

2º Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa

CONTAGEM

Minas Gerais
2025

2º Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa

CONTAGEM

Minas Gerais
2025

Nota explicativa: este documento foi desenvolvido pelo ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade em parceria com a Prefeitura Municipal de Contagem, como parte do projeto de Conformidade Climática, por meio de financiamento junto ao Banco de Desenvolvimento da América Latina e Caribe / Corporação Andina de Fomento (CAF), para implantação do Sistema Integrado de Mobilidade (SIM de Contagem).

PREFEITURA MUNICIPAL DE CONTAGEM

MARÍLIA CAMPOS

Prefeita de Contagem

MARIA THEREZA MESQUITA

Coordenadora de Conformidade Climática, Secretaria-Geral

SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

GERALDO VITOR DE ABREU

Secretário Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

SIRLENE DE ALMEIDA

Superintendente de Políticas Socioambientais

WALKYRIA CASTILHO

Diretora de Projetos Ambientais Estratégicos

FLÁVIA COSTA MACIEL

Assistente Social

NATÁLIA LADEIRA MILAGRES

Engenheira Ambiental

EDELIZE ANGÉLICA GOMES

Engenheira Química

RICARDO AUGUSTO GARRO SILVA

Jornalista

EDUARDO EUSTÁQUIO DE MORAIS

Biólogo, Engenheiro Ambiental e Sanitarista

RODRIGO DOS SANTOS SILVA

Engenheiro Ambiental

GRUPO EXECUTIVO

FAGNER RIBEIRO SENA

MÁRIO JOSÉ ROSÁRIO JÚNIOR

Secretaria Municipal de Governo

ROBSON LUCAS MIRANDA

JULIA DINARDI ALVES PINTO

Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano e Habitação

ERICA DO CARMO

JOÃO CARLOS PIO DE SOUZA

Secretaria Municipal de Direitos Humanos e Cidadania

FERNANDA MARQUES RABELO

NILMA DE SOUZA PENA

Secretaria Municipal de Obras e Serviços Urbanos

MARIA APARECIDA RODRIGUES DE MIRANDA

BRUNA BARBOSA OLIVEIRA

Secretaria Municipal de Desenvolvimento Social, Trabalho e Segurança Alimentar

ÂNGELA MARIA DA SILVA GOMES

JOÃO BATISTA RODRIGUES

Secretaria Municipal de Defesa Social

ARISTIDES DE MIRANDA MOURÃO

RODRIGO DE OLIVEIRA FERREIRA

Secretaria Municipal de Desenvolvimento Econômico

TAÍZA GONÇALVES DE ARAÚJO COSTA

GEANE RODRIGUES CRUZ

Secretaria Municipal de Saúde

GUSTAVO LIBÉRIO DE PAULO

RODRIGO DE SOUZA RIBEIRO

Secretaria Municipal de Educação

CAMILA GONÇALVES E SILVA

MARIA DO PILAR BATISTA FERREIRA

Secretaria Municipal de Comunicação

MARCO ANTÔNIO SILVEIRA

ARIANE DE FREITAS INÁCIO

Autorarquia Municipal de Trânsito e Transportes de Contagem

ICLEI AMÉRICA DO SUL

RODRIGO PERPÉTUO

Secretário Executivo

RODRIGO CORRADI

Secretário Executivo Adjunto

MARIA CALDAS

Senior Fellow - Desenvolvimento Urbano Sustentável

ARMELLE CIBAKA

Gerente de Planejamento, Gestão e Conhecimento

KEILA FERREIRA

Coordenadora de Baixo Carbono e Resiliência

IRIS COLUNA

Assessora de Medição, Reporte e Verificação

JOICE OLIVEIRA

Analista de Medição, Reporte e Verificação

FERNANDA GOUVEIA

Analista de Comunicação

LEONARDO ANDRADE

Analista Técnico

JÚLIA FINOTTI

Assistente de Baixo Carbono

TIAGO MELLO

Assistente de Medição, Reporte e Verificação

GUSTAVO BARBOSA

Assistente de Comunicação

JONATHAN FREITAS

Assistente de Comunicação

COLABORAÇÃO

GIL SCATENA

Prefeitura Municipal de Contagem

O Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Contagem

A crise ambiental no planeta, evidenciada pelas intensas mudanças climáticas pelas quais temos passado, é uma consequência da desatenção (e até da soberba) humana em sua relação com a natureza.

Nesse contexto, é fundamental adotar um olhar mais atento para a inclusão da temática ambiental e climática na formulação de políticas públicas, como um meio eficaz de mitigar as incertezas e vulnerabilidades impostas pela crise ambiental global, especialmente no que diz respeito aos seus impactos nos municípios.

É nas cidades que a crise se manifesta de forma mais trágica e diversa, como por meio da poluição, da escassez de água, das ondas de calor e da vulnerabilidade da população.

Por essas razões, é com grande orgulho que apresento ao público este segundo Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa de Contagem. O primeiro foi entregue em 2020.

Este inventário oferece uma análise detalhada e personalizada das emissões de GEE no município, identificando, de maneira eficiente, o perfil das emissões e os setores em que estas se concentram de forma mais expressiva.

Trata-se, portanto, de um instrumento valioso para orientar as ações municipais destinadas à redução das emissões de GEE, contribuindo para o enfrentamento das mudanças climáticas no âmbito local.

É importante destacar que este trabalho seguiu metodologias internacionalmente reconhecidas e também utilizadas por organizações de referência, como o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), no caso de inventários estaduais, e o *Global Protocol for Community-Scale GHG Emissions* (GPC), no caso de inventários municipais.

Por fim, tenho certeza de que este inventário contribuirá para sensibilizar os gestores municipais quanto à relevância das questões relacionadas às mudanças climáticas e às emissões de gases de efeito estufa em Contagem.

Boa leitura!

MARÍLIA CAMPOS

Prefeita de Contagem

Secretaria-Geral

O Papel Fundamental do Inventário de Emissões de GEE na Gestão Ambiental do Município de Contagem

Em um mundo cada vez mais atento às questões ambientais, as estratégias para enfrentar a emergência climática se tornam não apenas uma necessidade, mas uma responsabilidade coletiva. Um dos passos mais importantes para mitigar os impactos do aquecimento global é a quantificação e a gestão das emissões de gases de efeito estufa (GEE).

Os gases de efeito estufa (GEE) foram e continuam sendo essenciais para o desenvolvimento da vida no nosso planeta, uma vez que são substâncias capazes de absorver a radiação infravermelha refletida pela Terra após absorção da luz solar, formando então uma “barreira” que impede o calor de voltar para o espaço e o difunde no ambiente. Contudo, a ação antrópica tem aumentado a concentração dos GEE de forma descontrolada, gerando efeitos climáticos adversos, entre eles o aquecimento global.

Nesse contexto, a elaboração de um inventário de emissões de GEE se destaca como uma ferramenta essencial para o planejamento e a execução de ações sustentáveis. Ele vai além de um simples levantamento técnico; é um instrumento estratégico que permite a medição precisa das fontes de emissões, além de possibilitar a análise detalhada de sua magnitude.

Ao mapear as emissões de gases que contribuem para o aquecimento global, o inventário fornece uma visão clara das áreas que precisam de intervenção, e, conseqüentemente, ajuda a identificar oportunidades para a redução desses impactos.

Este processo de levantamento e organização de dados é vital para a definição de metas concretas e ações eficazes para a mitigação das emissões. A transparência na coleta e sistematização das informações é crucial para o fortalecimento da confiança pública e para a construção de um compromisso firme com a sustentabilidade.

Em consonância com o esforço global de redução de emissões, que reflete diretamente na qualidade de vida das pessoas, Contagem apresenta seu inventário, desenvolvido com utilização de metodologias amplamente reconhecidas, como o Protocolo GHG (Greenhouse Gas Protocol) e as diretrizes do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas), assegurando assim a qualidade e a confiabilidade dos dados obtidos, proporcionando uma base sólida para a tomada de decisões.

Ao apresentar este inventário, a gestão municipal reafirma seu compromisso com a transparência e com a responsabilidade socioambiental. Compartilhar abertamente esses dados não é apenas um ato de prestação de contas, mas um passo fundamental em direção a um futuro mais equilibrado e resiliente. Afinal, o trabalho colaborativo entre o poder público, a sociedade civil e os setores privados é essencial para enfrentarmos os desafios climáticos de maneira eficaz.

A redução das emissões de GEE não é uma tarefa simples, mas é uma urgência que deve ser encarada com seriedade e determinação. É uma mudança de hábitos que exige disciplina e planejamento. Se foi a ação antrópica que gerou o descontrole da

emissão de gases, está em nossas mãos a responsabilidade de reverter esse quadro. Ao incorporar essa visão em sua gestão, o Município se posiciona como um agente de transformação ambiental, promovendo não apenas a mitigação dos impactos climáticos, mas também o fortalecimento de um desenvolvimento sustentável e consciente para as gerações futuras.

MARIA THEREZA CAMISÃO MESQUITA

Coordenadora de Conformidade Climática

ICLEI América do Sul

O município de Contagem integra a Região Metropolitana de Belo Horizonte e destaca-se por sua relevância econômica para o Estado, representando o terceiro maior PIB de Minas Gerais. É um importante polo industrial e vem consolidando a sua centralidade no atendimento da demanda de serviços de transporte e comércio, atacadista e varejo regionais.

Associado à rede ICLEI desde 2009, o município de Contagem, em Minas Gerais, avança em seu compromisso com a agenda de planejamento climático.

Em parceria com ICLEI, em 2020, realizou o primeiro Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa. Agora, finalizamos o segundo relatório, permitindo que a cidade siga monitorando e reduzindo as emissões de Gases de Efeito Estufa. Cada um desses avanços contribui para alcançar a meta de neutralidade de carbono até 2050, proposta pelo Acordo de Paris em 2015, do qual o Brasil é signatário.

O objetivo do 2º IEGEE de Contagem é compreender como suas emissões de GEE se comportaram ao longo do intervalo 2019-2022, trazendo também uma comparação com o 1º IEGEE, referente ao ano de 2018. Com a realização desse inventário, a cidade garante as informações atualizadas e necessárias para desenvolver uma estratégia robusta de mitigação à mudança do clima, focada nas atividades e setores que mais contribuem para as emissões de GEE.

Desta forma, este documento tem o intuito de servir como balizador na proposição de políticas públicas relacionadas a este tema e também como base para a elaboração do Plano de Ação Climática, em elaboração pelo Município, também em parceria com o ICLEI. Trata-se, portanto, de mais um passo rumo à conformidade climática, e o ICLEI se orgulha em fazer parte desta história.

Boa leitura!

RODRIGO PERPÉTUO

Secretário Executivo do ICLEI América do Sul

Lista de Siglas

ADE	Área de Diretrizes Especiais
AFOLU	<i>Agriculture, Forestry and Other Land Use</i> (ou, em português, Agricultura, Florestas e Outros Usos da Terra)
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
AR	<i>Assessment Report</i> (ou, em português, Relatório de Avaliação)
CAF	Corporação Andina de Fomento
CEASAMINAS	Centrais de Abastecimento de Minas Gerais
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
EE	Eficiência Energética
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
FJP	Fundação João Pinheiro
GASMIG	Companhia de Gás de Minas Gerais
GEE	Gases de Efeito Estufa
GEX	Grupo Executivo
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GNV	Gás Natural Veicular
GPC	<i>Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories</i> (ou, em português, Protocolo Global para Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa na Escala da Comunidade)
GT	Grupo de Trabalho
GWP	<i>Global Warming Potential</i> (ou, em português, Potencial de Aquecimento Global)
HFC	Hidrofluorcarbono
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEGEE	Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa
IEMA	Instituto de Energia e Meio Ambiente
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (ou, em português, Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)

IPPU	<i>Industrial Processes and Product Use</i> (ou, em português, Processos Industriais e Uso de Produtos)
IPTU	Imposto sobre a propriedade predial e territorial urbana
LED	<i>Light Emitting Diode</i> (ou, em português, Diodo Emissor de Luz)
LINSE	Laboratório de Inspeção de Edificações em Eficiência Energética
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
PFC	Perfluorocarbono
PIB	Produto Interno Bruto
PLAC	Plano de Ação Climática
PMC	Prefeitura Municipal de Contagem
PPM	Pesquisa de Pecuária Municipal
RMBH	Região Metropolitana de Belo Horizonte
RSS	Resíduos de Serviço de Saúde
SEEG	Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa
SIDRA	Sistema de Recuperação Automática
SIM	Sistema Integrado de Mobilidade
SIN	Sistema Interligado Nacional
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
TRANSCON	Autarquia Municipal de Trânsito e Transportes de Contagem
UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i> (ou, em português, Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente)
UFPEL	Universidade Federal de Pelotas
VAB	Valor Adicionado Bruto
WRI	World Resources Institute

Lista de Figuras

Figura 1. Delimitação dos escopos considerados no método GPC	20
Figura 2. Localização do município de Contagem	23
Figura 3. Evolução das emissões de GEE para o município de Contagem de 2019 a 2022	30
Figura 4. Evolução das emissões totais de GEE desagregadas por escopos	31
Figura 5. Perfil de emissões no município de Contagem	33
Figura 6. Evolução das emissões por setor para os anos de 2019 a 2022	34
Figura 7. Emissões de GEE do setor de Energia Estacionária por subsetor entre 2019 e 2022	36
Figura 8. Evolução do consumo de energia elétrica em Contagem por tipo de uso	37
Figura 9. Fator de emissões de CO ₂ para o setor de Energia Estacionária	38
Figura 10. Evolução das emissões de GEE pelo consumo de energia elétrica no município de Contagem	39
Figura 11. Evolução do consumo de combustíveis fósseis no município de Contagem	40
Figura 12. Emissões de GEE do setor de Energia Estacionária pelo consumo de combustíveis fósseis	40
Figura 13. Emissões do setor de Energia Estacionária pelo consumo de combustíveis fósseis por tipo de uso	41
Figura 14. Distribuição das emissões de GEE do setor de Transportes	42
Figura 15. Evolução das emissões por queima de combustíveis fósseis no setor de Transportes por tipo de combustível	43
Figura 16. Evolução das emissões do setor de Resíduos em Contagem de 2019 a 2022	45
Figura 17. Evolução da quantidade de resíduos e recicláveis coletados e recuperados em Contagem	46
Figura 18. Evolução da emissão oriunda da disposição final no Aterro Sanitário Municipal Perobas	47
Figura 19. Evolução da emissão oriunda do tratamento de efluentes líquidos domésticos	48
Figura 20. Resultados gerais do setor de AFOLU	48
Figura 21. Emissões e remoções em Contagem	49
Figura 22. Evolução das emissões por setor para os anos de 2018 a 2022	52

Lista de Quadros

Quadro 1. Estrutura do relatório	18
Quadro 2. Delimitação dos escopos considerados no método GPC	20
Quadro 3. Descrição dos setores de emissão	21
Quadro 4. Informações sobre o município de Contagem	23
Quadro 5. Principais GEE e suas atividades geradoras	26
Quadro 6. Setores e subsetores considerados no IEGEE de Contagem	26

Lista de Tabelas

Tabela 1. Potencial de Aquecimento Global (<i>GWP</i> , sigla em inglês) dos Gases de Efeito Estufa	25
Tabela 2. Emissões totais de GEE do município de Contagem por setor e por ano	35
Tabela 3. Emissões de CO ₂ e por subsetor de Energia Estacionária em Contagem por ano	36
Tabela 4. Emissões de CO ₂ e por subsetor de Transportes em Contagem por ano ..	42
Tabela 5. Emissões de CO ₂ e por subsetor de Resíduos em Contagem por ano	45
Tabela 6. Emissões totais de GEE do município de Contagem para os anos de 2018 a 2022	53
Tabela 7. Emissões totais de GEE do município de Contagem para os anos de 2018 a 2022	55
Tabela B1. Fatores de Emissão do Sistema Integrado Nacional (Fator médio anual)	65
Tabela B2. Densidades e Poder Calorífico Inferior (PCI) por tipo de combustível	65
Tabela B3. Fatores de Emissão de GEE (Fontes Estacionárias/Setor Energia/Subsetor Construções Residenciais, Agricultura, Silvicultura e Pesca) em quilograma de GEE por Terajole (TJ)	66
Tabela B4. Fatores de Emissão de GEE (Fontes Estacionárias/Setor Energia/Subsetor Construções Comerciais e Institucionais)	66
Tabela B5. Fatores de Emissão de GEE (Fontes Estacionárias/Setor Energia/Subsetor Indústria de Manufatura e Construção)	66
Tabela B6. Fatores de Emissão de GEE (Fontes Movéis/Transporte Terrestre)	67
Tabela B7. Fatores de Emissão de GEE (Fontes Movéis/Transporte Aéreo)	67
Tabela B8. Fatores de Correção de CH ₄ (Tratamento de efluentes)	67
Tabela B9. Fatores de Emissão de GEE (Tratamento de efluentes)	68
Tabela B10. Fatores de Correção de CH ₄ (Resíduos Sólidos)	68
Tabela B11. Composição Gravimétrica	68

Sumário

Sobre o ICLEI	16
1. Introdução	17
2. Metodologia	19
2.1. Fronteiras do Inventário	22
2.2. Período coberto pelo Inventário	24
2.3. Gases de Efeito Estufa	25
2.4. Setores de atividade	26
2.5. Método de cálculo	28
3. Visão Geral dos Resultados	29
3.1. Emissões por Escopo	30
4. Avaliação dos Resultados por Setor de Emissão	32
4.1. Setor de Energia Estacionária	35
4.1.1. Energia Elétrica	37
4.1.2. Combustíveis Fósseis	39
4.2. Setor de Transportes	41
4.2.1. Emissões por tipo de transporte	41
4.2.2. Emissões por tipo de combustível	43
4.3. Setor de Resíduos	44
4.3.1. Disposição final de resíduos sólidos	45
4.3.2. Disposição e tratamento de efluentes líquidos	47
4.4. Setor AFOLU	48
4.5. Setor IPPU	50
5. Comparação com o Inventário Anterior	51
6. Considerações Finais	54
6.1. Recomendações Iniciais a partir da elaboração do Inventário	56
6.1.1. Sobre as recomendações e oportunidades de melhoria da informação por setor	56

6.1.2. Sobre o fornecimento e atuação da governança climática local para que o processo de elaboração do inventário municipal seja progressivamente melhorado	56
6.1.3. Sobre indicações preliminares de iniciativas com capacidade de impactar positivamente a mitigação do Município	57
Referências Bibliográficas	59
ANEXO A. Método de Cálculo das Emissões e Remoções de GEE	61
A.1. Energia Estacionária e Transportes	61
A.1.1. Consumo de Combustíveis	61
A.2. Resíduos	62
A.2.1. Resíduos sólidos destinados a aterros	62
A.2.2. Efluentes Domésticos	63
A.3. Agricultura, Florestas e Outros Usos da Terra	64
ANEXO B. Fatores de Emissão	65
B.1. Energia estacionária	65
B.2. Transportes	67
B.3. Resíduos	67

Sobre o ICLEI

O ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade é uma rede global que trabalha com mais de 2.500 governos locais e regionais comprometidos com o desenvolvimento urbano sustentável. Ativo em mais de 125 países, o ICLEI influencia a política de sustentabilidade e impulsiona ações locais para um desenvolvimento com emissões zero, baseado na natureza, igualitário, resiliente e circular. A rede e sua equipe de especialistas trabalham junto aos associados, oferecendo acesso a conhecimento, parcerias e capacitações para gerar mudanças sistêmicas em prol da sustentabilidade urbana. Na América do Sul, o ICLEI conecta seus mais de 140 governos associados em 8 países a este movimento global, com três escritórios nacionais estabelecidos na Colômbia, Argentina e Brasil.

1

INTRODUÇÃO

A contabilização e gestão das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), visando compreender a situação para tomar decisões assertivas e baseadas em evidências, são partes fundamentais da implementação da agenda climática em nível local. Nas cidades, as informações sobre as emissões são obtidas por meio de Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa (IEGEE).

O Inventário é um instrumento que visa quantificar e monitorar as emissões de uma instituição ou comunidade. Ao definir sua abrangência, identificar as fontes e sumidouros de GEE e contabilizar suas emissões ou remoções, permite a compreensão do perfil das emissões resultantes das atividades dos diversos setores.

A nível municipal, os inventários são elaborados a partir do Protocolo Global para Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa na Escala da Comunidade (ou, em inglês, *Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories - GPC*). Com este modelo, pode-se delimitar o escopo do projeto, identificar as atividades fontes de GEE e possíveis sumidouros, e contabilizar as emissões ou remoções. A metodologia encontra-se detalhada no Capítulo 2.

Contagem teve seu 1º IEGEE elaborado em parceria com o ICLEI no ano de 2020, tendo como referência o ano de 2018. Este relatório apresenta os resultados do 2º IEGEE de Contagem, bem como mapeamento das fontes de emissão, os dados de entrada para cada fonte emissora, as premissas adotadas e as referências sobre onde os dados foram extraídos. Sua estrutura é apresentada no quadro a seguir.

Quadro 1. Estrutura do relatório

Capítulo 1	Introdução	Contextualiza o 2º IEGEE de Contagem e apresenta a estrutura deste relatório técnico;
Capítulo 2	Metodologia	Define a abrangência do IEGEE, descreve os princípios de contabilização de sua elaboração e apresenta o método de cálculo;
Capítulo 3	Visão geral dos resultados	Apresenta os resultados gerais do IEGEE;
Capítulo 4	Avaliação dos resultados por setor	Apresenta os resultados do IEGEE para cada setor e subsetor de atividade;
Capítulo 5	Comparação com o Inventário anterior	Apresenta os resultados do 1º IEGEE (ICLEI, 2020), referente ao ano de 2018, bem como apresenta uma avaliação da série histórica de 2018 a 2022;
Capítulo 6	Aprimoramento e possíveis melhorias	Apresenta tópicos identificados como sensibilidades no processo metodológico e organizacional do IEGEE, além de indicar caminhos alternativos para próximas atualizações;
Capítulo 7	Conclusão	Sintetiza os resultados e discussões deste IEGEE.

Fonte: Elaboração própria, 2024.

2

METODOLOGIA

Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa na escala de cidades são elaborados com o GPC, desenvolvido em 2014 pelo ICLEI, *World Resources Institute (WRI)* e o *Climate Leadership Group (C40 Cities)*. O principal objetivo deste método é ser uma estrutura robusta e assertiva, que permite maior agregação e confiabilidade de dados para inventários de comunidades, cidades e regiões. É uma abordagem que também permite análises comparativas entre inventários de emissões de diferentes governos locais, ao estabelecer requisitos e prover orientações para os cálculos e reporte dos GEE.

Nos inventários de cidades e regiões preparados de acordo com o método do GPC, são definidos os Escopos 1, 2 e 3 de acordo com a localização geográfica da cidade ou região das atividades, como apresentado na Figura 1 e no Quadro 2.

Figura 1. Delimitação dos escopos considerados no método GPC



Fonte: Elaboração própria a partir de WRI, C40 Cities e ICLEI (2014).

Quadro 2. Delimitação dos escopos considerados no método GPC

Escopo 1	Emissões de GEE por fontes localizadas dentro dos limites do município;
Escopo 2	Emissões de GEE que ocorrem como consequência do uso de eletricidade fornecida pela rede nacional dentro dos limites do município;
Escopo 3	Emissões de GEE que ocorrem fora dos limites do município como resultado de atividades que ocorrem dentro de seus limites;

Fonte: Elaboração própria a partir de WRI, C40 Cities e ICLEI (2014).

Além da desagregação em escopos, o GPC também prevê a alocação das emissões por setores e subsetores, com objetivo de permitir que todas as atividades sejam identificadas. Para tanto, determina seis diferentes setores, nos quais as atividades emissoras podem ser alocadas. A seguir, é apresentada uma descrição para cada setor de emissão:

Quadro 3. Descrição dos setores de emissão

Setor 1	Energia Estacionária	Neste setor estão incluídas emissões geradas devido à produção, transformação, distribuição e consumo de diferentes formas de energia. Incluem-se também emissões fugitivas, ou seja, aquelas que ocorrem a partir da emissão intencional ou acidental de GEE durante os processos de extração, processamento, transformação e distribuição de combustíveis fósseis, como por exemplo: emissões de vazamentos de gás natural e as emissões de metano durante a mineração de carvão e queima durante a extração e refino de óleo. O GPC define as principais fontes segregadas em: edifícios residenciais; edifícios comerciais e institucionais; indústrias de manufatura e de construção; indústria de energia; agricultura, silvicultura e pesca; fontes não especificadas; emissões fugitivas de mineração, processamento, estoque e transporte de carvão; e emissões fugitivas de vazamento de óleo e gás natural.
Setor 2	Transportes	Neste setor estão incluídas emissões geradas pela queima de combustíveis realizada por diversos tipos de transporte existentes no município, além de, quando existente, o consumo de energia por veículos elétricos. As fontes são segregadas por modal: terrestre, ferroviário, fluvial, aéreo e off-road. São avaliados: consumo de gasolina, etanol, óleo diesel, gasolina de aviação e querosene de aviação, consumo de Gás Natural Veicular (GNV), consumo de combustível de viagens nacionais, e consumo de óleo diesel no transporte público.
Setor 3	Resíduos	Neste setor estão incluídas as emissões relacionadas exclusivamente com o tratamento de resíduos sólidos e de efluentes líquidos. São estimadas as emissões de metano (CH ₄), óxido nitroso (N ₂ O) e gás carbônico (CO ₂) oriundas de degradação da matéria orgânica e outros compostos nas diferentes rotas de tratamento aplicadas na gestão de resíduos. As fontes são segregadas em: disposição de resíduos sólidos, tratamento biológico, incineração, e disposição e tratamento de efluentes.
Setor 4	Processos Industriais e Uso de Produtos (ou, em inglês, <i>Industrial Processes and Product Use - IPPU</i>)	Neste setor são estimadas as emissões provenientes de processos industriais, do uso de GEE em produtos e de usos não energéticos de combustíveis fósseis. As principais fontes de emissão estão relacionadas à indústria de transformação (química ou física), como por exemplo, indústrias de ferro, aço e cimento. Ademais, o uso de GEE (como os hidrofluorcarbonos - HFCs) em produtos como geladeiras, espumas ou latas de aerossol também são contabilizados.
Setor 5	Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra (ou, em inglês, <i>Agriculture, Forestry, and Other Land Use - AFOLU</i>)	Neste setor são contemplados os fluxos de GEE oriundos do uso e manejo de solos que influenciam uma variedade de processos do ecossistema, como a fotossíntese, respiração, decomposição, nitrificação/ desnitrificação, fermentação entérica, combustão e outros. Todos esses processos envolvem transformações físicas (combustão, lixiviação e escoamento) e biológicas (atividade de microrganismos, plantas e animais) de carbono e nitrogênio. Neste setor estão descritas as emissões de CO ₂ , CH ₄ e N ₂ O. Para o setor de AFOLU, as fontes são segregadas em: rebanhos, uso da terra, emissões agregadas e outras emissões de não-CO ₂ .

Setor 6	Outras emissões indiretas	Neste setor são computadas as emissões geradas por atividades que ocorrem fora da fronteira do município, mas que têm relação com atividades que ocorrem dentro de seus limites, e que não foram contempladas nos outros setores. Para as estimativas, são consideradas atividades que acarretam emissões indiretas, como, por exemplo, a taxa de desperdício de água residuária gerada no município, mas lançadas além de seus limites, emissões provenientes do consumo de insumos para construção civil e outros. Destaca-se que, de acordo com o GPC, não é uma obrigatoriedade estimar essas emissões.
----------------	----------------------------------	---

Fonte: Elaboração própria, 2024.

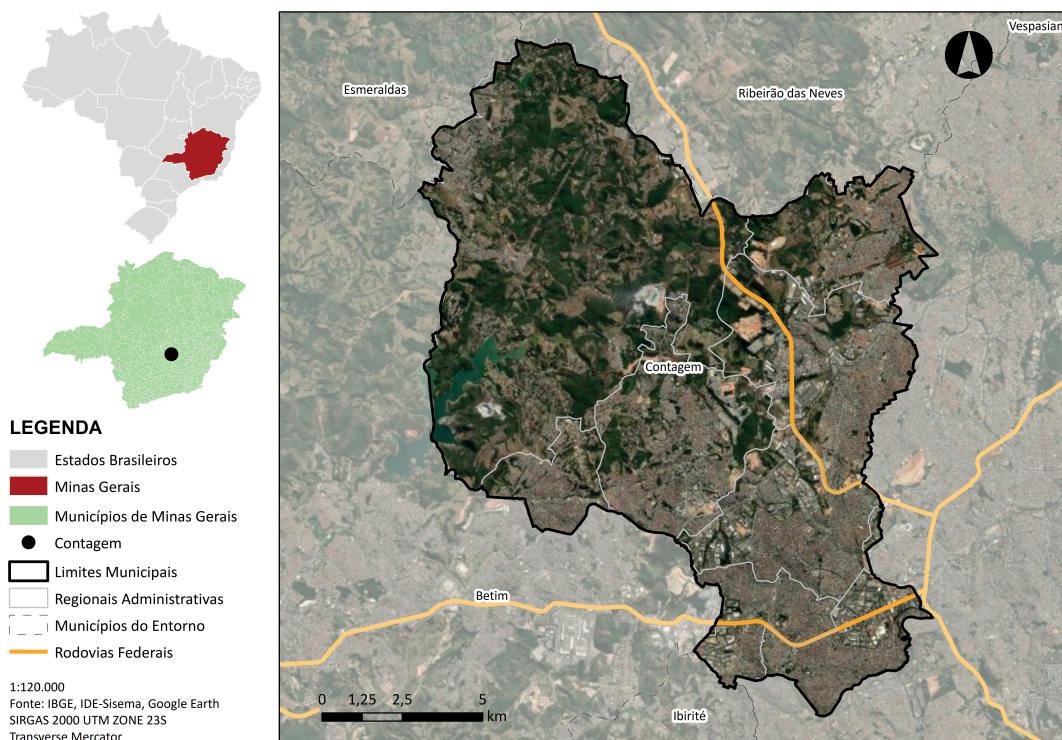
Para a realização do Inventário é necessário definir os limites do sistema analisado. Este passo inclui a delimitação da fronteira geográfica, identificação de atividades fontes de emissão e o intervalo de tempo coberto, aspectos que serão descritos nos tópicos a seguir.

As fronteiras do IEGEE foram projetadas para fornecer uma compreensão abrangente das principais fontes de emissões do município de Contagem. Na falta de dados adequados para seguir esse princípio, as emissões/remoções podem ser estimadas a partir de métodos estatísticos como a média, interpolação e extrapolação, desde que bem fundamentados e justificados, sendo utilizado o resultado mais consistente possível para garantir o rastreamento de tendências ao longo do tempo.

2.1. Fronteiras do Inventário

O município de Contagem está localizado no estado de Minas Gerais e integra a Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), composta por 34 municípios. Faz divisa com a capital, Belo Horizonte, e outros 4 municípios da RMBH (Betim, Esmeraldas, Ibirité e Ribeirão das Neves). Com área territorial de 194,746 km² (IBGE, 2023a) e população residente de 621.863 pessoas, a densidade demográfica é de 3.193,20 hab./km² (IBGE, 2023b), sendo a segunda cidade com maior densidade demográfica no estado de Minas Gerais, atrás apenas de Belo Horizonte. A Figura 2 ilustra a localização do município de Contagem.

Figura 2. Localização do município de Contagem



Fonte: Elaboração própria, 2024.

A emancipação política de Contagem ocorreu no contexto de implantação da Cidade Industrial Juventino Dias, o que denota a relevância da Indústria para a região. De acordo com dados da Fundação João Pinheiro [2021], a atividade industrial corresponde a 30,9% do Valor Adicionado Bruto (VAB) municipal¹ e o Produto Interno Bruto (PIB) municipal era o terceiro maior de Minas Gerais, com R\$36.479.764,96. No decorrer dos anos, o município foi se consolidando também como um centro de serviços de transportes, comércio atacadista e varejista, onde se localiza, por exemplo, uma unidade das Centrais de Abastecimento de Minas Gerais - CeasaMinas (Prefeitura de Contagem, [s.d.]). As principais informações utilizadas para a caracterização do município e definição dos limites deste IEGEE constam no quadro a seguir.

Quadro 4. Informações sobre o município de Contagem

Caracterização e Limites do Inventário	
Nome do município	Contagem
Estado	Minas Gerais
País	Brasil
Área	194,746 km ²
Limites geográficos	Belo Horizonte, Betim, Esmeraldas, Ibirité, Ribeirão das Neves.

¹ O setor de Serviços (exceto Administração Pública) corresponde a 59,1% dessa receita.

População (estimativas da população residente) ²	2019 - 663.855 habitantes; 2020 - 668.949 habitantes; 2021 - 673.849 habitantes; 2022 - 621.863 habitantes (<i>primeiros resultados do Censo demográfico de 2022, atualizado em 2023</i>).
PIB per capita	54.136,41

Fonte: Elaboração própria a partir de FJP [2021] e IBGE ([2019], [2020], [2021], 2023a, 2023b).

A Macrozona Rural ocupa 28% do território municipal e apresenta grande relevância ambiental, não só para a cidade, mas também para a RMBH. 54% do território é formado pela bacia hidrográfica de Vargem das Flores, 27,5% pela bacia hidrográfica da Pampulha, 15% pela bacia hidrográfica do Arrudas e 3,5% pela bacia hidrográfica do Imbiruçu. Com relação às regionais administrativas, o território está organizado em oito regionais: Vargem das Flores, Nacional, Ressaca, Eldorado, Industrial, Riacho, Sede e Petrolândia.

A área urbanizada do município de Contagem é de 102,33 km² (IBGE, 2022). Na região da bacia hidrográfica de Vargem das Flores observa-se ocupação de baixa a média densidade. Grande parte da bacia está localizada na macrozona rural, tendo o Plano Diretor, ainda, delimitado a área como Área de Diretrizes Especiais (ADE Vargem das Flores), sujeita a critérios e parâmetros especiais de ocupação e uso do solo, com vistas à proteção e conservação dos recursos hídricos e ao desenvolvimento sustentável da bacia.

De maneira geral, inclusive na parte da bacia localizada na macrozona rural, observa-se a presença de loteamentos urbanos irregulares, alguns sem solução adequada para o esgotamento sanitário. De acordo o Censo demográfico (IBGE, 2010), 92,2% dos domicílios do município contam com esgotamento sanitário adequado e 68,3% dos domicílios urbanos estão localizados em vias públicas com arborização.

2.2. Período coberto pelo Inventário

O método GPC foi desenhado para contabilizar as emissões de GEE em um único ano de reporte. O guia recomenda que os inventários cubram, minimamente, um período contínuo de 12 meses, idealmente alinhado a um ano civil ou financeiro, consistente com os períodos comumente usados pelas cidades ou regiões. A presente análise contabiliza as emissões referentes ao período de 2019 a 2022 e relaciona à análise das emissões do 1º IEGEE, referentes ao ano de 2018.

² Estimativas da população, disponíveis em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?edicao=17283&t=downloads>>. Acesso em: 03 set. 2024.

2.3. Gases de Efeito Estufa

De acordo com o *GPC*, os inventários devem contemplar os diferentes tipos de GEE que fazem parte do reporte do Protocolo de Kyoto, sendo os seis principais: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido de nitrogênio (N_2O), hidrofluorcarbono (HFCs), perfluorcarbono (PFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF_6).

Cada GEE possui um Potencial de Aquecimento Global (ou, em inglês, *Global Warming Potential* - *GWP*) associado, que é a medida do quanto cada gás contribui para o aumento das temperaturas globais. O *GWP* é um coeficiente relativo que compara o potencial de aquecimento de uma determinada quantidade de gás com a mesma quantidade de CO_2 que, por convenção, tem *GWP* de valor igual a 1, assim, o *GWP* é sempre expresso em termos de equivalência de CO_2 (CO_2e).

Os valores de *GWP* podem ser atualizados ao longo do tempo de acordo com novas descobertas em termos de estimativa de impacto dos gases. Essas atualizações são reportadas em relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (ou, em inglês, *Intergovernmental Panel on Climate Change* - *IPCC*). A Tabela 1 apresenta os valores de *GWP* utilizados no atual Inventário de Contagem, provenientes do Quinto Relatório de Avaliação (ou, em inglês, *Fifth Assessment Report* - *AR5*).

Tabela 1. Potencial de Aquecimento Global (*GWP*, sigla em inglês) dos Gases de Efeito Estufa

Gás de Efeito Estufa (GEE)	<i>GWP</i>
Dióxido de Carbono (CO_2)	1
Metano (CH_4)	28
Óxido Nitroso (N_2O)	265
Hexafluoreto de Enxofre (SF_6)	23.500
Hidrofluorcarbono (HFCs)	116 - 12.400
Perfluorcarbono (PFCs)	6.300 - 17.400

Fonte: IPCC (2013).

O IEGEE de Contagem considerou as emissões de CO_2 , CH_4 , N_2O e HFCs, de acordo com as fontes de emissão mapeadas e a disponibilidade de dados. Adicionalmente, também foram computadas as emissões de CO_2 de origem renovável. Os principais GEE e suas atividades geradoras podem ser observados no quadro a seguir.

Quadro 5. Principais GEE e suas atividades geradoras

CO₂	Gerado na queima de combustíveis fósseis (como carvão, petróleo, gás natural e seus derivados) por fontes móveis e estacionárias, em processos industriais, pelo uso de fertilizantes calcário dolomítico e ureia e pelo desmatamento de floresta nativa;
CH₄	Gerado na queima de combustíveis por fontes móveis e estacionárias, na decomposição de matéria orgânica em processos de tratamento anaeróbico de efluentes e resíduos sólidos, fermentação entérica de animais e manejo de dejetos animais;
N₂O	Gerado na queima de combustíveis por fontes móveis e estacionárias, em processos de tratamento de efluentes e uso de fertilizantes nitrogenados;

Fonte: Elaboração própria, 2024.

2.4. Setores de atividade

Como detalhado nos tópicos anteriores, a metodologia do *GPC* desagrega as emissões em setores e subsetores. O Quadro 6 apresenta uma descrição dos setores, suas respectivas fontes de emissão e os órgãos fornecedores de dados do município de Contagem.

Quadro 6. Setores e subsetores considerados no IEGEE de Contagem

Setor	Subsetor	Origem das emissões	Fornecedor de dados
I. Energia Estacionária	I.1 - Edifícios residenciais;	Emissões provenientes de combustão estacionária (consumo de Gás Natural, Gás Liquefeito de Petróleo - GLP e óleo diesel), provenientes do consumo de energia elétrica e de atividades relacionadas ao setor da mineração;	Consumo de combustíveis fósseis - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP); Consumo de Gás Natural - Companhia de Gás de Minas Gerais (GASMIG); Consumo de Energia Elétrica - Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG);
	I.2 - Edifícios comerciais e institucionais;		
	I.3 - Indústrias de manufatura e construção;		
	I.4 - Indústria de energia;		
	I.5 - Atividades agrícolas, florestais e de pesca;		
II. Transportes	II.1 - Rodoviário;	Emissões provenientes de combustão em fontes móveis como veículos e trens;	Consumo de combustíveis - ANP; Consumo de Gás Natural Veicular - GASMIG; Consumo de óleo diesel na frota municipal de ônibus - Autarquia Municipal de Trânsito e Transportes de Contagem (TRANSCON);
	II.2 - Ferroviário;		
	II.3 - Aviação;		

Setor	Subsetor	Origem das emissões	Fornecedor de dados
III. Resíduos	III.1 - Disposição de resíduos em aterros sanitários; III.2 - Incineração e queima a céu aberto; III.3 - Disposição de efluentes domésticos (população sem esgotamento sanitário, volume de efluente tratado por tipo de tratamento);	Emissões provenientes da disposição de resíduos sólidos urbanos e do tratamento de efluentes sanitários;	Volume total de resíduos domésticos e públicos coletados - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS); Volume de Resíduos de Serviços de Saúde (RSS) - SNIS; Fração da população com cobertura de coleta de efluente e tipos de tratamento adotado - Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA);
IV. Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU)	IV.1 - Processos industriais; IV.2 - Uso de Produtos;	Não foram destacadas emissões diretas, relacionadas aos processos industriais e uso de produtos, dentro do setor de IPPU;	Indústrias da região;
V. Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra (AFOLU)	V.1 - Rebanhos: (bovinos, equinos, caprinos, ovinos e suínos); V.2 - Uso da terra: (supressão e remoção vegetal); V.3 - Emissões agregadas e outras de não-CO ₂ (aplicação de calcário, ureia e nitrogênio);	Emissões provenientes de metano produzido nos processos digestivos da pecuária (animais ruminantes), manejo de nutrientes para fins agrícolas, mudanças no uso da terra que alteram a composição do solo e aplicação de fertilizantes;	Número de cabeças de rebanho - Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA, Pesquisa de Pecuária Municipal - PPM/IBGE; Dados sobre emissões - Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG);

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Entre as principais atividades fontes de emissão do IEGEE de Contagem, não foram destacadas as emissões diretas, relacionadas aos processos industriais e uso de produtos, dentro do setor de IPPU, devido à ausência de indústrias de transformação que emitem gases de efeito estufa em seu processo industrial e/ou de informações com maior acurácia. Esse aspecto é discutido e detalhado no tópico 4.5. Além disso, na atual versão do Inventário também não foram estimadas outras emissões indiretas de Escopo 3, uma vez que não é uma exigência do GPC.

2.5. Método de cálculo

Os fatores de emissão utilizados para cada tipo de fonte foram coletados em bases nacionais, como o 4º Inventário Nacional (MCTI, [2021b]), e, quando não disponíveis, em base de dados internacionais, como relatórios do *IPCC*. De maneira simplificada, as estimativas de emissões e remoções podem ser calculadas a partir do uso da fórmula apresentada a seguir:

$$E_{i,g,y} = DA_{i,y} * FE_{i,g,y} * GWP_g$$

Em que:

i	Índice que denota uma atividade da fonte ou sumidouro individual;
g	Índice que denota o tipo de GEE;
y	Ano de referência do relatório;
E_{i,g,y}	Emissões ou remoções de GEE g atribuível à fonte ou sumidouro <i>i</i> durante o ano <i>y</i> , em tCO ₂ e;
DA_{i,y}	Dado de atividade consolidado referente à fonte ou sumidouro <i>i</i> durante o ano <i>y</i> ;
FE_{i,g,y}	Fator de emissão ou remoção de GEE g atribuível à fonte ou sumidouro <i>i</i> durante o ano <i>y</i> , em t GEE g/u;
GWP_g	Potencial de aquecimento global de GEE <i>g</i> , em tCO ₂ e/ t GEE <i>g</i> .

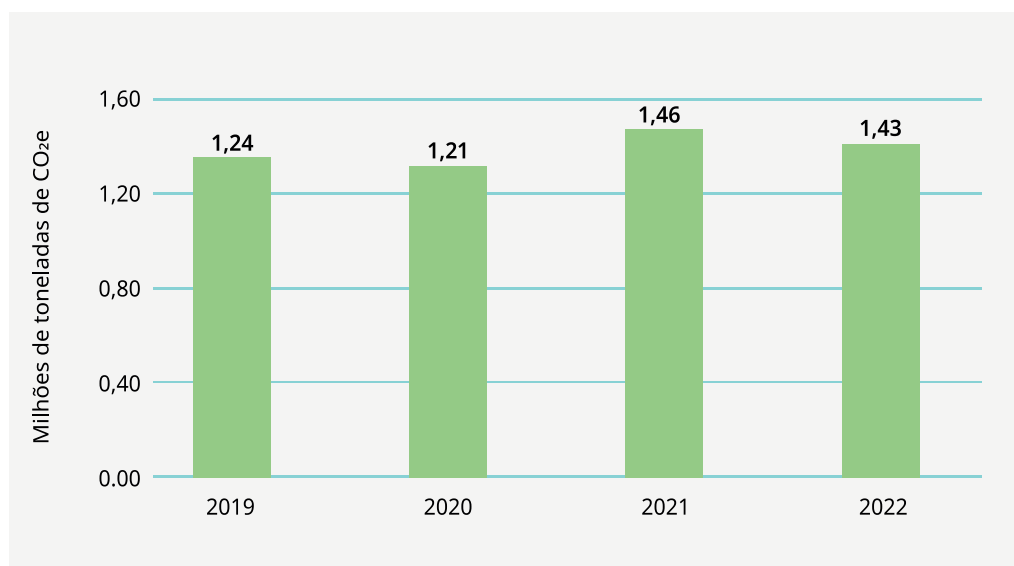
3

VISÃO GERAL DOS RESULTADOS

Em 2019, o município registrou a emissão de 1,24 milhões de toneladas de CO₂e (MtCO₂e), apresentando uma redução de 2% em 2020, com 1,21 MtCO₂e, primeiro ano da pandemia de Covid-19 e também a menor emissão da série analisada. Posteriormente, em 2021, observa-se a emissão de 1,46 MtCO₂e, o que representa um aumento de 21% em relação ao ano anterior. Esse aumento tem como justificativa tanto o início da retomada, mesmo que parcial, das atividades econômicas, quando foi observado um crescimento nas emissões relacionadas às atividades industriais e de circulação de bens e pessoas no setor de Transportes, quanto o aumento do fator de emissão relacionado ao consumo de energia elétrica, visto que 2021 foi o ano com maior acionamento de termelétricas no país. Já em relação a 2022, observou-se nova redução nas emissões, de 2% em relação ao ano anterior, ocasião em que o município foi responsável pela emissão de 1,43 MtCO₂e.

Considerando todo o período analisado, a variação das emissões entre o primeiro ano da série histórica inventariada (2019) e o último (2022) foi de um aumento de 15%. Este comportamento pode ser visualizado na Figura 3.

Figura 3. Evolução das emissões de GEE para o município de Contagem de 2019 a 2022



Fonte: Elaboração própria, 2024.

3.1. Emissões por Escopo

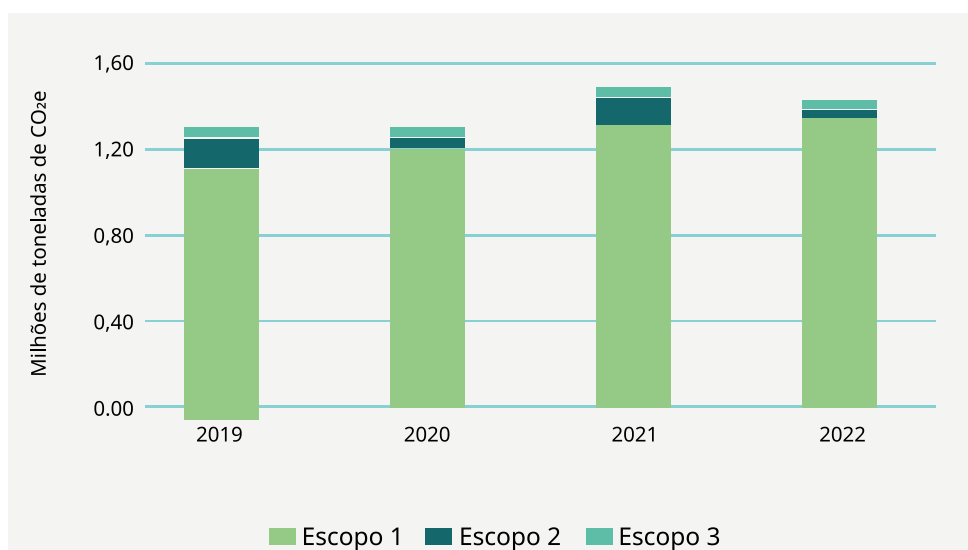
Nesta seção do relatório serão apresentados os resultados das emissões de GEE do município de Contagem, classificadas por escopo. Conforme apresentado anteriormente, o *GPC* categoriza as emissões segundo escopos, visando proporcionar uma perspectiva mais abrangente dos impactos e superar as dificuldades decorrentes das questões de fronteiras na mensuração das emissões de entidades subnacionais.

As emissões de Escopo 1 referem-se às emissões diretas provenientes de atividades realizadas dentro dos limites territoriais do município. Em contraste, as emissões de Escopo 2 estão exclusivamente relacionadas ao consumo de energia elétrica proveniente de sistemas interconectados de distribuição, como o Sistema Interligado Nacional (SIN) no Brasil. Por fim, as emissões de Escopo 3 são consideradas emissões

indiretas, originadas de fontes localizadas externamente aos limites municipais, mas resultantes de atividades sob a responsabilidade direta da administração municipal.

Considerando as emissões de todo período analisado, a maior contribuição decorre de atividades oriundas do Escopo 1, representando 87% do total de emissões do município. Já a segunda maior contribuição é proveniente das emissões de Escopo 2, relacionadas com o consumo de energia elétrica, representando 8% das emissões. As emissões de Escopo 3, menor contribuição, representam 5% das emissões relacionadas principalmente com o tratamento de efluentes fora da fronteira da cidade, como pode ser observado na Figura 4.

Figura 4. Evolução das emissões totais de GEE desagregadas por escopos



Fonte: Elaboração própria, 2024.

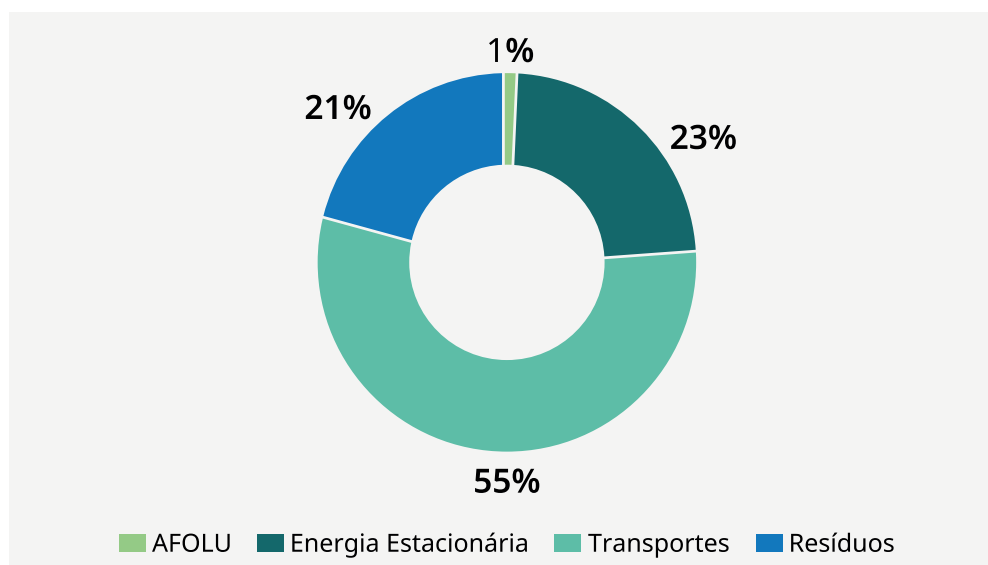
4

AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS POR SETOR DE EMISSÃO

Esta seção se dedica a avaliar as emissões de acordo com as desagregações setoriais apresentadas nas diretrizes do GPC, são elas: Energia Estacionária, Transportes, Resíduos, *IPPU* e *AFOLU*. Em toda série observa-se uma contribuição significativa de emissões relacionadas com o setor de Transportes, responsável por 55% do total de emissões. O segundo principal setor, no que se refere às emissões de GEE, é o setor de Energia Estacionária, responsável por 23% do total das emissões. O setor de Resíduos é o terceiro principal contribuinte, responsável por 21% das emissões. Já o setor de *AFOLU*, referente a emissões relacionadas com atividades agropecuárias e mudança do uso da terra, contribui com apenas 1% do total de emissões. Para o setor de *IPPU*, conforme apresentado na descrição metodológica, não foram destacadas emissões diretas.

A Figura 5 mostra o perfil de emissões líquidas, ou seja, considerando as remoções de GEE do setor de *AFOLU*, o qual incorpora o sequestro de CO₂ da atmosfera que ocorre durante o processo de fotossíntese pela fixação de carbono (C) e liberação de oxigênio (O₂) (IPCC, 2003). Essas remoções podem ser oriundas da manutenção de áreas protegidas, pelo crescimento de vegetação secundária em regeneração, seja natural ou ativa, e, por fim, também é possível observar essa captura nas conversões do tipo do solo que apresentam um maior estoque de carbono (por exemplo, uma antiga área de pastagem que passou a ser uma floresta plantada). A análise é a realizada com base na somatória da contribuição setorial de todos os anos.

Figura 5. Perfil de emissões no município de Contagem



Fonte: Elaboração própria, 2024.

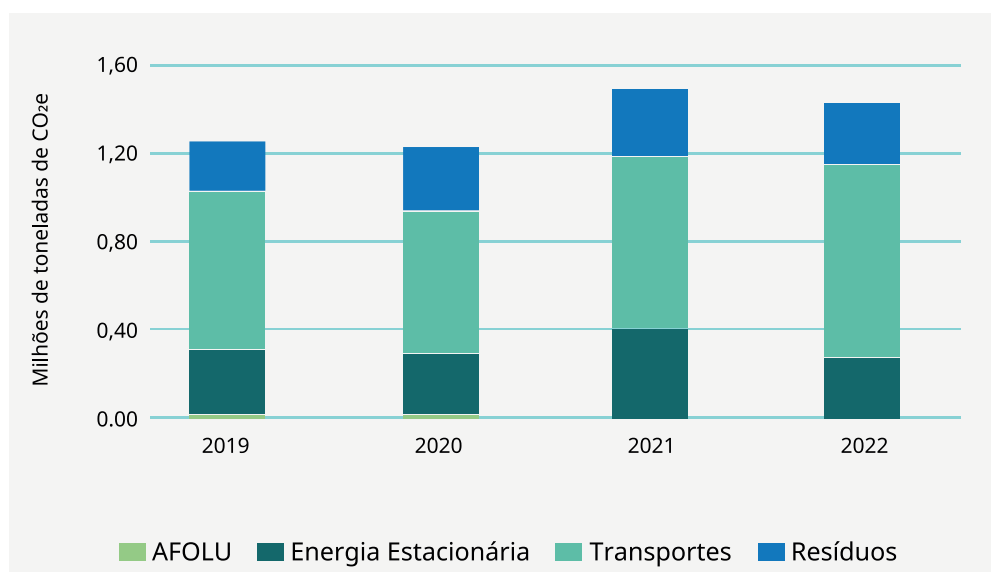
O município de Contagem apresenta um padrão similar das grandes e médias cidades brasileiras, onde o setor de Transportes se apresenta como o maior emissor nos anos analisados. Nos anos de menor contribuição, 2020 e 2021, o setor foi responsável por 52% das emissões locais, já em 2022, ano de maior contribuição, o setor correspondeu a 61% das emissões municipais. Em termos do comportamento das emissões, observa-se uma redução no primeiro ano da pandemia, seguido de um aumento de 17% na retomada das atividades, em 2022.

Já o setor de Resíduos, que apresentou uma contribuição de 18% a 24% no total das emissões municipais, apresentou uma baixa oscilação no comportamento de suas emissões, sendo o ano de 2019 o de menor contribuição, com a emissão de 224 mil toneladas de CO₂e. Isso ocorreu, principalmente, devido a uma diminuição no total de resíduos encaminhados para a disposição final.

Já no setor de Energia Estacionária, o município apresentou uma evolução bastante característica, com fortes flutuações entre os anos. O ano de 2021 se destaca como o de maior contribuição, alcançando 409 mil toneladas de CO₂e, representando um crescimento de 46% em relação ao ano anterior. Esse aspecto foi principalmente impulsionado por mudanças nos fatores de emissão do SIN e pela retomada das atividades econômicas.

Por fim, o setor de AFOLU no município de Contagem apresenta emissões relacionadas principalmente com a alteração no uso da terra e a criação de bovinos. No entanto, como é uma cidade caracterizada pela urbanização, destaca-se que o setor apresenta uma contribuição pouco significativa. Ressalta-se ainda que, em 2021, foi observada a menor contribuição da série analisada, com a emissão de apenas de 93 toneladas de CO₂e, associado principalmente a uma alta taxa de remoção oriunda da regeneração de vegetação secundária e manutenção de áreas protegidas. As emissões de GEE por setor podem ser observadas na Figura 6 e na Tabela 2.

Figura 6. Evolução das emissões por setor para os anos de 2019 a 2022³



Fonte: Elaboração própria, 2024.

³ As emissões totais de AFOLU não aparecem de maneira expressiva na Figura 6 por representarem apenas 1% do total das emissões municipais. O setor é responsável pela emissão média anual de 7,7 mil tCO₂e.

Tabela 2. Emissões totais de GEE do município de Contagem por setor e por ano

Setor de atividade	Emissões de GEE (tCO ₂ e)			
	2019	2020	2021	2022
Energia Estacionária	299.894	280.892	409.169	259.137
Transportes	709.118	635.713	758.106	869.575
Resíduos	224.290	289.626	295.911	292.356
AFOLU	10.150	10.944	93	9.712
Total	1.243.452	1.217.176	1.463.279	1.430.779

Fonte: Elaboração própria, 2024.

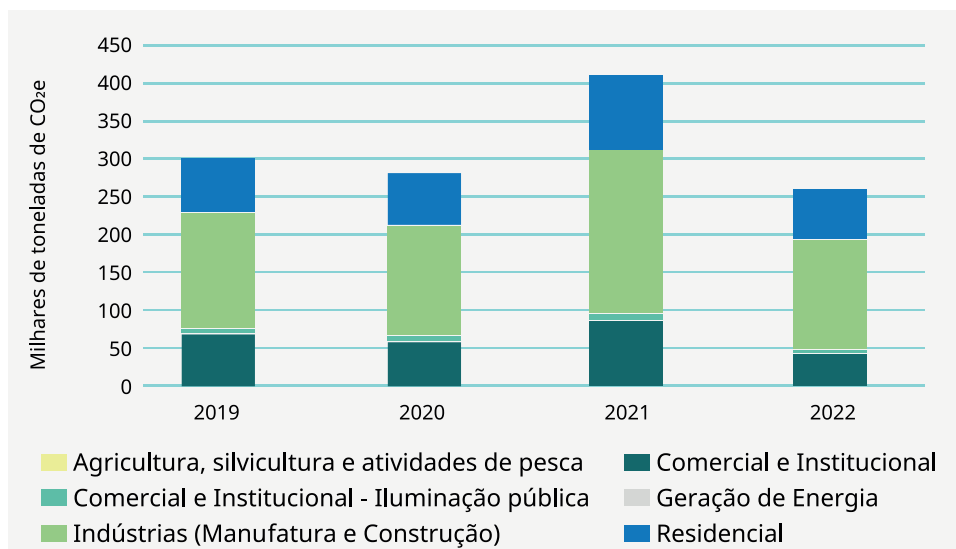
4.1. Setor de Energia Estacionária

As emissões do setor de Energia Estacionária são provenientes da queima de combustíveis utilizados, em geral, para produção de vapor ou energia elétrica; do consumo de energia elétrica; e das perdas técnicas nos sistemas de transmissão e distribuição, sendo desagregadas nos seguintes subsetores: edifícios residenciais; indústrias de manufatura e construção; edifícios comerciais e institucionais; indústrias de geração de energia; e atividades de agricultura, silvicultura e pesca.

O setor de Energia Estacionária exibe uma trajetória caracterizada por flutuações significativas entre os anos. Em 2019, observa-se a contribuição setorial de 299 mil tCO₂e, com uma diminuição de 6% em 2020, seguido de um aumento significativo de 46%, com a emissão de 409 mil tCO₂e em 2021. Já em 2022, observa-se uma redução de 37%.

É importante destacar que aproximadamente 55% das emissões ao longo da série são oriundas do consumo energético em indústrias de manufatura e construção, corroborando com o perfil econômico fortemente industrial apresentado pelo município. Edifícios residenciais são responsáveis por 25% das emissões, enquanto edifícios comerciais respondem por 20% das emissões setoriais. As emissões do setor podem ser observadas na Figura 7 e na Tabela 3.

Figura 7. Emissões de GEE do setor de Energia Estacionária por subsetor entre 2019 e 2022⁴



Fonte: Elaboração própria, 2024.

Tabela 3. Emissões de CO₂e por subsetor de Energia Estacionária em Contagem por ano

Subsetor	Toneladas de CO ₂ e			
	2019	2020	2021	2022
Agricultura, Silvicultura e Atividades de Pesca	12	119	199	27
Comercial e Institucional	64.257	55.362	84.195	41.460
Comercial e Institucional - Iluminação Pública	2.914	2.476	4.679	1.182
Geração de Energia	238	215	337	119
Indústrias (Manufatura e Construção)	159.003	152.471	220.973	150.319
Residencial	73.468	70.249	98.785	66.030
Total	299.892	280.892	409.168	259.137

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Nas próximas seções serão apresentados os resultados obtidos com base nas principais fontes de emissão, bem como serão descritas justificativas para a compreensão do comportamento das emissões ao longo dos anos.

⁴ Os dados relacionados às emissões por atividades de agricultura, silvicultura e atividades de pesca, comercial e institucional (iluminação pública), e geração de energia não aparecem de maneira expressiva na Figura 7 por representarem, no total, apenas 1% das emissões, considerando a contribuição de cada ano.

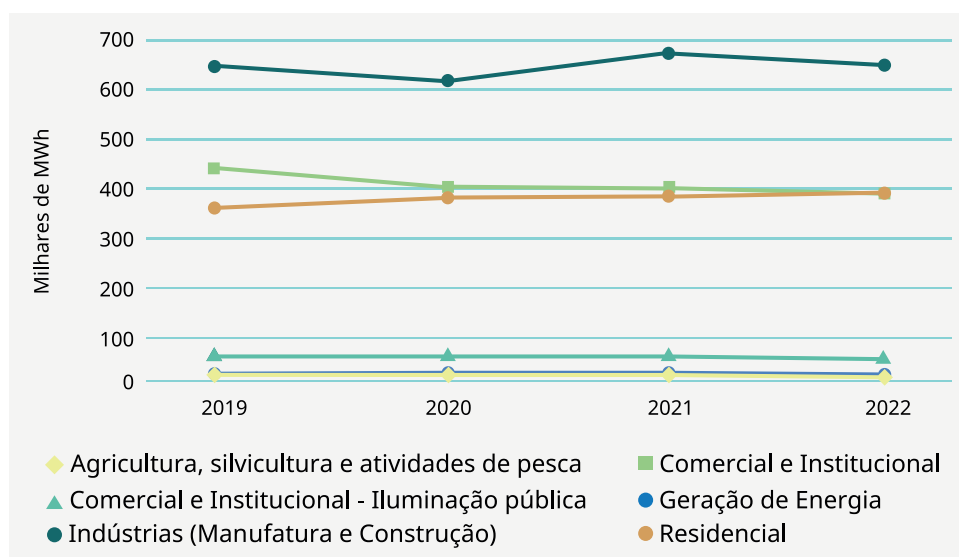
4.1.1. Energia Elétrica

As emissões decorrentes do consumo de energia elétrica, abrangendo edifícios, indústrias, iluminação pública e as perdas na transmissão e distribuição, representam aproximadamente 39% das emissões do setor de Energia Estacionária. Essa contribuição alcançou seu pico em 2021, com 49%, e o mínimo em 2022, com 25%.

São utilizadas duas principais variáveis para estimar as emissões relacionadas à energia elétrica, sendo elas, o consumo observado no município e o fator de emissão do SIN. Em relação ao consumo, observa-se que o uso de energia elétrica em indústrias de manufatura e construção se destaca, assim como o consumo em edifícios residenciais e comerciais, sendo que essas três atividades são responsáveis por aproximadamente 97% da demanda energética na cidade.

Destaca-se que o consumo em indústria e comércios apresentou uma pequena redução em 2020, possivelmente associada à uma recessão econômica atrelada ao primeiro ano da pandemia de Covid-19. Já o consumo de residências apresentou um pequeno aumento nos anos observados, o que corrobora com a análise dos pesquisadores do Laboratório de Inspeção de Edificações em Eficiência Energética da Universidade Federal de Pelotas (Linse/ UFPel), onde foi observado aumento nos padrões médios de consumo de energia elétrica residencial em decorrência da pandemia, com o aumento de tarifas mediante às novas necessidades, como o *home office*, o ensino à distância e o prolongamento do tempo nas casas de maneira geral (UFPel, 2021). Esse padrão apresentou uma forte tendência de continuidade nos anos seguintes, com os regimes de trabalho híbridos ou não presenciais e ensino remoto, mesmo após o final do período de isolamento social. Os padrões de consumo podem ser observados na Figura 8.

Figura 8. Evolução do consumo de energia elétrica em Contagem por tipo de uso⁵



Fonte: Elaboração própria, 2024.

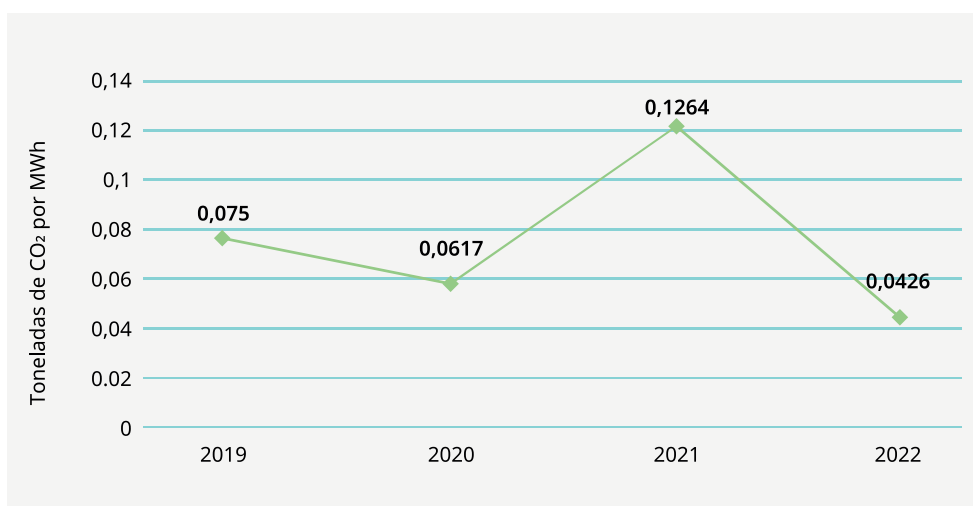
⁵ Os dados relacionados ao consumo de energia elétrica associado à agricultura, silvicultura e atividades de pesca, e à geração de energia, são pouco significativos, respondendo por apenas 0,5% do total geral (soma de todos os anos), por isso não aparecem de maneira significativa na Figura 8.

Outro aspecto importante para se estimar as emissões oriundas do consumo de energia elétrica é o seu respectivo fator de emissão. Os Fatores de Emissão de CO₂ são utilizados em diversas aplicações que necessitam do fator médio de emissão do SIN no Brasil. Esses fatores têm como propósito estimar a quantidade de CO₂ associada à geração de energia elétrica específica e são disponibilizados mensalmente pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI, [2022]). Para realizar os cálculos desses Fatores de Emissão, o MCTI disponibiliza, na forma de um fator médio, a ponderação das emissões da geração, abrangendo todas as usinas que estão produzindo energia, não se limitando apenas às que estão funcionando na margem.

O fator médio é um coeficiente válido para todo o território nacional, que considera as usinas do país que estão produzindo energia naquele período e que reflete a média das emissões de GEE em relação ao consumo de energia ou combustível específico para um determinado setor ou atividade (MCTI, 2021a). É importante observar que esse fator médio é influenciado por variações climáticas, como a ausência de chuvas ou eventos extremos de precipitação. Essas variações climáticas podem afetar diretamente a geração de energia, principalmente porque a matriz energética brasileira depende significativamente de fontes hídricas, como a energia hidrelétrica.

Em períodos de seca prolongada, as hidrelétricas podem operar com capacidade reduzida, resultando em menor geração de energia. Nesse cenário, é comum uma maior demanda por outras fontes, como termelétricas, que podem ter um perfil de emissão mais elevado. Isso pode levar a um aumento temporário nos fatores médios de emissão associados à geração de eletricidade, pois a proporção de energia proveniente de fontes com maior intensidade de carbono é maior. O uso dessas fontes fósseis em termelétricas para geração de eletricidade cresceu, passando de 15%, em 2020, para 20%, em 2021 (Instituto de Energia e Meio Ambiente - IEMA, 2022). A Figura 9 traz a evolução dos fatores médios de emissão de CO₂. Destaca-se que, em 2022, observa-se o comportamento contrário, de maior utilização de fontes limpas e, conseqüentemente, um menor fator de emissão.

Figura 9. Fator de emissões de CO₂ para o setor de Energia Estacionária

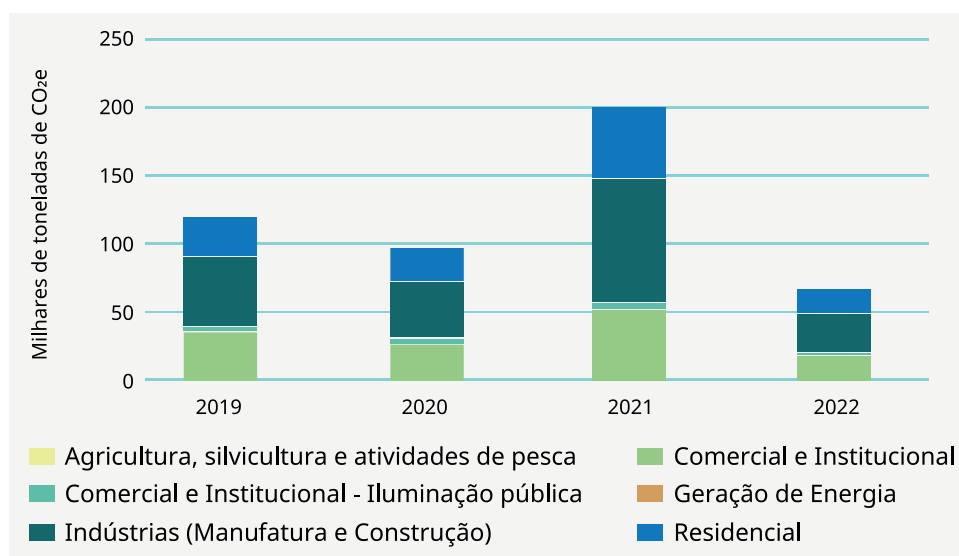


Fonte: Elaboração própria a partir de MCTI [2022].

Esses dois fatores conjugados, o fator de emissão e o consumo, influenciam o comportamento das emissões no período analisado, marcadas por uma forte oscilação. Em 2019, o Município foi responsável pela emissão de 121 mil tCO₂e,

seguido de uma redução de 20% no ano de 2020. Já em 2021, observa-se o ano de maior contribuição em termos de emissão, atingindo o patamar de 203 mil tCO₂e, associado tanto com a retomada do consumo, quanto ao aumento expressivo no fator de emissão, culminando em um aumento de 110% nas emissões. Já em 2022, é observado o ano de menor emissão da série, com a contribuição de 66 mil tCO₂e, relacionada majoritariamente com a redução significativa do fator de emissão. A Figura 10 apresenta a evolução de emissões relacionadas com o consumo de energia elétrica, com destaque para emissões relacionadas às indústrias de manufatura e construção, seguido da contribuição de residências e edifícios comerciais e institucionais.

Figura 10. Evolução das emissões de GEE pelo consumo de energia elétrica no município de Contagem⁶



Fonte: Elaboração própria, 2024.

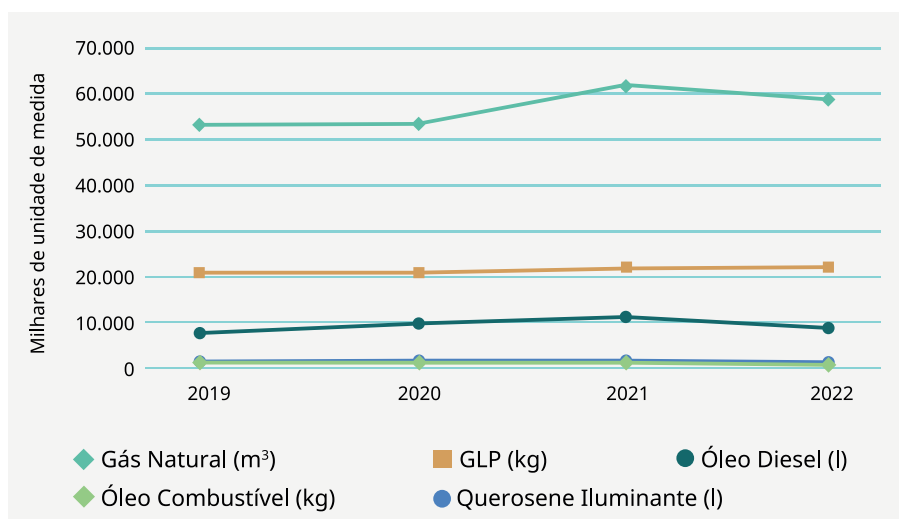
4.1.2. Combustíveis Fósseis

As emissões oriundas de combustíveis fósseis são provenientes da utilização de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), utilizado principalmente para a cocção em residências, gás natural (utilizado em atividades de indústrias) e óleo diesel (utilizado principalmente em edifícios comerciais e institucionais). Em Contagem, essas emissões correspondem, em média, a 65% das emissões totais do setor de Energia Estacionária.

Em termos de consumo, para o GLP, gás natural e óleo diesel, observa-se um progressivo aumento até 2021, com posterior redução ou estabilização, enquanto a contribuição em termos do consumo de querosene iluminante é pouco expressiva. A Figura 11 apresenta as informações de consumo para os diferentes tipos de combustíveis, sendo que para óleo diesel e querosene iluminante os dados são apresentados em litros, enquanto que para o GLP os dados são apresentados em quilogramas e, para o gás natural, os dados são apresentados em m³.

⁶ Assim como mencionado com relação ao consumo de energia elétrica, as emissões relacionadas com atividades de agricultura, silvicultura e atividades de pesca, e de geração de energia são pouco significativas e, portanto, não aparecem de maneira significativa na Figura 10.

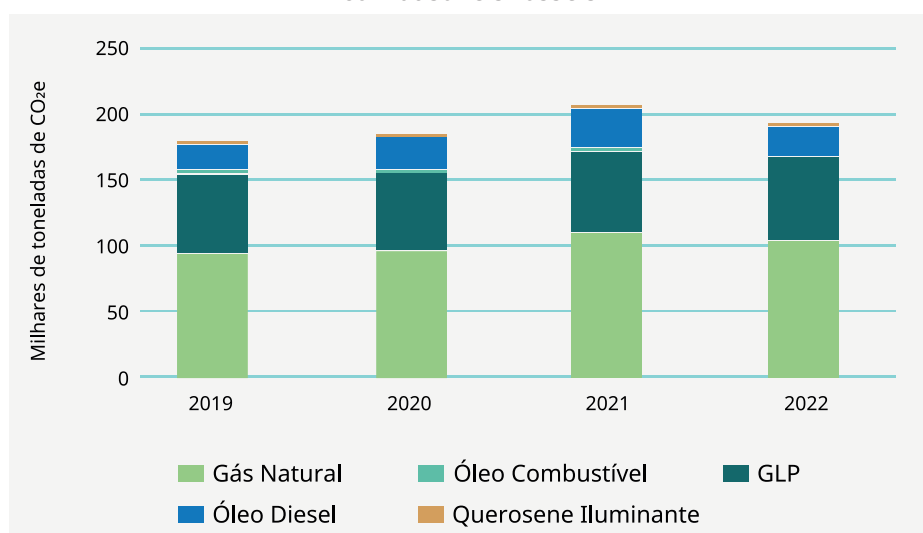
Figura 11. Evolução do consumo de combustíveis fósseis no município de Contagem⁷



Fonte: Elaboração própria, 2024.

Em termos de emissão, em 2019 foi observada a emissão de 178 mil tCO₂e, com gradativo aumento de 15% até 2021, onde atingiu o pico de emissão relacionado com o consumo de combustíveis fósseis, com a contribuição de 205 mil tCO₂e. Já em 2022, foi observada uma redução de 6%, com a emissão de 192 mil tCO₂e. Nesse contexto, o gás natural emerge como o principal emissor e modulador do comportamento das emissões, no entanto também são observadas contribuições significativas de emissões oriundas do consumo de GLP e, em menor escala, de óleo diesel. A Figura 12 apresenta a evolução das emissões para o período analisado.

Figura 12. Emissões de GEE do setor de Energia Estacionária pelo consumo de combustíveis fósseis⁸



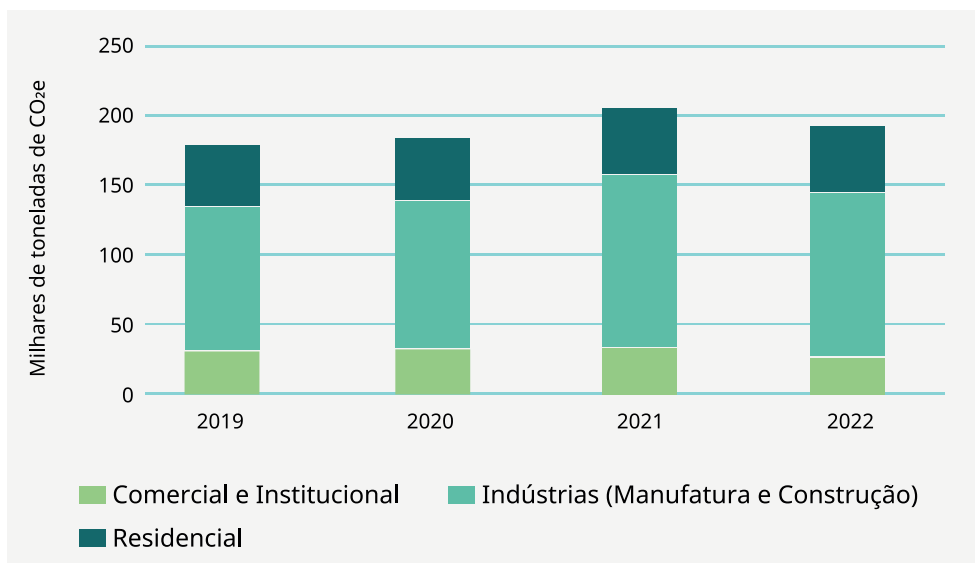
Fonte: Elaboração própria, 2024.

⁷ Os dados de consumo de Óleo Combustível e de Querosene Iluminante indicam, respectivamente, um consumo médio de 777 mil kg e 1.250 milhões de litros. Em comparação ao consumo dos demais combustíveis fósseis, não são valores significativos e por isso não aparecem de maneira expressiva na Figura 11.

⁸ As emissões relacionadas ao consumo de Óleo Combustível e Querosene Iluminante representam apenas 2% das emissões, considerando a contribuição de todos os anos, e por isso não aparecem de maneira significativa na Figura 12.

Outra análise importante de ser realizada, além da caracterização pelo tipo de combustível, é a compreensão das emissões por subsetor do GPC. Destaca-se que, para todo o período analisado, as emissões são majoritariamente oriundas de atividades industriais, responsáveis por, aproximadamente, 61% das emissões. O segundo subsetor que mais contribuiu foi o de edifícios residenciais, com 24%. Enquanto o consumo de combustíveis em comércios e instituições é responsável por 15% das emissões de todo o período. A Figura 13 apresenta a evolução das emissões oriundas do consumo de combustíveis fósseis por tipo de uso.

Figura 13. Emissões do setor de Energia Estacionária pelo consumo de combustíveis fósseis por tipo de uso



Fonte: Elaboração própria, 2024.

4.2. Setor de Transportes

As emissões desse setor são oriundas do consumo de gasolina, Gás Natural Veicular (GNV), etanol e óleo diesel para os diferentes modais de transporte presentes em Contagem. Essas emissões foram calculadas a partir do método de comercialização de combustíveis, adotando como premissa que todo combustível vendido dentro da fronteira da cidade é utilizado para a locomoção dos veículos que circulam dentro do município.

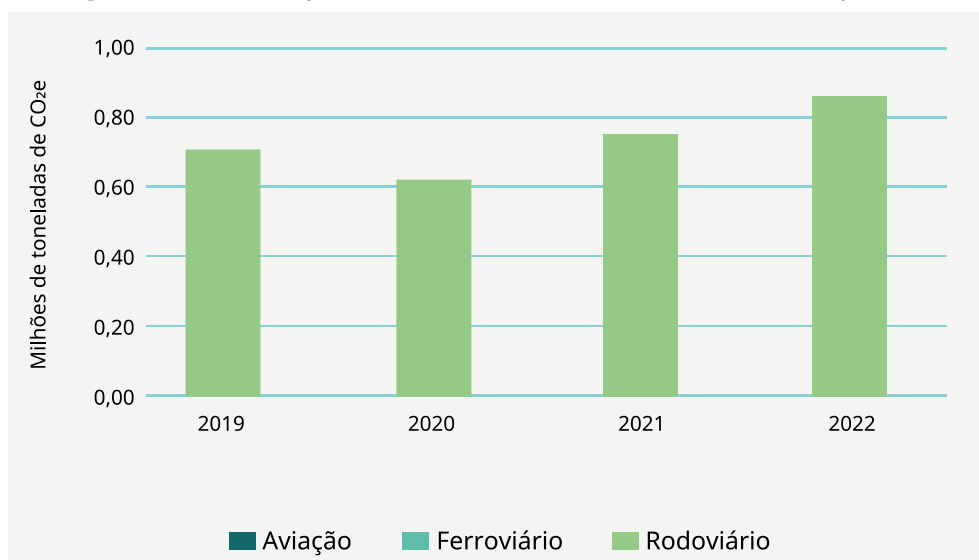
4.2.1. Emissões por tipo de transporte

No período de 2019 a 2022, o modal rodoviário se destaca como o principal contribuinte para as emissões de GEE, representando 99% do total anual. Este modal inclui uma variedade de veículos, como automóveis particulares e transporte público por ônibus. Além disso, também são consideradas emissões associadas ao transporte aéreo, oriundas do consumo de gasolina e querosene de aviação, e do transporte ferroviário,

atreladas ao consumo de óleo diesel em trens, utilizada exclusivamente no transporte de carga. É importante destacar que os dados referentes ao transporte ferroviário são referentes a uma única empresa de logística⁹, não representando a totalidade de emissões no município, uma vez que foram os únicos dados obtidos no processo de elaboração do inventário.

No período analisado, as emissões oriundas dos modais de transporte apresentaram um aumento geral de 23%, associada ao aumento do consumo de combustíveis no transporte rodoviário. Já as emissões relacionadas à aviação e ferrovias apresentaram uma pequena redução no período analisado. Apesar do crescimento, em 2020 foi observada uma redução de 10% nas emissões setoriais, justamente no primeiro ano da pandemia Covid-19, que foi caracterizado pela adoção de medidas de restrição e isolamento, além de ter desencadeado a maior crise econômica global em mais de um século (*World Bank*, 2022). A Figura 14 ilustra a evolução das emissões por tipo de modal, enquanto que a Tabela 4 apresenta as emissões desagregadas por subsetor.

Figura 14. Distribuição das emissões de GEE do setor de Transportes¹⁰



Fonte: Elaboração própria, 2024.

Tabela 4. Emissões de CO₂e por subsetor de Transportes em Contagem por ano

Subsetor	Toneladas de CO ₂ e			
	2019	2020	2021	2022
Rodoviário	707.289	633.997	756.672	867.869
Ferroviário	1.518	1.493	1.112	1.428

⁹ Foram recebidas informações referentes à outra empresa de logística, mas não foi possível estimar as emissões utilizando como referência o consumo de óleo diesel.

¹⁰ As emissões por aviação e transporte ferroviário representam apenas 0,22% do total das emissões, considerando a contribuição de todos os anos, portanto, os diferentes modais não aparecem de maneira significativa na Figura 14.

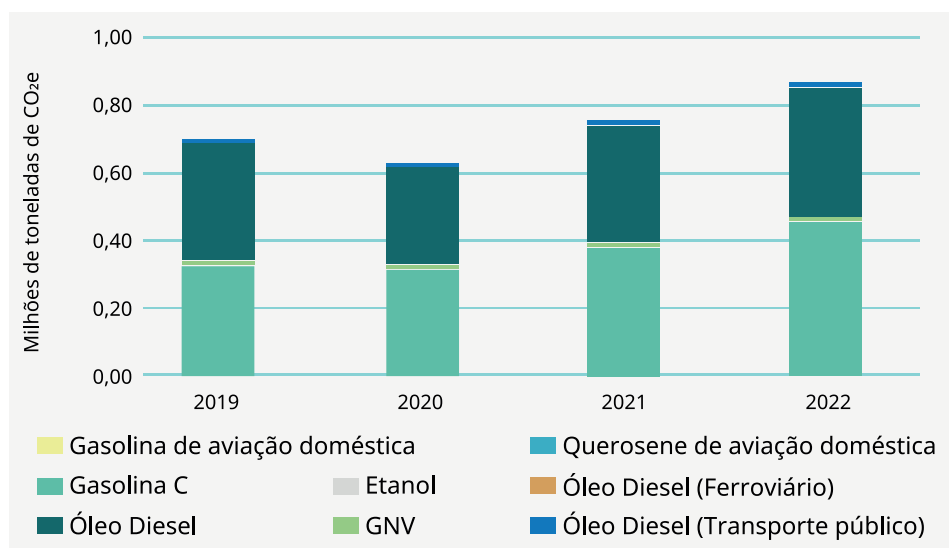
Subsetor	Toneladas de CO ₂ e			
	2019	2020	2021	2022
Aviação	311	222	323	278
Total	709.118	635.712	758.107	869.575

Fonte: Elaboração própria, 2024.

4.2.2. Emissões por tipo de combustível

A queima de combustíveis fósseis em fontes móveis é bastante relevante sob o ponto de vista das emissões de GEE. Assim, o objetivo deste subtópico é trazer à luz uma análise das emissões do setor de Transportes em Contagem a partir de uma análise por tipo de combustível. A Figura 15 apresenta o total de emissões por tipo de combustível.

Figura 15. Evolução das emissões por queima de combustíveis fósseis no setor de Transportes por tipo de combustível¹¹



Fonte: Elaboração própria, 2024.

A gasolina tipo C se configura como o principal combustível emissor, responsável por 49% das emissões para todo período, seguido do consumo de óleo diesel no transporte rodoviário, o qual foi responsável por 47% das emissões. Em terceiro lugar, destaca-se o consumo de GNV, com a contribuição de 1%, enquanto os outros combustíveis ou outros tipos de uso são responsáveis por uma fração bem pouco significativa.

¹¹ As emissões pelo consumo de gasolina de aviação doméstica, óleo diesel (ferroviário), querosene de aviação doméstica, etanol e GNV representam apenas 3% do total de emissões, portanto, não aparecem de maneira expressiva na Figura 15.

Em termos do comportamento das emissões ao longo dos anos, em especial no que se refere ao consumo de óleo diesel genérico e ao consumo de gasolina, observa-se que gasolina foi responsável pela emissão de 331 mil tCO₂e em 2019, enquanto o óleo diesel foi responsável por 352 mil tCO₂e. Ambos combustíveis apresentaram uma redução no seu consumo no primeiro ano de pandemia, o primeiro com uma diminuição de 8% e o segundo com 12%, comportamento atrelado aos impactos econômicos e medidas de isolamento adotadas no ano analisado.

Após 2020, ambos combustíveis apresentaram um aumento no seu consumo e, conseqüentemente, um acréscimo importante nas emissões. De 2020 a 2022 as emissões relacionadas com o consumo de gasolina comum aumentaram 53% e as de óleo diesel 23%.

As emissões de óleo diesel no transporte público se mostram pouco significativas em termos de emissão de GEE, responsável por em média apenas 1% das emissões do setor. Os dados são referentes ao consumo de óleo diesel nas linhas municipais de Contagem. Apesar de o sistema intermunicipal representar grande parte das linhas que circulam pelo município, não foi possível detalhar as informações com relação ao abastecimento e consumo da frota de ônibus, de modo que não foram contabilizadas emissões relacionadas com viagens transfronteiriças, que se qualificaria como de Escopo 3. Além disso, não foram obtidos dados sobre as emissões pelo consumo de energia elétrica na fração da linha de metrô que atende Contagem.

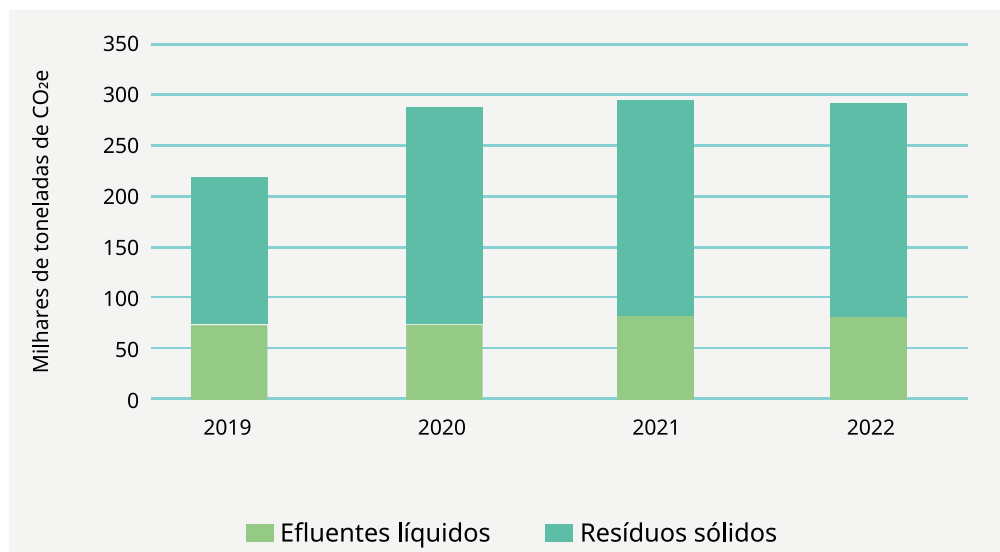
Destaca-se que as emissões de etanol também se mostram pouco significativas em termos de emissão de GEE, ainda que, em termos de quantidade, seu consumo seja bastante relevante em Contagem. Isso ocorre porque as emissões de CO₂ oriundas do consumo de biocombustíveis são consideradas biogênicas, ou seja, emissões neutras que não contribuem para a intensificação do efeito estufa, visto que considera todo o ciclo de vida do carbono.

4.3. Setor de Resíduos

O setor de Resíduos, que contempla exclusivamente emissões pelo tratamento de resíduos sólidos e efluentes líquidos, engloba atividades fontes de emissão, tais como a disposição final de resíduos sólidos em aterros sanitários, aterros controlados e lixões, a incineração de RSS e o tratamento de efluentes líquidos domésticos e industriais.

A Figura 16 apresenta a evolução das emissões do setor de Resíduos (2019-2022), na qual é possível observar pouca variação no período analisado, partindo do patamar de 224,2 mil tCO₂e em 2019, atingindo 295,9 mil tCO₂e em 2021, ano de maior contribuição, com uma redução de 1% em 2022, onde foi observada a contribuição de 292,3 mil tCO₂e. Os totais de emissões para cada um dos anos pode ser observado na Figura 16 e na Tabela 5.

Figura 16. Evolução das emissões do setor de Resíduos em Contagem de 2019 a 2022



Fonte: Elaboração própria, 2024.

A principal contribuição provém das emissões associadas ao tratamento de resíduos sólidos, em especial a disposição final de sólidos em aterros sanitários, que representa 71,9% das emissões totais no setor. As emissões provenientes do tratamento de efluentes líquidos domésticos correspondem a 28,1% das emissões considerando todo o período analisado. A Tabela 5 apresenta as emissões desagregadas por subsetor.

Tabela 5. Emissões de CO₂e por subsetor de Resíduos em Contagem por ano

Subsetor	Toneladas de CO ₂ e			
	2019	2020	2021	2022
Efluentes Líquidos	77.119	71.984	80.416	79.780
Resíduos Sólidos	147.090	217.643	215.495	212.575
Total	224.289	289.627	295.911	292.355

Fonte: Elaboração própria, 2024.

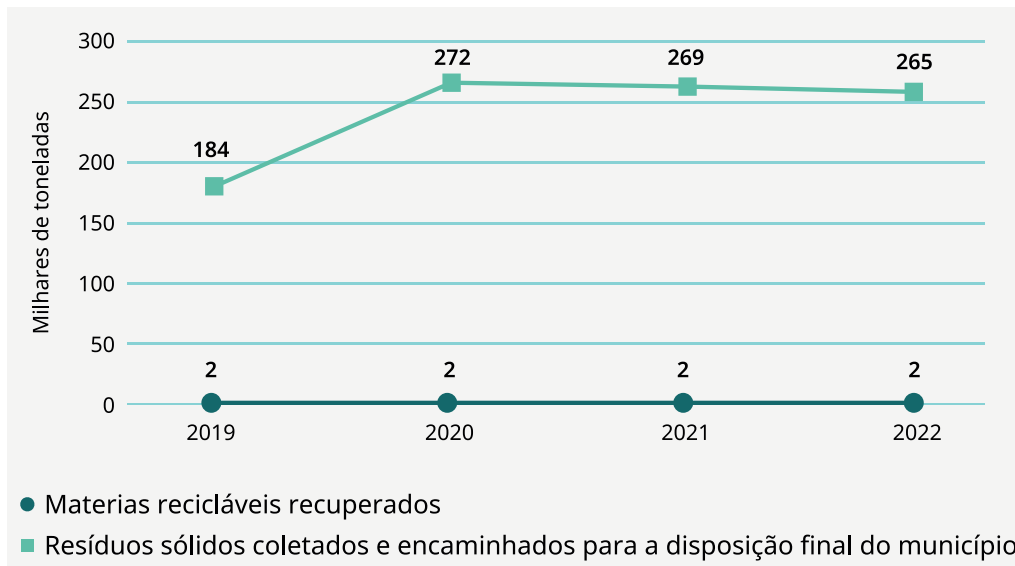
4.3.1. Disposição final de resíduos sólidos

Alguns aspectos são importantes no que se refere à estimativa de emissões de GEE relacionadas com a disposição final. Devem ser consideradas variáveis como os locais e tipos de manejo, a quantidade de resíduos coletados e o potencial de geração de metano do material disposto, o qual está diretamente relacionado com a composição gravimétrica do resíduo.

A disposição final dos resíduos coletados em Contagem ocorre no Aterro Sanitário Municipal Perobas, localizado dentro da fronteira do município, o qual é um local manejado e considerado ambientalmente adequado.

Em relação à quantidade de resíduos domésticos coletados, observa-se ao longo dos anos pequena variação no total de resíduos encaminhados para a disposição final. Em 2019 o município foi responsável pela coleta de 184 mil toneladas, com um aumento de 47% nos anos seguintes e uma redução de 1% em 2022, onde foram coletadas 265 mil toneladas de resíduos, conforme apresentado na Figura 17. Já a quantidade de materiais recicláveis se manteve estável no período analisado, apresentando a contribuição de 2 mil toneladas coletadas por ano¹².

Figura 17. Evolução da quantidade de resíduos e recicláveis coletados e recuperados em Contagem

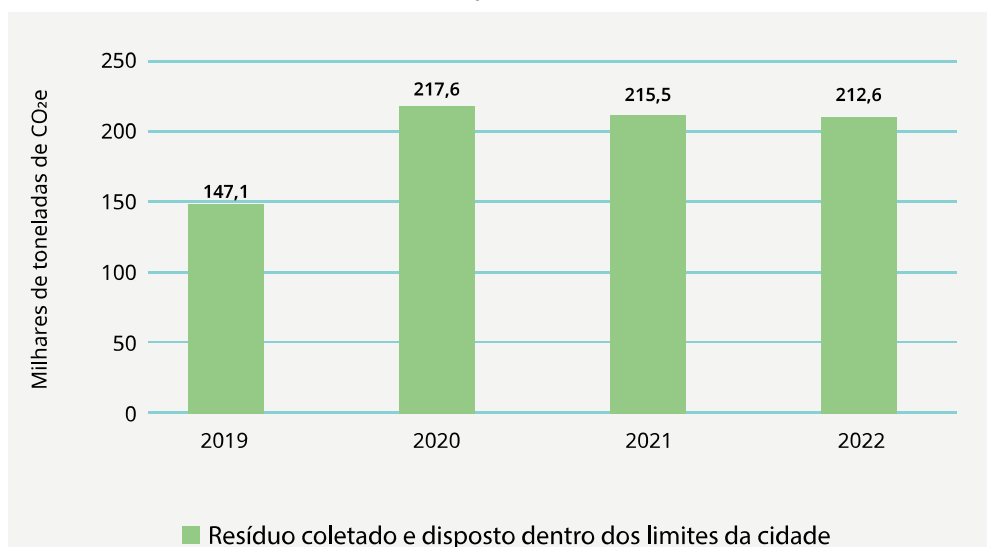


Fonte: Elaboração própria, 2024.

No contexto de Contagem, o montante de resíduos coletados é a principal variável que justifica o comportamento das emissões, por apresentar um comportamento similar. Em 2019 se observa a emissão de 147,1 mil tCO₂e, enquanto o ano de 2020 se qualificou como o ano de maior contribuição, com a emissão de 217,6 mil tCO₂e. Nos anos seguintes, houve diminuição de 2% das emissões, totalizando 215,5 mil tCO₂e em 2021 e 212,6 mil tCO₂e em 2022, fechando a série analisada com variação de 45%. A evolução das emissões pela disposição final pode ser observada na Figura 18.

¹² O município, por meio da Secretaria de Obras e Serviços Urbanos, apresentou dados sobre a quantidade de resíduos gerados nos anos de 2021, 2022 e 2023. No entanto, como não foram apresentados dados para todos os anos de interesse, optou-se por utilizar os dados apresentados no SNIS. Destaca-se que, apesar dos valores serem diferentes, não são observadas diferenças significativas entre os valores (próximo a 5%), não representando, portanto, uma variação significativa nos resultados obtidos no setor.

Figura 18. Evolução da emissão oriunda da disposição final no Aterro Sanitário Municipal Perobas



Fonte: Elaboração própria, 2024.

4.3.2. Disposição e tratamento de efluentes líquidos

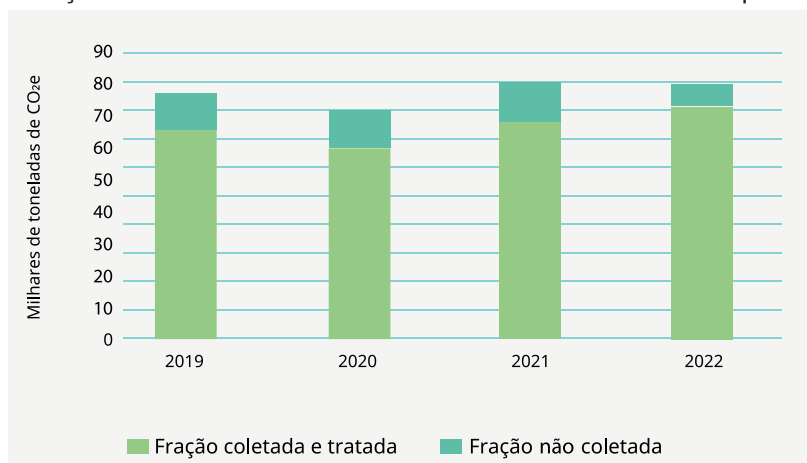
Com relação a efluentes líquidos, as emissões são principalmente relacionadas aos tipos de tratamento utilizados em Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs), a fração da população que recebe cobertura do serviço de coleta, bem como a fração que não recebe.

O volume de efluentes tratados em Contagem é encaminhado para quatro ETEs, sendo três localizadas fora da fronteira da cidade - ETE Arrudas, Betim Central e Onça - e uma localizada dentro da fronteira do município, na estação Nova Contagem. Todas as estações apresentam rotas de tratamento similares, utilizando o método UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket* ou, em português, Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente) e filtros biológicos.

Além da fração coletada e tratada, uma parcela da população não recebe a cobertura do serviço de coleta. De acordo com dados apresentados no SNIS, em 2019, aproximadamente 122 mil pessoas não foram atendidas pelo serviço de tratamento no município. No entanto, destaca-se que, em 2022, esse valor apresentou uma redução de 43%, ano no qual cerca de 69 mil pessoas permaneciam sem atendimento pelo serviço de coleta.

Sobre as emissões nesse subsetor, observa-se que em 2019 o município emitiu 77 mil tCO₂e, com uma forte oscilação nos anos seguintes. Em 2020, foi observada uma redução na emissão total devido a uma diminuição no volume de efluentes tratados na cidade (m³). Já em 2021, nota-se um aumento das emissões, com posterior redução em 2022. O comportamento das emissões ao longo dos anos analisados pode ser observado na Figura 19.

Figura 19. Evolução da emissão oriunda do tratamento de efluentes líquidos domésticos

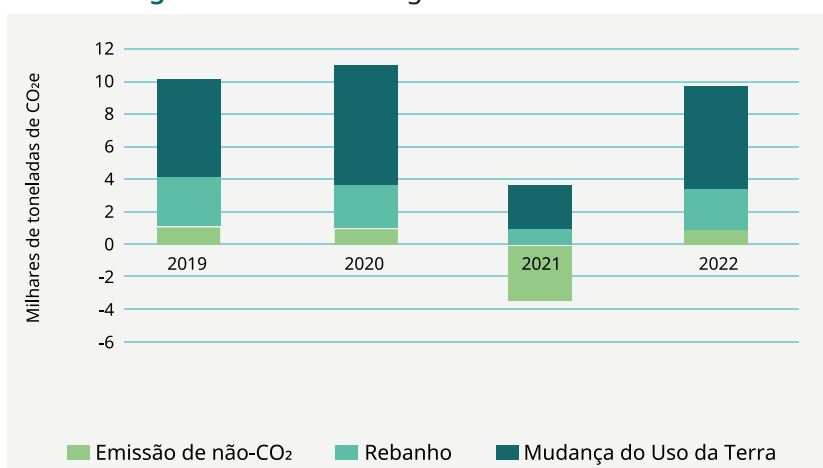


Fonte: Elaboração própria, 2024.

4.4. Setor AFOLU

As emissões e remoções do setor de Agricultura, Florestas e Uso do Solo são provenientes de atividades relacionadas com agropecuária e mudança do uso da terra¹³. Como Contagem é uma cidade bastante industrializada, urbanizada e consolidada, esse é um setor que não apresenta uma contribuição significativa nas emissões locais. Em 2019, observou-se a contribuição de 10 mil tCO₂e, com uma certa estabilização em 2020. Já em 2021, constatou-se uma redução significativa, de 99%, tendo sido estimada uma emissão de apenas 93 tCO₂e. No entanto, no ano seguinte, observou-se um aumento relevante, onde, em 2022, estimou-se a contribuição de 9,7 mil tCO₂e. O comportamento das emissões ao longo dos anos pode ser observado na Figura 20.

Figura 20. Resultados gerais do setor de AFOLU



Fonte: Elaboração própria, 2024.

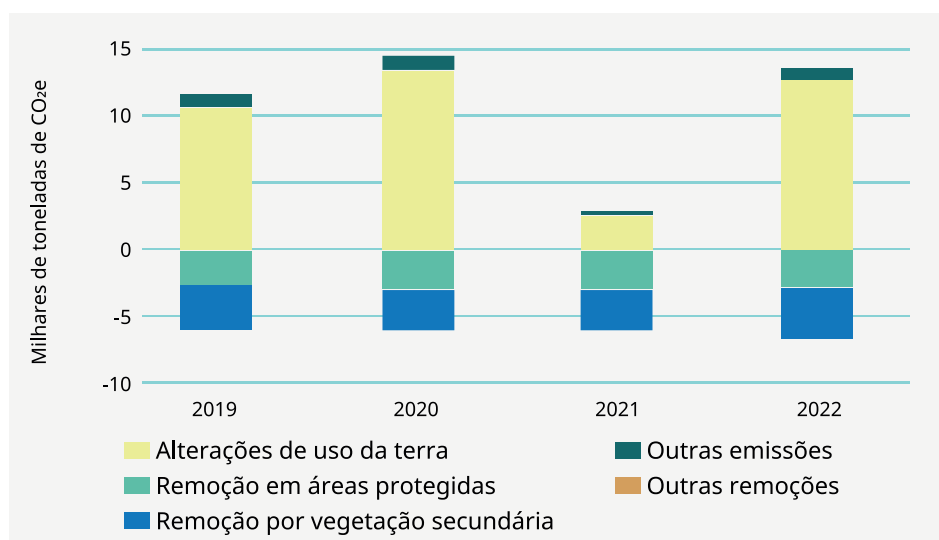
¹³ Devido a um cenário de ausência de informações detalhadas sobre mudança de uso da terra no município, optou-se por utilizar como referência para o setor os resultados apresentados pela iniciativa SEEG, coordenada pelo Observatório do Clima, que apresenta estimativas de emissões para todos os municípios brasileiros com base em metodologias apresentadas no Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de GEE.

Em emissão de não- CO_2 , trata-se principalmente de N_2O relativas a resíduos agrícolas e a aplicação de esterco no solo, são emissões pouco significativas que ficam em torno de 900 toneladas de CO_2e por ano.

Já as emissões relacionadas a rebanhos são oriundas da fermentação entérica, que é processo digestivo dos ruminantes, e do manejo de dejetos de animais, sendo a primeira responsável por 93% das emissões relacionadas com a criação de animais no município. Como citado previamente, Contagem não é um município com forte característica rural, portanto essas emissões são bem pouco significativas. Em 2019, foi observada a emissão de 3,1 mil tCO_2e oriundas de rebanhos, com gradativa diminuição, atingindo a 2,5 mil tCO_2e , que representa uma redução de 21%, que, por sua vez, é um indicativo que o número de animais está diminuindo no município.

Por fim, no que se refere a mudança do uso da terra, subsetor que apresenta maior oscilação ao longo dos anos analisados, observa-se que as emissões estão relacionadas com a alteração do uso da terra, que se qualifica, principalmente, como desmatamento. Já as remoções são associadas à manutenção de áreas protegidas no município e a regeneração de vegetação secundária. Nos anos de 2019, 2020 e 2022 observa-se que o balanço de emissões indica uma propensão a atividades de desmatamento, onde foram observadas emissões de 5,9 mil tCO_2e , no primeiro ano, 7,3 mil tCO_2e , no segundo, e 6,3 mil tCO_2e , no último ano analisado. No entanto, em 2021, observa-se que o subsetor apresentou um balanço negativo, com a remoção final de 3,5 mil tCO_2e , conforme pode ser constatado na Figura 21.

Figura 21. Emissões e remoções em Contagem¹⁴



Fonte: Elaboração própria, 2024.

É importante destacar que a manutenção de áreas protegidas no município é anualmente responsável pela remoção da ordem dos 2,5 mil tCO_2e em Contagem. Enquanto a regeneração de vegetação secundária é responsável pela remoção anual de aproximadamente 3,5 mil tCO_2e .

¹⁴ "Outras remoções" não aparecem de maneira expressiva na Figura 21. Esse tipo de atividade é caracterizado por alterações no uso da terra que dão origem a algum tipo de uso que aumente o estoque de carbono na região (por exemplo, uma área de pastagem que passa a ser floresta plantada) e é responsável pelo sequestro de 83 tCO_2 , considerando a soma da contribuição de todos os anos.

4.5. Setor IPPU

Conforme apresentado no item 2.1, Contagem é reconhecida historicamente por sua capacidade industrial, sendo o setor responsável por cerca de um terço das receitas municipais. Além disso, de acordo com dados da Fundação João Pinheiro [2021], a terceira principal atividade econômica do município são as indústrias de transformação, não necessariamente aquelas que emitem gases de efeito estufa em seu processo industrial.

Para estimar as emissões de gases de efeito estufa diretamente relacionadas ao setor Industrial, foram levantadas informações específicas sobre indústrias que promovam a transformação física ou química da matéria, por exemplo, siderúrgicas e cimenteiras. O Município identificou 282 empresas com potencial de emissão. Desse total, foram priorizadas para levantamento de informações específicas 57 empresas de maior porte e maior potencial de contribuir nas emissões setoriais. Dessas, apenas 17 responderam às solicitações de informações, com o detalhamento das atividades e processos, bem como informações sobre inventários organizacionais e dados de produção.

No geral, as informações recebidas demonstraram que grande parte das empresas do município não se qualifica como indústrias de transformação que emitem gases de efeito estufa em seu processo industrial, o que significa que não foram contabilizadas emissões relacionadas com o setor de processos industriais e uso de produtos em Contagem. No entanto, é importante destacar que as atividades industriais repercutem nas emissões dos outros setores, como, por exemplo, o consumo de combustíveis em atividades de manufatura e construção, como também no transporte de insumos e produtos. Isso sugere que o perfil de emissões do setor Industrial está sendo refletido indiretamente no inventário, ainda que não sejam destacadas emissões oriundas diretamente dos processos industriais.

O processo de elaboração do atual inventário contou com um significativo engajamento das indústrias de Contagem que concordaram em colaborar, participando em reuniões realizadas em grupo - para mobilização dos atores envolvidos e solicitação de dados - e individualmente - para detalhamento das informações recebidas - porém ainda não foi possível obter informações sobre todo o universo industrial da região. Sugere-se que esse engajamento seja mantido, a fim de que continuamente sejam obtidos dados atualizados, bem como seja ampliado, a fim de se compreender melhor o contexto local e que isso seja refletido com maior acurácia no inventário.

5

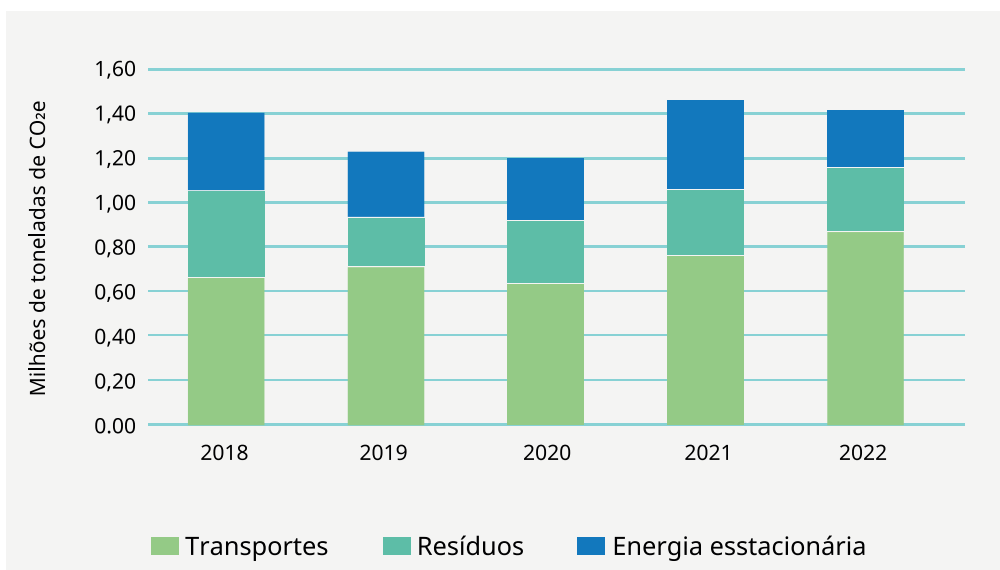
COMPARAÇÃO COM O INVENTÁRIO ANTERIOR

Este capítulo visa apresentar os resultados obtidos no 1º IEGEE de Contagem e compreender como as emissões se comportaram ao longo de toda série histórica, considerando 2018 a 2022, além de como elas se correlacionam com o inventário atual.

No primeiro Inventário foram estimadas apenas emissões oriundas dos setores de Energia Estacionária, Transportes e Resíduos, método compatível com abordagem básica do GPC. Em 2018, o município foi responsável pela emissão de 1,4 MtCO₂e, sendo setor de Transportes responsável por 47% desse total, o setor de Resíduos por 28% e o de Energia Estacionária 25%. Para o segundo Inventário, o setor de Transportes continuou sendo o principal emissor, mas Energia Estacionária, em média, passou à frente do setor de Resíduos.

Em termos de evolução das emissões, observa-se a redução de 12% das emissões em 2019, com um outro decréscimo de 2% em 2020, associado ao primeiro ano de pandemia, conforme o comportamento apresentado nos tópicos anteriores, e um aumento importante nos anos seguintes. Ao se considerar o período de 2018 a 2022 foi observado o aumento de 1%, considerando o somatório de todos os setores. Ressalta-se que os setores de Energia Estacionária e Resíduos apresentaram uma diminuição nas emissões, porém o expressivo aumento no setor de Transportes foi responsável pelo crescimento em termos absolutos. A Figura 22 e a Tabela 6 apresentam as emissões referentes ao período de 2018 a 2022, demonstrando a evolução para um dos setores básicos do GPC.

Figura 22. Evolução das emissões por setor para os anos de 2018 a 2022



Fonte: Elaboração própria, 2024.

Tabela 6. Emissões totais de GEE do município de Contagem para os anos de 2018 a 2022

Setor de atividade	Emissões de GEE (tCO _{2e})				
	2018	2019	2020	2021	2022
Transportes	669.134	709.118	635.713	758.106	869.575
Resíduos	389.265	224.290	289.626	295.911	292.356
Energia Estacionária	350.964	299.894	280.892	409.169	259.137
Total	1.409.363	1.233.302	1.206.231	1.463.186	1.421.068

Fonte: Elaboração própria, 2024.

6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em 2019, Contagem emitiu 1,24 MtCO₂e, com uma redução de 2% em 2020, passando a ser de 1,21 MtCO₂e. Em 2021, ano de maior emissão, atingiu-se 1,46 MtCO₂e, o que representou 20% a mais que em 2020. Posteriormente, observou-se uma nova redução, de 2%, em 2022, fechando o período com o total de 1,43 MtCO₂e de emissões. Muitos fatores podem explicar esse comportamento, sendo destacadas a recessão iniciada por crises políticas e aprofundada pela pandemia da Covid-19, resultando na desaceleração da economia municipal e nas medidas de restrição adotadas no período. Outros fatores incluem oscilações nos índices de emissão do SIN. O total de emissões dos quatro setores analisados pode ser verificado na Tabela 7.

Tabela 7. Emissões totais de GEE do município de Contagem para os anos de 2018 a 2022

Setor de atividade	Emissões de GEE (tCO ₂ e)				
	2018	2019	2020	2021	2022
Transportes	669.134	709.118	635.713	758.106	869.575
Resíduos	389.265	224.290	289.626	295.911	292.356
Energia Estacionária	350.964	299.894	280.892	409.169	259.137
<i>AFOLU</i>	-	10.150	10.944	93	9.712
Total	1.409.363	1.243.452	1.217.175	1.463.279	1.430.780

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Ao longo da série analisada, o setor de Transportes se manteve como o principal emissor, com ênfase no consumo de gasolina e óleo diesel. O segundo setor de maior contribuição foi o de Energia Estacionária, que também se configurou como uma fonte importante de emissões, especialmente devido ao consumo de combustíveis e energia elétrica em atividades industriais.

Com uma contribuição muito próxima, tem-se o setor de Resíduos, destacando-se a disposição final no Aterro Sanitário Municipal Perobas. No que diz respeito à *AFOLU*, é qualificada como um setor de baixa contribuição, devido à característica urbana da cidade. Já para o setor de *IPPU* não foram estimadas emissões, visto que não foram mapeadas grandes indústrias de transformação no município.

Com o resultado do 2º IEGEE de Contagem é possível compreender como suas emissões de GEE se comportaram ao longo do intervalo 2019-2022, trazendo também uma comparação com o 1º IEGEE, referente ao ano de 2018. Os resultados deverão servir como base para a elaboração do Plano de Ação Climática, que será elaborado em sequência, a partir do qual será possível estabelecer as medidas que terão maior impacto no que se refere às iniciativas de mitigação no Município.

6.1. Recomendações Iniciais a partir da elaboração do Inventário

Durante o desenvolvimento do 2º IEGEE de Contagem vários desafios foram identificados para os quais sugere-se, a seguir, medidas para que possam ser superados para as futuras atualizações. Além disso, também são apresentadas recomendações para que o processo de elaboração do inventário municipal seja progressivamente melhorado, sendo necessário o fortalecimento e atuação da governança climática local. As indicações são listadas a seguir.

6.1.1. Sobre as recomendações e oportunidades de melhoria da informação por setor

a) IPPU: recomenda-se fortalecer a relação de confiança entre o Governo e as indústrias da região, tanto para a obtenção de dados, quanto para o engajamento na implementação da agenda local de enfrentamento às mudanças climáticas. Deve-se estabelecer mecanismos para obtenção dos inventários organizacionais já desenvolvidos ou métodos de compartilhamento para a coleta de dados de atividade, ampliando ainda mais a dinâmica de emissões no Município.

b) Transportes: estruturar estratégias para ampliar coleta de dados de atividade sobre as emissões do setor, contemplando de maneira mais abrangente o transporte ferroviário e o transporte público intermunicipal.

c) Resíduos: obter informações específicas sobre a captura e queima do biogás gerado no Aterro Municipal Perobas.

d) Energia Estacionária: compreender de maneira mais detalhada se todos os consumos de combustíveis industriais estão sendo contemplados nos dados coletados na ANP.

6.1.2. Sobre o fortalecimento e atuação da governança climática local para que o processo de elaboração do inventário municipal seja progressivamente melhorado

a) Fomentar a responsabilidade compartilhada do Grupo Executivo: recomenda-se fortalecer e institucionalizar o papel do Grupo Executivo (GEX) instituído para elaboração deste trabalho, incentivando-o a se envolver ativamente na redução das emissões e na implementação de estratégias para alcançar as metas climáticas.

b) Sistematização dos dados: definir e implantar instância responsável, subordinada ao Grupo Executivo, com objetivo de implementar e gerenciar um banco de dados para a coleta anual das informações necessárias para a atualização do IEGEE.

c) Divulgação pública dos dados: promover a transparência dos dados e estimular a participação pública (por exemplo, a criação de uma página específica na internet para apresentação de como o município está avançando na implementação da agenda climática a nível local), disponibilizando dados essenciais para o IEGEE e outras iniciativas ambientais e urbanas, incentivando o uso de informações públicas em estudos dessa natureza.

d) Fortalecimento da governança climática do município: deve-se fortalecer o papel e responsabilidade do Fórum Permanente de Desenvolvimento Sustentável de Contagem, instância que integra a Governança Climática compondo o Comitê de Diálogo Ampliado, criado para elaboração deste trabalho, a fim de se consolidar estruturas e processos de governança dedicados às questões climáticas, promovendo a coordenação efetiva entre diferentes setores municipais.

e) Capacitação continuada da equipe técnica municipal: proporcionar treinamento contínuo para a equipe gestora, aprimorando suas habilidades na gestão eficiente de projetos climáticos e no uso de ferramentas analíticas, combinando conhecimento técnico e infraestrutura.

f) Intercâmbio técnico-científico com a academia: recomenda-se estabelecer parcerias com instituições acadêmicas para promover a troca de conhecimento, pesquisa e inovação na abordagem das questões relacionadas às emissões de GEE e às mudanças climáticas.

g) Relação com o Plano de Ação Climática (PLAC): recomenda-se que o Plano de Ação Climática seja utilizado como ferramenta para monitoramento da implementação das ações locais de mitigação a serem definidas e incorporadas ao PLAC a partir da elaboração deste Inventário.

6.1.3. Sobre indicações preliminares de iniciativas com capacidade de impactar positivamente a mitigação no Município

a) Transportes: recomenda-se promover a melhoria do sistema de transporte público de passageiros por ônibus, substituição de combustíveis e fomentar a implantação do transporte de passageiros sobre trilhos, dentro de uma perspectiva de planejamento urbano mais sustentável. Nesse contexto, é importante também fomentar a expansão de modos de transporte não motorizados, como bicicletas e pedestres, integrados ao transporte coletivo, de forma a buscar deslocamentos mais saudáveis e ecológicos. A mobilidade ativa poderia se configurar, por exemplo, com programas de incentivo ao uso de bicicletas e à mobilidade a pé, integrando ciclovias e ciclofaixas seguras em rotas estratégicas que conectem áreas residenciais, comerciais e institucionais. Essas ações poderiam incluir a instalação de bicicletários em locais públicos, ampliação de calçadas e travessias seguras, além de campanhas educativas sobre os benefícios da mobilidade ativa.

b) Resíduos: promover uma gestão mais sustentável de resíduos, realizando campanhas educativas para a conscientização da população na redução de resíduos, com foco na valorização dos materiais coletados por meio da diversificação de rotas

de tratamento, com incentivo à conscientização, reciclagem e tratamento biológico da fração orgânica. O Aterro Sanitário Municipal Perobas apresenta um grande potencial para o reaproveitamento energético, especialmente na geração de biogás a partir da decomposição de resíduos sólidos urbanos. Esse biogás, rico em metano, pode ser utilizado para gerar eletricidade, reduzir as emissões de gases de efeito estufa e aumentar a Eficiência Energética (EE) do município.

c) Efluentes domésticos: no que se refere aos efluentes domésticos, recomenda-se a busca pela universalização do serviço de tratamento, incorporando a adoção de tecnologias de baixa emissão no tratamento de efluentes líquidos.

d) Eficiência Energética: a implementação de programas de EE, principalmente em edifícios residenciais e comerciais, com foco na substituição de equipamentos que utilizem combustíveis fósseis por modelos mais eficientes, como os elétricos, e na promoção de práticas de consumo consciente.

Incentivar a instalação de sistemas de energia solar em residências e a ampliação de usinas de energia solar em edifícios públicos, reduzindo a dependência de fontes de energia não renováveis; essa proposta pode ser integrada a um programa abrangente de EE e uso de fontes renováveis em prédios municipais, podendo promover a adoção de tecnologias solares e medidas de EE, como a modernização da iluminação e equipamentos, reduzindo o consumo de eletricidade de fontes não renováveis. Essa ação traria uma dupla vantagem ao gerar economia nos custos públicos com eletricidade e contribuir para a redução de emissões de gases de efeito estufa, fortalecendo o compromisso do Município com a sustentabilidade e o enfrentamento às mudanças climáticas.

e) Uso e ocupação do solo: a regulamentação da utilização extrafiscal do Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) e dos demais instrumentos voltados à adoção de medidas de sustentabilidade nos edifícios, conforme previsto no Plano Diretor vigente e na Lei Complementar que institui o IPTU verde. Essas ações podem incluir: instalação de painéis solares, captação e reutilização da água da chuva, uso de materiais sustentáveis nas construções e reformas, áreas verdes preservadas ou ampliadas nos imóveis e EE, como o uso de lâmpadas de LED, equipamentos eletrônicos de baixo consumo e outros.

O inventário representa um passo crucial para o fortalecimento das políticas municipais de enfrentamento às mudanças climáticas, reconhecendo a importância da ação local e seu impacto global. Ressalta-se, no entanto, que como tendência, o perfil de emissões pode ser alterado ao longo dos anos, de modo que a atualização do inventário é fundamental para acompanhar a efetividade das medidas tomadas e os impactos transversais de questões macro e micropolíticas. Nesse sentido, Contagem se qualifica como uma das cidades brasileiras comprometidas com o desenvolvimento sustentável.

Referências Bibliográficas

Fundação João Pinheiro - FJP. PIB dos Municípios 2010-2021: Dados para publicação no site da FJP. **FJP**, [2021]. Disponível em: <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1waHgrKibr-Sd_R-o7tQc8UifW7df6f7N/edit?gid=687159059#gid=687159059>. Último acesso em: 09 set. 2024.

ICLEI. **1º Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa**. São Paulo: ICLEI, 2020.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas - IBGE. **Área territorial brasileira 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023a.

IBGE. **Características urbanísticas do entorno dos domicílios**. Censo Demográfico: 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

IBGE, Coordenação de Meio Ambiente. **Áreas Urbanizadas do Brasil: 2019**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

IBGE, Coordenação Técnica do Censo Demográfico. **Censo Demográfico 2022: População e Domicílios - Primeiros Resultados**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023b.

Instituto de Energia e Meio Ambiente - IEMA. **Inventário de Emissões Atmosféricas em Usinas Termelétricas**: geração de eletricidade, emissões e lista de empresas proprietárias das termelétricas a combustíveis fósseis e de serviço público do Sistema Interligado Nacional. São Paulo: IEMA, 2022.

*Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.*

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - **MCTI**. Fator médio: Inventários corporativos. MCTI, 2021a. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/cgcl/paginas/fator-medio-inventarios-corporativos>>. Último acesso em: 09 set. 2024.

MCTI. Fatores de emissão MDL/SIN. **MCTI**, [2022]. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/fatores-de-emissao>>. Último acesso em: 09 set. 2024.

MCTI. Relatórios de Referência Setorial. **MCTI**, [2021b]. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>>. Último acesso em: 09 set. 2024.

Prefeitura de Contagem - PMC. Conheça Contagem: Contando a história. **PMC**, [s.d.]. Disponível em: <<https://geoprocessamento.contagem.mg.gov.br/portal/apps/experiencebuilder/experience/?draft=true&id=f2794f037e8c49168e74dc00818f9494&page=Contando-a-Hist%C3%B3ria>>. Último acesso em: 09 set. 2024.

PMC, Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano e Habitação. **Novo Plano Diretor do Município de Contagem**: e-book. Contagem: PMC, 2023.

Universidade Federal de Pelotas, Coordenação de Comunicação Social - UFPel/ CCS. **Estudo analisa aumento do consumo residencial de energia durante a pandemia**. CCS, 2021. Disponível em: <<https://ccs2.ufpel.edu.br/wp/2021/04/07/estudo-analisa-aumento-do-consumo-residencial-de-energia-durante-a-pandemia/>>. Último acesso em: 09 set. 2024.

VIEGAS, G. A. C. et al. Análise da evolução temporal da gravimetria dos resíduos sólidos urbanos na cidade de Belo Horizonte. In: Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade, 6., 2023, Foz do Iguaçu. Anais eletrônicos [...] Bauru: Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais e de Saneamento, 2023. p. 1-10. Disponível em: <<https://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2023/IV-048.pdf>>. Último acesso em: 09 set. 2024.

World Bank. Reshaping Global Value Chains in Light of Covid-19: Implications for Trade and Poverty Reduction in Developing Countries. Washington, D.C.: World Bank, 2022.

WRI; C40 Cities; ICLEI. Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories. Washington, D.C.: WRI, 2014.

ANEXO A.

Método de Cálculo das Emissões e Remoções de GEE

A.1. Energia Estacionária e Transportes

A.1.1. Consumo de Combustíveis

O método de estimativa das emissões de gases de efeito estufa (GEE) oriundas da combustão de diversos tipos de combustíveis toma como base o volume total consumido a cada ano. Os tipos de GEE emitidos na queima de combustíveis fósseis são o CO₂, o CH₄ e o N₂O. O cálculo para essas emissões é realizado a partir da multiplicação dos dados de atividades (por exemplo, consumo de combustíveis fósseis) pelo seus respectivos fatores de emissão, para cada um dos GEE, conforme a equação apresentada a seguir.

$$E_{i,g,y} = C_{i,y} * PCI_{i,y} * FE_{i,g,y} * PAG_g$$

Em que:

i	Índice relacionado ao tipo de combustível;
g	Índice relacionado a um tipo de GEE;
y	Ano de referência do inventário;
E_{i,g,y}	Emissões ou remoções de GEE <i>g</i> atribuíveis à fonte ou sumidouro <i>i</i> durante o ano <i>y</i> , em tCO ₂ e;
C_{i,y}	Consumo do combustível <i>i</i> no ano <i>y</i> , na unidade <i>u</i> , sendo <i>u</i> m ³ ou kg;
FE_{i,g,y}	Fator de emissão ou remoção de GEE <i>g</i> aplicável à fonte ou sumidouro <i>i</i> no ano <i>y</i> , em tGEE g/u;
PAG_g	Potencial de aquecimento global de GEE <i>g</i> , em tCO ₂ e/ tGEE g.

Os consumos de gasolina e diesel exigem uma etapa adicional de cálculo considerando que, dependendo do ano analisado, existe uma variação do percentual de etanol anidro e de biodiesel em suas composições. Para o cálculo das emissões oriundas do consumo desses tipos de combustível, foram aplicados os percentuais de biocombustível antes do uso da equação acima.

A.2. Resíduos

A.2.1. Resíduos sólidos destinados a aterros

A fim de calcular as emissões originadas da destinação de resíduos sólidos em aterros, foram reunidas informações sobre as quantidades de resíduos gerados no município e enviados para aterros dentro e fora dos seus limites, além dos resíduos provenientes de outros municípios que são recebidos no aterro local.

Para se estimar as emissões no setor foi utilizado o método Compromisso de Metano, o qual é composto por três etapas. Na primeira é necessário estimar o carbono orgânico degradável presente no resíduo, ou seja, a fração orgânica que passará pelo processo de degradação ao ser depositada no solo. A segunda etapa é definir o potencial de geração de metano daquele determinado resíduo, parâmetro que define a quantidade de metano que deve ser gerada a partir de determinada quantidade de resíduo. Por fim, a terceira etapa consiste em multiplicar o potencial de geração pelo total de resíduos dispostos, bem como retirar as frações que são recuperadas a partir do aproveitamento energético ou queima em *flare* e da fração que é oxidada no solo. As equações detalhadas podem ser observadas a seguir.

$$E_{CH_4,y} = (QR_y * L_{0,y} - R_y) * (1 - OX_y)$$
$$L_{0,y} = MCF_0 * DOC_{média} * DOC_f * F_{CH_4} * 1612$$
$$DOC_{média} = \sum (\%_{i,y} * DOC_i)$$

Em que:

y	Ano de referência do inventário;
i	tipo de resíduo;
$E_{CH_4,y}$	Emissões CH_4 atribuíveis à decomposição do resíduo disposto em aterros no ano y , em t CH_4 não recuperadas;
QR_y	Quantidade de resíduos destinados para o aterro no ano y em t;
$L_{0,y}$	Potencial de geração de metano no ano y em t CH_4 /t resíduo;
R_y	Recuperação de metano no aterro no ano y em t CH_4 ;
OX_y	Fator de oxidação, adimensional;
MCF_y	Fator de correção de metano baseado na qualidade no aterro, adimensional;
$DOC_{média}$	Valor de carbono orgânico degradável médio (valor calculado de acordo com a composição média dos resíduos sólidos urbano);
DOC_i	Carbono orgânico degradável do resíduo i ;

$\%_{i,y}$	Fração de quantidade de resíduo i no ano y ;
DOC_f	Fração de resíduo que se decompõe, adimensional (valor padrão de 50%, conforme IPCC, 2019);
16/12	Conversão de massa de C em CH_4 , 1,33;
F_{CH_4}	Fração de metano no biogás, adimensional (valor padrão de 50%, conforme IPCC, 2019).

A.2.2. Efluentes Domésticos

Para a quantificação do CH_4 gerado durante o tratamento de efluentes das ETEs ou pela fração não coletada é necessário definir a quantidade de matéria orgânica apresentada pela variável Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). A fração orgânica irá passar pelo processo de degradação e seu potencial de geração de metano será relacionado com a rota de tratamento utilizada, onde métodos com características anaeróbicas apresentam fatores de correção de metano (MCF) mais próximos a um, enquanto métodos aeróbicos apresentam valores mais próximos ao zero. A principal equação utilizada é apresentada a seguir.

$$E_{CH_4,i,y} = Pop_y * MCF_i * B_0 * BOD_{rate} * 0,001 * 365 * 10^3$$

Em que:

y	Ano de referência do inventário;
i	Tipo de tratamento de efluente (reator anaeróbio ou fossa séptica);
$E_{CH_4,i,y}$	Emissões CH_4 atribuíveis ao tratamento de efluentes do tipo i no ano y , em t CH_4 ;
Pop_y	Número de habitantes do município sem esgotamento sanitário no ano y ;
BOD_{rate}	Quantidade média de Demanda Bioquímica de Oxigênio (BOD , do inglês, <i>Biochemical Oxygen Demand</i>) gerada por habitante, por dia em g $BOD/hab./dia$ (utilizada a medida da Embasa de 54 g $BOD/hab./dia$);
MCF_i	Fator de correção de metano para o tipo de tratamento i , adimensional (valor de 0,5 conforme IPCC, 2019);
B_0	Valor máximo de produção de CH_4 em efluentes sanitários em kg $CH_4/kg BOD$ (valor padrão de 0,6 kg $CH_4/kg BOD$, conforme IPCC, 2019).

Os valores de MCF foram obtidos do *IPCC* (2019) para cada tipo de tratamento. No que se refere à população não atendida pelo sistema de esgotamento sanitário, considerou-se o lançamento direto do esgoto não tratado na rede de drenagem ou diretamente no corpo hídrico adjacente às residências, adotando um perfil conservador para as estimativas de emissões.

A.3. Agricultura, Florestas e Outros Usos da Terra

Os métodos de cálculo e maiores detalhes podem ser obtidos nas notas metodológicas setoriais do SEEG.^{15,16}

¹⁵ Nota Metodológica referente ao setor Agropecuário disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1DT9ZASVYmaBkGUI8Jn1hhl_bHQVZklq3/view>. Último acesso em: 09 set. 2024.

¹⁶ Nota metodológica referente ao setor Mudanças e Uso da Terra disponível em: <<https://drive.google.com/file/d/1YbVH06rwsxuYR7iD6zgBWEsmuGYO3ID1/view>>. Último acesso em: 09 set. 2024.

Anexo B.

Fatores de Emissão

Neste Anexo são apresentados os fatores de emissão (FE) utilizados na elaboração do IEGEE. Os fatores de emissão são valores que correlacionam uma atividade antrópica com sua respectiva quantidade de GEE lançada na atmosfera. Esses valores podem ser definidos de forma padronizada (*default*) pelo IPCC, para atividades que tenham um perfil de emissão similar, ou específica, a nível nacional, como os elaborados pelo MCTI para o inventário nacional de emissões e remoções antrópicas.

As tabelas com os FE utilizados neste Inventário estão divididas de acordo com os cinco setores de emissões da metodologia GPC, passando pelos setores e subsetores de Energia Estacionária, Transportes, Resíduos e AFOLU, com suas respectivas fontes. O setor de IPPU não está neste Anexo porque não foram destacadas as emissões diretas.

B.1. Energia estacionária

Tabela B.1. Fatores de Emissão do Sistema Interligado Nacional (Fator médio anual)

Ano	2019	2020	2021	2022
Fator Médio (t/MWh)	0,075	0,0617	0,1264	0,0426

Fonte: MCTI, 2023.

Tabela B.2. Densidades e Poder Calorífico Inferior (PCI) por tipo de combustível

Precursor	Densidade (kg/m ³)	PCI (kcal/kg)
Biodiesel (B100)	880	9.000
Etanol Anidro	791	6.750
Etanol Hidratado	809	6.300
Gás Liquefeito de Petróleo	552	11.100
Gás Natural	0,74	8.800
Gasolina Automotiva	742	10.400
Gasolina de Aviação	726	10.600
Óleo Combustível	1.000	9.590
Óleo Diesel	840	10.100
Querosene de aviação	799	10.400

Fonte: EPE, 2022.

Tabela B.3. Fatores de Emissão de GEE (Fontes Estacionárias/ Setor Energia/ Subsetor Construções Residenciais, Agricultura, Silvicultura e Pesca) em quilograma de GEE por Terajoule (TJ)

Precursor	FE CO ₂	FE CH ₄	FE N ₂ O	Unidade de medida
Gás Liquefeito de Petróleo	63.100	5	0,1	kg GEE/TJ
Gás Natural	56.100	5	0,1	kg GEE/TJ
Óleo Diesel	74.100	10	0,6	kg GEE/TJ

Fonte: IPCC, 2006.

Tabela B.4. Fatores de Emissão de GEE (Fontes Estacionárias/ Setor Energia/ Subsetor Construções Comerciais e Institucionais)

Precursor	FE CO ₂	FE CH ₄	FE N ₂ O	Unidade de medida
Gás Liquefeito de Petróleo	63.100	5	0,1	kg GEE/TJ
Gás Natural	1,7259	3E-5	0,1	kg GEE/m ³
Óleo Diesel	74.100	10	0,6	kg GEE/TJ
Óleo combustível	3,1077	5,9E-5	1,2E-5	kg GEE/kg

Fonte: IPCC, 2006.

Tabela B.5. Fatores de Emissão de GEE (Fontes Estacionárias/ Setor Energia/ Subsetor Indústria de Manufatura e Construção)

Precursor	FE CO ₂	FE CH ₄	FE N ₂ O	Unidade de medida
Gás Liquefeito de Petróleo	63.100	5	0,1	kg GEE/TJ
Gás Natural	1,7259	1,2E-4	0	kg GEE/m ³
Óleo Diesel	2.632	0,007	0,014	kg GEE/m ³
Óleo combustível	3,1077	1,2E-4	1,2E-5	kg GEE/kg
Querosene iluminante	2,516	0,0001	2E-4	t GEE/m ³

Fonte: MCTI, 2020.

B.2. Transportes

Tabela B.6. Fatores de Emissão de GEE (Fontes Móveis/Transporte Terrestre)

Precursor	FE CO ₂	FE CH ₄	FE N ₂ O	Unidade de medida
Biodiesel	2.647*	0,1	0	kg GEE/m ³
Etanol	1.511*	0,42	0,13	kg GEE/m ³
Gás Natural	1,72	0,15	0,002	kg GEE/m ³
Gasolina Automotiva	1.634	0,5	0,2	kg GEE/m ³
Óleo Diesel (Terrestre)	2.342	0,017	0,015	kg GEE/m ³

Fonte: MCTI, 2020.

Tabela B.7. Fatores de Emissão de GEE (Fontes Móveis/ Transporte Aéreo)

Precursor	FE CO ₂	FE CH ₄	FE N ₂ O	Unidade de medida
Gasolina de Aviação	2.255	0,5	0,2	kg GEE/m ³
Querosene de Aviação	2.487	0,5	0,2	kg GEE/m ³
Querosene de Aviação Internacional	2.516	0,105	0,2	kg GEE/m ³

Fonte: IPCC, 2006.

B.3. Resíduos

Tabela B.8. Fatores de Correção de CH₄ (Tratamento de efluentes)

Tipo de tratamento de efluente	MCF
Esgoto coletado e não tratado (descarte em corpos hídricos)	0,11
Esgoto não coletado e não tratado (esgoto a céu aberto)	0,5
Lagoa Facultativa	0,3
Lagoa Aerada	0,3
Reatores Anaeróbios	0,8
Lagoa Anaeróbia	0,8
Lodo ativado	0,3
ETEs Simplificada (fossas sépticas e tanques)	0,5
EPC (Estação de pré-condicionamento)	0,035
Outros	0,5

Fonte: IPCC, 2019.

Tabela B.9. Fatores de Emissão de GEE (Tratamento de efluentes)

Tipo de tratamento de efluente	FE N ₂ O (kg N ₂ O-N/ kg N)
Esgoto coletado e não tratado (descarte em corpos hídricos)	0,005
Esgoto não coletado e não tratado (esgoto a céu aberto)	0,019

Fonte: IPCC, 2019.

Tabela B.10. Fatores de Correção de CH₄ (Resíduos Sólidos)

Parâmetro	Valor	Observação
MCF Aterro Sanitário	1	Fator de correção de CH ₄
MCF não categorizado	0,6	Fator de correção de CH ₄
DOCf (padrão)	0,6	Fração do carbono orgânico degradável que decompõe
F (padrão)	0,5	Fração de CH ₄ no gás de aterro
GWP CH ₄	28	Potencial de Aquecimento Global do Metano (AR5)
Fator de oxidação (OX)	0,1	Para aterros bem manejados
Fator de oxidação (OX)	0	Para disposição não manejada

Fonte: IPCC, 2019.

Tabela B.11. Composição Gravimétrica

Material	%	DOC
Alimentos	48,3%	0,15
Papel e papelão	13,7%	0,4
Plástico	12%	0
Metal	4,9%	0
Vidro	3,9%	0
Outros e resíduos inerte	17,3%	0
Carbono orgânico degradável		0,12719

Fonte: IPCC, 2006, e Viegas *et. al.*, 2023.

