem ser atribuídas a mais de um fator de risco ao mesmo tempo. Por exemplo, o fumo e a poluição do ar afetam o câncer de pulmão. Desta forma, algumas mortes por este tipo de câncer poderiam ter sido evitadas pela melhoria da qualidade do ar ou pela redução do fumo do tabaco (OMS 2019).

# 1. Caracterização

---

## 1.1. Políticas Públicas para Biocombustíveis

O governo brasileiro tem lançado mão de políticas públicas para desenvolver e ampliar a produção e o uso de biocombustíveis no país. Dentre elas, destacam-se o Programa Nacional do Álcool (PROALCOOL), na década de 1970, a inserção da tecnologia *flex fuel* em 2003, o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), em 2005 e, mais recentemente, a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio). Ademais, diversas políticas públicas de diferenciação tributária vêm sendo aplicadas para os biocombustíveis, de forma a favorecer a sua competitividade frente aos combustíveis fósseis (EPE, 2016).

A produção de etanol no país foi impulsionada na década de 1970 pelo Proálcool, fundamental para viabilizar a produção de etanol. Após o fim do programa, o volume comercializado deste biocombustível caiu consideravelmente, tendo retomado seu crescimento com a introdução da tecnologia *flex fuel* em veículos leves, a partir de 2003. Desde 2015, o percentual de etanol anidro na gasolina C está fixado em 27%. Em 2019, o consumo de hidratado atingiu 30% de participação na demanda do ciclo Otto e o etanol carburante total representou 49%, ambos em gasolina equivalente (EPE, 2020c). Na última década, o aumento percentual da produção do biocombustível apresentou crescimento de 26% (EPE, 2020; Salina, Almeida, & Bittencourt, 2019).

O PNPB, estabelecido através da Lei nº 11.097/2005 (BRASIL, 2005), foi o instrumento que inseriu o biodiesel na matriz energética nacional. O programa fundamentou-se em três pilares: a inclusão social através da agricultura familiar, a sustentabilidade ambiental e a viabilidade econômica. Seu objetivo foi possibilitar a utilização das diversas oleaginosas existentes no Brasil, de acordo com as potencialidades de cada região, reduzindo as desigualdades econômicas entre elas. A criação do Selo Combustível Social (SCS)<sup>2</sup>, o qual exige que um percentual mínimo de matéria-prima seja comprado de agricultores familiares, para que possa se qualificar aos benefícios fiscais, promoveu a inclusão social através da geração de renda e emprego (EPE, 2020a; Barroso & Alves, 2008). Entre 2005 e dezembro de 2019, foram produzidos 40,7 bilhões de litros de biodiesel pela indústria nacional (EPE, 2020).

Para ampliar a participação competitiva dos biocombustíveis na matriz energética brasileira, ao trazer previsibilidade a este segmento, foi promulgada em 2017 a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) (BRASIL, 2017), que incentiva investimentos no setor, além de ajudar o país a atender à Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC), no âmbito do Acordo de Paris. O RenovaBio pretende impulsionar a produção de diversos biocombustíveis, como etanol, biodiesel, biogás e bioquerosene de aviação.

---

<sup>2</sup> Alterado para Selo Biocombustível Social pelo Decreto nº 10.527 de 22 de outubro de 2020 (BRASIL, 2020).

## 1.2. Material Particulado

Segundo (Ristovski, et al., 2012), a emissão de material particulado envolve uma complexa mistura de partículas sólidas e líquidas em suspensão na atmosfera. Como descreve (Belo, et al., 2011), o material particulado pode ser classificado quanto ao seu processo de formação. Quando é emitido diretamente para a atmosfera, através de fontes naturais ou antropogênicas, é denominado primário. Se o particulado sofre reações químicas na atmosfera envolvendo gases, aerossóis e água no estado líquido ou sólido, ele é classificado como partícula secundária. Segundo Marques et al. (2012), o material particulado cujo tamanho não excede 10  $\mu\text{m}$  é representado pelo símbolo MP10. Sendo este subdividido em fração fina, denominada partícula respirável, ou MP2,5, cujo diâmetro aerodinâmico é menor ou igual que 2,5  $\mu\text{m}$ , e em fração grossa, que corresponde ao tamanho entre 2,5  $\mu\text{m}$  e 10  $\mu\text{m}$ , conhecido como partícula inalável.

O principal risco à saúde humana está associado à capacidade da fração fina do material particulado transferir substâncias tóxicas dissolvidas (absorção) no seu corpo ou aderidas à sua superfície (adsorção) para os alvéolos. Os compostos adsorvidos podem retornar à fase gasosa, sendo sorvidos pelo organismo através do processo de difusão. Alguns compostos como sulfatos, nitratos e alguns metais, podem dissolver-se no fluido presente na superfície dos alvéolos, atravessando a barreira alveolar e atingindo a circulação sanguínea. Já os compostos absorvidos no material particulado podem ser capturados pelo mecanismo de defesa dos alvéolos. Todos esses processos podem desencadear uma resposta inflamatória no organismo (SALDIVA, 2007).

FERNANDES, et al. (2010) indicam que esta fração fina do material particulado atua no sistema circulatório, chegando até ele através dos pulmões nos vasos sanguíneos, provocando vários danos agudos ao sistema como um todo, levando a alterações no ritmo cardíaco, isquemia miocárdica, e alterações na coagulação sanguínea. Segundo (Belo, et al., 2011), os principais mecanismos de deposição pulmonar são fixação, impactação inercial, difusão e sedimentação. Na fixação, a gravidade é o principal responsável pela deposição das partículas. No processo chamado de impactação inercial, as partículas maiores têm dificuldade de seguir as trajetórias curvas, sendo assim, aderem às mucosas das vias aéreas superiores. Já o processo de difusão envolve partículas com tamanho aerodinâmico inferior a 1  $\mu\text{m}$ . Devido ao seu movimento aleatório, como resultado do seu bombeamento de gás, as partículas alcançam as vias aéreas inferiores, chegando aos alvéolos. Já as partículas entre 1  $\mu\text{m}$  e 5  $\mu\text{m}$  sofrem o processo de sedimentação, o qual ocorre nas vias aéreas inferiores, chegando aos bronquíolos terminais.

Segundo (Maioli, 2011), fetos, crianças abaixo dos 5 anos de vida e idosos são mais suscetíveis a doenças provocadas pelo material particulado, como asma, doença pulmonar obstrutiva crônica, pneumonias, infecções do trato respiratório, arritmias cardíacas e quadros isquêmicos coronarianos. Estudos apontaram que as crianças e idosos compõem o grupo relacionado ao aumento de internações hospitalares por doenças respiratórias, devido a maior presença de particulado na atmosfera (CANÇADO, et al., 2006).

Por fim, de acordo com o estudo de (Carmo, et al., 2010), o acréscimo de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  na concentração mássica do material particulado na região sul da Amazônia brasileira esteve associado a aumentos de 2,9% e 2,6% nos atendimentos ambulatoriais por doenças respiratórias de crianças no sexto e sétimo dias após o nascimento, subsequentes à exposição.

## 2. Metodologia

A abordagem metodológica adotada para este estudo incluiu avaliar a variação nas emissões de material particulado, especificamente MP<sub>2,5</sub>, decorrentes da quantidade de biocombustíveis utilizada pelos veículos nos municípios da Região Metropolitana de São Paulo. Para analisar o impacto na saúde através do aumento da concentração deste material foi empregada a Ferramenta AirQ+, a ser descrita adiante.

### 2.1. Área de Estudo

A Região Metropolitana de São Paulo, que concentra 39 municípios, foi escolhida pela disponibilidade de dados, sobretudo o inventário de poluição atmosférica, publicado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2018). A região foi criada em 1973 e reorganizada em 2011 pela Assembleia Legislativa de São Paulo, que instituiu o Conselho de Desenvolvimento e agrupou seus municípios em sub-regiões (Assembléia Legislativa de São Paulo, 2011), conforme Figura 1. Segundo (IBGE, 2019), em 2018, a região possuía 21,6 milhões de habitantes com um PIB total de 1,1 trilhão de reais.

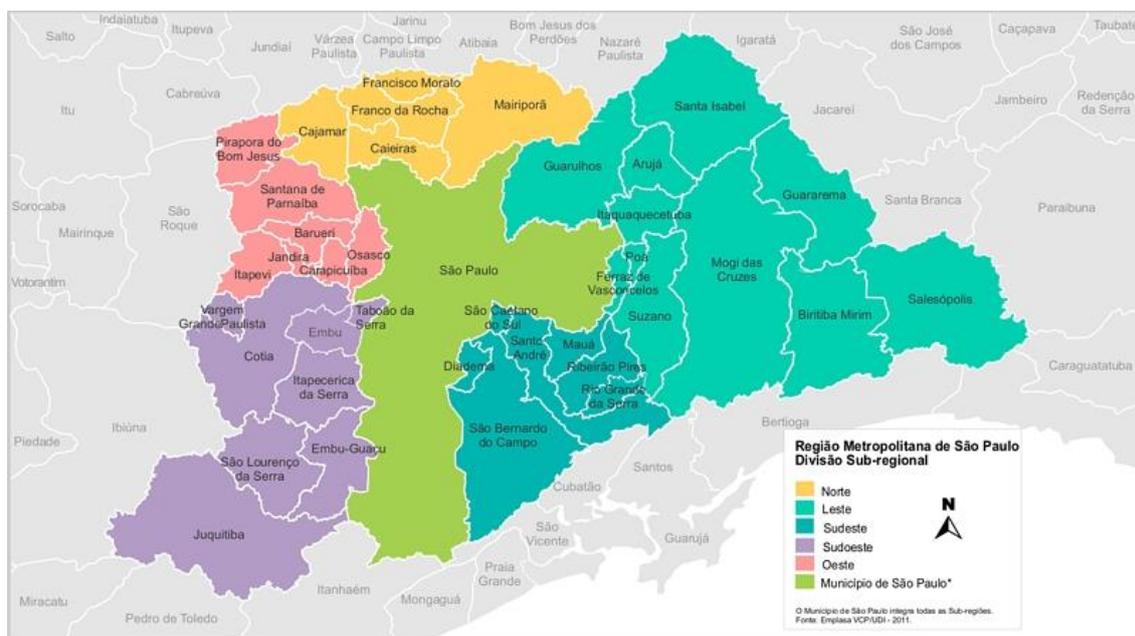


Figura 1 – Região Metropolitana de São Paulo  
Fonte: (EMPLASA, 2019)

### 2.2. Dados Utilizados

Os dados referentes à qualidade do ar registrados nos postos que fazem parte da RMSP, sob a perspectiva do material particulado 2,5 (MP<sub>2,5</sub>), foram obtidos na CETESB. No ano de 2018, a concentração anual média da região foi de 18,53 µg/m<sup>3</sup>. Os dados referentes à emissão veicular da frota da RMSP são disponibilizados no Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo. A distribuição de fontes relativas de emissão e suas participações na concentração de MP<sub>2,5</sub> são as seguintes: veículos totais 37%, combustão de biomassa 7%, aerossóis secundários 51% e a

ressuspensão de partículas 5%. Desta forma, qualquer simulação aqui testada teria impacto apenas na parcela relativa às emissões veiculares, 37% (CETESB, 2018).

Os dados referentes ao consumo dos combustíveis (gasolina C, etanol hidratado e diesel B), para os municípios que fazem parte da RMSP, foram obtidos através da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2019), de forma a estimar as emissões de material particulado. Também se fez necessário identificar a taxa de emissão veicular (g/km) para cada tipo de veículo e combustível em análise (CETESB, 2018).

Para a taxa de emissão do etanol hidratado adotou-se estimativa de (Vicentini, de Melo, Loureiro, Moreira, & Alves, 2015). Para obtenção das taxas de emissão do biodiesel base éster, utilizou-se o estudo da Universidade Estadual de Goiás (Barroso & Alves, 2008).

Para a estimativa da população da RMSP foram adotados dados do IBGE (IBGE, 2019), que estão disponíveis por município. Dessa forma, a população total da RMSP é obtida somando-se as pirâmides etárias dos municípios necessários. O índice de mortalidade por faixa etária foi obtido pelo sistema (DATASUS, 2019).

### 2.3. Ferramenta AirQ+

A estimativa do impacto na saúde humana diante da exposição ao MP<sub>2,5</sub> foi elaborada utilizando-se a ferramenta AirQ+ versão 1.3, que foi projetada para calcular os impactos da poluição do ar na saúde em uma determinada população. Todos os cálculos realizados pelo AirQ+ foram baseados em metodologias e funções de concentração-resposta estabelecidas por estudos epidemiológicos, como em (Bahrami Asl, et al., 2018), (Yarahmadi, et al., 2018) e (Ansaria & Ehrampoush, 2019). As funções de resposta utilizadas no software foram baseadas na revisão sistemática de todos os estudos disponíveis até 2013, organizados pela OMS. O AirQ+ calcula a proporção e o número atribuível de casos (mortes e internações) por 100 mil habitantes. Para quantificar os efeitos no longo prazo do MP<sub>2,5</sub>, foram utilizados os seguintes dados: (i) qualidade do ar, média anual, para efeitos de exposição a longo prazo; (ii) população em risco, como o número total de adultos com mais de 30 anos de idade; (iii) dados de saúde, como taxas básicas de resultados de saúde na população; e (iv) o valor de corte para a concentração do poluente a ser considerado (10 µg/m<sup>3</sup>), conforme recomendado pela OMS (2017). Note-se que o presente estudo utiliza a metodologia descrita pela OMS, sem se propor a alterá-la ou validá-la.

### 2.4. Premissas das Simulações

Para mensurar o impacto do uso de biocombustíveis no ciclo Otto<sup>3</sup>, foram construídas quatro trajetórias, com diferentes participações de etanol no setor de transportes. Em todos os casos, a demanda ciclo Otto de referência é a realizada em 2018 na RMSP. A trajetória GA considera que não há demanda de etanol hidratado e nem do anidro, somente ocorrendo o consumo de gasolina A. Seu objetivo é comparar o efeito total de redução de emissão de MP decorrente do consumo de etanol. Na trajetória GC, existe a mistura de 27% de etanol anidro na gasolina C, porém não há demanda de etanol hidratado. A trajetória GC\_EH reflete a demanda observada em 2018, de etanol hidratado e

---

<sup>3</sup> Os combustíveis que compõem o ciclo Otto são: gasolina C (gasolina A + etanol anidro), etanol hidratado e gás natural veicular (GNV).

gasolina C, com a mistura de 27% de anidro. Por sua vez, a trajetória GC\_EH+10 simula o aumento de 10% do consumo de etanol hidratado, em detrimento da gasolina C.

Já para mensurar o impacto das políticas de biocombustíveis para o ciclo Diesel na RMS, quatro trajetórias de adição de biodiesel base éster também foram construídas. A primeira considera que só existe o consumo de diesel A. Já no segundo caso, tem-se 10% de biodiesel na mistura, como observado em 2018. O terceiro caso adota 12% e último considera 15% de adição do biocombustível (conforme previsto no cronograma do CNPE para 2023).

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1. Etanol

De acordo com (CETESB 2018), a taxa de emissão de MP2,5 varia de acordo com o veículo, sendo a média ponderada pela frota circulante movida a gasolina C, igual a 1,62mg/km. Para se estimar a taxa de emissão referente ao etanol consumido em veículos e motocicletas do tipo *flex*, adotou-se uma proporção de 50% da taxa de emissão da gasolina C, de acordo com estudo da SIMEA (Vicentini, et al. 2015). Em seguida, calculou-se a média ponderada de acordo com a frota de cada veículo, obtendo-se o valor de 0,33 mg/km.

Os resultados para os cenários propostos podem ser observados na Tabela 1, em que são apresentadas a concentração de particulados MP2,5 na atmosfera, sua redução em relação ao observado no ano de 2018, a diminuição percentual da parcela de particulados emitidos pelo setor de transportes, a variação da expectativa de vida em relação ao observado na RMS em 2018 (trajetória GC\_EH) e, por fim, a variação do número de mortes ao ano.

**Tabela 1 - Impactos na Saúde Humana do uso do Etanol**

	Concentração de Particulados MP2,5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) na atmosfera	Variação % na atmosfera (MP2,5)	Variação % relativa ao setor de transportes (MP2,5)	Variação da Expectativa de vida (dias)	Variação do Número de Óbitos por Ano
Trajetoária GA	19,02	2,6%	7,2%	-13	371
Trajetoária GC	18,70	1,0%	2,6%	-6	152
Trajetoária GC_EH*	18,53	0,0%	0,0%	0	0
Trajetoária GC_EH+10 **	18,47	-0,3%	-0,9%	1	-43

Fonte: Elaboração própria

Notas: \* São Paulo em 2018, trajetória de referência

\*\* Consumo de etanol hidratado 10% maior que o verificado em 2018

A comparação entre as trajetórias GA e GC\_EH apresenta o impacto do uso de etanol carburante, anidro e hidratado, em 2018<sup>4</sup>. Verifica-se uma queda de 2,6% da poluição total de MP2,5 na atmosfera (correspondente a 7,2% de concentração de particulados associada ao setor de transportes). Estima-se que este consumo de etanol, *ceteris paribus*, evite 371 mortes ao ano, e a população tem sua expectativa de vida aumentada em 13 dias, desde o nascimento. Caso ocorresse um aumento de 10% da demanda de hidratado em relação ao verificado em 2018 (denominada trajetória GC\_EH+10), haveria 43 mortes por ano a menos e a expectativa de vida aumentaria em mais 1 dia, quando comparado à trajetória GC\_EH.

### 3.2. Biodiesel Base Éster

Semelhante à gasolina comum, o diesel também possui um percentual obrigatório de biocombustível, à exceção do transporte aquaviário, bunker exportação e autoprodução no setor de transformação. Desde março de 2020, o percentual vigente de mistura de biodiesel no diesel B é de 12%, com cronograma estipulado para chegar a 15% até 2023 (EPE, 2020). O valor da sua taxa de emissão varia para os diferentes tipos de veículos pesados, caminhões e ônibus urbanos. Assim, a taxa de emissão média ponderada da frota de veículos do ciclo diesel é de 7,53 mg/m<sup>3</sup>, a maior dentre os combustíveis analisados (CETESB 2018). Para obtenção das taxas de emissão do biodiesel base éster, utilizou-se o estudo da Universidade Estadual de Goiás (Barroso e Alves 2008), que informa a redução de material particulado para diferentes níveis de mistura. Desta forma, usando-se a taxa de emissão média do diesel B10, obteve-se a taxa de emissão média do biodiesel base éster de 4 mg/m<sup>3</sup>, por meio de uma interpolação linear (EPE, 2020a). No ano base do estudo, 2018, este percentual era de 10% (trajetória B10). Os resultados das simulações para a Região Metropolitana de São Paulo estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Impactos na Saúde Humana do uso do Biodiesel Base Éster

	Concentração de Particulados MP2,5 (µg/m <sup>3</sup> ) na atmosfera	Variação % na atmosfera (MP2,5)	Variação % relativa ao setor de transportes (MP2,5)	Variação da Expectativa de vida (dias)	Variação do Número de Óbitos por Ano
<b>Trajetoária B0</b>	18,85	1,7%	4,8%	-9	244
<b>Trajetoária B10</b>	18,53	0,0%	0,0%	0	0
<b>Trajetoária B12</b>	18,48	0,3%	-0,7%	1	-33
<b>Trajetoária B15</b>	18,39	-0,8%	-2,0%	4	-104

Fonte: Elaboração própria

A comparação entre as trajetórias B0 e B10 apresenta o impacto do uso de biodiesel base éster, decorrente incentivo do PNPB no ano de 2018. Verifica-se que, sem o uso do biocombustível, a concentração de particulados na atmosfera, proveniente do setor de transportes seria 4,8% superior ao registrado em 2018, enquanto a poluição total de MP2,5 na atmosfera seria 1,7% maior. Estima-se que este programa evitou 244 mortes ao ano, e que a população deixou de perder 9 dias de vida, desde o nascimento. Caso o percentual de biodiesel no diesel B atingisse 15%, haveria 104 mortes por ano a menos e a expectativa de vida aumentaria em mais 4 dias, quando comparadas à trajetória B10.

<sup>4</sup> Além das políticas públicas de incentivo ao uso do etanol (percentual obrigatório, diferenciação tributária, etc), este biocombustível também é influenciado pelo mercado de açúcar, visto que grande parte da indústria sucroenergética utiliza o mesmo insumo para sua produção.

### 3.3. Valor Implícito à Melhoria na Qualidade de Vida

O objetivo deste item é avaliar o valor implícito à melhoria na qualidade de vida com o uso de biocombustíveis. Para isso, tomou-se como referência a metodologia utilizada pela OMS, que possui uma recomendação para auxílio na tomada de decisões governamentais, em relação ao custo/benefício de uma política, de forma a medir sua efetividade econômica, sugerindo uma análise baseada no PIB *per capita*. A Organização considera como critério indicativo de bom potencial aquelas políticas que tenham um custo de até três vezes o impacto do PIB per capita pelo tempo de extensão da expectativa de vida. Por exemplo, o PIB *per capita* do Brasil em 2018 era de aproximadamente R\$ 32.000,00. Dessa forma, uma política com custo de até R\$ 96.000,00 per capita, que adicionasse um ano de vida à população, atenderia a este critério.

Embora neste trabalho não seja proposta a análise de viabilidade econômica das políticas, serão apresentados apenas os seus valores implícitos e não os seus custos, segundo tal recomendação, para a população da RMSP. Desta forma, a Tabela 3 e a Tabela 4 apresentam as simulações analisadas, com seus respectivos valores implícitos em bilhões de reais (valores nominais referentes a 2018). Na segunda coluna das tabelas, pondera-se o valor anual do PIB per capita pelo número de dias adicionados à expectativa de vida, multiplicado pelo número de habitantes na RMSP. A terceira coluna apresenta qual seria o limite do custo de cada política pública para que atendam ao critério indicativo de bom potencial, conforme recomendação da OMS, ou seja, o valor anterior multiplicado por três.

Cabe observar que a oferta de etanol é influenciada pelo preço do açúcar no mercado internacional, visto que a indústria sucroenergética utiliza um mesmo insumo para ambos os produtos. Desta forma, o presente trabalho avalia o valor implícito à melhoria na qualidade de vida decorrente do consumo de etanol, não isolando o impacto das políticas públicas para este biocombustível (como, por exemplo, o percentual obrigatório).

Na Tabela 3 verificamos que a base é a trajetória GC\_EH, sendo representativa do cenário observado em 2018 na RMSP. Verificamos que, caso não houvesse o uso de etanol, o impacto na economia seria negativo em cerca de R\$ 25 bilhões em relação ao cenário base. Por outro lado, um aumento de 10% no consumo de hidratado geraria impacto positivo adicional de aproximadamente R\$ 2 bilhões.

Tabela 3 - Impacto econômico pelo consumo de etanol

	Impacto econômico pela variação da expectativa de vida (bilhões R\$)	Recomendação da OMS para efetividade da política* (bilhões R\$)
Trajectoria GA	-24,61	-73,85
Trajectoria GC	-11,36	-34,08
Trajectoria GC_EH	-	-
Trajectoria GC_EH+10	1,89	5,68

Fonte: Elaboração própria

A trajetória de referência para o biodiesel em 2018 é a B10. Em comparação com um cenário em que não haveria adição de biodiesel (B0), ocorreria um impacto negativo de R\$ 17 bilhões pela redução da expectativa de vida da população. Com a trajetória de B15, haveria um ganho de mais R\$ 7,6 bilhões, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 - Impacto econômico pelo consumo de biodiesel

	Impacto econômico pela variação da expectativa de vida (bilhões de R\$)	Recomendação da OMS para efetividade da política* (bilhões de R\$)
<b>Trajectoria B0</b>	-17,04	-51,12
<b>Trajectoria B10</b>	-	-
<b>Trajectoria B12</b>	1,89	5,68
<b>Trajectoria B15</b>	7,57	22,72

Fonte: Elaboração própria

## 4. Considerações Finais

O desenvolvimento de fontes energéticas sustentáveis ganhou grande importância em todo o mundo devido à necessidade urgente de redução das emissões de gases de efeito estufa, a fim de mitigar os efeitos das mudanças climáticas e auxiliar na busca pela segurança energética. Neste contexto, os biocombustíveis se destacam como uma alternativa importante aos combustíveis fósseis, pois oferecem vantagens ambientais e socioeconômicas, contribuindo para a geração de emprego e renda em todo o território nacional, e para o Produto Interno Bruto (PIB), especificamente, o agrícola. O Brasil é o maior produtor de etanol a partir de cana-de-açúcar, e o terceiro maior produtor mundial de biodiesel. O impacto na economia do setor de biocombustíveis no Brasil é considerável e apresenta reflexos bastante positivos, conforme relatado por (Antunes, Chandel, Terán-Hilares, Milessi, & Travalia, 2019).

A inserção de biocombustíveis na matriz de transportes, grande responsável pela demanda de combustíveis e importante emissor de GEE da economia global, se torna cada dia mais relevante. Observados os diversos ganhos obtidos em âmbito global, os impactos locais também merecem atenção. Esta análise se restringiu a auferir o efeito sobre a saúde humana decorrente da emissão de material particulado de 2,5 microns, através de simulações no software AirQ+, por meio de variações no consumo de biocombustíveis em trajetórias alternativas ao realizado em 2018 na Região Metropolitana de São Paulo.

Os resultados apontam que o uso do etanol tem elevado impacto positivo na saúde humana sob o prisma de emissão de particulados, contribuindo para uma redução de 7,2% de concentração de particulados associada ao setor de transportes, e com um aumento de 13 dias na expectativa de vida daquela população. Estima-se que, anualmente, 371 mortes sejam evitadas por complicações da poluição de particulados na RMSP. Testou-se também um aumento de 10% do uso de etanol para atendimento à demanda do ciclo Otto, o que resultou em uma diminuição de 0,3% da emissão de particulados de veículos leves na referida região.

A adição de biodiesel ao diesel A também apresentou impacto significativo na saúde humana em termos de emissão de particulados, conforme indicaram os resultados desse estudo. No ano de 2018, a adição de 10% de biodiesel evitou 4,8% das emissões provenientes do setor de transportes na RMSP e contribuiu com o acréscimo de nove dias na expectativa de vida da população, além de reduzir 244 óbitos anualmente. Em trajetória alternativa de adição de 15% de biodiesel base éster ao diesel, haveria redução adicional de 2% relativo às emissões veiculares de particulado, além de um aumento de mais quatro dias na expectativa de vida desde o nascimento e, ainda, evitaria mais 104 óbitos ao ano.

Por fim, realizou-se uma avaliação do valor implícito à melhoria na qualidade de vida devido ao uso de biocombustíveis em substituição aos seus análogos fósseis, decorrente da implementação de políticas públicas, segundo metodologia da OMS. Este impacto seria da ordem de 25 bilhões de reais para o etanol e 17 bilhões para o biodiesel, tendo como referência o ano de 2018 e a RMSP. No caso do etanol, cabe observar que, para este estudo, o impacto das políticas públicas não pôde ser avaliado isoladamente, dada a influência do mercado de açúcar, sendo considerado apenas o valor decorrente de seu consumo.

Destaca-se que estudos futuros devem considerar os efeitos sinérgicos pelo uso do etanol e do biodiesel, concomitantemente, nos impactos na saúde humana, na expectativa de vida e no valor implícito à melhoria na qualidade de vida. Estes resultados podem ser mais significativos com a intensificação do consumo de novos biocombustíveis no setor de transportes.

## Agradecimentos

---

Agradecemos ao Marcelo C. B. Cavalcanti, Superintendente Adjunto da Superintendência de Derivados de Petróleo e Biocombustíveis (SDB) da Diretoria de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (DPG) da EPE, por suas contribuições nas etapas finais deste documento.

## Referências bibliográficas

---

- Aatola, H., Larmi, M., & Sarjovaara, T. (2008). Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) as a Renewable Diesel Fuel: Trade-off between NO<sub>x</sub>, Particulate Emission, and Fuel Consumption of a Heavy Duty Engine . SAE International.
- ANP. (2019). Anuário Estatístico 2019. Fonte: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis: <http://www.anp.gov.br/publicacoes/anuario-estatistico/5237-anuario-estatistico-2019>
- Ansaria, M., & Ehrampoush, M. H. (2019). Meteorological correlates and AirQ+ health risk assessment of ambient fine particulate matter in Tehran, Iran. *Environmental Research*, 170, 141-150. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.11.046>
- Antunes, F. A., Chandel, A. K., Terán-Hilares, R., Milessi, T. S., & Travalia, B. M. (2019). Biofuel Production from Sugarcane in Brazil. *Sugarcane Biofuels*, 99-121.
- Assembléia Legislativa de São Paulo. (2011). LEI COMPLEMENTAR Nº 1.139, DE 16 DE JUNHO DE 2011. Fonte: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei.complementar/2011/lei.complementar-1139-16.06.2011.html>
- Bahrami Asl, F., Leili, M., Vaziri, Y., S. A., C. A., & O. C. (2018). Health impacts quantification of ambient air pollutants using AirQ model approach in Hamadan, Iran. *Environ. Res.*, 161, 114–121. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.10.050>
- Barroso, A. C., & Alves, L. B. (Julho de 2008). O Biodiesel na matriz energética do Brasil: uma análise das externalidades. SOBER.
- Bila, V., Franc, S., & Bonjak, M. (2014). Determinant Factors of Life Expectancy at Birth in the European Union Countries. *Coll. Antropol.*, pp. 1–9.
- BRASIL. (2005). Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Brasília: Diário Oficial da União. Fonte: [www.planalto.gov.br](http://www.planalto.gov.br)
- BRASIL. (2017). Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017. Brasília: Diário Oficial da União. Fonte: [www.planalto.gov.br](http://www.planalto.gov.br)
- BRASIL. (2020). Decreto nº 10.527, de 22 de outubro de 2020. Brasília: Diário Oficial da União. Fonte: [www.planalto.gov.br](http://www.planalto.gov.br)
- CETESB. (2018). Qualidade do Ar no Estado de São Paulo. São Paulo: CETESB.
- DATASUS. (2019). Índice de Mortalidade. Acesso em Outubro de 2019, disponível em <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?sim/cnv/obt10sp.def>
- DATASUS. (s.d.). Cobertura do sistema privado. Acesso em Outubro de 2019, disponível em <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?idb2012/f16.def>
- DATASUS. (s.d.). Internações por categoria e faixa etária. Acesso em Outubro de 2019, disponível em <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?sih/cnv/nisp.def>
- EMPLASA. (2019). A Região Metropolitana de São Paulo. Acesso em 2020 de 04 de 05, disponível em <https://emplasa.sp.gov.br/RMSP>
- EPE. (2020). Balanço Energético Nacional 2020: Ano-base 2019. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro. Fonte: [www.epe.gov.br](http://www.epe.gov.br)

- EPE. (2020a). Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis 2019. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética. Fonte: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/analise-de-conjuntura-dos-biocombustiveis-2018>
- EPE. (2020b). Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis 2019. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética. Fonte: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/analise-de-conjuntura-dos-biocombustiveis-2018>
- EPE. (2020c). Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis: ano 2019. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro. Acesso em 03 de 08 de 2020, disponível em [www.epe.gov.br](http://www.epe.gov.br)
- IBGE. (2019). Censo Demográfico. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- IBGE. (2019). Censo Demográfico IBGE. Acesso em Outubro de 2019, disponível em [https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?uf=35&dados=26#topo\\_piramide](https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?uf=35&dados=26#topo_piramide)
- Joo, H., & Kumar, A. (2020). World Biodiesel Policies and Production. Boca Raton: Taylor & Francis.
- M. Lapuerta, J. R.-F. (2013). Blending scenarios for soybean oil derived biofuels with conventional diesel. Biomass Bioenergy, 49, 74-85.
- OMS. (2019). Ambient (outdoor) air pollution. Acesso em 25 de 03 de 2020, disponível em Organização Mundial de Saúde: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Saldiva, P. H., & de André, P. A. (2014). Cenários de mudança do perfil de consumo etano/gasolina e impacto epidemiológico estimado em saúde. São Paulo.
- Salina, F. H., Almeida, I. A., & Bittencourt, F. R. (2019). RenovaBio Opportunities and Biofuels Outlook in Brazil. Renewable Energy and Sustainable Buildings, pp. 391-399.
- Salvo, A. J. (2017). Reduced Ultrafine Particle Levels in São Paulo's Atmosphere During Shifts from Gasoline to Ethanol Use. Nature Communications, 8(77), pp. 1-14. doi:s41467-017-00041-5
- Suarez-Bertoa, R., Kousoulidou, M., Clairotte, M., Giechaskiel, B., Nuottimäki, J., Sarjovaara, T., & Lonza, L. (2019). Impact of HVO blends on modern diesel passenger cars emissions during real world operation. Fuel, 235, 1427-1435.
- Vicentini, P. C., de Melo, T. C., Loureiro, L. N., Moreira, M. F., & Alves, N. d. (Setembro de 2015). Influências dos combustíveis automotivos no material particulado atmosférico de São Paulo e Rio de Janeiro. Blucher Engineering Proceedings.
- Yarahmadi, M., Hadei, M., Nazari, S., Conti, G., Alipour, M., & Ferrante, M. (2018). Mortality assessment attributed to long-term exposure to fine. Environ. Sci. Pollut. Res, 1-9. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1680-4>

## Anexo A – Metodologia

Aqui serão detalhados alguns aspectos metodológicos utilizados na obtenção dos resultados descritos.

### Emissões

Os dados referentes à qualidade do ar, sob a perspectiva do material particulado 2,5 (MP2,5), foram obtidos na Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) para os postos que fazem parte da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Tendo em vista que cada posto possui medição horária própria, foi feita uma média diária, ponderada pelo peso de cada posto para o período de um ano, para obtenção de uma estimativa da concentração equivalente da RMSP, cujo valor obtido foi de 18,53  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para o ano de 2018. Importante ressaltar que na inexistência de dados de MP2,5, são disponibilizados dados referentes ao MP10, cuja relação é de 60% de MP10 para MP2,5 (CETESB, 2018).

### Emissão relativa veicular

Os dados referentes à emissão relativa veicular da frota da RMSP são disponibilizados no Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo (CETESB, 2018). Dentro da categoria veículos totais existe ainda a segmentação por categoria e por combustível dos veículos com a participação relativas das emissões de MP10 e de MP2,5, vide Tabela 5. Dessa forma, é possível saber qual é a emissão referente a cada veículo separadamente. Importante ressaltar que CETESB não possui dados das emissões relativas ao etanol, sendo assim, considerado 0% para esse combustível.

Tabela 5 – Emissões relativas veiculares para MP<sub>10</sub> e MP<sub>2,5</sub>

Categoria	Combustível	Emissão de MP <sub>10</sub> (%)	Emissão de MP <sub>2,5</sub> (%)
<b>Automóveis</b>	Gasolina C	0,71	0,66
	Flex Etanol	--	--
	Flex Gasolina	0,68	0,63
<b>Comerciais Leves</b>	Gasolina C	0,14	0,13
	Flex Etanol	--	--
	Flex Gasolina	0,10	0,09
	Diesel	4,61	4,26
<b>Caminhões</b>	Semi-leves Diesel	1,27	1,18
	Leves	5,08	4,70
	Médios	4,11	3,80
	Semi-pesados	5,59	5,17
	Pesados	5,21	4,82
<b>Ônibus</b>	Urbanos Diesel	8,27	7,65
	Micro-ônibus	1,66	1,54
	Rodoviários	0,75	0,69
<b>Motocicletas</b>	Gasolina C	1,75	1,62
	Flex Etanol	--	--
	Flex Gasolina	0,12	0,11
<b>Total</b>		<b>40,02</b>	<b>37,05</b>

## Modelagem da concentração ambiental

Para modelar a qualidade do ar na RMSP, traduzido pela variação na taxa de emissão dos combustíveis, serão utilizados dois métodos: o primeiro baseado na alteração da participação de renováveis nos combustíveis comerciais e o segundo na mudança do perfil de consumo.

### Alteração da participação de renováveis nos combustíveis comerciais

Como informado anteriormente, a gasolina C (27% de anidro) e o diesel B (atualmente 12% de biodiesel) possuem um percentual de combustíveis renováveis em sua composição, mistura obrigatória estipulada através de legislação específica, os quais contribuem para a redução das emissões de gases de efeito estufa e poluentes locais. Assim, para se calcular a variação da concentração de MP, a partir da alteração dos percentuais obrigatórios de biocombustíveis, utiliza-se a relação matemática retirada de (Saldiva & de André, 2014).

$$TE'_x = \frac{(TE_{x,médio} - TE_{y,médio} * A_d)}{1 - A_d}$$

**Equação 1 – Taxa de emissão após alteração da mistura obrigatória**

$$A\% = \frac{(TE'_x - TE_{x,médio})}{TE_{x,médio}}$$

**Equação 2 – Variação estimada da concentração de MP**

Onde:

$TE'_x$  é a taxa de emissão do combustível “x”, em mg/km, após alteração da mistura obrigatória ( $A_d$ ).

$A_d$  é o percentual de mistura do combustível “y” no combustível “x”.

$TE_{x, médio}$  é a taxa de emissão média do combustível “x”, em mg/km.

$TE_{y, médio}$  é a taxa de emissão média do combustível “y”, em mg/km.

$A\%$  é a variação estimada da concentração de  $MP_{2.5}$  para o combustível “x”.

Em suma, quando o combustível “x” for a gasolina comum, o combustível “y” será etanol anidro, e quando o combustível “x” for o diesel, o combustível “y” será o biodiesel.

### Variação no padrão de consumo dos combustíveis

Para se realizar os cálculos da modelagem, considerando a alteração do padrão de consumo, é necessário fazer uma equivalência volumétrica entre os combustíveis através do seu consumo médio em  $m^3$ , dados esses disponibilizado pela CETESB. Temos então as relações disponíveis na Equação 3.

$$Vg_{eq} = Vet * 0,73$$

$$Vd_{eq} = Vet * 1,33$$

$$Vg_{ed} = Vd * 0,55$$

### Equação 3 - Relações volumétricas entre diferentes combustíveis

Onde:

$Vg_{eq}$  é o volume de gasolina comum equivalente para percorrer a mesma distância dos veículos movidos a etanol.

$Vd_{eq}$  é o volume de diesel B equivalente para percorrer a mesma distância dos veículos movidos a etanol hidratado.

$Vg_{ed}$  é o volume de gasolina comum equivalente para percorrer a mesma distância dos veículos movidos a diesel B.

$Vet$  é o volume de etanol hidratado a ser substituído por gasolina comum.

$Vd$  é o volume de diesel B a ser substituído por gasolina comum.

Desta forma, podemos estimar a variação da concentração ambiental de  $MP_{2,5}$  em  $\mu g/m^3$  por meio da Equação 4, baseado em (Saldiva & de André, 2014).

$$\Delta MP_{2,5} = MP_{2,5} * \left( \frac{Vx_{eq}}{Vx_{original}} \right)$$

### Equação 4 - Variação estimada da concentração de MP

Onde:

$\Delta MP_{2,5}$  é a variação esperada na concentração ambiental de  $MP_{2,5}$  pela substituição do combustível "x" pelo "y".

$MP_{2,5}$  é a concentração de  $MP_{2,5}$  original atribuída ao combustível "x".

$Vx_{eq}$  é o volume de combustível "x" equivalente para percorrer a mesma distância dos veículos movidos ao combustível "y".

$Vx_{ori}$  é o volume de combustível "x" original.

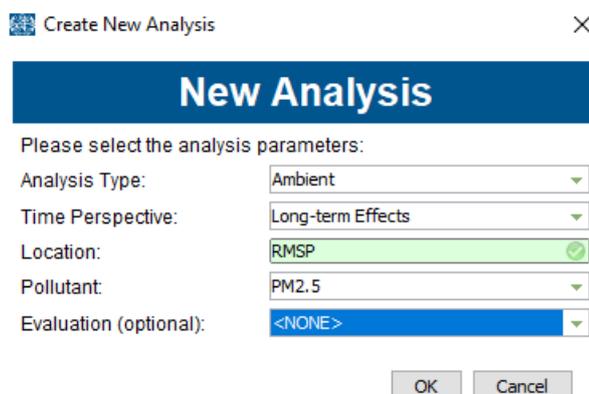
A variação total da concentração ambiental do combustível em análise é a soma das parcelas referentes da variação das misturas obrigatórias de biocombustíveis e da variação no perfil de consumo.

## Estimativa dos impactos na saúde

Os cálculos para se estimar os impactos na saúde são feitos em duas etapas que serão agrupadas posteriormente. A primeira utiliza o software da OMS, AirQ+, para mortalidade e expectativa de vida da população. Para a segunda etapa, internações, não será utilizado o software da OMS, pois seu método de cálculo, chamado de "DALY – Disability Adjusted Life Years", não retorna de maneira explícita o número de internações, mas o número de anos perdidos devido à morbidade. Desta forma, utilizou-se a modelagem matemática das internações (AIH) provida pelo SUS (Sistema Único de Saúde) em seu sistema DATASUS.

## Mortalidade

Será avaliado o impacto da concentração ambiental de  $MP_{2,5}$  na mortalidade da população e na expectativa de vida utilizando o AirQ+. A configuração inicial do software está apresentada na Figura 2.



Create New Analysis

**New Analysis**

Please select the analysis parameters:

Analysis Type: Ambient

Time Perspective: Long-term Effects

Location: RMSP

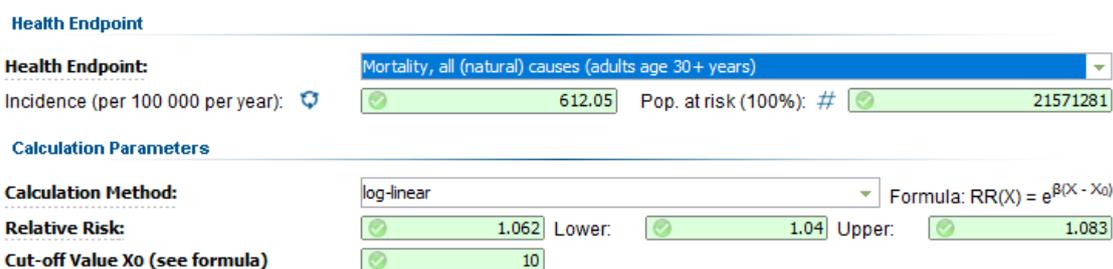
Pollutant: PM2.5

Evaluation (optional): <NONE>

OK Cancel

Figura 2 - Criar uma nova análise

Para as configurações de população total da região e área foram utilizados os valores de 21.571.281 pessoas e de 7.948,96 km<sup>2</sup>, respectivamente. Para a análise do número de mortes foi utilizada a análise “Impact Evaluation” do software, onde os parâmetros de configuração estão na Figura 3.



**Health Endpoint**

**Health Endpoint:** Mortality, all (natural) causes (adults age 30+ years)

Incidence (per 100 000 per year): 612.05 Pop. at risk (100%): # 21571281

**Calculation Parameters**

**Calculation Method:** log-linear Formula:  $RR(X) = e^{B(X - X_0)}$

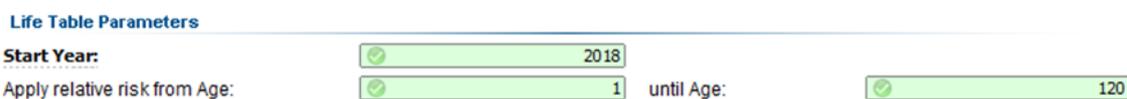
**Relative Risk:** 1.062 Lower: 1.04 Upper: 1.083

**Cut-off Value X0 (see formula)** 10

Figura 3 - Parâmetros da análise “Impact Evaluation”

Para o item “Health Endpoint” (causas de mortalidade) foi selecionada a opção de casos para adultos acima dos 30 anos (o software faz a conversão de unidades para 100.000/ano) e considerou-se 100% da população em risco. O risco relativo (RR) é o indicador recomendado pela OMS para o  $MP_{2,5}$ , cujo valor de concentração ambiental é de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Para a análise da expectativa de vida foi utilizada a análise “Life Table Evaluation” do software, onde os parâmetros de configuração estão na Figura 4, abaixo:



**Life Table Parameters**

**Start Year:** 2018

Apply relative risk from Age: 1 until Age: 120

Figura 4 - Parâmetros da análise “Life Table Evaluation”

Os dados foram obtidos no sistema do (IBGE, 2019) onde estão disponíveis as informações por município, e a população total da RMSP é obtida somando as pirâmides etárias dos municípios necessários. O índice de mortalidade por faixa etária foi obtido pelo sistema (DATASUS, 2019).

## Impacto nas internações

Neste item será apresentada a metodologia de cálculo do impacto da concentração ambiental de MP<sub>2,5</sub> na morbidade da população que resultam em internações hospitalares (AIH). As informações sobre quantidade de AIH, custo médio de AIH, e tempo médio da AIH se encontram em (DATASUS, Internações por categoria e faixa etária, s.d.).

Os casos referentes aos impactos da concentração de MP<sub>2,5</sub> na saúde da população foram segregados em dois tipos de doenças, casos respiratórios e cardiovasculares, por serem associadas à poluição atmosférica mais facilmente.

Para mensurar as internações atribuídas à variação de material particulado da concentração atmosférica foi utilizada a Equação 5 (Saldiva & de André, 2014).

$$AIH' = (e^{\beta\Delta MP} - 1)AIH_{total}$$

**Equação 5 - Variação no número de internações**

Onde:

AIH' são as variações no número de internações devido à alteração da concentração de material particulado para cada tipo de doença e faixa etária.

$\beta$  é o coeficiente de regressão para cada caso de doença e faixa etária;

$\Delta MP$  é a variação de concentração ambiental de MP<sub>2,5</sub>;

AIH<sub>total</sub> é o número total de internações por tipo de doença e faixa etária.

O coeficiente  $\beta$  foi obtido em estudos distintos e também na própria OMS. Os valores de  $\beta$  com asterisco foram extraídos em (Saldiva & de André, 2014), o qual informa as fontes de cada coeficiente. Quando não encontrados os coeficientes de regressão de determinadas faixas etárias, realizou-se estimativa com o coeficiente de regressão padrão, encontrado dentro do software da OMS, de valor fixo de 0,0060. Todos os valores estão disponíveis na Tabela 6.

**Tabela 6 - Coeficientes de regressão epidemiológicos da exposição ao MP<sub>2,5</sub>**

Faixa etária	Respiratório (Variação $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Cardiovascular (Variação $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
0-4	0,0047*	0,0060
5-9	0,0060	0,0060
10-14	0,0060	0,0060
15-19	0,0060	0,0060
20-29	0,0060	0,0060
30-39	0,0060	0,0060
40-49	0,0024*	0,0016*
50-59	0,0024*	0,0016*
60-69	0,0044*	0,0024*
70-79	0,0063*	0,0027*
80 ou mais	0,0063*	0,0027*

Fonte: OMS.2018.

Visto que o SUS representa apenas uma parcela de todas as internações hospitalares, sendo seu complemento proveniente da rede privada de saúde, torna-se necessário estimar o número de internações proveniente desta última. Esse valor pode ser estimado pela Equação 6 (Saldiva & de André, 2014).

$$AIH_{privado} = AIH_{público} \left( \frac{1}{1 - CR} - 1 \right)$$

**Equação 6 - Estimativa de AIH's no sistema privado**

Onde:

AIHprivado é o número de internações estimado do sistema privado.

AIHpúblico é o número de internações acrescentadas ou reduzidas devido a variação da concentração de material particulado para cada tipo de doença e faixa etária.

CR é a taxa de cobertura do sistema privado de saúde, dado adquirido em (DATASUS, Cobertura do sistema privado, s.d.).