

Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa

Guarulhos Sustentável

Setembro/2024

REVISÕES

DATA	AUTOR	VERSÃO
06/07/2024	I Care	1.0
31/07/2024	I Care (após comentários da Prefeitura)	2.0
25/09/2024	I Care (após comentários da CAF)	3.0

APRESENTAÇÃO

A Prefeitura Municipal de Guarulhos apresenta, por meio deste relatório, os resultados do Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), ano-base 2022. O objetivo do Inventário é estabelecer o perfil de emissões do município utilizando uma base metodológica amplamente conhecida e adotada internacionalmente, o Protocolo Global para Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Escala Comunitária (GPC, sigla em inglês).

O Inventário de Emissões de GEE é um importante pré-requisito para o estabelecimento de propostas de **mitigação**, visando a incorporação do município nos esforços globais de combate às mudanças climáticas. O estudo será integrado ao desenvolvimento do **Plano de Mitigação e Adaptação às Mudanças do Clima** para o município de Guarulhos – SP, objetivando contribuir para o **Programa Guarulhos Sustentável**, financiado através do Banco de Desenvolvimento da América Latina e Caribe - CAF. O trabalho foi realizado conforme o Contrato de prestação de serviço de consultoria firmado entre a I Care e a Prefeitura de Guarulhos. Fazem parte deste produto os seguintes capítulos:

- A **Introdução**, que apresenta uma contextualização geral do projeto e seus principais objetivos;
- A **Metodologia**, que descreve as etapas seguidas e os princípios que foram adotados;
- Os **Resultados**, que apresentam a representatividade das emissões por setor e as emissões totais produzidas dentro dos limites do estudo;
- As **Conclusões**, que apresentam uma análise dos dados produzidos e uma série de informações relevantes para o município; e
- As **Referências Bibliográficas**, que documentam todas as fontes de informação que foram utilizadas durante o estudo, em complemento aos dados fornecidos pelo município.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mudança global da concentração das emissões de GEE à esquerda e mudança global da temperatura da superfície à direita, com cenários projetados até 2100 (Fonte: Carbon Brief - adaptado).....	7
Figura 2 - Categorização dos gases de efeito estufa considerados na metodologia do GPC (Fonte: I Care, 2024)	11
Figura 3 - Ilustração sobre os setores considerado no cálculo das emissões	14
Figura 4 - Separação de atividades por escopo de emissão para método Basic+ do GPC (Fonte: GPC - adaptado)	15
Figura 5 - Categorização de complexidade metodológica por Tier (Fonte: IPCC, 2006 - adaptado)	16
Figura 6 - Definição dos limites de cada metodologia do GPC (Fonte: GPC - adaptado).....	17
Figura 7 - Resíduos e emissões estacionárias de energia (Fonte: GPC - adaptado)	19
Figura 8 - Emissões do setor AFOLU (Fonte: GPC - adaptado).....	22
Figura 9 - Mapa das áreas de vegetação suprimida entre os anos de 2021 e 2022	24
Figura 10 - Emissões totais da cidade de Guarulhos por setor, 2022 (Fonte: I Care, 2024)	27
Figura 11 - Emissões relacionadas às atividades no setor de energia estacionária, 2022 (Fonte: I Care, 2024).....	30
Figura 12 - Emissões relacionados ao consumo de gás natural, GLP e energia elétrica no setor de energia estacionária, 2022 (Fonte: I Care, 2024)	31
Figura 13 - Emissões relacionadas às atividades no setor de transporte, 2022 (Fonte: I Care, 2024)	32
Figura 14 - Emissões relacionados ao consumo de combustíveis no setor de transporte, 2022 (Fonte: I Care, 2024).....	32
Figura 15 - Emissões relacionadas às atividades no setor de transporte, 2022 (Fonte: I Care, 2024)	33
Figura 16 - Emissões relacionadas às atividades no setor de AFOLU, 2022 (Fonte: I Care, 2024)	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela resumo dos limites do Inventário de GEE de Guarulhos	9
Tabela 2 - Potenciais de aquecimento global por gás (Fonte: IPCC, 2021 – adaptado).....	11
Tabela 3 - Abordagem Basic e Basic+ por setor de atividade e escopo (Fonte: GPC - adaptado)	13
Tabela 4 - Tipos de limites e alocação de escopos (Fonte: GPC - adaptado).....	17
Tabela 5 - Categorização IPPU (Fonte: GPC - adaptado)	20
Tabela 6 - Processos industriais por tipo de indústria (Fonte: I Care, 2024)	21
Tabela 7 - Fontes de informação utilizadas no processo de elaboração do Inventário de GEE (Fonte: I Care, 2024).....	25
Tabela 8 - Emissões desagregadas por setor e subsetor, 2022 (Fonte: I Care, 2024).....	28

SUMÁRIO

REVISÕES.....	2
APRESENTAÇÃO	3
LISTA DE FIGURAS	4
LISTA DE TABELAS.....	5
1. Introdução.....	7
1.1. As mudanças climáticas	7
1.2. Inventário de Gases de Efeito Estufa	8
2. Metodologia	9
2.1. Limites do Inventário	9
2.2. Setores de Atividade	11
2.3. Abordagem do Inventário	12
2.4. Método de Cálculo.....	13
2.5. Mapeamento de atores-chave e categorização das emissões.....	24
3. Resultados do Inventário.....	26
3.1. Emissões totais	27
3.2. Emissões por setor e subsetor de atividade	27
4. Conclusões.....	34
5. Referências Bibliográficas	36

1. Introdução

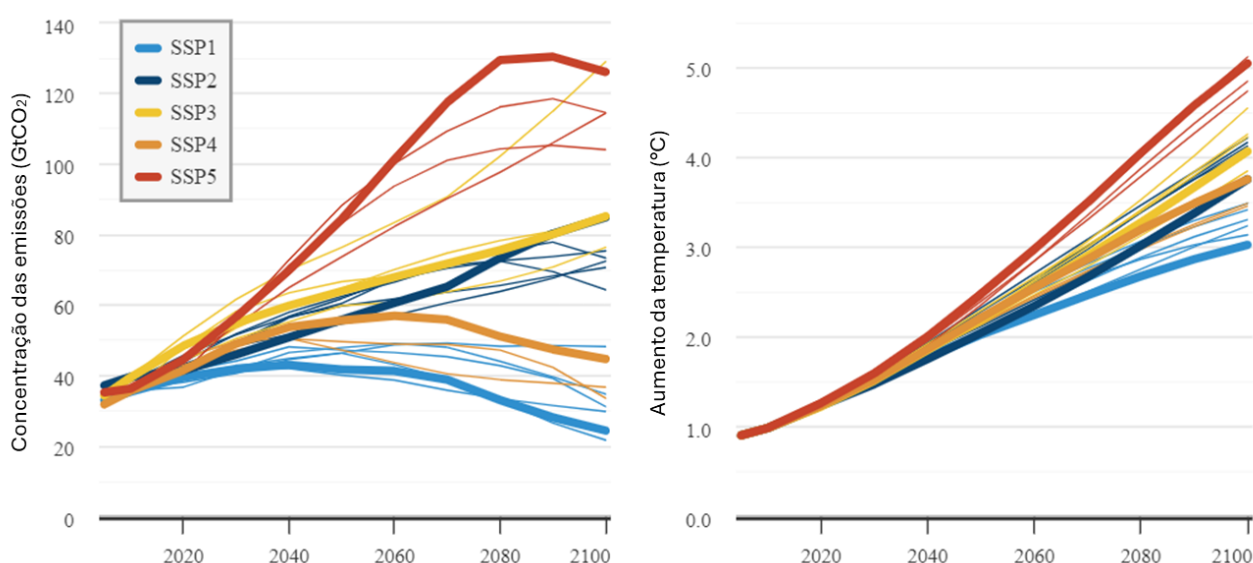
1.1. As mudanças climáticas

São denominadas mudanças climáticas as alterações significativas em dimensão e em escala temporal no clima de determinado território. As transformações na ocorrência de fenômenos climáticos são parte intrínseca dos ciclos geológicos da Terra, porém, hoje, encontram-se em grande aceleração devido à ação antrópica, com a intensa emissão de gases de efeito estufa e o desmatamento desenfreado (IPCC, 2023).

Em março de 2023 foi lançada a versão mais recente do Relatório Síntese do Sexto Ciclo de Avaliação (AR6) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), da ONU. O documento destaca o marcante aquecimento do planeta nas últimas décadas, o que tem levado à intensificação de ameaças climáticas, como alagamentos, secas, ondas de calor, desmoronamento e o aumento do nível do mar.

Ao contrário da meteorologia utilizada cotidianamente, a projeção das mudanças climáticas depende de suposições frente ao crescimento demográfico, o desenvolvimento de tecnologias, o uso da terra e os níveis de concentração de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera. Devido à imprevisibilidade destes fatores, foram definidas as Trajetórias Representativas de Concentração (RCP) no AR5, posteriormente atualizadas para os Caminhos Socioeconômicos Compartilhados (SSP) no AR6 (Figura 1). Os cenários, como os SSPs, incluem séries temporais para as emissões globais de gases de efeito estufa (GEE) construídos com base em suposições relacionados ao comportamento esperado da população, crescimento econômico, educação, urbanização e taxa de desenvolvimento tecnológico. Os SSPs apresentam vários cenários de linha de base porque fatores subjacentes, como população, crescimento tecnológico e econômico, podem levar a resultados muito diferentes de emissões e aquecimento no futuro, mesmo sem políticas climáticas.

Figura 1 - Mudança global da concentração das emissões de GEE à esquerda e mudança global da temperatura da superfície à direita, com cenários projetados até 2100 (Fonte: Carbon Brief - adaptado)



Reduzir as emissões de gases de efeito estufa é crucial para evitar que a temperatura média global ultrapasse limites críticos, adotando o Acordo de Paris e suas metas globais como referência. A adoção voluntária de compromissos e o engajamento de países, organizações e entidades

públicas na construção de uma economia neutra em carbono são caminhos essenciais a serem seguidos e fortalecidos.

1.2. Inventário de Gases de Efeito Estufa

Para alcançar o objetivo de redução de emissões de gases de efeito estufa, governos locais têm um papel essencial de produção de regulamentações, diretrizes, estratégias e ações voltadas à mitigação das emissões. A primeira ação das cidades é conhecer seu perfil de emissões atmosféricas através de um Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), documento que discrimina todas as emissões produzidas, direta e/ou indiretamente, pelas atividades que ocorrem em seus territórios pelos seus habitantes.

O Inventário permite à cidade compreender onde estão suas emissões de GEE, detalhando a participação de setores e atividades, demonstrando assim os que possuem maior representatividade. Também é por meio dele que os governos e empresas podem concentrar seus esforços em ações de mitigação.

Gases de Efeito Estufa

Constituintes gasosos da atmosfera, naturais ou antropogênicos, que absorvem e emitem radiação em comprimentos de onda específicos dentro do espectro de radiação emitido pela superfície da Terra. Sua presença na atmosfera causa o efeito estufa, que promove o aquecimento da superfície terrestre. Exemplo: Vapor de água (H₂O), dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄) e o ozônio (O₃).

A metodologia GPC, adotada no estudo, abrange os GEE cobertos pelo Protocolo de Kyoto, sendo eles:

- **Dióxido de carbono (CO₂):** liberado a partir da queima de combustíveis fósseis, como carvão, petróleo, gás natural e derivados, ou por fontes móveis e estacionárias, como pelo desmatamento;
- **Metano (CH₄):** liberado pela queima de fontes móveis e estacionárias, em processos de tratamento de resíduos sólidos e de efluentes, pela fermentação entérica e manejo de dejetos de origem animal;
- **Óxido nitroso (N₂O):** liberado pela queima de fontes móveis e estacionárias e pelo tratamento de processos de efluentes;
- **Hidrofluorcarbonetos (HFCs):** liberado por equipamentos de refrigeração como ar-condicionado e geladeiras, composto por átomos de hidrogênio, flúor e carbono;
- **Perfluorocarbonetos (PFCs):** nome genérico para compostos organofluoretados compostos apenas de carbono e flúor, originados globalmente na produção de alumínio;
- **Hexafluoreto de enxofre (SF₆):** gerado por equipamentos de eletricidade e energia;
- **Trifluoreto de nitrogênio (NF₃):** gerado na fabricação de telas, painéis fotovoltaicos, lâmpadas LEDs e outros microeletrônicos.

Mitigação

Intervenções humanas para reduzir as emissões ou aumentar os sumidouros de gases de efeito estufa (depósitos naturais de captura de GEEs, como florestas, solo e oceano) (IPCC, 2023).

2. Metodologia

O Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa de Guarulhos levou em consideração as diretrizes do IPCC, do GHG Protocol e do Protocolo Global para Inventários de Emissões de GEE na Escala da Comunidade versão 1.1 (GPC, em inglês). A metodologia incluiu os preceitos de contabilidade e relatoria de emissões e foi desenvolvida especialmente para aplicação em cidades e governos locais. O estudo visa estimular um quadro de referência transparente no acesso a dados e, assim, possibilitar a comparação entre Inventários.

A metodologia GPC é recomendada pelo Pacto Global dos Prefeitos pelo Clima e Energia (GCoM, sigla em inglês). Ela foi lançada em dezembro de 2014 em parceria com o *World Resources Institute* (WRI) e ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, e foi aprovado pelo Banco Mundial, Organização das Nações Unidas para Assentamentos Humanos (ONU- Habitat) e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUD).

Entre os princípios do GPC estão:

- **Relevância:** o Inventário deve apresentar as emissões por setor, das áreas que o governo local possui controle e responsabilidade;
- **Abrangência:** todos os GEE e as atividades que causam emissões dentro das fronteiras escolhidas para o Inventário devem ser contabilizadas. As emissões não contabilizadas devem ser justificadas;
- **Consistência:** o Inventário deve se basear em metodologias coerentes para identificar as fronteiras, coletar e analisar os dados e quantificar as emissões;
- **Transparência:** questões relevantes devem ser consideradas e documentadas de maneira objetiva e coerente para fornecer um rastro para futuras revisões e replicações;
- **Exatidão:** a quantificação das emissões não devem ser sistematicamente sub ou superestimadas.

2.1. Limites do Inventário

O limite do Inventário (ou perímetro) delimita os gases, as fontes de emissão, a área e o intervalo de tempo coberto no Inventário de GEE. O limite do Inventário tem como objetivo fornecer para a cidade uma percepção ampla da localização das emissões, bem como sua natureza e setores emissores, para que sejam desenvolvidas ações passíveis de gerar mudanças. O perímetro fornece à cidade uma visão mais clara da origem das emissões, sem levar em consideração fontes de emissão que não sejam de interesse do estudo.

Tabela 1 - Tabela resumo dos limites do Inventário de GEE de Guarulhos

Limites do Inventário	Descrição
Limite Geográfico	Cidade de Guarulhos
Período de Tempo	2022
Gases Avaliados	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, HFCs, PFCs, SF ₆ , NF ₃
Categorização das Emissões	Emissões dentro e fora do limite da cidade (Escopos 1,2 e 3)
Setores de Emissões	Energia Estacionária, Transporte, Resíduos, Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU), Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra (AFOLU)
Método	Induzido pela cidade
Abordagem	BASIC +

Limite Geográfico

De acordo com a metodologia GPC, o limite do Inventário deve ser escolhido de acordo com o objetivo do Inventário e deve ser constante durante o seu desenvolvimento (GPC, 2014). A decisão sobre o limite geográfico do Inventário foi realizada em parceria com o Comitê Técnico da Prefeitura de Guarulhos e compreende toda a extensão do território.

Limite Temporal

A metodologia GPC foi projetada para contabilizar as emissões de GEE em um único ano, de maneira que foi necessária apenas a definição de um ano-base. A definição de elaborar o Inventário do ano de 2022 foi realizada em conjunto com a equipe da Prefeitura, a partir da disponibilidade¹ dos dados.

Gases de Efeito Estufa

Seguido dos limites do Inventário, também foi necessário definir quais os gases de efeito estufa (GEE) seriam considerados no cálculo de emissões. Para essa definição, foram definidos os gases contabilizados pela metodologia GPC, que abrange os GEE cobertos pelo Protocolo de Kyoto, sendo eles:

Dióxido de carbono (CO₂): liberado a partir da queima de combustíveis fósseis, como carvão, petróleo, gás natural e derivados, ou por fontes móveis e estacionárias, como pelo desmatamento;

Metano (CH₄): liberado pela queima de fontes móveis e estacionárias, em processos de tratamento de resíduos sólidos e de efluentes, pela fermentação entérica e manejo de dejetos de origem animal;

Óxido nitroso (N₂O): liberado pela queima de fontes móveis e estacionárias e pelo tratamento de processos de efluentes;

Hidrofluorcarbonetos (HFCs): liberado por equipamentos de refrigeração como ar-condicionado e geladeiras, composto por átomos de hidrogênio, flúor e carbono;

Perfluorocarbonetos (PFCs): nome genérico para compostos organofluoretados compostos apenas de carbono e flúor, originados globalmente na produção de alumínio;

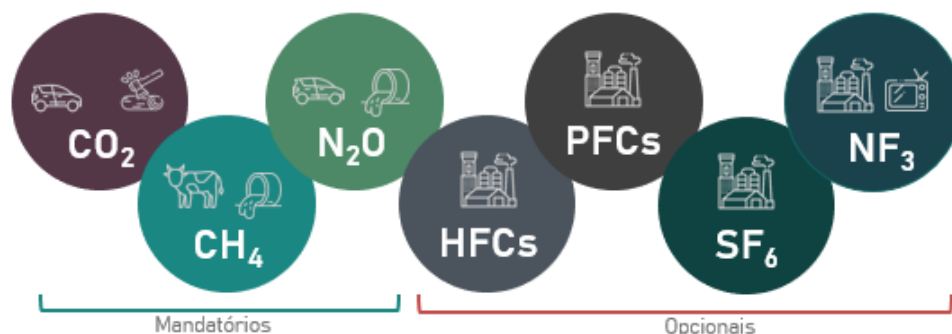
Hexafluoreto de enxofre (SF₆): gerado por equipamentos de eletricidade e energia;

Trifluoreto de nitrogênio (NF₃): gerado na fabricação de telas, painéis fotovoltaicos, lâmpadas LEDs e outros microeletrônicos.

Conforme definido pela metodologia, alguns desses gases devem ser contabilizados de forma obrigatória, enquanto outros são opcionais, assim como indicado na Figura 2. Para o Inventário de Guarulhos, foram considerados os principais gases emitidos, que são mandatórios para a caracterização.

¹ Diversas fontes de dados não foram atualizadas até a presente data, o que impede a compilação de resultados referentes a anos mais recentes.

Figura 2 - Categorização dos gases de efeito estufa considerados na metodologia do GPC (Fonte: I Care, 2024)



Cada um dos gases contabilizados possui um Potencial de Aquecimento Global (PAG em português e GWP em inglês) diferente, que determina a medida com que cada GEE colabora para o aquecimento global. Expresso como CO_2 equivalente (CO_2e), o PAG expressa o potencial de aquecimento de um gás pela mesma quantidade de CO_2 . Por exemplo, uma tonelada de CH_4 emitida representa 27,9 toneladas de CO_2e . Os valores equivalentes ao dióxido de carbono equivalente de cada gás podem ser vistos abaixo, na Tabela 2.

Tabela 2 - Potenciais de aquecimento global por gás (Fonte: IPCC, 2021 – adaptado)

Gases de Efeito Estufa (GEE)	Potencial de Aquecimento Global (PAG)
Dióxido de carbono (CO_2)	1
Metano (CH_4)	27.9
Óxido nitroso (N_2O)	273
Trifluoreto de nitrogênio (NF_3)	17.400
Hexafluoreto de enxofre (SF_6)	25.200
Perfluorocarbonetos (PFCs)	0,004 – 12.400
Hidrofluorcarbonetos (HFCs)	0,005 – 14.600

2.2. Setores de Atividade

As emissões das atividades da cidade podem ser classificadas em seis setores principais, incluindo: (i) Energia Estacionária; (ii) Transporte; (iii) Resíduos; (iv) Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU); (v) Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra (AFOLU) e; (vi) quaisquer outras emissões que ocorram fora dos limites geográficos, como resultado das atividades da cidade (coletivamente referidas como Outras Emissões de Escopo 3, ou seja, emissões cujo município é indiretamente responsável). Esses setores foram contabilizados em função da escolha da abordagem BASIC+ da metodologia GPC.

As emissões desses setores são subdivididas em subsetores e em subcategorias. Essas designações incluem: i) Subsetores: por exemplo, métodos de tratamento de resíduos ou modos de transporte, como aviação ou rodoviário; ii) Subcategorias: por exemplo, tipos de veículos dentro do subsetor de cada modo de transporte.

Essa divisão permite um maior controle sobre a coleta dos dados e apoia a posterior definição de ações de mitigação, uma vez que geram informações específicas. Assim, pode-se delimitar melhor o escopo das políticas públicas direcionadas para redução das emissões de um setor específico.

Energia Estacionária

O setor de energia estacionária engloba todas as emissões de GEE derivadas da utilização de combustível (por exemplo, gasolina, diesel, querosene) para fins energéticos, em todos os usos que não sejam o transporte. Dentre as atividades que são incluídas como energia estacionária, estão a geração e consumo de eletricidade e combustão direta de combustíveis nos setores industrial, comercial, doméstico e da indústria primária.

Transporte

O setor de transporte gera emissões decorrentes da queima de combustíveis e engloba todos os tipos de transportes realizados dentro do limite do estudo, seja de mercadoria, de pessoas, ou de produção agrícola. Dentre as atividades incluídas estão: transporte público e particular, transporte de cargas e uso de maquinário para o setor agropecuário e veículos a combustão e elétricos.

Resíduos e Efluentes

O setor de resíduos aborda as emissões geradas devido ao tratamento dado aos resíduos sólidos e efluentes líquidos que ocorrem dentro dos limites do município ou fora dele. As principais emissões desse setor decorrem da liberação de GEE pela decomposição de matéria orgânica por bactérias e pela queima de resíduo, quando se faz uso de processos de incineração ou coprocessamento dos resíduos sólidos.

Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU)

O setor de Processos Industriais e Utilização de Produtos (IPPU) inclui as emissões de gases de efeito estufa decorrentes de processos industriais e do uso desses gases em produtos. As emissões de gases de efeito estufa de processos industriais ocorrem de duas maneiras diferentes. Primeiramente, podem ser geradas e emitidas como subprodutos de várias atividades industriais não relacionadas à energia. Além disso, podem ser emitidas devido ao seu uso em processos de fabricação ou por consumidores finais.

Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra (AFOLU)

O setor de Agricultura, Floresta e Outros usos da Terra (AFOLU) engloba as atividades agrícolas que emitem GEE e as remoções de CO₂ geradas por mudança de uso da terra e manejo que alteram os estoques de carbono da biomassa e dos solos. Dentre as atividades do setor estão o cultivo de arroz, fermentação entérica do gado, manejo de dejetos animais, queima de resíduos agrícolas e mudança do estoque de carbono do solo.

Outras Emissões de Escopo 3

As cidades podem reportar outras emissões indiretas que não foram reportadas nos demais setores, como emissões associadas que têm origem em outro município. Entre elas, emissões de GEE relacionadas a materiais de construção, comida, água e combustíveis.

2.3. Abordagem do Inventário

O Inventário de Emissões de GEE da cidade de Guarulhos é subdividido e apresentado por gás, escopo, setor e subsetor. Ainda, sua elaboração conta com métodos complementares ligado à metodologia GPC, como o *City-induced Framework* (abordagem induzida pela cidade). Este método contabiliza, a partir de métodos padronizados, as emissões de gases do efeito estufa de

atividades desenvolvidas dentro dos limites geográficos da cidade, incorporando as fontes de emissão de escopo 1, 2 e 3² das principais fontes emissoras que ocorrem dentro delas.

Ademais, o método *City-induced Framework* possui dois níveis de reporte: BASIC ou BASIC+ (Tabela 3). O nível BASIC cobre emissões de escopo 1 e escopo 2 de energia estacionária e transporte, bem como emissões de escopo 1 e escopo 3 de resíduos. BASIC+ envolve processos de cálculo e coleta de dados mais desafiadores e, adicionalmente, inclui emissões dos processos industriais e do setor AFOLU, além do transporte transfronteiriço. Para a cidade de Guarulhos, aplica-se o método *City-induced* em um nível de reporte BASIC+. Os Inventários ligados ao método BASIC+ se alinham com relatórios nacionais e as diretrizes do IPCC.

Tabela 3 - Abordagem Basic e Basic+ por setor de atividade e escopo (Fonte: GPC - adaptado)

Sector	Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3
1- Energia Estacionária			
2- Transportes			
3- Resíduos e Efluentes			
4- IPPU			
5- AFOLU			
6- Outros Emissões Escopo 3			

Legenda

	Emissões exigidas - abordagem BASIC
	Emissões exigidas - abordagem BASIC +
	Emissões não aplicáveis - abordagem BASIC+
	Outras emissões escopo 3

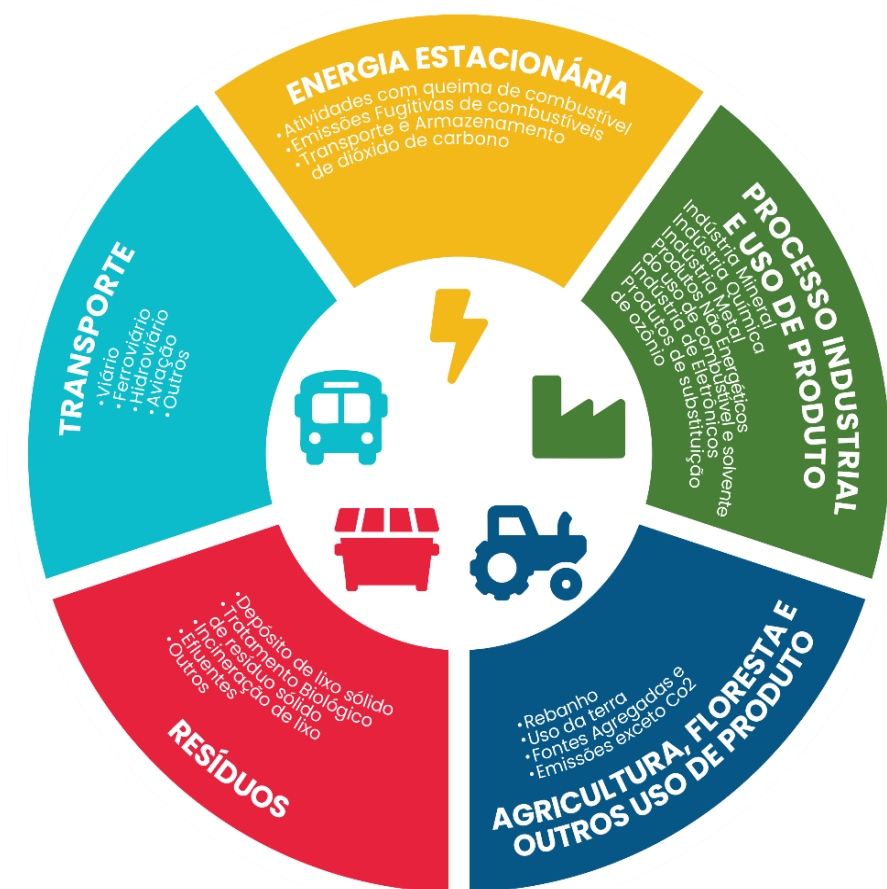
2.4. Método de Cálculo

Categorização dos dados

A Figura 3 demonstra as fontes de emissão cobertas pelo Inventário, separadas por setor de atividade da metodologia GPC. As emissões das atividades da cidade são classificadas, como demonstrado anteriormente, em: (i) Energia Estacionária; (ii) Transporte; (iii) Resíduos e Efluentes; (iv) Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU); (v) Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra (AFOLU).

² Definição dos escopos apresentada abaixo no texto, 2.5.1 Categorização dos dados.

Figura 3 - Ilustração sobre os setores considerado no cálculo das emissões



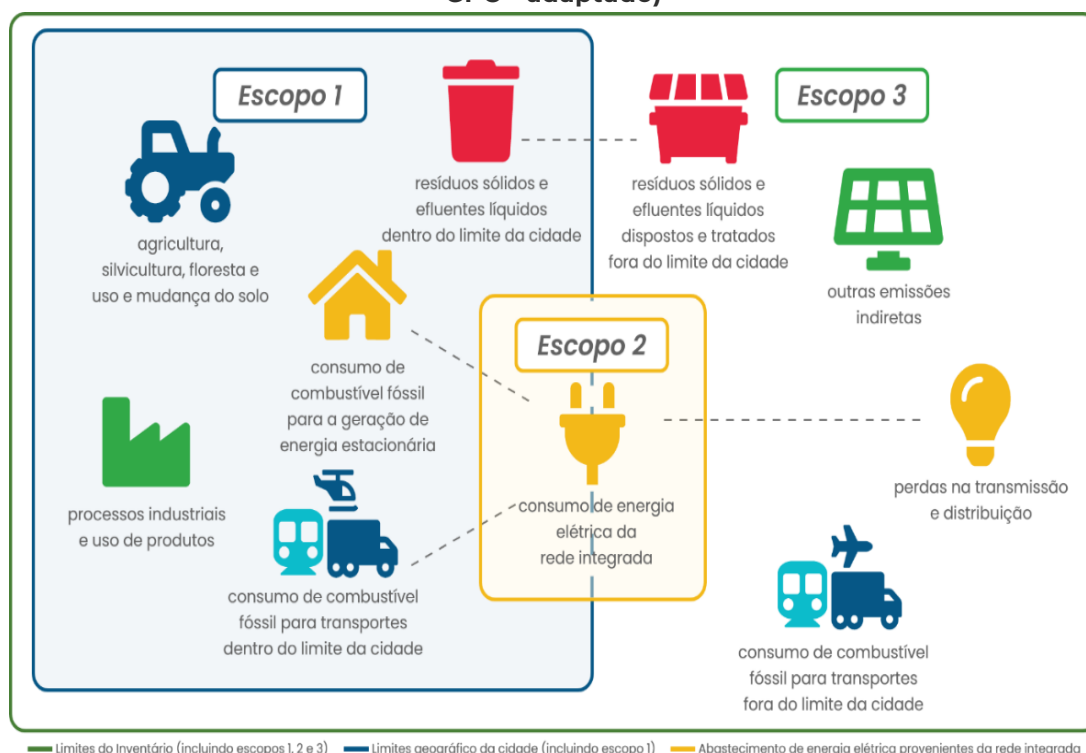
As emissões desses setores são subdivididas em subsetores e podem ser subdivididas em subcategorias. Essas designações incluem:

- Subsetores: por exemplo, métodos de tratamento de resíduos ou modos de transporte, como aviação ou rodoviário;
- Subcategorias: por exemplo, tipos de veículos dentro do subsetor de cada modo de transporte.

Esta divisão permite um maior controle sobre a coleta dos dados e apoia a posterior definição de ações de mitigação, que podem ser direcionadas às políticas públicas específicas para redução das emissões de um setor.

Na sequência, a Figura 4 exemplifica quais fontes de emissão são incluídas considerando o limite da fronteira geográfica estabelecida para o Inventário (escopo 1), quais decorrem do uso de eletricidade, calor, vapor e resfriamento dentro dos limites geográficos estabelecidos (escopo 2), e quais emissões ocorrem fora dos limites geográficos estabelecidos como resultado de uma atividade que ocorreu dentro da fronteira estabelecida (escopo 3).

Figura 4 - Separação de atividades por escopo de emissão para método Basic+ do GPC (Fonte: GPC - adaptado)



Cálculo das emissões de GEE

De acordo com a metodologia do GPC, o cálculo das emissões totais geradas dentro dos limites do Inventário pode ser definido pela soma das emissões específicas de cada setor de atividade. Cada setor possui suas próprias características e fórmulas de mensuração, mas, de forma geral, as emissões podem ser obtidas a partir da seguinte equação:

$$E_{i,g} = DA_i \times FE_{i,g} \times PAG_g$$

Onde,

E: emissões da atividade, valor total de emissões geradas ou removidas, em toneladas de CO₂ equivalentes, para cada setor de atividade contabilizado.

i: índice que representa uma atividade que gera emissões ou um sumidouro.

g: índice que representa um tipo de gás de efeito estufa.

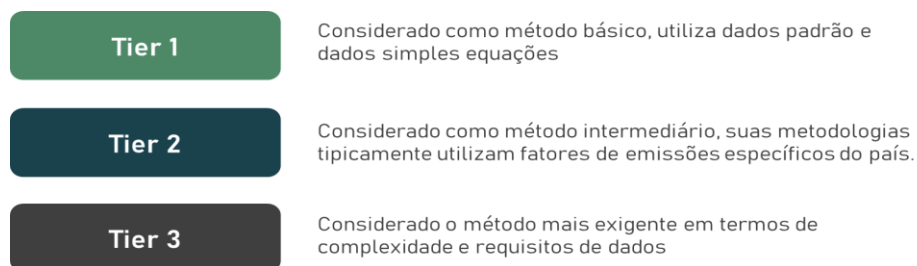
DA: dado de atividade, seja para emissões ou remoções.

FE: fator de emissão associado a cada atividade, normalmente um valor padrão para cada GEE.

PAG: potencial de aquecimento de cada gás, seguindo a mesma unidade característica do fator de emissão.

Cada atividade emite gases de efeito estufa específicos, o que faz com que a fórmula para cada setor seja única. Nas Diretrizes do IPCC, três níveis hierárquicos (*Tier*) são usados para categorizar a complexidade metodológica das emissões, fatores e dados de atividade, conforme apresentado na Figura 5.

Figura 5 - Categorização de complexidade metodológica por Tier (Fonte: IPCC, 2006 - adaptado)



Energia estacionária

Emissões de fontes estacionárias de energia são calculadas multiplicando o consumo de combustível (dados de atividade) pelos fatores de emissão correspondentes para cada combustível, por gás:

$$E_{i,g} = FE_{i,g} \times C_i \times PAG_g$$

Onde,

E: emissões da atividade, valor total de emissões geradas ou removidas, em toneladas de CO₂ equivalentes.

i: índice que representa uma atividade que gera emissões ou um sumidouro.

g: índice que representa um tipo de gás de efeito estufa.

FE: fator de emissão associado a cada atividade, normalmente um valor padrão para cada GEE.

C: consumo de combustível em fontes estacionárias.

PAG: potencial de aquecimento de cada gás, seguindo a mesma unidade característica do fator de emissão.

i: índice que representa uma atividade que gera emissões ou um sumidouro.

g: índice que representa um tipo de gás de efeito estufa.

Transportes

O trânsito urbano rodoviário, ferroviário, marítimo ou aéreo pode ser totalmente contido dentro dos limites da cidade. No entanto, frequentemente cruzará os limites da cidade para comunidades vizinhas.

Existem cinco tipos de viagens transfronteiriças:

- 1) Viagens que se originam na cidade e terminam fora da cidade;
- 2) Viagens que se originam fora da cidade e terminam na cidade;
- 3) Trânsito regional (normalmente ônibus e trens) com uma parada intermediária (ou múltiplas paradas) dentro da cidade;
- 4) Viagens que atravessam a cidade, tanto com origem como destino;
- 5) Destino fora da cidade.

O GPC não prescreve um método específico para cálculo de emissões no transporte, devido às variações em disponibilidade de dados e modelos de transporte existentes. Entretanto, as cidades devem calcular e relatar as emissões com base em um dos quatro métodos identificados na Figura 6 e descritos na Tabela 4.

Figura 6 - Definição dos limites de cada metodologia do GPC (Fonte: GPC - adaptado)



Tabela 4 - Tipos de limites e alocação de escopos (Fonte: GPC - adaptado)

Método	Princípio de alocação	Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3
Venda de combustíveis	Não aplicável a menos que outras medidas adicionais sejam adotadas	Todas as emissões de combustíveis vendidos dentro das fronteiras da cidade	Qualquer posto de abastecimento elétrico dentro da cidade	Não aplicável, a menos que as vendas de combustível sejam atribuídas aos escopos 1 e 3 com algum método adicional
Atividade induzida pela cidade (ex: modelos de demanda norte-americano)	Origem-destino	Viagens dentro das fronteiras 50% de todas as viagens transfronteiriças (viagens só de passagem são excluídas)		Outros 50% das viagens transfronteiriças
		Viagens dentro das fronteiras e porção que ocorre dentro da cidade de todas as viagens transfronteiriças que partem da cidade (viagens só de passagem são excluídas)		Porção que ocorre dentro da cidade de todas as viagens transfronteiriças que partem de fora da cidade

Método	Princípio de alocação	Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3
Geográfico / Territorial (ex: modelos de demanda europeus)	Não aplicável	Todo o tráfego ocorrendo dentro das fronteiras da cidade, independente da origem ou destino		Não aplicável, a menos que outras medidas adicionais sejam adotadas
Atividade dos residentes	Opções	Qualquer atividade dos residentes é escopo 1 ou usar origem-destino		Não aplicável ou usar origem-destino

As emissões do setor de transporte foram calculadas a partir dos dados de compra de combustíveis no município (método de venda de combustíveis). Assim, o método de estimativa pela venda de combustível do setor de transporte, considerando uma complexidade metodológica equivalente ao grau hierárquico Tier 2, conforme definido anteriormente, é representado pela seguinte fórmula:

$$E_{i,g} = C_i \times PCI_i \times FE_{i,g} \times PAG_g$$

Onde,

E: emissões da atividade, valor total de emissões geradas ou removidas, em toneladas de CO₂ equivalentes.

i: índice que representa uma atividade que gera emissões ou um sumidouro.

g: índice que representa um tipo de gás de efeito estufa.

C: consumo do combustível.

FE: fator de emissão do GEE aplicável ao combustível.

PCI: poder calorífico interno do combustível.

PAG: potencial de aquecimento global do GEE g, em tCO₂e/TGEE g.

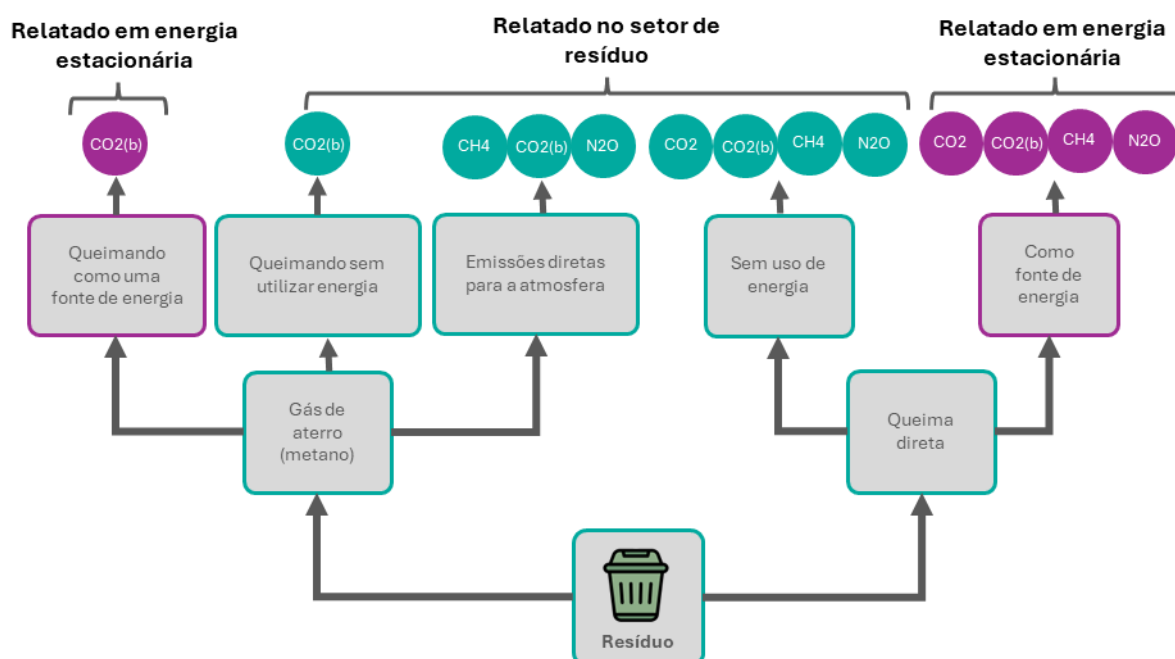
Os tipos de GEE emitidos na queima de combustíveis são CO₂, CH₄ e N₂O. Os consumos de gasolina e diesel exigem uma etapa adicional de cálculo, devido à variação do percentual de etanol anidro e de biodiesel em suas composições, respectivamente, dependendo do ano analisado. Previamente ao uso da equação acima, aplica-se a porcentagem do biocombustível presente na gasolina e no diesel. Por fim, é realizado o cálculo das emissões por meio da equação apresentada.

Resíduos

A metodologia do GPC possui uma especificidade para a contabilização de emissões provenientes de resíduos. Se o metano do tratamento desse resíduo for recuperado e utilizado como fonte de energia, essas emissões de GEE devem ser relatadas na categoria Energia Estacionária. Isso também é considerado para emissões da incineração com recuperação de energia. Emissões da incineração de resíduos sem recuperação de energia são relatadas no setor de Resíduos. Deve ser

feita a distinção entre dióxido de carbono fóssil e emissões biogênicas³. A Figura 7 explica as diferenças.

Figura 7 - Resíduos e emissões estacionárias de energia (Fonte: GPC - adaptado)



Existem dois métodos para a contabilização das emissões dos resíduos:

- *First order of decay* (FOD), ou Decaimento de primeira ordem: calcula as emissões considerando que serão emitidas lentamente ao longo dos anos (para isso são necessários dados históricos);
- *Methane commitment* (MC), ou Compromisso com o metano: atribui todas as emissões com base nos resíduos descartados em um ano, mesmo que toda a liberação de gases não seja necessariamente nesse período.

No Município de Guarulhos, compete à Secretaria de Serviços Públicos por meio do Departamento de Limpeza Pública a gestão e manejo dos resíduos sólidos urbanos, mediante a execução dos serviços de coleta, tratamento, destinação e disposição final ambientalmente adequada.

Segundo informações do Departamento de Limpeza Urbana, ligado à Secretaria de Serviços Públicos, no Aterro Sanitário de Guarulhos, os gases emitidos são queimados nos Poços Drenantes Verticais (PDVs), e não há recuperação ou reaproveitamento do metano. Já o Aterro Sanitário CDR, vizinho ao Aterro Sanitário Municipal, realiza a captação e tratamento do gás metano. A fração de

³ Algumas atividades antrópicas emitem CO_2 por conta da transformação de estoques biológicos de carbono (vegetais, animais, algas, entre outros). O carbono presente em tais estoques biológicos foi removido da atmosfera através da fotossíntese, logo estas emissões não possuem impacto adicional na concentração deste GEE na atmosfera. Por este motivo, as emissões de CO_2 biogênico devem ser contabilizadas de maneira separada em relação às outras emissões de GEE, pois estas possuem impacto adicional nas concentrações de GEE na atmosfera.

metano no gás de aterro é adotada em 50%, embora provavelmente esse percentual seja menor (não há uma informação precisa disponível).

Em relação à destinação dos resíduos sólidos urbanos coletados na cidade de Guarulhos, 50% dos resíduos domiciliares coletados durante o dia são encaminhados ao Aterro Sanitário Municipal, enquanto os resíduos coletados à noite são destinados ao Aterro Sanitário Privado CDR Pedreira. Os resíduos recicláveis são coletados em 100% das áreas habitadas e encaminhados para cooperativas parceiras. Resíduos da Construção Civil (RCC) são recebidos em 34 Ecopontos, onde são separados e encaminhados para tratamento, reciclagem e reaproveitamento, uma vez que o município não dispõe de aterro exclusivo para estes resíduos. O aterro da cidade não recebe resíduos de outras cidades.

Para o contexto do Inventário de Guarulhos, foi utilizado o método de Compromisso com o metano, dada a disponibilidade de dados e incerteza relacionada. O cálculo utilizou o dado da média de geração de resíduo para a cidade, no valor de 1.545,16 tonelada de resíduo por dia, encontrado por meio do Inventário Estadual de Resíduos Urbanos no Estado de São Paulo, estudo publicado pelo Governo do Estado de São Paulo, através da Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística e da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2022).

A caracterização dos resíduos de Guarulhos, em especial a amostragem gravimétrica da cidade em 2022, foi obtida a partir do Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS, 2024), onde é descrito que 47,7% dos resíduos são matéria orgânica; 16,4% plásticos; 12,2% papel e papelão; 5,6% vidro; 5,3% tecidos; 4,5% contaminantes biológicos; 3,1% metais; 1,8% madeira; 1,4% contaminante químico; 1,3% cerâmica e; 0,7% borracha.

Adicionalmente ao cálculo relacionado às emissões de tratamento de resíduos, foi feito também, através de informações da Secretaria de Serviços Públicos e com utilização de alguns *proxys* na ferramenta City Inventory Reporting and Information System (CIRIS), o cálculo das emissões relacionadas ao tratamento de efluentes. O cálculo se deu através de uma estimativa baseada na população da cidade em conjunto com dados de volume anual total de tratamento das Estações de Tratamento de Esgoto Várzea do Palácio, São João e Bonsucesso, que utilizam um sistema de tratamento combinado do tipo Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente com Lodos Ativados.

IPPU

Este setor contempla as emissões oriundas das atividades industriais não relacionadas com energia e usos de produtos. As principais fontes de emissão são as liberações de processos industriais que quimicamente ou fisicamente transformam materiais (por exemplo, o alto-forno na indústria de ferro e aço, e amônia e outros produtos químicos fabricados a partir de combustíveis fósseis e usados como matéria-prima química). Durante esses processos, muitos GEE diferentes podem ser produzidos.

Além disso, certos produtos utilizados pela indústria e consumidores finais, como refrigerantes, espumas ou aerossóis, também contêm GEE que podem ser liberados durante o uso e o descarte. Durante essas atividades, muitos gases de efeito estufa, incluindo dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs) e nitrofluorfluoreto (NF₃) podem ser gerados.

Portanto, somente emissões de atividades industriais não relacionadas à energia e uso de produtos são relatadas sob IPPU conforme a Tabela 5 a seguir:

Tabela 5 - Categorização IPPU (Fonte: GPC - adaptado)

Fontes de emissão	Categorização
Combustíveis queimados para uso de energia	Energia Estacionária
Combustíveis derivados transferidos para combustão em outra categoria	Energia Estacionária

Fontes de emissão	Categorização
Emissões de combustão dos combustíveis obtidas direta ou indiretamente da matéria-prima	IPPU
Emissões de uma reação química que libera calor	IPPU

A Tabela 6 detalha os tipos de indústrias e processos que podem ser reportados nessa categoria. Informações mais detalhadas sobre o contexto do Inventário de Guarulhos constam no capítulo de resultados.

Tabela 6 - Processos industriais por tipo de indústria (Fonte: I Care, 2024)

Tipo de indústrias	Processos
Indústria mineral	Cimento, cal, vidro
Indústria química	Amônia, ácido nítrico, ácido adípico, caprolactama, glicol e ácido glicólico, carboneto, dióxido de titânio, carbonato de sódio
Indústria metalúrgica	Coque metalúrgico, ferro e aço, ferroliga, alumínio, magnésio, chumbo zinco
Produtos não energéticos de combustíveis e uso de solventes	Lubrificante, cera de parafina, betume, óleo de estrada e outros diluentes de petróleo, espírito branco, querosene, alguns aromáticos (solventes)
Indústria de eletrônicos	Gravação e limpeza CVD para semicondutores, telas de cristal líquido e fotovoltaica, fluidos de transferência de calor
Substitutos fluorados para substâncias destruidoras de ozônio	HFCs, PFCs
Produção e uso de outros produtos	Equipamentos eletrônicos (SF ₆)

O cálculo das emissões, independentemente do tipo de indústria, se resume em multiplicar o fator de emissão na produção do produto pela quantidade do produto produzido, assim como a equação abaixo indica:

$$E_i = M_i \times FE_i \times PAG_g$$

Onde,

E : emissões da atividade, valor total de emissões geradas ou removidas, em toneladas de CO₂ equivalentes.

M_i : quantidade de produto produzido.

FE : fator de emissão da atividade para cada GEE.

i : índice que representa uma atividade industrial.

g : índice que representa um tipo de gás de efeito estufa.

As emissões desse setor não foram calculadas, dada a indisponibilidade dos dados, fato que comumente é percebido nos Inventários de outras cidades⁴. Portanto, há oportunidade para melhorias no cálculo deste Inventário, podendo ser feito a partir da disponibilização dos dados de produção.

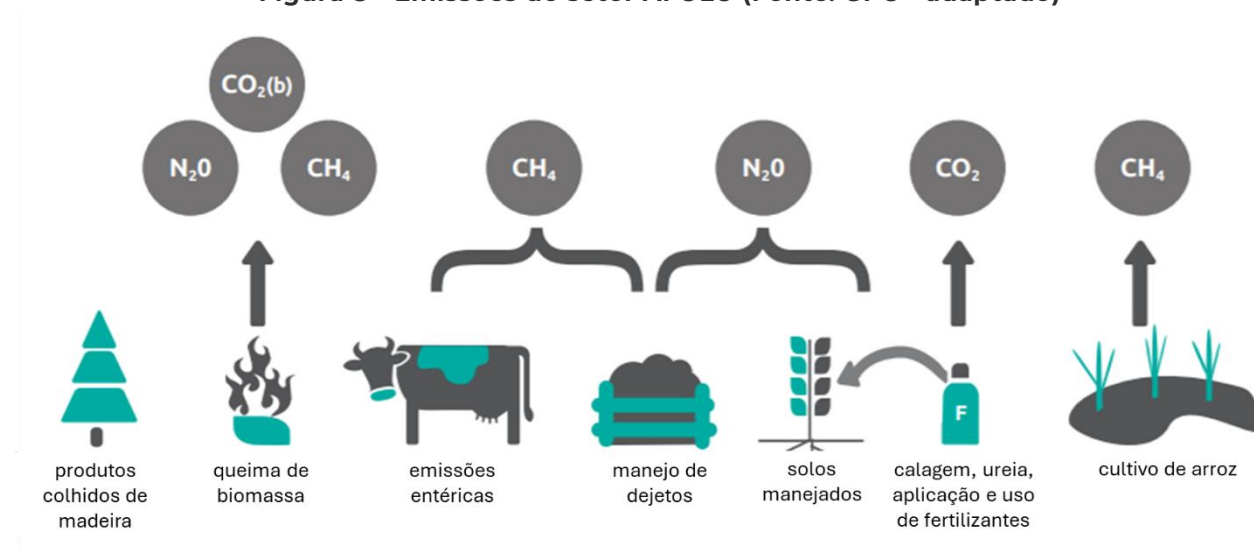
AFOLU

As emissões do setor de Agricultura, Silvicultura e Outros Uso da Terra (AFOLU) são produzidas através de uma variedade de fontes, incluindo fermentação entérica, manejo de dejetos de animais, uso da terra e mudanças no uso da terra, tais como desmatamento, e fontes agregadas, como fontes de emissão não-CO₂ em terra, aplicação de fertilizantes e cultivo de arroz.

Dada a natureza altamente variável do uso da terra e da atividade agrícola entre as geografias, as emissões de GEE da AFOLU estão entre as categorias mais complexas para a contabilização.

A Figura 8 resume as fontes e os tipos de GEE que são emitidos nessa categoria. Na sequência, estão apresentadas as subcategorias de contabilização das emissões do setor AFOLU.

Figura 8 - Emissões do setor AFOLU (Fonte: GPC - adaptado)



O cálculo das emissões varia de acordo com os subsetores. Para a cidade de Guarulhos explorou-se as emissões da pecuária e do uso da terra.

- Pecuária

As emissões relativas à pecuária são originadas das emissões entéricas e do manejo da dejetos dos animais. Ambas as fontes podem ser estimadas pela multiplicação do número de animais, para cada tipo de animal, por um fator de emissão.

⁴ Alguns Inventários, como os das cidades de Porto Alegre-RS e Teresina-PI, também realizados com a metodologia GPC e, apesar de adotarem o método BASIC+, não conseguiram informações relacionadas às emissões do setor de IPPU. Inventários como de Recife-PE, Salvador-BA, São Paulo-SP e Belo Horizonte-MG adotaram o método BASIC e não contabilizaram emissões neste setor, dada a dificuldade de disponibilização de dados.

$$E_t = A_t \times FE_{t,g} \times PAG_g$$

Onde:

E: emissões da atividade, valor total de emissões geradas ou removidas, em toneladas de CO₂ equivalentes.

A: quantidade de animais

FE: fator de emissão entéricas

t: tipo de animal

g: índice que representa um tipo de gás de efeito estufa.

- Uso da Terra

De acordo com o IPPC, o uso da terra pode ser dividido em seis categorias: floresta, terra para o cultivo, pastagens, áreas pantanosas, assentamentos humanos e outros. Para cada categoria de uso do solo são calculadas as emissões e remoções de CO₂ para determinar o estoque de carbono. As estimativas de estoque de carbono dependem de dados e de modelos para determinar o estoque de carbono na superfície, abaixo dela e da matéria morta presente no solo. Emissões e remoções de CO₂ são baseadas nas alterações nos estoques de carbono e são estimadas para cada categoria de uso do solo.

O mapa potencial de biomassa utilizado como base dos nossos cálculos, conforme Soares-Filho, et al. (2016), reconstrói a biomassa da vegetação original presente nos biomas brasileiros e suas fitofisionomias. Para elaboração deste banco de dados foram coletadas medições de biomassa em campo publicadas em trabalhos científicos nacionais e internacionais, relatórios técnicos, teses de doutorado, dissertações de mestrado, relatórios federais e estaduais, e Inventários de biomassa.

Além disso, vários autores foram consultados diretamente para obtenção de informações adicionais sobre seus métodos e de dados não publicados. Foram utilizadas informações de densidade de biomassa para os componentes (folhas, estratos arbóreos, estratos arbustivos, estratos herbáceos, raízes, necromassa, palmeiras e lianas) de cada tipo de fitofisionomia, para o cálculo da relação entre esses componentes e a biomassa viva total acima do solo. A fórmula de cálculo é apresentada a seguir:

$$E_c = A_{desm} \times B \times Bio_c \times (44/12)$$

Onde:

E_c: emissões da atividade, valor total de emissões geradas ou removidas, em toneladas de CO₂ equivalentes.

A_{desm}: área desmatada, em hectares

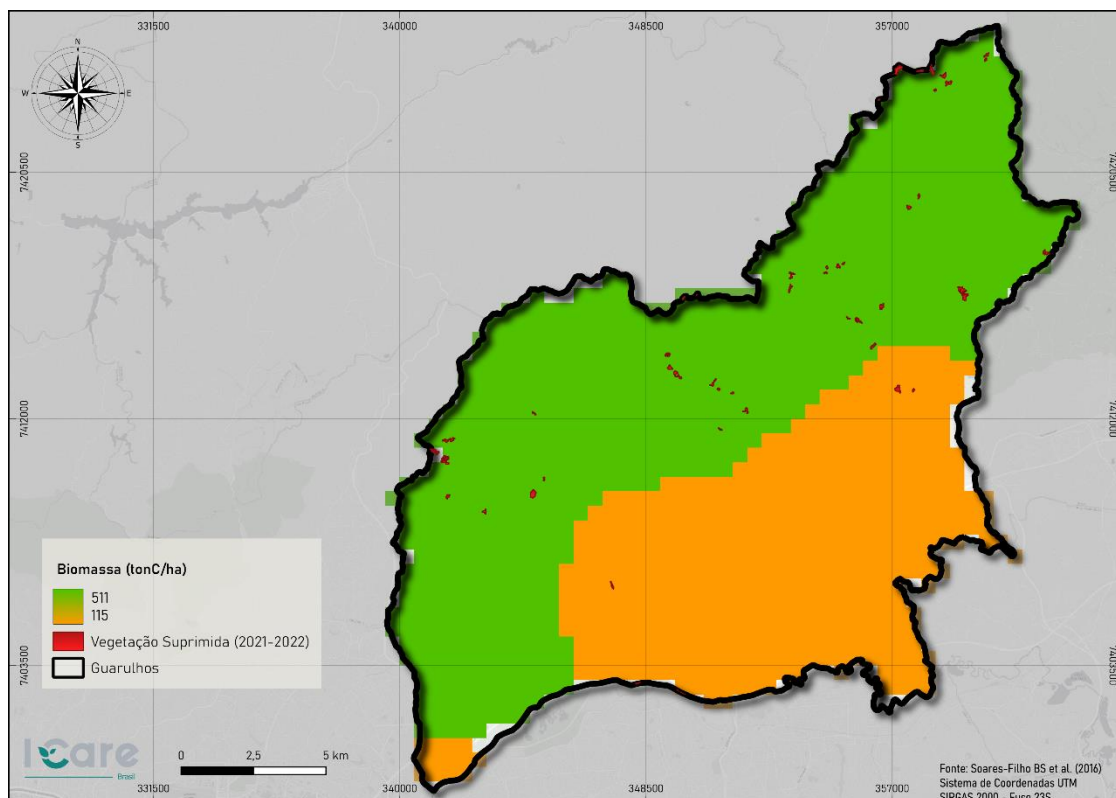
B: biomassa acima e abaixo do solo em toneladas de carbono por hectare.

Bio_c: fator de conversão entre biomassa e carbono

Adota-se a aproximação de 0,5 como fator de conversão entre biomassa e carbono, tomando como base o trabalho de Thomas e Martin (2012), que aponta a concentração média de carbono em tecidos de angiospermas tropicais. A multiplicação de 44/12 refere-se à transformação de equivalência de carbono para dióxido de carbono.

Diante do que foi exposto, foram calculadas as transições de uso do solo no território de Guarulhos entre os anos de 2021 e 2022, avaliando-se principalmente as mudanças relacionadas à vegetação, conforme apresenta-se na Figura 9. Cada área foi então multiplicada pelo valor de biomassa acima de abaixo do solo, conforme estudo de Soares-Filho, et al. (2016).

Figura 9 - Mapa das áreas de vegetação suprimida entre os anos de 2021 e 2022



2.5. Mapeamento de atores-chave e categorização das emissões

A primeira etapa para a realização do Inventário envolveu o mapeamento dos atores chave necessários para o progresso do trabalho. Esta etapa foi fundamental, pois a elaboração do Inventário requer a coleta de diversos dados de setores públicos e privados. A elaboração e localização desses dados podem variar amplamente, estando presentes em diferentes níveis da escala pública ou em posse do setor privado.

Para facilitar esta etapa, foi realizado um mapeamento baseado na análise de documentos, pesquisa bibliográfica e indicações dos pontos focais do projeto pela Prefeitura de Guarulhos. Os resultados deste mapeamento foram organizados em uma planilha do Excel, dividida por setor de emissão de acordo com a metodologia GPC. Este método de organização facilita a visualização e compreensão dos dados coletados, permitindo uma análise mais eficaz.

A Tabela 7, a seguir, apresenta as fontes de dados consultadas para o desenvolvimento do Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa.

Tabela 7 - Fontes de informação utilizadas no processo de elaboração do Inventário de GEE
(Fonte: I Care, 2024)

	Dado	Unidade	Público	Ator-chave
Transporte	Vendas de gasolina, óleo diesel, GNV, etanol hidratado, óleo combustível e querosene no Município	L ou m ³ /ano	Sim	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP)
	Venda anual de combustível (querosene e gasolina) para	L/ano	Sim	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP)
	Consumo de eletricidade para o transporte público	MWh/ano	Não	-
Energia Estacionária	Consumo de eletricidade, desagregado por: I. Residencial II. Comercial III. Iluminação Pública IV. Poder Público V. Serviço Público VI. Industrial VII. Consumo Próprio VIII. Rural	MWh/ano	Sim	Anuário de Energéticos por Município no Estado de São Paulo – 2023 
	Energia elétrica injetada na rede por empreendimentos de geração	MWh/ano	Não	-
	Vendas de gás natural no Município	m ³ /ano	Sim	Anuário de Energéticos por Município no Estado de São Paulo – 2023 
	Vendas de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) no Município	kg/ano	Sim	Anuário de Energéticos por Município no Estado de São Paulo – 2023 
Resíduos	Quantidade de resíduos sólidos produzidos	t/ano	Sim	Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos no Estado de São Paulo 2022
	Quantidade de resíduos sólidos, desagregado por: - Tipo (domiciliar, entulho, varrição e limpeza urbana, poda, feiras e jardins, resíduos clínicos, outros) - Composição/gravimetria - Tratamento e destinações (aterro, reciclagem, incineração, compostagem, autoclave, etc)	t/ano	Parcial	Composição gravimétrica: Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS)
	Estimativas de volume dos efluentes líquidos	L/ano, por destinação	Sim	Secretaria de Serviços Públicos com dados da SABESP
	Quantidade de lodo gerada pela ETE, destinação e tipo de tratamento	L/ano, por destinação	Não	-
	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	g/pessoa/ano	Sim	Secretaria de Serviços Públicos com dados da SABESP

	Dado	Unidade	Público	Ator-chave
	Estimativas populacionais	número de habitantes	Sim	Fundação SEADE - Sistema Estadual de Análise de Dados IBGE
IPPU	Produção total, desagregado por indústria: I. Indústria mineral II. Indústria química III. Indústria metalúrgica IV. Produtos não energéticos de combustíveis e uso de solventes V. Indústria de eletrônicos VI. Substitutos fluorados para substâncias destruidoras de ozônio VII. Produção e uso de outros produtos	-	Não	-
AFOLU	Efetivo dos rebanhos, por tipo de rebanho (município de Guarulhos) I. Bovinos II. Bubalinos III. Equinos IV. Suínos V. Caprinos VI. Ovinos VII. Galináceos VIII. Codornas	números de cabeças	Sim	IBGE
	Área de floresta suprimida e área de recomposição vegetal	hectares	Sim	Mapbiomas

O mapeamento dos dados foi possível graças a estreita colaboração com a cidade de Guarulhos, que desde o início do projeto vem sendo sensibilizada para questões relacionadas às mudanças climáticas. Um webinar de sensibilização foi realizado no início do projeto com o objetivo de sensibilizar os atores-chave sobre a importância do tema, do projeto e de cada etapa. Esta etapa foi crucial para apresentar o projeto, a metodologia, o cronograma de atividades e os produtos que serão entregues. A reunião de sensibilização/engajamento, realizada em 14 de dezembro de 2024 e reuniu 40 participantes.

Através da apresentação sobre os impactos das mudanças climáticas e a importância desses atores no projeto, buscou-se conscientizá-los sobre a relevância de sua participação e a necessidade de disponibilizar dados sobre emissões. Este evento permitiu não apenas informar, mas também engajar esses atores-chave na causa, enfatizando a importância de sua contribuição para o sucesso do projeto.

3. Resultados do Inventário

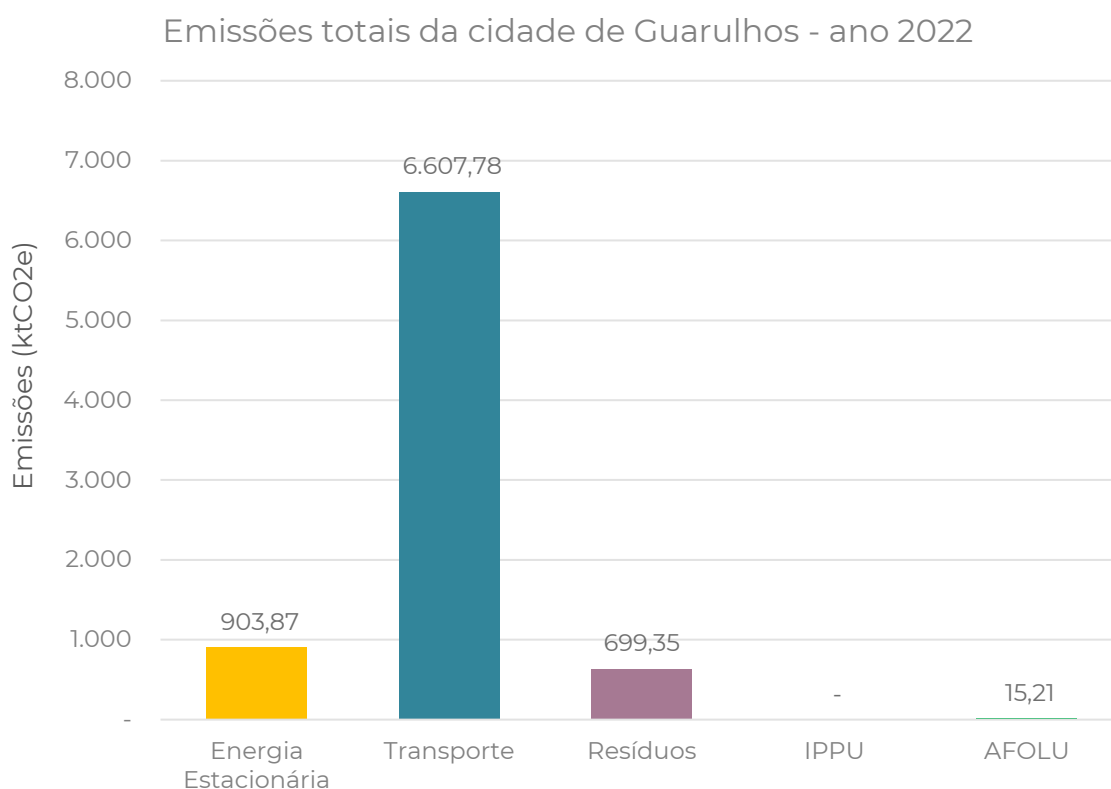
Esse capítulo aborda os resultados do Inventário de Emissões de GEE no município de Guarulhos. Os resultados estão expressos em quilotonelada de CO₂ equivalente, simplificado pela notação ktCO₂e.

3.1. Emissões totais

Os cálculos de emissões seguiram os preceitos da abordagem Basic+ da metodologia GPC, levando em consideração os escopos 1, 2 e 3. Os setores analisados no estudo foram energia estacionária, transporte, resíduos e efluentes, e AFOLU. O setor de IPPU não foi incluído no estudo por falta de dados de atividades para o cálculo das emissões.

Em 2022, as emissões de GEE totalizaram em 8.226,21 ktCO₂e⁵. Neste ano, o setor de transporte representou 80% do total das emissões calculadas, equivalente a 6.607 ktCO₂e, sendo o setor com maior contribuição para as emissões dos gases do município. O setor de Energia Estacionária representou 11% das emissões totais, representando 903 ktCO₂e. Já o setor de Resíduos e Efluentes foi responsável por pouco mais de 8%, equivalendo a 699 ktCO₂e, o terceiro maior emissor. Por último, o setor de AFOLU representou a menor emissão (menos de 1%), totalizando 15 ktCO₂e. Como mencionado anteriormente na metodologia, o setor IPPU não foi calculado dada a indisponibilidade de dados (Figura 10).

Figura 10 - Emissões totais da cidade de Guarulhos por setor, 2022 (Fonte: I Care, 2024)



3.2. Emissões por setor e subsetor de atividade

O resultado das emissões por setores e subsetores de atividade podem ser visualizados na Tabela 8, divididos nos escopos 1, 2 e 3. Percebe-se que as emissões se concentram principalmente no escopo 1, o que indica que as emissões ocorrem nos limites da cidade de Guarulhos. Nenhuma

⁵ Para efeitos de comparação, para neutralizar essa emissão seria necessário plantar mais de 50 milhões de árvores e mantê-las vivas por pelo menos 20 anos (considerando um sequestro de 163,14 kg de CO₂e por árvore – dados de um estudo do Instituto Totum e da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ) para árvores da Mata Atlântica.

fonte de emissão relacionada às atividades de outras cidades foi relatada no escopo 3, no entanto, é possível discutir esse resultado de forma mais ampla, como será visto mais à frente.

Tabela 8 - Emissões desagregadas por setor e subsetor, 2022 (Fonte: I Care, 2024)

Ref GPC	Fonte de emissões de GEE (por setor e subsetor)	Total de GEEs (ktCO2e)				Participação relativa ao setor (%)	Participação relativa ao total (%)
		Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3	Total		
I	ENERGIA ESTACIONÁRIA						
I.1	Edifícios residenciais	368,64	43,31	-	411,95	45,6%	5,0%
I.2	Prédios e instalações comerciais e institucionais	150,27	50,60	-	200,86	22,2%	2,4%
I.3	Indústrias de manufatura e construção	222,47	60,41	-	282,89	31,3%	3,4%
I.4.1/2/3	Indústrias de energia	2,53	0,39	-	2,92	0,3%	0,0%
I.4.4	Geração de energia fornecida à rede	-	-	-	-	-	-
I.5	Atividades de agricultura, silvicultura e pesca	0,12	5,13	-	5,25	0,6%	0,1%
I.6	Fontes não especificadas	-	-	-	-	-	-
I.7	Emissões fugitivas de mineração, processamento, armazenamento e transporte de carvão	-	-	-	-	-	-
I.8	Emissões fugitivas de sistemas de petróleo e gás natural	-	-	-	-	-	-
SUB-TOTAL		744,03	159,84	-	903,87	100,0%	11%
II	TRANSPORTE						
II.1	Transporte rodoviário	1.628,14	-	-	1.628,14	24,6%	19,8%
II.2	Ferrovias	-	-	-	-	-	-
II.3	Navegação aquaviária	-	-	-	-	-	-
II.4	Aviação	4.979,64	-	-	4.979,64	75,4%	60,5%
II.5	Transporte off-road	-	-	-	-	-	-
SUB-TOTAL		6.607,78	-	-	6.607,78	100%	81%
III	RESÍDUOS						
III.1.1/2	Resíduos sólidos gerados na cidade	380,81	-	-	380,81	54,5%	4,6%
III.2.1/2	Resíduos biológicos gerados na cidade	-	-	-	-	-	-
III.3.1/2	Resíduos incinerados e queimados gerados na cidade	-	-	-	-	-	-
III.4.1/2	Águas residuais geradas na cidade	318,54	-	-	318,54	45,5%	3,9%
III.1.3	Resíduos sólidos gerados fora da cidade	-	-	-	-	-	-
III.2.3	Resíduos biológicos gerados fora da cidade	-	-	-	-	-	-
III.3.3	Resíduos incinerados e queimados gerados fora da cidade	-	-	-	-	-	-

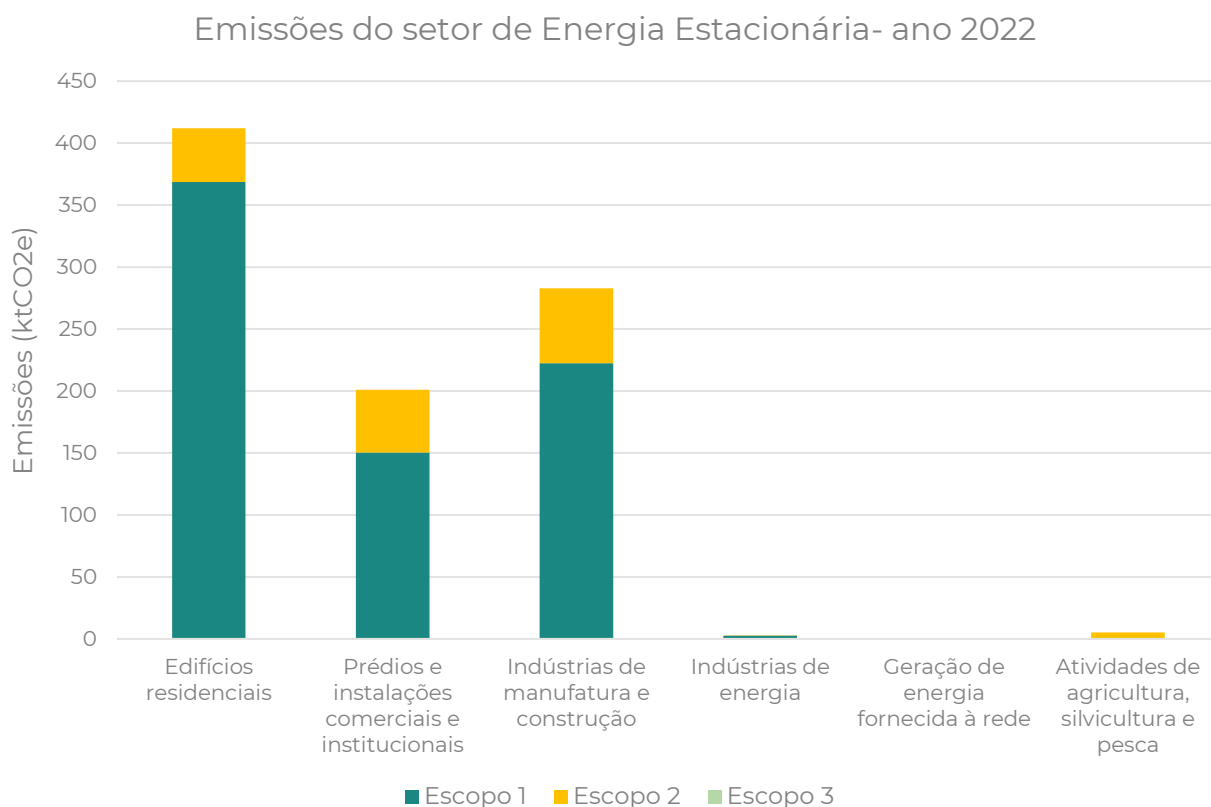
Ref GPC	Fonte de emissões de GEE (por setor e subsetor)	Total de GEEs (ktCO ₂ e)				Participação relativa ao setor (%)	Participação relativa ao total (%)
		Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3	Total		
III.4.3	Águas residuais geradas fora da cidade	-	-	-	-	-	-
SUB-TOTAL		699,35	-	-	699,35	100%	8,5%
IV	PROCESSOS INDUSTRIAIS E USOS DE PRODUTOS						
IV.1	Emissões de processos industriais que ocorrem dentro dos limites da cidade	-	-	-	-	-	-
IV.2	Emissões do uso de produtos que ocorrem dentro dos limites da cidade	-	-	-	-	-	-
SUB-TOTAL		-	-	-	-	-	-
V	AGRICULTURA, FLORESTAS E OUTROS USOS DA TERRA						
V.1	Emissões da pecuária	0,004	-	-	0,004	0,03%	0,0%
V.2	Emissões da terra	15,20	-	-	15,20	99,97%	0,2%
V.3	Emissões de fontes agregadas e fontes de emissão de não-CO ₂ na terra	-	-	-	-	-	-
SUB-TOTAL		15,21	-	-	15,21	100%	0,2%
VI	OUTROS ESCOPO 3						
VI.1	Outros Escopo 3	-	-	-	-	-	-
TOTAL		8.066,37	159,84	-	8.226,21	-	100,0%

Energia Estacionária

O setor de Energia Estacionária agrega as emissões a partir da queima de combustíveis para a produção de calor e energia elétrica, do consumo de energia elétrica e das perdas técnicas pelos sistemas de distribuição e transmissão de energia. O Inventário de Gases de Efeito de Estufa de Guarulhos calculou as emissões para esse setor no ano de 2022.

As emissões provenientes do setor de Energia Estacionária foram de 744 ktCO₂e (Figura 11), sendo a maior parte (quase 46%) fruto das emissões nos edifícios residenciais. As emissões do setor industrial alcançaram quase 283 ktCO₂e, representando cerca de 31% das emissões do setor, e as emissões dos prédios comerciais e institucionais, que inclui também a iluminação pública, alcançou 222 ktCO₂e, 22% das emissões do setor. As emissões combinadas do setor representam 11% das emissões totais.

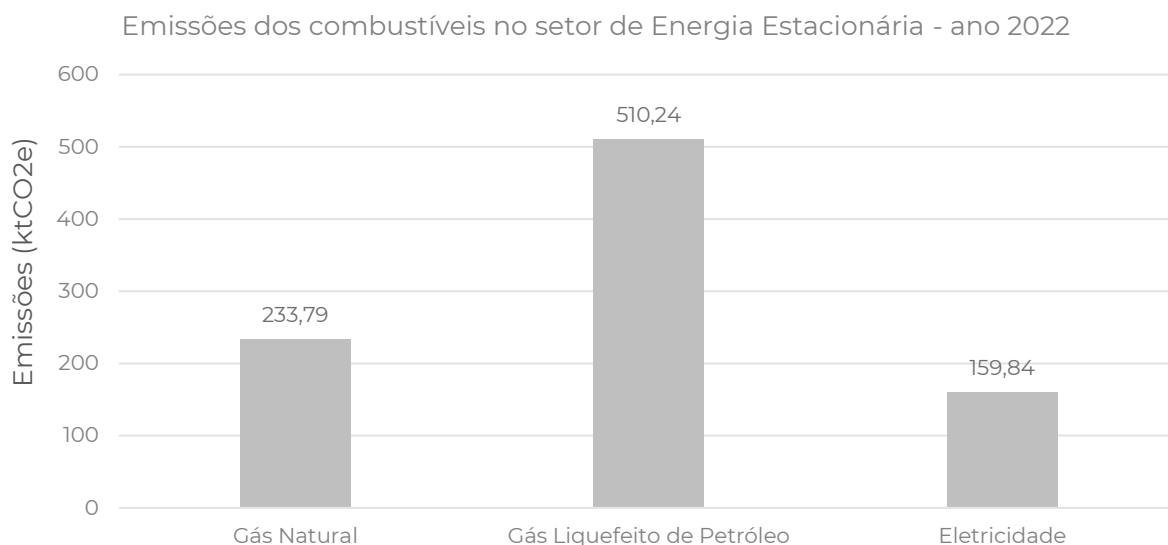
Figura 11 – Emissões relacionadas às atividades no setor de energia estacionária, 2022 (Fonte: I Care, 2024)



As emissões do setor de energia estacionária na cidade de Guarulhos estão relacionadas principalmente ao uso de Gás Natural (GN), Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) e eletricidade (Figura 12). A maior parte das informações foram obtidas por meio do Anuário de Energéticos do Estado de São Paulo e da Agência Nacional de Petróleo (ANP).

Não foram contabilizadas as emissões relacionadas à geração de energia fornecida a rede em função da indisponibilidade de dados.

Figura 12 – Emissões relacionados ao consumo de gás natural, GLP e energia elétrica no setor de energia estacionária, 2022 (Fonte: I Care, 2024)

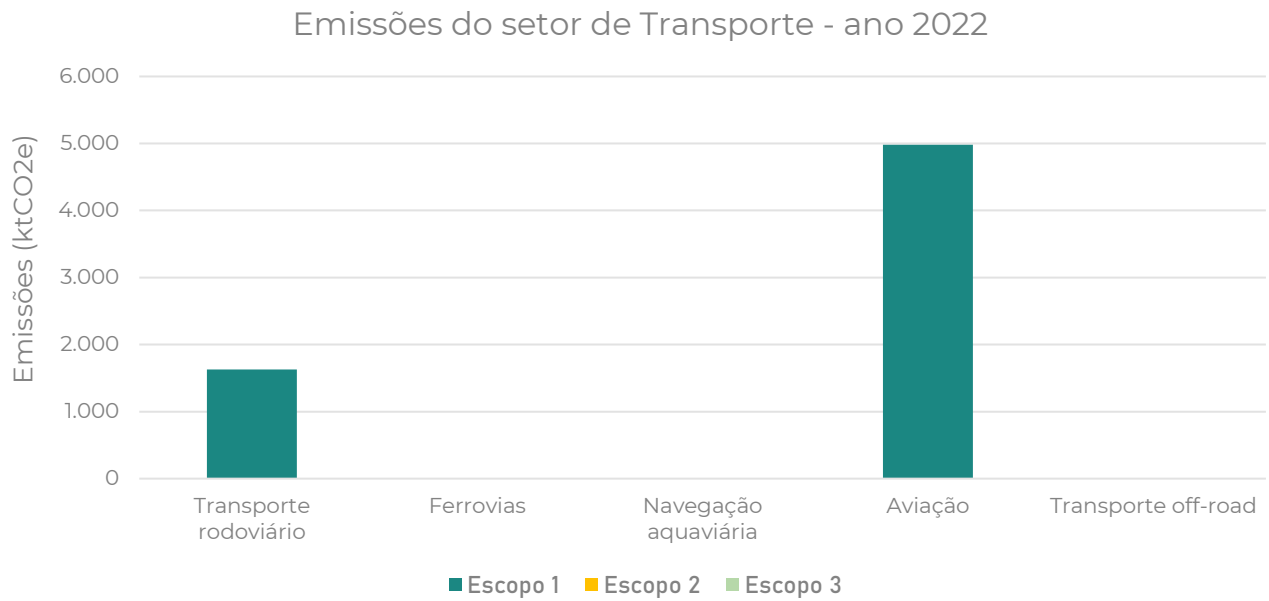


Transporte

As emissões do setor de transporte foram calculadas a partir dos dados de compra de combustíveis no município (método de venda de combustíveis). O setor se configura como o maior emissor no ano estudado, principalmente em função das emissões relacionadas ao setor da aviação. Para o cálculo das emissões, foram utilizados os dados de venda de combustíveis fornecidos pela Agência Nacional de Petróleo (ANP), que determina o volume total de venda por tipo de combustível.

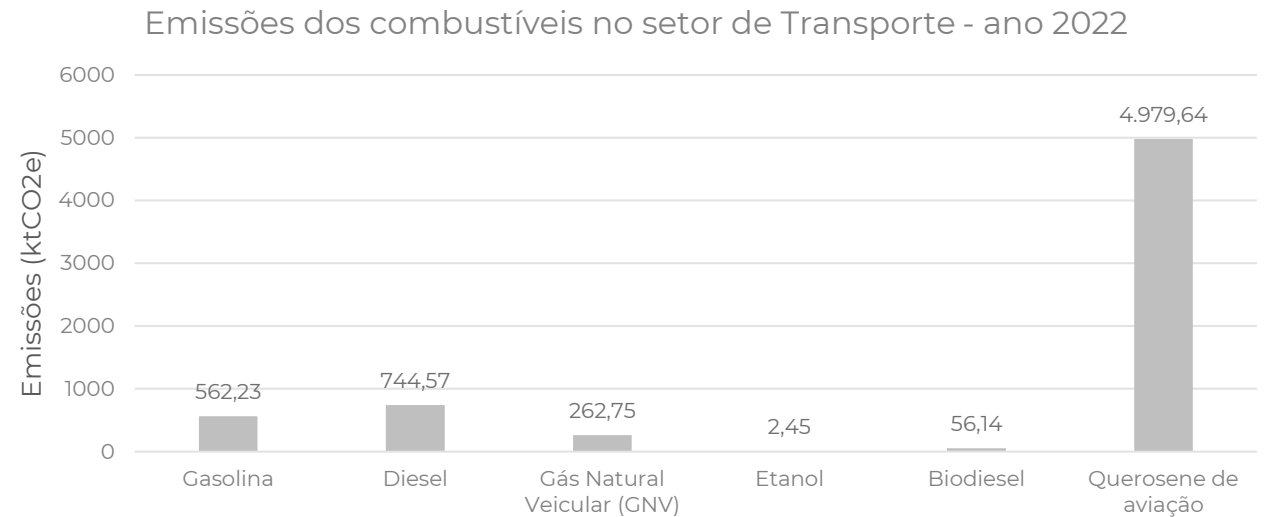
No ano avaliado, as emissões totais foram de 6.607 ktCO₂e, representando 81% das emissões totais. A aviação foi a principal responsável pelas emissões, dada a presença do aeroporto. As emissões da aviação, de 4.979 ktCO₂e representaram 75% das emissões do setor e 61% do total do Inventário. O transporte rodoviário emitiu 1.628 ktCO₂e, quase 25% das emissões do setor e 20% das emissões de todo o Inventário. Os resultados das emissões dos subsectores de transporte podem ser visualizados na Figura 13.

Figura 13 – Emissões relacionadas às atividades no setor de transporte, 2022 (Fonte: I Care, 2024)



As emissões no setor de transporte se dividem por diferentes combustíveis, como mostra a Figura 14, destacando-se as emissões por querosene de aviação, no valor de 4.979 ktCO₂e.

Figura 14 – Emissões relacionados ao consumo de combustíveis no setor de transporte, 2022 (Fonte: I Care, 2024)



Importante destacar que, no ano de 2022, foram vendidos 244 milhões de litros de gasolina, 281 milhões de litros de diesel, 123 milhões de m³ de GNV, 177 milhões de litros de etanol, 22 milhões de litros de **iodiesel** e 1.963 milhões de litros de querosene de aviação. Só com a venda de etanol, foram emitidos 258 ktCO₂e de emissões biogênicas.

Não foram encontradas informações sobre a frota de carros elétricos em Guarulhos. De qualquer forma, o consumo de eletricidade dessa frota foi contabilizado no setor de energia estacionária, não sendo possível, no momento, separar a alocação dessas emissões.

Resíduos

No setor de resíduos foram calculadas as emissões relativas ao manejo de resíduos sólidos domésticos e com o tratamento de esgoto. No ano de 2022, as emissões para o setor de Resíduos foram de 699 ktCO₂e, que representam 8,5% das emissões totais no ano. As emissões se dividem entre as que são geradas no aterro sanitário com o tratamento de resíduos sólidos e com o tratamento de esgoto (Figura 15).

Figura 15 – Emissões relacionadas às atividades no setor de transporte, 2022 (Fonte: I Care, 2024)



O cálculo para os resíduos sólidos gerados na cidade considerou uma disposição de 563 mil toneladas de resíduos em 2022 e a composição gravimétrica informada no PGIRS (2024).

Destaca-se que a cidade de Guarulhos, segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), em 2022, tinha um índice de atendimento total de esgoto de 91% e índice de coleta de 70%, com tratamento de 19% do volume total.

Processos Industriais e Uso de Produto (IPPU)

Não foi estimado por falta de dados.

Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra (AFOLU)

Em Guarulhos, o cálculo de emissão para o setor de Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra (AFOLU) levou em consideração as emissões provenientes da fermentação entérica e do manejo de dejetos dos rebanhos, e da supressão de florestas e reflorestamento.

As bases de dados utilizadas foram: dados da pecuária brasileira por município fornecidos pelo IBGE para o cálculo de fermentação entérica e manejo de dejetos, e imagens de satélite para o cálculo de desmatamento e recomposição vegetal.

Figura 16 – Emissões relacionadas às atividades no setor de AFOLU, 2022 (Fonte: I Care, 2024)

colaborativo de todos os envolvidos para alcançar metas mais ambiciosas de redução de GEE, garantindo um futuro mais sustentável para as próximas gerações.

Vale destacar, por fim, que o Inventário foi realizado com base em dados do ano de 2022, uma vez que alguns dados públicos ainda não foram atualizados, como o Anuário de Energéticos por Município no Estado de São Paulo. A atualização desses dados é essencial para garantir que o Inventário reflita com precisão a realidade atual e possa servir como uma ferramenta eficaz na formulação de políticas públicas e estratégias de redução de emissões. Neste sentido, a ferramenta CIRIS, utilizada para o cálculo e registro das emissões da cidade, foi encaminhada à representantes da Secretaria de Meio Ambiente, que poderão atualizá-la ao longo dos próximos anos.

A atualização anual do Inventário de emissões é de vital importância para assegurar que as estratégias e ações de mitigação sejam baseadas em dados atualizados e precisos. Este processo permite a identificação de tendências e mudanças nas fontes de emissão, possibilitando ajustes rápidos e informados nas políticas públicas. Além disso, a atualização anual proporciona uma base sólida para o planejamento estratégico a longo prazo, permitindo que o município alinhe suas metas de redução de emissões com os compromissos internacionais e nacionais. A consistência na coleta de dados também fortalece a credibilidade do Inventário e facilita a comparação dos resultados ao longo dos anos.

O monitoramento contínuo dos resultados das ações de mitigação implementadas é igualmente importante. Este acompanhamento permite avaliar a eficácia das medidas adotadas, identificando áreas de sucesso e aquelas que necessitam de ajustes ou intensificação dos esforços. Sem um monitoramento rigoroso, corre-se o risco de investir recursos em iniciativas que não geram os impactos desejados. Além disso, a transparência no monitoramento dos resultados aumenta a confiança da população e dos parceiros envolvidos, fomentando um ambiente de colaboração e responsabilidade compartilhada.

5. Referências Bibliográficas

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Dados Estatísticos. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-estatisticos>

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2022. Inventário estadual de resíduos sólidos urbanos 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/residuossolidos/publicacoes-e-relatorios/>. ISBN 978-65-5577-036-0

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Brasileiro de 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. In Press.

IPCC, 2023: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001

MAPBIOMAS BRASIL. Mapas e Dados. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/>

PGIRS – PLANO DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS. Município de Guarulhos. 2024.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE, INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA. Anuário de Energéticos por Município no Estado de São Paulo – 2023

SOARES-FILHO BS, RAJÃO R, MERRY F, RODRIGUES H, DAVIS J, LIMA L, MACEDO M, COE M, CARNEIRO A, SANTIAGO L (2016). Brazil's Market for trading forest certificates. Plos One 11(4): e0152311. doi:10.1371/journal.pone.0152311



Se precisar de mais informações, entre
em contato conosco pelo e-mail abaixo:

contato@icarebrasil.com

www.icarebrasil.com

Belo Horizonte – Paris - Lyon