Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

Subsecretaria de Gestão Ambiental

Superintendência de Qualidade Ambiental e Mudanças Climáticas

Diretoria de Qualidade e Monitoramento Ambiental

Núcleo de Monitoramento da Qualidade do Ar e Emissões Atmosféricas

**Tutorial**

Planejamento da Mobilidade Sustentável: Ferramenta para Cálculo de Cenários de Inventários de Emissões Veiculares

belo Horizonte

Julho de 2025

**Governador do Estado de Minas Gerais**

Romeu Zema Neto

**Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SISEMA**

**Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SEMAD**

Marília Carvalho de Melo - Secretária

**Subsecretaria de Gestão Ambiental – SUGA**

Diogo Soares de Melo Franco

**Superintendência de Qualidade Ambiental e Mudanças Climáticas – SQMC**

Renata Maria de Araújo

**Diretoria de Qualidade e Monitoramento Ambiental - DQMA**

Priscila Cristina Pizano de Souza Koch – Diretora

**Núcleo de Monitoramento da Qualidade do Ar e Emissões Atmosféricas - NQA**

David de Hollanda Vianna – Coordenador

**Responsável pelo desenvolvimento da Ferramenta Para Cálculo de Cenários de Inventários de Emissões Veiculares**

João Vitor Rocha de Matos

**Equipe NQA**

Antônio Alves dos Reis – Analista Ambiental

Diego Bonifácio Maria – Estagiário

João Vitor Rocha de Matos – Estagiário

Leidiane Santana Santos – Analista Ambiental

Pedro Henrique Couto Cunha - Estagiário

Rejane Cristina da Silva Mendes – Administrativo

Ricardo Silva Queiroz – Analista Ambiental

Robson Fernando Justino – Analista Ambiental

Rúbia Cecília Augusta Francisco – Analista Ambiental

Sueli Batista Ferreira – Analista Ambiental

Vinícius Almeida de Oliveira – Estagiário

**Sumário**

[**1. Introdução** 4](#_Toc204696665)

[**1.1. O que a ferramenta faz?** 4](#_Toc204696666)

[**1.2. Público Alvo:** 4](#_Toc204696667)

[**2. Metodologia de elaboração do Inventário** 4](#_Toc204696668)

[**3. Metodologia de construção da ferramenta** 5](#_Toc204696669)

[**4. Visão geral da ferramenta** 5](#_Toc204696670)

[**4.1. Aba “Dados de Entrada”** 5](#_Toc204696671)

[**4.2. Aba “Análise de Cenários”** 8](#_Toc204696672)

[**4.3. Aba “Dados\_v2”** (em Python) 9](#_Toc204696673)

[**5. Utilizando a ferramenta** 10](#_Toc204696674)

[**5.1. Procedimento para gerar um cenário de emissão na aba “Dados de Entrada”** 10](#_Toc204696675)

# **1. Introdução**

Bem-vindo ao tutorial da Ferramenta para Cálculo de Cenários de Inventários de Emissões Veiculares!Esse guia apresenta um passo a passo para que você se familiarize rapidamente com os recursos e funcionalidades da ferramenta. Recomendamos seguir atentamente as instruções para aproveitar ao máximo o seu potencial.

# **1.1. O que a ferramenta faz?**

Ela calcula e espacializa as emissões veiculares, ou seja, os Inventários de Emissões Atmosféricas. Com ela é possível simular o impacto de diferentes políticas públicas, criando cenários que podem ser comparados com a situação atual (cenário base). O objetivo final é gerar informações estratégicas que auxiliem na formulação e no monitoramento de políticas para a redução de emissões, em conformidade com as diretrizes do Plano de Controle de Emissões Atmosféricas de Minas Gerais - PCEA/MG.

# **1.2. Público Alvo:**

Espera-se que a ferramenta seja utilizada por gestores públicos estaduais e municipais, especialmente aqueles com competência para a elaboração e aprimoramento das políticas públicas de mobilidade urbana, tendo em vista que a geração de tais informações possibilita aos gestores promover a inserção de considerações ambientais no processo de planejamento e monitoramento de políticas que colaborem para a redução das emissões veiculares conforme estabelecido no PCEA/MG.

É importante destacar que a ferramenta pode ser utilizada para simular as emissões de qualquer município, desde que informados os dados de frota do município inventariado. Também é necessário inserir uma figura representativa do município inventariado (aba “Análise de Cenários”) para poder espacializar as taxas de emissão nos pontos de contagem de fluxo.

# **2. Metodologia de elaboração do Inventário**

As emissões atmosféricas provenientes do escapamento de veículos automotores são calculadas em pontos específicos de contagem de fluxo veicular. Para isso, utilizam-se duas fontes principais de dados:

**- Volume de tráfego:** informações disponibilizadas pelos órgãos de trânsito locais.

**- Fatores de emissão:** médias calculadas com base nos fatores anuais da CETESB e nos dados da frota obtidos do Detran-MG.

A metodologia de cálculo detalhada pode ser consultada no documento **“Inventário de Emissões Atmosféricas de Fontes Veiculares do Município de Belo Horizonte – Ano Base 2019”** disponibilizado na página da Semad. Adicionalmente, o método para obter os fatores médios de emissão está descrito no documento **"Determinação de fatores de emissão para elaboração de inventários municipais de fontes móveis"**, também disponível na página da Semad.

# **3. Metodologia de construção da ferramenta**

A escolha pelo Excel como plataforma de desenvolvimento visou tornar a ferramenta facilmente acessível. A estratégia central foi simplificar a experiência do usuário, permitindo uma visualização rápida, prática e didática da distribuição de emissões veiculares. Para isso, os cálculos foram otimizados e a interação foi focada em apenas duas variáveis centrais que o usuário pode alterar: a idade da frota e o fluxo de veículos.

# **4. Visão geral da ferramenta**

A ferramenta possui três abas principais: “**Dados de Entrada”**, **“Análise de Cenários” e “Dados\_v2”**. Os próximos tópicos detalharão essas abas.

# **4.1. Aba “Dados de Entrada”**

Toda alteração de cenário (tanto baseado em idade da frota quanto em fluxo veicular) é realizada na aba “Dados de Entrada”. As Figuras a seguir referem-se à essa abaque tem basicamente 3 seções: **“Fluxo Veicular”**; **“Idade da Frota”** e **“Emissões de Poluentes”.**

A **Figura 1** apresenta uma visão geral da tela, enquanto a **Figura 2** detalha a seção de "Fluxo por Ponto". Esta seção exibe os dados de tráfego por categoria veicular (automóveis, motos, ônibus e caminhão) e suas respectivas coordenadas geográficas. As colunas **G, H, I e J** são editáveis, permitindo ao usuário modificar diretamente a quantidade de veículos para simular diferentes cenários. É importante notar que os dados de fluxo veicular podem corresponder a qualquer período (horário, diário, anual) e ser obtidos por diferentes métodos, como radares ou contagem manual.

|  |
| --- |
| C:\Users\m1148550.CA\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.MSO\7C73F404.tmp |
| Figura 1 – visão geral da aba Dados de Entrada |

|  |
| --- |
| **C:\Users\m1148550.CA\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.MSO\9136ECB2.tmp** |
| Figura2 – colunas de fluxo veicular por ponto |

**Observação**: as coordenadas utilizadas nesse exemplo são do tipo **geográficas**, expressas em **graus decimais** no sistema **Latitude/Longitude (WGS 84)**. Alternativamente, também é possível utilizar **coordenadas projetadas no sistema UTM (Universal Transverse Mercator)**. Recomenda-se adotar o **mesmo formato e sistema de referência** ao longo do trabalho para garantir a **compatibilidade e a precisão dos dados**.

Na próxima seção, demonstrada nas Figuras 3 e 4, temos:

1) os **Fatores Médios de Emissão** - obtidos a partir de cálculo envolvendo dados disponibilizados pelo Detran/MG e fatores de emissão por ano de fabricação publicados pela Cetesb;

2) a **Distribuição da Idade da Frota**, ou seja, a quantidade de veículos registrados (ônibus, ônibus elétrico, micro-ônibus, caminhão, moto-gasolina, moto-flex, automóvel-gasolina, automóvel-álcool, automóvel flex, automóvel diesel) para cada ano de fabricação conforme a informação da frota registrada do Departamento de Trânsito. A partir desses dados é que é possível obter a idade média da frota a ser analisada. É nessa parte, mais especificamente nas colunas de Q a Z (identificado em **vermelho** na **Figura 3**) que é possível manipular a quantidade de veículos de determinado ano de fabricação para projetar cenários que estão relacionados à idade da frota;

3) **Gráficos** (destacados em **vermelho** na **Figura 4**) que possibilitam a realização de análises quanto à **idade da frota** (por categoria de veículos) e **fatores de emissão** por ano de fabricação (por categoria de veículos e por poluente);

 4) **Emissões totais** por ponto de contagem de fluxo (destaque em **azul** na **Figura 4**). Nesta seção, são apresentados os resultados finais de emissões por ponto de monitoramento. Os dados referem-se as emissões totais, consolidadas com base nas informações das seções anteriores: CO (g/km); NOx (g/km); e MP (g/km).

|  |
| --- |
| C:\Users\m1148550.CA\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.MSO\767379E9.tmp |
| Figura 3 – Distribuição da idade da frota |

|  |
| --- |
| C:\Users\m1148550.CA\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.MSO\4C1C9CDF.tmp |
| Figura 4 – Gráficos de fatores de emissão por categoria por poluente (destaque vermelho) e emissões totais (destaque azul). |

# **4.2. Aba “Análise de Cenários”**

Nessa aba **(Figura 5)** são apresentados os resultados dos cenários simulados (em termos de reflexo nas emissões dos poluentes CO, NOx e MP) a partir dos dados inseridos na aba **“Dados de Entrada”**. Para cada resultado temos: redução de emissão total estimada (porcentagem); emissão total no cenário base (g/km) e emissão total no cenário simulado (g/km); gráficos de comparação entre os cenários base e simulado, além de um mapa onde é possível verificar os resultados das emissões calculadas no cenário e a partir disso identificar os pontos de maior emissão.

|  |
| --- |
| C:\Users\m1148550.CA\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.MSO\5F5B9F90.tmp  C:\Users\m1148550.CA\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.MSO\B86D7C1E.tmp |
| Figura 5 – Análise de cenários |

# **4.3. Aba “Dados\_v2”** (em Python)

A inserção de **dados da frota** e dos **fatores de emissão** (para cada poluente e para cada categoria) é realizada nessa aba (**Figura 6**). É a partir dessa aba que é gerado o **fator médio de emissão** apresentado **nas tabelas de “Fatores de Emissão” da aba “Dados de Entrada”. Já a quantidade** de veículos de “Dados V2” está sendo carregada de “Dados de Entrada” (somente a quantidade).

A regra geral sempre que for necessário incluir linhas é de que isso seja feito dentro do intervalo (para que seja considerado). É preciso estender o intervalo e não criar linhas abaixo dele. Quanto às colunas que devem ser alteradas para atualização, essas são: ano de fabricação; tipologia veicular; combustível; tipologia ID; poluente e fator de emissão.

|  |
| --- |
|  |
| Figura 6 – imagem da aba Dados\_v2 |

# **5. Utilizando a ferramenta**

# **5.1. Procedimento para gerar um cenário de emissão na aba “Dados de Entrada”**

Ao acessar a aba “Dados de Entrada” **(Figura 7)** o usuário irá visualizar uma tabela de **Fluxo Veicular**. **Para gerar cenários relacionados a alterações na quantidade de veículos circulantes**, o primeiro passo é preencher os campos de coordenadas geográficas (latitude e longitude) e de fluxo veicular por tipo de veículo (automóveis, motocicletas, ônibus e caminhões) conforme destacado em **vermelho** na **Figura 8**.

|  |
| --- |
| C:\Users\m1148550.CA\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.MSO\E1251945.tmp |
| Figura 7  – aba Dados de Entrada |

|  |
| --- |
| C:\Users\m1148550.CA\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.MSO\25086061.tmp |
| Figura 8 – Fluxo veicular |

Esta seção permite simular o impacto de alterações no fluxo de veículos sobre as emissões. Para projetar um novo cenário, como o aumento ou a redução da frota, siga os passos abaixo:

**1. Selecione a categoria do veículo:** Clique na seta azul (Figura 9) correspondente à coluna da categoria que deseja alterar (ex: automóveis, motos).

**2. Defina a alteração percentual:** No campo ao lado do ícone “%” (Figura 10), insira o valor percentual do fluxo que você deseja **manter**.

**Exemplo:** Para simular uma **redução de 10%** no fluxo, digite **90**. Para simular um **aumento de 20%**, digite **120**.

**3. Aplique a alteração:** Clique no ícone “%”. A ferramenta aplicará a mudança a todos os valores da coluna selecionada.

|  |
| --- |
| C:\Users\m1148550.CA\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.MSO\BFCB2C4A.tmp |
| Figura 9 – ícone de seleção |

|  |
| --- |
| C:\Users\m1148550.CA\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.MSO\F7543AE8.tmp |
| Figura 10 – procedimento para gerar cenário relacionada à quantidade de veículos |

Clicando na guia **“Análise de Cenários”**, o usuário poderá visualizar o resultado do cenário simulado.

Para simular **cenários baseados em mudanças na idade e composição da frota**, utilize a tabela **“Distribuição da Idade da Frota”** (Figura 11).

**1. Dados de Entrada:**

Primeiramente, a tabela deve ser preenchida com a quantidade de veículos registrados por ano de fabricação, conforme os dados do Departamento de Trânsito. As categorias incluem ônibus (convencional e elétrico), caminhões, motos e automóveis com diferentes tipos de combustível (gasolina, álcool, flex, diesel).

**2. Tipos de Simulação:**

Com os dados inseridos, a ferramenta permite modelar diversos cenários. Por exemplo, é possível:

**Alterar a frota de um ano específico:** Aumentar, diminuir ou zerar a quantidade de veículos de um determinado ano de fabricação.

**Simular a renovação da frota:** Substituir veículos mais antigos por novos.

**Modelar a transição tecnológica:** Transferir veículos de uma categoria para outra. Um exemplo prático seria reduzir a quantidade de veículos a combustão e adicionar o mesmo montante à categoria de veículos elétricos para analisar o impacto direto nas emissões.

|  |
| --- |
| C:\Users\m1148550.CA\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.MSO\E01D553.tmp |
| Figura 11 – tabela Distribuição da Idade da Frota |

Para realizar essas simulações, basta selecionar a coluna correspondente à categoria de veículo na qual se deseja aplicar a alteração utilizando a **seta azul**. Por exemplo, para simular a transferência de veículos de determinados anos de fabricação para um outro ano de fabricação, basta zerar as quantidades de veículos dos anos nos quais se pretende incluir – primeiro clicando na seta azul para selecionar a célula pretendida e depois digitando ao lado do ícone de somar a quantidade. Para aplicar o cálculo basta clicar no **ícone somar “Σ**” (como na Figura 12)

|  |
| --- |
| C:\Users\m1148550.CA\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.MSO\769D633D.tmp |
| Figura 12 – procedimento para gerar cenário relacionada à idade da frota |

Clicando na guia **“Análise de Cenários”**, o usuário poderá visualizar o resultado do cenário simulado.

O usuário poderá salvar o cenário simulado clicando no ícone **“Salvar Cenário”** na aba **“Dados de Entrada”**. Basta escolher o número do cenário sobre o qual gostaria de salvar aquela simulação (é possível salvar até 5 cenários) e fornecer um nome e uma descrição para ele (**Figura 13**). Também é possível restaurar o cenário anterior simulado clicando no ícone **“Restaurar Padrão”**.

|  |
| --- |
| C:\Users\m1148550.CA\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.MSO\7210DD9.tmp |
| Figura 13 – procedimento para salvar cenário |