



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

Gabriel Limas Coimbra

Inventário de Emissões Atmosféricas da Indústria Alimentícia Brasileira

Florianópolis

2025

Gabriel Limas Coimbra

Inventário de Emissões Atmosféricas da Indústria Alimentícia Brasileira

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia Sanitária Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientador: Prof. Leonardo Hoinaski, Dr.
Coorientador: Fábio Castagna da Silva, Me.

Florianópolis

2025

Limas Coimbra, Gabriel

Inventário de Emissões Atmosféricas da Indústria Alimentícia Brasileira / Gabriel Limas Coimbra ; orientador, Leonardo Hoinaski, coorientador, Fábio Castagna da Silva, 2025.

80 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis, 2025.

Inclui referências.

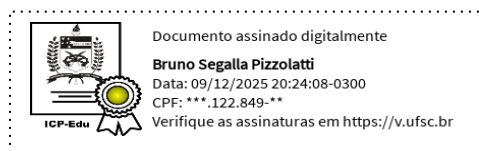
1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Engenharia Sanitária e Ambiental. 3. Inventário de Emissões. 4. Indústria Alimentícia. 5. Gestão da Qualidade do Ar. I. Hoinaski, Leonardo. II. Silva, Fábio Castagna da. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. IV. Título.

Gabriel Limas Coimbra

Inventário de Emissões Atmosféricas da Indústria Alimentícia Brasileira

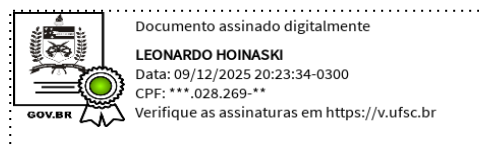
Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de “Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental” e aprovado em sua forma final pelo Curso
Engenharia Sanitária e Ambiental

Florianópolis, 04 de dezembro de 2025.



Coordenação do Curso

Banca examinadora



Prof.(a) Leonardo Hoinaski, Dr.
Orientador(a)

Dr. Camilo Bastos Ribeiro, Me.
Universidade Federal de Santa Catarina

Luiz Gustavo Mandalho
Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 2025.

Dedico este trabalho à minha mãe, Maria Terezinha Limas Coimbra e à minha irmã, Isadora Limas Coimbra, pelo incentivo constante, paciência nos momentos difíceis e por serem a minha base para que eu pudesse chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é resultado de muito esforço e dedicação, possível apenas graças ao apoio de muitas pessoas e experiências. Agradeço, em primeiro lugar, à minha família, que me sustentou de tantas formas e foi a base fundamental para que eu conseguisse atravessar a faculdade. Agradeço também aos meus amigos, pela presença nos momentos difíceis e pela alegria compartilhada nos bons. Sou grato aos pelos colegas, professores, mestres e doutores que me acompanharam por toda a graduação, em especial ao meu orientador e coorientador, que me guiaram ao longo deste processo. Agradeço à banca pela disponibilidade e à equipe do LCQAr pelo acolhimento durante o período de elaboração do TCC. Reconheço ainda a importância das oportunidades de estágio e intercâmbio que tive ao longo do curso, pois me permitiram desenvolver e aplicar as habilidades utilizadas neste trabalho. Por fim, entre todas essas pessoas e experiências, inclusive as que não mencionei, sinto-me profundamente honrado por poder contribuir para a criação de conhecimento científico que embasam políticas públicas e promovem um meio ambiente mais adequado à vida de todos.

*"If you could fly and be the bird
Then you would see the forest burn
My dear, come near
Do you understand what is happening?
[...]
Take from our world no more."
(Aurora – Exhale Inhale)*

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um inventário nacional de emissões atmosféricas da indústria alimentícia brasileira, com foco nos Compostos Orgânicos Voláteis Não Metânicos (NMVOC), para o período de 2017 a 2024. O objetivo foi estabelecer uma metodologia sistemática e replicável capaz de converter dados autodeclarados de produção industrial do Relatório Anual de Atividades Potencialmente Poluidoras (RAPP/IBAMA) em estimativas quantitativas de emissões, suprimindo a ausência de um sistema nacional unificado e padronizado de inventários no Brasil e contribuindo para a implementação da Política Nacional da Qualidade do Ar (Lei nº 14.850/2024). A abordagem adotada foi bottom-up, baseada na soma das emissões de cada estabelecimento industrial e estruturada por etapas de consolidação, padronização, limpeza e complementação dos dados de produção, utilizando fatores de emissão Tier 2 específicos do setor de alimentos e bebidas. Os resultados mostram emissões variando de 306 mil toneladas, em 2018, a 452 mil toneladas, em 2023, com forte concentração no Sudeste (74,1% do total), destacando-se São Paulo (59,7%, com tendência de aumento), Minas Gerais (12,5%, também crescente), Paraná (6,8%, sem tendência significativa), Goiás (5,2%, crescente) e Mato Grosso do Sul (4,3%, crescente). A validação foi conduzida com duas fontes externas: a Pesquisa Industrial Anual (PIA-IBGE) e o inventário global EDGAR. A comparação com a PIA indicou compatibilidade parcial, com subestimação no RAPP e diferenças relacionadas à variabilidade setorial e à inclusão, pela PIA, de vendas não diretamente associadas à produção física. Por sua vez, a comparação com o EDGAR apresentou correlação negativa, refletindo diferenças metodológicas entre dados nacionais agregados e dados detalhados por instalação. Embora limitadas pelo número reduzido de anos analisados, essas avaliações demonstram as limitações de inventários globais quando aplicados à escala local e evidenciam a necessidade de metodologias mais transparentes e adaptadas às particularidades brasileiras.

Palavras-chave: inventário de emissões; indústria alimentícia; gestão da qualidade do ar.

ABSTRACT

This study presents the development of a national atmospheric emissions inventory for the Brazilian food industry, focusing on Non-Methane Volatile Organic Compounds (NMVOCs) for the period from 2017 to 2024. The objective was to establish a systematic and replicable methodology capable of converting self-reported industrial production data from the Annual Report of Potentially Polluting Activities (RAPP/IBAMA) into quantitative emission estimates, addressing the absence of a unified and standardized national emissions inventory system in Brazil and supporting the implementation of the National Air Quality Policy (Law No. 14,850/2024). The study adopts a bottom-up approach, based on the sum of emissions from each industrial establishment, structured through stages of data consolidation, standardization, cleaning, and gap-filling, using Tier 2 emission factors specific to the food and beverage sector. The results show national emissions ranging from 306 thousand tonnes in 2018 to 452 thousand tonnes in 2023, with a strong spatial concentration in the Southeast region (74.1% of the national total), particularly São Paulo (59.7%, increasing trend), Minas Gerais (12.5%, also increasing), Paraná (6.8%, no significant trend), Goiás (5.2%, increasing), and Mato Grosso do Sul (4.3%, increasing). Validation was carried out using two external sources: the Annual Industrial Survey (PIA-IBGE) and the global EDGAR inventory. The comparison with PIA indicated partial compatibility, with underestimation in RAPP and differences associated with sectoral variability and the inclusion, by PIA, of sales not directly linked to physical production. The comparison with EDGAR showed a negative correlation, reflecting methodological differences between aggregated national data and installation-level data. Although limited by the small number of years analyzed, these assessments highlight the constraints of global inventories when applied at the local scale and underscore the need for more transparent methodologies tailored to Brazilian conditions.

Keywords: emission inventory; food industry; air quality management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo de gestão da qualidade do ar.	19
Figura 2: Etapas da metodologia aplicada.....	26
Figura 3: Resumo do tratamento e pré-processamento dos dados.....	32
Figura 5: Fluxograma do processo de geração da base de dados.....	34
Figura 6: Fluxograma do processo de padronização das unidades	35
Figura 7: Fluxograma do processo de correção de outliers e inconsistências.	38
Figura 8: Fluxograma do subprocesso de preenchimento de dados.	39
Figura 4: Indústrias Alimentícias Emissoras de NMVOC.....	42
Figura 9: Série histórica de emissões de NMVOC da indústria alimentícia. .	48
Figura 10: Distribuição regional e estadual das emissões.....	49
Figura 11: Distribuição espacial das emissões de NMCOV da indústria alimentícia.	50
Figura 12: Emissões de NMVOC acumuladas por UF entre 2017 a 2024....	50
Figura 13: Série histórica, tendência por pixel e tendência geral - SP.....	51
Figura 14: Série histórica, tendência por pixel e tendência geral - MG.....	51
Figura 15: Série histórica, tendência por pixel e tendência geral - PR.	52
Figura 16: Série histórica, tendência por pixel e tendência geral - GO.....	53
Figura 17: Série histórica, tendência por pixel e tendência geral - MS.	53
Figura 18: Comparação direta dos dados de produção entre o inventário e PIA-IBGE.....	54
Figura 19: Gráfico de dispersão entre o inventário e os dados do PIA-IBGE.	56
Figura 20: Distribuição do BIAS entre o inventário e os dados do PIA-IBGE.	57
Figura 21: Análise boxplot do BIAS (ton).....	59
Figura 22: Gráfico de dispersão entre EDGAR e inventário realizado.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Colunas do Inventário.	27
Tabela 2: Fontes de dados utilizadas.....	28
Tabela 3: Fatores de emissão para cada classificação industrial.	30
Tabela 4: Resumo das etapas de tratamento.	32
Tabela 5: Balanço Final do Tratamento de Dados.	40
Tabela 6: Comparação entre inventários de emissões de NMVOC da indústria alimentícia brasileira.	59

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
2	OBJETIVOS.....	18
2.1	OBJETIVO GERAL	18
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1	GESTÃO DA QUALIDADE DO AR	19
3.2	INVENTÁRIOS DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS	20
3.3	INVENTÁRIOS DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS NO BRASIL	23
4	METODOLOGIA	26
4.1	OBTENÇÃO, ESTRUTURAÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS	28
4.1.1	OBTENÇÃO E ESTRUTURAÇÃO DOS DADOS.....	28
4.1.1.1	<i>DADOS PRIMÁRIOS PARA O INVENTÁRIO.....</i>	<i>28</i>
4.1.1.2	<i>FATORES DE EMISSÃO.....</i>	<i>29</i>
4.1.1.3	<i>DADOS DE INDICADORES DE VALIDAÇÃO</i>	<i>30</i>
4.1.2	TRATAMENTO DOS DADOS	31
4.1.2.1	<i>GERAÇÃO DA BASE DE DADOS</i>	<i>33</i>
4.1.2.2	<i>PADRONIZAÇÃO DE UNIDADES.....</i>	<i>34</i>
4.1.2.3	<i>CORREÇÃO DE OUTLIERS E INCONSISTÊNCIAS</i>	<i>36</i>
4.1.3	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE OBTENÇÃO, ESTRUTURAÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS.....	39
4.2	CÁLCULO DO INVENTÁRIO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	41
4.2.1	CÁLCULO DAS EMISSÕES DE NMVOC	42
4.2.2	ANÁLISE DA EVOLUÇÃO TEMPORAL	43
4.2.3	ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL	43
4.3	VALIDAÇÃO E COMPARAÇÃO COM INDICADORES EXTERNOS.....	44
4.3.1	METODOLOGIA DE VALIDAÇÃO DOS DADOS DE ATIVIDADE	45
4.3.2	METODOLOGIA DE COMPARAÇÃO DOS DADOS DE EMISSÃO.....	46
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
5.1	INVENTÁRIO DE EMISSÕES DA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA.....	47
5.1.1	SÉRIE HISTÓRICA DAS EMISSÕES NACIONAIS	47
5.1.2	DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS EMISSÕES	48
5.1.3	EMISSÕES ACUMULADAS E TENDÊNCIAS POR UF.....	50

5.2	COMPARAÇÃO COM REFERÊNCIAS EXTERNAS.....	54
5.2.1	COMPARAÇÃO COM PIA-IBGE.....	54
5.2.2	COMPARAÇÃO COM INVENTÁRIO GLOBAL.....	58
6	CONCLUSÃO	61
6.1	RECOMENDAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	62
	REFERÊNCIAS.....	64
	APÊNDICE A – CÓDIGOS DE PRODUTO CLASSIFICADOS CONFORME EMEP/EEA – NFR 2.H.2.	66
	APÊNDICE B – MOSAICO DE EMISSÕES E TENDÊNCIA POR PIXEL E UNIDADE DE FEDERAÇÃO.....	71
	APÊNDICE C – INVENTÁRIO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS	80

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Organização Mundial da Saúde, a poluição do ar consiste na contaminação do ambiente — interno ou externo — por quaisquer agentes químicos, físicos ou biológicos, capazes de alterar as características naturais da atmosfera, com impactos que variam desde a redução da qualidade de vida e da produtividade até mortes prematuras (Organização Mundial da Saúde, 2025). Nesse contexto, a Lei nº 14.850 de 2024, que institui a Política Nacional da Qualidade do Ar no Brasil, estabelece como um de seus instrumentos de gestão o inventário de emissões atmosféricas. Um inventário, de acordo com a referida lei, é definido como um conjunto de informações sobre as emissões geradas por fontes ou grupos de fontes localizadas em uma área geográfica específica, durante um determinado período (BRASIL, 2024).

Apesar dos avanços metodológicos e regulatórios, ainda persistem desafios quanto à qualidade e à resolução dos inventários de emissões disponíveis. Inventários globais, como o EDGAR (Base de Dados de Emissões para a Investigação Atmosférica Global), fornecem dados de emissões antropogênicas globais, espacializados por país, com base em categorias de fontes genéricas e modelos homogêneos (JRC, [S.d.]). No entanto, essas bases frequentemente apresentam limitações em escala local, devido à falta de dados específicos, diferenças nas tecnologias utilizadas e particularidades regionais das fontes de emissão (Amstel; Olivier; Janssen, 1999a; Madrazo et al., 2018a; Shami et al., 2022). Essa disparidade compromete a aplicabilidade direta desses dados em políticas públicas regionais ou locais, evidenciando a necessidade de abordagens metodológicas mais detalhadas e adaptadas ao contexto nacional.

No Brasil, o cenário de inventários de emissões atmosféricas é caracterizado pela ausência de um sistema nacional unificado e padronizado. De acordo com o Relatório Anual de Acompanhamento da Qualidade do Ar (Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, 2025), apenas 7 estados brasileiros declaram possuir inventário de alguma fonte de emissão de poluentes. Deste total, somente os estados de São Paulo, Espírito Santo, Santa Catarina e Paraná possuem algum tipo de inventário de emissões de fontes fixas, ou seja, fontes que liberam poluentes a partir de um ponto estacionário. Além disso, os inventários estaduais existentes não seguem uma metodologia padronizada, o que reflete a

carência de uma diretriz nacional para o tema. Essa fragmentação constitui a principal lacuna científica e regulatória na gestão da qualidade do ar, impossibilitando uma visão completa do problema e dificultando a formulação de políticas públicas eficazes.

Diante da necessidade de aprimorar os inventários de emissões industriais no Brasil – fundamentais para a implementação da Política Nacional de Qualidade do Ar –, este trabalho propõe uma metodologia de cálculo e sua aplicação para as emissões dos processos industriais da indústria alimentícia brasileira. Para isso, serão utilizados dados de produção industrial fornecidos pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e fatores de emissão da Agência Ambiental Europeia (EEA), com o objetivo de gerar um mapeamento georreferenciado das emissões atmosféricas industriais no país, identificar tendências temporais, analisar a distribuição geográfica e comparar os resultados obtidos com o banco de dados global EDGAR de emissões e o banco de dados nacional PIA-IBGE de produção industrial, avaliando possíveis discrepâncias e melhorias na análise.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um inventário de emissões de compostos orgânicos voláteis não metânicos dos processos do setor industrial alimentício.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver e aplicar um fluxo metodológico de cálculo do inventário de emissões atmosféricas industriais a partir do Relatório Anual de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais;
- Analisar a evolução temporal e espacial das emissões de poluentes pela indústria alimentícia no Brasil entre 2017 e 2024;
- Comparar os resultados de emissão e produção industrial deste estudo com referências externas, utilizando o inventário global EDGAR e os dados de produção e vendas do PIA-IBGE, respectivamente, como indicadores de validação.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 GESTÃO DA QUALIDADE DO AR

O ciclo de gerenciamento da qualidade do ar, conforme descrito pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, 2025), é um processo contínuo e dinâmico que se fundamenta em pesquisa científica e articula diferentes etapas interdependentes para reduzir os impactos da poluição atmosférica na saúde e no meio ambiente, conforme ilustrado na Figura 1.

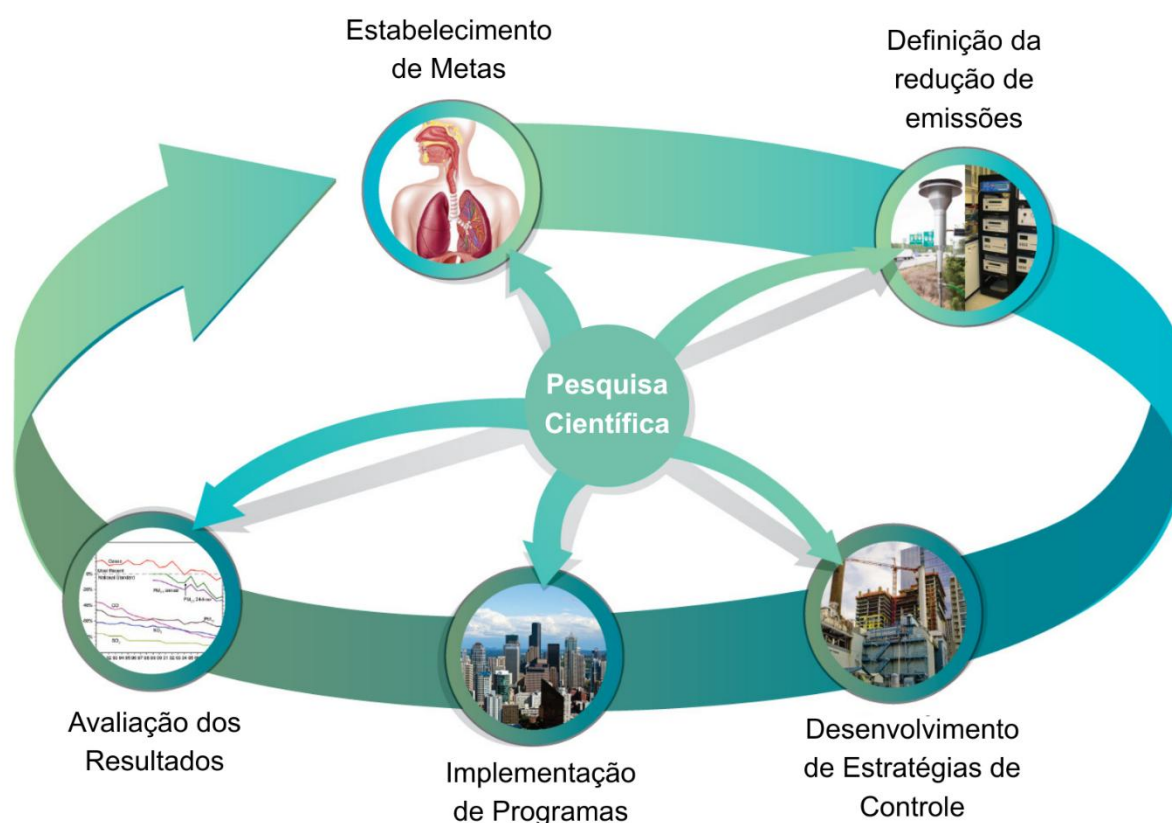


Figura 1: Ciclo de gestão da qualidade do ar.

Fonte: Adaptado de EPA (2025).

O processo inicia-se com a definição de metas de qualidade do ar, geralmente expressas em níveis aceitáveis de poluentes, com atenção especial a grupos populacionais vulneráveis. A etapa seguinte consiste em estimar as reduções de emissões necessárias para atingir essas metas, sendo inventários de emissões uma das ferramentas de análise do estado atual das emissões e do nível de redução necessário, assim como o monitoramento atmosférico e modelagem da qualidade do ar. Com base nessa análise, são formuladas estratégias de

controle, que englobam a seleção de tecnologias e práticas mais adequadas de prevenção e mitigação da poluição. Em seguida, tais estratégias são implementadas por meio de regulamentações, programas de incentivo, capacitação dos setores regulados e fiscalização (EPA, 2025).

O ciclo é complementado pela avaliação contínua dos resultados, que verifica a eficácia das medidas aplicadas e subsidia revisões e ajustes. A pesquisa científica desempenha papel central em todas as etapas, ao fornecer conhecimento sobre emissão, transporte e transformação de poluentes, assim como sobre seus efeitos adversos. Trata-se de um processo participativo, que envolve órgãos governamentais, setor produtivo, comunidade científica e sociedade civil (EPA, 2025).

3.2 INVENTÁRIOS DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

De acordo com o Guia de Inventário de Emissões de Poluentes Atmosféricos EMEP/EEA (EEA, 2023), a mensuração direta de todas as fontes de emissão é inviável. Assim, a abordagem mais utilizada consiste em estimar emissões a partir da relação entre a intensidade de uma atividade humana (dados de atividade) e fatores que convertem a unidade dessa atividade em quantidade de poluente emitido, conforme a Equação 1:

$$\text{Emissão} = \text{Índice de Atividade} * \text{Fator de Emissão} \quad (1)$$

No setor alimentício, por exemplo, a produção de vinho corresponde ao índice de atividade, enquanto a quantidade de compostos orgânicos voláteis emitidos por unidade de produção de vinho representa o fator de emissão. Em alguns casos, a equação pode ser ajustada para incorporar parâmetros adicionais, como tecnologias de abatimento secundário.

De acordo com EEA (2023), esta metodologia varia em nível de complexidade dos dados de entrada:

- **Tier 1:** Utiliza dados estatísticos amplamente disponíveis (energia, produção, tráfego, população) combinados a fatores de emissão médios, geralmente independentes da tecnologia empregada.
- **Tier 2:** Emprega fatores de emissão específicos para cada país, desenvolvidos a partir de informações locais sobre condições de processo,

qualidade dos combustíveis e/ou tecnologias de controle. Pode também detalhar subatividades mais homogêneas.

- **Tier 3:** Adota métodos avançados, com maior nível de detalhamento, como uso de dados em nível de instalação, registros de emissão e transferência de poluentes, informações de sistemas de comércio de emissões ou modelos especializados.

Essa abordagem permite que diferentes países adaptem o nível de detalhamento dos inventários conforme a disponibilidade de dados e a relevância das categorias de emissão, resultando em inventários com diferentes índices de confiança dos dados.

Paralelamente à classificação por *Tiers*, os inventários de emissões atmosféricas são fundamentalmente classificados em duas abordagens metodológicas principais, que geralmente se alinham à sua escala geográfica: inventários globais (abordagem *top-down*) e inventários locais (abordagem *bottom-up*). A abordagem *top-down* (de cima para baixo) parte de dados agregados, como estatísticas nacionais de consumo de combustível ou totais de produção industrial, e utiliza dados substitutos, como densidade populacional ou mapas de uso do solo, para desagregar e espacializar as emissões em uma grade. Em contrapartida, a abordagem *bottom-up* (de baixo para cima) constrói o inventário a partir da soma de fontes individuais, utilizando dados específicos de cada instalação ou processo. Para superar as limitações de ambas as metodologias, ou seja, a baixa granularidade dos modelos *top-down* e a alta demanda de dados dos modelos *bottom-up*, uma abordagem híbrida pode ser utilizada, combinando os dois métodos para preencher a lacuna entre os dados agregados e os dados de uso final detalhados (Havlik et al., 2021).

Um dos principais inventários globais existentes é a Base de dados global para Pesquisas sobre Emissões Atmosféricas (EDGAR), um banco de dados independente que reúne estimativas de emissões antrópicas de gases de efeito estufa e poluentes atmosféricos em escala mundial. O EDGAR disponibiliza tanto totais nacionais quanto mapas em grade de alta resolução ($0,1^\circ \times 0,1^\circ$), com séries anuais, mensais e horárias. Sua metodologia consiste no cálculo das emissões de maneira genérica, utilizando-se de um fator de emissão baseado em tecnologia

de produção (JRC, [S.d.]), com dados de produção baseados em estatísticas nacionais e internacionais de nível agregado (Crippa et al., 2018).

A necessidade de inventários locais e globais decorre do alto nível de incerteza das análises genéricas. Estudos comparativos, como o de Parrish et al. (2009), em megacidades estadunidenses, indicam que inventários globais podem não refletir reduções recentes de emissão observadas localmente. Madrazo et al. (2018) ao comparar EDGAR com um inventário local em Havana, Cuba, observaram que diferenças nos fatores de emissão podem ser mais relevantes que diferenças nos níveis de atividade: EDGAR superestimou emissões de monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO₂) e material particulado de diâmetro menos inferior a 10 micrômetros (MP10) de setores industriais por fatores de 3, 1,5 e 25, respectivamente, enquanto no transporte rodoviário os fatores se aproximavam em até duas vezes para MP10, CO e óxidos de nitrogênio (NO_x), e entre 5 e 20 vezes para o metano (CH₄) e SO₂. Quanto à distribuição espacial, EDGAR apresentou padrões mais homogêneos e valores relativamente menores em áreas críticas (*“hotspots”*), especialmente para NO_x, SO₂ e CH₄. Além disso, de acordo com Amstel, Olivier, Janssen (1999), comparações entre inventários nacionais e EDGAR revelam três principais tipos de diferença:

- Fatores de emissão distintos podem levar a grandes discrepâncias;
- Níveis de atividade diferentes refletem a dependência do EDGAR em dados internacionalmente disponíveis, que nem sempre coincidem com dados nacionais detalhados;
- Setores incompletos ou ausentes nos inventários nacionais tornam-se evidentes ao comparar com EDGAR.

Essas comparações evidenciam que a avaliação crítica de inventários de emissões é necessária para aprimorar o conhecimento científico sobre os balanços globais e regionais, aumentar a qualidade dos dados, melhorar metodologias e estimular o diálogo entre cientistas, gestores públicos e sociedade. Inventários locais e regionais detalhados, integrados a dados globais e validados por diferentes fontes, são essenciais para reduzir incertezas, identificar áreas prioritárias de mitigação e promover políticas ambientais mais eficazes.

3.3 INVENTÁRIOS DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS NO BRASIL

No Brasil, a Lei nº 14.850, de 2024, que institui a Política Nacional da Qualidade do Ar, estabelece como um de seus instrumentos de gestão o inventário de emissões atmosféricas. Esse inventário é definido como um conjunto de informações sobre as emissões geradas por fontes ou grupos de fontes localizadas em uma área geográfica específica, durante um determinado período. De acordo com a referida lei, o inventário deve conter, no mínimo, a identificação das fontes de emissão, os poluentes inventariados, a distribuição geográfica das emissões conforme regiões definidas pelo órgão ambiental competente, a metodologia de estimativa utilizada, as lacunas de informação identificadas e as providências previstas para sua correção (BRASIL, 2024).

A realização do inventário de emissões atmosféricas, como instrumento de controle da Política Nacional de Qualidade do Ar, pode empregar métodos distintos conforme a disponibilidade de dados e a complexidade requerida. Entretanto, ainda não existe um sistema nacional consolidado e padronizado para inventários de emissões atmosféricas. Segundo o Relatório Anual de Acompanhamento da Qualidade do Ar (Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, 2025), apenas sete estados afirmam dispor de inventários relacionados a alguma fonte de poluentes. Entre eles, somente São Paulo, Espírito Santo, Santa Catarina e Paraná abrangem especificamente as emissões de fontes fixas. Além disso, observa-se que os inventários estaduais são elaborados sem uma metodologia uniforme, evidenciando a ausência de diretrizes nacionais que orientem esse processo.

Em São Paulo, a metodologia para o inventário de fontes estacionárias é baseada em um sistema de autodeclaração industrial, conforme estabelecido no Plano de Redução de Emissão de Fontes Estacionárias (“Plano de Redução de Emissão de Fontes Estacionárias – PREFE”, [S.d.]). O processo é direcionado às indústrias localizadas em áreas que não atendem aos padrões de qualidade do ar. A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) convoca os empreendimentos selecionados a reportar suas emissões anuais, tomando como referência um ano-base específico (por exemplo, 2022 para o PREFE 2021). A coleta de dados é realizada por meio de uma planilha eletrônica padronizada, disponibilizada pela CETESB, que deve ser preenchida pelas próprias empresas.

Os poluentes de declaração obrigatória são Material Particulado (MPx), NOx, SOx e Hidrocarbonetos Totais Não Metano (HCNM), categoria na qual os Compostos Orgânicos Voláteis (COV) devem ser incluídos. As empresas são responsáveis por calcular suas próprias taxas de emissão, expressas em toneladas por ano, e devem submeter à CETESB a memória de cálculo utilizada para a estimativa, juntamente com o termo de responsabilidade e a planilha preenchida. Este método caracteriza uma abordagem *bottom-up*, focada na coleta de dados diretamente das fontes para subsidiar ações de controle e fiscalização.

No inventário de emissões de fontes fixas do estado do Paraná (Grauer, 2013), a metodologia principal também se baseou nos dados de automonitoramento reportados pelas próprias indústrias ao Instituto Ambiental do Paraná (IAP) e à Prefeitura Municipal de Curitiba (MPC). Foram utilizados registros a partir de 2003, compilados em bancos de dados que, após o tratamento, abrangeram 1.415 empresas e 2.898 fontes monitoradas. Para garantir a consistência dos dados antes do cálculo das emissões de MP, SOx, CO e NOx, foi aplicado um rigoroso processo de tratamento que incluiu a correção de vazões, o cálculo de vazões teóricas para registros com valor nulo e a padronização de nomes de municípios. A principal abordagem para lidar com a ausência de medições para todos os poluentes em um mesmo registro foi a criação de dois cenários: o "Cenário Medição", que computou apenas dados efetivamente medidos, e o "Cenário Cálculo", considerado mais próximo da realidade, que preencheu as lacunas utilizando a concentração média da respectiva categoria de processo. Esta última abordagem permitiu ampliar significativamente a base de dados do inventário, tornando-o mais completo.

No Espírito Santo, um estudo de caso para a Região Metropolitana da Grande Vitória (RGV) (Loriato et al., 2018) detalhou a adaptação de um inventário de emissões oficial de 2010, fornecido pelo Instituto Estadual do Meio Ambiente (IEMA), para aplicação no sistema de modelagem WRF-SMOKE-CMAQ, um conjunto de modelos computacionais que simula a meteorologia (WRF), processa os inventários de emissão (SMOKE) e modela o transporte e a química da qualidade do ar (CMAQ). Partindo de dados do IEMA para poluentes como MP₁₀, MP_{2,5}, SO₂, NOx, CO e COV, a metodologia visou a compatibilização dos dados com o pré-processador de emissões SMOKE. Para isso, as fontes foram classificadas como pontuais ou de área e padronizadas com códigos de

identificação de processo. Em seguida, o SMOKE foi utilizado para realizar as transformações dos dados, incluindo a alocação temporal para converter emissões anuais em horárias, a alocação espacial para distribuir as emissões em uma grade de alta resolução (1x1 km²), e a especiação química para adequar os poluentes ao mecanismo químico do modelo de qualidade do ar.

Em Santa Catarina, por sua vez, inventários de emissões atmosféricas são disponibilizados no site do Instituto do Meio Ambiente estadual (IMA-SC) desde 2016. A metodologia para as fontes industriais, com ano base 2020, utilizou dados fornecidos pelo próprio IMA-SC e pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDE-SC), complementados por um levantamento acadêmico. Os segmentos industriais foram agrupados em categorias com base na metodologia AP-42 da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA, 2025). O relatório ressalta que o levantamento é um trabalho contínuo e que um número significativo de empreendimentos ainda não possui dados de monitoramento consolidados. Para as demais fontes, o inventário de emissões veiculares foi estimado com o software BRAVES (abordagem *Top-Down* a partir do consumo de combustível), as emissões de queimadas foram calculadas com o modelo FINN (que utiliza dados de satélite), e as emissões biogênicas foram estimadas pelo modelo MEGAN 2.1 (Hoinaski, 2023).

Apesar dos avanços normativos, observa-se que a elaboração de inventários no Brasil ainda é fragmentada e carece de padronização metodológica em âmbito nacional. Essa lacuna compromete a comparabilidade dos dados entre estados e dificulta o planejamento integrado de políticas públicas voltadas à gestão da qualidade do ar. Nesse sentido, a consolidação de um sistema nacional de inventários, alinhado à Política Nacional da Qualidade do Ar, é fundamental para subsidiar ações de controle, fortalecer a tomada de decisão e ampliar a eficácia das medidas de proteção à saúde e ao meio ambiente.

4 METODOLOGIA

Este capítulo detalha os procedimentos metodológicos adotados para a construção do inventário de emissões, o tratamento dos dados, e as análises temporal, espacial e comparativa, visando atender aos objetivos propostos. A metodologia foi estruturada em três etapas principais, apresentadas na Figura 2. Todo o desenvolvimento contou com a utilização do software Spyder com a linguagem de programação em Python, com exceção das etapas de ajustes manuais, realizados no Microsoft Office Excel. O inventário foi realizado pela abordagem *bottom-up*, ou seja, foi construído a partir da soma de fontes individuais, utilizando dados específicos e fatores de emissão de *Tier 2*, conforme abordado no Tópico 3.2.



Figura 2: Etapas da metodologia aplicada.

Fonte: o autor.

O inventário está disponibilizado no Anexo A, e as colunas do inventário disponibilizado são descritas resumidamente na Tabela 1 e abordados nos tópicos seguintes. Devido ao sigilo das informações, campos contendo o código de produto e identificação da indústria foram retirados da base de dados. Ressalta-se, por fim, que os processos das indústria alimentícia emitem unicamente os compostos orgânicos voláteis não metânicos (NMVOC), sendo as demais emissões desprezíveis (EEA, 2023).

Tabela 1: Colunas do Inventário.

Agrupamento	Nome da Coluna	Descrição
Identificação da Fonte	SITUACAO CADASTRAL	Status da empresa no Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras (CTF/APP) (e.g., Ativa, Encerrada).
	LATITUDE	Latitude da indústria em graus decimais (WGS84).
	LONGITUDE	Longitude da indústria em graus decimais (WGS84).
Dimensão Temporal	num_ano	Ano de referência para o dado de produção e emissão.
Dados Brutos (RAPP)	qtd_produzida	Quantidade original declarada pela indústria no relatório de atividades potencialmente poluidoras (RAPP).
	sig_unidmed	Unidade de medida original declarada no RAPP.
Classificação e Fatores (EEA)	NFR	Código da categoria de emissão (NFR 2.H.2 – Alimentos e bebidas).
	Table	Código do subsetor industrial conforme EEA
	tipo_industria_nfr	Classificação do subsetor industrial conforme EEA
	Pollutant	Poluente analisado (NMVOC).
	Value	Fator de Emissão (em kg NMVOC / unidade de produção).
	Unit_x	Unidade de medida original do Fator de Emissão (kg/tonelada).
	CI_lower	Limite inferior do Intervalo de Confiança do fator de emissão.
	CI_upper	Limite superior do Intervalo de Confiança do fator de emissão.
	sig_unidmed_novo	Unidade de medida após a verificação manual
	qtd_produzida_novo	Quantidade após verificação manual das unidades
Rastreabilidade	status_v02...v08	Colunas que documentam cada ação do tratamento.
	fatorConversao	Fator numérico aplicado para converter a produção para ton/hL.
	p90_do_grupo_v0	Valor de referência do 90º percentil do subsetor industrial.
	fator_escala	Fator de escala (e.g., 1000) aplicado.
	prodtonhl_v0...v3	Colunas que armazenam o resultado de cada etapa do tratamento de dados.
Dado de Atividade Final	prodtonhl_v4	Produção final usada para o cálculo, após todas as etapas de tratamento.
Resultados Finais (Emissões)	Emissão NMCOV (ton)	Valor central de emissão, calculado a partir de prodtonhl_v4.
	Emissão NMCOV CI_lower (ton)	Emissão calculada com o limite inferior do índice de confiança do fator de emissão.
	Emissão NMCOV CI_upper (ton)	Emissão calculada com o limite superior do índice de confiança do fator de emissão.

Fonte: o autor.

4.1 OBTENÇÃO, ESTRUTURAÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS

4.1.1 OBTENÇÃO E ESTRUTURAÇÃO DOS DADOS

A etapa inicial deste trabalho consistiu na coleta e organização das bases de dados fundamentais para a construção do inventário de emissões. A qualidade do inventário depende diretamente da qualidade e da abrangência dos dados de entrada, que foram obtidos de fontes governamentais e de referências científicas internacionais. O processo de aquisição de dados foi sistematizado para garantir a reprodutibilidade e a transparência metodológica. As fontes de dados utilizadas são detalhadas nos tópicos seguintes, enquanto a Tabela 2 apresenta um resumo dessas fontes.

Tabela 2: Fontes de dados utilizadas.

Fonte de Dados	Descrição	Variáveis Principais Utilizadas	Período	Referência
CTF/APP (IBAMA)	Cadastro de pessoas jurídicas com atividades potencialmente poluidoras.	CNPJ, Razão Social, Município, Latitude, Longitude, Situação Cadastral.	-	(IBAMA, 2025)
RAPP (IBAMA)	Relatórios anuais de produção industrial declarada pelas empresas.	CNPJ, Código do Produto, Quantidade Produzida, Unidade de Medida, Ano.	2017-2024	(IBAMA, 2025)
EMEP/EEA	Guia europeu de inventários de emissão de poluentes atmosféricos.	Fatores de Emissão de NMVOC para a indústria de alimentos e bebidas (Tier 2).	2023	(EEA, 2023)
EDGAR	Base de dados global de emissões atmosféricas.	Emissões anuais de NMVOC (ton) para o setor alimentício no Brasil.	2017-2022	(JRC, 2024)
PIA (IBGE)	Pesquisa anual sobre a produção e venda industrial brasileira.	Valor e quantidade da produção e venda anual por tipo de produto.	2017-2023	(IBGE, 2023)

Fonte: o autor.

4.1.1.1 DADOS PRIMÁRIOS PARA O INVENTÁRIO

As informações que constituem a base para o cálculo das emissões foram provenientes de duas fontes principais gerenciadas pelo IBAMA.

- **Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras (CTF/APP):** As informações cadastrais das indústrias, que permitem a identificação e a geolocalização das fontes emissoras, foram obtidas por meio dos arquivos de "Pessoas Jurídicas" diretamente do portal de Dados

Abertos do IBAMA (IBAMA, 2025). As variáveis essenciais extraídas desta fonte foram: Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica (CNPJ), razão social, localização (município e coordenadas geográficas de latitude e longitude) e a situação cadastral da empresa (e.g., "Ativa", "Encerrada"). As coordenadas não foram espacialmente validadas, o que pode gerar um erro associado a posição da indústria cadastrada.

- **Relatório Anual de Atividades Potencialmente Poluidoras (RAPP):** Os dados de atividade, que quantificam a produção industrial, foram extraídos de planilhas sigilosas, cujo sigilo provem dos dados das indústrias, os quais foram encaminhadas unicamente para realização do estudo, compiladas a partir de material encaminhado pelo IBAMA. Esses dados correspondem às informações declaradas pelas próprias empresas no âmbito do RAPP. A base de dados consolidada abrange o período de 2017 a 2024 e contém, para cada estabelecimento, as seguintes variáveis-chave: CNPJ, razão social, município, o código do produto fabricado (PRODLIST), a quantidade produzida anualmente e a unidade de medida declarada.

4.1.1.2 FATORES DE EMISSÃO

Para converter os dados de atividade (produção) em dados de emissão, foram utilizados os fatores de emissão *Tier 2* recomendados pela EEA. Especificamente, foram adotados os fatores para a categoria 2.H.2 – Indústria de Bebidas e Alimentos, conforme publicado no guia de inventários de emissões EMEP/EEA (EEA, 2023). A escolha por fatores *Tier 2* justifica-se por oferecerem uma maior especificidade por tipo de produto dentro do setor alimentício, em detrimento dos fatores *Tier 1*, que são mais genéricos. Destaca-se que os fatores de emissão europeus foram selecionados em vez dos da EPA devido à maior compatibilidade entre a base de dados do CTF/APP e a base de dados do EMEP/EEA.

Este documento indica que as emissões dos processos industriais no setor alimentício ocorrem principalmente em etapas que envolvem aquecimento, cozimento, fermentação, destilação e maturação. Processos como o cozimento de carnes e grãos, torrefação de café, fermentação alcoólica e destilação geram emissões significativas de NMVOC, enquanto atividades como a pasteurização do

leite ou a produção de alimentos frescos e congelados apresentam emissões desprezíveis (EEA, 2023). Na indústria alimentícia, existem emissões associadas à produção de energia, os quais não foram incluídos neste estudo. Por fim, o guia não inclui fatores de abatimento, ou seja, não considera a utilização de tecnologias que reduziram tais emissões para a indústria alimentícia. A Tabela 3 indica os fatores de emissão utilizados para cada classificação industrial.

Tabela 3: Fatores de emissão para cada classificação industrial.

Categoria	Subcategoria	Tabela	Fator de Emissão*	Intervalo de confiança de 95%	
				Mínimo	Máximo
Açúcar	Açúcar	3_20	10	1	100
Bolos, biscoitos e cereias matinais	Bolos, biscoitos e cereias matinais	3_18	1	0.1	10
Cerveja	Cerveja (incluindo sem álcool)	3_27	0.035	0.012	0.11
Destilados	Whisky de grãos	3_30	7.5	3.8	15
	Brandy	3_31	3.5	1.2	11
	Demais destilados	3_32	0.4	0.13	1.2
Margarina e gorduras sólidas	Margarina e gorduras sólidas	3_21	10	1	100
Preparação de Carnes e Ração Animal	Carnes, peixes e aves	3_19	0.3	0.003	3
	Ração animal	3_22	1	0.1	10
Pão	Pão branco	3_14	4.5	1.5	14
	Pão branco - processamento rápido	3_15	2	0.7	6
	Pão integral	3_16	3	1	9
Torrefação do café	Torrefação do café	3_23	0.55	0.18	1.7
Vinho	Vinho sem cor especificada	3_24	0.08	0.008	0.8

*Fator de emissão em kg_{NMVOC}/ton_{PRODUTO} para alimentos e kg_{NMVOC}/hl_{PRODUTO} para bebidas.

Fonte: Adaptado de EEA (2022).

4.1.1.3 DADOS DE INDICADORES DE VALIDAÇÃO

Com o intuito de avaliar a consistência e dos resultados gerados, foram selecionadas duas fontes de dados externas para a etapa de validação:

- **Pesquisa Industrial Anual (PIA-IBGE):** Utilizaram-se os valores de produção e vendas da indústria alimentícia brasileira, disponibilizados na Tabela 7752 da plataforma SIDRA (IBGE, 2023). A PIA-Empresa aplica um questionário completo às indústrias com 30 ou mais funcionários ou elevada receita, enquanto os estabelecimentos menores (1 a 29

empregados) têm seus dados obtidos por amostragem, por meio de um questionário simplificado.

- **Base de dados global para Pesquisas sobre Emissões Atmosféricas (EDGAR):** Para a comparação das emissões, foram extraídos os dados de emissão de NMVOC para o setor de produção de alimentos no Brasil, disponíveis na versão 8.1 do inventário global EDGAR, cobrindo o período de 2017 a 2022 (JRC, 2024). Sua metodologia foi abordada no Tópico 3.2, e as discussões realizadas apoiam-se nos artigos que fundamentam o procedimento de construção deste, conforme Crippa et al. (2018).

4.1.2 TRATAMENTO DOS DADOS

A qualidade de um inventário de emissões é intrinsecamente ligada à qualidade de seus dados de atividade. Dados brutos, especialmente os autodeclarados como os do RAPP, frequentemente contêm inconsistências, erros de digitação, lacunas e valores atípicos que, se não tratados adequadamente, podem gerar distorções significativas nos resultados. Portanto, esta etapa da metodologia foi dedicada a um processo sistemático e rastreável de limpeza, padronização, correção e preenchimento dos dados de produção industrial, transformando a base de dados bruta em uma série temporal consistente e pronta para o cálculo das emissões. O fluxo de trabalho foi estruturado em três fases sequenciais, detalhadas nos tópicos posteriores e compiladas na Figura 3.

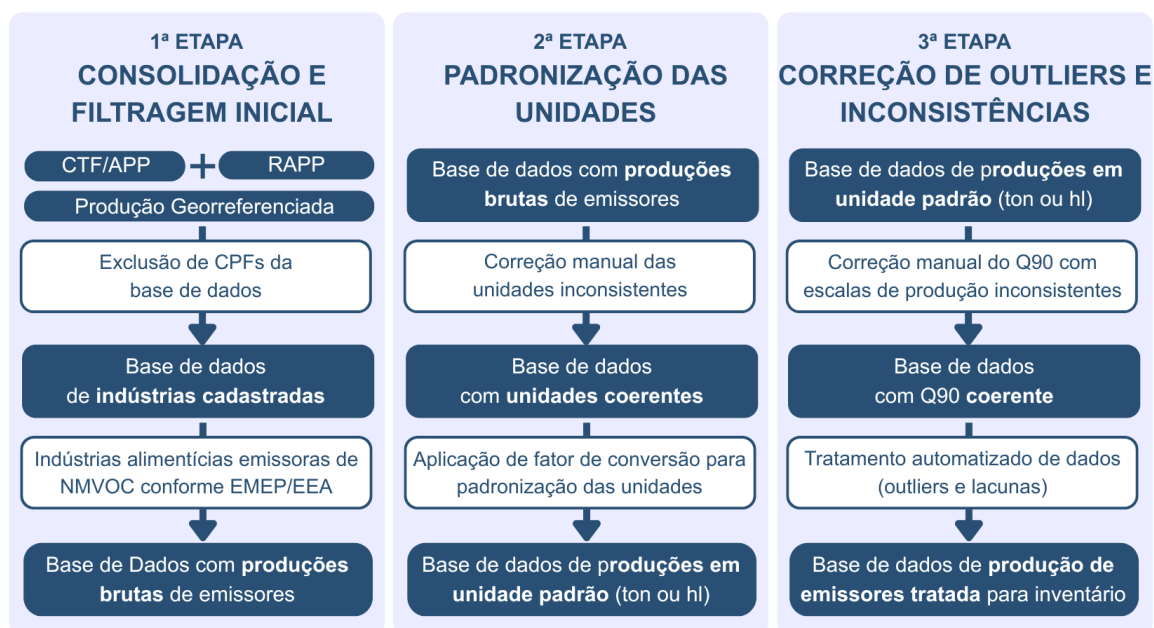


Figura 3: Resumo do tratamento e pré-processamento dos dados.

Fonte: o autor.

Ao final desta etapa, o inventário contará com colunas de rastreabilidade conforme os dados foram alterados, com uma sequência lógica apresentada conforme a Tabela 4.

Tabela 4: Resumo das etapas de tratamento.

Etapa metodológica	Coluna de Status	Explicação da ação	Coluna de Valor Gerado	Resultado da ação
Consolidação e Filtragem	<i>status_v01</i>	Filtro de CNPJ	<i>qtd_produzida</i>	Registros associados a CPFs são removidos da base de dados.
Consolidação e Filtragem	<i>status_v02</i>	Filtro de Produto Emissor	<i>qtd_produzida</i>	Registros de produtos não classificados como emissores (NFR 2.H.2) são removidos.
Padronização de unidades	<i>status_v03</i>	Documenta a correção manual de unidade	<i>qtd_produzida_novo</i>	Valor original foi ajustado manualmente em casos de inconsistência.
Padronização de unidades	-	-	<i>prodtonhl_v0</i>	Produção convertida para a unidade padrão (ton ou hL) através da coluna "fatorConversao"
Correção de Escala	<i>status_v04</i>	Sinaliza >P90 do grupo	-	-
Correção de Escala	<i>status_v05</i>	Documenta o fator de escala (fator_escala) aplicado	<i>prodtonhl_v1</i>	Valor <i>prodtonhl_v0</i> ajustado pelo fator de escala manual
Filtragem por Histórico	<i>status_v06</i>	Classifica a série como "Apta" ou "Insuficiente"	<i>prodtonhl_v2</i>	(Valor <i>prodtonhl_v1</i> mantido se "Apta", ou

Etapa metodológica	Coluna de Status	Explicação da ação	Coluna de Valor Gerado	Resultado da ação
		(histórico < 5 anos ou < 3 consecutivos)		zerado se "Insuficiente")
Correção de Outliers	status_v07	Documenta a correção do outlier: 'Interpolação', 'Extrapolação' ou 'Mediana da Série'.	prodtonhl_v3	(Valores atípicos em prodtonhl_v2 substituídos por valores corrigidos)
Preenchimento de Lacunas	status_v08	Documenta o status do ponto: 'Valor Mantido', 'Preenchido' (Global/Local) ou 'Zerado' (Status Inválido).	prodtonhl_v4	Lacunas em prodtonhl_v3 preenchidas. Dado de atividade final

Fonte: o autor.

4.1.2.1 GERAÇÃO DA BASE DE DADOS

O primeiro passo consistiu em unificar as informações de cadastro (CTF/APP) e de produção (RAPP). Utilizando as chaves "CNPJ" e "Município", os dados de produção anual foram associados às respectivas informações cadastrais, como coordenadas geográficas e situação da empresa. Durante esta fase, foi realizada uma filtragem inicial para delimitar o escopo do estudo:

- **Exclusão de Pessoas Físicas:** A base de dados foi filtrada para manter apenas registros associados a Pessoas Jurídicas (documentos de 14 dígitos - CNPJ), excluindo-se os registros de Pessoas Físicas (11 dígitos - CPF), que não correspondem ao escopo de fontes industriais fixas.
- **Seleção de Produtos Relevantes:** A base consolidada foi cruzada manualmente com a lista de códigos de produto do RAPP e com as classificações e fatores de emissão disponibilizados pela EMEP/EEA. Foram mantidos apenas os produtos pertencentes ao setor de alimentos e bebidas que possuem fatores de emissão de NMVOC documentados na categoria 2.H.2 do guia EMEP/EEA (EEA, 2023). Essa etapa garantiu que a análise subsequente se concentrasse exclusivamente nas fontes emissoras de interesse. Nem sempre foi possível encontrar uma correspondência exata entre os códigos. Nesses casos, o produto foi associado à categoria mais semelhante possível. O Apêndice A apresenta

as correspondências estabelecidas, bem como as limitações e observações associadas.

A Figura 4 apresenta o fluxograma metodológico referente a etapa de geração da base de dados.

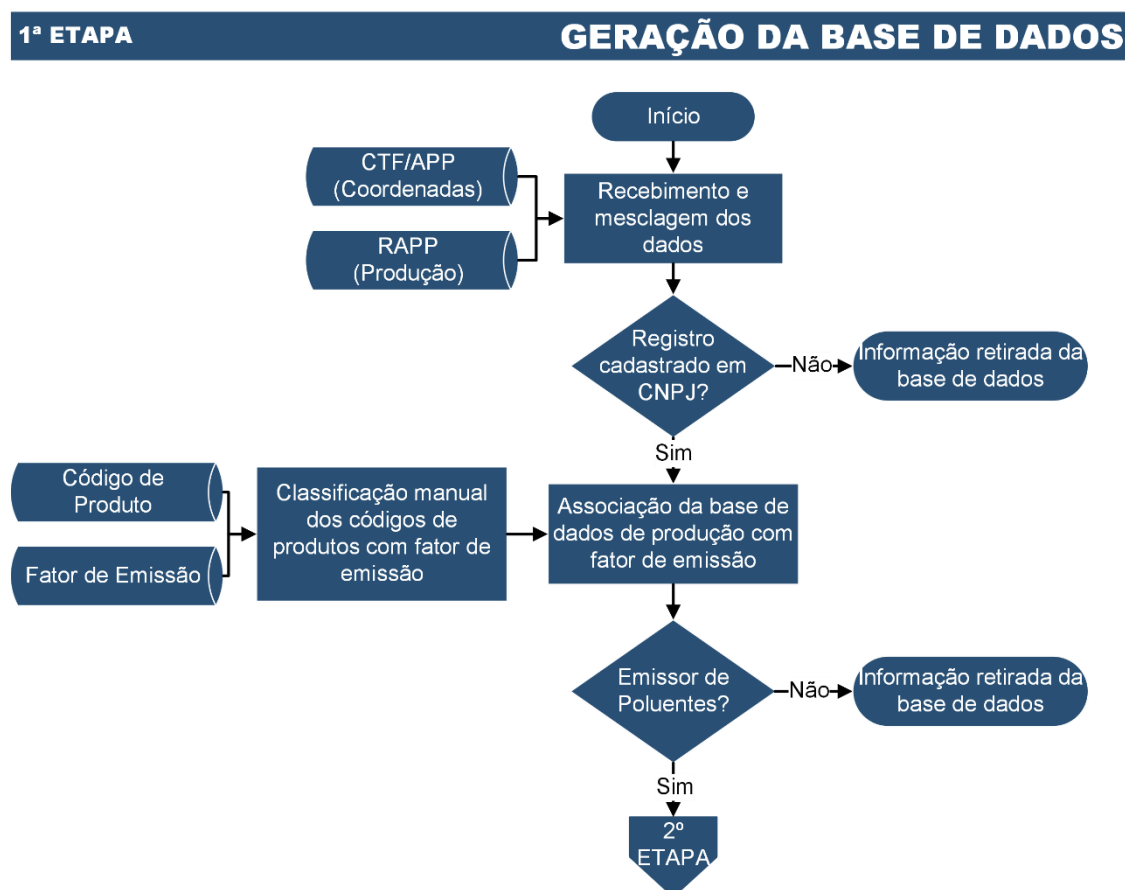


Figura 4: Fluxograma do processo de geração da base de dados.

Fonte: o autor.

4.1.2.2 PADRONIZAÇÃO DE UNIDADES

Uma das principais fontes de inconsistência nos dados do RAPP é a variabilidade nas unidades de medida declaradas. Para sanar este problema, foi adotada uma abordagem em duas etapas. Primeiramente, foi realizada uma análise para identificar os casos em que uma mesma indústria reportou a produção do mesmo produto com múltiplas unidades de medida ao longo dos anos (e.g., "tonelada" e "kg"). Esses casos foram exportados para um arquivo auxiliar para verificação e correção manual, garantindo a consistência interna de cada

série temporal. Este ajuste foi registrado na coluna “status_v03” e o novo valor foi inserido na coluna “qtd_produzida_novo”.

Em seguida, para permitir a aplicação dos fatores de emissão, foi necessário padronizar todas as quantidades de produção para uma unidade comum (hectolitros para destilados, vinhos e cervejas, e toneladas para os demais), conforme o fator de emissão disponibilizado. Foi criada uma tabela de conversão que, para cada par produto-unidade, continha o fator necessário para a padronização. Para a conversão dos alimentos em termos de densidade, utilizou-se como base o banco de dados *FAO/INFOODS Density Database* (Versão 2.0), desenvolvido pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (Charrondiere; Haytowitz; Stadlmayr, 2012). Os fatores de conversão utilizados para as devidas padronizações são apresentados na coluna “fatorConversao”, o valor convertido registrado na coluna “prodtonhl_v0”.

A Figura 5 apresenta o fluxograma metodológico referente a etapa de padronização das unidades.

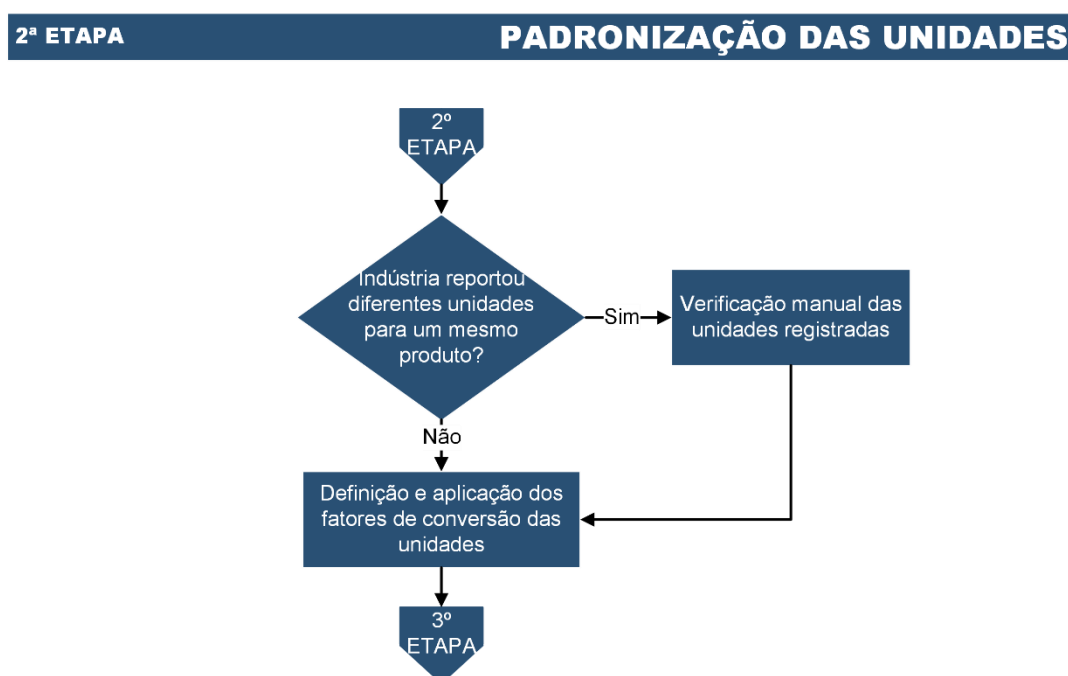


Figura 5: Fluxograma do processo de padronização das unidades

Fonte: o autor.

4.1.2.3 CORREÇÃO DE OUTLIERS E INCONSISTÊNCIAS

Erros de digitação que alteram a ordem de magnitude dos valores (e.g., declarar 1.000 kg como "1" em vez de "1000") são comuns em dados autodeclarados e representam uma fonte significativa de outliers. Para mitigar este problema, foi implementado um método de detecção semiautomatizado. A produção de cada indústria foi comparada com o 90º percentil de produção do seu respectivo setor conforme NFR. Os registros com produção superior a este limiar foram sinalizados como potencialmente inconsistentes na coluna "*status_v04*" e exportados para uma análise manual. Nesta etapa, foi possível identificar e corrigir erros de escala, aplicando-se um "fator de escala" (e.g., 1000, 100, 0.01) para ajustar o valor reportado, registrado na coluna "*fator_escala*", com o novo valor convertido na coluna "*prodtonhl_v1*" e alteração documentada na coluna "*status_v05*". Além disso, registros identificados como estabelecimentos de estocagem, frigoríficos, importação e exportação, não havendo atividade industrial, foram zerados na base de dados através do fator de escala.

A fase final do tratamento de dados consistiu em um processo automatizado para refinar as séries temporais de produção que não estão no 90º percentil ou não foram percebidos pela análise manual. Nesta etapa, adotou-se métodos de tratamento mais restritivos, tendo em vista a grande variabilidade dos dados, buscando não mascarar a realidade, e tomando os valores do PIA como indicador, que serão apresentados nos tópicos posteriores.

1. **Filtragem por Histórico de Reporte:** Para garantir que as análises de tendência e preenchimento de dados fossem baseadas em séries minimamente consistentes, foi aplicado um filtro de histórico. Apenas as séries temporais que continham pelo menos cinco anos de registros, ou no mínimo três anos consecutivos de declaração, foram consideradas aptas para as etapas seguintes. As séries que não atenderam a este critério foram excluídas das correções subsequentes, e seus valores de produção foram zerados. Isso foi realizado pois algumas indústrias fazem declarações incorretas de produtos em diferentes categorias, mascarando a realidade.

A coluna “*prodtonhl_v2*” apresenta os valores aptos para análise e a coluna “*status_v06*” registra se os valores foram considerados aptos ou insuficientes conforme os parâmetros adotados.

2. **Detecção e Correção de Outliers:** Foi implementado um método de detecção de outliers com dupla abordagem. Um ponto foi sinalizado como outlier se:

- a. O valor desviasse significativamente (fator > 3) da mediana de uma janela móvel centrada de cinco anos; ou
- b. Representasse uma variação anual abrupta, com aumento superior a 2 vezes ou redução superior a 50% em relação ao ano anterior.

Esta abordagem foi aplicada em prol de corrigir valores declarados em escala inconsistente com sua série que não foram detectados pelas metodologias anteriores. Os outliers identificados foram corrigidos utilizando uma abordagem hierárquica: primeiramente, tentou-se a interpolação linear entre os pontos válidos mais próximos; caso não fosse possível, utilizou-se a extrapolação linear; como último recurso, aplicou-se a mediana dos pontos válidos da série. As alterações foram registradas na coluna “*status_v07*” e seu novo valor na coluna “*prodtonhl_v3*”.

3. **Preenchimento de Lacunas:** A última etapa visou criar séries temporais contínuas, preenchendo os anos sem declaração. A estratégia de preenchimento foi condicionada à situação cadastral da empresa e à densidade de dados. Para empresas com situação “ATIVA” e com um histórico de declaração denso (cobrindo mais de 75% do período total de análise), as lacunas foram preenchidas por interpolação linear em toda a janela temporal do estudo (2017-2024). Para as demais situações, o preenchimento foi realizado apenas nas lacunas internas, entre o primeiro e o último ano de reporte. Empresas com situação inválida tiveram seus valores zerados. Esta abordagem evita a extrapolação indevida de produção para empresas que cessaram suas atividades. As alterações foram registradas na coluna “*status_v08*” e os devidos valores apresentados na coluna “*prodtonhl_v4*”, sendo estes os valores finais deste tratamento, utilizados para as etapas de cálculo do inventário e suas análises subsequentes.

A Figura 6 e Figura 7 apresentam os fluxogramas metodológicos referente a etapa de correção de outliers e inconsistências, incluindo a metodologia de preenchimento de dados utilizada.

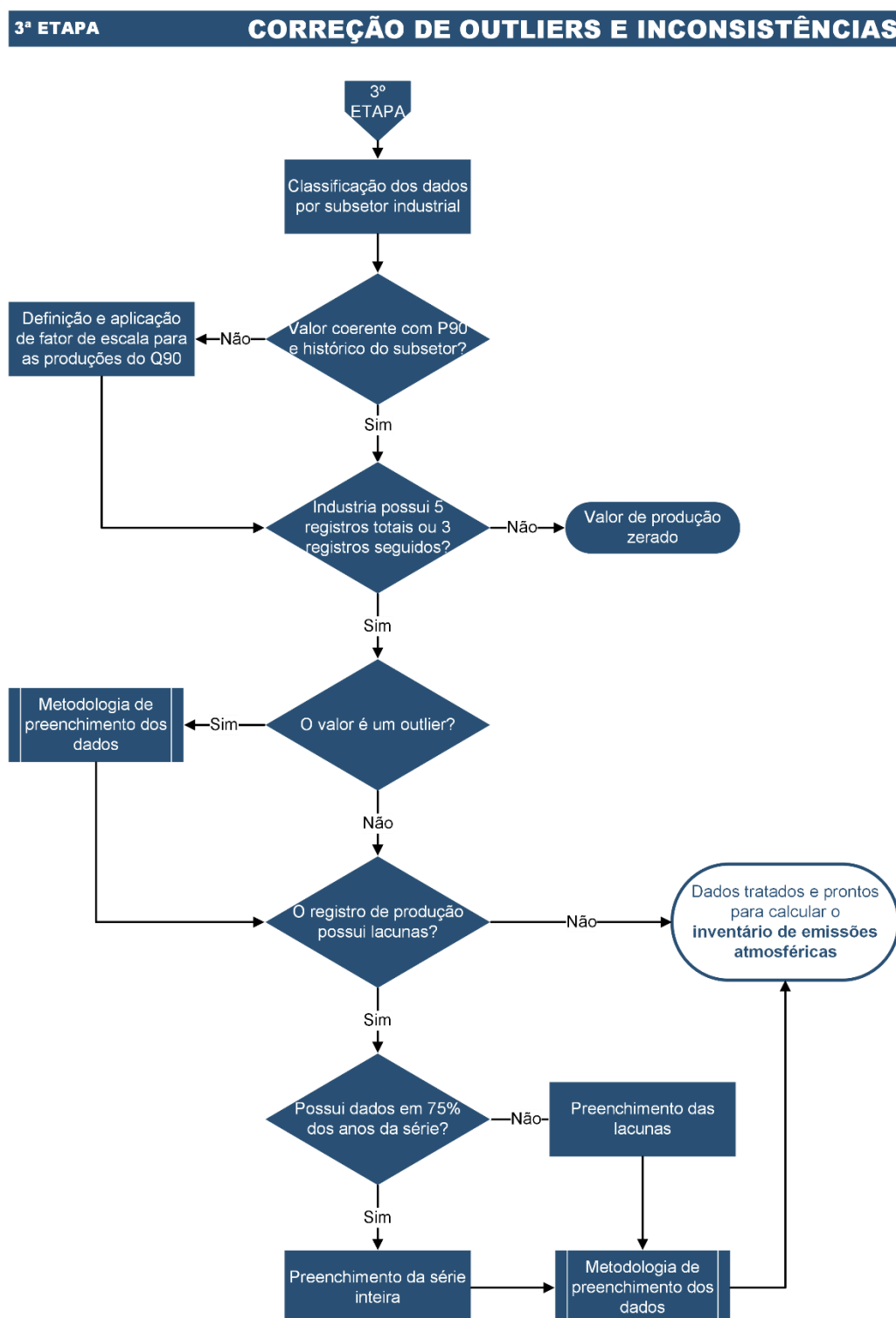


Figura 6: Fluxograma do processo de correção de outliers e inconsistências.

Fonte: o autor.

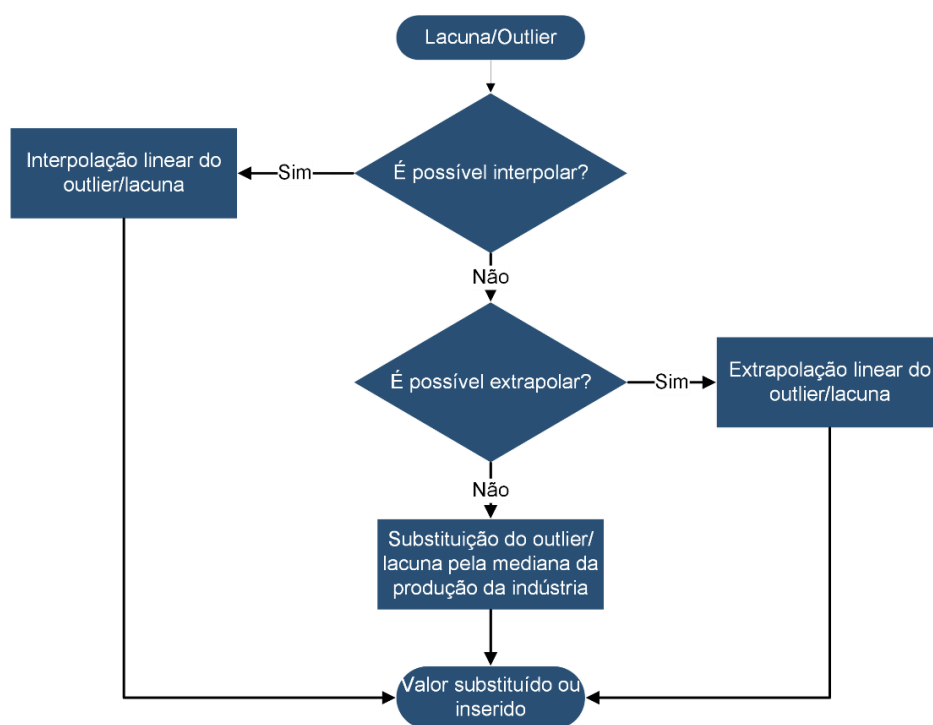
SUBPROCESSO METODOLOGIA DE PREENCHIMENTO DOS DADOS


Figura 7: Fluxograma do subprocesso de preenchimento de dados.

Fonte: o autor.

4.1.3 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE OBTENÇÃO, ESTRUTURAÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS

A principal contribuição deste trabalho não é apenas o inventário em si, mas a criação de uma metodologia sistemática, transparente e replicável para converter dados do RAPP em um inventário de emissões, que pode ser expandida para dados de produção de outras indústrias. Este método estabelece uma base sólida que pode ser aprimorada no futuro, representando um avanço para a quantificação de emissões em nível nacional com alta resolução espacial.

A aplicação do fluxo metodológico seguiu três etapas principais para transformar os dados brutos do RAPP em uma base de atividade consistente para o cálculo do inventário. Ainda assim, o processo apresenta limitações importantes. Entre elas, destaca-se a elevada variabilidade nas unidades e ordens de grandeza das informações autodeclaradas, que pode introduzir distorções significativas nos resultados. Soma-se a isso a necessidade de utilizar fatores de emissão europeus (EEA), potencialmente pouco representativos das especificidades dos processos

industriais brasileiros, a incerteza decorrente da classificação manual dos produtos e a ambiguidade dos dados-fonte do RAPP, que continham não apenas dados de produção, mas também de armazenamento, importação ou exportação. Além disso, a exclusão de séries com histórico insuficiente de reporte pode resultar na subestimação das emissões ao remover potenciais emissores válidos. Diante dessas limitações, aprimorar o sistema de autodeclaração, particularmente no que se refere à padronização das unidades e à estruturação das informações produtivas, reduziria substancialmente os erros de entrada e a necessidade de intervenções manuais, aumentando a qualidade e a confiabilidade dos dados na fonte.

O balanço de registros em cada etapa é apresentado a seguir, enquanto a Tabela 5 apresenta o balanço final de dados consolidados. Ressalta-se que, em função das correções realizadas, incluindo a exclusão de registros e o preenchimento de lacunas, a quantidade de dados na saída final do inventário difere daquela observada na entrada.

Tabela 5: Balanço Final do Tratamento de Dados.

Métrica	Quantidade
Total de Dados Iniciais (Consolidados)	13.146
Dados Mantidos (Originais, sem alteração)	9.095
Dados Alterados/Filtrados (Originais)	4.051
% de Alteração sobre Iniciais	30,82%
Dados Adicionados (Preenchimento)	798
Total de Dados (Saída Final para Inventário)	13.944

Fonte: o autor.

Etapla 1 - Geração da Base de Dados: A etapa inicial consistiu na união das bases do CTF/APP e RAPP, seguida de uma filtragem inicial. Conforme o fluxograma (Figura 4), os registros foram filtrados para manter apenas Pessoas Jurídicas (CNPJ) e produtos classificados como emissores de NMVOC (conforme EMEP/EEA).

Etapla 2 - Padronização das Unidades: Nesta etapa, foi realizada uma inspeção manual para corrigir unidades de medida inconsistentes (ex: 'kg' vs 'ton'). Como resultado, 12490 registros tiveram sua unidade mantida e 656 registros tiveram a unidade alterada. Os demais dados (67) foram desconsiderados por

impossibilidade de compatibilização. Em seguida, foram aplicados os fatores de conversão para a unidade padrão (ton ou hL).

Etapa 3 - Correção de *Outliers* e Inconsistências: Esta etapa combinou processos manuais e automatizados. Iniciou-se com a Correção de Escala, onde os dados foram comparados ao histórico e ao P90 do subsetor. Neste ponto, 12467 registros tiveram seu fator de escala mantido, 736 foram alterados, 7 foram sinalizados como *outliers*, para serem corrigidos nas etapas posteriores, e 3 foram classificados como empresa de armazenamento, importação ou exportação, tendo seus dados zerados. O conjunto de dados resultante (13.146 registros) serviu como entrada para o tratamento automatizado, que seguiu a lógica do fluxograma (Figura 6):

- 1) **Filtragem por Histórico:** O primeiro filtro automatizado verificou se a indústria possuía 5 registros totais ou 3 consecutivos. Dos 13.146 registros, 2.505 (19,06%) foram removidos (considerados "Histórico Insuficiente" ou "Séries Zeradas"), e 10.641 (80,94%) foram considerados "Aptos"
- 2) **Correção de *Outliers*:** Os 10.641 registros aptos passaram pela detecção de *outliers* (via Mediana Móvel ou Variação Anual). O algoritmo corrigiu 1.546 (14,53%) desses registros, aplicando a hierarquia de interpolação, extrapolação ou mediana da série.
- 3) **Preenchimento de Lacunas:** Finalmente, o script analisou as séries aptas para preenchimento, adicionando 798 novas linhas para preencher anos faltantes com base na densidade de dados (75%) ou preenchimento interno.

4.2 CÁLCULO DO INVENTÁRIO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com a base de dados de atividade devidamente tratada e consolidada, a metodologia avançou para a quantificação das emissões e a subsequente análise de suas distribuições temporal e espacial. A localização das indústrias efetivamente utilizadas no cálculo deste inventário é apresentada na Figura 8. Esta seção descreve os procedimentos de cálculo do inventário e as técnicas estatísticas e geoespaciais empregadas para interpretar os resultados.

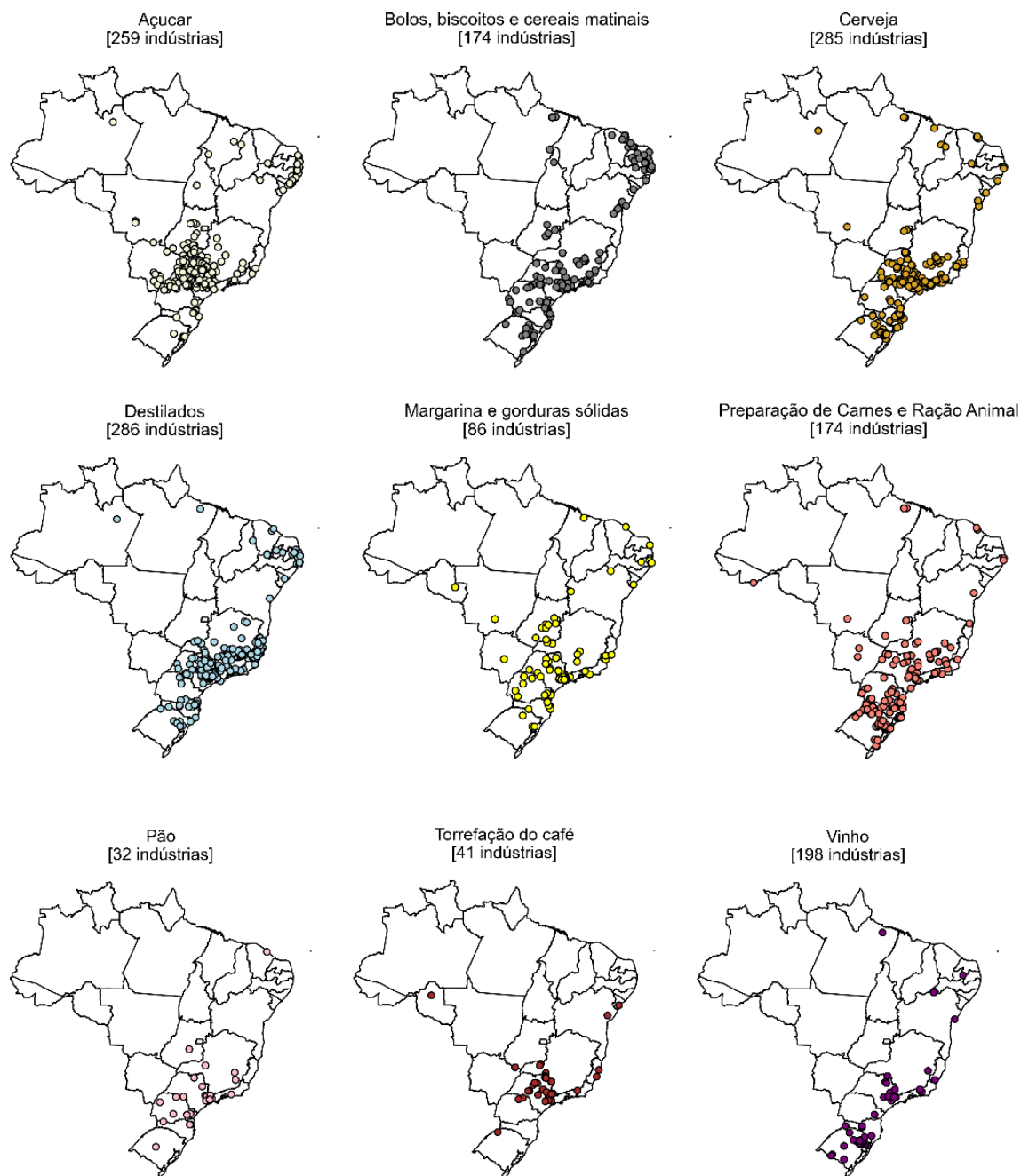


Figura 8: Indústrias Alimentícias Emissoras de NMVOC.

Fonte: o autor.

4.2.1 CÁLCULO DAS EMISSÕES DE NMVOC

A quantificação das emissões anuais de NMVOC para cada estabelecimento industrial foi realizada com base na equação fundamental para inventários de emissão, que relaciona a atividade da fonte com um fator de emissão específico do poluente. A fórmula geral, adaptada para este estudo, foi

apresentado pela Equação 1 discorrida detalhadamente no Tópico 3.2. Além da estimativa central de emissão, o cálculo foi estendido para incorporar a incerteza associada aos fatores de emissão. Utilizando as faixas de incerteza (limites de confiança inferior e superior) fornecidas pelo guia da EEA, foram calculadas as emissões mínimas e máximas prováveis para cada registro. Cabe ressaltar que métodos de controle e abatimento de emissões não são capturados pela metodologia adotada, e tampouco são informados pelas indústrias, o que pode influenciar os valores estimados.

4.2.2 ANÁLISE DA EVOLUÇÃO TEMPORAL

Para analisar a evolução das emissões de 2017 a 2024, foi empregado o teste não paramétrico de Mann-Kendall, método é amplamente utilizado em ciências ambientais por sua capacidade de detectar tendências monotônicas (contínuo aumento ou diminuição) sem exigir que os dados sigam uma distribuição normal, sendo também menos sensível a outliers (Helsel et al., 2020). Para este trabalho, foi adotado um nível de significância de 0,05, o que significa que apenas as tendências com p-valor inferior a este limiar (indicando mais de 95% de probabilidade de não serem fruto do acaso) foram consideradas estatisticamente significativas (Helsel et al., 2020). Esta análise foi aplicada em dois diferentes níveis de agregação para fornecer uma visão multiescalar do fenômeno: em âmbito nacional, avaliando a tendência da emissão total do Brasil, e estadual, calculando a tendência para cada Unidade da Federação.

4.2.3 ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL

Inicialmente, calculou-se a porcentagem de participação de cada estado e região nas emissões nacionais. Contudo, para superar a limitação da análise agregada por unidade federativa e compreender a dinâmica espacial das emissões em maior detalhe, os dados originalmente associados a pontos (coordenadas das indústrias) foram convertidos para um formato matricial. Para isso, estruturou-se uma grade regular com resolução de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ (aproximadamente 55×55 km na linha do Equador), cobrindo todo o território brasileiro. As emissões de todas as indústrias situadas no interior de cada célula da grade foram somadas para cada ano do período de estudo. Esse procedimento

resultou na construção de um Cubo de Dados, uma estrutura multidimensional com as dimensões latitude, longitude e tempo, em que cada célula armazena o valor total de emissões correspondente àquela localização e ano.

Com os dados estruturados desta forma, foi possível realizar uma análise de tendência espacial. O teste de Mann-Kendall foi aplicado novamente, mas desta vez de forma iterativa para a série temporal de emissões de cada célula individual da grade (pixel), focado em cada unidade de federação. O resultado deste processo não é um mapa de emissões, mas sim um mapa de tendências, que revela as áreas geográficas específicas do país onde as emissões da indústria alimentícia apresentaram um aumento ou uma diminuição estatisticamente significativa ao longo do período analisado (adotando-se um nível de significância de $\alpha=0,05$). Esta abordagem permite identificar *hotspots* de crescimento ou de redução de emissões com uma resolução espacial muito superior à da análise por limites políticos estaduais.

4.3 VALIDAÇÃO E COMPARAÇÃO COM INDICADORES EXTERNOS

A etapa final da metodologia consiste na verificação e contextualização dos dados gerados, um processo essencial para avaliar a confiabilidade e as incertezas do inventário. Para atender ao terceiro objetivo específico, a validação foi estruturada em duas frentes independentes: a validação dos dados de atividade (produção) em comparação com o PIA e a comparação dos dados finais de emissão deste inventário com o EDGAR. Para ambas as frentes, a avaliação estatística foi desenhada para quantificar dois componentes de erro distintos:

- **Erro Aleatório (Imprecisão):** Foi avaliado pelo coeficiente de correlação de Pearson (r), medindo a dispersão entre duas bases de dados. O coeficiente, neste estudo, quantifica a força e a direção (de -1 a +1) de uma relação linear. Para fins de interpretação, a força da correlação foi classificada com base no valor de $|r|$ (Hinkle; Wiersma; Jurs, 1979):
 - 0,90 – 1,00: Correlação Muito Forte
 - 0,70 – 0,89: Correlação Forte
 - 0,50 – 0,69: Correlação Moderada
 - 0,30 – 0,49: Correlação Fraca
 - 0,00 – 0,29: Correlação Muito Fraca (ou pequena, se houver)

Para validar se a correlação observada era estatisticamente real e não fruto do acaso, o p-valor de cada coeficiente foi testado, adotando-se um nível de significância de $\alpha=0,05$. Valores de p entre 0,05 e 0,10 foram interpretados como marginalmente significantes.

- **Erro Sistemático (BIAS):** Mede a tendência consistente do inventário em superestimar ou subestimar os valores em relação à referência. Foi calculado como a diferença anual entre os valores do inventário e os da fonte externa, analisando se estas diferenças se mantiveram consistentemente positivas (superestimação) ou negativas (subestimação). Adicionalmente, a distribuição e a consistência deste BIAS ao longo do período foram avaliadas visualmente por meio de gráficos do tipo *boxplot*.

4.3.1 METODOLOGIA DE VALIDAÇÃO DOS DADOS DE ATIVIDADE

Para avaliar a aderência à realidade nacional dos dados de produção industrial obtidos após o tratamento, foi definida uma metodologia de comparação com a PIA, mantida pelo IBGE, como indicador externo. Os dados disponibilizados abrangem o período de 2017 a 2023 ($n=7$), e o procedimento metodológico consistiu em agregar as informações por ano e subsetor industrial, seguido da análise dos erros aleatórios e sistemáticos por subsetor, incluindo a visualização gráfica e a quantificação dessas discrepâncias.

É fundamental reconhecer as limitações metodológicas dessa comparação. Embora ambas as bases abordem a produção industrial, elas diferem em finalidade, abrangência e forma de coleta. O RAPP consiste em um registro autodeclarado utilizado para fins de licenciamento ambiental, ao passo que a PIA é uma pesquisa estatística que combina investigação censitária para empresas de maior porte com amostragem para aquelas de menor porte. Assim, o conjunto de estabelecimentos efetivamente investigados pela PIA não corresponde integralmente ao universo registrado no RAPP, sobretudo entre as indústrias de menor escala. Ademais, a PIA (Tabela 7752) reporta produção e vendas, enquanto o inventário baseado no RAPP utiliza exclusivamente os dados de produção para o cálculo das emissões, o que constitui outra fonte potencial de divergência entre ambas as bases.

4.3.2 METODOLOGIA DE COMPARAÇÃO DOS DADOS DE EMISSÃO

Nesta etapa, comparou-se os resultados de emissão de NMVOC deste estudo com as estimativas do inventário global EDGAR (v8.1) para o período de 2017 a 2022 (n=6 anos). A metodologia de comparação foi realizada a partir da análise da magnitude absoluta, do erro sistemático (BIAS) e do erro aleatório (correlação de Pearson). Esta análise foi restrita aos valores totais nacionais. Conforme mencionado no 3.2 embora o EDGAR disponibilize mapas em grade de alta resolução ($0,1^\circ \times 0,1^\circ$), a camada referente à indústria alimentícia é fornecida de forma agregada com a do setor de papel e celulose, o que inviabilizou uma comparação espacial direta.

Ressalta-se que os inventários partem de premissas diferentes. Este estudo utiliza uma abordagem *bottom-up*, baseada em dados de atividade locais (RAPP) e fatores de emissão *Tier 2* (EEA). O EDGAR, por outro lado, emprega uma abordagem *bottom-up*/híbrida, com dados baseados em estatísticas nacionais e internacionais de nível agregado (Crippa et al., 2018). Portanto, a comparação não visa validar qual inventário está "correto", mas sim expor as incertezas e as consequências das diferentes escolhas metodológicas na estimativa final de emissões para o setor

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 INVENTÁRIO DE EMISSÕES DA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA

A partir da metodologia de cálculo desenvolvida, o inventário de emissões de Compostos Orgânicos Voláteis Não-Metânicos (NMCOV) para a indústria alimentícia brasileira, único poluente emitido pelos processos da indústria (desconsiderando a utilização de combustíveis para produção de calor), foi consolidado para o período de 2017 a 2024. A análise subsequente foca na distribuição temporal e espacial dessas emissões, detalhando as tendências em escala nacional e estadual.

5.1.1 SÉRIE HISTÓRICA DAS EMISSÕES NACIONAIS

A evolução das emissões totais de NMCOV para o Brasil é apresentada na Figura 9. Observa-se uma flutuação nas emissões anuais, que se mantiveram na ordem de centenas de milhares de toneladas. O ponto mais baixo da série histórica ocorreu em 2018, com uma emissão estimada de 306 mil toneladas. A partir de 2021, iniciou-se uma trajetória de crescimento, culminando no pico de 452 mil toneladas em 2023, seguido por uma leve retração em 2024, para 439 mil toneladas. A área sombreada na figura representa o intervalo de confiança associado às estimativas, evidenciando a incerteza inerente ao cálculo de emissões. Por fim, o teste de Mann-Kendall revelou tendência de aumento para os dados em escala nacional, com um p-valor de 0,035.

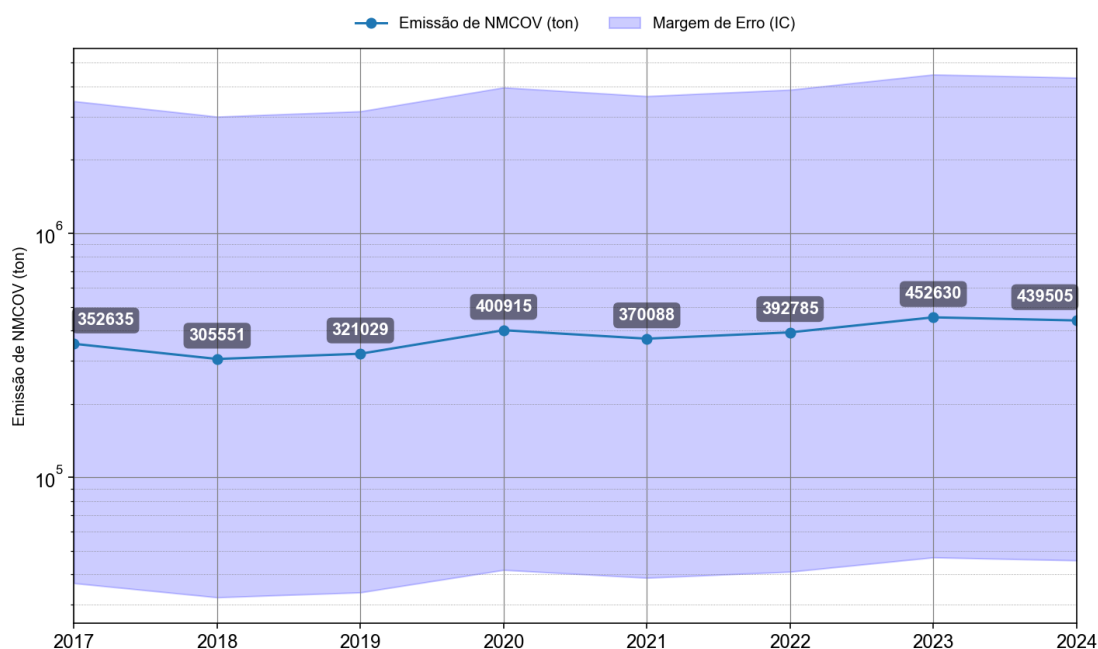


Figura 9: Série histórica de emissões de NMVOC da indústria alimentícia.

Fonte: o autor.

5.1.2 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS EMISSÕES

A distribuição espacial das emissões de NMVOC da indústria alimentícia mostra forte concentração regional. Conforme a Figura 10 o Sudeste responde por 74,1% das emissões, especialmente São Paulo (59,7%) e Minas Gerais (12,5%). Há ainda polos relevantes no Paraná (6,8%), Goiás (5,2%) e Mato Grosso do Sul (4,3%), enquanto os demais estados somam apenas 11,5%.

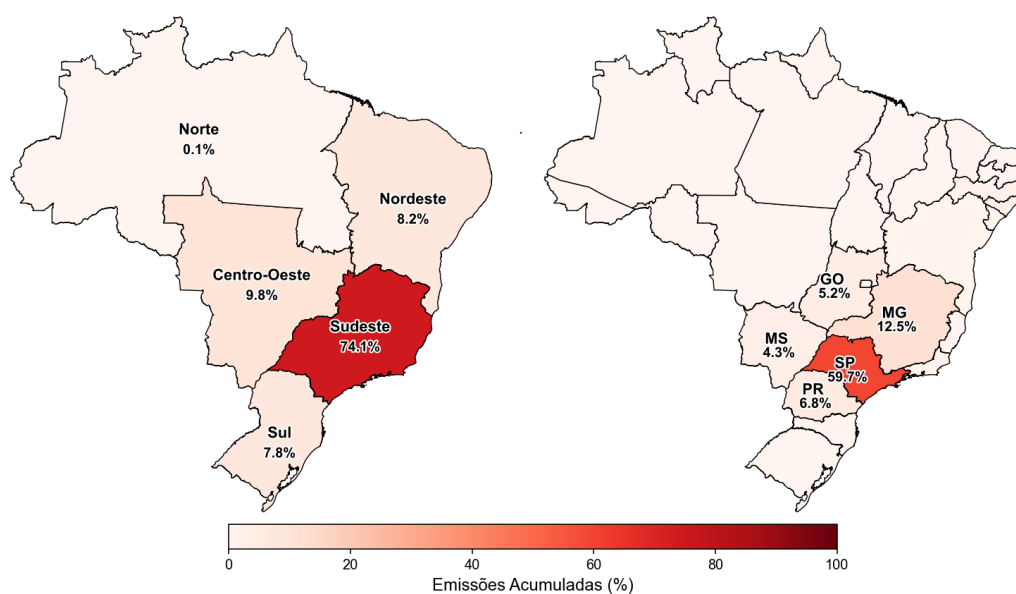


Figura 10: Distribuição regional e estadual das emissões.

Fonte: o autor.

A Figura 11, por sua vez, detalha essa distribuição em formato matricial, permitindo visualizar com maior precisão a localização dos principais focos de emissão ao longo do tempo. Os tons de vermelho indicam que, quanto mais intensa a cor, maior a concentração de emissões no respectivo pixel.

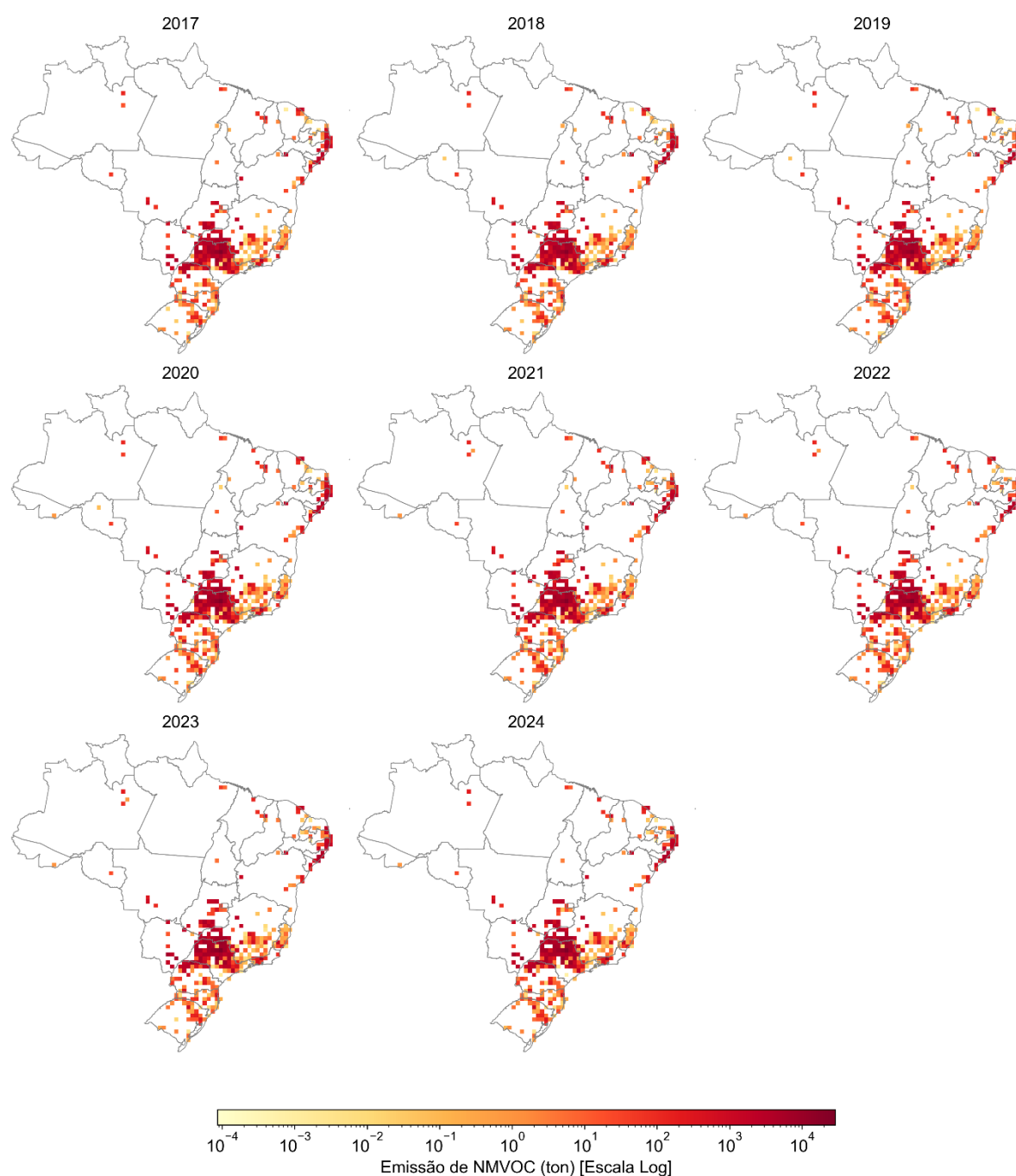


Figura 11: Distribuição espacial das emissões de NMCOV da indústria alimentícia.

Fonte: o autor.

5.1.3 EMISSÕES ACUMULADAS E TENDÊNCIAS POR UF

A análise das emissões totais acumuladas por UF entre 2017 e 2024, exibida na Figura 12, reforça a heterogeneidade da distribuição das emissões, enquanto a análise de tendência estatística para o período, indicada na mesma figura, revela dinâmicas distintas entre os estados. Os resultados dessa análise, indicados pelas cores na Figura 12, revelam que a maioria das UFs (12) apresentou um **aumento estatisticamente significativo ($p < 0,05$)** nas emissões, incluindo os maiores emissores do período, como São Paulo, Minas Gerais e Goiás. Em contrapartida, uma **diminuição significativa ($p < 0,05$)** foi registrada apenas em Santa Catarina, Pará e Rondônia. Por fim, 10 unidades de federação, que incluem emissores relevantes como Paraná e Pernambuco, não tiveram uma tendência estatística de aumento ou queda identificada ($p > 0,05$), indicando uma flutuação sem um padrão definido nas emissões anuais.

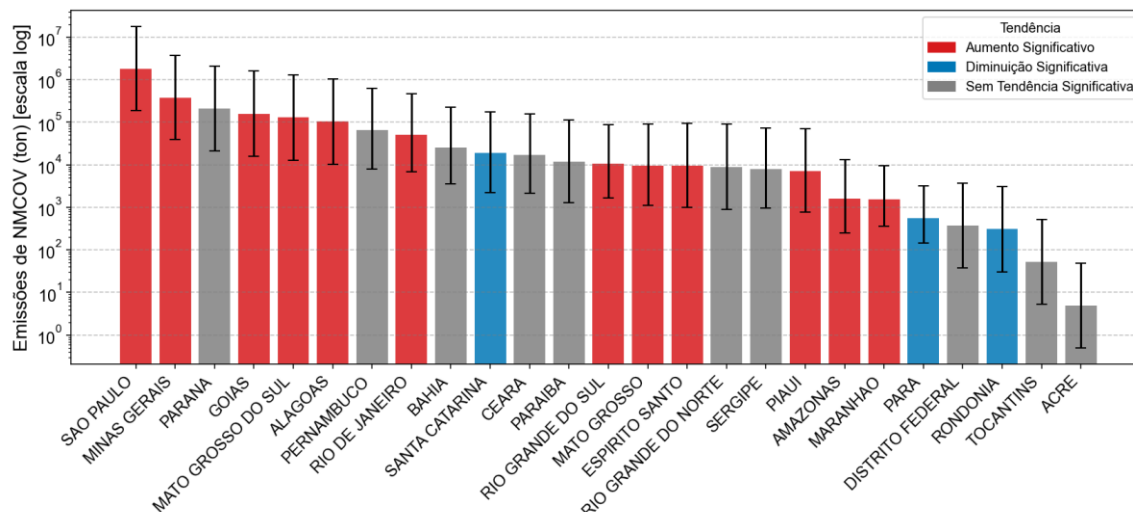


Figura 12: Emissões de NMVOC acumuladas por UF entre 2017 a 2024.

Fonte: o autor.

Para uma análise espacial das unidades de federação e visualização do comportamento anual das emissões, A Figura 13, Figura 14, Figura 15, Figura 16 e Figura 17 apresentam a série histórica por UF, tendência por pixel e tendência

geral dos 5 principais estados emissores, enquanto o Apêndice B apresenta de todos os demais estados.

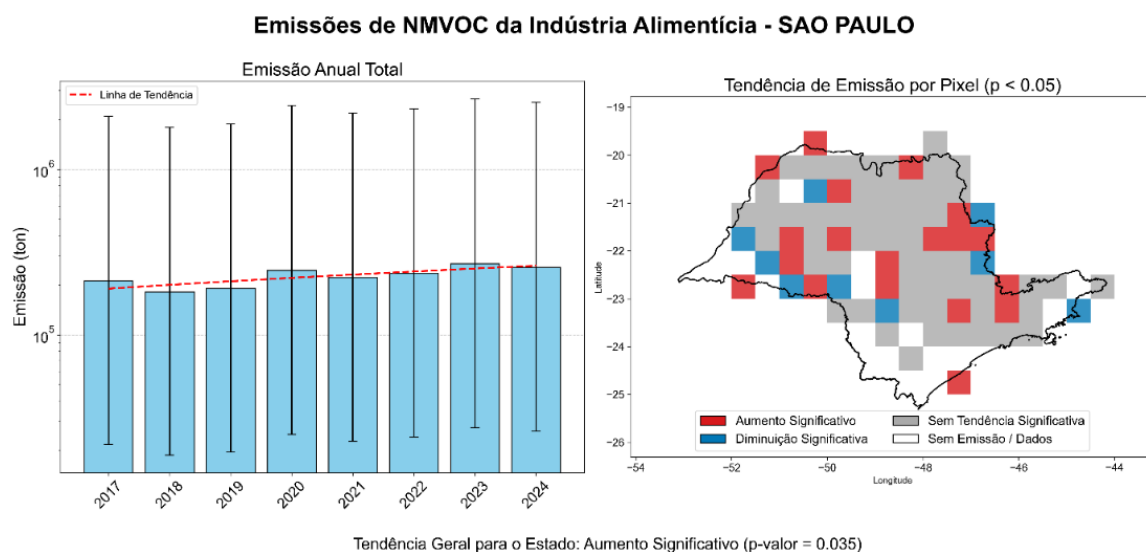


Figura 13: Série histórica, tendência por pixel e tendência geral - SP.

Fonte: o autor.

O estado de São Paulo, conforme apresentado na Figura 13, apresenta variação nas tendências por pixel ao longo do estado, apresentando áreas de aumento, diminuição ou sem tendência significativa. No geral, o estado apresenta uma tendência de aumento nas emissões ($p=0,035$).

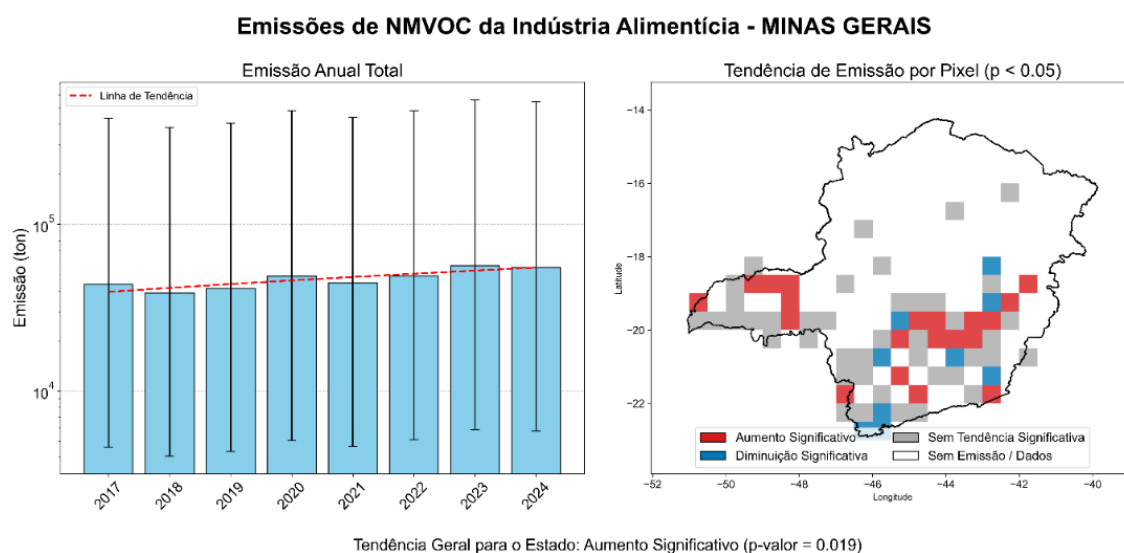


Figura 14: Série histórica, tendência por pixel e tendência geral - MG.

Fonte: o autor.

O estado de Minas Gerais, conforme apresentado na Figura 14, também apresenta variação nas tendências por pixel ao longo do estado, com a maior parte do estado não possuindo emissão ou dados de emissão. No geral, o estado apresenta uma tendência de aumento nas emissões ($p=0,019$).

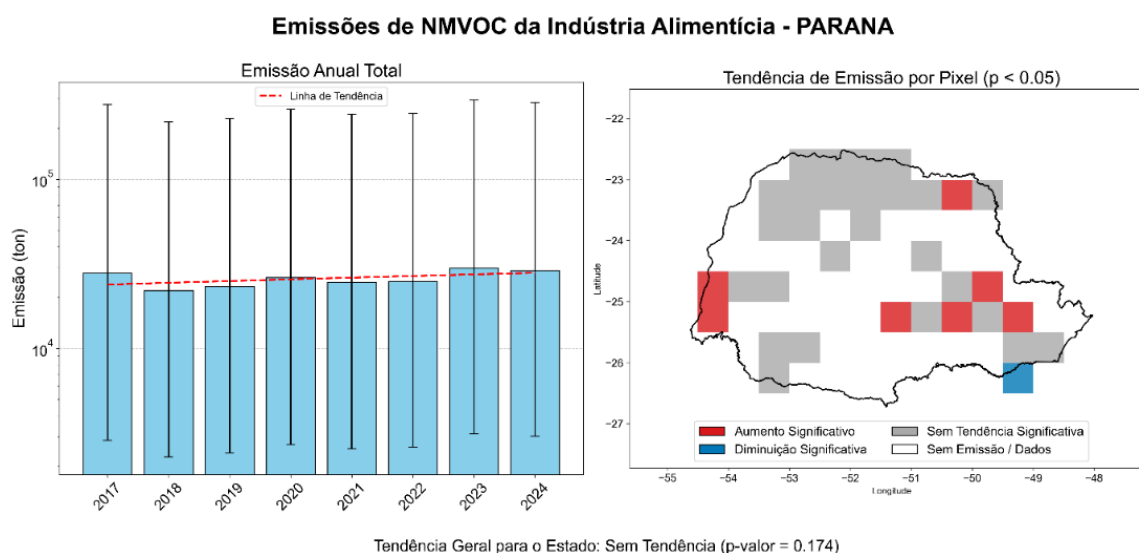


Figura 15: Série histórica, tendência por pixel e tendência geral - PR.

Fonte: o autor.

O estado do Paraná, conforme apresentado na Figura 15, também apresenta variação nas tendências por pixel ao longo do estado, com a maior parte do estado não possuindo emissão ou dados de emissão. Os pixels com dados, em sua maioria, ou não apresentam tendência ou apresentam tendência significativa de aumento. No geral, o estado não apresenta uma tendência significativa nas emissões ($p=0,174$).

Emissões de NMVOC da Indústria Alimentícia - GOIÁS

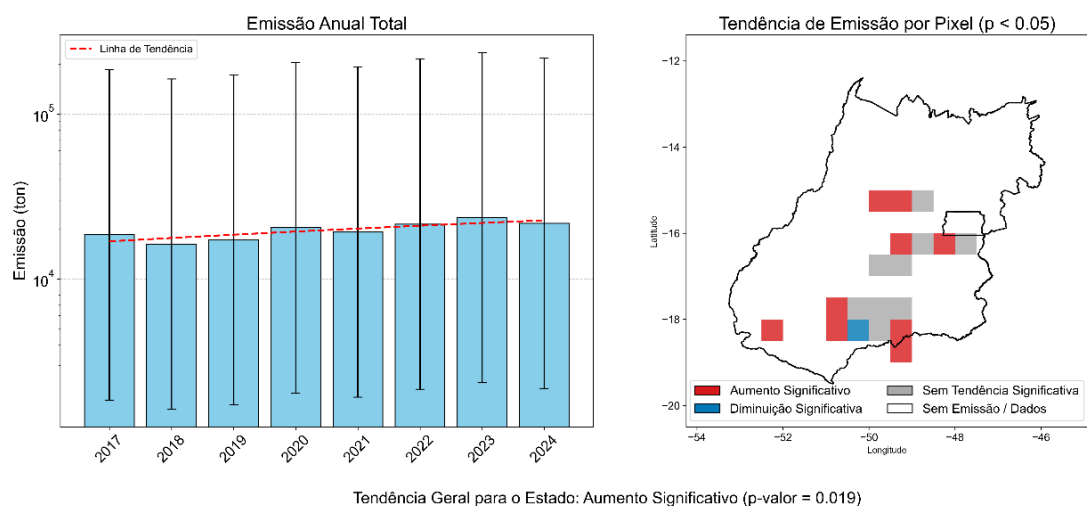


Figura 16: Série histórica, tendência por pixel e tendência geral - GO.

Fonte: o autor.

O estado de Goiás, conforme apresentado na Figura 16, também apresenta variação nas tendências por pixel ao longo do estado, com a maior parte do estado não possuindo emissão ou dados de emissão. Os pixels com dados, em sua maioria, ou não apresentam tendência ou apresentam tendência significativa de aumento. No geral, o estado apresenta uma tendência de aumento nas emissões ($p=0,019$).

Emissões de NMVOC da Indústria Alimentícia - MATO GROSSO DO SUL

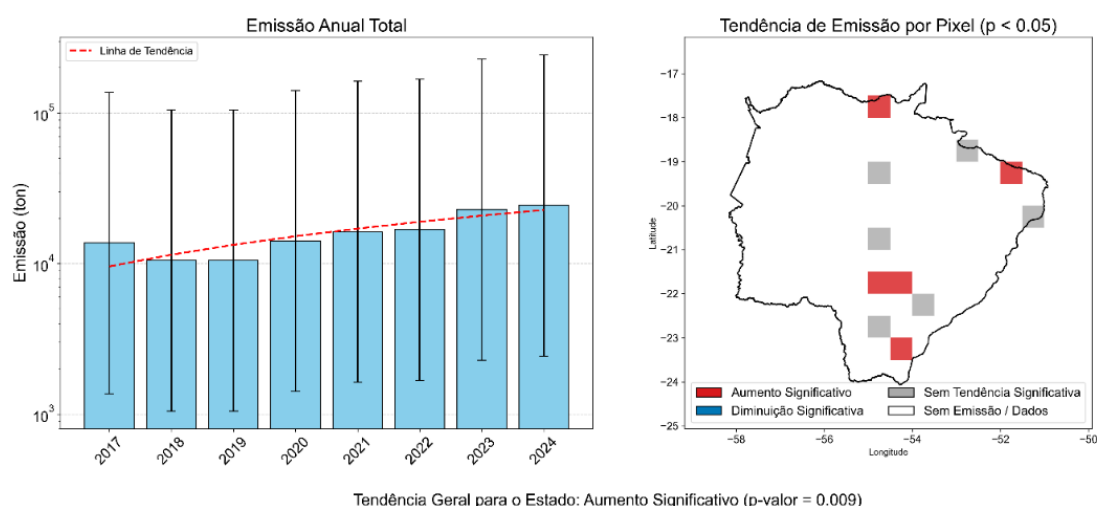


Figura 17: Série histórica, tendência por pixel e tendência geral - MS.

Fonte: o autor.

O estado do Mato Grosso do Sul, conforme apresentado na Figura 17, apresenta uma tendência de aumento significativo, onde todos os pixels com alguma tendência significativa, são de aumento. No geral, o estado apresenta uma tendência de aumento nas emissões ($p=0,009$).

5.2 COMPARAÇÃO COM REFERÊNCIAS EXTERNAS

5.2.1 COMPARAÇÃO COM PIA-IBGE

Para avaliar a consistência dos dados de produção levantados neste inventário, realizou-se uma análise comparativa com os dados da PIA, que servem como um referencial da produção industrial nacional. Para garantir a comparabilidade, os dados de produção de alimentos foram agregados utilizando a mesma classificação de produtos empregada pela EMEP/EEA. A comparação direta dos dados é apresentada na Figura 18.

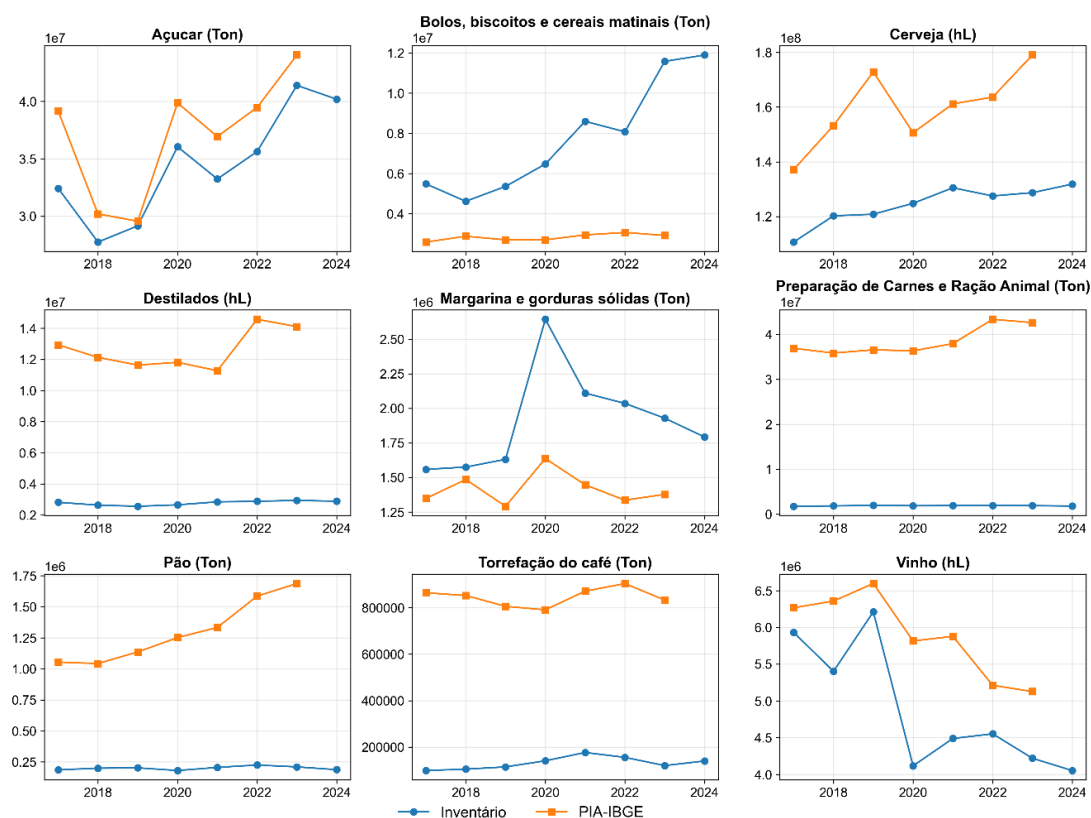


Figura 18: Comparação direta dos dados de produção entre o inventário e PIA-IBGE.

Fonte: o autor.

Uma causa provável das diferenças entre os subsetores está na heterogeneidade do padrão de reporte das indústrias. A PIA investiga de forma

censitária apenas empresas com 30 ou mais empregados, enquanto os estabelecimentos de menor porte são obtidos por amostragem, o que aumenta a variabilidade das estimativas para subsetores compostos majoritariamente por pequenas empresas. Além disso, em subsetores com maior circulação de produtos importados ou revendidos, as vendas registradas pela PIA podem superar a produção física declarada no RAPP, já que a PIA contabiliza produção e vendas, enquanto o inventário utiliza idealmente apenas dados de produção anual. Assim, subsetores com muitos pequenos estabelecimentos e maior participação de produtos revendidos tendem a apresentar maior incerteza e maiores discrepâncias entre as duas bases.

A análise quantitativa da relação entre as duas séries de dados foi realizada por meio do coeficiente de correlação de Pearson (r) e do seu respectivo p -valor, que testa a significância estatística da correlação. Os resultados para nove importantes setores da indústria alimentícia são apresentados na Figura 19.

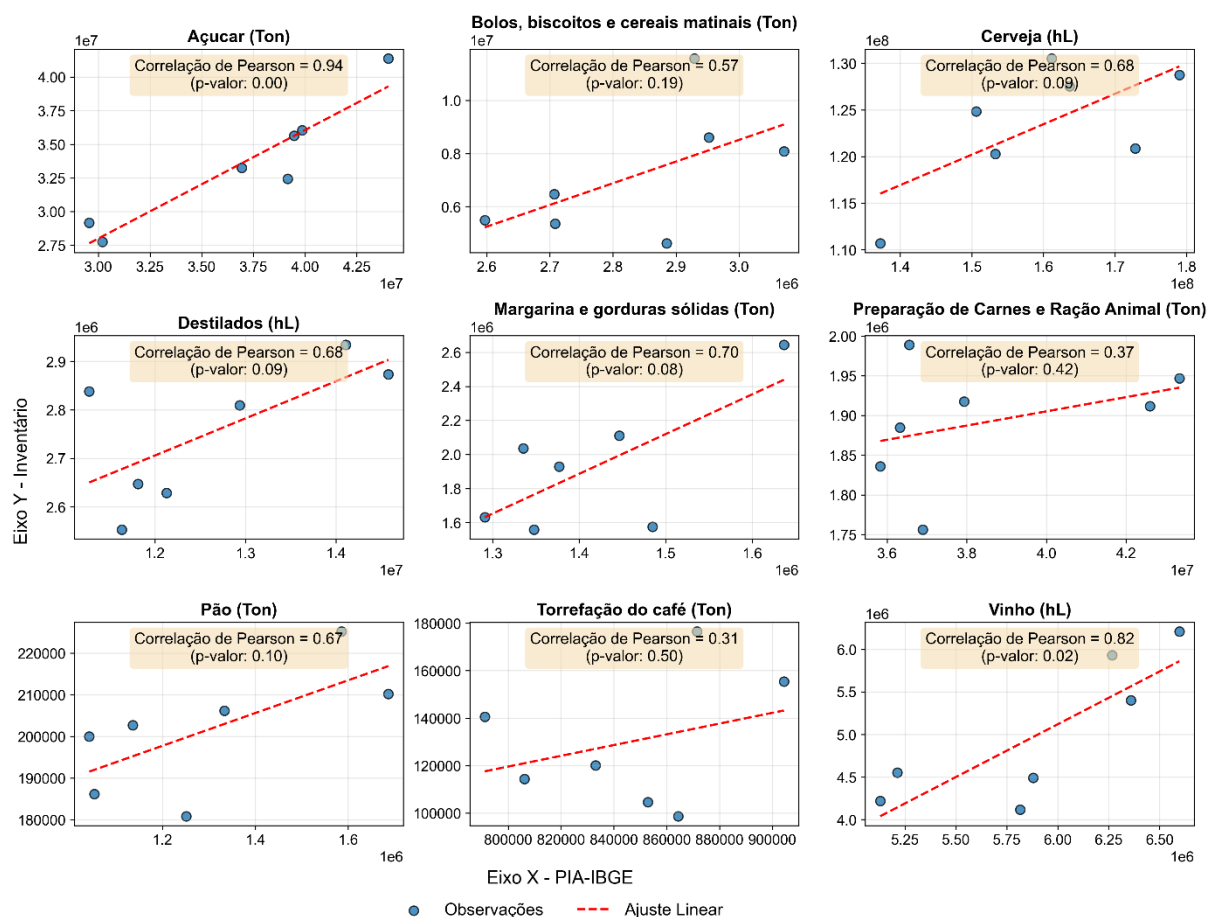


Figura 19: Gráfico de dispersão entre o inventário e os dados do PIA-IBGE.

Fonte: o autor.

De acordo com a Figura 19, os setores de Açúcar ($r=0,94$) e Vinho ($r=0,82$) foram os únicos a apresentar uma correlação (classificada como Muito Forte e Forte, respectivamente) que foi estatisticamente significativa ($p \leq 0,02$). Isso indica que a metodologia de coleta e tratamento dos dados de produção do inventário, baseada no RAPP, foi capaz de capturar com sucesso as tendências de variação anual reportadas pela PIA/IBGE para estes produtos. Outros setores, como Margarina e gorduras sólidas ($r=0,70$), Cerveja ($r=0,69$), Destilados ($r=0,69$) e Pão ($r=0,67$), apresentaram correlações Moderadas a Fortes. Contudo, a significância estatística foi apenas marginal ($p \approx 0,09$), sugerindo que a tendência do inventário está alinhada com a da PIA, mas a baixa amostragem ($n=7$ anos) impede uma conclusão estatística definitiva. Por fim, os demais setores, como Bolos, biscoitos e cereais matinais ($p=0,19$), Preparação de Carnes e Ração Animal ($p=0,42$) e Torrefação do café ($p=0,50$), não apresentaram correlação linear estatística. Essa discordância sugere que as inconsistências no preenchimento dos relatórios pelas

próprias empresas ao longo dos anos resultaram em uma série temporal de produção (do inventário) com alto erro aleatório, que não reflete a tendência de mercado registrada pela PIA.

Para a análise do erro sistemático, foi calculado o BIAS. A Figura 20 apresenta a distribuição do BIAS por produto.

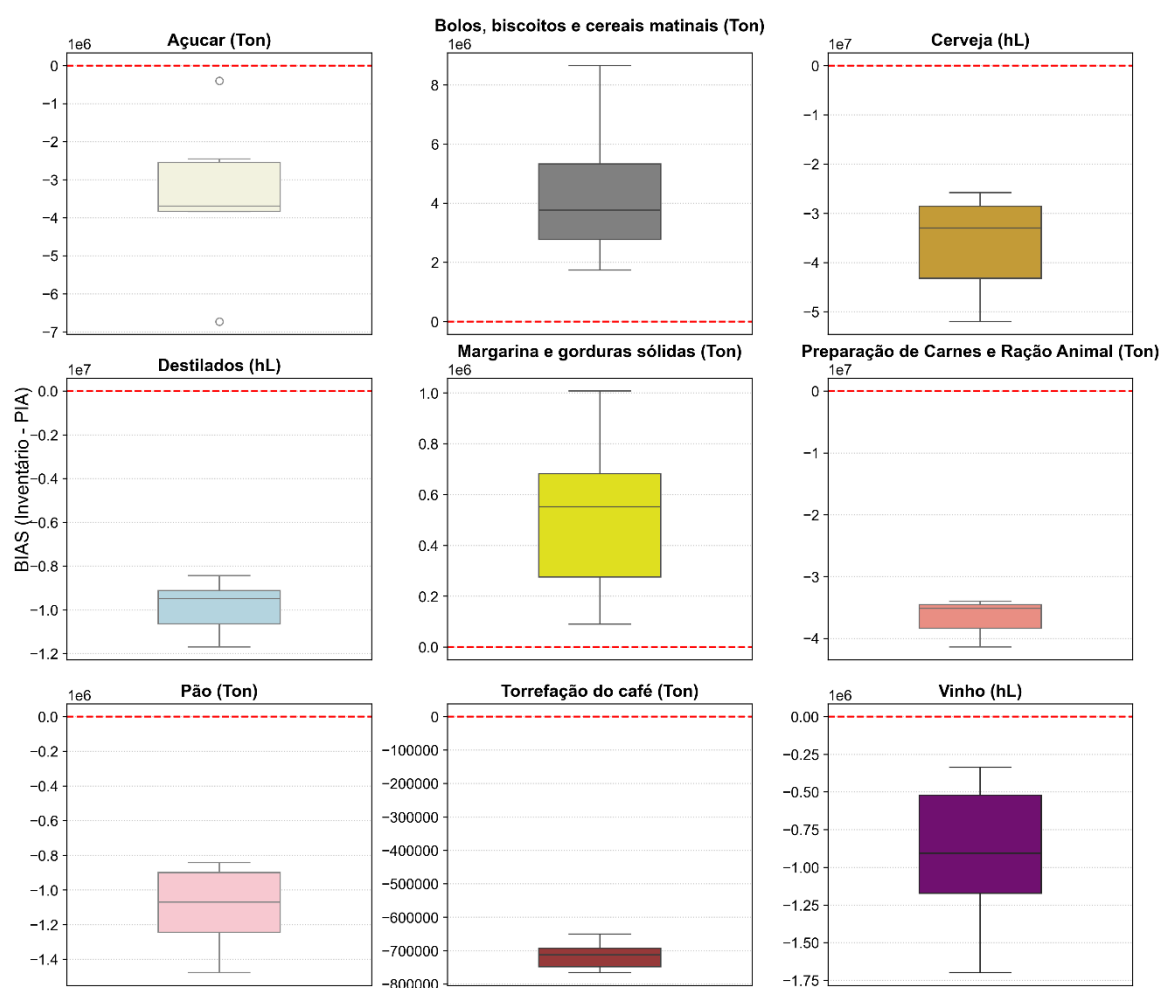


Figura 20: Distribuição do BIAS entre o inventário e os dados do PIA-IBGE.

Fonte: o autor.

A Figura 20 mostra que, embora alguns produtos apresentem tendência positiva, a maioria possui erro sistemático significativo, evidenciado pelo afastamento das caixas em relação ao BIAS nulo (linha tracejada vermelha). Como a PIA reporta “produção e vendas”, enquanto o inventário considera apenas a produção física anual, um BIAS negativo, ou seja, uma subestimação do inventário, é o resultado esperado. Isso foi observado para a maioria dos subsetores, incluindo Açúcar, Cerveja, Destilados, Preparação de Carnes e Ração

Animal, Pão, Torrefação de café e Vinho. Em contraste, os subsetores de Bolos, biscoitos e cereais matinais e Margarina e gorduras sólidas apresentaram BIAS positivo, indicando uma superestimação do inventário em relação aos dados da PIA.

A realização desta análise comparativa funciona como um indicador quantitativo da assertividade do levantamento de dados do inventário, servindo como um diagnóstico que aponta para oportunidades de aprimoramento, sendo crucial para estabelecer um ciclo de melhoria contínua. O foco desta validação, portanto, não recai sobre os valores absolutos reportados, mas sim sobre os padrões estatísticos (BIAS e correlação) observados entre as duas bases de dados. Este indicador permite identificar quais cadeias produtivas (açúcar e vinho, principalmente) estão com a metodologia de tendência validada e quais (torrefação do café, preparação de carnes e ração animal e bolos, biscoitos e cereais matinais, principalmente) necessitam de um refinamento nos métodos de estimativa ou na coleta de dados, visando tornar o inventário de emissões progressivamente mais representativo da realidade industrial brasileira.

5.2.2 COMPARAÇÃO COM INVENTÁRIO GLOBAL

Para avaliar a consistência dos resultados deste inventário, realizou-se uma comparação com o banco global EDGAR, uma das principais referências internacionais em estimativas de emissões atmosféricas. Foram utilizados os dados referentes as emissões dos processos de produção de alimentos no Brasil, cuja participação representa apenas cerca de 0,19% a 0,25% das emissões totais de NMVOC no período de 2017 a 2022 (JRC, 2024). Embora o EDGAR disponibilize mapas em grade de alta resolução ($0,1^\circ \times 0,1^\circ$), a camada referente à indústria alimentícia é fornecida de forma agregada com a do setor de papel e celulose, o que inviabilizou uma comparação espacial direta, tomando-se como base os dados anuais agregados para o setor em estudo.

Desta forma, a Tabela 6 apresenta a comparação direta entre as emissões estimadas neste estudo e aquelas reportadas pelo EDGAR. Observa-se uma discrepância de ordens de magnitude, com valores deste inventário sistematicamente maiores que os reportados pelo EDGAR. Essa diferença,

expressa na coluna *BIAS*, é sintetizada no *boxplot* da Figura 21, que evidencia um desvio positivo consistente, indicando superestimação em todos os anos analisados.

Essa divergência decorre principalmente das diferenças metodológicas entre os inventários. Embora ambos sejam *bottom-up*, operam em escalas distintas: este estudo utiliza dados de atividade detalhados de instalações individuais (RAPP), enquanto o EDGAR se baseia em estatísticas nacionais e internacionais de nível agregado. O próprio estudo do EDGAR reconhece limitações desse procedimento, reportando incertezas que podem chegar a 147,5% para NMVOC em economias emergentes (Crippa et al., 2018). Além disso, os fatores de emissão do EDGAR derivam majoritariamente de guias europeus (EMEP/EEA), aplicados de forma padronizada quando inexistem dados locais. No presente inventário, embora também sejam utilizados fatores do EMEP/EEA, sua aplicação sobre dados de atividade *micro* resulta em estimativas substancialmente diferentes, demonstrando como a granularidade dos dados de entrada pode alterar os resultados em várias ordens de magnitude.

Tabela 6: Comparação entre inventários de emissões de NMVOC da indústria alimentícia brasileira.

Ano	Inventário (ton)	EDGAR (ton)	BIAS (ton)
2017	352634.7	9015.0	343619.7
2018	305550.7	9621.9	295928.7
2019	321028.7	10279.2	310749.7
2020	400915.1	8912.8	392002.1
2021	370088.3	8375.0	361713.3
2022	392784.7	8363.4	384421.7

Fonte: o autor.

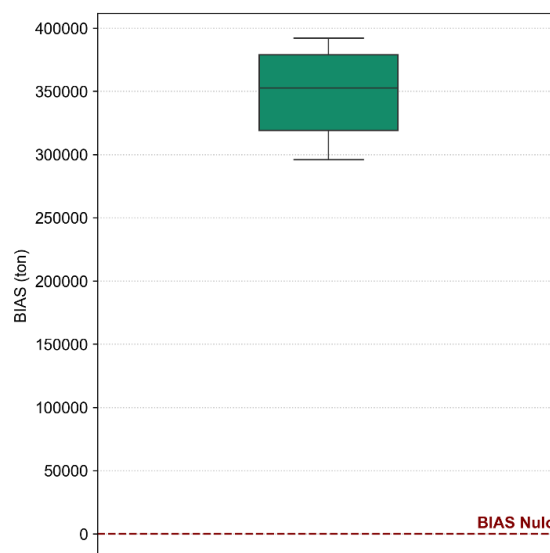


Figura 21: Análise boxplot do BIAS (ton).
Fonte: o autor.

Com o objetivo de avaliar tendências e erro aleatório, elaborou-se o gráfico de dispersão com ajuste linear (Figura 22). A correlação de Pearson obtida foi negativa e forte ($r = -0,792$), porém não estatisticamente significativa ao nível

de 5% ($p = 0,061$). Esse resultado, esperado em amostras pequenas ($n = 6$), indica que, apesar da tendência claramente negativa no conjunto analisado, não há evidências suficientes para afirmar a existência de uma relação linear entre as séries.

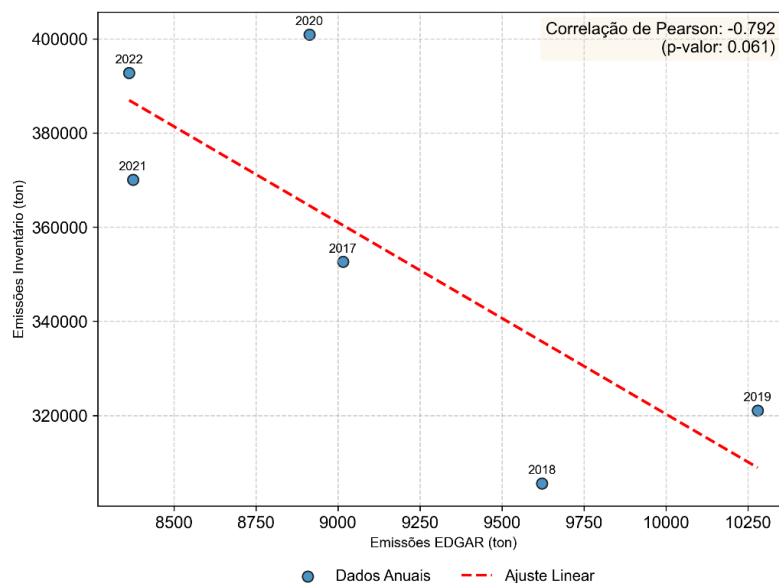


Figura 22: Gráfico de dispersão entre EDGAR e inventário realizado.

Fonte: o autor.

Portanto, a comparação não tem como finalidade validar ou invalidar uma estimativa em relação à outra, mas sim evidenciar a ampla distância entre abordagens globais e estimativas baseadas em dados locais. Esse contraste reforça a necessidade de aprimoramento metodológico e de maior disponibilidade de dados primários, especialmente em setores industriais específicos, como o da indústria alimentícia.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho desenvolveu um inventário nacional de emissões de Compostos Orgânicos Voláteis Não Metânicos (NMVOC) para a indústria alimentícia brasileira no período de 2017 a 2024, utilizando dados autodeclarados do RAPP/IBAMA e fatores de emissão *Tier 2* do guia EMEP/EEA. O método proposto mostrou-se viável, replicável e robusto, atendendo aos três objetivos específicos do estudo.

O processo de tratamento e qualificação dos dados envolveu a consolidação inicial de 13.944 registros, dos quais 2.505 (19,1%) foram removidos por histórico insuficiente. Ao final, 10.641 registros (80,9%) foram considerados aptos para processamento, resultando em 1.546 correções automáticas de outliers (14,5%) e 798 preenchimentos de lacunas. Esses números evidenciam a necessidade de filtragem rigorosa devido à variabilidade e inconsistências inerentes aos dados autodeclarados.

Os resultados do inventário mostraram que as emissões nacionais oscilaram entre 306 mil toneladas (2018) e 452 mil toneladas (2023), com tendência nacional de aumento estatisticamente significativa ($p = 0,035$). A distribuição espacial das emissões revelou forte concentração no Sudeste (74,1%), liderado por São Paulo (59,7%), seguido de Minas Gerais (12,5%). Outros polos relevantes incluíram Paraná (6,8%), Goiás (5,2%) e Mato Grosso do Sul (4,3%). A análise de tendência por UF indicou que 12 estados apresentaram aumento significativo das emissões ($p < 0,05$), incluindo grandes emissores como São Paulo, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso do Sul, enquanto 3 estados mostraram queda significativa, sendo estes Santa Catarina, Pará e Rondônia.

A validação externa com a PIA-IBGE mostrou que apenas dois produtos apresentaram correlação forte e estatisticamente significativa: Açúcar ($r = 0,94$; $p \leq 0,02$) e Vinho ($r = 0,82$; $p \leq 0,02$). Outros setores, como Margarina ($r = 0,70$), Cerveja ($r = 0,69$), Destilados ($r = 0,69$) e Pão ($r = 0,67$), apresentaram tendências alinhadas, mas sem significância estatística ($p \approx 0,09$). Os setores de Bolos, Carnes e Ração Animal e Torrefação de Café não mostraram aderência estatística ($p > 0,19$), indicando elevado erro aleatório no RAPP para esses produtos. A

análise do erro sistemático (BIAS) confirmou predominância de subestimação, coerente com o fato de a PIA contabilizar produção e vendas, enquanto o inventário considera estritamente produção anual.

A comparação com o inventário global EDGAR revelou diferenças substanciais de magnitude e um alto grau de incerteza, refletido em sua própria literatura, que aponta incertezas de até 147,5% para NMVOC em economias emergentes. A correlação entre as séries nacionais foi negativa e forte ($r = -0,79$), porém não significativa ($p = 0,061$). Este resultado é fortemente influenciado pelo baixo número de amostras ($n=6$) e evidencia que abordagens globais e metodologias nacionais baseadas em dados locais podem divergir profundamente em valores absolutos.

Em síntese, este estudo apresenta uma metodologia transparente e reproduzível, capaz de converter dados autodeclarados do RAPP em inventários nacionais com resolução espacial refinada. Este trabalho também fornece um diagnóstico quantitativo da indústria alimentícia, evidenciando emissões anuais na ordem de centenas de milhares de toneladas, marcada por forte assimetria espacial e tendências de crescimento em grande parte do país. Além disso, inclui uma avaliação da qualidade dos dados disponíveis, destacando tanto produtos e estados com boa aderência estatística quanto setores que demandam aperfeiçoamento nos dados de entrada e na metodologia de tratamento.

Os resultados mostram que, apesar das limitações inerentes ao uso de dados autodeclarados e de fatores de emissão estrangeiros, o inventário desenvolvido representa um avanço significativo para a implementação da Política Nacional de Qualidade do Ar. Ele oferece uma base técnica sólida para subsidiar ações de gestão, apoiar estudos científicos e orientar a formulação de políticas públicas.

6.1 RECOMENDAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS

Reconhecendo este estudo como uma etapa inicial de um processo contínuo de aprimoramento, as seguintes recomendações são propostas:

- **Desenvolvimento de Inventários para Outros Setores:** Aplicar a metodologia aqui desenvolvida a outros setores industriais presentes no RAPP. Isso permitiria a construção de um inventário nacional *bottom-up* mais completo, possibilitando uma comparação mais detalhada e uma eventual desagregação espacial de inventários globais como o EDGAR.
- **Padronização da Coleta de Dados no RAPP:** Sugere-se, como recomendação técnica ao IBAMA, aprimorar o sistema de reporte do RAPP para impor o uso de unidades de medida padronizadas por tipo de produto. A limitação da seleção de unidades no sistema de submissão reduziria drasticamente os erros de entrada e a necessidade de tratamento manual, aumentando a qualidade e a confiabilidade dos dados na fonte.
- **Análise da participação de indústrias de pequeno porte:** Recomenda-se investigar a distribuição de estabelecimentos de pequeno, médio e grande porte em cada subsetor, de modo a avaliar como o porte industrial influencia a qualidade e a variabilidade dos dados de produção, incluindo, por exemplo, um campo de preenchimento do porte da indústria no RAPP ou número de funcionários. Esse aprofundamento ajudaria a explicar parte das diferenças observadas entre as bases comparadas e forneceria informações adicionais para aprimorar a compreensão das emissões no contexto nacional.
- **Aprofundamento na Análise de Outliers:** Os dados identificados como *outliers* foram tratados estatisticamente, mas uma investigação aprofundada de casos específicos poderia revelar processos industriais atípicos, erros de reporte recorrentes ou atividades sazonais não capturadas pelo modelo, gerando novos *insights* sobre o setor.

REFERÊNCIAS

AMSTEL, Andre van; OLIVIER, Jos; JANSSEN, Leon. Analysis of differences between national inventories and an Emissions Database for Global Atmospheric Research (EDGAR). **Environmental Science & Policy**, v. 2, n. 3, p. 275–293, 1 jun. 1999a.

AMSTEL, Andre van; OLIVIER, Jos; JANSSEN, Leon. Analysis of differences between national inventories and an Emissions Database for Global Atmospheric Research (EDGAR). **Environmental Science & Policy**, v. 2, n. 3, p. 275–293, 1 jun. 1999b.

BRASIL. Lei nº 14.850, de 2 de maio de 2024. BRASIL. Lei nº 14.850, de 2 de maio de 2024. Institui a Política Nacional de Qualidade do Ar. Brasília, DF: Presidência da República, 2024. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2024/lei-14850-2-maio-2024-795555-publicacaooriginal-171660-pl.html>. Acesso em: 27 maio 2025. 2 maio 2024.

CHARRONDIERE, U. Ruth; HAYTOWITZ, David; STADLMAYR, Barbara. FAO/INFOODS Density Database version 2. 2012.

CRIPPA, Monica *et al.* Gridded emissions of air pollutants for the period 1970–2012 within EDGAR v4.3.2. **Earth System Science Data**, v. 10, n. 4, p. 1987–2013, 26 out. 2018.

EEA. **EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023**. Disponível em: <<https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/emep-eea-guidebook-2023>>. Acesso em: 9 set. 2025.

EPA. **Air Quality Management Process Cycle**. Overviews and Factsheets. Disponível em: <<https://www.epa.gov/air-quality-management-process/air-quality-management-process-cycle>>. Acesso em: 9 set. 2025.

GRAUER, Andreas. Inventário Estadual de Emissões Atmosféricas de Poluentes (MP, CO, NOx, SOx) e Proposta para Revisão e Ampliação da Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar do Estado do Paraná. 2013.

HAVLIK, Petr *et al.* Annex C: Scenarios and modelling methods. 2021.

HELSEL, Dennis R. *et al.* **Statistical methods in water resources Techniques and Methods**. [S.l.]: U.S. Geological Survey, 2020. Disponível em: <<https://pubs.usgs.gov/publication/tm4A3>>. Acesso em: 31 out. 2025.

HINKLE, D. E.; WIERSMA, W.; JURS, S. G. **Applied statistics for the behavioral sciences**. 1. ed. Chicago: [S.n.].

HOINASKI, Leonardo. **Avaliação do impacto das emissões veiculares, queimadas, industriais e naturais na qualidade do ar em Santa Catarina: ano base 2021**. Florianópolis, SC: Ufsc, 2023.

IBAMA. **Cadastro de pessoas jurídicas com atividades potencialmente poluidoras**. , 2025a. Disponível em: <<http://dadosabertos.ibama.gov.br/dados/CTF/APP/>>

IBAMA. **Relatórios anuais de produção industrial declarada pelas empresas.** , 2025b.

IBGE. **Pesquisa Industrial Anual.** , 2023. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/7752>>

JRC. **Emissões Globais de Poluentes Atmosféricos.** , 2024. Disponível em: <https://edgar.jrc.ec.europa.eu/dataset_ap81#sources>

JRC. **EDGAR - The Emissions Database for Global Atmospheric Research.** Disponível em: <<https://edgar.jrc.ec.europa.eu/>>. Acesso em: 27 maio. 2025.

LORIATO, Ayres Geraldo *et al.* Inventário de Emissões com Alta Resolução para a Região da Grande Vitória Utilizando o Sistema de Modelagem Integrada WRF-SMOKE-CMAQ. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 3, p. 521–536, set. 2018.

MADRAZO, Jessie *et al.* Screening differences between a local inventory and the Emissions Database for Global Atmospheric Research (EDGAR). **Science of The Total Environment**, v. 631–632, p. 934–941, 1 ago. 2018a.

MADRAZO, Jessie *et al.* Screening differences between a local inventory and the Emissions Database for Global Atmospheric Research (EDGAR). **Science of The Total Environment**, v. 631–632, p. 934–941, 1 ago. 2018b.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA. **Relatório Anual de Acompanhamento da Qualidade do Ar2024.** Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2025.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Air pollution.** Disponível em: <<https://www.who.int/health-topics/air-pollution>>. Acesso em: 2 maio. 2025.

PARRISH, David D. *et al.* Comparison of air pollutant emissions among mega-cities. **Atmospheric Environment**, v. 43, n. 40, p. 6435–6441, 1 dez. 2009.

Plano de Redução de Emissão de Fontes Estacionárias – PREFE. Qualidade do Ar, [S.d.]. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/plano-de-reducao-de-emissao-de-fontes-estacionarias-prefe/>>. Acesso em: 13 out. 2025

SHAMI, Anwar Al *et al.* Updated national emission inventory and comparison with the Emissions Database for Global Atmospheric Research (EDGAR): case of Lebanon. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 20, p. 30193–30205, 1 abr. 2022.

US EPA, OAR. **Industry Sector Emissions.** Overviews and Factsheets. Disponível em: <<https://www.epa.gov/ghgemissions/industry-sector-emissions>>. Acesso em: 2 maio. 2025.

**APÊNDICE A – CÓDIGOS DE PRODUTO CLASSIFICADOS CONFORME
EMEP/EEA – NFR 2.H.2.**

PROD LIST	Descrição - PRODLIST	Tabela	Descrição - EMEP/EEA	Categoria para Análise	Observação /Justificativa
1011.2120	Produtos embutidos ou de salamaria e outras preparações de carnes de bovinos, tais como: carnes secas, salgadas, defumadas e temperadas; quando integrados ao abate; exceto pratos prontos congelados	Table 3-19	Carnes, peixes e aves	Preparação de Carnes	Cura de carnes é considerado. Além disso, pode ter cozimento, fritura ou ser assado.
1012.2100	Produtos embutidos ou de salamaria e outras preparações de carnes de aves ou de pequenos animais, tais como: salsichas, linguiças e carnes temperadas; quando integrados ao abate; exceto pratos prontos	Table 3-19	Carnes, peixes e aves	Preparação de Carnes	Cura de carnes é considerado. Além disso, pode ter cozimento, fritura ou ser assado.
1012.2110	Produtos embutidos ou de salamaria e outras preparações de carnes de suínos, tais como: salsichas, linguiças, torresmo e carnes temperadas; quando integrados ao abate; exceto pratos prontos	Table 3-19	Carnes, peixes e aves	Preparação de Carnes	Cura de carnes é considerado. Além disso, pode ter cozimento, fritura ou ser assado.
1013.2065	Produtos embutidos ou de salamaria e outras preparações de carnes, tais como: carnes secas, salgadas, defumadas e temperadas, quando não integrado ao abate; exceto pratos prontos congelados	Table 3-19	Carnes, peixes e aves	Preparação de Carnes	Cura de carnes é considerado. Além disso, pode ter cozimento, fritura ou ser assado.
1020.2035	Fígados ou ovas de peixes refrigerados, congelados, secos, ou salgados ou defumados	Table 3-19	Carnes, peixes e aves	Preparação de Carnes	Cura de carnes é considerado. Além disso, pode ter cozimento, fritura ou ser assado.
1020.207	Peixes, filés e outras carnes de peixes secos, salgados ou defumados	Table 3-19	Carnes, peixes e aves	Preparação de Carnes	Cura de carnes é considerado. Além disso, pode ter cozimento, fritura ou ser assado.

PROD LIST	Descrição - PRODLIST	Tabela	Descrição - EMEP/EEA	Categoria para Análise	Observação /Justificativa
1020.209	Preparações e conservas de crustáceos, moluscos e outros invertebrados aquáticos, exceto pratos prontos congelados	Table 3-19	Carnes, peixes e aves	Preparação de Carnes	Cura de carnes é considerado. Além disso, pode ter cozimento, fritura ou ser assado.
1020.2100	Preparações e conservas de peixes, exceto pratos prontos congelados	Table 3-19	Carnes, peixes e aves	Preparação de Carnes	Cura de carnes é considerado. Além disso, pode ter cozimento, fritura ou ser assado.
1043.2050	Gorduras vegetais, hidrogenadas, mesmo refinadas	Table 3-21	Margarina e gorduras sólidas	Margarina e gorduras sólidas	Considerado como Margarina e Gordura Culinária Sólida devido ao processamento similar.
1043.2060	Margarina	Table 3-21	Margarina e gorduras sólidas	Margarina e gorduras sólidas	-
1043.2070	Misturas ou preparações alimentícias de gorduras ou óleos de origem animal e vegetal	Table 3-21	Margarina e gorduras sólidas	Margarina e gorduras sólidas	Considerado como Margarina e Gordura Culinária Sólida devido ao processamento similar.
1043.2080	Óleos e gorduras animais hidrogenados, mesmo refinados	Table 3-21	Margarina e gorduras sólidas	Margarina e gorduras sólidas	Considerado como Margarina e Gordura Culinária Sólida devido ao processamento similar.
1066.2050	Rações utilizadas na alimentação de animais	Table 3-22	Ração animal	Preparação de Carnes	-
1071.2010	Açúcar cristal em bruto	Table 3-20	Açúcar	Açúcar	-
1071.2020	Açúcar de beterraba em bruto	Table 3-20	Açúcar	Açúcar	-
1071.2030	Açúcar demerara em bruto	Table 3-20	Açúcar	Açúcar	-
1071.2040	Açúcar VHP (very high polarization) em bruto	Table 3-20	Açúcar	Açúcar	-
1071.2050	Açúcar mascavo, inclusive açúcar de coco (palma)	Table 3-20	Açúcar	Açúcar	-
1071.2080	Rapadura, melado e caldo de cana de açúcar, em bruto	Table 3-20	Açúcar	Açúcar	-
1072.2010	Açúcar refinado de cana	Table 3-20	Açúcar	Açúcar	-
1072.2020	Açúcares refinados com adição de aromatizantes ou corantes; exceto pós	Table 3-20	Açúcar	Açúcar	-

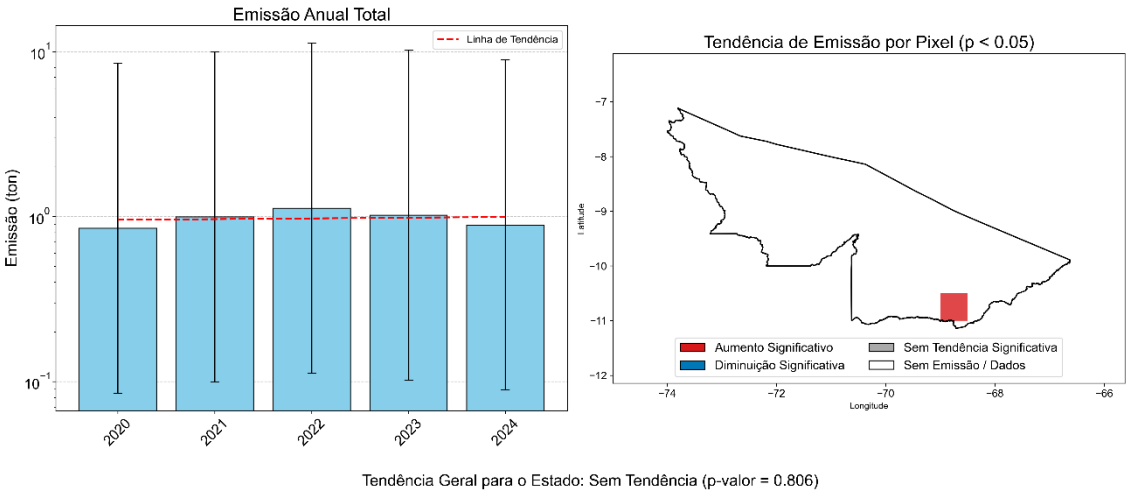
PROD LIST	Descrição - PRODLIST	Tabela	Descrição - EMEP/EEA	Categoria para Análise	Observação /Justificativa
	para refrescos e sacarose quimicamente pura				
1072. 2040	Sacarose quimicamente pura	Table 3-20	Açúcar	Açúcar	Considerado como açúcar devido ao processamento similar.
1081. 2020	Café torrado em grãos, inclusive aromatizado (mesmo descafeinado)	Table 3-23	Torrefação do café	Torrefação do café	-
1081. 2040	Café torrado e moído, inclusive aromatizado (mesmo descafeinado); exceto envasado em cápsulas	Table 3-23	Torrefação do café	Torrefação do café	-
1081. 2050	Cápsulas de café, inclusive aromatizado (mesmo descafeinado)	Table 3-23	Torrefação do café	Torrefação do café	-
1082. 2010	Café solúvel, mesmo descafeinado	Table 3-23	Torrefação do café	Torrefação do café	Limitação do modelo - Café Solúvel é feito de grãos de café, mas a sua massa não corresponde a massa de grãos torrados. No entanto, foi considerado.
1091. 2010	Bolos industrializados	Table 3-18	Bolos, biscoitos e cereias matinais	Bolos, biscoitos e cereias matinais	-
1091. 2022	Pães de forma industrializados adicionado de grãos e pães de especiarias	Table 3-16	Pão integral	Pão	Considerado como pão integral
1091. 2035	Pães e pães de forma industrializados, mesmo congelados, exceto pães de forma industrializados adicionados de grãos e pães de especiarias	Table 3-15	Pão branco - processamento rápido	Pão	Considerando como processamento rápido - utilizado principalmente em indústrias
1091. 2045	Pães, bolos, doces e outros produtos similares produzidos em padarias e confeitarias; exceto massa preparada crua	Table 3-18	Bolos, biscoitos e cereias matinais	Bolos, biscoitos e cereias matinais	Considerado como bolo, biscoito e cereal.
1091. 2050	Panetones e similares	Table 3-14	Pão branco	Pão	Processo similar ao pão branco tradicional – realizado com fermento biológico.

PROD LIST	Descrição - PRODLIST	Tabela	Descrição - EMEP/EEA	Categoria para Análise	Observação /Justificativa
1091. 2070	Torradas e produtos semelhantes torrados; farinha de rosca	Table 3-14	Pão branco	Pão	feito como o pão branco tradicional
1092. 2010	Biscoitos e bolachas	Table 3-18	Bolos, biscoitos e cereias matinais	Bolos, biscoitos e cereias matinais	-
1092. 2020	Casquinhas para sorvetes e outros produtos da indústria de biscoitos	Table 3-18	Bolos, biscoitos e cereias matinais	Bolos, biscoitos e cereias matinais	Considerado como biscoito devido ao processamento similar.
1096. 2010	Pratos prontos congelados à base de carnes, exceto pescados	Table 3-19	Carnes, peixes e aves	Preparação de Carnes	-
1096. 2020	Pratos prontos congelados à base de peixes, crustáceos e moluscos	Table 3-19	Carnes, peixes e aves	Preparação de Carnes	-
1111. 2010	Aguardente de cana-de-açúcar (cachaça ou caninha); rum ou tafiá	Table 3-32	Demais destilados	Destilados	-
1111. 2020	Aguardente de vinho ou de bagaço de uva (conhaque, brande, etc.)	Table 3-31	Brandy	Destilados	Considerarei tudo como Brandy devido a disponibilidade de dados.
1111. 2030	Aguardente desnaturada (imprópria para consumo)	Table 3-32	Demais destilados	Destilados	-
1111. 2040	Bebidas alcoólicas destiladas, de outros tipos (p.ex. aguardente de frutas, gim e genebra, etc.)	Table 3-32	Demais destilados	Destilados	-
1111. 2060	Licores	Table 3-32	Demais destilados	Destilados	-
1111. 2070	Uísques	Table 3-30	Whisky de grãos	Destilados	Vou considerar apenas como grain whisky devido a sua maior popularidade.
1111. 2080	Vodca	Table 3-32	Demais destilados	Destilados	-
1112. 2020	Misturas de bebidas fermentadas e de bebidas não alcoólicas com fermentadas	Table 3-24	Vinho sem cor especificada	Vinho	Vou considerar como vinho sem cor especificada.
1112. 2030	Mosto de uvas fermentado	Table 3-24	Vinho sem cor especificada	Vinho	Vou considerar como vinho sem cor especificada.
1112. 2040	Sidra e outras bebidas fermentadas (perada, hidromel)	Table 3-27	Cerveja (incluindo sem álcool)	Cerveja	Considerado como cerveja devido a

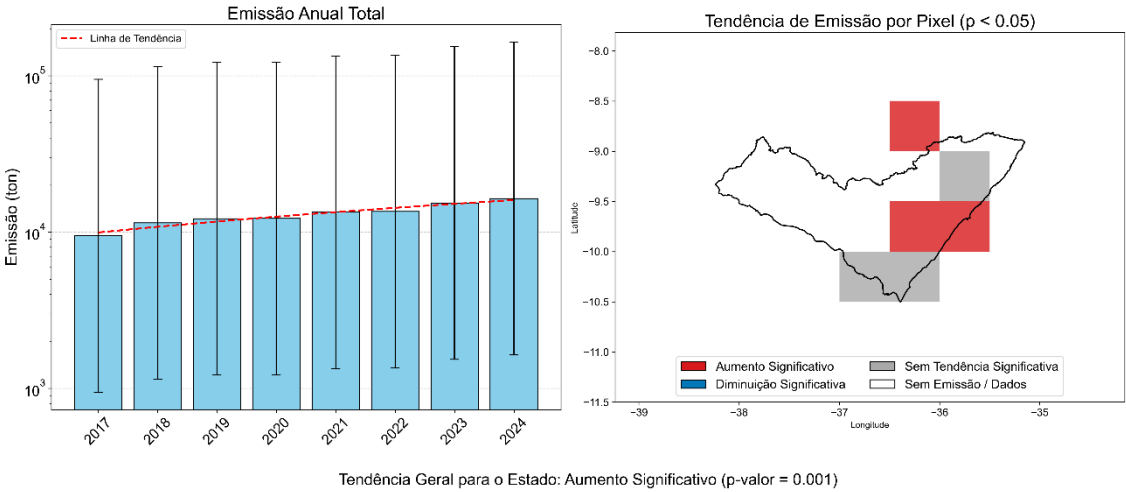
PROD LIST	Descrição - PRODLIST	Tabela	Descrição - EMEP/EEA	Categoria para Análise	Observação /Justificativa
					similaridade no processamento.
1112.2050	Vermutes e outros vinhos de uvas frescas aromatizados	Table 3-24	Vinho sem cor especificada	Vinho	Vou considerar como vinho sem cor especificada.
1112.2060	Vinhos de frutas, exceto uvas	Table 3-24	Vinho sem cor especificada	Vinho	Vou considerar como vinho sem cor especificada.
1112.2070	Vinhos de uvas, exceto do tipo espumante ("champagne")	Table 3-24	Vinho sem cor especificada	Vinho	Vou considerar como vinho sem cor especificada.
1112.2080	Vinhos de uvas frescas, tipo espumante ("champagne")	Table 3-24	Vinho sem cor especificada	Vinho	Vou considerar como vinho sem cor especificada.
1113.2020	Cervejas e chope, inclusive sem álcool	Table 3-27	Cerveja (incluindo sem álcool)	Cerveja	-

APÊNDICE B – MOSAICO DE EMISSÕES E TENDÊNCIA POR PIXEL E UNIDADE DE FEDERAÇÃO

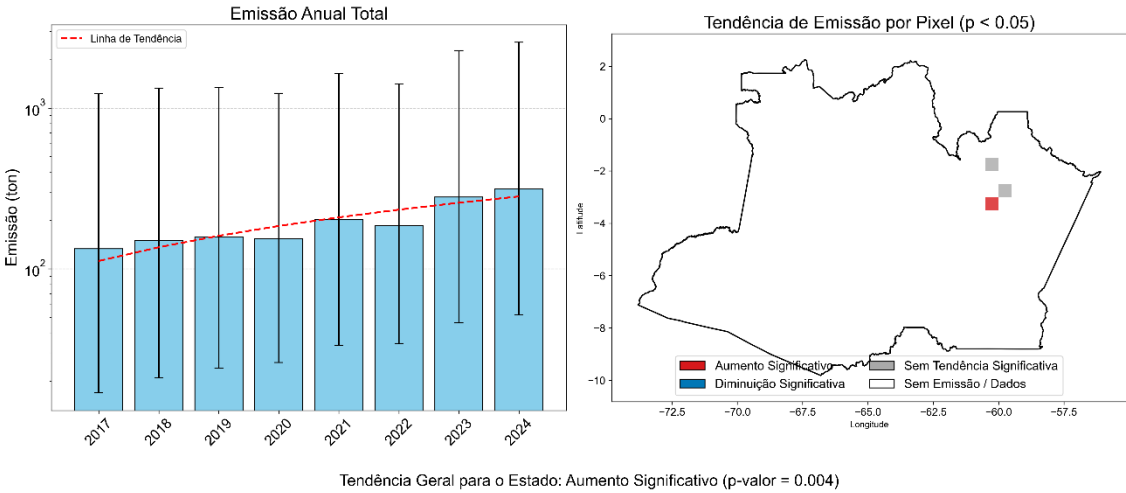
Emissões de NMVOC da Indústria Alimentícia - ACRE



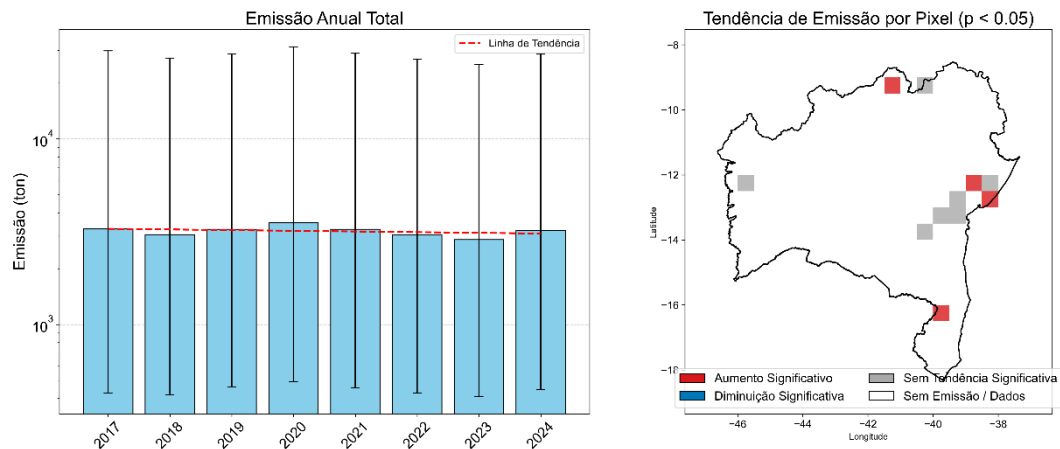
Emissões de NMVOC da Indústria Alimentícia - ALAGOAS



Emissões de NMVOC da Indústria Alimentícia - AMAZONAS

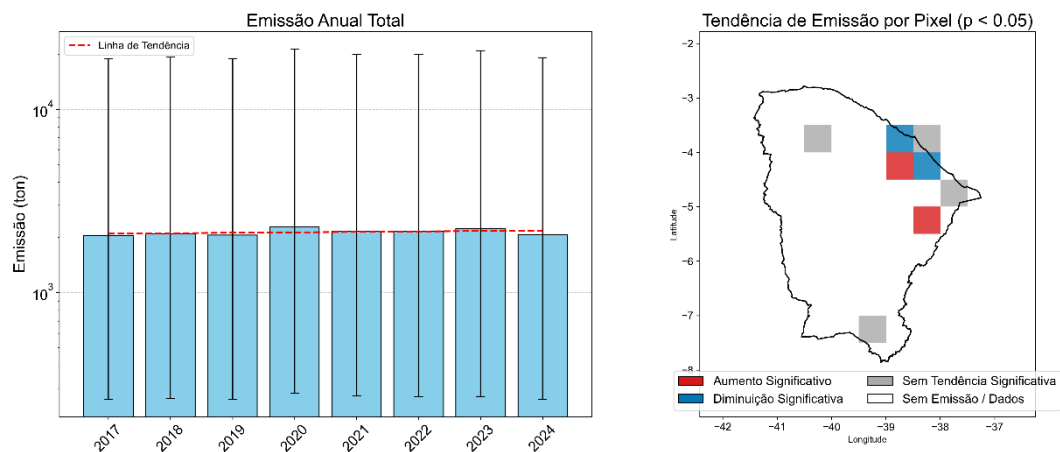


Emissões de NMVOC da Indústria Alimentícia - BAHIA



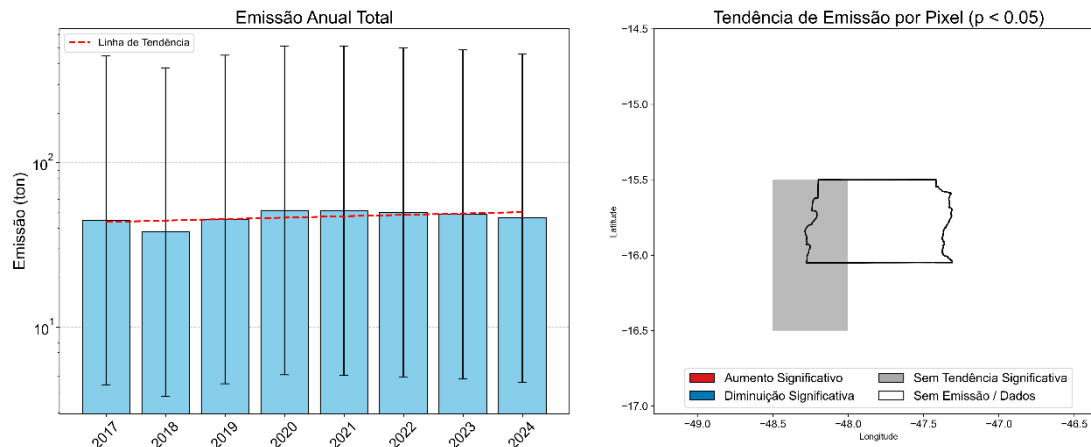
Tendência Geral para o Estado: Sem Tendência (p -valor = 0.266)

Emissões de NMVOC da Indústria Alimentícia - CEARA



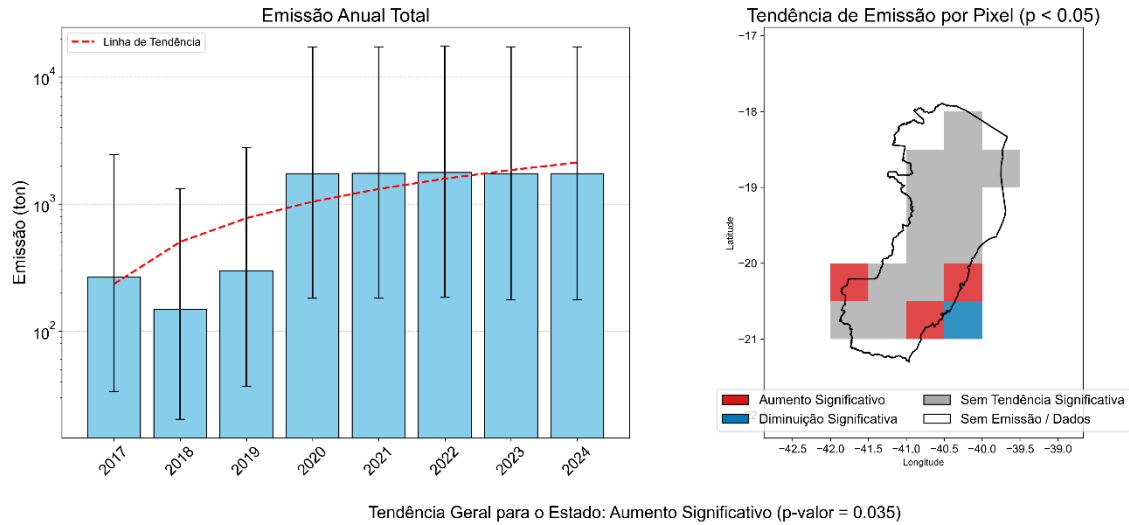
Tendência Geral para o Estado: Sem Tendência (p -valor = 0.386)

Emissões de NMVOC da Indústria Alimentícia - DISTRITO FEDERAL

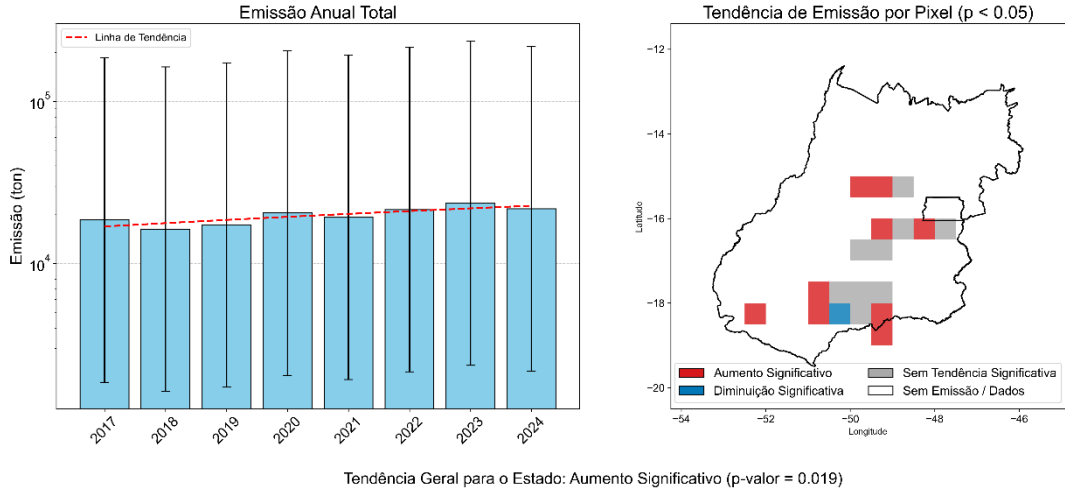


Tendência Geral para o Estado: Sem Tendência (p -valor = 0.536)

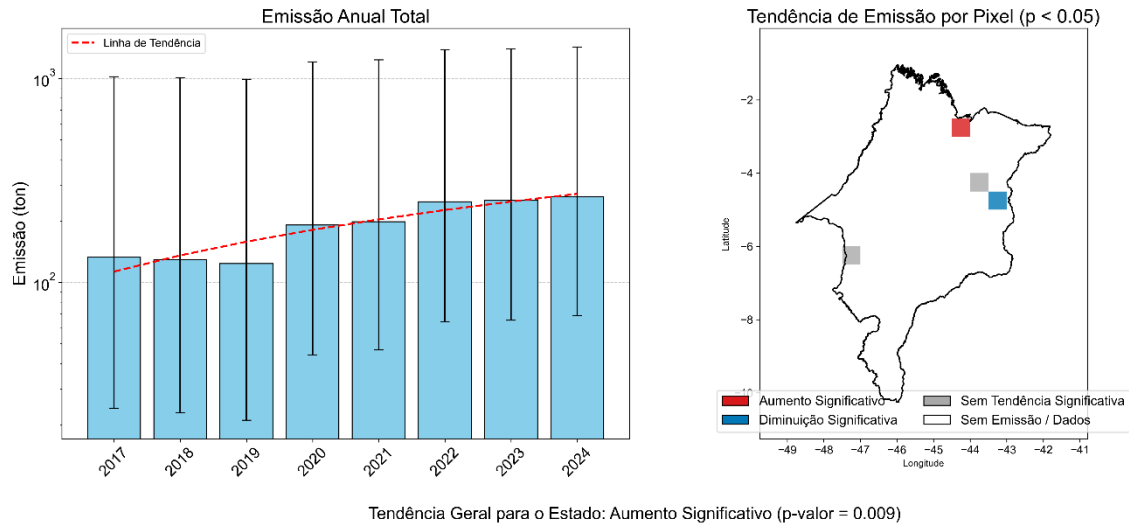
Emissões de NMVOC da Indústria Alimentícia - ESPIRITO SANTO



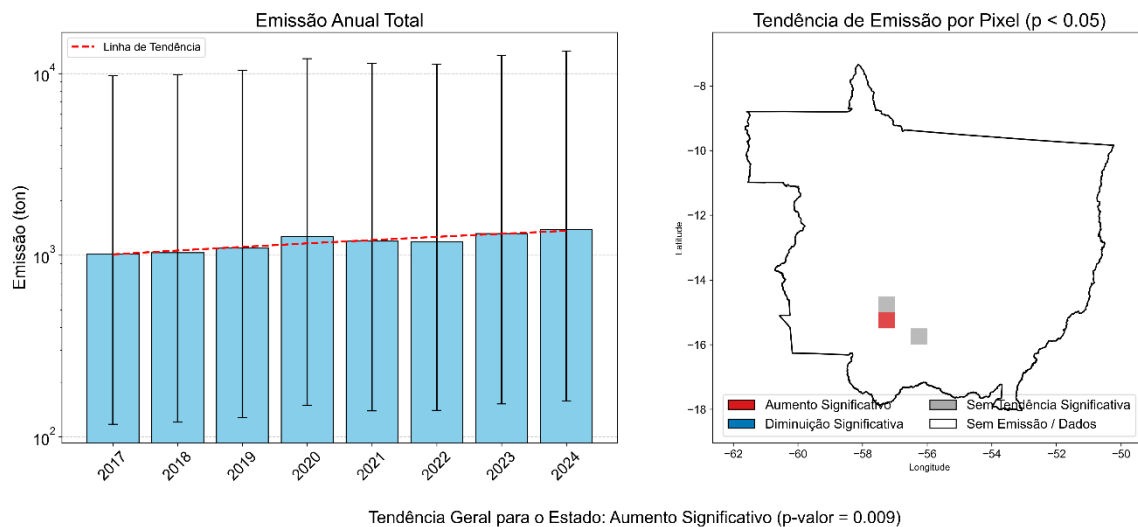
Emissões de NMVOC da Indústria Alimentícia - GOIAS



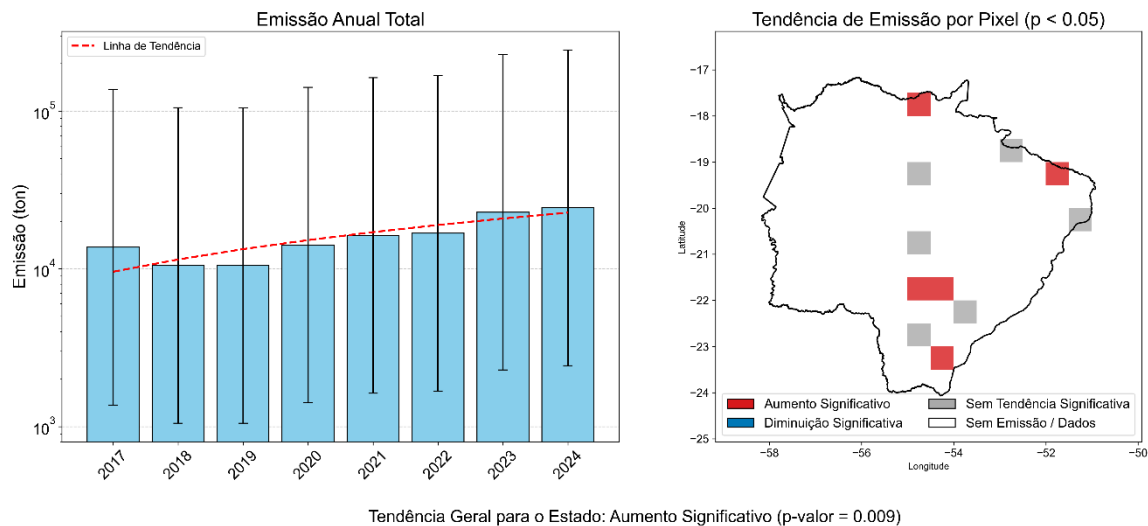
Emissões de NMVOC da Indústria Alimentícia - MARANHÃO



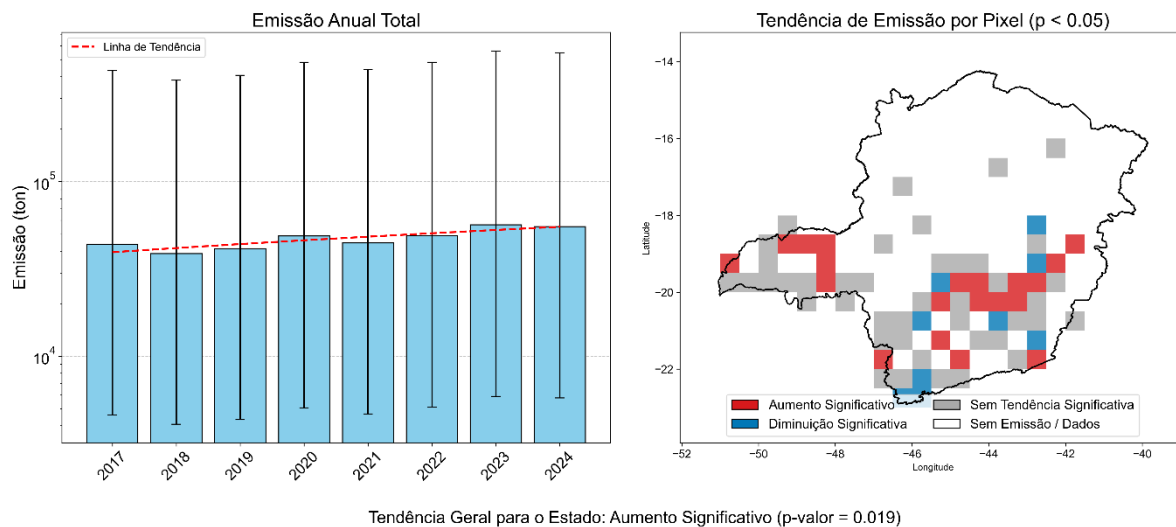
Emissões de NMVOC da Indústria Alimentícia - MATO GROSSO



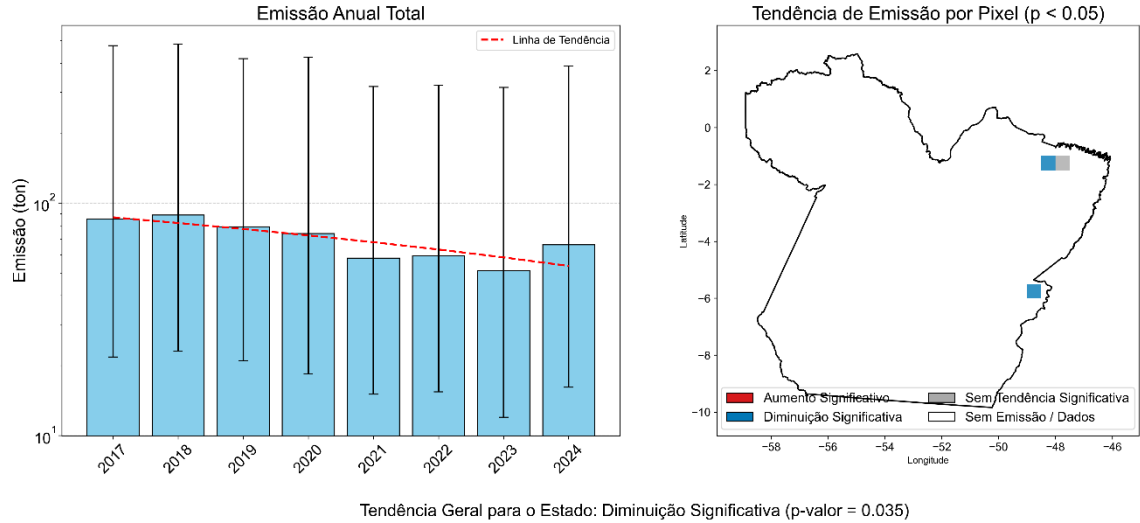
Emissões de NMVOC da Indústria Alimentícia - MATO GROSSO DO SUL



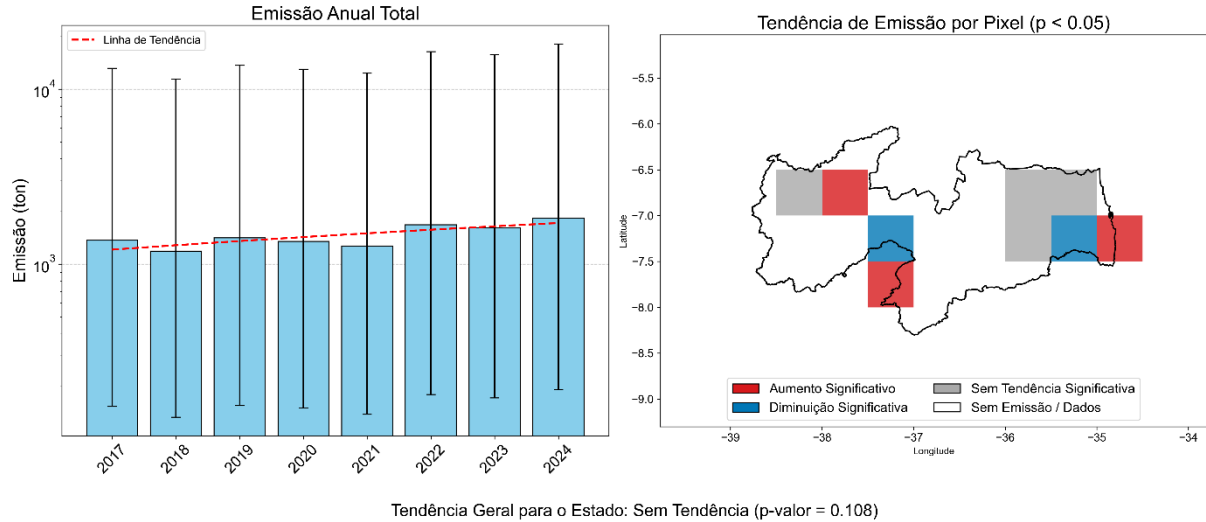
Emissões de NMVOC da Indústria Alimentícia - MINAS GERAIS



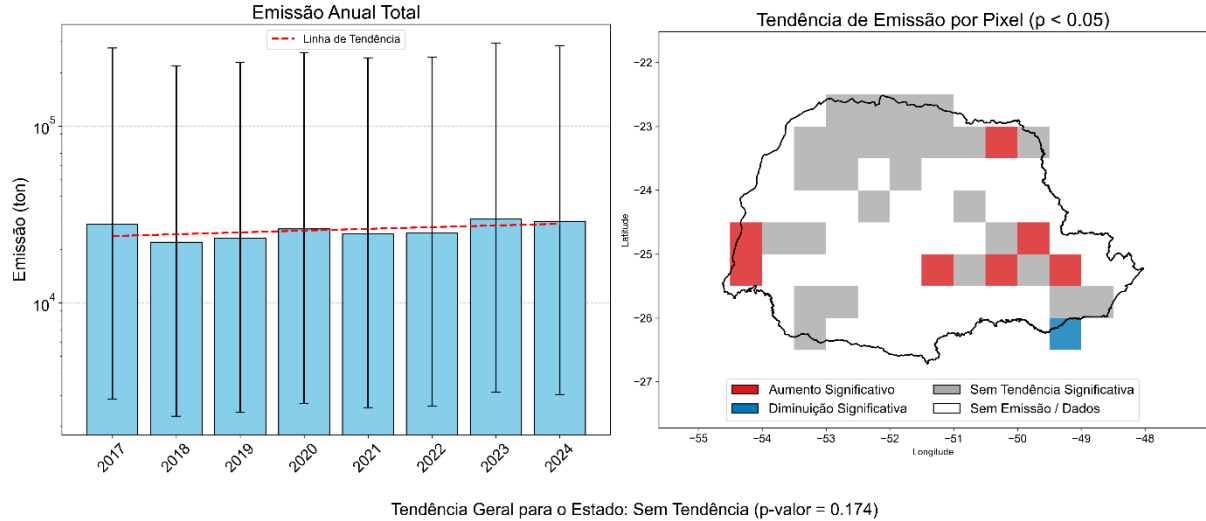
Emissões de NMVOC da Indústria Alimentícia - PARA



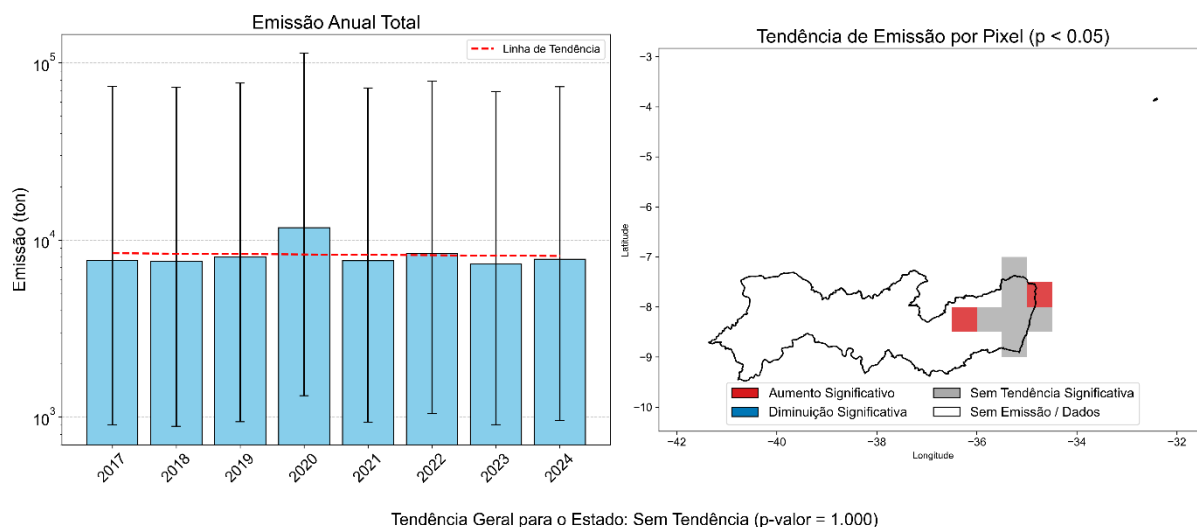
Emissões de NMVOC da Indústria Alimentícia - PARAIBA



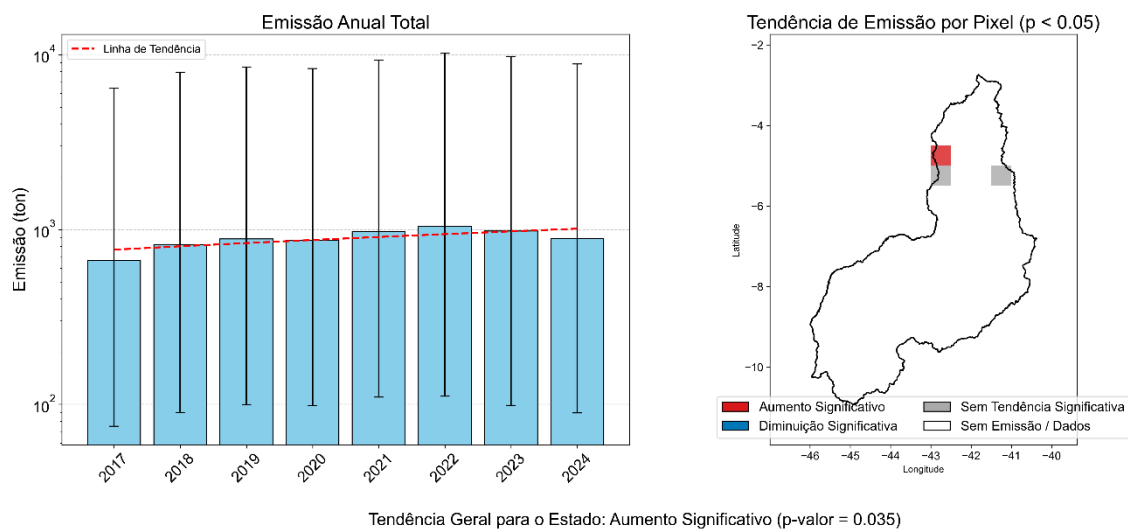
Emissões de NMVOC da Indústria Alimentícia - PARANA



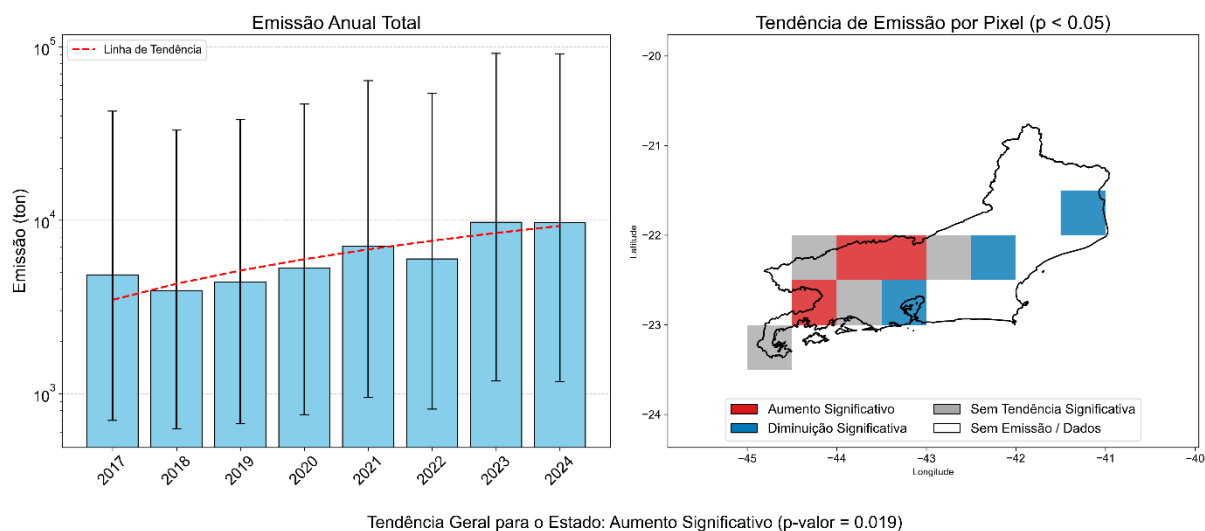
Emissões de NMVOC da Indústria Alimentícia - PERNAMBUCO



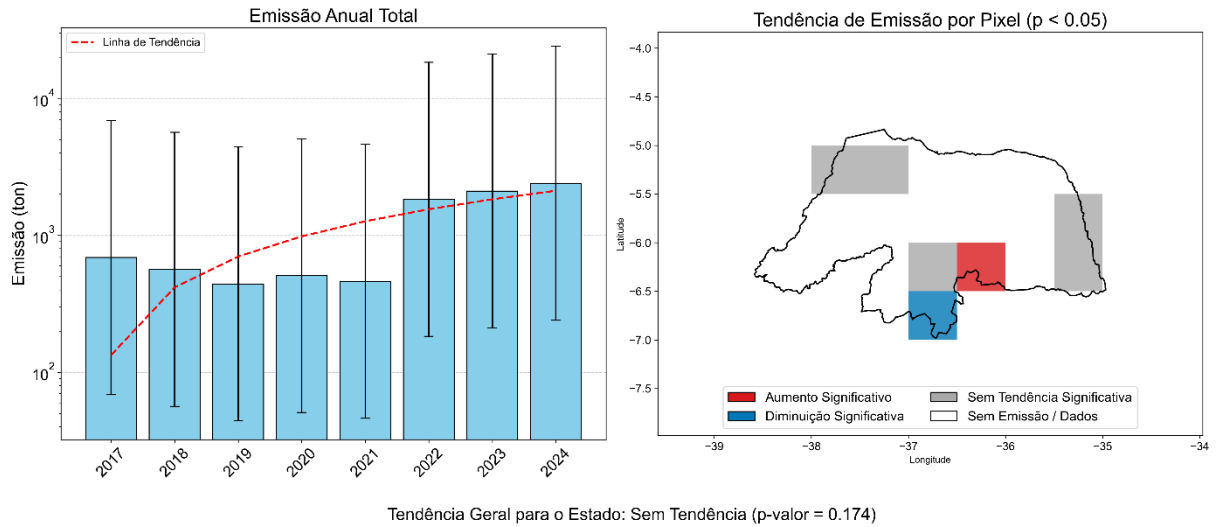
Emissões de NMVOC da Indústria Alimentícia - PIAUI



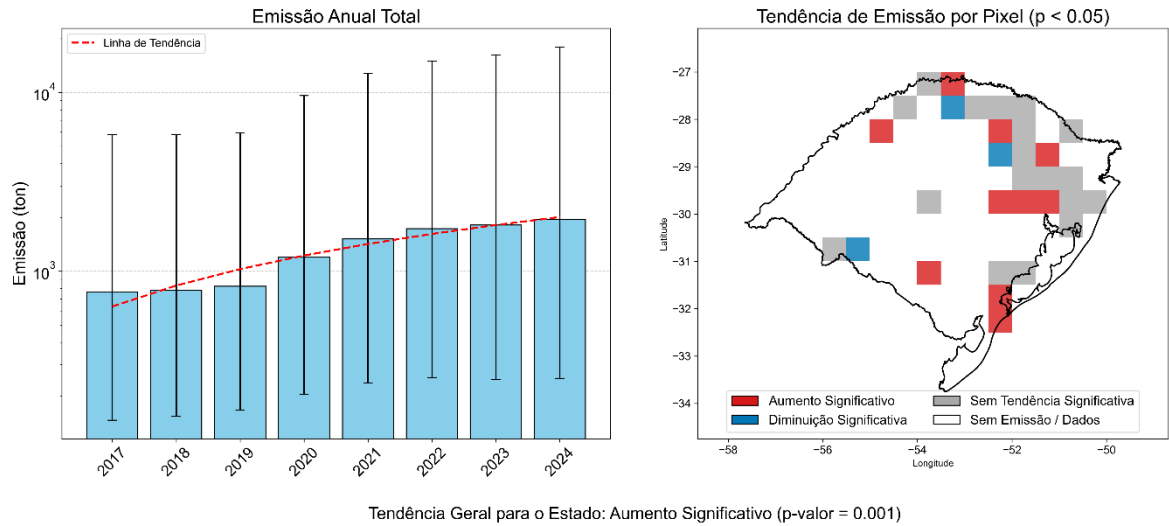
Emissões de NMVOC da Indústria Alimentícia - RIO DE JANEIRO



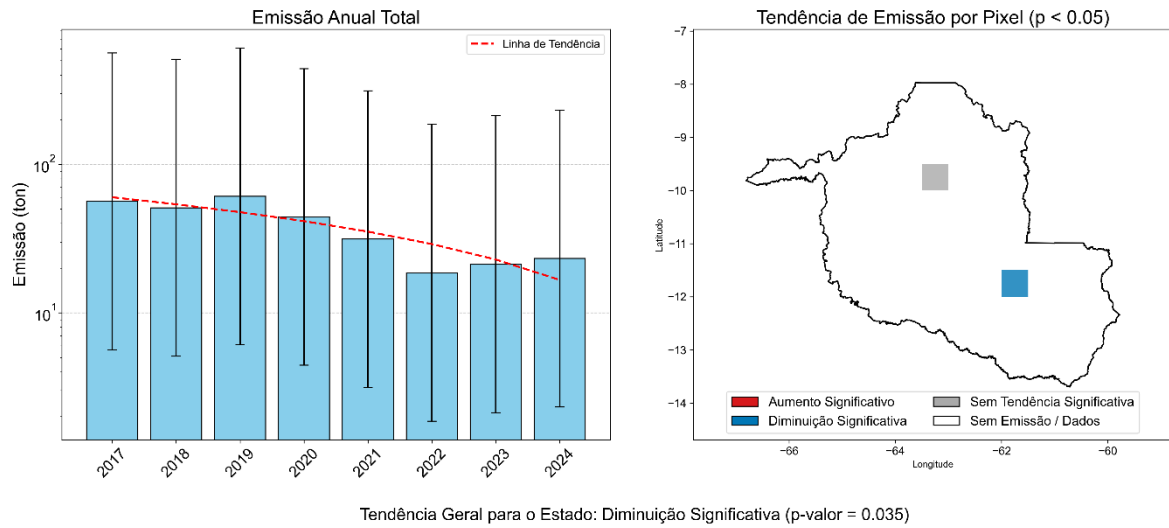
Emissões de NMVOC da Indústria Alimentícia - RIO GRANDE DO NORTE



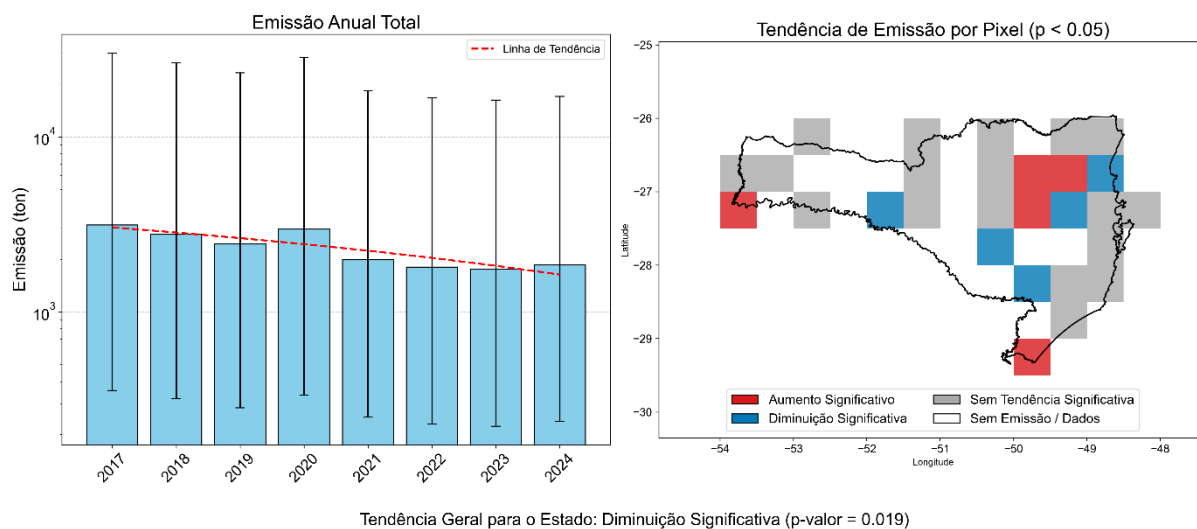
Emissões de NMVOC da Indústria Alimentícia - RIO GRANDE DO SUL



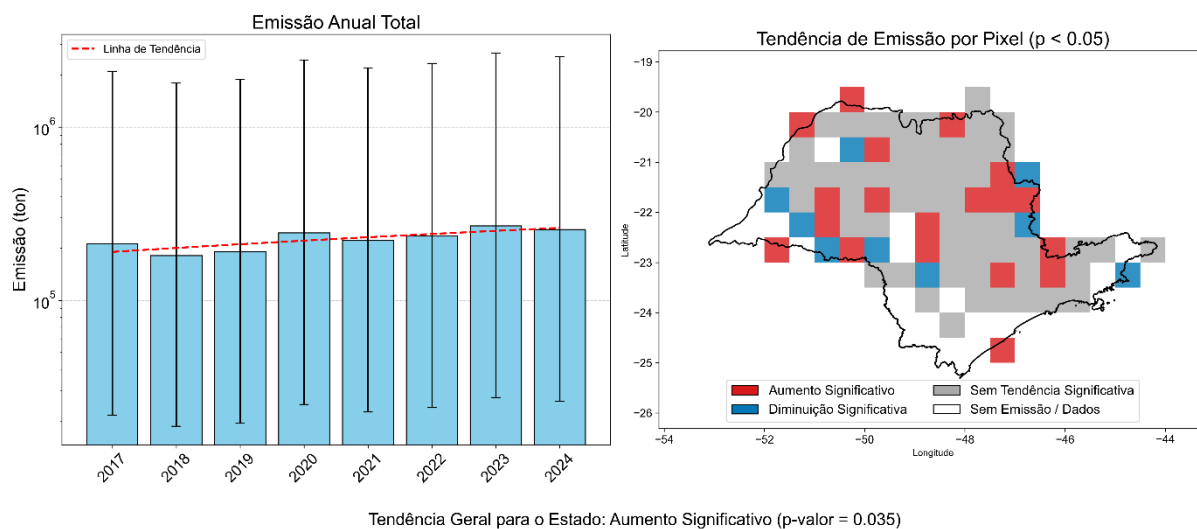
Emissões de NMVOC da Indústria Alimentícia - RONDONIA



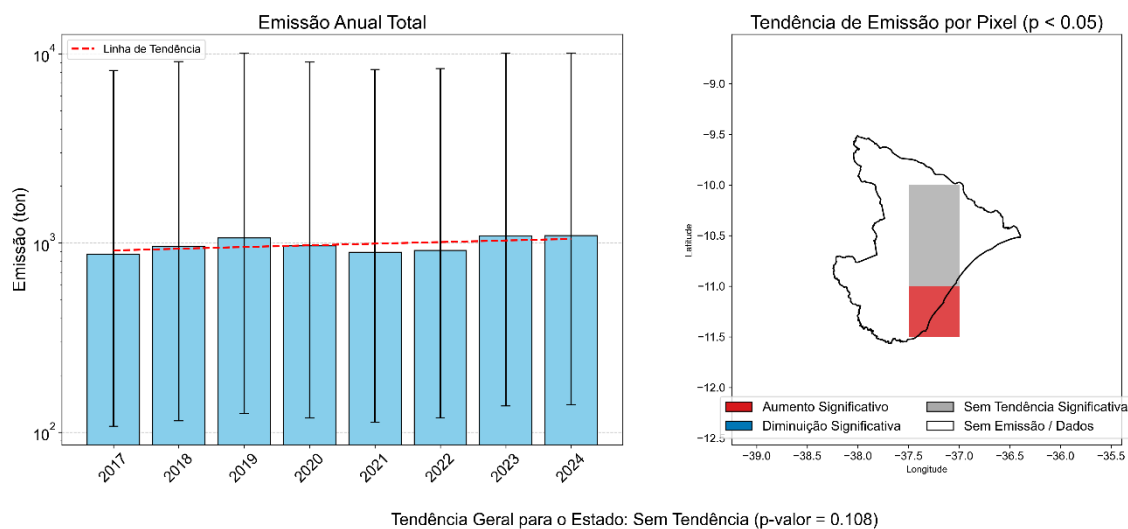
Emissões de NMVOC da Indústria Alimentícia - SANTA CATARINA



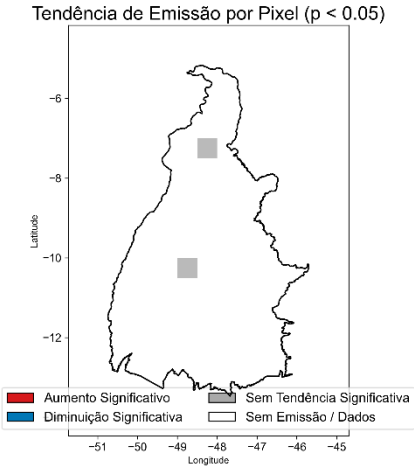
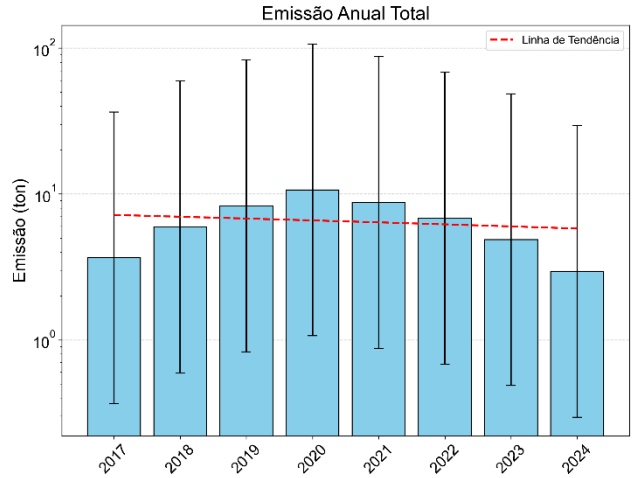
Emissões de NMVOC da Indústria Alimentícia - SAO PAULO



Emissões de NMVOC da Indústria Alimentícia - SERGIPE



Emissões de NMVOC da Indústria Alimentícia - TOCANTINS



Tendência Geral para o Estado: Sem Tendência ($p\text{-valor} = 0.711$)

APÊNDICE C – INVENTÁRIO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

Este apêndice apresenta a base de dados final do inventário de emissões de Compostos Orgânicos Voláteis Não Metânicos (NMVOC) da indústria alimentícia brasileira, consolidada para o período de 2017 a 2024. Os dados são apresentados em formato tabular e contêm os resultados do cálculo de emissões (em toneladas) para cada fonte, conforme a metodologia de tratamento e cálculo descrita no Capítulo 4. A base inclui informações de localização (latitude e longitude), classificação do subsetor industrial (conforme EMEP/EEA) e o dado de atividade final (produção) utilizado no cálculo. Conforme mencionado na metodologia, e para garantir o sigilo das informações, os dados de identificação da indústria (CNPJ, Razão Social) e os códigos de produto específicos foram omitidos desta base de dados.