

PROJETO PARANÁ CLIMA/2020

**SEGUNDO INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA
DO ESTADO DO ESTADO DO PARANÁ**



**RELATÓRIO DE REFERÊNCIA DO SUBSETOR
EFLUENTES (4.D) DO SETOR DE RESÍDUOS**

Versão de agosto de 2023

**SEGUNDO INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO PARANÁ
SUBSETOR NTES (4.D) DO SETOR DE RESÍDUOS**

Carlos Massa Ratinho Junior

Governador do Estado do Paraná

Valdemar Bernardo Jorge

Secretário de Estado do Desenvolvimento Sustentável

Louise da Costa e Silva Garnica

Diretora Geral da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável

Eduardo Alvim Leite

Diretor-Presidente do Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná

Everton Luiz da Costa Souza

Diretor-Presidente do Instituto Água e Terra

Christiano Pires de Campos

Coordenador do Segundo Inventário de Emissões Antrópicas Diretas e de Gases de Efeito Estufa (GEE) do Estado do Paraná (SIMEPAR)

Equipe Técnica SIMEPAR:

Eng Christiano Pires de Campos (Pesquisador, D.Sc.)

Eng Nayana Machado (Pesquisadora, M.Sc.)

Instituição colaboradora

SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná

Aviso

Com base nas diretrizes metodológicas de 2006 do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas este documento apresenta os cálculos aplicados para atualizar as estimativas de emissões estaduais que serviram de subsídios para elaboração do Segundo Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa, atendendo o artigo 13 da Política Estadual de Mudança do Clima estabelecida na lei 17.133/2012. Neste trabalho, foram consideradas, na medida do possível, informações oficiais públicas para o período de 2005 a 2019.

Todas as indicações, dados e resultados desse estudo foram compilados e cuidadosamente revisados pelo(s) autor(es). A Secretaria de Desenvolvimento Sustentável e Turismo (SEDEST), o Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná (SIMEPAR) ou o(s) autor(es) não podem ser responsabilizados por qualquer reivindicação, perda ou prejuízo direto ou indireto resultante do uso ou confiança depositada sobre as informações contidas neste estudo, ou direta ou indiretamente resultante dos erros, imprecisões ou omissões de informações neste estudo.

Os resultados, as interpretações, as recomendações, as estimativas e as conclusões expressas neste estudo são de responsabilidade dos autores, não refletindo a opinião da Secretaria de Desenvolvimento Sustentável e Turismo, nem de outros órgãos do governo participantes e consultados para elaboração deste estudo.

SUMÁRIO

1. Introdução	1
2. Metodologia	1
2.1. Cálculo das emissões	2
2.2. Dados de atividade	3
2.3. Fatores de emissão e outros parâmetros	4
3. Resultados	6
3.1. Comparação com outras estimativas	6
3.2. Diferenças em relação ao Primeiro Inventário	8
4. Referências	10

1. Introdução

Este documento tem como objetivo a apresentação da metodologia de cálculo das emissões de gases de efeito estufa do subsetor **4.D Efluentes** como parte integrante das atividades emissoras consideradas para o setor de Resíduos para o Segundo Inventário Estadual de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Estado do Paraná (2INVPR) para o período de 2005/2019.

Neste documento são descritas as fórmulas, dados de atividades, fatores de emissão e apresentação dos resultados. Bem como, uma breve comparação do Segundo Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Paraná (2INVPR) com os valores obtidos em outros documentos que também estimam as emissões estaduais no Paraná: 1º Inventário de Emissões de GEE do Paraná (2005-2012) (1INVPR, 2012), estimativas estaduais apresentadas no Relatório de Referência do Setor Industrial da 4ª Comunicação Nacional (2005-2016) (MCTI, 2020) e das estimativas estaduais apresentadas na Nota Metodológica do Setor Industrial Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (2005-2019) (SEEG, 2019).

2. Metodologia

As emissões estimadas foram baseadas nas diretrizes propostas nos Guias para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa, do IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; IPCC, 2006; V.5, C.6, Wastewater Treatment and Discharge).

A coleta e tratamento de esgoto no Paraná é realizada principalmente pela Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), atendeu 188 dos 399 municípios com 249 estações de esgoto em 2019 (SANEPAR, 2022). Dados do IBGE referentes à Pesquisa Nacional de Saneamento Básico para o ano de 2017 relatam que 211 municípios têm serviço de esgotamento sanitário por rede coletora em funcionamento (IBGE, 2022).

Os parâmetros de atividade do subsetor **4.D Efluentes** considerados utilizaram dados do Atlas de Esgoto: Despoluição das Bacias Hidrográficas (ANA, 2022), a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2017 (IBGE, 2017) e características das emissões das estações de tratamento de esgoto estaduais da SANEPAR (FILIPPINI, WAIS e LOPARDO, 2018 e SANEPAR, 2022).

As emissões de dióxido de carbono (CO₂) não são consideradas porque a origem do carbono é biogênica. As emissões de metano (CH₄) decorrentes do tratamento do esgoto doméstico estão associadas ao sistema de tratamento anaeróbico, visto que o CH₄ é o produto final da decomposição da matéria orgânica em condições anaeróbicas e a emissão de N₂O ocorre durante os processos de nitrificação e desnitrificação do nitrogênio presente nos efluentes.

As emissões do tratamento de esgoto ocorrem no seguintes casos: “i) plantas com tratamento aeróbio são fontes de N₂O e quando as plantas com tratamento aeróbio estão com sobrecarga ou não são bem operados podem produzir CH₄, ii) tratamento anaeróbio de lodo de esgoto de plantas com tratamento aeróbio é uma fonte significativa de CH₄ quando o gás não é queimado ou recuperado, iii) lagoas rasas aeróbias produzem CH₄ se mal concebidas ou mal geridas; iv) lagoas ou reatores com tratamento anaeróbio produzem CH₄ quando o gás não é queimado ou recuperado, v) o lançamento do efluente tratado de plantas anaeróbias produz N₂O” (SANEPAR, 2022).

De acordo com o IPCC, a complexidade metodológica dos cálculos de emissões pode ser fornecida em três níveis. Tier 1, o método genérico, Tier 2 intermediário e Tier 3 o mais detalhado e específico para as condições nacionais. A **Tabela 1** apresenta a classificação do Tier e do tipo de gás deste segundo inventário de emissões de GEE do Estado do Paraná.

Tabela 01. Lista dos gases de efeito estufa e Tier utilizados para calcular as emissões do subsetor 4.D Efluentes Domésticos no Segundo Inventário de Emissões de GEE do Estado do Paraná.

Subsetor/Categoria IPCC		Gases e Tiers inventariados		
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O
4.D	Efluentes domésticos	N.A.	3	1

2.1. Cálculo das emissões

Para calcular as emissões de CH₄ do subsetor **4.D Efluentes** foi utilizado o Volume 5, Capítulo 6, da Guia Metodológica do IPCC 2006 (2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; IPCC, 2006; V.5, C.6, Wastewater Treatment and Disposal) adaptada para as condições das estações de tratamento da SANEPAR documentado na publicação FILIPPINI, WAIS e LOPARDO (2018). A equação utilizada está descrita a seguir:

$\text{Emissão CH}_4 = \left[\sum (U_i \times T_{(i,j)} \times B_0 \times \text{MCF}_j \times \eta_j \times P_j) \right] \times (\text{DBO} \times 365 \times 0,001 \times I) - S \times 0,000001 - R$	Eq. (01)	Equação 6.1, 6.2 e 6.3, Cap.6, Volume 5. (IPCC, 2006) adaptada por FILIPPINI, WAIS e LOPARDO (2018)
---	----------	---

Onde:

Emissão CH₄ = Gg CH₄ / ano;

U_i = fração da população na classe social i no ano de inventário, %;

T_{i,j} = grau de utilização do sistema de tratamento j, para cada classe social i no ano de

inventário, %;

B_0 = máxima capacidade de produção de metano, kg CH_4 / kg DBO;

MCF_j = fator de correção do metano, adimensional;

i = classe social, considera-se apenas zona urbana;

j = cada sistema de tratamento;

η_j = eficiência teórica de cada etapa de tratamento j da ETE balizada com eficiência média total monitorada no ano de inventário, %;

P_j = população do município;

DBO = DBO média do afluente monitorada no ano inventariado, kg/dia;

I = fator de correção pelo descarte adicional de esgoto industrial na rede de esgoto, se coletado, o valor médio é 1,25, se não for coletado, o valor médio é 1,00;

S = componente orgânico removido no lodo no ano de inventário, kg DBO / ano;

R = quantidade de CH_4 recuperado pelo sistema de tratamento no ano de inventário, Gg CH_4 / ano.

Para calcular as emissões de N_2O do subsetor **4.D Efluentes** foi utilizado o Volume 5, Capítulo 6, da Guia Metodológica do IPCC 2006 (2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; IPCC, 2006; V.5, C.6, Wastewater Treatment and Disposal), conforme a equação a seguir:

$\text{Emissão } N_2O = ((P \times \text{Prot} \times F_{NPR} \times F_{NON-CON} \times F_{IND-COM}) - N_{\text{Lodo}}) \times EF_{\text{Efluente}} \times 44/28 \times 0,000001$	Eq. (02)	Equação 6.7 e 6.8 Cap.6, Volume 5. (IPCC, 2006)
---	----------	---

Onde:

Emissão N_2O = Gg N_2O / ano

P = População, unidade;

Prot = consumo anual de proteína per capita, kg proteína/ hab;

F_{NPR} = Fração de N em proteínas, kg N / kg proteína;

$F_{NON-CON}$ = Fator para proteína não consumida adicionado ao efluente, adimensional;

$F_{IND-COM}$ = Fator para a proteína de origem industrial e comercial descartada para a rede coletora de esgoto, adimensional;

N_{Lodo} = Nitrogênio removido como lodo, kg N / kg lodo;

EF_{Efluente} = Fator de emissão de N_2O de efluentes lançados, kg N_2O-N / kg N.

2.2. Dados de atividade

Os dados de atividade utilizados na estimativa das emissões do subsetor **4.D Efluentes** são as populações municipais, fração urbana e fração rural obtidas do Banco de Dados do Estado

(BDEweb) do Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social - IPARDES, através do link <http://www.ipardes.gov.br/imp/index.php>.

Outro dado de atividade importante é a classificação da porcentagem da população municipal atendida ou não por rede coletora, com tratamento anaeróbico ou aeróbio lagoa/lodo ativado/lagoa facultativa, sem tratamento de esgoto, com fossa séptica e sem coleta e sem tratamento. Para isto utilizou-se os metadados do Atlas Esgotos: Despoluição das Bacias Hidrográfica da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, através do link <http://atlasesgotos.ana.gov.br/>. Utilizaram-se dois metadados por municípios do Atlas Esgotos: Informações por Município (ANA, 2019a) e Estações de Tratamento de Esgoto (ANA, 2019b).

Das Informações por Município (ANA, 2019a), levantou-se os seguintes índices: sem atendimento - sem Coleta e sem Tratamento, Atendimento por Solução Individual, Atendimento com Coleta e sem Tratamento, Atendimento com Coleta e com Tratamento. Para compatibilizar com as categorias do IPCC, o índice com Atendimento por Solução Individual considerou-se como Fossa Séptica, o Índice Sem Atendimento - Sem Coleta e Sem Tratamento considerou-se como Sem Coleta e Sem Tratamento e, o Índice de Atendimento com Coleta e sem Tratamento considerou-se Com Rede Coletora e Sem Tratamento.

Quanto ao tipo de tratamento das rede com coleta e com tratamento, utilizou-se os dados do Atlas Esgotos: Estações de Tratamento de Esgoto (ANA, 2019b), considerou-se os Grupos de Tipologias de Tratamento Lodos Ativados como rede coletora e com tratamento aeróbio - lodo ativado, Reatores Anaeróbios como com rede coletora e com tratamento anaeróbio - reatores, Sistemas de Lagoas como com rede coletora e com tratamento aeróbio - lagoa aeróbia e Tratamento Químico e Biológico como com rede coletora e com tratamento anaeróbio - reatores.

Nos municípios que contavam com mais de uma ETE e com tratamentos diferentes, adotou-se o tratamento com os maiores fatores de emissão devido ao fato que não foi possível fazer uma ponderação uma vez que o metadado da ANA não traz a capacidade de cada ETE.

2.3. Fatores de emissão e outros parâmetros

O primeiro parâmetro considerado no cálculo de emissão de CH_4 é a capacidade máxima de produção de metano (B_0), sendo utilizado o valor-padrão de $0,6 \text{ kg CH}_4 / \text{kg DBO}$ (IPCC, 2006), o mesmo utilizado do 4º Inventário Nacional de Emissões de GEE (MCTI, 2021).

Os fatores de emissão de metano do tratamento de efluentes líquidos (MCF) são essenciais para as estimativas de metano e foram estimados fazendo a correlação dos sistemas de tratamento disponíveis no Atlas Esgotos: Estações de Tratamento de Esgoto (ANA, 2019b) com os sistemas de tratamento do IPCC (2006), conforme apresentado na **Tabela 4**.

Tabela 04. Sistemas de tratamento de águas residuárias domésticas e MCF associado.

Sistemas de tratamento	MCF
Reator Anaeróbio / Lagoa Anaeróbia	0,8
Fossa Séptica e Outros	0,5
Lodo Ativado / Filtro Biológico / Vala de Oxidação / Lagoa Aeróbia / Lagoa Facultativa	0,2
Lançamento direto sem rede coletora	0,1

O inventário de emissões das ETEs da SANEPAR (2022) e o estudo de FILIPPINI, WAIS e LOPARDO (2018) agregaram dados estaduais neste inventário, adotando-se a eficiência média das ETES de 66%, a concentração de DBO de 39 kg / hab / dia medida nas ETES estaduais e a estimativa do metano recuperado média (R) verificado nas ETES da SANEPAR de 19%. Os dois primeiros parâmetros reduzem a estimativa de emissões enquanto o último aumenta em relação às estimativas do Quarto Inventário Nacional e metodologia padrão do IPCC (2006). Para a correção pelo descarte adicional de esgoto industrial na rede de esgoto utilizou-se o valor de 1,25 para o esgoto coletado e o valor de 1,00 para esgoto não coletado, assim como sugerido pelo IPCC (2006) e utilizado no 4º Inventário Nacional de Emissões de GEE (MCTI, 2021).

O componente orgânico removido no lodo no ano de inventário (S) foi estimado em função do tipo de tratamento correlacionado com os sistemas de tratamento do IPCC (2006) e no Relatório de Referência de Resíduos do 4º Inventário Nacional de Emissões de GEE (MCTI, 2021), conforme apresentado na **Tabela 5**.

Tabela 05. Carga orgânica de lodo (S) produzida em diferentes tecnologias de tratamento de águas residuárias (kg DBO lodo / kg DBO afluente).

Sistemas de tratamento	S
Com rede coletora e com tratamento anaeróbio - reatores	0,073
Com rede coletora e com tratamento aeróbio - lagoa aeróbia	0,058
Com rede coletora e com tratamento aeróbio - lodo ativado	0,34
Com rede coletora e com tratamento aeróbio - lagoa facultativa	0,107

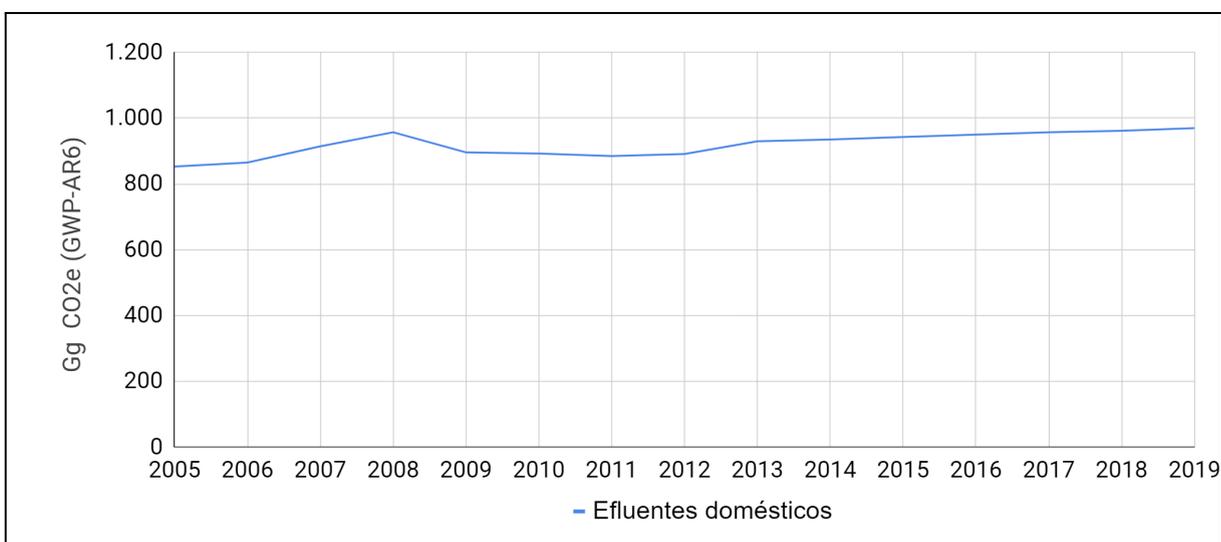
Para o cálculo das emissões de N₂O utilizou-se o consumo anual de proteína per capita nacional do Quarto Inventário Nacional de (MCTI, 2021), 31 kg proteína / hab. Assim como o Quarto Inventário Nacional (MCTI, 2021), neste inventário não se encontrou dados de a ocorrência de fração de N na proteína (F_{NPR}), fator de ajuste de restos alimentares no esgoto (F_{NON_CON}), fator para a proteína de origem industrial e comercial descartada para a rede coletora de esgoto e fator de emissão de de N₂O ($EF_{EFFLUENT}$), utilizando-se, respectivamente, os seguintes fatores padrões 0,15 kg

N / kg, 1,1, 1,25 e 0,005 kg N₂O-N / kg N (IPCC, 2006). Finalmente utilizou-se o fator 0 kg N / kg lodo para o nitrogênio removido como lodo.

3. Resultados

Em 2019, as emissões estaduais do subsetor 4.D Efluentes domésticos totalizaram cerca de 970 Gg CO₂e, com um acréscimo de cerca de 4,5% na variação entre os anos de 2005 e 2012 e de 8,84% entre 2012 a 2019. A partir do **Gráfico 01** é possível observar graficamente as variações citadas anteriormente e a **Tabela 05** resume as emissões ao longo do período.

Gráfico 01. Resultados das Emissões Estaduais do subsetor 4.D efluentes.



Fonte: Elaboração própria.

Tabela 05. Resultados das Emissões Estaduais (Gg CO₂e) do subsetor 4.D Efluentes domésticos.

Ano	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Emissão	852,80	865,03	914,47	957,11	895,83	892,46	884,77	890,96
Ano	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
Emissão	929,82	935,01	942,55	949,95	957,07	961,66	969,70	

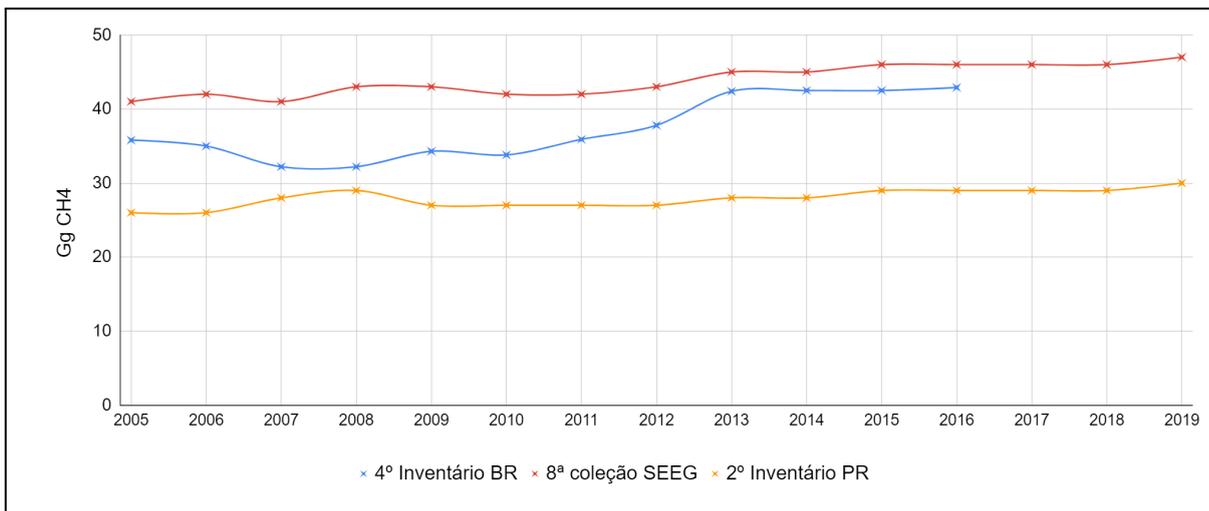
Fonte: Elaboração própria.

3.1. Comparação com outras estimativas

Os resultados de emissão foram comparados com as estimativas nacionais apresentadas no Relatório de Referência do setor de Resíduos (2020) e na Nota Metodológica do Setor de Resíduos

da 8ª Coleção do Sistema de Estimativas de Emissão de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2020). O **Gráfico 02** apresenta a comparação gráfica entre os resultados estimados das emissões de Gg CH₄.

Gráfico 02. Comparação entre estimativas do Quarto Inventário Nacional, SEEG, e Segundo Inventário Estadual do Paraná.



Fonte: Elaboração própria.

Observa-se que os valores estimados pela metodologia proposta são inferiores às outras estimativas. Conclui-se que isto ocorreu porque esta estimativa utilizou parâmetros estaduais de carga de DBO, fator eficiência e fração de queima de gás das avaliações estaduais das ETEs da SANEPAR. A tendência de aumento das emissões ao longo do período analisado apresenta tendência similar à estimativa do SEEG, mas diferente da estimativa do Quarto Inventário Nacional, de onde pode-se concluir que aquelas duas primeiras estimativas utilizaram dados de nível de atividades da mesma origem.

3.2. Diferenças em relação ao Primeiro Inventário

Os resultados do Primeiro Inventário Estadual do Paraná apresentam as emissões do subsetor **4.D Efluentes** utilizando o “Potencial de Aquecimento Global” (PAG). Este índice compara a força radiativa de uma unidade de gás de efeito estufa ao longo de um período de 100 anos à de uma unidade de dióxido de carbono (CO₂). Desta forma as emissões de qualquer gás podem ser convertidas em CO₂ equivalente (CO₂e). As conversões das emissões dos gases aplicadas têm sido atualizadas ao longo dos anos de acordo com as variações das concentrações dos gases na atmosfera e novos entendimentos da física do balanço terrestre de energia. As modificações publicadas pelo IPCC desde o primeiro assessment report estão apresentadas na **Tabela 06**.

Tabela 06. Potencial de Aquecimento Global (PAC) utilizado no Primeiro Inventário Estadual (SAR, IPCC, 1996).

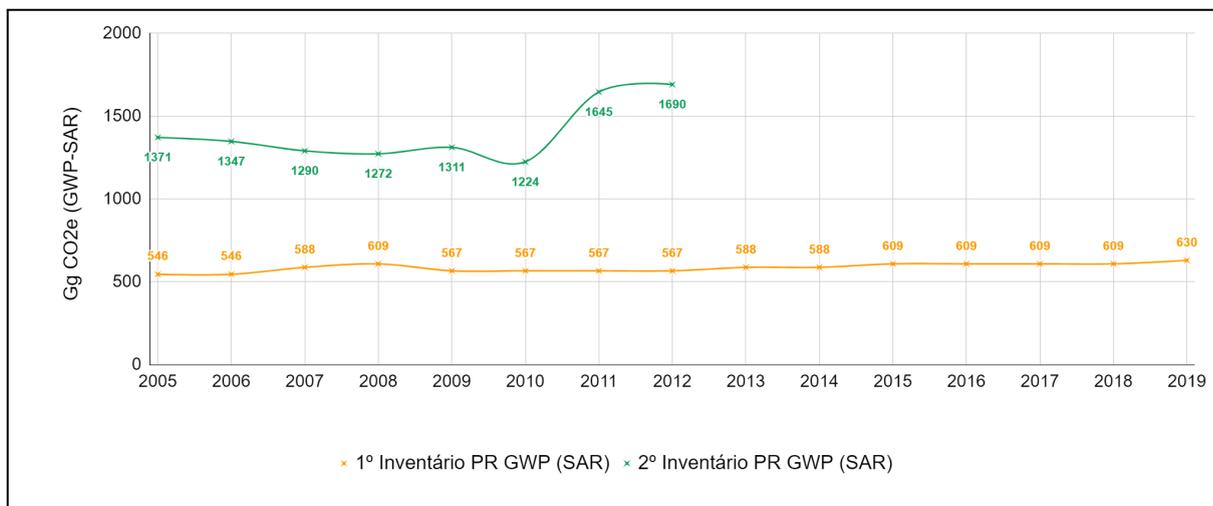
Substância	AR1 (1990)	AR2 (1995)	AR3 (2001)	AR4 (2007)	AR5 (2013)
Carbon dioxide, fossil (CO ₂)	1	1	1	1	1
Metano, fossil (CH ₄)	21	21	23	25	28
Óxido nitroso (N ₂ O)	290	310	296	298	265

Fonte: <https://pre-sustainability.com/articles/updated-carbon-footprint-calculation-factors/>

Os fatores de conversão aplicados no primeiro inventário de emissões estaduais são provenientes do IPCC *Second Assessment Report* (SAR) (IPCC, 1996) e foram utilizados a fim de comparar os resultados das emissões estimadas no segundo inventário do Paraná que apresentou as emissões de CH₄ e N₂O conjuntamente.

O **Gráfico 03** apresenta o comparativo entre os resultados estimados no Primeiro e no Segundo Inventário Estadual utilizando os mesmos fatores de conversão do Potencial de Aquecimento Global para o gás metano (CH₄) e do óxido nitroso (N₂O) que compõem as emissões do subsetor de efluentes.

Gráfico 03. Comparação entre estimativas do 1º Inventário Estadual e do 2º Inventário Estadual do Paraná.



Fonte: Elaboração própria.

Conclui-se que esta segunda estimativa é três vezes inferior à primeira estimativa, principalmente pelo uso dos parâmetros de DBO, eficiência das ETEs utilizados a partir dos dados das avaliações estaduais das ETEs da SANEPAR. As tendências também não são similares, demonstrando que os dados de níveis de atividades têm fontes diferentes.

4. Referências

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas. Brasília, 2019a. Informações por Município (Planilha) Disponível em:

https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/1d8cea87-3d7b-49ff-86b8-966d96c9eb01/attachments/ATLAS_Esgotos_Tabela_ETEs_2019.xlsx. Acesso em 10 de outubro de 2022.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas. Brasília, 2019b. Estações de Tratamento de Esgoto (2019) (Planilha). Disponível em:

https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/1d8cea87-3d7b-49ff-86b8-966d96c9eb01/attachments/ATLAS_Esgotos_Tabela_ETEs_2019.xlsx. Acesso em 10 de outubro de 2022.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas. Brasília, 2022. Disponível em: <http://atlasesgotos.ana.gov.br/>. Acesso em: 09 abril de 2022.

FILIPPINI, R.M.K.; WAIS, T.C.F. e LOPARDO, N. XIV SIBESA, XVI Simpósio Italo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2018.

IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2017. 2017. Acesso em: 17 de outubro de 2022. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/multidominio/meio-ambiente/9073-pesquisa-nacional-de-saneamento-basico.html?=&t=o-que-e>

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC – 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 5: Wastewater treatment and Discharge, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Disponível em: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5_Volume5/V5_6_Ch6_Wastewater.pdf. Acesso em: 9 fev. 2022.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO – MCTI. Quarto Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Relatórios de Referência – Setor Resíduos. Brasília: MCTI, 2020. 150 p. Disponível em:

<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>. Acesso em: 15 julho. 2021.

SANEPAR. Inventário de Gases de Efeito Estufa 2021. 2022. Julho de 2022.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS - SEMA. Inventário de Emissões Antrópicas Diretas e de Gases de Efeito Estufa do Estado do Paraná. 2014.