



50^o INVENTÁRIO DE GASES DE EFEITO ESTUFA DE FORTALEZA

APOIO

**Bloomberg
Philanthropies**

 **Vital
Strategies**

**C40
CITIES**

REALIZAÇÃO



FORTALEZA
PREFEITURA

URBANISMO
E MEIO AMBIENTE



5º INVENTÁRIO DE GASES DE EFEITO ESTUFA DE FORTALEZA

PREFEITURA MUNICIPAL DE FORTALEZA

Prefeito Municipal de Fortaleza

Evandro Sá Barreto Leitão

Secretário Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente

João Vicente Leitão

Secretário Executivo de Urbanismo e Meio Ambiente

José Iraguassu Teixeira Filho

Coordenador de Políticas Ambientais da SEUMA

Gustavo Henrique Macedo Rocha

Laboratório da Cidade Sustentável

Maria Raquel do Vale Lima

Gerente da Célula de Sustentabilidade e Mudanças Climáticas da SEUMA

Renata Veras Muniz Farias

Articuladora da Célula de Sustentabilidade e Mudanças Climáticas da SEUMA

Thais Braga Carneiro Rocha

Gerente de Planejamento Estratégico do IPPLAN Fortaleza

Ponto Focal da Prefeitura de Fortaleza junto ao C40

Francisca Dalila Menezes Vasconcelos

REDE C40

Regional Deputy Director for Latin America | Regional and Mayoral Engagement

Cristina Argudo

Senior Manager Climate Action Planning | Climate Action Planning & Innovation

Inés Lockhart

EQUIPE TÉCNICA

5º INVENTÁRIO DE GASES DE EFEITO ESTUFA DE FORTALEZA

Bruno Vieira Bertoncini

Jefferson Pereira Ribeiro

Julie Anne Holanda de Azevedo

Camille Arraes Rocha

Maria Elisa Zanella

Ithala Saldanha

Verônica Teixeira Franco Castelo Branco

Rafael Santos

Rivelino Martins Cavalcante

Maria Juliana Borges Leite

Klinsman Gledson Guimarães de Araújo

Mariana Pompeu Soares

Antonio Ferreira Lima Júnior

Pedro Vitor Monte Rabelo

EQUIPE TÉCNICA

AUDITORIA C40

Daniela Ramirez

Rodolphe Quinn

Francisca Dalila Menezes Vasconcelos

Thais Braga Carneiro Rocha

Renata Veras Muniz Farias
(coordenação)

O 5º Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa de Fortaleza foi elaborado com o apoio da iniciativa internacional Parceria por Cidades Saudáveis (Partnership for Healthy Cities), que conta com a participação da Bloomberg Philanthropies, da Organização Mundial da Saúde (OMS) e da Vital Strategies.

Sua publicação é resultado de uma auditoria técnica conduzida pela rede C40 Cities, que assegurou a consistência metodológica e a conformidade com padrões internacionais, reafirmando o compromisso da Prefeitura de Fortaleza com a agenda climática e com a formulação de políticas públicas baseadas em evidências. O documento apresenta um retrato das emissões da cidade no ano-base de 2020 e constitui uma referência para orientar ações de mitigação e adaptação às mudanças climáticas.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Representação das Emissões de Poluentes Fontes Antropogênicas. **19**
- Figura 2:** Distribuição populacional no município de Fortaleza. **20**
- Figura 3:** Distribuição espacial das atividades representada pelo uso do solo. **21**
- Figura 4:** Distribuição espacial das atividades industriais. **22**
- Figura 5:** Índice de Desenvolvimento Humano por Bairro (IDH-B). **23**
- Figura 6:** Sistema viário no município de Fortaleza. **24**
- Figura 7:** Linha de desejo entre macrozonas para os modos individuais (fluxos de 1.000 a 5.000 viagens por dia). **27**
- Figura 8:** Teste de Mann-Kendall para a série histórica de Fortaleza (1966-2019). **30**
- Figura 9:** Espacialização dos dados de temperatura do ar. **32**
- Figura 10:** Fontes e fronteiras do Inventário de GEE municipal. A cor laranja representa o território do município. **32**
- Figura 11:** Estrutura de cálculo de Emissões de GEE. **38**

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Taxa de sucateamento da frota DENATRAN para veículos ciclo Otto. **25**

Gráfico 2: Teste de Pettitt para a série histórica de Fortaleza (1966-2019). **31**

Gráfico 3: Consumo médio de energia elétrica. **42**

Gráfico 4: Distribuição das emissões totais por setores, anos base 2020 e 2021. **44**

Gráfico 5: Percentual de emissão do Setor Estacionário por tipo de energia empregada nos anos base de 2020 e 2021. **45**

Gráfico 6: Emissões do setor estacionário conforme subsetor, anos base 2020 e 2021, adaptado da saída da planilha CIRIS. **46**

Gráfico 7: Percentual de emissão do Setor de transporte por tipo de combustível empregado nos anos base de 2020 e 2021. **46**

Gráfico 8: Emissões do Setor de transporte conforme subsetor, anos base 2020 e 2021, adaptado da saída da planilha CIRIS. **47**

Gráfico 9: Percentual de emissões no setor de saneamento e resíduos por fonte de emissão, nos anos base de 2020 e 2021. **47**

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Caracterização município de Fortaleza. **15**

Quadro 2: Setores e subsetores para metodologia GPC. **36**

Quadro 3: Potências de Aquecimento Globais. **40**

Quadro 4: Síntese das Emissões, ano base 2020. **43**

Quadro 5: Síntese das Emissões, ano base 2021. **43**

Quadro 6: Comparativo das emissões inventariadas em Fortaleza (emissões em tonCO₂e). **49**

LISTA DE ACRÔNOMOS E SIGLAS

A

ACFOR: Autarquia de Regulação, Fiscalização e Controle dos Serviços Públicos de Saneamento Ambiental

AFOLU: Agriculture, Forestry and Other Land Use

ANAC: Agência Nacional de Aviação Civil

ANP: Agência Nacional do Petróleo

ARCE: Agência de Regulação do Estado do Ceará

C

C40: Climate Leadership Group

CAGECE: Companhia de Água e Esgoto do Ceará

CIRIS: City Inventory Reporting and Information System

CEGÁS: Companhia de Gás do Estado do Ceará

D

DOCASCE: Companhia Docas do Ceará – Porto do Mucuripe

E

ECOFOR: Companhia de Limpeza Urbana de Fortaleza

ENEL: Companhia de Energia Elétrica

EPE: Empresa de Pesquisa Energética

ESPIN: Emergência de Saúde Pública de Importância Nacional

F

FIEC: Federação das Indústrias do Estado do Ceará

FORCLIMA: Fórum de Mudanças Climáticas de Fortaleza

FTL: Ferrovia Transnordestina Logística

G

GEE: Gases de Efeito Estufa

GGC: Gabinete de Governança Climática

GLP: Gás Liquefeito de Petróleo

GNV: Gás Natural Veicular

GPC: Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories

GWP: Global Warming Potential

I

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICLEI: Governos Locais para Sustentabilidade

IDH: Índice de Desenvolvimento Humano

IGEE: Inventário de Gases de Efeito Estufa

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

IPEA: Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada

IPECE: Instituto de Planejamento Econômico do Estado do Ceará

IPPU: Industrial Processes and Product Use

M

METROFOR: Companhia Cearense de Transporte Metropolitanos

N

NDC: Contribuição Nacionalmente Determinada

O

ONSV: Observatório Nacional de Segurança Viária

OPAS: Organização Pan-Americana de Saúde

P

PLAC: Plano Local de Ação Climática

PAG: Potencial de Aquecimento Global

PASFOR: Plano de Acessibilidade Sustentável de Fortaleza

PIB: Produto Interno Bruto

PNUD: Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

R

RMF: Região Metropolitana de Fortaleza

S

SCSP: Secretaria Municipal de Conservação e Serviços Públicos

SEEG: Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa

SEFAZ-CE: Secretaria da Fazenda do Estado do Ceará

SEUMA: Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente de Fortaleza

SINDUSCON: Sindicato das Indústrias da Construção Civil

V

VLT: Veículo Leve sobre Trilhos

U

UASB: Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactors

UFC: Universidade Federal do Ceará

UN: Unidade

UNFCCC: Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança Climática

W

WRI: World Resources Institute

LISTA DE SÍMBOLOS

CO: Monóxido de Carbono

CO₂: Dióxido de Carbono

tCO₂e: Toneladas de CO₂ Equivalente

PM₁₀: Material Particulado de Diâmetro Inferior a 10 Micrometros (µm)

NO_x: Óxido de Nitrogênio

SO₂: Dióxido de Enxofre

SUMÁRIO

Introdução **14**

Caracterização do Ambiente de Fortaleza **18**

Clima Urbano em Fortaleza **28**

Metodologia e Caracterização do Inventário **33**

Resultados **42**

Síntese e Conclusões **52**

Referências **50**

Anexos **57**

Anexo 1 Fatores de emissão e parâmetros empregados

Anexo 2 Visão geral dos resultados 2020

Anexo 3 Visão geral dos resultados 2020

1.

Introdução

A urbanização e a industrialização são vistas como as forças propulsoras por trás do crescimento econômico de um país e estão muito associadas ao estilo de vida adotado pela população, onde tudo está extremamente conectado e com prazos de serventia cada vez menores. A expansão e manutenção desse estilo de vida culminou com a expansão demográfica das cidades devido à urbanização, levando a avanços industriais descontrolados e aumento da dependência por transportes para a realização dos deslocamentos diários. Desmatamento, ampliação das áreas para cultivo e criação animal e a transformação do uso do solo estão entre os principais agentes da mudança ambiental global por seus efeitos sobre ciclos biogeoquímicos, biota e clima (Vitousek 1994, Dale 1997, Vitousek et al. 1997). Dentre as consequências observa-se a mudança do clima, de acordo com relatório de Mudanças Climáticas das Nações Unidas do IPCC (IPCC, 2022), que acarretam impactos no presente momento, mas com potencial de agravamento a longo prazo nas temperaturas e nos padrões climáticos. Essabbá (2021) demonstrou em seu estudo que as atividades urbanas possuem forte correlação com os níveis de emissão, particularmente as decorrentes dos transportes e das atividades industriais.

E as emissões continuam a aumentar, de acordo com a Organização das Nações Unidas, a Terra está agora cerca de 1,1°C mais quente do que no final de 1800, sendo que a última década (2011-2020) foi a mais quente já registrada. Embora, para muitas pessoas, a mudança climática signifique principalmente temperaturas mais quentes, estudos apontam que o aumento da temperatura é apenas uma parte do problema. É fundamental sempre ter em mente que a Terra é um sistema, e como tal, mudanças em uma determinada área poderão impactar em outras, podendo ter como consequência problemáticas relacionadas às secas intensas, escassez de água, incêndios graves, aumento do nível do mar, inundações, derretimento do gelo polar, tempestades catastróficas, declínio da biodiversidade e redução das capacidades de produção de alimentos. Muitos desses efeitos já estão sendo sentidos ao longo dos últimos anos, sendo que, desde 2021 o número de eventos extremos como tempestades, inundações, calor excessivo e invernos desregulados têm sido registrados, atingindo intensamente a sociedade global. Na última década, o Brasil se tornou um dos países marcados por inúmeras tragédias naturais consideradas imprescindíveis, mas que agora vem apresentando uma taxa de recorrência. Em 2022 observou-se que os desastres ocasionados por inundações e deslizamentos são apontados como os desastres mais recorrentes em diversas regiões do país. No contexto de Fortaleza a situação é preocupante, devido às condições climáticas da região, que já impõem ao Estado do Ceará desafios decorrentes da desertificação e desabastecimento de águas. Durante o ano de 2022, o ritmo de chuvas em Fortaleza já apontou para repetição diferente da qual costumeiramente se observa, tendo a presença de precipitações até o mês de julho.

As problemáticas citadas, tornaram-se os principais elementos de preocupação ambiental em escala global, especialmente nos países em desenvolvimento (Sharma e Sharma, 2016). As fontes de contaminantes do ar ocorrem principalmente devido a diferentes atividades antrópicas como emissões industriais e automotivas, agricultura e queima de biomassa, atividades de construção, exibição pirotécnica e outras atividades associadas (Guttikunda et al., 2014; Hama et al., 2019). Além disso, eventos naturais como poeira e tempestades no deserto, incêndios florestais, erupções vulcânicas, aerossóis marinhos e grãos de pólen também afetam severamente a qualidade do ar (Almeida et al., 2005).

O gás metano e o dióxido de carbono, estão entre os principais gases causadores do efeito estufa que contribuem para as mudanças climáticas, com grande parte de suas emissões provocadas por meio do uso de combustíveis fósseis e carvão. O acúmulo de resíduos é uma importante fonte de emissões de metano. Assim, os setores de geração de energia, indústria, transportes, edifícios, agricultura e resíduos estão entre as principais fontes emissoras. Os centros urbanos são responsáveis por aproximadamente um terço das emissões globais, oriundas de fontes antropogênicas, sendo compostos por: 35% de CO₂; 29% de NO_x; 27% de PM₁₀; 26% de CO; e 37% de SO₂ (EUROPEAN COMMISSION, 2018; ESCH et al., 2017; CRIPPA et al., 2021).

Um dos principais causadores dessa problemática é o setor de transportes, em especial o rodoviário, onde são responsáveis por quase 3/4 das emissões de CO₂ (IEA, 2021). No Brasil, de acordo com os dados do SEEG (Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa), o setor de energia foi responsável por 19% das emissões em 2019, onde 38% deste total é de responsabilidade do setor de transportes (IEMA, 2020).

A Organização Pan-Americana de Saúde – OPAS, órgão vinculado à Organização Mundial da Saúde, apresentou um relatório em 2018 apontando que 91% da população mundial está exposta a riscos oriundos da qualidade inapropriada do ar, estimando-se que 12% das mortes no mundo tenham relação com este fenômeno (OMS, 2018). No Brasil, o relatório aponta que 51 mil pessoas morreram no ano de 2016 de causas relacionadas com a poluição atmosférica (OMS, 2018). Em termos comparativos com outras causas de mortes ocorridas no mesmo período, o Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada (IPEA) apontou que 65 mil óbitos foram decorrentes da violência urbana e o Observatório Nacional de Segurança Viária (ONSV) calcula que 37 mil pessoas perderam suas vidas em decorrência de acidentes de trânsito (IPEA, 2019; BRASIL, 2018). Já trazendo para o âmbito local, segundo dados do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, o município de Fortaleza é o maior emissor de GEE do estado do Ceará (SEEG, 2020).

Diante de todo esse cenário, visando propiciar maior qualidade de vida aos seus cidadãos e cidadãs, o município de Fortaleza desenvolveu mecanismos de governança que são fundamentais para tomada de decisão no combate às consequências da mudança do clima em seu território e propiciar maior qualidade de vida aos seus cidadãos e cidadãs. O início dessa jornada ocorreu em 2013, por meio do projeto Urban-LEDS I: “Acelerando Ação Climática por meio da Promoção de Estratégias de Desenvolvimento Urbano de Baixas Emissões”, financiado pela Comissão Europeia e implementada pelo ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, em parceria com a ONU - Habitat. Em 2014, a cidade apresentou e implementou o Fórum de Mudanças Climáticas de Fortaleza – FORCLIMA (Decreto Municipal nº 13.639/2015), que realiza articulação entre o Poder Executivo Municipal e outras instituições, para a elaboração conjunta de estratégias em resposta aos problemas decorrentes das mudanças climáticas. No ano de 2017, foram promulgadas a Lei Municipal nº 10.619/2017, que institui a Política Municipal de Meio Ambiente de Fortaleza, e a Lei Municipal nº 10.586/2017, que dispõe sobre a Política Municipal de Desenvolvimento Urbano de Baixo Carbono. Em 2020, foi realizada uma atualização da metas do Plano de Baixo Carbono de Fortaleza desenvolvido em 2015, passando a ser denominado de Plano Local de Ação Climática - PLAC, um documento produzido como parte do Projeto UrbanLEDS II cuja elaboração partiu do alinhamento entre metas, ações planejadas e legislação existentes, além de utilizar a instância de participação social do FORCLIMA.

Para fundamentação das metas do PLAC, foram utilizadas informações dos Inventários de Emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE), sendo o 5o Inventário,

produto do presente trabalho. Nesse contexto, pode-se afirmar que Fortaleza mantém o compromisso com a Legislação Federal, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei nº 12.187/2009), assim como a Política Estadual de Enfrentamento às Mudanças Climáticas do Ceará (Lei nº 14.090/2010), alinhando-se com as metas e compromissos firmados pelo Brasil no Acordo de Paris e também com o disposto na Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC), a qual objetiva a redução de emissões de gases de efeito estufa em 37% até 2025 e 47% até 2030, tendo como base os níveis do ano de 2005. Por fim, destaca-se que no dia 16 de Março de 2022, dia da Conscientização sobre Mudanças Climáticas, foi assinado o Decreto nº 15.280/2022, que dispõe sobre a criação do Gabinete de Governança Climática (GGC), que atuará na concretização da política pública voltada à sustentabilidade, economia verde e redução das emissões de GEE, coordenado pela SEUMA.

Ao longo dos últimos anos, Fortaleza tem se pautado no planejamento urbano com foco no desenvolvimento urbano sustentável. Além das iniciativas já mencionadas, durante este período foram elaborados quatro Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa para o município de Fortaleza, sendo que o último foi publicado em 2020, tendo como base dados do ano de 2018. Este tipo de ação permite aos gestores conhecer o panorama das emissões de GEE no município, bem como, suas fontes e origem, para então adequar de forma mais efetiva o conjunto de ações que ajudem a melhorar os índices de qualidade do ar local. Além disso, iniciativas como aquisição de uma Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar e estabelecimento de convênios com a academia, especialmente Universidade Federal do Ceará, ajudaram a impulsionar melhorias no contexto das mudanças climáticas.

Diante disso, este documento apresenta os resultados do **5º Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa** para o município de Fortaleza. Como premissa, foram mantidas as estruturas metodológicas adotadas no inventário anterior. Os resultados foram calculados tomando por base os anos de 2020 e 2021. Ao longo das próximas seções serão apresentadas discussões que possibilitem não apenas quantificar os níveis de emissão e setores responsáveis, mas também qualificar a situação urbana da cidade, com vistas a dinâmica das principais fontes emissoras e ao panorama do clima urbano local. Para tal, organiza-se o documento em seis seções, a começar por esta introdução, seguido pela discussão da caracterização de elementos do ambiente urbano de Fortaleza. Em seguida, serão apresentadas informações referentes ao clima urbano do município. Essas duas seções anteriores são importantes para construir uma massa crítica a respeito de elementos causais das emissões, bem como, os efeitos que possuem relação com elas. Na sequência, apresenta-se a metodologia e caracterização do inventário, seguida pela apresentação e discussão dos resultados. Por fim, apresentam-se as conclusões acerca dos resultados obtidos para o 5º IGEE. Ao final do documento serão apresentados os documentos complementares, na forma de Anexos.

2.

Caracterização do Ambiente de Fortaleza

Para a realização do Inventário de GEE deve-se definir, primeiramente, suas fronteiras, os limites para identificação dos gases, fontes de emissão, a área geográfica e intervalo de tempo coberto. As fronteiras do Inventário são projetadas para fornecer uma compreensão abrangente das principais fontes de emissões para uma determinada região, bem como, uma indicação de onde ela poderia agir ou influenciar a mudança. Nesse sentido, busca-se nesta sessão realizar uma breve caracterização do município de Fortaleza.

Fortaleza, capital do Estado do Ceará, está localizada na região Nordeste do Brasil e possui mais de 2 milhões de habitantes, número que corresponde a 69% da população total da Região Metropolitana de Fortaleza - RMF. O município não dispõe de área rural e está inserido em uma área metropolitana envolvendo os municípios de São Gonçalo do Amarante, Caucaia, Maracanaú, Maranguape, Pacatuba, Guaiúba, Eusébio, Aquiraz, Itaitinga, Horizonte, Pacajus e Chorozinho. A economia local é diversificada, com destaque para setores de comércio, serviço e turismo, sendo o PIB per capita no ano de 2020 igual a R\$ 24.128,00 conforme estimativas do IPECE. No Quadro 1 é apresentado um resumo da caracterização do município.

Quadro 1: Caracterização Município de Fortaleza

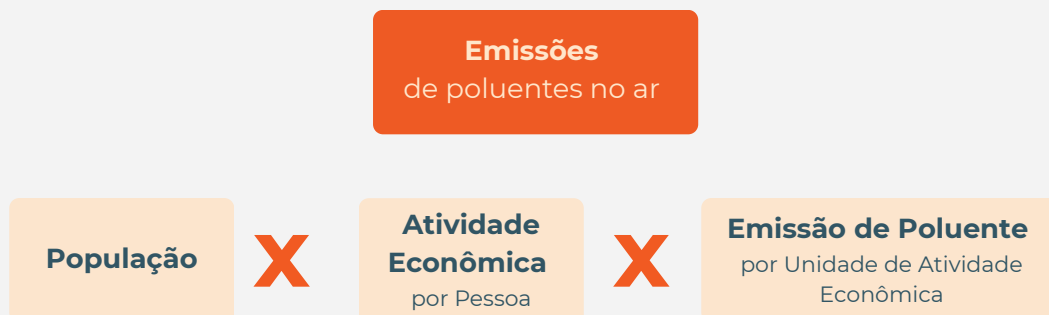
FORTALEZA | CEARÁ | BRASIL

Período do inventário	2020 e 2021
Área	312,4 km ²
Limites geográficos	Oceano Atlântico, Caucaia, Maracanaú, Pacatuba, Itaitinga, Eusébio, Aquiraz
População (IBGE)	2020 - 2.686.612 2021 - 2.703.391
Produto Interno Bruto per capita (IPECE)	2020 - 24.128,00 2021 - 27.164,00
Clima	Tropical Quente Subúmido
Bioma	Cerrado, Complexo Vegetacional da Zona Litorânea, Floresta Perenifólia Paludosa

Fontes: Perfil Municipal IPECE e IBGE

A emissão de poluentes no ar oriunda de fontes antropogênicas, conforme ilustrado no Figura 1, pode ser compreendida como um produto entre população, atividade econômica per capita e emissão por unidade de atividade econômica. Assim, a dinâmica populacional passa a ser um fator importante para compreensão dos níveis de emissão observados em determinado ambiente.

Figura 1: Representação das Emissões de Poluentes Fontes Antropogênicas

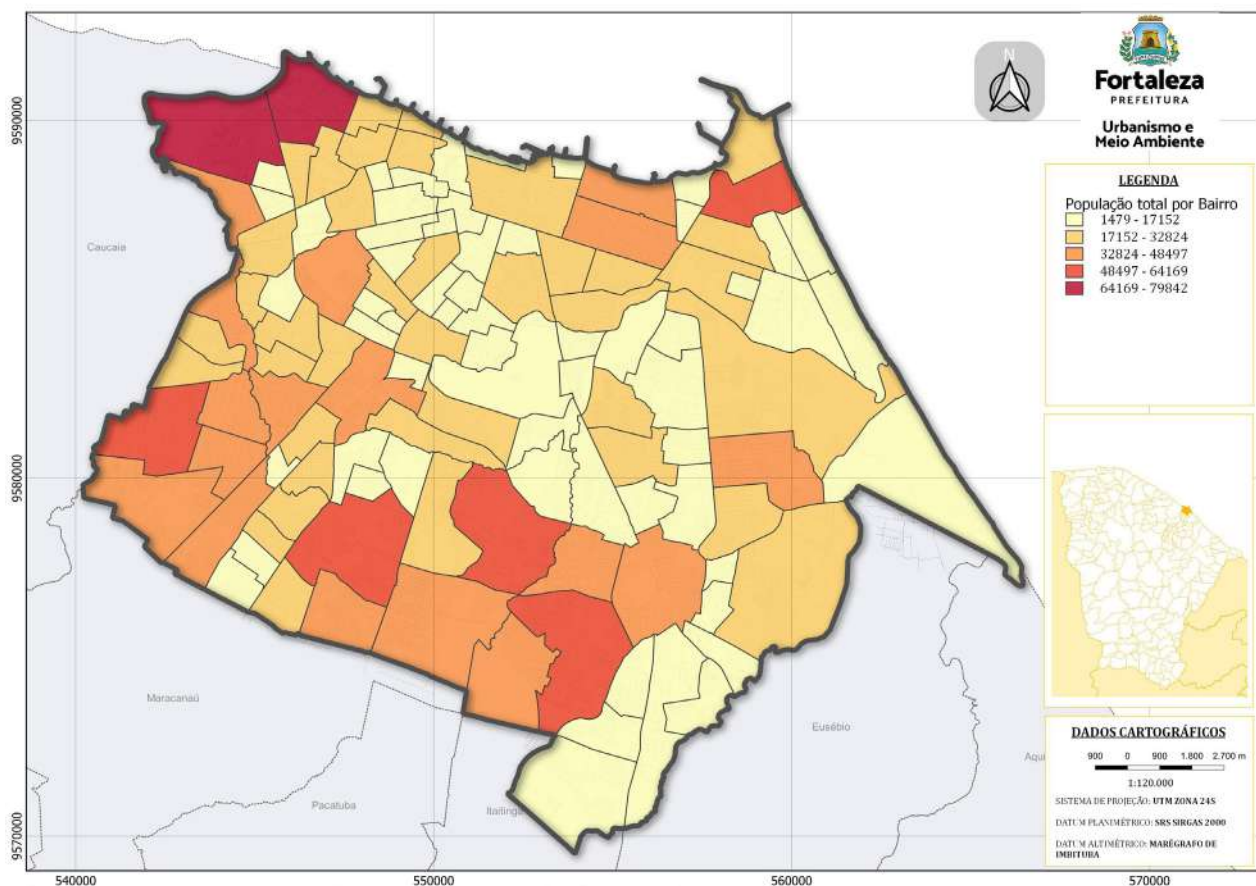


Fonte: Elaboração própria (2025).

Compreender a distribuição populacional no município é importante para a discussão sobre o fenômeno das emissões de poluentes oriundos de fontes antropogênicas. Para além da quantidade de pessoas, é também importante compreender a dinâmica das atividades locais e como ocorre a distribuição dessas atividades, nas quais são representadas pelo uso e ocupação do solo, podendo impactar na dinâmica dos deslocamentos.

A distribuição populacional no município indica que há concentração maior nas regiões Sudoeste, Oeste e Nordeste, onde estão os bairros mais populosos, com morfologia urbana de ocupação horizontal. Por sua vez, em regiões com alta densidade construtiva, como nos bairros Meireles e Aldeota, a morfologia urbana possui como característica a ocupação vertical. Na Figura 2 é apresentado o mapa com a distribuição populacional no município.

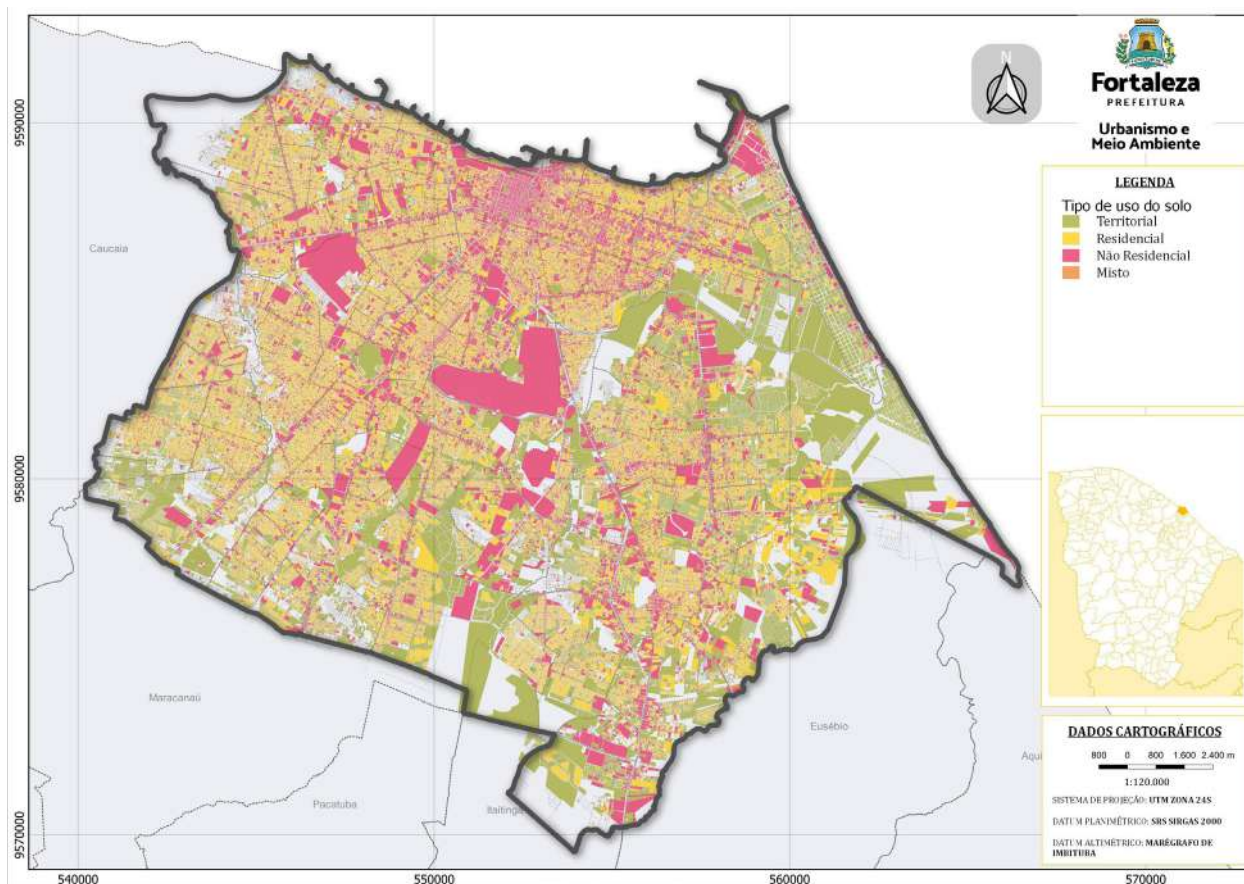
Figura 2: Distribuição populacional no município de Fortaleza



Fonte: Elaboração própria (2022).

A Figura 3 apresenta a distribuição espacial das atividades conforme o uso e ocupação do solo. Observa-se um predomínio de áreas residenciais, intercaladas com setores destinados ao comércio, serviços e atividades industriais.

Figura 3: Distribuição espacial das atividades representada pelo uso do solo.

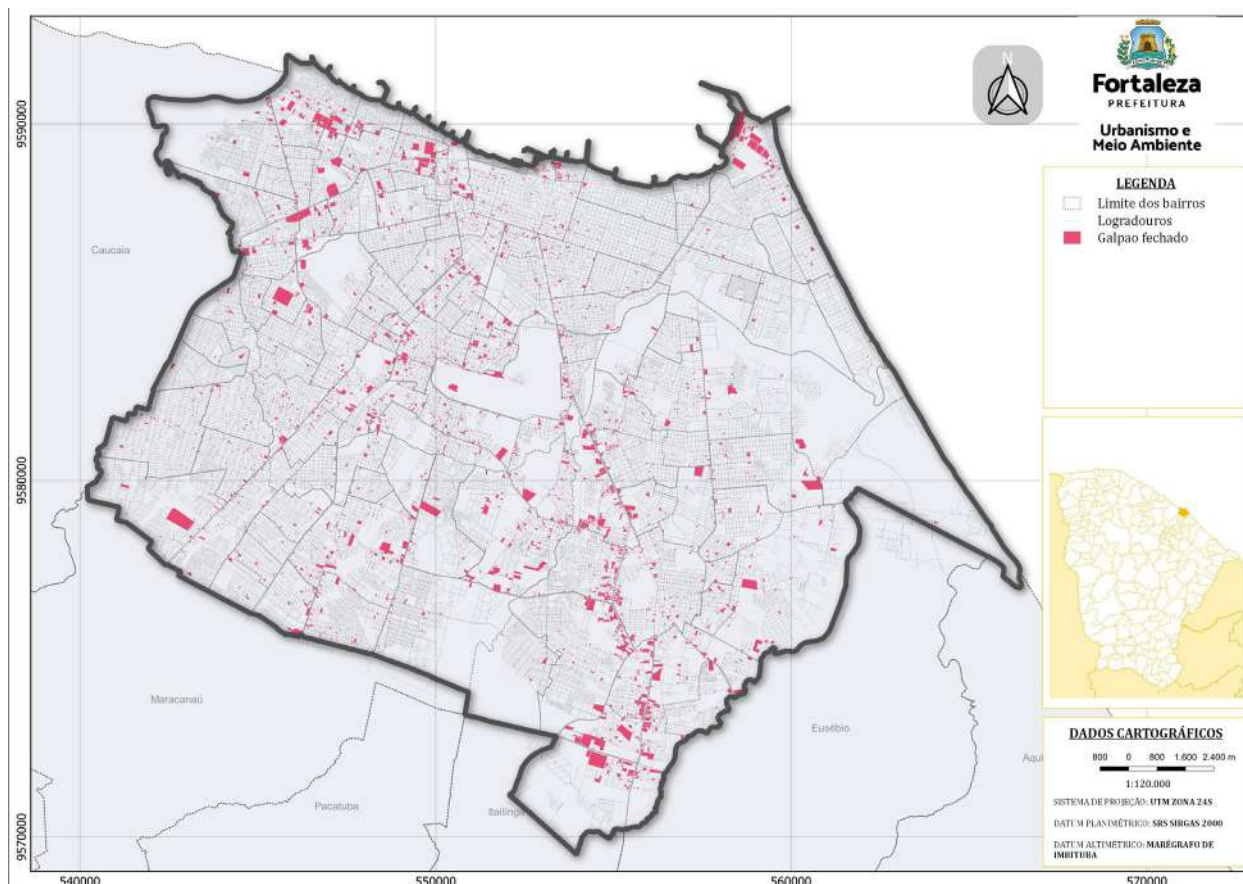


Fonte: Elaboração própria (2022).

A distribuição espacial das atividades é relevante, pois em combinação com a análise dos locais onde as pessoas residem podem ajudar a indicar tendências de deslocamentos. Deslocamentos, podem ser feitos por modos motorizados e resultar em algum tipo de emissão direta ou indireta, condição que depende da fonte de combustível e tipo de motor. Outro fator importante é que, dentre as atividades, as de natureza industrial podem resultar em emissões, direta ou indireta, a depender do processo produtivo.

Assim, na Figura 4 são apresentadas as localizações dos principais pontos industriais no município de Fortaleza. Nota-se uma concentração ao Sul da cidade.

Figura 4: Distribuição espacial das atividades industriais



Fonte: Elaboração própria (2022).

2.1 Índice de Desenvolvimento Humano

O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é uma medida geral e sintética usada para classificar o grau de desenvolvimento econômico e a qualidade de vida. O IDH varia em uma escala que vai de 0 a 1. Quanto mais próximo de 1, maior o desenvolvimento humano. A escala classifica o IDH em cinco faixas: muito alto, alto, médio, baixo e muito baixo. As dimensões que constituem o IDH são:

Renda: Padrão de vida medido pela Renda Nacional Bruta per capita;

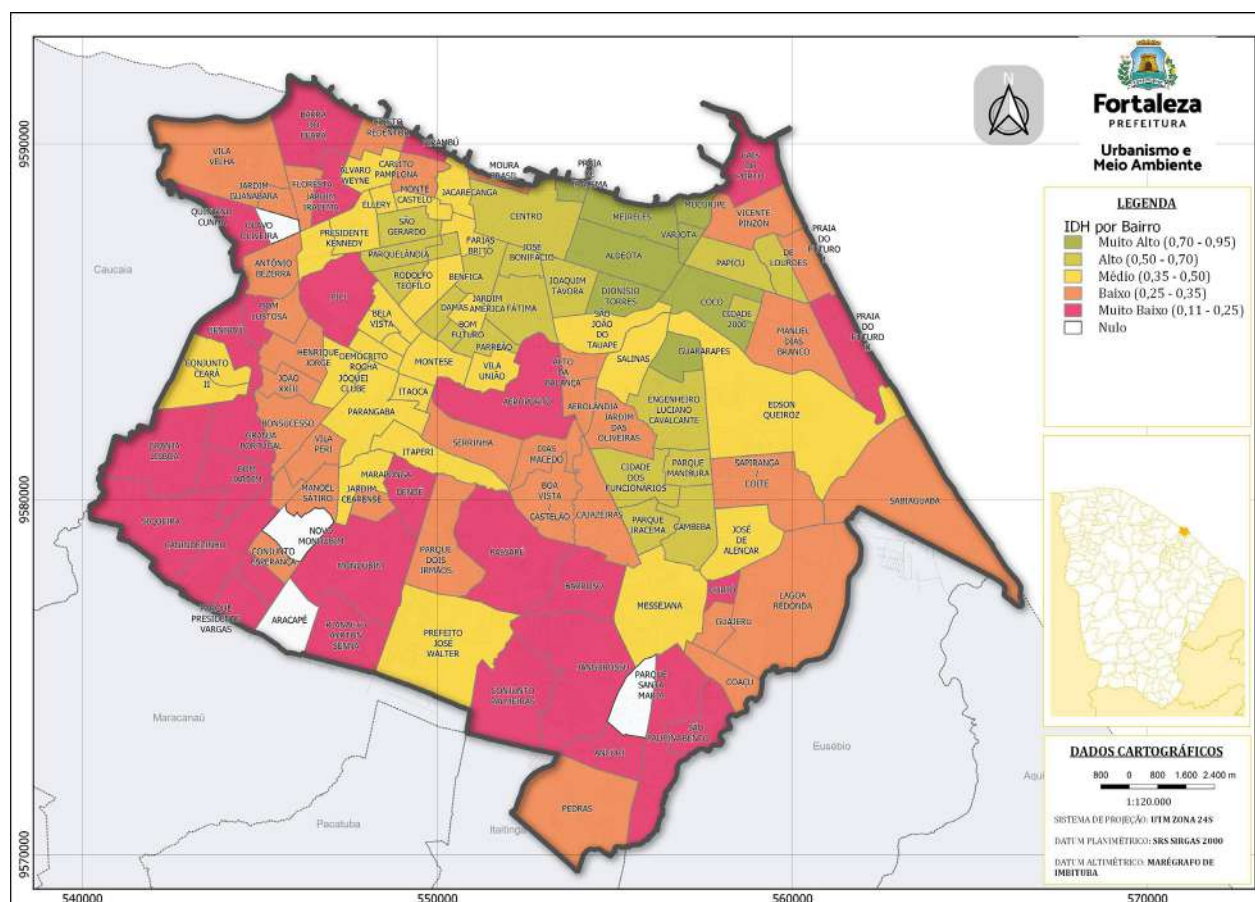
Saúde/Longevidade: Vida saudável e longa medida pela expectativa de vida; e

Educação: Acesso ao conhecimento medido pela média de anos de educação de adultos e expectativa de anos de escolaridade para crianças na idade de iniciar a vida escolar.

O IDH também é usado para apurar o desenvolvimento de cidades, estados e regiões através do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal - IDHM. O IDHM brasileiro é um ajuste metodológico do IDH Global e segue as mesmas três dimensões, porém não é possível fazer comparação entre o IDHM de um município e o IDH de um país. Os dados estão disponibilizados através do Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil. O Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil é uma parceria entre o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea) e a Fundação João Pinheiro. Os dados são baseados nos Censos Demográficos de 1991, 2000 e 2010 e contemplam os Estados e Municípios. No caso de Fortaleza, os dados do IDH foram disponibilizados pela Secretaria de Desenvolvimento Econômico, com base em dados do IBGE.

Avaliando as dimensões do IDH, Figura 5, observou-se que os bairros Meireles e Guararapes apresentaram o melhor IDH-Renda. No tocante ao IDH-Educação, os destaques positivos foram Meireles e Dionísio Torres. O bairro José Bonifácio apresentou o melhor IDH-Longevidade. Quanto ao ranking dos bairros em pior situação, o Conjunto Palmeiras deteve o pior IDH-Renda, o bairro Pedras o pior IDH-Educação e o bairro Dendê o menor IDH-Longevidade.

Figura 5: Índice de Desenvolvimento Humano por Bairro (IDH-B).



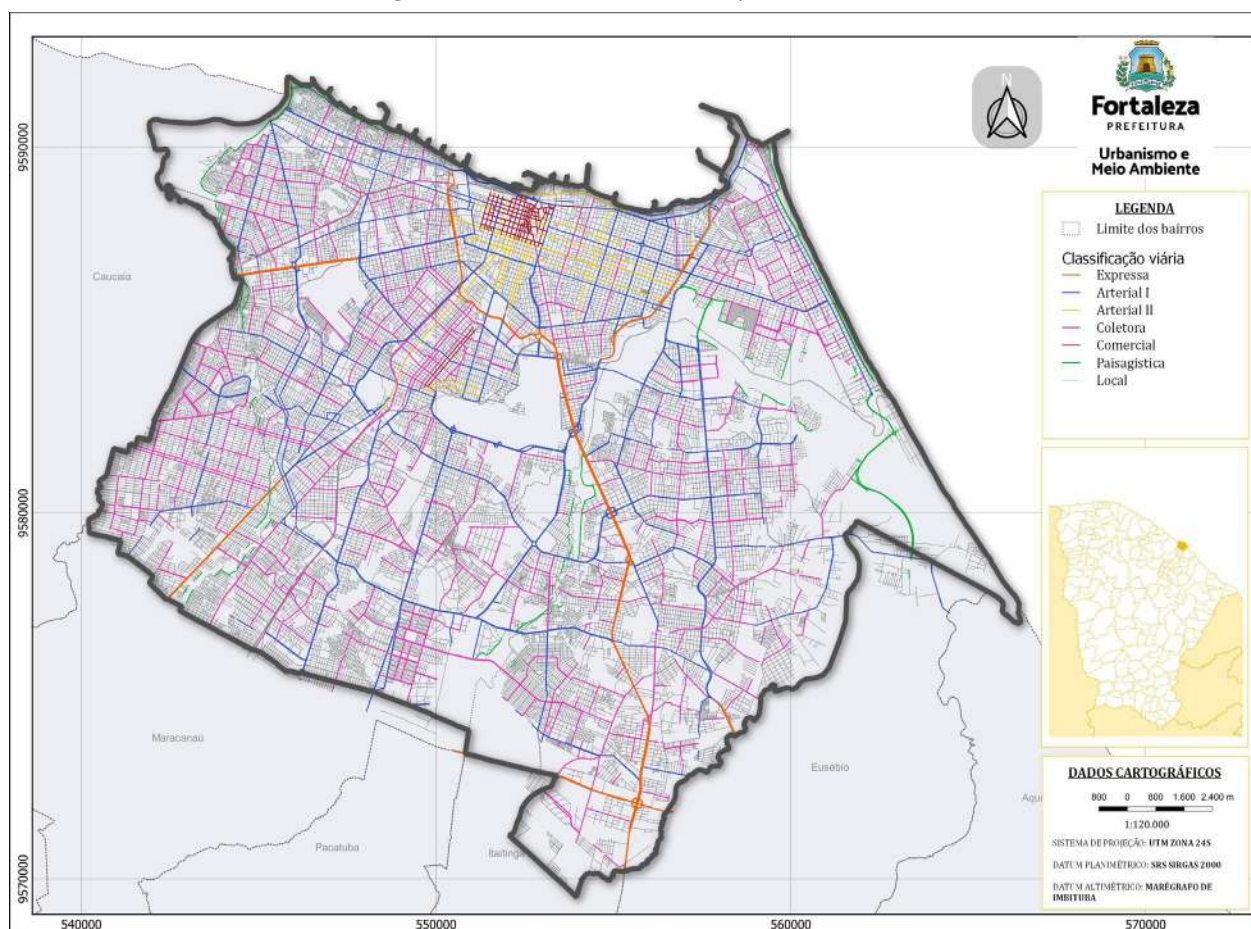
Fonte: Elaboração própria (2022).

2.2 Perfil dos deslocamentos e sistema de transportes

Abordar o sistema de transportes e discutir sobre os deslocamentos é importante para compreender sobre as emissões de poluentes. O setor de transportes possui como uma das externalidades a emissão de poluentes atmosféricos. Em Fortaleza, no 4º Inventário de Gases de Efeito Estufa, o setor de transportes foi o principal contribuinte para as estimativas de emissões.

Fortaleza é uma cidade que busca regularmente pensar em ações voltadas ao setor de transportes. Recentemente dois grandes estudos foram conduzidos no município, o Plano Fortaleza 2040 e o Plano de Acessibilidade Sustentável de Fortaleza – PASFOR. A necessidade de planejar e buscar alternativas que venham a corrigir problemas é algo primordial para qualquer grande centro urbano. No contexto de Fortaleza, isso se justifica pela cidade ter expandido sua área ocupada em grande intensidade, especialmente no início dos anos 2000. Sendo que tal expansão contou sempre com ampliação da oferta do sistema de transportes motorizados. Na Figura 6 é possível observar o mapa do sistema viário, nota-se que ele preenche praticamente todas as áreas não ocupadas no município, ou que não sejam de preservação. Sob olhar das emissões, este panorama merece atenção, pois há uma tendência para estímulo de veículos motorizados.

Figura 6: Sistema viário município de Fortaleza

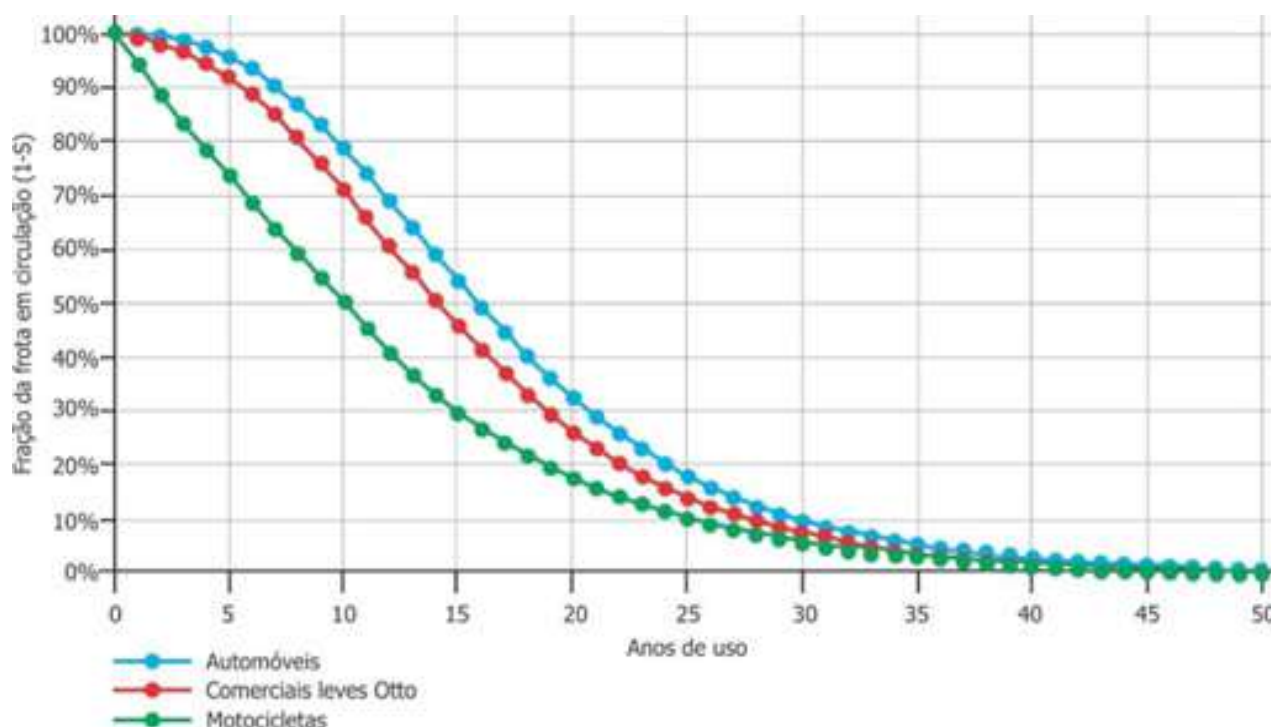


Fonte: Elaboração própria (2022).

De acordo com PASFOR (2020), a RMF tem registrada uma frota de 1.487.535 veículos (novembro/2019), sendo 1.131.361 (76,1% do total) registrados em Fortaleza. A participação de motos na composição da frota é expressiva: 31,5% no geral e 28,6% no Município de Fortaleza, crescendo nos municípios da Região Metropolitana. Em 3 cidades, Guaiúba, Horizonte e Itaitinga a quantidade de motocicletas já é superior à de autos. A Cidade de Fortaleza apresenta um elevado Índice de Motorização: 423,8 veículos para cada grupo de 1.000 habitantes, bem superior à média da área de estudo (383,6). No período de 2001 até 2019, de acordo com dados do DENATRAN, a frota total registrada no município de Fortaleza cresceu 195%, sendo que no recorte da frota de motocicletas, nesse mesmo período, o crescimento foi 512%.

Ainda conforme o PASFOR, a frota circulante (automóveis e motos) representa 45% da frota registrada no DENATRAN. De acordo com a metodologia utilizada pela Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP), no seu Sistema de Informações da Mobilidade Urbana – SIMOB/ANTP, é possível ter uma estimativa da idade média da frota em circulação. O método da ANTP adota fatores de sucateamento da frota em função da idade dos veículos e das suas características construtivas e de uso. A Gráfico 1 mostra as curvas de sucateamento indicando as porcentagens de redução da frota com o passar dos anos em função de vários motivos correlacionados, tais como acidentes de trânsito, roubo/desmanche, desgaste do veículo/idade, entre outros. Assim, a frota em circulação na cidade de Fortaleza está entre 13 e 18 anos de uso, o que implica em potencial aumento dos níveis de emissão, a depender do estado de manutenção dos veículos.

Gráfico 1: Taxa de sucateamento da frota DENATRAN para veículo ciclo Otto



Fonte: ANTP / Sistema de Informações da Mobilidade Urbana/PASFOR.

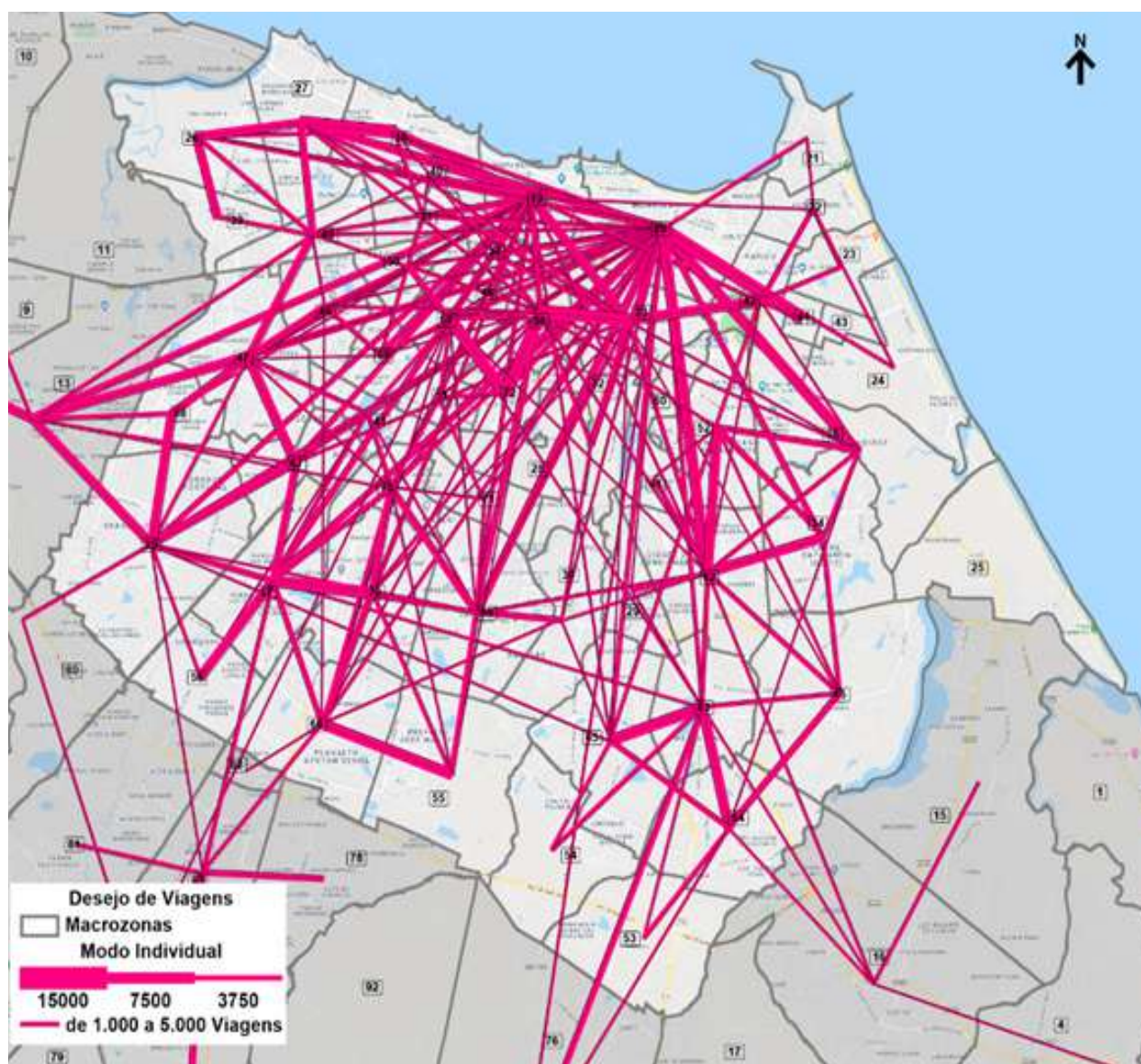
De acordo com a Pesquisa Origem-Destino (OD), os homens utilizam mais o transporte individual com automóveis (65%) e, principalmente, com motocicletas (90%), enquanto as mulheres predominam como passageiras nos automóveis (65%) e nas motos (63%). No transporte ativo as mulheres representam a maioria das viagens a pé (59%), enquanto os homens utilizam mais as viagens por bicicleta (77%). No uso do transporte coletivo também predominam as mulheres (57%).

Podemos assumir como um indicador de mobilidade a quantidade média de viagens realizadas por uma pessoa em um dia. O índice de mobilidade geral da RMF é de 1,78, sendo que o índice de mobilidade motorizado é de 1,06 e o de mobilidade ativa é de 0,71. Dos modos motorizados, o individual representa 0,62 viagem/habitante e o coletivo 0,44 viagem/habitante. Para o Município de Fortaleza esses índices são, respectivamente 1,90, 1,18 e 0,71 (PASFOR, 2020). Há uma tendência de movimentos pendulares, tipicamente aqueles motivados por trabalho e estudo, quando o indivíduo sai do seu domicílio, executa sua jornada de atividade, retorna ao domicílio. Este padrão é bem presente entre áreas residenciais e regiões não residenciais. No caso de Fortaleza, estima-se que esses deslocamentos tendem a ocorrer entre as regiões sudoeste, oeste e noroeste em direção ao centro. Além de uma presença de deslocamentos do sul em direção ao centro, conforme Figura 7.

A maioria dos deslocamentos no município é realizada por transporte individual, de modo motorizado. A distância média dos deslocamentos por transporte coletivo é de 7 km e por transporte individual 5 km. Há, portanto, um contexto de potencial emissão, mas deve-se destacar que durante os anos de 2020 e 2021, devido às restrições impostas pela pandemia, houve redução da circulação média veicular.

Embora haja planejamento recente e dados a respeito dos deslocamentos das pessoas e cargas no município, eles não permitem uma estiva a luz de cada viagem realizada, pois possuem um nível de agregação que não permite relacionar as viagens com os veículos, em função do seu perfil e combustível empregado.

Figura 7: Linha de desejo entre macrozonas para os modos individuais (fluxos de 1.000 a 5.000 viagens por dia).



Fonte: PASFOR|Consórcio SETEC | Oficina Consultores.

3.

Clima Urbano de Fortaleza

Nos últimos anos a densidade populacional de Fortaleza tem crescido mais que a das outras grandes capitais do Nordeste, apresentando concentração demográfica elevada, em relação às outras cidades do Estado. Esta concentração, associada com a disposição dos aparelhos urbanos, fluxo de pessoas e veículos e principalmente as características de uso e cobertura do solo, propiciam ilhas de calor urbanas, constatadas por Moura (2008) e Moura e Zanella (2012), onde foi verificado o aumento no aquecimento do ar local, sendo provocado pelos processos de urbanização. Moura (2008) identificou ilhas de calor, concentradas nos setores sudoeste, oeste, noroeste e porção central da cidade.

A partir da análise estatística dos dados coletados pela estação fixa, localizada no Campus do Pici, entre os anos de 1966 e 2019, é possível constatar as mudanças ocorridas na cidade e as tendências significativas de alterações futuras. Foram utilizados os testes estatísticos de Mann-Kendall e Pettitt para análises dos dados climatológicos coletados. O teste de Mann-Kendall é um teste não paramétrico que tem sido amplamente aplicado à detecção de tendências monotônicas em séries (MANN, 1945; KENDALL, 1975). Os dados foram submetidos ao teste de Mann-Kendall através do software Past¹ 4.03, onde os dados foram inseridos na planilha, selecionados e aplicados à estatística descritiva, gerando o resultado de Z, que se estiver entre -1,96 e 1,96 comprova ausência de tendência, valores superiores tendência ao acréscimo e valores inferiores apontam tendência ao decréscimo.

Os dados de temperatura média e máxima média apresentam os valores mais altos, com alta significância de tendência ao acréscimo nos próximos anos. Enquanto os valores de temperatura mínima não apresentam tendência estatisticamente significativa, exceto o mês de julho, que apresenta tendência significativa ao aumento. Sendo inversamente proporcional à temperatura do ar, os valores de umidade relativa do ar apresentaram alta significância estatística ao decréscimo, em todos os meses e no decorrer dos anos.

A velocidade do vento apresentou elevada significância estatística para o decréscimo no decorrer dos anos e na maioria dos meses do ano (exceto os meses mais chuvosos). A precipitação apresentou tendência ao decréscimo nos meses mais secos do ano, no entanto valores próximos ao limiar da não significância. Dados estão apresentados na Figura 8.

O teste de Pettitt (PETTITT, 1979; MORAES et. al., 1995) indica o ponto de mudança brusca do valor máximo de $K(t)$, quando este for maior que o limite crítico estabelecido. Os valores da série histórica foram submetidos ao teste no software XLSTAT², no Excel. Os valores de temperatura média, máxima média e mínima média tiveram o momento de mudança brusca na década de 1990, com diferença da média do universo de 0,5°C, 0,6°C e 0,3°C, respectivamente. A umidade relativa do ar apresentou mudança brusca na década de 1980, com decréscimo de 5,3% entre as distintas amostras do universo, confirmando o comportamento inversamente proporcional aos valores de temperatura do ar, que apresentaram acréscimo. A velocidade do vento apresentou redução na década de 2000, de 0,54 m/s entre as duas amostras. A precipitação foi o único elemento que não apresentou um período de mudança brusca dentre os anos analisados. Resultados estão apresentados no Gráfico 2.

¹ PAST é um aplicativo analisador de dados freeware categorizado como uma calculadora e disponibilizado por Oyvind Hammer para Windows.

² XLSTAT é um complemento de análise de dados Excel poderoso e flexível que permite aos usuários analisar, personalizar e compartilhar resultados dentro do Microsoft Excel.

Figura 8: Teste de Mann-Kendall para a série histórica de Fortaleza (1966-2019).

	TEMPERATURA MÉDIA	TEMPERATURA MÁXIMA MÉDIA	TEMPERATURA MÍNIMA MÉDIA	UMIDADE RELATIVA	VELOCIDADE DO VENTO	PRECIPITAÇÃO
JANEIRO	-0.17	0.58	-1.17	-2.32	-3.44	0.28
FEVEREIRO	1.39	1.94	0.14	-2.37	-1.64	1.10
MARÇO	3.34	4.01	1.38	-4.36	-0.55	-0.04
ABRIL	2.87	3.42	0.65	-4.06	-0.78	0.68
MAIO	4.04	4.24	1.46	-4.67	-1.38	-1.17
JUNHO	5.57	5.51	1.94	-4.93	-1.10	-0.75
JULHO	5.77	4.63	2.00	-5.01	-2.82	-0.87
AGOSTO	5.32	4.80	1.08	-4.36	-4.24	-2.29
SETEMBRO	3.81	4.72	0.04	-3.81	-3.39	-3.06
OUTUBRO	3.25	3.09	0.11	-3.70	-3.68	-2.87
NOVEMBRO	3.42	2.91	0.47	-3.49	-3.31	0.14
DEZEMBRO	3.05	1.75	-0.26	-4.02	-3.27	0.13
ANUAL	8.68	9.85	1.00	-9.74	-5.94	-1.76

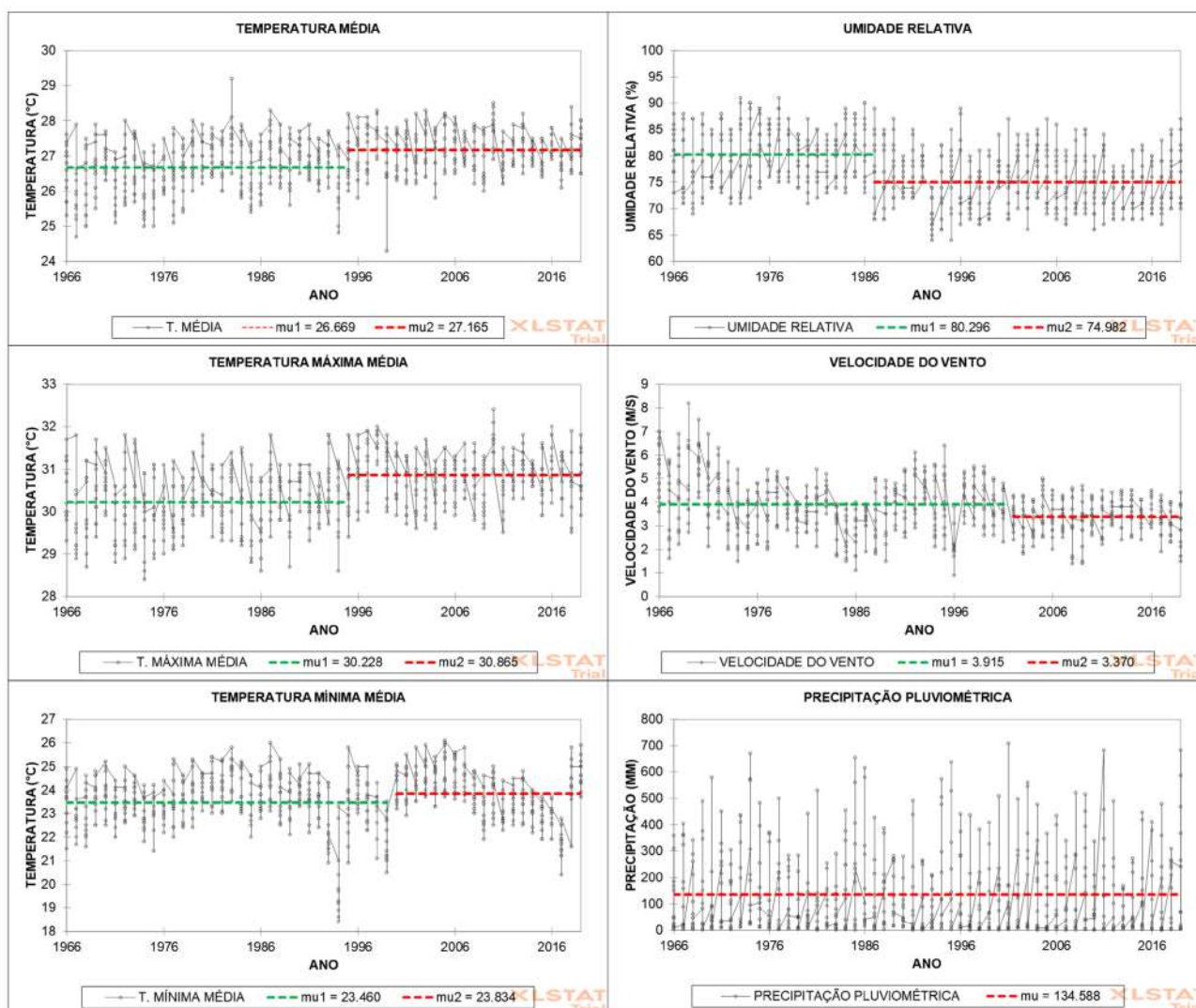
 Não há tendência estatisticamente significativa
 Há uma tendência de diminuição estatisticamente significativa
 Há uma tendência de aumento estatisticamente significativo

Fonte: Elaboração própria (2022).

Tendo em vista que Fortaleza comprovadamente apresenta modificações significativas dos elementos climáticos descritos, é importante apresentar as diferenciações intraurbanas e condições térmicas que estão diretamente relacionadas às questões de uso e cobertura do solo, como presença de edificações e fluxo de pessoas e veículos. Foram coletados dados de temperatura do ar, em um intervalo de 10 minutos, durante 6 meses, compreendendo os períodos seco e chuvoso da cidade (novembro e dezembro de 2021 e janeiro de 2022 representando o período seco, fevereiro, março e abril de 2022 representando o período chuvoso).

Os dados foram tratados e espacializados através do *software* SIG (Sistema de Informação Geográfica) QGIS 3.22.10, onde foi utilizada a técnica de interpolação IDW (Inverse Distance Weighting/Ponderação do Inverso da Distância), que consiste em uma técnica de interpolação usada para pontos espalhados espacialmente, determinando os valores dos pontos usando uma combinação linear ponderada dos pontos da amostra, sendo que, o peso de cada ponto é o inverso de uma função da distância (MARCUIZZO; ANDRADE; MELO, 2011).

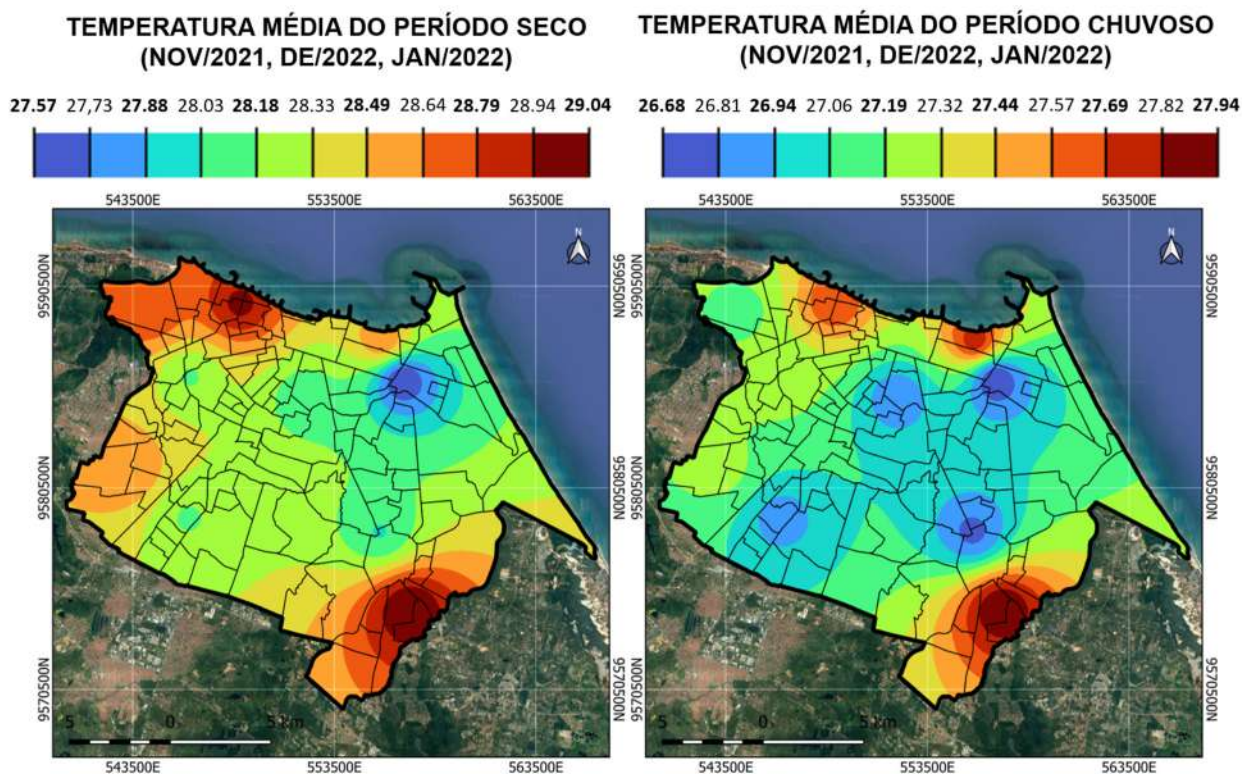
Gráfico 2: Teste de Pettitt para a série histórica de Fortaleza (1966-2019).



Fonte: Elaboração própria (2022).

No período seco, a amplitude dos valores médios chegou a 1,48°C, onde as regiões periféricas foram as mais aquecidas, sendo os arredores dos bairros Álvaro Weyne, Vila Velha, Paupina e Bom Jardim os que alcançaram as maiores temperaturas. Destaque para a região central, onde nos arredores do Meireles as temperaturas se mantiveram mais aquecidas durante o período noturno, tendo em vista as condições de verticalização e intenso fluxo de veículos. Resultados podem ser observados na Figura 9.

Figura 9: Espacialização dos dados de temperatura do ar



Fonte: Elaboração própria (2022).

Durante o período chuvoso, existe a interferência das condições atmosféricas de escala regional, suprimindo as características locais de acordo com as condições de nebulosidade e instabilidade do tempo atmosférico. Nesse período, a amplitude térmica média diminuiu para 1,26°C, devido às condições sinóticas predominantes. Os bairros Álvaro Weyne e Paupina, nas regiões periféricas, mantêm-se como pontos mais aquecidos. O bairro Meireles e adjacências apresentaram maiores temperaturas no período noturno, o que elevou o valor médio para essa região.

Percebe-se que, o clima urbano da cidade de Fortaleza está diretamente ligado às características construtivas e de uso e cobertura da superfície, onde, os bairros com alto volume horizontal de edificações (lotes totalmente edificadas, edificações geminadas de 2 a 4 pavimentos, vias estreitas) possuem um alto potencial de sobreaquecimento. Outra característica importante é a verticalização e o intenso fluxo de veículos, como ocorre na região do Meireles, que ocasiona um maior armazenamento de calor e possivelmente de materiais particulados, ocasionando temperaturas mais elevadas durante a noite e madrugada, em comparação com as outras áreas da cidade. Também é possível concluir que, as estruturas verdes, como o Parque Estadual do Cocó, é um importante aparelho urbano para amenização do estresse térmico urbano, sendo o ponto que em todos os meses analisados apresentou as menores temperaturas do ar.

4.

Metodologia e Caracterização do inventário

A elaboração do 5º Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) de Fortaleza tomou como base o arcabouço metodológico proposto no Protocolo Global para Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Escala Comunitária (GPC).

O GPC foi desenvolvido de forma conjunta pelo ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, World Resources Institute (WRI) e pelo C40 Cities Climate Leadership Group, com primeira publicação em 2014 e atualização consolidada na versão 1.1, de 2021. O protocolo constitui um marco metodológico para a padronização e cálculo de inventários de emissões em governos locais, possibilitando a auditoria dos dados e a comparação de resultados entre diferentes cidades e ao longo do tempo.

Fortaleza adota o GPC desde seu primeiro inventário, assegurando consistência metodológica e comparabilidade temporal entre os períodos avaliados. Ademais, o protocolo está alinhado às Diretrizes do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas – IPCC , garantindo respaldo científico e conformidade com padrões internacionais para adequada relatoria dos dados e resultados.

4.1. Protocolo Global para Inventários de Emissões de Gases do Efeito Estufa (GPC)

O GPC apresenta um marco claro para governos locais, baseado nos seguintes princípios de contabilização e reporte:

Relevância: O inventário de GEE deve refletir apropriadamente as emissões de GEE do governo local e deve ser sistematizado de forma a refletir as áreas sob as quais ele exerce controle e tem responsabilidade;

Abrangência: Todos os GEE e as atividades que causam emissões dentro das fronteiras estabelecidas para o inventário devem ser contabilizadas. Qualquer exclusão deve ser justificada;

Consistência: Metodologias consistentes devem ser usadas para identificar as fronteiras, coletar e analisar os dados e quantificar as emissões;

Transparência: Todas as questões relevantes devem ser consideradas e documentadas de maneira objetiva e coerente para fornecer um rastro para futuras revisões e replicações. Todas as fontes de dados e hipóteses assumidas devem ser disponibilizadas; e

Exatidão: A quantificação das emissões de GEE não devem ser sistematicamente sub ou supervalorizadas.

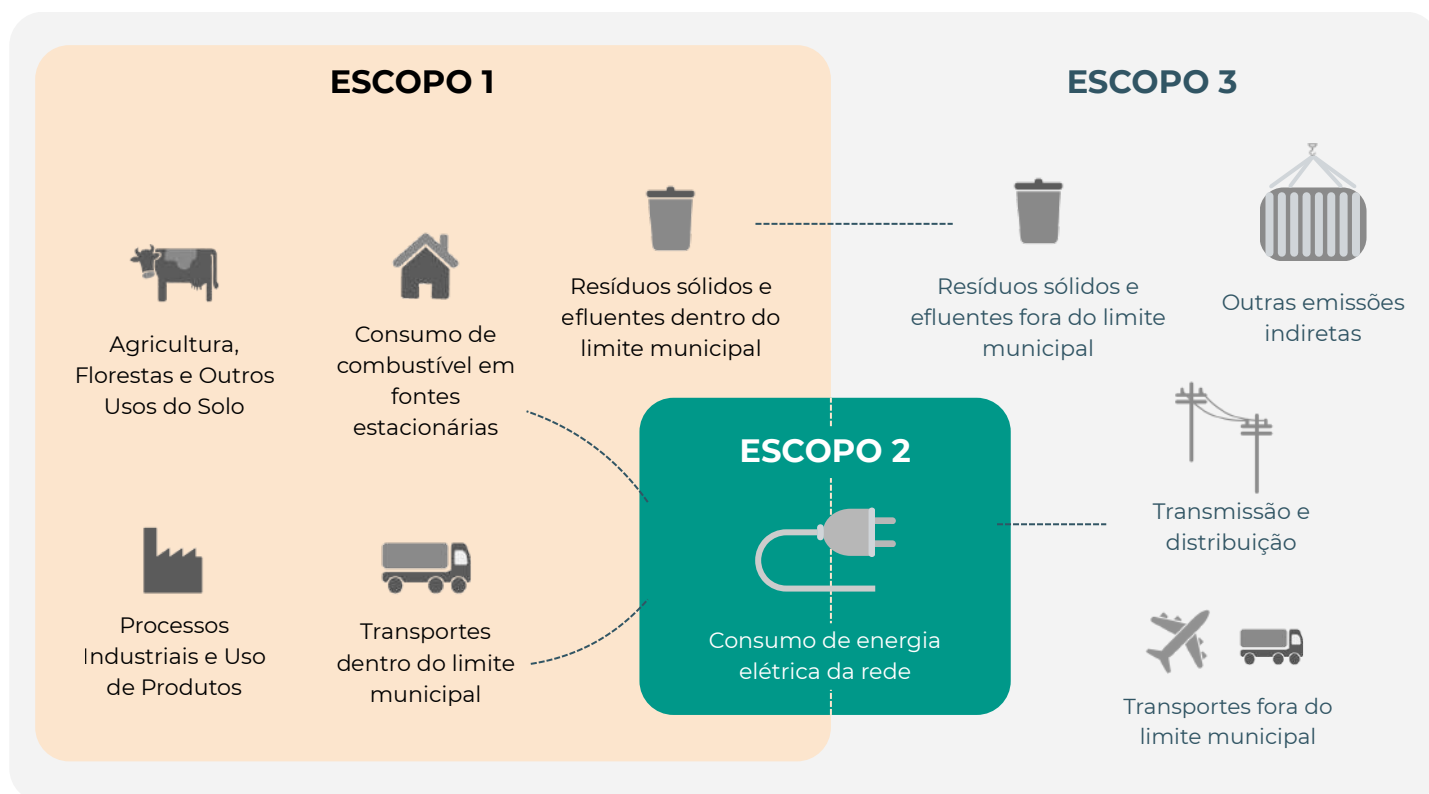
De acordo com o GPC (2021), as emissões devem ser classificadas de acordo com setores e subsetores de atividades, conforme descrito na Figura 10. Como tais emissões podem acontecer dentro e fora do limite geográfico de uma cidade, como resultado das atividades na cidade, a metodologia GPC determina que as emissões sejam categorizadas de acordo com o local de origem em conformidade com os seguintes Escopos:

Escopo 1 - Emissões diretas de GEE provenientes de fontes situadas dentro dos limites geográficos do município;

Escopo 2 - Emissões indiretas de GEE associadas ao consumo de energia de rede (eletricidade, calor, vapor ou refrigeração) dentro do município;

Escopo 3 - Outras emissões indiretas que ocorrem fora dos limites do município, mas resultam de atividades nele realizadas.

Figura 10: Fontes e fronteiras do Inventário de GEE municipal.



Fonte: Adaptado de GPC (2025).

Quadro 2: Setores e subsetores para metodologia GPC.

GPC ref No.	FONTE DE EMISSÕES DE GEE (POR SETOR E SUBSETOR)
I	ENERGIA ESTACIONÁRIA
I.1	Prédios residenciais
I.2	Edifícios e instalações comerciais e institucionais
I.3	Indústrias manufatureiras e construção
I.4.1/2/3	Indústrias de energia
I.4.4	Geração de energia fornecida à rede
I.5	Atividades agrícolas, florestais e pesqueiras
I.6	Fontes não especificadas
I.7	Emissões fugitivas da mineração, processamento, armazenamento e transporte de c
I.8	Emissões fugitivas de sistemas de petróleo e gás natural
II	TRANSPORTE
II.1	Transporte rodoviário
II.2	Ferrovias
II.3	Navegação aquática
II.4	Aviação
II.5	Transporte Off-road
III	RESÍDUOS
III.1.1/2	Resíduos sólidos gerados na cidade
III.2.1/2	Resíduos biológicos gerados na cidade
III.3.1/2	Resíduos incinerados e queimados gerados na cidade
III.4.1/2	Águas residuais geradas na cidade
III.1.3	Resíduos sólidos gerados fora da cidade
III.2.3	Resíduos biológicos gerados fora da cidade
III.3.3	Resíduos incinerados e queimados gerados fora da cidade
III.4.3	Águas residuais geradas fora da cidade
IV	PROCESSOS INDUSTRIAIS e USOS DE PRODUTOS
IV.1	Emissões de processos industriais que ocorrem nos limites da cidade
IV.2	Emissões do uso do produto que ocorrem dentro dos limites da cidade
V	AGRICULTURA, SILVICULTURA E OUTROS USOS DA TERRA
V.1	Emissões da pecuária
V.2	Emissões de terra
V.3	Emissões de fontes agregadas e fontes de emissão não-CO2 em terra
VI	OUTRO ESCOPO 3
VI.1	Outro Escopo 3

Fonte: Adaptado de GPC (2021).

Os setores considerados na elaboração do 5º Inventário de Gases de Efeito Estufa no município de Fortaleza foram:

Energia Estacionária, com os subsetores: prédios residenciais, Edifícios e instalações comerciais e institucionais, Indústrias manufatureiras e construção e fontes não especificadas;

Transportes, com os subsetores: transporte rodoviário, ferroviário e aquaviário

Resíduos, com os subsetores: resíduos sólidos gerados na cidade, resíduos incinerados e queimados gerados na cidade e águas residuais geradas na cidade

A escolha destes setores reflete tanto as características urbanas de Fortaleza quanto a disponibilidade de dados oficiais e confiáveis, com potencial de serem auditados e atualizados em ciclos futuros. Quanto aos dados do setor de Agricultura, florestas e outros usos do solo (AFOLU), eles são pouco significativos no município, uma vez que a economia local é predominantemente voltada para os setores comercial e serviços.

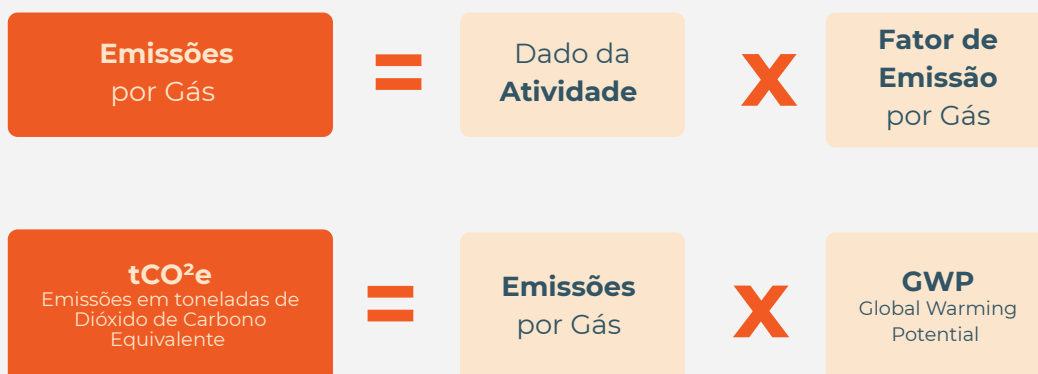
Dessa forma, o 5º Inventário de GEE de Fortaleza enquadra-se no nível BASIC do GPC, no qual as emissões de Energia Estacionária e de Transporte são reportadas nos escopos 1 e 2, enquanto as emissões do setor de Resíduos abrangem os escopos 1 e 3.

4.2 Ferramenta CIRIS

A ferramenta utilizada para a estimativa das emissões foi a CIRIS – *City Inventory Reporting and Information System*, desenvolvida para gerenciar, calcular e reportar inventários de emissões de GEE em nível municipal. O sistema permite ao analista selecionar diferentes abordagens de cálculo, de acordo com a disponibilidade e confiabilidade dos dados. Além disso, a CIRIS já está estruturada para o reporte nos níveis BASIC e BASIC+ do GPC, garantindo compatibilidade com plataformas internacionais de reporte, como o CDP-ICLEI Unified Reporting System.

De forma simplificada, o método de cálculo segue a estrutura apresentada na Figura 11, na qual os dados de atividade representam os insumos ou consumos que originam emissões (por exemplo: kWh de energia elétrica, litros de combustível ou toneladas de resíduos). Esses dados são convertidos em emissões de gases de efeito estufa — como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) — por meio da aplicação de fatores de emissão, sendo posteriormente expressos em toneladas de CO₂ equivalente (tCO₂e). Por fim, a classificação por escopo organiza os resultados conforme a localização das fontes e a relação das emissões com as atividades municipais.

Figura 11: Estrutura de cálculo de Emissões de GEE



Fonte: Elaboração própria (2025).

4.3 Coleta de dados das atividades

A coleta dos dados foi realizada por pontos focais do município, tendo a Secretaria Municipal do Urbanismo e Meio Ambiente – SEUMA, papel decisivo e primordial nesse processo, pois a mesma, por meio de troca de Ofícios e e-mails entre os órgãos e entidades envolvidas, conseguiu construir a base de dados empregada na elaboração do Inventário. Tal base foi devidamente tratada e tabulada, para a aplicação na ferramenta CIRIS, a qual ficou sob a responsabilidade da equipe técnica de elaboração do 5º Inventário de GEE.

Os órgãos federais, estaduais, municipais e instituições privadas envolvidas foram:

- ACFOR – Autarquia de Regulação, Fiscalização e Controle de Serviços Públicos de Saneamento Ambiental;
- AMC – Autarquia Municipal de Trânsito;
- ANP – Agência Nacional do Petróleo, gás natural e biocombustíveis;
- CDC - Companhia Docas do Ceará;
- CEGÁS – Companhia de Gás do Estado do Ceará;
- ECOFOR – Empresa de Limpeza Urbana de Fortaleza;
- ECOTOTAL – Empresa de Gerenciamento de Resíduos Sólidos;
- EMATERCE – Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Ceará;
- ENEL – Companhia de distribuição de energia elétrica;

- FETRANS - Federação das Empresas de Transportes de Passageiros do Ceará, Piauí e Maranhão;
- FTL – Ferrovia Transnordestina Logística; • IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará; • LIQUIGÁS – Empresa de Distribuição de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP); • METROFOR – Companhia Cearense de Transporte Metropolitanos; e • SCSP – Secretaria Municipal de Conservação e Serviços Públicos.

4.4 Fatores de emissão

Os fatores de emissão são parâmetros utilizados para transformar os dados de atividade em estimativas de emissões de gases de efeito estufa (GEE). A precisão dos resultados depende do quanto esses fatores refletem as condições locais das atividades inventariadas e de sua validação por instituições de referência.

Na elaboração do 5º Inventário de GEE de Fortaleza, foram utilizados fatores de emissão ajustados à realidade brasileira, priorizando dados oficiais e atualizados, e alinhados com . As principais fontes incluíram o Balanço Energético Nacional (BEN), do Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE) fornecido pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE). Complementarmente, recorreu-se a bases consolidadas como o Programa Brasileiro GHG Protocol, que atualiza seus valores a partir do BEN, e a dados do ICLEI.

Por fim, na revisão técnica conduzida pela C40, incorporaram-se fatores internacionais de referência, disponibilizados pelo Department for Energy Security & Net Zero (Reino Unido), para reforçar a robustez metodológica em casos específicos.

O reporte das emissões é realizado em toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO₂e). Para isso, as emissões de cada gás inventariado (como dióxido de carbono – CO₂, metano – CH₄ e óxido nitroso – N₂O) foram multiplicadas por seus respectivos Potenciais de Aquecimento Global (GWP), em conformidade com os valores definidos pelo IPCC informações do Quadro 3. Os fatores de emissão empregados são apresentados no Anexo 1.

Quadro 3: Potências de Aquecimento Globais.

GEE	SÍMBOLO	GWP (CO ₂ e/tonGEE)
Dióxido de carbono	CO ₂	1
Metano	CH ₄	28
Óxido nitroso	N ₂ O	265

Fonte: Elaboração própria (2022).

4.4.1 Fontes Estacionárias

As emissões do setor de Energia Estacionária foram estimadas a partir do consumo de combustíveis e de energia elétrica em atividades realizadas em Fortaleza. Os dados de atividade foram fornecidos pela CEGÁS, ANP, IPECE e ENEL, abrangendo óleo combustível, GLP, querosene, gás natural, energia elétrica e as perdas associadas à transmissão e distribuição. Para fontes não especificadas, consideraram-se as vendas de GLP classificadas pela ANP na categoria “outros” e os registros de autoprodução de gás natural informados pela CEGÁS.

As emissões associadas à geração de energia dentro do território municipal foram complementadas por dados de sensoriamento remoto disponibilizados pela plataforma Climate TRACE, utilizados em conjunto com as informações locais. Em relação às emissões fugitivas, as atividades de mineração, processamento, armazenamento e transporte de carvão foram classificadas como NO (Not Occurring), por não representarem relevância no contexto municipal, enquanto as emissões fugitivas oriundas da distribuição de gás foram estimadas a partir do proxy da ferramenta CIRIS, com base nos dados da CEGÁS.

No caso do consumo de energia elétrica, a metodologia do GPC considera que a atividade municipal induz emissões no Sistema Interligado Nacional (SIN), sendo estas contabilizadas no escopo 2. Assim, a composição da matriz elétrica nacional se reflete diretamente nas emissões atribuídas ao consumo de Fortaleza. Em 2021, o fator médio anual de emissão publicado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) e pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) registrou uma alta atípica, atingindo 0,1264 tCO₂/MWh. Segundo o Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA), esse pico esteve relacionado à crise hídrica, que reduziu a disponibilidade das usinas hidrelétricas e levou ao maior acionamento de termelétricas, mais emissoras de gases de efeito estufa.

4.4.2 Setor de Transportes

Para a estimativa das emissões do setor de Transportes, adotou-se a abordagem baseada em dados de venda e consumo de combustíveis, obtidos junto à Agência Nacional do Petróleo (ANP), à Companhia de Gás do Ceará (CEGÁS), à Companhia Cearense de Transportes Metropolitanos (METROFOR) e à Ferrovia Transnordestina Logística (FTL). Considerando o nível de agregação dos dados disponíveis, as emissões foram estimadas de acordo com as fontes energéticas utilizadas, sem distinção entre fluxos de entrada ou saída de veículos

do município. Dessa forma, os quantitativos de transporte rodoviário (on-road) e de equipamentos móveis (off-road) foram tratados de forma unificada.

No transporte ferroviário, foram utilizados os dados anuais de consumo de diesel, referente ao VLT de Fortaleza, e de energia elétrica, empregada na tração do Metrô, fornecidos diretamente pelo METROFOR e pela FTL. As emissões do VLT foram contabilizadas no escopo 1, enquanto as do Metrô foram reportadas no escopo 2, em conformidade com a metodologia GPC. O transporte hidroviário teve suas emissões estimadas a partir dos registros da ANP. Já o transporte aéreo, contabilizado apenas no escopo 3, não integra o reporte no nível BASIC, sendo apresentado apenas como informação complementar, em conformidade com o GPC.

4.4.3 Setor de Resíduos

O setor de Resíduos, que compreende tanto os resíduos sólidos urbanos quanto os efluentes líquidos, teve suas emissões estimadas em conformidade com as diretrizes do IPCC (2006, Refinamento 2019) adotadas pelo GPC v1.1 (2021). Para os resíduos sólidos, aplicou-se o Methane Commitment Method, que contabiliza o metano a ser gerado ao longo do tempo a partir dos resíduos depositados em aterro, refletindo o compromisso de emissões futuras associado à disposição atual.

No caso dos efluentes líquidos, foram estimadas as emissões de metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) a partir do volume de esgoto gerado, da fração tratada e dos tipos de sistemas de tratamento empregados, em consonância com os parâmetros de DBO e de nitrogênio excretado previstos pelo IPCC. Esses cálculos foram complementados por módulo específico da ferramenta CIRIS, que aplica parâmetros e proxies internacionalmente reconhecidos com base em dados locais, como população atendida, volume tratado e tipo de sistema de tratamento. Os dados utilizados neste setor foram disponibilizados pela Secretaria Municipal de Conservação e Serviços Públicos (SCSP), por meio da Ecofor Ambiental, pela Autarquia de Regulação, Fiscalização e Controle dos Serviços Públicos de Saneamento Ambiental (ACFOR), pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) e pela Companhia de Gás do Ceará (CEGÁS).

5.

Resultados

Os resultados das emissões referentes ao 5º Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa, do município de Fortaleza, foram obtidos a partir da aplicação da ferramenta CIRIS, considerando o método BASIC, conforme descrito no item 4 do presente relatório. Os resultados estão descritos de acordo com o respectivo setor de emissão e escopo previstos, em observância a metodologia aplicada. Na Quadro 4 é apresentada a síntese das emissões para o ano base 2020 e no Quadro 5 é apresentada a síntese das emissões para o ano base 2021.

Quadro 4: Síntese das Emissões, ano base 2020.

SETOR DE EMISSÃO	Emissões do Escopo 1	Emissões do Escopo 3	Emissões do Escopo 4	tCO ₂ e por setor
Estacionária	397.981	277.081	NÃO COMPUTADO EM INVENTÁRIO BASIC	675.062
Transportes	1.613.327	347	NÃO COMPUTADO EM INVENTÁRIO BASIC	1.613.674
Resíduos	526.906	NÃO COMPUTADO EM INVENTÁRIO BASIC	824.018	1.350.924
IPPU	NÃO COMPUTADO EM INVENTÁRIO BASIC			
AFOLU	NÃO COMPUTADO EM INVENTÁRIO BASIC			
tCO₂e TOTAL	3.639.660			

Fonte: Adaptado de CIRIS (2025).

Quadro 5: Síntese das Emissões, ano base 2021.

SETOR DE EMISSÃO	Emissões do Escopo 1	Emissões do Escopo 3	Emissões do Escopo 4	tCO ₂ e por setor
Estacionária	403.837	621.724	NÃO COMPUTADO EM INVENTÁRIO BASIC	1.025.561
Transportes	1.703.455	868	NÃO COMPUTADO EM INVENTÁRIO BASIC	1.704.323
Resíduos	530.196	NÃO COMPUTADO EM INVENTÁRIO BASIC	868.002	1.398.198
IPPU	NÃO COMPUTADO EM INVENTÁRIO BASIC			
AFOLU	NÃO COMPUTADO EM INVENTÁRIO BASIC			
tCO₂e TOTAL	4.128.082			

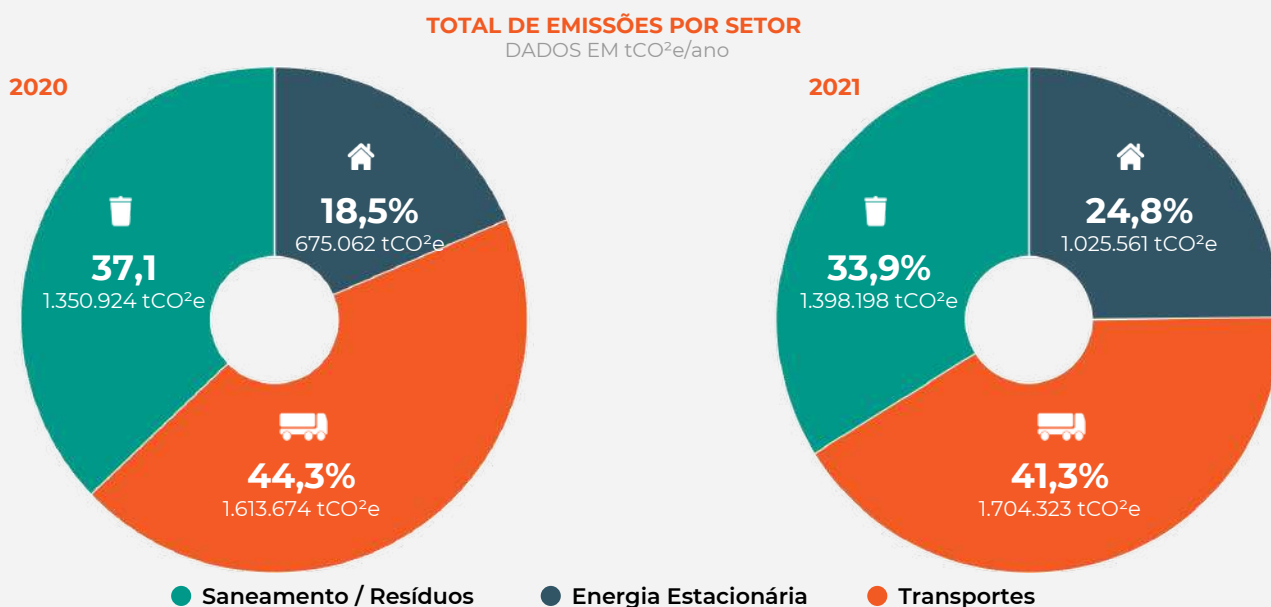
Fonte: Adaptado de CIRIS (2025).

Destaca-se que neste período a sociedade vivenciou uma crise sanitária. A emergência global pela síndrome respiratória aguda grave pelo coronavírus-2 (SARS-CoV-2) foi registrada inicialmente em 8 de dezembro de 2019 em Wuhan, província de Hubei na China e logo tomou proporções globais, levando a óbito milhares de pessoas e implicando na necessidade de medidas de isolamento e distanciamento social, devido a elevada taxa de transmissão da doença. No dia 3 de fevereiro de 2020 o Ministério da Saúde declarou Emergência de Saúde Pública de Importância Nacional (ESPIN), em decorrência da infecção humana pela SARS-CoV-2, por meio da Portaria Ministério da Saúde nº 188, de 3 de fevereiro de 2020³, e conforme Decreto nº 7.616, de 17 de novembro de 2011⁴.

5.1 Perfil de Emissões de Fortaleza

Conforme metodologia aplicada, as emissões totais de GEE em Fortaleza foram de 3.639.660 tCO₂e em 2020 e de 4.128.082 tCO₂e em 2021, correspondendo a um crescimento de aproximadamente 13% no período. A distribuição setorial mostra que o setor de Transportes foi o maior contribuinte em ambos os anos (44,3% em 2020 e 41,3% em 2021), seguido pelo setor de Resíduos (37,1% em 2020 e 33,9% em 2021) e pelo setor Estacionário (18,5% em 2020 e 24,8% em 2021). O gráfico abaixo apresenta a distribuição das emissões totais por setores (Gráfico 4).

Gráfico 4: Distribuição das emissões totais por setores, anos base 2020 e 2021.



Fonte: Elaboração própria (2025).

3 Portaria Ministério da Saúde nº 188, de 3 de fevereiro de 2020 - Declara Emergência em Saúde Pública de importância Nacional (ESPIN) em decorrência da Infecção Humana pelo novo Coronavírus (2019-nCoV).

4 Decreto nº 7.616, de 17 de novembro de 2011 - Dispõe sobre a declaração de Emergência em Saúde Pública de Importância Nacional - ESPIN e institui a Força Nacional do Sistema Único de Saúde - FN-SUS.

5.2 Emissão por setor

5.2.1 Setor de Fontes Estacionárias

As emissões do setor estacionário totalizaram 675.062 tCO₂e em 2020 e 1.025.561 tCO₂e em 2021, representando um aumento de aproximadamente 52%. Esse crescimento não decorre diretamente de maior consumo local, mas está associado ao fator médio de emissão da matriz elétrica nacional, que em 2021 registrou elevação em virtude do maior acionamento de usinas termelétricas. Como consequência, houve um incremento nas emissões indiretas (Escopo 2) atribuídas ao consumo municipal de eletricidade.

As atividades mais emissoras foram o consumo de eletricidade da rede e de GLP, seguidas do uso de gás natural e de outros combustíveis em geradores de estabelecimentos comerciais, residenciais e industriais.

Gráfico 5: Percentual de emissão do Setor Estacionário por tipo de energia empregada nos anos base de 2020 e 2021.



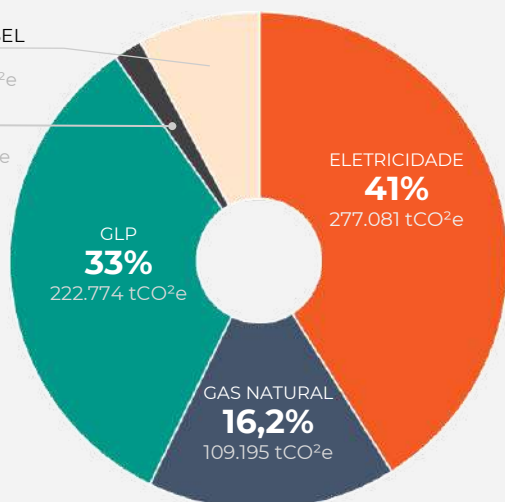
EMISSIONES DO SETOR ESTACIONÁRIO

DADOS EM tCO₂e/ano

2020

ÓLEO DIESEL
7,9%
53.476 tCO₂e

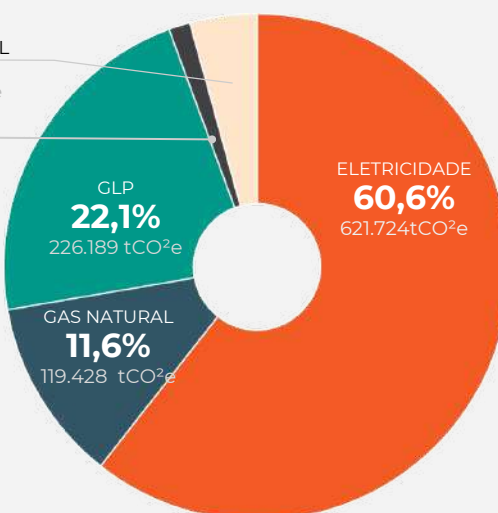
OUTROS
1,9%
12.535 tCO₂e



2021

ÓLEO DIESEL
4,2%
43.534 tCO₂e

OUTROS
1,4%
14.686 tCO₂e



Fonte: Elaboração própria (2025).

A análise por subsetores evidencia que os edifícios residenciais foram responsáveis por 317.027 tCO₂e em 2020 e 460.014 tCO₂e em 2021, refletindo o peso do consumo doméstico de eletricidade e de combustíveis como o GLP.

Os edifícios comerciais e institucionais apresentaram crescimento ainda mais expressivo, passando de 174.434 tCO₂e para 308.996 tCO₂e, em grande parte devido à retomada das atividades presenciais no comércio, nos serviços e em instituições públicas e privadas após a pandemia de COVID-19.

Gráfico 6: Emissões do setor estacionário conforme subsetor, anos base 2020 e 2021, adaptado da saída da planilha CIRIS.

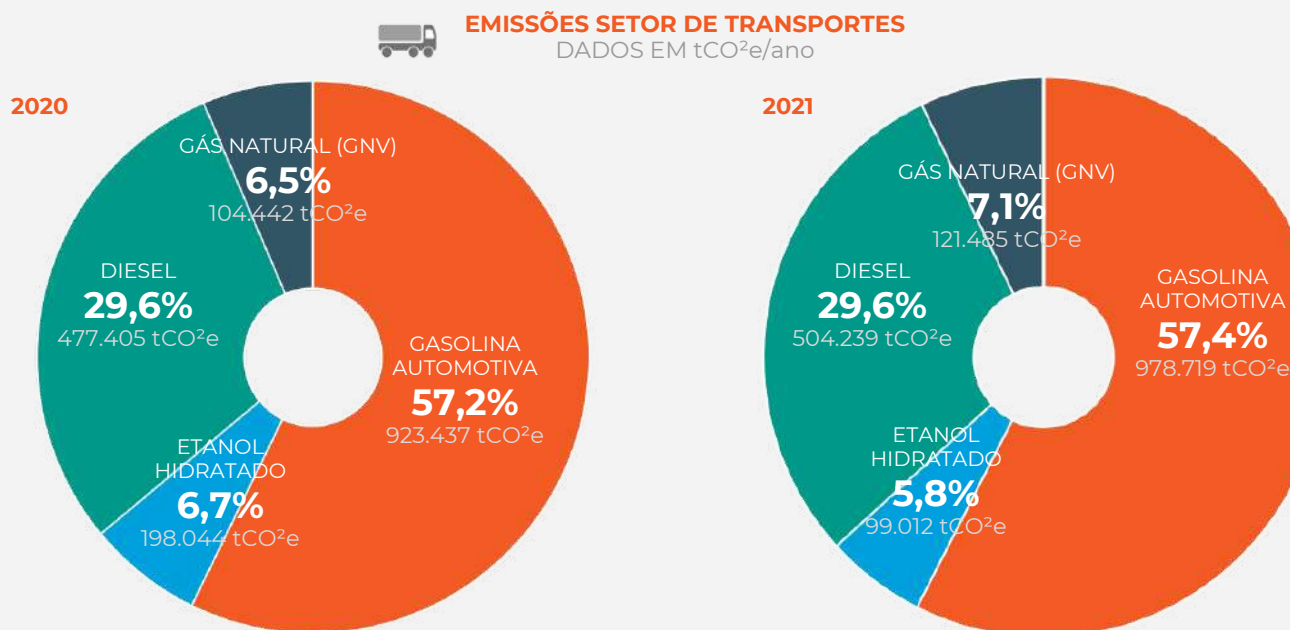


Fonte: Adaptado de CIRIS (2025).

5.2.2 Setor Transportes

As emissões foram de 1.613.674 tCO₂e em 2020 e 1.704.323 tCO₂e em 2021, mantendo-se relativamente estáveis, mas com ligeira queda na participação percentual (de 44,3% para 41,3%) devido ao aumento mais expressivo do setor estacionário. A gasolina e o diesel, responderam juntos por mais de 90% das emissões nos dois anos.

Gráfico 7: Percentual de emissão do Setor de transporte por tipo de combustível empregado nos anos base de 2020 e 2021.



Fonte: Elaboração própria (2025).

Conforme apresentado no gráfico abaixo, o transporte rodoviário concentrou a maior parte das emissões do setor, crescendo de 1,59 milhão tCO₂e em 2020 para 1,68 milhão tCO₂e em 2021. O transporte ferroviário mostrou aumento moderado, refletindo o funcionamento do VLT a diesel, enquanto o hidroviário, apesar de apresentar crescimento, permanece pouco representativo no total do setor.

Gráfico 8: Emissões do Setor de transporte conforme subsetor, anos base 2020 e 2021, adaptado da saída da planilha CIRIS.

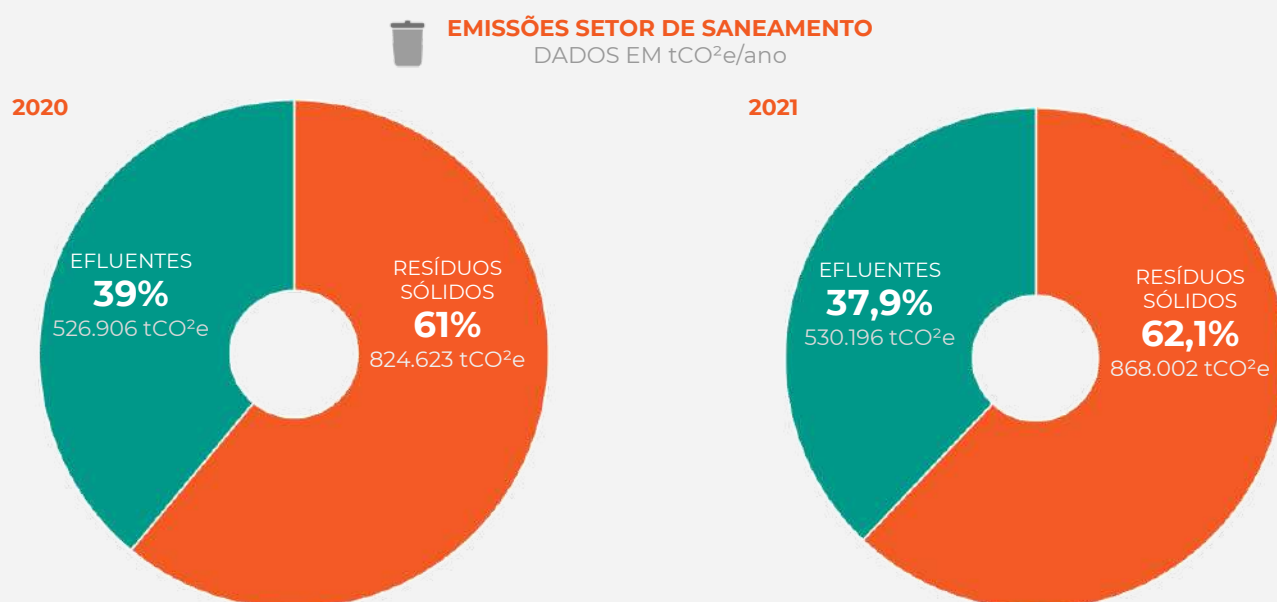


Fonte: Adaptado de CIRIS (2025).

5.2.3. Setor Saneamento e Resíduos

As emissões do setor de Resíduos foram de 1.350.924 tCO₂e em 2020 e de 1.398.198 tCO₂e em 2021, mantendo-se praticamente estáveis, mas ainda representando uma parcela relevante (cerca de um terço do total municipal). A principal contribuição vem da disposição de resíduos sólidos em aterros, seguida das emissões de efluentes líquidos, conforme gráfico abaixo.

Gráfico 9: Percentual de emissões no setor de saneamento e resíduos por fonte de emissão, nos anos base de 2020 e 2021.



Fonte: Elaboração própria (2025).

6.

Síntese e

Conclusões

6.1 Comparativo entre Inventários

O 1º Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa de Fortaleza, referente ao ano-base 2012, representou o primeiro diagnóstico das emissões do município no contexto das políticas de enfrentamento às mudanças climáticas. O 2º Inventário, com ano-base 2014, confirmou a relevância do setor de transportes como principal contribuinte, seguido pelo setor de resíduos.

No 3º Inventário, com ano-base 2016, o setor de transportes manteve-se como predominante, embora os resultados desse ano tenham apresentado maior divergência metodológica em relação aos demais. Já o 4º Inventário, referente a 2018, reforçou a tendência de crescimento proporcional das emissões à expansão urbana, mantendo os transportes como principal setor emissor. A variação observada no setor de resíduos em parte dos inventários deve-se a diferenças na aplicação da metodologia GPC, uma vez que as emissões de estações de tratamento de efluentes foram incluídas apenas em alguns anos.

Quadro 6: Comparativo das emissões inventariadas em Fortaleza (tCO₂e).

Ano-base	2012 (tCO ₂ e)	2014 (tCO ₂ e)	2016 (tCO ₂ e)	2018 (tCO ₂ e)	2020 (tCO ₂ e)	2021 (tCO ₂ e)
I. Energia estacionária	529.513	841.818	316.733	807.866	675.062	1.025.561
I.1 Edifícios residenciais	302.382	468.476	194.601	384.907	317.027	460.014
I.2 Edifícios comerciais e institucionais	157.661	299.032	122.132	214.634	174.434	308.996
I.3 à I.8 Indústrias, Emissões fugitivas e Não especificadas	69.470	7.431	-	208.325	183.601	256.551
II. Transportes	2.338.261	2.588.910	1.102.406	2.064.569	1.613.674	1.704.323
II.1 Transporte rodoviário/ferroviário	1.847.344	2.019.069	1.102.406	2.064.392	1.611.736	1.701.290
II.3 Transporte hidroviário	13.625	-	-	177	1.938	3.032
III. Resíduos	959.746	1.700.786	514.836	1.221.283	1.350.924	1.398.198
III.1 Disposição de resíduos sólidos	959.746	1.642.192	337.125	702.865	824.623	868.002
III.4 Tratamento e disposição final de efluentes líquidos	-	58.594	177.711	518.401	526.906	530.196
IV. IPPU / AFOLU	-	836	-	-	-	-
Total (tCO₂e)	3.827.520	5.139.514	1.933.975	4.093.718	3.639.660	4.128.082

Fonte: Elaboração própria (2025).

O 5º Inventário, referente aos anos-base 2020 e 2021, trouxe maior detalhamento metodológico, com destaque para melhor detalhamento de emissões oriundas do transporte ferroviário. O período também reflete mudanças no padrão de consumo e mobilidade decorrentes da pandemia de COVID-19, que impôs mudanças de comportamento e medidas restritivas, como os períodos de lockdown⁵.

6.2 Tendências de Emissões

A análise dos cinco inventários evidencia que o setor de transportes se mantém como o principal responsável pelas emissões de Fortaleza em toda a série histórica, com participação sempre superior a 41%. Essa predominância confirma a forte dependência do município de combustíveis fósseis no transporte individual e coletivo. Em 2021, o setor de energia estacionária apresentou aumento atípico de participação, decorrente do maior fator médio de emissão da matriz elétrica nacional naquele ano. Trata-se de uma variação conjuntural já normalizada nos anos seguintes, mas que reforça a vulnerabilidade das emissões municipais a fatores externos.

O 5º Inventário de GEE servirá como base para a avaliação e o acompanhamento das emissões, bem como para o cálculo de tendências e cenários que apoiarão a definição de metas de redução na atualização do Plano de Ação Climática de Fortaleza. É fundamental destacar que o contexto da emergência climática requer esforços contínuos e integrados de toda a sociedade, incluindo agentes públicos e privados, voltados à melhoria da qualidade de vida e ao avanço dos processos de mitigação e adaptação. Nesse sentido, os resultados deste estudo poderão subsidiar também a revisão e elaboração de outros planos setoriais. Por fim, é imprescindível que a cidade e seus setores se apropriem do diagnóstico do 5º Inventário, de modo a promover ações mais efetivas que assegurem menor custo ambiental e cenários socioeconômicos favoráveis.

⁵ Protocolo de isolamento que impede o movimento de pessoas ou mercadorias.

Referências

ALMEIDA, S. M.; PIO, C. A.; FREITAS, M. C.; REIS, M. A.; TRANCOSO, M. A. Source apportionment of fine and coarse particulate matter in a sub-urban area at the western European coast. *Atmospheric Environment*, v. 39, p. 3127–3138, 2005. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2005.01.048. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231005001378>. Acesso em: 14 set. 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Saúde Brasil 2018: uma análise da situação de saúde e das doenças e agravos crônicos: desafios e novas perspectivas*. Brasília: Ministério da Saúde, 2018. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/saude_brasil_2018_analise_situacao_saude_doencas_agravos_cronicos_desafios_perspectivas.pdf. Acesso em: 8 out. 2022.

CÉDRIC, L.; GORIAUX, M.; TASSEL, P.; PERRET, P.; ANDRÉ, M.; LIU, Y. Impact of aftertreatment device and driving conditions on black carbon, ultrafine particle and NO_x emissions for Euro 5 Diesel and gasoline vehicles. *Transportation Research Procedia*, v. 14, p. 3079–3088, 2016.

CHOW, D. Carbon emissions dropped 17 percent globally amid coronavirus. *NBC News*, 2020. Disponível em: <https://www.nbcnews.com/science/environment/carbon-emissions-dropped-17-percent-globally-amid-coronavirus-n1210331>. Acesso em: 8 dez. 2022.

COP21. La COP21 sur le climat (définition, enjeu, résumé). L'accord de Paris. *Agence Parisienne du Climat*, 2018. Disponível em: <https://www.apc-paris.com/cop-21>. Acesso em: 8 dez. 2022.

CRIPPA, M. et al. Global anthropogenic emissions in urban areas: patterns, trends, and challenges. *Environmental Research Letters*, v. 16, n. 7, 074033, 2021. DOI: 10.1088/1748-9326/ac00e2. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ac00e2>. Acesso em: 14 set. 2022.

DALE, V. H. The relationship between land-use change and climate change. *Ecological Applications*, v. 7, p. 753–769, 1997.

DE PERTHUIS, C.; TROTIGNON, R. COP21: quelles chances de succès? *Politique Étrangère*, Été, v. 2, p. 83–94, 2015. DOI: 10.3917/pe.152.0083. Disponível em: <https://www.cairn.info/revue-politique-etrangere-2015-2-page-83.htm>. Acesso em: 14 set. 2022.

ESCH, T. et al. Breaking new ground in mapping human settlements from space – The Global Urban Footprint. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 134, p. 30–42, 2017. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2017.10.012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924271617301880>. Acesso em: 14 set. 2022.

ESSABBÁ, L. S. P. Avaliação da qualidade do ar a partir das atividades produtivas e do tráfego: uma análise sobre o período da pandemia de Covid-19 em Fortaleza. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

EUROPEAN COMMISSION; JOINT RESEARCH CENTRE. Atlas of the Human Planet 2018: A World of Cities. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018. DOI: 10.2760/124503. Disponível em: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC114316>. Acesso em: 3 out. 2022.

FABERT, P. COP21: enseignements des ateliers de mobilisation de l'expertise. Paris: Iddri, 2016.

GAUTAM, S. COVID-19: air pollution remains low as people stay at home. Air Quality, Atmosphere & Health, v. 13, p. 853–857, 2020. DOI: 10.1007/s11869-020-00842-6. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11869-020-00842-6>. Acesso em: 3 out. 2022.

GUTTIKUNDA, S. K.; GOEL, R.; PANT, P. Nature of air pollution, emission sources, and management in the Indian cities. Atmospheric Environment, v. 95, p. 501–510, 2014. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2014.07.006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1352231014005275>. Acesso em: 3 out. 2022.

HAMA, S. M. L. et al. Four-year assessment of ambient particulate matter and trace gases in the Delhi-NCR region of India. Sustainable Cities and Society, 2019. DOI: 10.1016/j.scs.2019.102003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670719335449>. Acesso em: 3 out. 2022.

IARC – INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Volume 109: Outdoor air pollution. Lyon: IARC, 2013.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Balance/Statistics Energy Global. Paris: IEA, 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics>. Acesso em: 7 jul. 2021.

IEMA – INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE. As emissões brasileiras de gases de efeito estufa nos setores de energia e de processos industriais em 2019. São Paulo: IEMA, 2019. Disponível em: <https://energiaeambiente.org.br/as-emissoes-brasileiras-de-gases-de-efeito-estufa-nos-setores-de-energia-e-de-processos-industriais-em-2019-20201201>. Acesso em: 7 jul. 2021.

INTERNATIONAL TRANSPORT FORUM (ITF). Reducing transport greenhouse gas emissions. In: Transport and Innovation: unleashing the potential. Leipzig: ITF, 2010.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. DOI: 10.1017/9781009325844. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_FrontMatter.pdf. Acesso em: 3 out. 2022.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISAS ECONÔMICAS APLICADAS. Atlas da violência 2019. Brasília: IPEA, 2019.

- KENDALL, M. G. Rank correlation methods. 4. ed. London: Charles Griffin, 1975.
- KHARBACH, M.; CHFADI, T. CO₂ emissions in Moroccan road transport sector: Divisia, Cointegration, and EKC analyses. *Sustainable Cities and Society*, v. 35, p. 396–401, 2017. DOI: 10.1016/j.scs.2017.08.016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670717304055>. Acesso em: 3 out. 2022.
- MAHATO, S.; PAL, S.; GHOSH, K. G. Effect of lockdown amid COVID-19 pandemic on air quality of the megacity Delhi, India. *Science of the Total Environment*, v. 730, p. 1–23, 2020. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139086. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720326036>. Acesso em: 3 out. 2022.
- MANN, H. B. Non-parametric test against trend. *Econometrica*, v. 13, p. 245–259, 1945.
- MARCUZZO, F. F. N.; ANDRADE, L. R.; MELO, D. C. R. Métodos de interpolação matemática no mapeamento de chuvas do estado do Mato Grosso. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 4, p. 793–804, 2011.
- MORAES, J. M.; PELLEGRINO, G.; BALLESTER, M. V.; MARTINELLI, L. A.; VICTORIA, R. L. Estudo preliminar da evolução temporal dos componentes do ciclo hidrológico da bacia do Rio Piracicaba. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 11.; SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA, 2., 1995, Recife. Anais... Recife: ABRH, 1995. p. 27–32.
- MOSTAFA, M. K.; GAMAL, G.; WAFIQ, A. The impact of COVID-19 on air pollution levels and other environmental indicators – a case study of Egypt. *Journal of Environmental Management*, v. 277, p. 111496, 2021.
- MOURA, M. O. O clima urbano sob o nível do conforto térmico. 2008. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- MOURA, M. O.; ZANELLA, M. E. Escolhas de ‘anos-padrão’ para o estudo do conforto térmico em Fortaleza, CE: verificação de critérios. *Revista Geonorte*, v. 1, p. 547–560, 2012.
- OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. Organização Pan-Americana de Saúde. World health statistics 2018: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals. Geneva: WHO, 2018.
- PASFOR – PLANO DE ACESSIBILIDADE SUSTENTÁVEL DE FORTALEZA. Fortaleza: Prefeitura Municipal de Fortaleza, 2021.
- PETTITT, A. N. A non-parametric approach to the change point problem. *Applied Statistics*, v. 28, n. 2, p. 126–135, 1979.
- ROCHA, C. A. et al. A better understanding of air quality resulting from the effects of the 2020 pandemic in a city in the equatorial region (Fortaleza, Brazil). *Environmental Science and Pollution Research*, 2021. DOI: 10.1007/s11356-021-16697-y. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-16697-y>. Acesso em: 3 out. 2022.

SAADAT, S.; RAWTANI, D.; HUSSAIN, C. M. Environmental perspective of COVID-19. *Science of the Total Environment*, v. 728, p. 138870, 2020. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.138870. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720323871>. Acesso em: 1 nov. 2022.

SANTOS, G. Road transport and CO₂ emissions: what are the challenges? *Transport Policy*, v. 59, p. 71–74, 2017.

SEEG – SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. Estimativas de emissões e remoções de gases de efeito estufa no Brasil. São Paulo: SEEG, 2020.

SHARMA, A.; SHARMA, S. K.; ROHTASH, M. Influence of ozone precursors and particulate matter on the variation of surface ozone at an urban site of Delhi, India. *Sustainable Environment Research*, v. 26, n. 2, p. 76–83, 2016. DOI: 10.1016/j.serj.2015.10.001. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468203916300188>. Acesso em: 1 nov. 2022.

SHARMA, S.; ZHANG, M.; GAO, J.; ZHANG, H. A.; KOTA, S. H. Effect of restricted emissions during COVID-19 on air quality in India. *Science of the Total Environment*, v. 728, p. 138878, 2020. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.138878. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720323950>. Acesso em: 1 nov. 2022.

SKAH, M. De la COP21 à la COP24: bilan d'étape. Policy Paper – Sustainable Recovery. Paris: IEA, 2018. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/sustainable-recovery>. Acesso em: 23 ago. 2020.

TALBI, B. CO₂ emissions reduction in road transport sector in Tunisia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 69, p. 232–238, 2017.

TIAN, Y.; ZHU, Q.; LAI, K.; LUN, Y. H. V. Analysis of greenhouse gas emissions of freight transport sector in China. *Journal of Transport Geography*, v. 40, p. 43–52, 2014.

VITOUSEK, P. M. Beyond global warming: ecology and global change. *Ecology*, v. 75, p. 1861–1876, 1994.

VITOUSEK, P. M.; MOONEY, H. A.; LUBCHENCO, J.; MELILLO, J. M. Human domination of Earth's ecosystems. *Science*, v. 277, p. 494–499, 1997.

ZAMBRANO-MONSERRATE, M. A.; RUANO, M. A.; SANCHEZ-ALCALDE, L. Indirect effects of COVID-19 on the environment. *Science of the Total Environment*, v. 728, p. 138813, 2020. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.138813. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720323305>. Acesso em: 1 nov. 2022.

5º INVENTÁRIO DE GASES DE EFEITO ESTUFA DE FORTALEZA

Anexos

ANEXO 1

2020																
Fuel type or activity	Unique identifier	Type	CWP	Units	Convert to tonnes	Emission factor										Data quality
						CO2	tCO2e	CH4	CH4_tCO2e	N2O	N2O_tCO2e	Total CO2e	tCO2e	CO2(lb)	tCO2(lb)	
Electricity	energia_eletrica	GHG	SAR	t / MWh	1	0,0617	6,17E-02	0	0,00E+00	0	0,00E+00	0,0617	6,17E-02	0	0,00E+00	H
Liquefied Petroleum Gas (LPG)	glp	CO2e	SAR	kg / tonne	0,001	2,931	2,93E-03	0,0026	2,55E-06	0,0016	1,63E-06			0	0,00E+00	H
		GHG	SAR	kg / kg	0,001	2,754	2,75E-03	0,0005	1,41E-05	0	1,34E-06					H
Biogas	biogas_ipcc	GHG	SAR	kg / TJ	0,001			1	2,80E-02	0,1	2,65E-02			54600	5,46E+01	M
Gas oil	oleo_combustivel	CO2e	SAR	kg / l (liter)	0,001	3,106	3,11E-03	0,0032	3,15E-06	0,0281	2,81E-05			0	0,00E+00	H
		CO2e	SAR	kg / l (liter)	0,001	2,212	2,21E-03	0,0082	8,20E-06	0,006	5,97E-06			0	0,00E+00	H
Motor gasoline (petrol)	gasolina_pura	CO2e	SAR	kg / l (liter)	0,001	2,212	2,21E-03	0,0082	8,20E-06	0,006	5,97E-06			0	0,00E+00	H
Ethanol	etanol_hidratado	GHG	SAR	kg / l (liter)	0,001	1,457	1,46E-03	0,0004	1,12E-05	0,0001	2,65E-05			0,064818	6,48E-05	H
Compressed Natural Gas (CNG)	gnv	GHG	SAR	kg / l (liter)	0,001	1,999	2,00E-03	0,0034	9,52E-05	0,0001	2,65E-05			0	0,00E+00	H
Diesel oil	oleo_diesel_puro	CO2e	SAR	kg / l (liter)	0,001	2,603	2,60E-03	0,0003	2,90E-07	0,0331	3,31E-05			0	0,00E+00	H
Kerosene (paraffin)	querosene_aviacao	CO2e	SAR	kg / l (liter)	0,001	2,517	2,52E-03	0,0018	1,76E-06	0,0212	2,12E-05			0	0,00E+00	H
Aviation gasoline	gasolina_aviacao	CO2e	SAR	kg / l (liter)	0,001	2,251	2,25E-03	0,0289	2,89E-05	0,0193	1,93E-05			0	0,00E+00	H
Liquefied Natural Gas (LNG)	Liquidos de Gas Natural (LCN) 01	CO2e	SAR	kg / kg	0,001	2,836	2,84E-03	0,0039	3,85E-06	0,0012	1,19E-06					H
Liquefied Petroleum Gas (LPG)	Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) 01	CO2e	SAR	kg / kg	0,001	2,931	2,93E-03	0,0026	2,55E-06	0,0016	1,63E-06					H

2021																
Fuel type or activity	Unique identifier	Type	CWP	Units	Convert to tonnes	Emission factor										Data quality
						CO2	tCO2e	CH4	CH4_tCO2e	N2O	N2O_tCO2e	Total CO2e	tCO2e	CO2(lb)	tCO2(lb)	
Electricity	energia_eletrica	GHG	SAR	t / MWh	1	0,1264	1,26E-01	0	0,00E+00	0	0,00E+00	0,1264	1,26E-01	0	0,00E+00	H
Liquefied Petroleum Gas (LPG)	glp	CO2e	SAR	kg / tonne	0,001	2,931	2,93E-03	0,0026	2,55E-06	0,0016	1,63E-06			0	0,00E+00	H
Biogas	biogas_ipcc	GHG	SAR	kg / TJ	0,001			1	2,80E-02	0,1	2,65E-02			54600	5,46E+01	M
Gas oil	oleo_combustivel	CO2e	SAR	kg / l (liter)	0,001	3,106	3,11E-03	0,0032	3,15E-06	0,0281	2,81E-05			0	0,00E+00	H
Motor gasoline (petrol)	gasolina_pura	CO2e	SAR	kg / l (liter)	0,001	2,212	2,21E-03	0,0082	8,20E-06	0,006	5,97E-06			0	0,00E+00	H
Ethanol	etanol_hidratado	GHG	SAR	kg / l (liter)	0,001	1,457	1,46E-03	0,0004	1,12E-05	0,0001	2,65E-05			0,064818	6,48E-05	H
Compressed Natural Gas (CNG)	gnv	GHG	SAR	kg / l (liter)	0,001	1,999	2,00E-03	0,0034	9,52E-05	0,0001	2,65E-05			0	0,00E+00	H
Diesel oil	oleo_diesel_puro	CO2e	SAR	kg / l (liter)	0,001	2,603	2,60E-03	0,0003	2,90E-07	0,0331	3,31E-05			0	0,00E+00	H
Kerosene (paraffin)	querosene_aviacao	CO2e	SAR	kg / l (liter)	0,001	2,517	2,52E-03	0,0018	1,76E-06	0,0212	2,12E-05			0	0,00E+00	H
Aviation gasoline	gasolina_aviacao	CO2e	SAR	kg / l (liter)	0,001	2,251	2,25E-03	0,0289	2,89E-05	0,0193	1,93E-05			0	0,00E+00	H
Liquefied Natural Gas (LNG)	Liquidos de Gas Natural (LCN) 01	CO2e	SAR	kg / kg	0,001	2,836	2,84E-03	0,0039	3,85E-06	0,0012	1,19E-06					H
Liquefied Petroleum Gas (LPG)	Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) 01	CO2e	SAR	kg / kg	0,001	2,931	2,93E-03	0,0026	2,55E-06	0,0016	1,63E-06					H

ANEXO 2

OVERVIEW (GPC CHAPTER 4.4, TABLE 4.2, PAGE 41)					
NAME OF CITY:		FORTALEZA, BRASIL		POPULATION:	
LEVEL:		BASIC		2.686.612	
INVENTORY YEAR:		2020		LAND AREA (km2):	
				313	
				GDP (US\$ million):	
				11.668	
GPC ref No.	GHG Emissions Source (By Sector and Sub-sector)	Total GHGs (metric tonnes CO2e)			
		Scope 1	Scope 2	Scope 3	Total
I	STATIONARY ENERGY				
I.1	Residential buildings	189.681	127.346	NE	317.027
I.2	Commercial and institutional buildings and facilities	62.132	112 . 303	NE	174.434
I.3	Manufacturing industries and construction	72 . 285	33.204	NE	105.489
I.4 .1/2 /3	Energy industries	53.910	IE	NE	53.910
I.4 .4	Energy generation supplied to the grid	NO			
I.5	Agriculture, forestry and fishing activities	7.441	4.229	NE	11.670
I.6	Non-specified sources	NO	NO	NE	
I.7	Fugitive emissions from mining, processing, storage, and transportation of coal	NO			
I.8	Fugitive emissions from oil and natural gas systems	12.532			12.532
SUB-TOTAL	(city induced framework only)	397.980	277.081		675.062
II	TRANSPORTATION				
II.1	On-road transportation	1.594.194	IE	NE	1.594.194
II.2	Railways	17.196	347	NE	17.543
II.3	Waterborne navigation	1.938	IE	NE	1.938
II.4	Aviation	NO	NO	199.075	
II.5	Off-road transportation	NO	NO	NE	
SUB-TOTAL	(city induced framework only)	1.613.327	347		1.613.674
III	WASTE				
III.1.1/2	Solid waste generated in the city	NO		823.730	823.730
III.2.1/2	Biological waste generated in the city Incinerated and burned waste generated in	NO		NO	
III.3.1/2	the city	NO		288	288
III.4.1/2	Wastewater generated in the city	526.906		NO	526.906
III.1.3	Solid waste generated outside the city	NO			
III.2.3	Biological waste generated outside the city Incinerated and burned waste	NO			
III.3.3	generated outside city	NO			
III.4.3	Wastewater generated outside the city	NO			
SUB-TOTAL	(city induced framework only)	526.906		824.018	1.350.924
IV	INDUSTRIAL PROCESSES and PRODUCT USES				
IV.1	Emissions from industrial processes occurring in the city boundary	NE			-
IV.2	Emissions from product use occurring within the city boundary	NE			-
SUB-TOTAL	(city induced framework only)				-
V	AGRICULTURE, FORESTRY and OTHER LAND USE				
V.1	Emissions from livestock	NE			-
V.2	Emissions from land	NE			-
V.3	Emissions from aggregate sources and non-CO2 emission sources on land (city induced framework only)	NE			-
SUB-TOTAL	(city induced framework only)				-
VI	OTHER SCOPE 3				
VI.1	Other Scope 3			117.676	
TOTAL	(city induced framework only)	2.538.213	277.428	824.018	3.639.660

ANEXO 3

OVERVIEW (GPC CHAPTER 4.4, TABLE 4.2, PAGE 41)							
NAME OF CITY:		FORTALEZA, BRASIL		POPULATION:		2.703.391	
LEVEL:		BASIC		LAND AREA (km2):		313	
INVENTORY YEAR:		2021		GDP (US\$ million):		13.218	
GPC ref No.	GHG Emissions Source (By Sector and Sub-sector)	Total GHGs (metric tonnes CO2e)					
		Scope 1	Scope 2	Scope 3	Total		
I	STATIONARY ENERGY						
I.1	Residential buildings	186.371	273.643	NE	460.015		
I.2	Commercial and institutional buildings and facilities	56.540	252.455	NE	308.995		
I.3	Manufacturing industries and construction	85.294	87.261	NE	172.555		
I.4.1/2/3	Energy industries	53.910	IE	NE	53.910		
I.4.4	Energy generation supplied to the grid	NO					
I.5	Agriculture, forestry and fishing activities	7.039	8.365	NE	15.403		
I.6	Non-specified sources	NO	NO	NE			
I.7	Fugitive emissions from mining, processing, storage, and transportation of coal	NO					
I.8	Fugitive emissions from oil and natural gas systems	14.682			14.682		
SUB-TOTAL	(city induced framework only)	403.837	621.724		1.025.561		
II	TRANSPORTATION						
II.1	On-road transportation	1.680.060	IE	NE	1.680.060		
II.2	Railways	20.363	868	NE	21.231		
II.3	Waterborne navigation	3.032	IE	NE	3.032		
II.4	Aviation	NO	NO	281.618			
II.5	Off-road transportation	NO	NO	NE			
SUB-TOTAL	(city induced framework only)	1.703.455	868		1.704.323		
III	WASTE						
III.1.1/2	Solid waste generated in the city	NO		867.714	867.714		
III.2.1/2	Biological waste generated in the city Incinerated and burned waste generated in	NO		NO			
III.3.1/2	the city	NO		288	288		
III.4.1/2	Wastewater generated in the city	530.196		NO	530.196		
III.1.3	Solid waste generated outside the city	NO					
III.2.3	Biological waste generated outside the city Incinerated and burned waste	NO					
III.3.3	generated outside city	NO					
III.4.3	Wastewater generated outside the city	NO					
SUB-TOTAL	(city induced framework only)	530.196		868.002	1.398.198		
IV	INDUSTRIAL PROCESSES and PRODUCT USES						
IV.1	Emissions from industrial processes occurring in the city boundary	NE					
IV.2	Emissions from product use occurring within the city boundary	NE					
SUB-TOTAL	(city induced framework only)						
V	AGRICULTURE, FORESTRY and OTHER LAND USE						
V.1	Emissions from livestock	NE					
V.2	Emissions from land	NE					
V.3	Emissions from aggregate sources and non-CO2 emission sources on land (city induced framework only)	NE					
SUB-TOTAL	(city induced framework only)						
VI	OTHER SCOPE 3						
VI.1	Other Scope 3			123.959			
TOTAL	(city induced framework only)	2.637.488	622.592	868.002	4.128.082		



FORTALEZA
PREFEITURA
URBANISMO
E MEIO AMBIENTE