

Inventário de Emissões

Gestão Inteligente para um Futuro Sustentável

Farroupilha - RS

Período Analisado:
2018 a 2023





Ficha Técnica

Título do Documento:

Inventário de Emissões, Gestão Inteligente
para um Futuro Sustentável

Produção:

Instituto Climático Von Bohlen und Halbach

Equipe técnica:

Rodrigo Lino Carrijo

Yuri Lopes

Henrique Reichert

Laura Juliani Gastaldi

Júlia Ramos

Leonardo Lopes

Parceria Institucional:

Google Brasil

Licença e Direitos Autorais:

© 2025 Instituto Climático Von Bohlen und Halbach.

Todos os direitos reservados. Não é permitida a reprodução deste documento, total ou parcial.

Contato para mais informações:

Instituto Climático Von Bohlen und Halbach

E-mail: contato@institutovbh.org

Abreviaturas e Siglas

CO₂

Dióxido de Carbono

EIE

Environmental Insights Explorer

GEE

Gases de Efeito Estufa

GPC

Protocolo Global para Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa na Escala da Comunidade

GWP

Potencial de Aquecimento Global (Global Warming Potential)

IPCC

Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change)

ODS

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

PNMU

Política Nacional de Mobilidade Urbana

SIMU

Sistema Nacional de Informações em Mobilidade Urbana

tCO₂

Tonelada de Dióxido de Carbono

TMY

Ano Meteorológico Típico (Typical Meteorological Year)

Sumário

1 Apresentação

Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa	05
--	----

2 Introdução

Mitigação das Mudanças Climáticas	06
Aplicação do Inventário	07

3 Município

Farroupilha, RS	08
Dados Popacionais	09
Meio Ambiente	10
Frota de Veículos	11

4 Metodologia

A Metodologia Environmental Insights Explorer (EIE)	12
Dados e Privacidade do Google	14
Cálculo de emissões de GEE	15
Limites do Inventário	16
Tipos de GEE	17

5 Resultados

CO2e do GPC em toneladas	18
Viagens e distância em km	20
Parceria Google & Brasil Sustentável	21

Introdução ↙

As mudanças climáticas representam um dos desafios mais urgentes da atualidade, com impactos significativos na biodiversidade, nos ecossistemas e na qualidade de vida da população.

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) documentou que as temperaturas médias globais aumentaram em aproximadamente 1,1 °C desde o período pré-industrial e devem continuar aumentando. Esse aquecimento global intensifica fenômenos extremos como ondas de calor, secas e eventos climáticos severos, afetando negativamente a biodiversidade e os ecossistemas.

As mudanças climáticas têm causado alterações em ecossistemas marinhos, terrestres e de água doce em todo o mundo, resultando em perdas locais de espécies, aumento de doenças e eventos de mortalidade em massa de plantas e animais, levando às primeiras extinções induzidas pelo clima.

Tais alterações impactam a oferta de serviços ecossistêmicos essenciais, como a regulação do clima, o fornecimento de água potável e a polinização, afetando diretamente a economia e o bem-estar humano.

Para mitigar os efeitos das mudanças climáticas e construir um futuro mais sustentável, é essencial compreender e monitorar as emissões de gases de efeito estufa (GEE), permitindo a formulação de políticas públicas eficazes. Nesse contexto, os inventários de emissões são ferramentas fundamentais, pois possibilitam a quantificação das fontes emissoras, a identificação de padrões e a adoção de estratégias voltadas à redução das emissões.

O IPCC destaca a importância desses inventários para o desenvolvimento de políticas climáticas informada e aponta que os municípios desempenham um papel central na mitigação das emissões de GEE, uma vez que as áreas urbanas concentram a maior parte da população e das atividades econômicas, resultando em significativos impactos ambientais. Estima-se que cerca de 70% das emissões globais sejam originadas em áreas urbanas, o que torna as cidades agentes estratégicos na transição para uma economia de baixo carbono.

O Banco Mundial enfatiza a necessidade de desenvolver infraestruturas urbanas resilientes e de baixo carbono para enfrentar os desafios climáticos. Além disso, compromissos internacionais, como o Acordo de Paris e a Agenda 2030 das Nações Unidas, reforçam a necessidade de ações locais para alcançar as metas climáticas globais. No Brasil, a governança climática municipal vem se fortalecendo por meio da implementação de políticas públicas voltadas à mobilidade sustentável, eficiência energética e uso racional dos recursos naturais. Estratégias de adaptação local também são essenciais para reduzir as vulnerabilidades climáticas e garantir a resiliência das cidades frente aos desafios impostos pelo aquecimento global.

Introdução

Diante dessa necessidade, o Instituto Climático Von Bohlen & Halbach (Instituto Climático VBH) e o Google estabeleceram uma parceria estratégica a partir do projeto Brasil Sustentável para apoiar os municípios na mensuração e análise das emissões urbanas. A iniciativa faz uso da ferramenta Environmental Insights Explorer (EIE), desenvolvida pelo Google, que permite estimar as emissões de CO₂ a partir de dados de mobilidade, transporte e uso do solo.

O EIE segue as diretrizes do Protocolo Global para Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Escala Comunitária (GPC) e utiliza inteligência artificial e aprendizado de máquina para processar grandes volumes de informações e gerar estimativas detalhadas sobre a pegada de carbono das cidades.

Assim, a parceria Instituto VBH e Google visa não apenas fornecer acesso a esses dados, mas também auxiliar os gestores públicos na interpretação das informações e na formulação de políticas climáticas baseadas em evidências.

Este Inventário de Emissões de GEE tem como principal objetivo fornecer um diagnóstico técnico sobre as emissões do município, permitindo que a administração local compreenda sua pegada de carbono e identifique oportunidades para mitigação. Além disso, o inventário busca apoiar a formulação de estratégias de redução de emissões, alinhadas às diretrizes nacionais e internacionais de sustentabilidade.

A análise aqui apresentada servirá como base para ações concretas voltadas à mobilidade urbana sustentável, eficiência energética e promoção de fontes renováveis, contribuindo para um desenvolvimento urbano mais equilibrado e resiliente. Dessa forma, este documento representa um passo fundamental na consolidação de políticas climáticas municipais, reforçando o compromisso do município com a redução das emissões de carbono e com a construção de cidades mais sustentáveis.

Como é calculado o Inventário de Emissões? ↙

A metodologia adotada para este inventário de emissões de gases de efeito estufa (GEE) segue diretrizes internacionais do Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories (GPC), garantindo precisão, comparabilidade e transparência na quantificação dos dados. A padronização dos critérios metodológicos é essencial para que os municípios possam avaliar suas emissões com base em referências globais e estabelecer metas coerentes de redução.

Este capítulo apresenta o protocolo e as diretrizes utilizadas na elaboração do inventário. Destaca-se a utilização da ferramenta Environmental Insights Explorer (EIE), do Google, que combina inteligência artificial e modelagem estatística para estimar emissões urbanas.

Além disso, o capítulo descreve a metodologia utilizada para o cálculo das emissões, incluindo as fórmulas aplicadas, a conversão dos diferentes gases para CO₂ equivalente (tCO₂e) e os fatores de emissão adotados. A definição desses critérios garante que os resultados obtidos sejam comparáveis a outros inventários e sirvam de base para a formulação de estratégias municipais de mitigação e adaptação climática.

Nos tópicos a seguir, são detalhadas as diretrizes do inventário, as fontes de dados utilizadas e a metodologia de cálculo empregada para estimar as emissões do município.¹

Protocolo e Diretrizes Globais do Inventário

O inventário foi desenvolvido com base no Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories (GPC), uma parceria entre o World Resources Institute (WRI), o C40 Cities Climate Leadership Group e o ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade. O GPC oferece um framework robusto para contabilização e relato de emissões em escala comunitária, garantindo que os cálculos sigam uma estrutura metodológica padronizada.

Além do GPC, este inventário incorpora diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), especificamente a 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories e suas atualizações, que estabelecem fatores de emissão e recomendações para mensuração de GEE. A metodologia também considera os princípios do Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol), amplamente utilizado para contabilização de emissões em diferentes escalas, incluindo municípios e setores produtivos.

O GPC estabelece seis setores principais de emissões de GEE, garantindo que todas as fontes significativas de emissões sejam contabilizadas. Esses setores são compatíveis com os padrões de relatórios nacionais e internacionais, permitindo uma comparação eficaz das emissões municipais. Os setores estabelecidos incluem:

- **Energia Estacionária:** Consumo de eletricidade e combustíveis fósseis em edificações residenciais, comerciais e industriais. Inclui emissões geradas localmente e aquelas associadas à geração de eletricidade fora do município, mas consumidas localmente.

- **Transporte:** Emissões provenientes da queima de combustíveis fósseis em veículos automotores de passageiros e de carga. Também inclui deslocamentos ferroviários, aquaviários e aéreos, quando aplicáveis.

Como é calculado o Inventário de Emissões?

- **Resíduos:** Emissões associadas ao descarte e tratamento de resíduos sólidos e efluentes líquidos, incluindo aterros sanitários, compostagem, incineração e tratamento de esgoto.

- **Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU):** Emissões oriundas de processos industriais que não envolvem combustão direta de combustíveis, como a produção de cimento, aço e produtos químicos. Também inclui emissões de gases fluorados utilizados em processos produtivos.

- **Uso da Terra, Mudança no Uso da Terra e Florestas (AFOLU):** Emissões e remoções de carbono associadas à conversão de vegetação nativa, reflorestamento e uso agrícola, bem como emissões provenientes de atividades agropecuárias, como fermentação entérica de gado e manejo de dejetos animais.

- **Outras emissões indiretas:** Emissões resultantes de atividades municipais, mas que ocorrem fora dos limites geográficos da cidade, como a produção e transporte de bens e serviços consumidos localmente.

Cada um desses setores é analisado com base na disponibilidade de dados e sua representatividade na pegada de carbono municipal, garantindo que os resultados apresentados sejam coerentes e comparáveis com outros inventários.

Além disso, o GPC estabelece diretrizes claras para a definição dos limites geográficos e operacionais do inventário, garantindo que as emissões contabilizadas representem de forma fiel a realidade do município e sejam compatíveis com metodologias internacionais. Isso garante que os dados reflitam a realidade local e possam embasar políticas públicas específicas para o município.

Por fim, as emissões são classificadas de acordo com o sistema de escopos do GPC, que permite diferenciar emissões locais e indiretas, evitando dupla contagem e garantindo a rastreabilidade das fontes de GEE.

- **Emissões diretas de fontes localizadas dentro dos limites da cidade, como combustão de combustíveis fósseis em veículos e instalações industriais.**

- **Emissões indiretas associadas ao consumo de eletricidade gerada fora do município, mas utilizada dentro de seu território.**

- **Outras emissões indiretas resultantes de atividades do município, mas que ocorrem fora de seus limites, como a produção e o transporte de bens e serviços consumidos localmente.**

Nos tópicos seguintes, serão detalhadas as fontes de dados utilizadas e os cálculos empregados para estimar as emissões do município.

Como é calculado o Inventário de Emissões?

Modelo Google de estimativas de emissões

O Environmental Insights Explorer (EIE), desenvolvido pelo Google, é uma ferramenta inovadora criada para simplificar a mensuração de emissões de gases de efeito estufa (GEE) e auxiliar cidades na transição para um futuro de baixo carbono. Combinando dados de alta resolução, aprendizado de máquina e modelagem avançada, o EIE fornece estimativas detalhadas sobre as emissões urbanas e identifica oportunidades concretas de mitigação, permitindo que gestores públicos e pesquisadores fundamentem suas estratégias climáticas com informações confiáveis.

A plataforma foi concebida com o objetivo de reduzir as barreiras de acesso a informações ambientais de qualidade, oferecendo dados gratuitamente e em um formato acessível. Um dos principais diferenciais do EIE é sua capacidade de analisar padrões de mobilidade urbana. A ferramenta utiliza técnicas avançadas de aprendizado de máquina para entender fluxos de deslocamento dentro das cidades, fornecendo insights sobre o impacto dos diferentes modais de transporte.

Utilizando da inteligência artificial e aprendizado de máquina para processar grandes volumes de dados anonimizados, provenientes de diversas fontes, incluindo:

- **Google Maps e Google Earth Engine: dados de mobilidade urbana, deslocamentos e padrões de tráfego.**
- **Sensoriamento remoto e imagens de satélite: análise da distribuição do espaço urbano e das áreas verdes.**
- **Modelagem estatística: algoritmos que estimam as emissões com base em fatores de emissão padronizados e informações sobre infraestrutura urbana.**

Essa abordagem permite que municípios avaliem suas emissões com base em dados empíricos, ao invés de depender exclusivamente de modelagens teóricas. Além da mobilidade, o EIE também disponibiliza informações sobre o consumo energético de edificações, possibilitando a identificação de oportunidades para eficiência energética e redução de emissões no setor residencial e comercial. Ao consolidar essas informações, a ferramenta se torna um recurso valioso para elaboração de inventários de emissões, monitoramento de políticas climáticas e planejamento de infraestrutura urbana sustentável.

O relatório técnico elaborado pelo ICLEI - Local Governments for Sustainability USA (2019) analisa os dados fornecidos pelo Google Environmental Insights Explorer (EIE) para inventários locais de emissões de gases de efeito estufa (GEE). O documento compara o EIE com outras fontes tradicionais de dados e discute suas vantagens, limitações e potencial de aplicação em ações climáticas municipais.

Como é calculado o Inventário de Emissões?

Destacam-se como fatores positivos relacionados ao EIE:

- **Dados contínuos e detalhados sobre transporte:** O EIE fornece medições em tempo real do tráfego rodoviário, o que melhora a precisão da análise em comparação com modelos tradicionais que dependem de atualizações esporádicas.
- **Cobertura multimodal:** O EIE não apenas mede deslocamentos de veículos motorizados, mas também inclui dados sobre transporte público, bicicletas e caminhadas, permitindo um planejamento urbano mais completo.
- **Informações sobre edificações:** O EIE fornece dados sobre a área total construída de edifícios residenciais e comerciais, auxiliando na avaliação do impacto das emissões associadas ao setor de edificações.

Como pontos de atenção, o relatório alerta que, atualmente: i) o EIE cobre apenas os setores de transporte e edificações, necessitando ser complementado com outras fontes para um inventário completo; ii) dados de consumo de energia podem ser menos precisos e detalhados quanto os fornecidos diretamente pelas concessionárias de energia, e; iii) embora forneça boas estimativas gerais, o EIE não distingue claramente entre diferentes tipos de tráfego (ex.: veículos particulares ou transporte de carga).

O Google EIE representa um avanço significativo na geração de dados para inventários municipais de emissões, com destaque para a qualidade das informações sobre transporte e mobilidade urbana. Embora ainda apresente limitações em cobertura e precisão para o setor de energia, sua capacidade de fornecer dados consistentes, multimodais e georreferenciados pode transformar a maneira como as cidades planejam e monitoram suas emissões de GEE.

Cálculo de emissões

O Google EIE gera suas estimativas de emissões aplicando um modelo híbrido, que combina dados empíricos derivados do Google Maps, imagens de satélite e inteligência artificial, com metodologias padronizadas de cálculo. O objetivo é fornecer estimativas robustas da atividade urbana e suas emissões associadas, garantindo um diagnóstico detalhado para gestores públicos e pesquisadores.

A modelagem considera os seguintes aspectos principais:

1. Estimativa de Atividades:

- Para o setor de transporte, o Google utiliza dados anonimizados e agregados de mobilidade urbana obtidos do Google Maps, incluindo informações sobre deslocamentos, padrões de tráfego e modais de transporte.
- Para o setor de edificações, são analisadas imagens de satélite e informações geoespaciais para estimar o consumo de energia de edificações residenciais e comerciais.

Como é calculado o Inventário de Emissões?

2. Aplicação de Fatores de Eficiência e Consumo:

- No caso da mobilidade urbana, o EIE aplica coeficientes de eficiência para diferentes tipos de veículos (carros, motocicletas, ônibus, bicicletas, caminhadas) e integra essas informações com fatores de consumo médio de combustíveis.
- Para edificações, o modelo considera o tamanho e o tipo de construção, aplicando fatores de eficiência energética para estimar o consumo médio de eletricidade.

3. Conversão para Emissões de CO₂e:

- Após calcular a atividade (quilômetros percorridos, kWh consumidos), o Google aplica fatores de emissão padronizados para converter essas informações em toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO₂e).
- Os fatores de emissão são baseados em referências globais e ajustados conforme a matriz energética local para refletir a realidade de cada município.

Estimativas de Emissões no Setor de Transporte

A metodologia utilizada pelo Google Environmental Insights Explorer (EIE) para calcular as emissões do setor de transporte combina dados de deslocamento urbano, consumo médio de combustível e fatores de emissão padronizados, seguindo diretrizes estabelecidas pelo Protocolo Global para Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa na Escala da Comunidade (GPC). Essa abordagem permite mensurar as emissões de viagens dentro dos limites da cidade, bem como viagens que entram e saem do município.

A estimativa de emissões no setor de transportes é baseada em dados anonimizados e agregados do Google Maps, permitindo capturar padrões de deslocamento ao longo do tempo. A metodologia considera:

- **Localização agregada e anonimizada do Histórico de Localização do Google, combinada com outras fontes para deduzir o fluxo de mobilidade na cidade.**
- **Uso de aprendizado de máquina para inferir modo de viagem, distância total percorrida e velocidade média dos deslocamentos.**
- **A modelagem cobre todas as viagens dentro da cidade, 50% das viagens de entrada e 50% das viagens de saída, garantindo aderência ao protocolo GPC.**

Após a determinação dos padrões de deslocamento, o Google aplica fatores médios de consumo de combustível e eficiência energética para cada modal de transporte. O cálculo considera:

Como é calculado o Inventário de Emissões?

- **Localização agregada e anonimizada do Histórico de Localização do Google, combinada com outras fontes para deduzir o fluxo de mobilidade na cidade.**
- **Uso de aprendizado de máquina para inferir modo de viagem, distância total percorrida e velocidade média dos deslocamentos.**
- **A modelagem cobre todas as viagens dentro da cidade, 50% das viagens de entrada e 50% das viagens de saída, garantindo aderência ao protocolo GPC.**

Após a determinação dos padrões de deslocamento, o Google aplica fatores médios de consumo de combustível e eficiência energética para cada modal de transporte. O cálculo considera:

- **Tipos de veículos e combustíveis predominantes na região, utilizando dados da ferramenta Ação Climática para Sustentabilidade Urbana (CURB) para estimar consumo de combustível por modal.**
- **Fatores de emissão específicos por combustível (gasolina, diesel, etanol, eletricidade) e por tipo de veículo (carros, motocicletas, ônibus, transporte de carga).**
- **Estimativa regional de consumo de combustível, combinada com padrões médios de eficiência energética, para calcular as emissões por quilômetro percorrido.**

As emissões totais do setor de transporte são calculadas extrapolando a distância total percorrida por todos os veículos na cidade e aplicando os fatores de emissão correspondentes. O modelo do Google gera estimativas para três categorias principais:

1. Emissões dentro da cidade:

- Viagens que começam e terminam dentro dos limites do município.
- Representam a maior parte das emissões associadas à mobilidade urbana.

2. Emissões de entrada:

- Viagens que entram na cidade vindas de outros municípios.
- Apenas 50% dessas emissões são contabilizadas, conforme as diretrizes do GPC.

3. Emissões de saída:

- Viagens que saem da cidade com destino a outras localidades.
- Assim como as viagens de entrada, apenas 50% dessas emissões são consideradas.

A agregação desses dados permite uma estimativa abrangente do impacto ambiental do setor de transportes no município, fornecendo uma base confiável para a formulação de políticas públicas voltadas à redução de emissões e incentivo à mobilidade sustentável.

Como é calculado o Inventário de Emissões?

Estimativas de Emissões no Setor de Edificações

O Google Environmental Insights Explorer (EIE) fornece estimativas detalhadas sobre as emissões associadas ao consumo energético de edificações, utilizando um modelo baseado em imagens de satélite, modelos 3D e inteligência artificial para estimar a área útil construída, os padrões de consumo energético e a intensidade das emissões. Essa abordagem permite que as cidades compreendam o impacto ambiental dos edifícios e identifiquem oportunidades para redução do consumo de energia e transição para fontes mais limpas.

O primeiro passo na estimativa das emissões é a identificação e categorização das edificações dentro do município. O Google utiliza:

- **Dados do Google Maps, imagens de satélite e modelos 3D para mapear a área útil dos edifícios.**
- **Classificação automatizada das edificações em residenciais e não residenciais, de acordo com seu tamanho, localização e padrões urbanos.**
- **Reconhecimento de edificações mistas, que possuem usos residenciais e comerciais, garantindo uma segmentação mais precisa das estimativas.**

Como a modelagem depende da cobertura disponível no Google Maps, algumas áreas podem não ser completamente representadas, especialmente regiões com menos informações geoespaciais detalhadas.

Após a identificação da infraestrutura urbana, o modelo do EIE estima o consumo energético dos edifícios, considerando:

- **Coefficientes médios de intensidade energética (Energy Use Intensity - EUI) para cada tipo de edificação, representando o consumo médio de energia por metro quadrado.**
- **Fatores regionais de consumo energético, baseados na ferramenta Ação Climática para Sustentabilidade Urbana (CURB), um banco de dados amplamente reconhecido internacionalmente.**
- **Separação do consumo energético em uso térmico e elétrico, refletindo a demanda de aquecimento, resfriamento e abastecimento geral de energia.**

Como é calculado o Inventário de Emissões?

Considerações sobre limitações geográficas e ajustes

Embora o EIE seja uma ferramenta inovadora que permite estimativas detalhadas de emissões, o próprio Google reconhece que as cidades podem adotar metodologias diferentes, o que pode gerar variações nos resultados. Algumas das limitações do modelo incluem:

- **Dependência de estimativas modeladas:** Os cálculos do Google são baseados em médias e tendências observadas, podendo não capturar particularidades locais que afetem o consumo real de energia ou padrões de transporte.
- **Fatores de emissão genéricos:** Embora os fatores de conversão sejam baseados em referências globais, algumas cidades podem possuir fatores mais específicos para suas condições locais.
- **Falta de segmentação detalhada:** O modelo atual não separa diferentes categorias de consumo dentro dos setores analisados (ex.: edifícios públicos, indústrias específicas).
- **Fatores não capturados:** O modelo pode não diferenciar com precisão características específicas dos veículos, como a presença de tecnologias de controle de emissão, variação na qualidade do combustível e condições mecânicas.
- **Mudanças metodológicas:** Atualizações na modelagem do Google, alterações nos padrões de mobilidade ou mudanças populacionais podem impactar a comparabilidade dos dados ano a ano.
- **Omissão de modais com pouca representatividade:** Modais de transporte com baixo volume de viagens na cidade podem não ser exibidos no relatório.
- **Cobertura incompleta ou inexistente de edificações:** A modelagem depende dos dados disponíveis no Google Maps, podendo haver lacunas em algumas regiões.
- **Fatores regionais de consumo de energia:** Em algumas cidades, os dados do EUI e do consumo energético são estimados com base em médias regionais, o que pode não refletir variações locais específicas.
- **Não inclui emissões industriais separadamente:** Instalações industriais e fábricas não são estimadas de forma isolada, podendo ser parcialmente representadas dentro da categoria de edificações não residenciais.

A metodologia do Google Environmental Insights Explorer (EIE) permite que cidades de todo o mundo tenham acesso gratuito a estimativas avançadas de emissões de GEE, facilitando o planejamento de ações climáticas. Utilizando modelagem baseada em mobilidade urbana e infraestrutura energética, a ferramenta fornece um ponto de partida confiável para análises de inventários urbanos.

Nos próximos capítulos, serão apresentados dados do Município de Farroupilha e os Resultados das estimativas de emissões, detalhando os valores totais, setoriais e per capita, além da análise comparativa com outros municípios.



Farroupilha

RS



A caracterização do município é essencial para contextualizar os dados do inventário de emissões de gases de efeito estufa (GEE), permitindo compreender como os fatores demográficos, socioeconômicos, ambientais e de mobilidade influenciam a pegada de carbono local. Cada município possui particularidades que impactam diretamente suas emissões, como densidade populacional, estrutura urbana, matriz de transporte e desenvolvimento econômico.

Conhecendo Farroupilha

Área Urbana e Perfil Demográfico

O município de Farroupilha possui uma área total mapeada pelo IBGE de 28,2 km². Deste total, 27,6 km² são considerados urbanizadas, sendo que 76,7% são áreas urbanas densas e 23,3% são áreas pouco densas (com edificações espaçadas, com arruamento pouco definido e geralmente em processo de ocupação).

A densidade populacional no espaço urbano da cidade é de aproximadamente 2,5 mil habitantes por km², o que representa a 3ª maior densidade na região e a 224ª no estado.

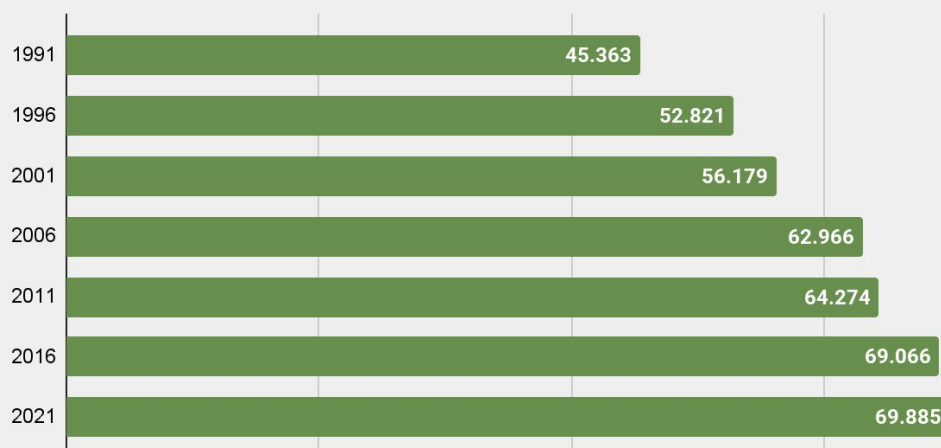
Considerado um centro de alta influência nos municípios vizinhos, o município de Farroupilha fica perto da cidade de Caxias do Sul, Rio Grande do Sul. Dentro de sua área de influência, a cidade atrai maior parte dos visitantes pelo comércio de vestuário.

Farroupilha é o 2º município mais populoso da pequena região de Caxias do Sul, com 72,6 mil habitantes. O PIB da cidade é de cerca de R\$ 4,4 bilhões de reais, sendo que 43,3% do valor adicionado advém dos serviços, na sequência aparecem as participações da indústria (40,5%), da administração pública (10,7%) e da agropecuária (5,5%).

Entre 2006 a 2021, o crescimento do PIB municipal apresentou o 2º melhor desempenho da região imediata. Nos últimos dez anos, o crescimento nominal do nível de atividade da cidade foi de 137,3% e a taxa apresentada dos últimos 5 anos foi de 44%.

Trinta anos atrás, a população do município era de 45,4 mil habitantes, o que representa um crescimento de 54,1% no período. Este desempenho é o 5º da região imediata. Já nos últimos 5 anos, a número de habitantes total da cidade cresceu em 1,2%.

Evolução da População



Conhecendo Farroupilha

Mobilidade e Frota de Veículos

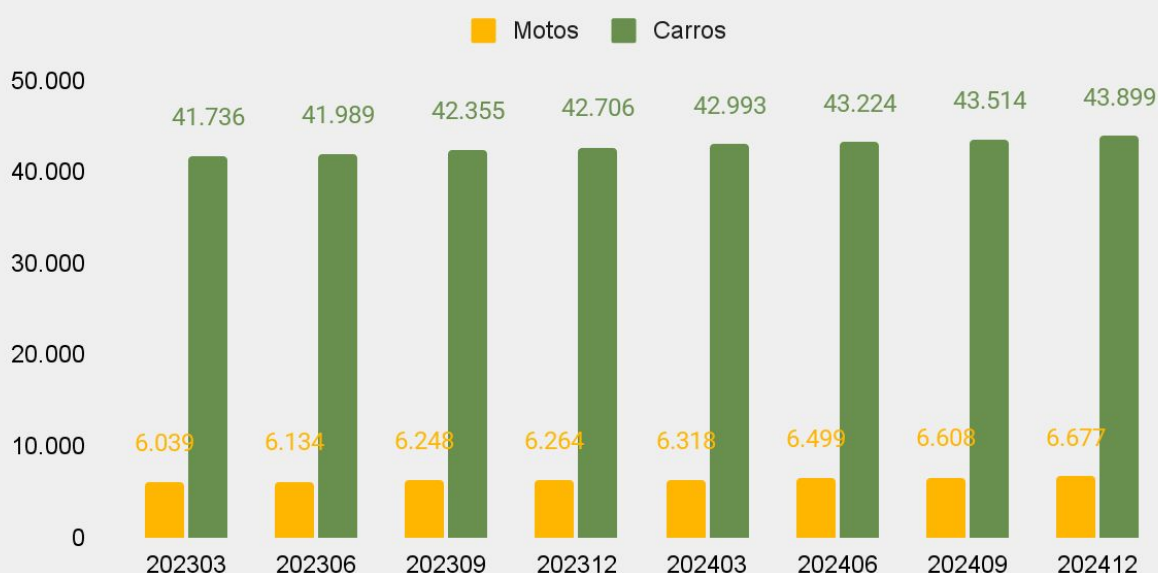
A mobilidade urbana é um dos principais fatores determinantes das emissões de gases de efeito estufa (GEE) em áreas urbanas. O setor de transportes, particularmente a frota de veículos movidos a combustíveis fósseis, é uma das maiores fontes de emissões de dióxido de carbono (CO₂), contribuindo significativamente para a pegada de carbono do município.

O município de Farroupilha possui uma frota total de 58,6 mil veículos, sendo 43,9 mil (75%) carros, 6,7 mil (11%) motos e 3,5 mil (6%) caminhões. A cidade tem a 210ª maior taxa de veículos per capita do estado e, em relação aos demais municípios do Brasil, a taxa por habitante mostra que a cidade possui muitos veículos na cidade. Destaca-se que a participação dos carros tem a maior representatividade no município, com o 118º maior índice por habitante do estado.

Desde o final do ano passado até o mês de dezembro de 2024 houve aumento de 3,7% da frota total do município. Este desempenho esteve abaixo da média das demais cidades do Brasil, enquanto que no estado, foi o 136º maior crescimento.

Deste crescimento do último ano, destaca-se o crescimento das motos, que apresentaram um aumento de 6,6% na sua frota desde o ano passado, obtendo o 10º melhor desempenho estadual.

Frota de Veículos



Inventário de ↙ emissões de Farroupilha

A apresentação dos resultados do inventário de emissões de gases de efeito estufa (GEE) permite uma visão detalhada sobre as principais fontes emissoras do município, sua distribuição setorial e sua evolução ao longo do tempo. Esses dados são fundamentais para embasar políticas públicas voltadas à mitigação das emissões e à transição para uma economia de baixo carbono.

Nesta seção, são apresentados os valores absolutos de emissões, segmentados por setor, como transporte, energia e resíduos sólidos, destacando as principais atividades responsáveis pelo impacto ambiental do município. Também são analisadas as emissões per capita, permitindo uma comparação com outros municípios, o que auxilia na contextualização do município dentro de um cenário mais amplo.

Além disso, a análise aborda a eficiência da mobilidade urbana, considerando os impactos ambientais de diferentes modais de transporte. Compreender a distribuição das emissões entre carros, motos, transporte público, bicicletas e deslocamentos a pé possibilita a formulação de estratégias para incentivar meios de transporte mais sustentáveis.

Outro aspecto relevante é a evolução das emissões ao longo do tempo, permitindo identificar tendências de aumento ou redução das emissões e os fatores que influenciaram essas mudanças. A partir dessa análise, é possível compreender o impacto de políticas públicas, infraestrutura e mudanças no comportamento da população sobre o perfil de emissões do município.

Nos próximos tópicos, serão detalhados os principais resultados do inventário, segmentados por setor, per capita, modais de transporte e evolução histórica, fornecendo uma base sólida para o planejamento de políticas públicas sustentáveis.

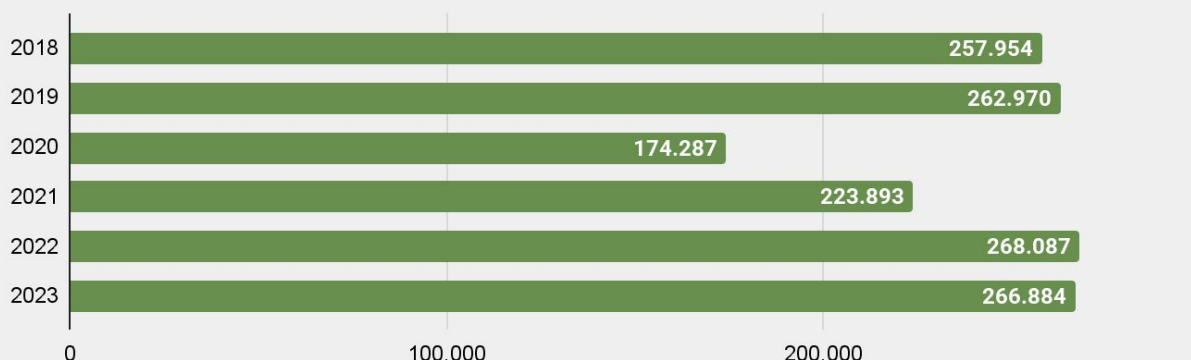
Eficiência da Mobilidade Urbana

De acordo com os dados do inventário, o município de Farroupilha registrou um total de 289,88 mil toneladas de CO₂ (tCO₂) no ano de 2023. Esses valores refletem a dinâmica de mobilidade urbana do município, que representa 92,1% das emissões totais, e o padrão de habitação local.

Do total de emissões de tCO₂ pela mobilidade urbana, 50,36 mil toneladas foram geradas pela entrada de veículos, outras 50,55 mil toneladas são oriundas de viagens de saídas de veículos. Já o traslado interno de passageiros é responsável por 32,54 mil toneladas no ano (24,4% do total).

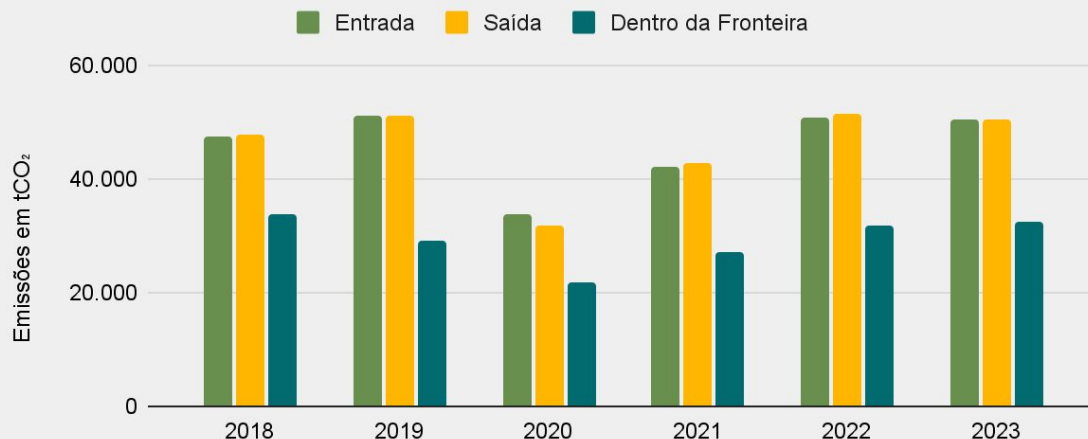
Inventário de Emissões de Farroupilha

Emissões anuais (Em tCO₂)



O percentual de tCO₂ geradas dentro das fronteiras do município, ou seja, pela locomoção dos habitantes locais é inferior à média das demais cidades (27,9%), o que indica que Farroupilha tem um volume de movimentação interna pequeno quando comparado ao volume de emissões gerados por veículos de passagem (entrada e saída). Isto significa que a cidade tem menor margem de manobra para melhoria da eficiência da emissão de gases do transporte local.

Total de emissões de transporte



Durante o ano, a distância total percorrida internamente na cidade foi de 162,12 milhões de km, com um total de 50,42 milhões de viagens, com uma distância média percorrida de 3,22 km.

O uso de modais de trânsito que não emitem GEE, como a locomoção a pé ou de bicicleta, representam 7,2% e 2,8%, respectivamente. Estes valores somados (10,1%) estão acima da média das demais localidades (0%).

Não foram registradas emissões de tCO₂ relacionadas ao transporte de ônibus, o que pode estar associado a um baixo grau de uso deste modal de transporte.

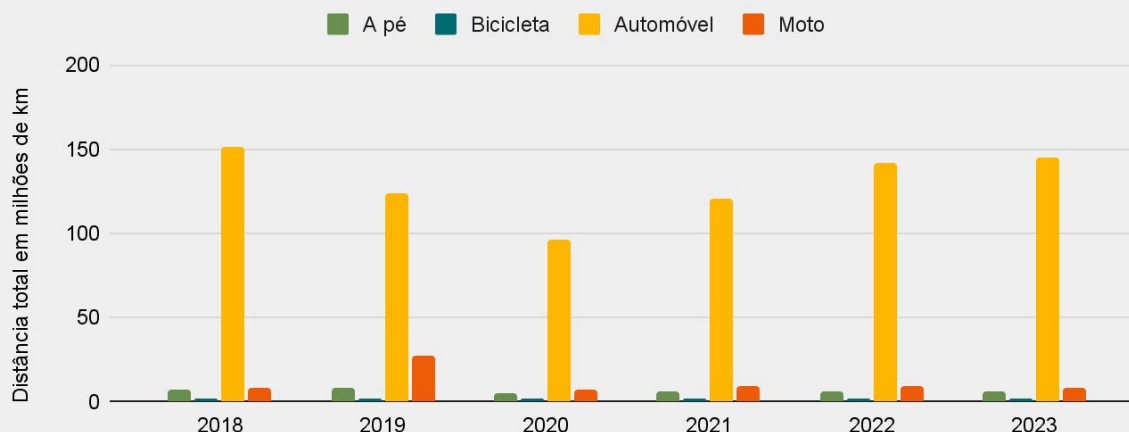
Inventário de Emissões de Farroupilha

Evolução das Emissões

Na esfera da mobilidade urbana de Farroupilha, o crescimento de -0,4% nas emissões totais é resultado do desempenho de -1% da movimentação de entrada no município, -1,6% do trânsito de saída e -1,6% na dinâmica interna local.

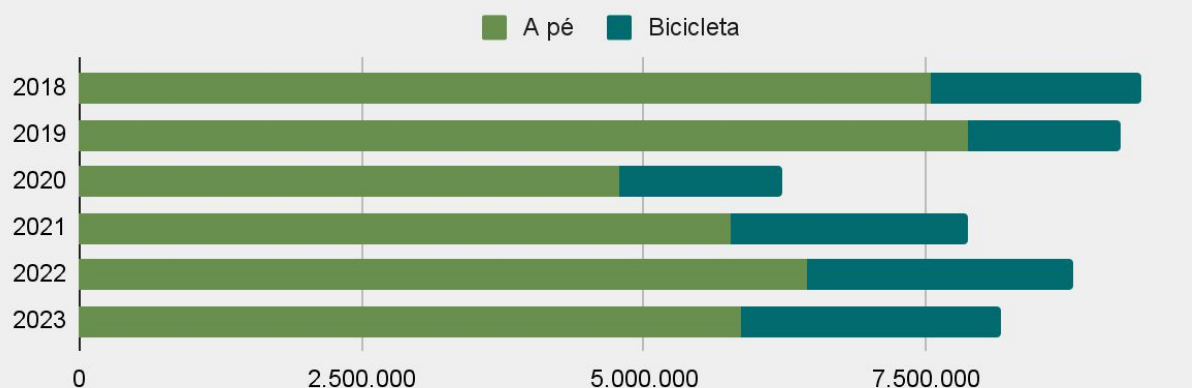
Dentro dos modais de transporte da cidade com zero emissão de GEE, a distância percorrida a pé diminuiu -9,2% entre 2022 e 2023, enquanto a distância percorrida por bicicletas caiu -1,4% no mesmo período.

Distância percorrida por modal de transporte



Já os demais modais de transporte tiveram uma variação no ano de +3,9% nos automóveis, de -6,4% para as motocicletas e de +3,9% no transporte de ônibus.

Evolução da distância percorrida a pé ou de bicicleta



Inventário de Emissões de Farroupilha

Impacto por habitante: Emissões Per Capita

Considerando o volume populacional de Farroupilha, o setor de transportes da cidade emite um total de 3,68 tCO₂ por habitante. Este valor está acima da média dos municípios avaliados no Projeto Brasil Sustentável, de (0 tCO₂).

No comparativo nacional, o valor de 3,68 também está acima da média das grandes metrópoles brasileiras, como São Paulo, Porto Alegre, Curitiba e Belo Horizonte.

No panorama internacional, as emissões de tCO₂ por habitante de Farroupilha estão em níveis superiores que as grandes metrópoles do Brasil, Argentina e Canadá, se aproximando de parâmetros mais comuns aos Estados Unidos da América, como as cidades de Pittsburgh, São Francisco, San Diego e Santa Mônica, que emitem cerca de 5 tCO₂ por habitante no setor de transporte.

Cidade	População	Emissões de tCO ₂ no transporte	tCO ₂ no transporte por habitante	Crescimento em 2023
Farroupilha	72.552	289.884	4,00	-0,45%
Média BR Sustentável	252.590	429.535	2,0708	9,99%
São Paulo	12.122.650	21.000.761	1,7324	3,44%
Porto Alegre	1.457.948	2.865.775	1,9656	3,57%
Belo Horizonte	2.485.797	5.125.015	2,0617	3,44%
Curitiba	1.922.261	4.048.157	2,1059	2,72%
Yokohama (JAP)	3.880.543	3.446.018	0,8880	1,51%
Buenos Aires (ARG)	3.049.010	6.877.502	2,2557	6,12%
Dublin (IRL)	596.910	1.323.220	2,2168	4,75%
Montreal (CAN)	1.945.563	4.941.661	2,5400	3,83%
Toronto (CAN)	2.825.064	7.715.545	2,7311	4,71%
São Francisco (EUA)	836.431	2.804.586	3,3530	-1,29%
Pittsburgh (EUA)	292.537	1.218.265	4,1645	2,57%
San Diego (EUA)	1.439.966	7.087.672	4,9221	-0,73%
Santa Mônica (EUA)	150.238	829.098	5,5186	-0,77%
Colúmbia (EUA)	91.734	1.504.091	16,3962	0,62%

Inventário de Emissões de Farroupilha

O nível de emissões de tCO₂ por habitante na cidade pode ser melhorado com políticas de promoção de veículos elétricos e de modais de transporte mais efetivos, com transporte público ou incentivo ao uso de bicicletas e caminhadas para trajetos de menor distância. No caso de Farroupilha a distância média dos deslocamentos internos não supera 4km, em média, o que significa que parte destas viagens pode ser realizada por modais que não emitem GEE, desde que tenham infraestrutura adequada para isso.

Os casos internacionais de Yokohama e Dublin mostram que a participação destes meios de transporte podem ser expandidos, com 19% de uso na cidade japonesa e 38% na cidade irlandesa. Nas cidades brasileiras avaliadas, o caso de Tijuca é o que possui maior uso de caminhadas e de bicicletas para deslocamentos internos, com 15% do total da distância percorrida.

Cidade	Emissões de tCO ₂ no transporte interno	tCO ₂ no transporte interno por habitante	Distância média das viagens internas (em km)	% da distância percorrida a pé ou por bicicleta
Farroupilha	32.536	0,45	3,22	10,07
Média BR Sustentável	145.070	0,4493	3,38	9,06%
São Paulo	12.117.847	1,000	4,95	5,53%
Porto Alegre	1.469.452	1,008	4,59	5,69%
Belo Horizonte	2.212.901	0,890	4,07	6,11%
Curitiba	1.839.438	0,957	4,40	5,33%
Yokohama (JAP)	1.137.017	0,293	2,74	19,49%
Buenos Aires (ARG)	1.976.428	0,648	2,97	17,38%
Dublin (IRL)	215.210	0,361	2,13	38,56%
Montreal (CAN)	1.891.098	0,972	4,24	9,31%
Toronto (CAN)	2.807.535	0,994	4,65	8,71%
São Francisco (EUA)	526.381	0,629	2,92	19,48%
Pittsburgh (EUA)	175.419	0,600	3,34	11,23%
San Diego (EUA)	2.069.930	1,437	6,92	3,56%
Santa Mônica (EUA)	35.671	0,237	2,13	51,17%
Colúmbia (EUA)	142.498	1,553	4,94	3,53%

Inventário de Emissões de Farroupilha

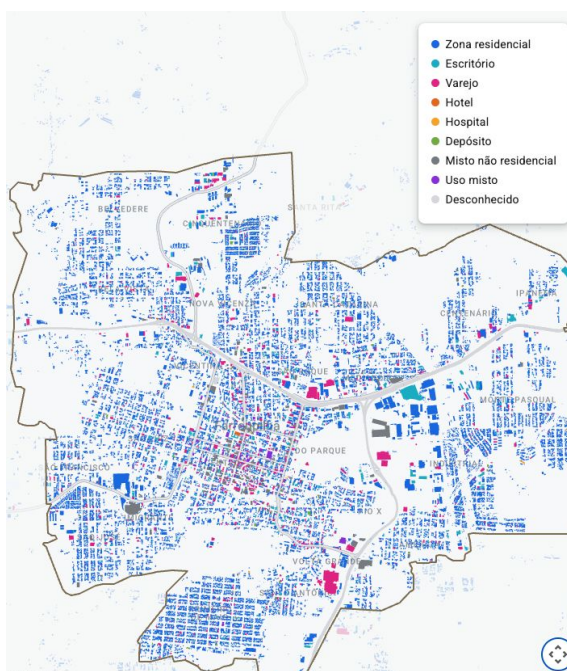
Emissões decorrentes das edificações locais

O mapeamento via satélite da cidade de Farroupilha identificou 24,4 mil edificações em uma área útil medida de 3,92 km². Estes valores correspondem a uma emissão total de 23 mil tCO₂ e a um nível de emissão por habitante de 0,32 tCO₂, situando-se acima da média dos municípios mapeados pelo projeto Brasil Sustentável.

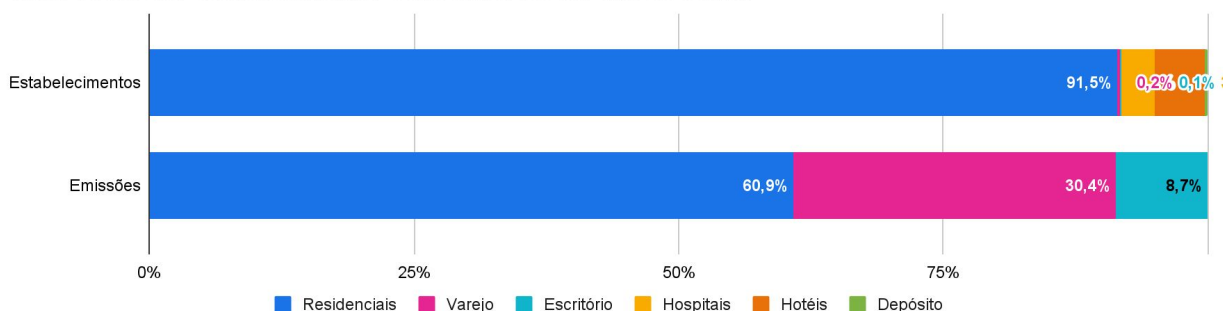
Do total de edificações, 22,3 mil (91,5%) são residenciais, 1,16 mil (0,22%) são imóveis destinados ao varejo, 783 (0,05%) são escritórios, outros 54 estabelecimentos foram identificados como hospitais (da área da saúde), 12 são hotéis e os depósitos somam 76 estabelecimentos.

Destas emissões de GEE, 60,9% são provenientes dos edifícios residenciais, as unidades de varejo são a segunda maior fonte de emissões, com 30,4%, enquanto os escritórios emitem aproximadamente 8,7%. Hospitais, hotéis e depósitos respondem por aproximadamente 0% das emissões.

Mapeamento das emissões da cidade



Composição dos estabelecimentos e das emissões por tipo de edifício



Conclusão ↙

O inventário, que abrange o período de 2018 a 2023, aponta que o município emitiu um total de 266,88 mil toneladas de CO₂ em 2023 provenientes da mobilidade urbana. Um dado que chama a atenção é a emissão per capita de 4,00 toneladas de CO₂, valor que se encontra significativamente acima da média de outras grandes cidades brasileiras como São Paulo, Porto Alegre, Curitiba e Belo Horizonte.

A análise da composição da frota, com 58,6 mil veículos, dos quais 75% são carros e 11% são motos, corrobora a alta dependência do transporte motorizado individual. Uma característica local é que as viagens internas representam apenas 24,4% do total de emissões do transporte, indicando um volume relevante de emissões geradas por veículos em trânsito pela cidade. Apesar dessa pressão na emissão de carbono, o crescimento da frota total (3,7%) no último ano ficou abaixo da média nacional, com destaque para a expressiva expansão da frota de motocicletas, que cresceu 6,6%.

A distância média percorrida nas viagens internas é de apenas 3,22 km, um trajeto consideravelmente curto e ideal para ser realizado por modais ativos, como a caminhada e a bicicleta. Atualmente, esses meios de transporte de emissão zero já representam 10,1% dos deslocamentos, uma taxa superior à média de outras localidades analisadas no projeto.

Dado o perfil de viagens curtas, parte da população pode se beneficiar com infraestrutura cicloviária segura e em calçadas acessíveis e confortáveis. A criação de "Zonas 30" (áreas com limite de velocidade de 30 km/h) em bairros centrais e residenciais pode aumentar a segurança e o conforto de ciclistas e pedestres, incentivando a troca do carro por esses modais em deslocamentos cotidianos.

O poder público também pode liderar a transição de sua própria frota para veículos elétricos. Programas de incentivo fiscal, como a redução do IPVA para carros elétricos e híbridos, e a exigência de instalação de pontos de recarga em novos empreendimentos imobiliários e comerciais, podem acelerar a adoção dessa tecnologia pela população e por empresas de logística.

É essencial integrar o planejamento de uso do solo ao planejamento de transportes. Incentivar o desenvolvimento de bairros de uso misto, onde moradia, comércio, serviços e lazer estejam próximos, reduz a necessidade de deslocamentos longos e motorizados, promovendo o conceito de "cidade de 15 minutos".

Inventário de Emissões

Gestão Inteligente para um Futuro Sustentável

Farroupilha - RS

Período Analisado:
2018 a 2023

