

PROJETO PARANÁ CLIMA/2020

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



**RELATÓRIO DE REFERÊNCIA DO SETOR ENERGIA:
ABORDAGEM TOP-DOWN**

Versão de março de 2023

SEGUNDO INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO PARANÁ

SETOR ENERGIA (Abordagem Top-down)

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.)

Instituições colaboradoras

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

COMPAGAS - Companhia Paranaense de Gás

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	3
2.2. Dados de atividade	4
2.3. Fatores de emissão	5
3. Resultados	7
3.1 Comparação com outras estimativas	9
4. Referências	10

1. Introdução

Este documento tem como objetivo a apresentação da metodologia de cálculo das emissões de gases de efeito estufa do setor **1 Energia** como parte integrante das atividades emissoras consideradas no Segundo Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Paraná (2INVPR) para o período de 2005 e 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), (SEMA, 2014), estimativas estaduais apresentadas no Relatório de Referência do Setor de Energia da 4ª Comunicação Nacional (2005-2016) (MCTI, 2020) e das estimativas estaduais apresentadas na Nota Metodológica do Setor de Energia (versão 8) do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) (2005-2019) (SEEG, 2021).

2. Metodologia

As emissões estimadas foram baseadas nas diretrizes propostas nos Guias para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa, do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (IPCC, 2006). A metodologia do IPCC foi aplicada de acordo com cada tipo de combustível, variando com base no detalhamento das informações disponíveis.

Buscou-se dados primários em diversas instituições diferentes, uma vez que o principal documento do setor, o balanço energético do Paraná, está desatualizado, com última publicação no ano de 2010 (COPEL, 2011). Portanto, para contabilizar as emissões de CO₂, incluindo metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), dos combustíveis fósseis líquidos foram considerados como dados de entrada os valores de consumo de combustível líquidos disponibilizados pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2020). Os demais gases emitidos na forma de monóxido de carbono (CO) e outros compostos orgânicos voláteis não-metano (NMVOC) não foram calculados devido a sua participação irrisória neste setor.

Para segregar as emissões de dióxido de carbono pela queima de combustíveis fósseis do setor de energia consideramos os seguintes subsetores: transporte, indústria de energia e residencial/industrial, além das emissões fugitivas. A espacialização municipal das emissões considerou que CO₂ do combustível fóssil vendido em um município será emitido neste município. O tratamento dos combustíveis de biomassa não é incluído neste relatório

porque considera-se que o efeito global é nulo já que o gás carbônico da biomassa foi, na origem, retirado da atmosfera.

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 01** traz um detalhamento da classificação do Tier e do tipo de gás.

Tabela 01. Lista dos gases de efeito estufa e Tier utilizados para calcular o setor de Energia 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
1.A	Combustão de combustíveis fósseis			
1.A.1	Indústria de energia			
1.A.1.a	Principal atividade de eletricidade	2	N.A.	N.A.
1.A.1.b	Refino de Petróleo	3 ^a	2	2
1.A.3	Transporte			
1.A.3.a	Aviação doméstica	2	N.A.	N.O.
1.A.3.b	Transporte rodoviário	2	N.A.	N.O.
1.A.4	Outros setores			
1.A.4.b	Residencial/industrial	2	N.A.	N.O.
1.B	Emissões fugitivas			
1.B.2	Emissões fugitivas do refino	3	2	N.O.

^a A partir do 4º Inventário de GEE do Brasil (MCTI, 2020); N.A. - Não Aplicável; N.O. - Não Ocorre.

2.1. Cálculo das emissões

Para calcular as emissões do setor **1 Energia** foi utilizado o Volume 2, Capítulo 2, do Guia Metodológico do IPCC (Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; IPCC, 2006; V.2, C.2. Combustão estacionária, C.3, Mobile combustion). As equações utilizadas estão descritas a seguir:

$\text{Emissão queima de combustível em Gg GEE} = \text{CC}_{\text{combustível}} \times \text{FE}_{\text{gás, combustível}} \times 10^{-6}$	Eq. (01)	Equação 2.1, Cap.2, Volume 2 (IPCC, 2006)
---	----------	---

Onde:

GEE = Gases considerados (CO₂, CH₄ e N₂O), Gg;

CC_{combustível} = Consumo de combustível, litro;

FE_{gás, combustível} = Fator de emissão para consumo de combustível, kg GEE litro⁻¹ ano⁻¹.

$\text{Emissão fugitiva em Gg GEE} = \text{CF} \times \text{FE}_{\text{gás}}$	Eq. (02)	Equação própria
---	----------	-----------------

Onde:

GEE = Gases considerados (CO₂, CH₄ e N₂O), Gg;

CF = Carga de Refino, m³;

FE_{gás} = Fator de emissão para consumo de combustível, Gg GEE CF⁻¹ ano⁻¹.

Foram aplicados os fatores densidade de energia do Balanço Energético Nacional (EPE, 2020) para os combustíveis utilizados no estado do Paraná. Os valores apresentados são respectivos aos anos de análise no período de 2005/2019. Em relação a alocação dos tipo de combustível por subsetor consumidor, foram feitas algumas considerações:

- Uma simplificação necessária foi considerar que todo diesel é utilizado no subsetor de transporte, pois não é conhecido o consumo de diesel no subsetor geração de energia.
- A querosene iluminante foi alocada integralmente no setor residencial.
- As informações de gás natural vieram setorizadas.
- Outra simplificação necessária foi considerar que todo óleo combustível é utilizado no subsetor de indústria, pois não é conhecido o seu consumo no subsetor geração de energia e transporte.

2.2. Dados de atividade

O principal dado de atividade utilizado na estimativa das emissões do setor de Energia foi o consumo aparente de combustíveis fósseis. Devido à ausência de um balanço de energia do estado atualizado, foram utilizadas as informações de venda de combustíveis municipais no estado do Paraná entre os anos de 2005/2019 fornecidos pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2020). A instituição também forneceu informações referentes à fração da carga processada pela refinaria de Araucária.

Para o cálculo das emissões da indústria de energia (atividades 1.A.1.b Refino de Petróleo e 1.B.2 Emissões fugitivas do refino) os dados de atividade foram estimados a partir das emissões nacionais do parque de refino e da REPAR, disponíveis no Relatório de Referência do Setor de Energia da 4ª Comunicação Nacional (2005-2016) (MCTI, 2020). Para essas atividades foram levantados dados de petróleo refinado no Brasil, emissões de CO₂/CH₄/N₂O, emissões fugitivas de CO₂/CH₄/N₂O do parque de refino nacional para posterior cálculo das emissões da REPAR de acordo com a carga de petróleo refinada. (ANP, 2022).

Para o cálculo das emissões do transporte considerou-se os dados de consumo municipal fornecidos pela (ANP, 2020) dos seguintes combustíveis: Gás Natural Veicular (GNV), gasolina, gasolina de aviação, e querosene de aviação. O consumo anual de óleo combustível representa as emissões industriais e as emissões comerciais/residenciais são alocadas a partir do consumo de Gás Liquefeito do Petróleo (GLP), querosene iluminante e gás natural.

As emissões associadas ao consumo de gás natural, detalhou-se a venda por tipo de subsetor (veicular, residencial, industrial) e para geração de energia elétrica graças ao nível de detalhe fornecido pela COMPAGAS. Quanto às informações de venda municipal de gás natural, os dados foram fornecidos pela Companhia Paranaense de Gás (COMPAGAS, 2022) de acordo com o subsetor consumidos do gás natural (veicular, termelétrica de Araucária e residencial/industrial).

2.3. Fatores de emissão

Os fatores de emissão do setor de energia foram calculados de acordo com o Guia Metodológica do IPCC (IPCC, 2006) considerando o poder calorífico inferior anual dos combustíveis fornecidos pelo Balanço Energético Nacional (EPE, 2020). Os resultados dos fatores de emissão médio para cada tipo de categoria para cada ano estão apresentados na **Tabela 02**.

Tabela 02. Lista dos gases de efeito estufa e Tier utilizados para calcular as emissões do subsetor 1.A combustão de combustíveis fósseis no Segundo Inventário de Emissões de GEE do Estado do Paraná.

Categoria			Atividade de combustão de combustíveis fósseis fontes móveis e estacionárias			
Planilha			CO ₂ de fontes de energia - Abordagem de referência do IPCC			
procedimentos metodologia			Passo 1	Passo 2	Passo 3	Passo 4
Info. da fonte de dados	Fatores de conversão		Volume de combustível/ Município	Volume por energia produzida ^a	Energia por emissão de kg CO ₂ ^b	Emissão de Kg CO ₂ por volume ^c
	Unidade		m ³ ou Litro	GJ / m ³	kg CO ₂ /TJ	kg CO ₂ /unidade
Tipo de comb.	Combustíveis primários	Gás natural	10 ³ m ³	0,04	56.100	2,07
	Combustíveis secundários	Gasolina	1 Litro	32,24	69.300	2,23
		Gasolina de Aviação	1 Litro	31,95	70.000	2,24
		Querosene de Aviação	1 Litro	34,42	71.500	2,46
		Querosene iluminante	1 Litro	34,42	71.900	2,47
		Óleo diesel	1 Litro	35,50	74.100	2,63
		Óleo Combustível	1 Quilo = 1 litro	40,07	77.400	3,10
		GLP	1 Quilo = 0,552 litros	25,58	63.100	2,92

^a Fonte: EPE, 2020;

^b Fonte: Volume 2, Capítulo 3, Tabela 3.2.1, IPCC , 2006;

^c Fonte: SIMEPAR, 2023.

No caso das emissões diretas e fugitivas da REPAR, foram calculados fatores de emissão por m³ de petróleo refinado derivado do Relatório de Referência do Setor de Energia da 4ª Comunicação Nacional (2005-2016) (MCTI, 2020), conforme **Tabela 03** a seguir.

Tabela 03. Fatores de emissão do refino no Brasil.

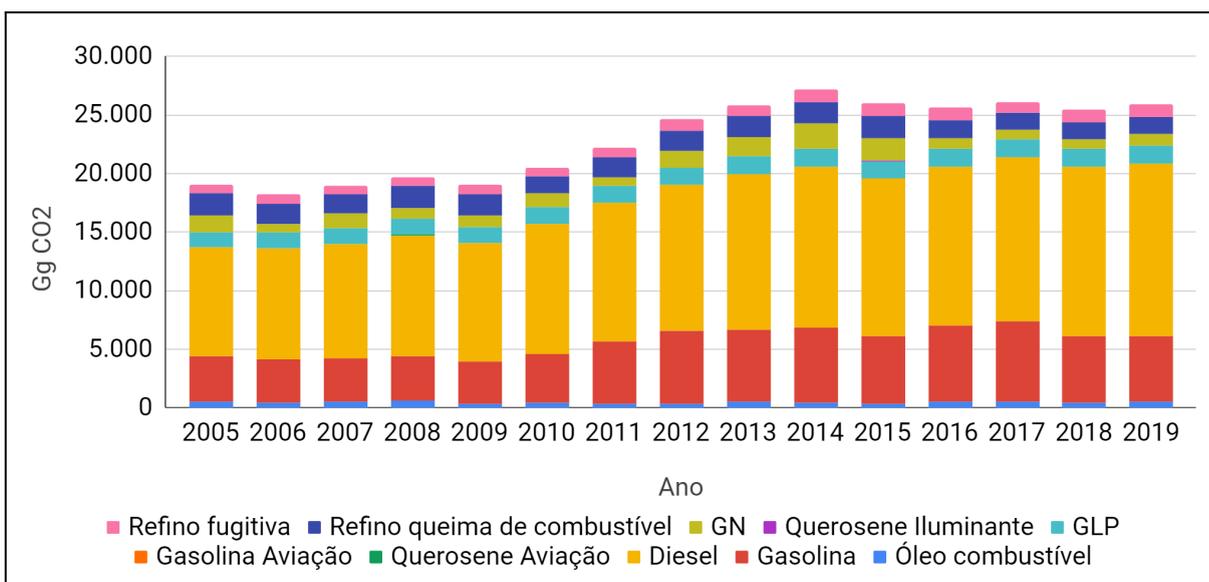
Ano	Fator de emissão			Fator de emissões fugitivas		
	Gg CO ₂ /m ³	Gg CH ₄ /m ³	Gg N ₂ O/m ³	Gg CO ₂ /m ³	Gg CH ₄ /m ³	Gg N ₂ O/m ³
2005	1,68E-04	3,96E-09	1,58E-09	6,49E-05	1,03E-04	1,03E-10
2006	1,63E-04	3,93E-09	1,57E-09	6,99E-05	1,14E-04	1,53E-10
2007	1,69E-04	3,86E-09	1,54E-09	7,12E-05	9,73E-05	9,34E-11
2008	1,75E-04	3,88E-09	1,74E-09	7,11E-05	1,01E-04	1,08E-10
2009	1,70E-04	3,81E-09	1,62E-09	7,07E-05	1,04E-04	1,11E-10
2010	1,50E-04	3,80E-09	1,52E-09	6,86E-05	1,09E-04	9,71E-11
2011	1,50E-04	3,70E-09	1,39E-09	7,46E-05	1,24E-04	3,31E-10
2012	1,45E-04	3,57E-09	1,34E-09	8,48E-05	1,21E-04	3,20E-10
2013	1,54E-04	4,19E-09	1,51E-09	8,51E-05	1,33E-04	3,95E-10
2014	1,59E-04	3,27E-09	1,47E-09	9,00E-05	1,06E-04	5,14E-10
2015	1,61E-04	3,47E-09	1,56E-09	9,48E-05	1,09E-04	6,74E-10
2016	1,61E-04	3,75E-09	1,50E-09	1,04E-04	1,26E-04	6,59E-10
2017	1,52E-04	3,54E-09	1,45E-09	9,98E-05	1,23E-04	6,61E-10
2018	1,51E-04	3,51E-09	1,43E-09	1,03E-04	1,25E-04	7,18E-10
2019	1,50E-04	3,48E-09	1,42E-09	1,06E-04	1,27E-04	7,74E-10

Fonte: Relatório de Referência do Setor de Energia da 4ª Comunicação Nacional (MCTI, 2020).

3. Resultados

Em 2019, as emissões estaduais do setor de Energia totalizaram 25.873 Gg CO₂, um aumento de cerca de 29% para o período de 2005 e 2012 e cerca de 5% para o período de 2012 a 2019. Este aumento de emissões está diretamente relacionado com o aumento das vendas de combustíveis fósseis no estado, no **Gráfico 01** é possível observar as variações anuais de cada tipo de combustível.

Gráfico 01. Resultados das emissões estaduais de CO₂ do setor 1 Energia por tipo de combustível.



Fonte: Relatório de Referência do setor 1 Energia do Segundo Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Paraná (2023).

O consumo de óleo diesel, gasolina e GLP foram os maiores responsáveis pelas emissões de CO₂ durante todo o período, sendo os demais praticamente irrelevantes. A **Tabela 04** resume as emissões por tipo de combustível ao longo do período.

SEGUNDO INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO PARANÁ (2005-2019)

Tabela 04. Resultados das emissões estaduais (Gg) do setor **1 Energia** por combustível e setor de refino.

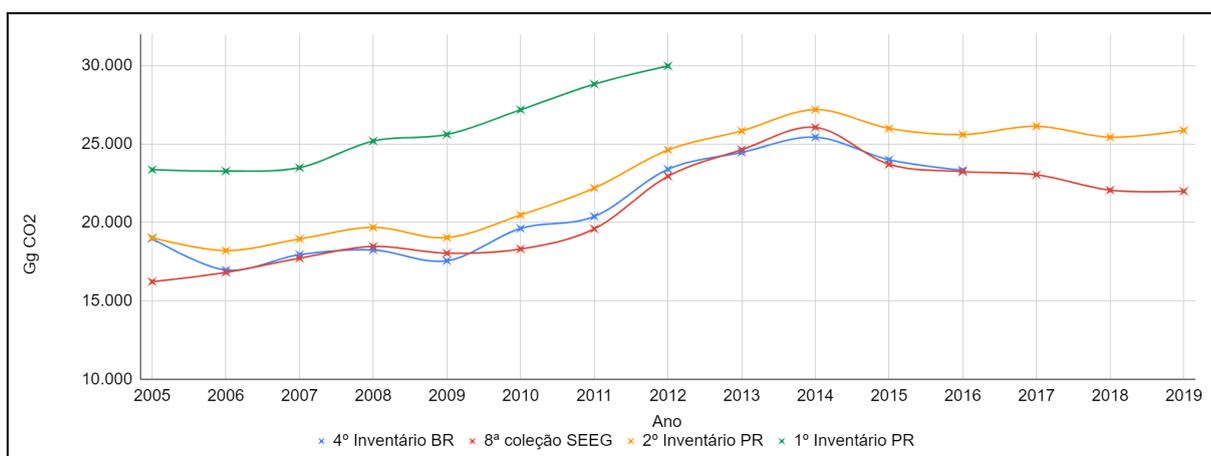
Ano	1A Combustão de combustíveis fósseis											1B Fugitiva			Total CO ₂ eq. PR
	Óleo combustível (CO ₂)	Gasolina (CO ₂)	Diesel (CO ₂)	Querosen e Aviação (CO ₂)	Gasolina Aviação (CO ₂)	GLP (CO ₂)	Querosene Iluminante (CO ₂)	GN (CO ₂)	Refino (CO ₂)	Refino (CH ₄)	Refino (N ₂ O)	Refino fugitiva (CO ₂)	Refino fugitiva (CH ₄)	Refino fugitiva (N ₂ O)	
2005	507	3.848	9.317	8	7	1.305	9	1.461	1.850	0,04	0,02	715	1,13	0,00	19.028
2006	460	3.673	9.465	9	8	1.315	5	776	1.748	0,04	0,02	748	1,22	0,00	18.206
2007	541	3.658	9.749	12	11	1.324	3	1.292	1.660	0,04	0,02	700	0,96	0,00	18.949
2008	610	3.793	10.339	12	11	1.374	2	889	1.890	0,04	0,02	766	1,09	0,00	19.686
2009	370	3.579	10.138	12	11	1.354	2	934	1.863	0,04	0,02	774	1,14	0,00	19.036
2010	385	4.208	11.117	14	13	1.402	1	1.156	1.495	0,04	0,02	683	1,08	0,00	20.475
2011	341	5.362	11.792	16	15	1.436	1	694	1.692	0,04	0,02	842	1,40	0,00	22.191
2012	343	6.184	12.517	17	16	1.435	1	1.451	1.677	0,04	0,02	984	1,41	0,00	24.625
2013	474	6.143	13.309	17	15	1.502	1	1.673	1.743	0,05	0,02	963	1,50	0,00	25.839
2014	397	6.441	13.712	17	15	1.494	1	2.170	1.881	0,04	0,02	1.068	1,25	0,01	27.197
2015	321	5.782	13.454	12	11	1.494	1	1.975	1.854	0,04	0,02	1.091	1,25	0,01	25.996
2016	547	6.430	13.558	11	10	1.532	1	899	1.584	0,04	0,01	1.028	1,24	0,01	25.601
2017	497	6.840	14.011	11	10	1.520	0	869	1.437	0,03	0,01	942	1,16	0,01	26.137
2018	449	5.658	14.428	11	10	1.523	0	803	1.517	0,04	0,01	1.034	1,26	0,01	25.434
2019	467	5.612	14.752	10	9	1.532	0	986	1.466	0,03	0,01	1.039	1,24	0,01	25.874

Fonte: Relatório de Referência do setor 1 Energia do Segundo Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Paraná (2023).

3.1 Comparação com outras estimativas

Os resultados de emissão foram comparados com as estimativas nacionais apresentadas no Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE, 2021) e na Nota Metodológica do Setor de Energia da 8ª Coleção do Sistema de Estimativas de Emissão de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2021). O **Gráfico 02** apresenta a comparação gráfica entre os resultados estimados das emissões de Gg CO₂.

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



Fonte: Relatório de Referência do setor 1 Energia do Segundo Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Paraná (2023).

Observa-se que os valores estimados pela metodologia proposta pertencem a mesma magnitude que as outras estimativas. A tendência de aumento e redução das emissões ao longo do período analisado apresenta as mesmas características nas quatro estimativas, o que sugere que as fontes de dados concordam, apesar do primeiro inventário substancialmente superior que não pôde ser identificada a sua origem.

4. Referências

ANP, 2020. Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Dados de venda de combustíveis por município fornecidos por e-mail.

ANP, 2022. Agência Nacional do Petróleo, Dados Estatísticos: Processamento de petróleo e Produção de derivados. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-estatisticos/de/arquivos-processamento-de-petroleo-e-producao-de-derivados/processamento-petroleo-m3.xls>. Acesso em: 23 mar. 2022.

COPEL, 2011. Companhia Paranaense de Energia: Balanço Energético do Paraná 1980/2009. Curitiba. Disponível em: [http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/balanco_energetico_do_parana-2010-a_no_base_2009/\\$FILE/Balanco_Energetico_do_Parana-2010-Ano_Base_2009.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/balanco_energetico_do_parana-2010-a_no_base_2009/$FILE/Balanco_Energetico_do_Parana-2010-Ano_Base_2009.pdf). Acesso em: 23 mar. 2022.

COMPAGAS, 2022. (COMPANHIA PARANAENSE DE GÁS) Dados de venda de gás natural no Paraná fornecidos por email.

EPE, 2020. Empresa de Pesquisa Energética: Balanço Energético Nacional (BEN) 2020: Ano base 2019, 2018. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br>. Acesso em: 14 nov., 2020.

IPCC, 2006. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 2: Energy, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>. Acesso em: 15 dez. 2020.

MCTI, 2020. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. Quarto Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Relatórios de Referência – Setor Energia – 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: 16 fev. 2023.

SEEG, 2021. Nota Metodológica Setor de Energia do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (versão 8). Disponível em: <https://seeg.eco.br/notas-metodologicas>. Acesso em: 26 out. 2022.

SEMA, 2014. SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. Inventário de Emissões Antrópicas Diretas e de Gases de Efeito Estufa do Estado do Paraná. 2014. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/inventario-gee-sp/wp-content/uploads/sites/34/2014/11/resumoexecutivo_gee_0512pr.pdf. Acesso em: 24 fev. 2023.

SIRENE, 2020. Sistema de Registro Nacional de Emissões. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene>. Acesso em: 25 nov. 2021.