



# **Inventário de Gases de Efeito Estufa em uma indústria de Produção de Gases no Estado do Rio de Janeiro**

Fernanda Ayumi Hirokawa

## **Monografia em Engenharia Química**

**Orientador**

Prof. Claudinei de Souza Guimarães, D.Sc.

**Dezembro de 2017**

# **INVENTÁRIO DE GASES DE EFEITO ESTUFA DE UMA INDÚSTRIA DE PRODUÇÃO DE GASES NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

*Fernanda Ayumi Hirokawa*

Monografia submetida ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheira Química.

Aprovado por:

---

Valéria Castro de Almeida, DSc. (EQ/DPI)

---

Armando Lucas Cherem da Cunha, D.Sc. (EQ/DPI)

---

Oswaldo Nunes de Oliveira Júnior, Químico Industrial

Orientado por:

---

Claudinei de Souza Guimarães, D.Sc. (EQ/DEB)

Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Dezembro de 2017

## **Ficha Catalográfica**

Hirokawa, Fernanda Ayumi.

Inventário de gases de efeito estufa de uma indústria de produção de gases no Estado do Rio de Janeiro / Fernanda Ayumi Hirokawa. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2017.

xiii, 151 p.; il.

(Monografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2017.

Orientador: Claudinei de Souza Guimarães.

1. Inventário de Gases de Efeito Estufa. 2. Gases Industriais. 3. GEE. Monografia. (Graduação – EQ/UFRJ). 5. Claudinei de Souza Guimarães. I. Inventário de gases de efeito estufa de uma indústria de produção de gases no Estado do Rio de Janeiro.

Dedico este trabalho a todos  
aqueles que iluminaram meu  
caminho até aqui, depositando em  
mim a sua confiança e carinho.

“Eis meu segredo. É muito simples: só se vê bem com o coração.  
O essencial é invisível aos olhos.”  
(Antoine de Saint-Exupéry)

“As pessoas que são loucas o suficiente para achar que podem  
mudar o mundo são as que, de fato, o mudam.”  
(Steve Jobs)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais, Elzira e Jorge, por terem sido meu alicerce por todos esses anos, fonte dos valores que levo comigo por toda a vida e único motivo pelo qual pude sonhar alcançar voos mais altos. Sem o seu apoio incondicional nada disso seria possível.

Aos meus amigos, que em meio a essa jornada longa e por vezes tortuosa, em inúmeras ocasiões colocaram sorrisos em meu rosto e renovaram minhas forças. A jornada definitivamente foi mais leve e mais prazerosa por causa de vocês.

À LIEQ, que me enche de orgulho e me inspira a cada dia. Agradeço por compartilharem comigo o empenho de fazer do mundo um lugar melhor, permitindo que as pessoas possam sonhar mais alto e chegar mais longe.

Ao meu orientador, o Professor Claudinei de Souza Guimarães, pelo apoio na elaboração deste trabalho, não poupando esforços para ajudar e por acreditar em mim.

Aos meus mestres e fontes de inspiração, que ao longo desta trajetória me incentivaram pelo seu exemplo a progredir como profissional e pessoa.

A todos da Escola de Química, dos professores ao Alcir da Xerox, que em alguma ocasião contribuíram com presteza e profissionalismo para a minha formação.

Resumo da Monografia apresentada à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenheira Química.

# **INVENTÁRIO DE GASES DE EFEITO ESTUFA DE UMA INDÚSTRIA DE PRODUÇÃO DE GASES NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

Fernanda Ayumi Hirokawa

Dezembro, 2017

Orientador: Prof. Claudinei de Souza Guimarães, D.Sc.

## **RESUMO**

As mudanças climáticas resultantes da intensificação nas emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) são um fenômeno inequívoco, cujos impactos são sentidos em todo o mundo. Os inventários de GEE são essenciais para que organizações conheçam seu perfil de emissões e identifiquem oportunidades de mitigação, contribuindo com a resolução desta problemática global. Esta monografia buscou gerar um inventário a partir do estudo de caso de uma empresa de gases industriais localizada no Estado do Rio de Janeiro utilizando a metodologia do Programa Brasileiro do GHG Protocol. Os resultados mostraram que 98% das emissões ocorrem fora da organização, na aquisição de energia ou em sua cadeia de valor. O estudo identificou ações estratégicas de redução e foi proposto um plano de mitigação pautado em um indicador de intensidade de emissões. O plano mostrou que é possível reduzir as emissões totais mesmo com aumento de produção, caso a meta de redução de intensidade aumente em 1% a cada ano. Este trabalho contribuiu para o início de uma cultura de gestão de emissões na empresa e mostrou que é possível aliar benefícios econômicos e ambientais na busca por processos mais sustentáveis, facilitando a transição para uma economia de baixo carbono.

**Palavras-chave: Inventário de Gases de Efeito Estufa, Gases Industriais, GEE.**

## **ABSTRACT**

Climate change caused by the rising levels of Greenhouse Gases (GHG) in the atmosphere is unequivocal and its impacts can be noticed all around the world. GHG inventories play an essential role in understanding corporate emission profiles within the industry, and to move on to the next stage by identifying reduction opportunities that contribute in addressing this global issue. This monograph addressed the assembly of a GHG inventory based on the case study of an industrial gases company applying Brazil's GHG Protocol Program. Inventory results showed that 98% of company's emissions come from indirect sources, such as energy purchase and product use in its value chain. The study identified key, strategic sources to focus on GHG emission reduction and a mitigation plan based on an emissions intensity indicator was presented. The plan showed it is possible to reduce emissions while still increasing production, given the intensity indicator reduction target increases by 1% each year. Additionally, this work contributed to introduce an emissions management culture within the enterprise and demonstrated that corporations can reduce emission while still cutting operational costs, helping to pave the way towards a low-carbon economy.

**Key words: Greenhouse Gases Inventory, Industrial gases, GHG.**



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	– Modelos de temperatura global esperada (áreas azul e rosa) e medições reais (linha).....	3
<b>Figura 2</b>	– Concentrações médias globais de GEE na atmosfera dos anos 1850 aos anos 2000.....	8
<b>Figura 3</b>	– Emissões globais de GEE de origem antrópica dos anos 1850 aos anos 2000.....	9
<b>Figura 4</b>	– Mudanças no nível médio global dos mares e processo de acidificação .....	10
<b>Figura 5</b>	– Exemplos de espécies que possuem e que não possuem momento de dipolo molecular. ..	11
<b>Figura 6</b>	– Modos vibracionais da molécula de H <sub>2</sub> O e energias de transição associadas.....	12
<b>Figura 7</b>	– Modos de vibração ativos para o IV e espectro de absorção do CO <sub>2</sub> no IV. ....	14
<b>Figura 8</b>	– Espectro de absorção no IV de alguns GEE. ....	15
<b>Figura 9</b>	– Estrutura das camadas da atmosfera .....	18
<b>Figura 10</b>	– Países com leis e políticas acerca das mudanças climáticas. ....	25
<b>Figura 11</b>	– Emissões de dióxido de carbono equivalente, por setor. ....	27
<b>Figura 12</b>	– Número de atos governamentais sobre mudanças climáticas de 1994 até 2017.....	29
<b>Figura 13</b>	– Mapa das leis sobre mudanças climáticas nos estados brasileiros (out. 2017). ....	30
<b>Figura 14</b>	– Projetos de MDL classificados por escala e localidades. ....	34
<b>Figura 15</b>	– Distribuição de CER esperados até 2020 por setor.....	35
<b>Figura 16</b>	– Distribuição de URE emitidas até 2012 por tipo de projeto. ....	36
<b>Figura 17</b>	– Preços nos mercados de carbono pelo mundo em 2016. ....	37
<b>Figura 18</b>	– Market Share do setor de gases industriais (2013). ....	43
<b>Figura 19</b>	– Parcela de mercado por região global (2013). ....	45
<b>Figura 20</b>	– Market Share da indústria de gases no mercado brasileiro (2016). ....	46
<b>Figura 21</b>	– Planta de destilação criogênica em fase de construção.....	47
<b>Figura 22</b>	– Carregamento em uma estação de enchimento de cilindros. ....	48
<b>Figura 23</b>	– Fornecimento do tipo granel a um tanque microbulk. ....	49
<b>Figura 24</b>	– Processos para produção de nitrogênio de acordo com a vazão e pureza.....	51
<b>Figura 25</b>	– Torre de destilação criogênica (esq.) e vaso de PSA (dir.). ....	52
<b>Figura 26</b>	– Compressor de uma das plantas industriais. ....	54
<b>Figura 27</b>	– Etapas para a elaboração do inventário de GEE. ....	59
<b>Figura 28</b>	– Escopos das emissões de GEE em uma organização.....	63
<b>Figura 29</b>	– Limites organizacionais e operacionais do inventário. ....	66
<b>Figura 30</b>	– Potencial de abatimento de GEE até 2030 com custo de até 40 €/tCO <sub>2</sub> e, por região .....	74
<b>Figura 31</b>	– Emissões totais de GEE calculadas para os Escopos 1 e 2 (tCO <sub>2</sub> e).....	83

<b>Figura 32</b> – Emissões totais de GEE calculadas para os Escopos 1, 2 e 3 (tCO <sub>2</sub> e).....	84
<b>Figura 33</b> – Participação percentual dos GEE nos Escopos 1 e 2 (esq.) e nos três Escopos (dir.).....	85
<b>Figura 34</b> – Comparação dos perfis de emissões de GEE da organização com outras indústrias.....	87
<b>Figura 35</b> – Distribuição das emissões de Escopo 1 em tCO <sub>2</sub> e.....	89
<b>Figura 36</b> – Balanço material do processo de purificação de H <sub>2</sub> .....	92
<b>Figura 37</b> – Balanço de massa do processo de purificação de CO <sub>2</sub> .....	93
<b>Figura 38</b> – Distribuição das emissões de Escopo 2 em tCO <sub>2</sub> e.....	93
<b>Figura 39</b> – Perfil de vaporização de O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> e Ar e de consumo de vapor.....	95
<b>Figura 40</b> – Avaliação do vapor modelado contra o vapor medido e gráfico dos resíduos.....	96
<b>Figura 41</b> – Distribuição das emissões de Escopo 3 em tCO <sub>2</sub> e.....	98
<b>Figura 42</b> – Curva ABC para os Escopos 1 e 2.....	104
<b>Figura 43</b> – Curva ABC para os Escopos 1, 2 e 3.....	105
<b>Figura 44</b> – Cenário de referência para as emissões totais de GEE de 2016 até 2020.....	106
<b>Figura 45</b> – Plano de Mitigação 2016-2020 com meta fixa de redução de intensidade de emissões.	108
<b>Figura 46</b> – Plano de Mitigação 2016-2020 com meta crescente de redução de intensidade de emissões. ....	108

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> – Classificação dos poluentes atmosféricos. ....	7
<b>Quadro 2</b> – Radiações eletromagnéticas e tipos de transição associados. ....	15
<b>Quadro 3</b> – Principais gases de efeito estufa diretos e suas fontes de emissão antropogênica. ....	16
<b>Quadro 4</b> – Emissões absolutas de gases de efeito estufa no Brasil, por setor, de 1990 a 2012. ....	28
<b>Quadro 5</b> – Políticas Estaduais de Mudanças Climáticas no Brasil (até out. 2017). ....	31
<b>Quadro 6</b> - Características das principais empresas do setor de gases industriais. ....	44
<b>Quadro 7</b> – Estrutura das Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol. ....	57
<b>Quadro 8</b> – Gases de efeito estufa e seus potenciais de aquecimento global (GWP). ....	59
<b>Quadro 9</b> – Sumário das abordagens de consolidação por limite organizacional. ....	60

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Princípios para contabilização e elaboração do inventário de GEE ....	58
<b>Tabela 2</b> – Unidades e operações inventariadas. ....	61
<b>Tabela 3</b> – Fontes de emissão identificadas nos Escopos 1, 2 e 3. ....	64
<b>Tabela 4</b> – Classificação dos níveis de complexidade (tiers) das metodologias de cálculo. ....	67
<b>Tabela 5</b> – Emissões geradas por veículos da frota própria no deslocamento de funcionários. ....	89
<b>Tabela 6</b> – Emissões geradas por veículos da frota própria no transporte e distribuição de gases. ....	90
<b>Tabela 7</b> – Emissões fugitivas provenientes do vazamento de produto. ....	90
<b>Tabela 8</b> – Emissões fugitivas geradas por equipamentos de ar condicionado. ....	91
<b>Tabela 9</b> – Emissões geradas pelo consumo de energia elétrica. ....	94
<b>Tabela 10</b> – Mistura de gases para a caldeira e seus fatores de emissão. ....	97
<b>Tabela 11</b> – Emissões geradas pela aquisição de vapor na ASU. ....	97
<b>Tabela 12</b> – Perfil dos resíduos enviados a aterro sanitário e emissões geradas. ....	99
<b>Tabela 13</b> – Resíduos enviados para compostagem e emissões geradas. ....	99
<b>Tabela 14</b> – Emissões geradas por viagens aéreas a negócios. ....	100
<b>Tabela 15</b> – Emissões geradas pelo deslocamento casa-trabalho-casa dos funcionários. ....	101
<b>Tabela 16</b> – Emissões provenientes do transporte e distribuição terceirizado de produtos. ....	101
<b>Tabela 17</b> – Emissões geradas pela queima da corrente de gás residual em Alto Forno. ....	102
<b>Tabela 18</b> – Emissões geradas pelo uso de produtos vendidos. ....	103

## SUMÁRIO

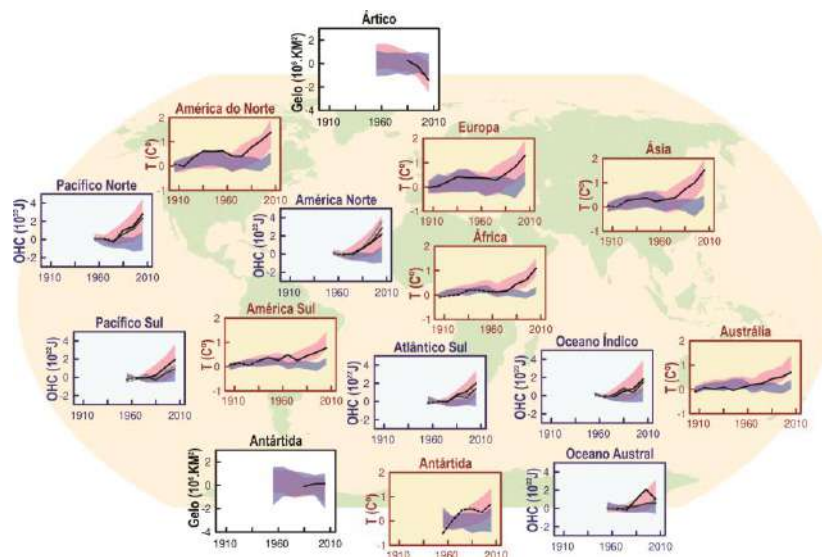
CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO .....	3
CAPÍTULO II – OBJETIVOS .....	5
II.1 – OBJETIVO GERAL .....	5
II.2 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
CAPÍTULO III – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	6
III.1 – A POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E OS GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE) .....	6
III.2 – OS GASES DE EFEITO ESTUFA .....	10
III.2.1 – LIGAÇÕES POLARES E MOMENTO DE DIPOLO.....	11
III.2.2 – VIBRAÇÕES MOLECULARES E ENERGIA DE TRANSIÇÃO VIBRACIONAL ...	12
III.2.3 – ABSORÇÃO NA FAIXA DO IV PRÓXIMO .....	13
III.2.4 – GEE DIRETOS .....	16
III.2.5 – GEE INDIRETOS .....	17
III.3 – AS CAMADAS DA ATMOSFERA TERRESTRE.....	17
III.3.1 – TROPOSFERA.....	19
III.3.2 – ESTRATOSFERA.....	22
III.3.3 – MESOSFERA.....	23
III.3.4 – TERMOSFERA.....	23
III.4 – O CENÁRIO ATUAL NO BRASIL E NO MUNDO .....	24
III.5 – AS LEIS INTERNACIONAIS E NACIONAIS SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....	28
III.6 – OS MECANISMOS DO PROTOCOLO DE QUIOTO.....	33
III.6.1 – MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO (MDL) .....	33
III.6.2 – IMPLEMENTAÇÃO CONJUNTA (IC).....	36
III.6.3 – MERCADO DE CARBONO (COMÉRCIO INTERNACIONAL DE EMISSÕES) .....	37
III.7 – PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (IPCC) .....	38
III.8 – O INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GEE.....	40
CAPÍTULO IV – ÁREA DE ESTUDO .....	43
IV.1 – A INDÚSTRIA DE GASES.....	43
IV.2 – PRINCIPAIS PRODUTOS E APLICAÇÕES.....	49
IV.3 – ESTUDO DE CASO: APRESENTAÇÃO DA ORGANIZAÇÃO.....	52
CAPÍTULO V – METODOLOGIA.....	55
V.1 – O GHG PROTOCOL.....	55
V.2 – A GERAÇÃO DO INVENTÁRIO.....	56
V.2.1 – LIMITES ORGANIZACIONAIS .....	60
V.2.2 – LIMITES OPERACIONAIS .....	62
V.2.3 – SELEÇÃO DA ABORDAGEM DE CÁLCULO E DOS FATORES DE EMISSÃO.....	66
V.2.4 – COLETA DE INFORMAÇÕES DA ATIVIDADE.....	70
V.2.5 – APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS DE CÁLCULO .....	71
V.2.6 – COMPILAÇÃO DE DADOS A NÍVEL CORPORATIVO E RELATO DAS EMISSÕES .....	71
V.3 – LIMITAÇÕES DO INVENTÁRIO .....	73
V.4 – AÇÕES DE MITIGAÇÃO.....	73
V.5 – CONSIDERAÇÕES IMPORTANTES UTILIZADAS NO INVENTÁRIO .....	75
V.5.1 – EMISSÕES DE PROCESSOS INDUSTRIAIS (ESCOPO 1) .....	75
V.5.2 – EMISSÕES DE COMBUSTÃO ESTACIONÁRIA (ESCOPO 1) .....	76
V.5.3 – EMISSÕES FUGITIVAS (ESCOPO 1).....	77
V.5.4 – EMISSÕES PROVENIENTES DA AQUISIÇÃO DE VAPOR (ESCOPO 2).....	77
V.5.5 – EMISSÕES DE TRANSPORTE E DISTRIBUIÇÃO DOWNSTREAM (ESCOPO 3)..	78
V.5.6 – EMISSÕES PELO PROCESSAMENTO DE PRODUTOS VENDIDOS (ESCOPO 3) ..	79
V.5.7 – EMISSÕES PELO USO DE PRODUTOS VENDIDOS (ESCOPO 3) .....	80
V.5.8 – EXCLUSÕES .....	80

CAPÍTULO VI – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	82
VI.1 – PANORAMA GERAL OBTIDO DAS EMISSÕES.....	82
VI.2 – COMPARAÇÃO COM O ANO BASE.....	85
VI.2 – COMPARAÇÃO COM OUTRAS ORGANIZAÇÕES.....	86
VI.3 – ANÁLISE DOS ESCOPOS.....	88
VI.3.1 – ESCOPO 1: EMISSÕES DIRETAS .....	89
VI.3.2 – ESCOPO 2: EMISSÕES INDIRETAS POR AQUISIÇÃO DE ENERGIA.....	93
VI.3.3 – ESCOPO 3: OUTRAS EMISSÕES INDIRETAS .....	97
VI.4 – AÇÕES ESTRATÉGICAS DE REDUÇÃO.....	103
VI.5 – MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES.....	106
CAPÍTULO VII – CONCLUSÃO .....	110
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	112
ANEXO I – EMISSÕES DE ESCOPO 1.....	130
ANEXO II – EMISSÕES DE ESCOPO 2 .....	133
ANEXO III – EMISSÕES DE ESCOPO 3 .....	136

# CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico e o aumento da população mundial têm levado a uma intensificação no uso dos recursos naturais e, conseqüentemente, ao aumento dos impactos ao meio ambiente causados pelas ações humanas. Dentre estes efeitos, destaca-se o aumento exponencial observado nas últimas décadas da concentração de poluentes atmosféricos conhecidos como gases de efeito estufa, abreviados como GEE, cujo acúmulo nas camadas mais próximas da atmosfera tem amplificado o fenômeno das mudanças climáticas.

Os efeitos desta mudança podem ser sentidos em diversas partes do mundo, por exemplo, pelo aumento no nível dos mares, na temperatura média global, na ocorrência de eventos climáticos extremos como secas, enchentes e ondas de calor, além de perturbações no ciclo das chuvas. Estudos científicos realizados por instituições de referência dedicadas a estudar o tema, como o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, em inglês) (2014), concluíram que o aquecimento global é inequívoco e que, embora se deva em parte a um fenômeno natural, há uma clara influência humana, observada na Figura 1, que pode ser contida caso Estados e organizações priorizem ações para mitigar suas emissões de GEE.



**Figura 1** – Modelos de temperatura global esperada (áreas azul e rosa) e medições reais (linha). Área azul: temperatura esperada considerando apenas atividades naturais; Área rosa: estimativa considerando atividades naturais e humanas. Fonte: IPCC, 2013.

Nesse âmbito, numerosas reuniões e acordos internacionais foram realizados nas últimas décadas no esforço tanto de buscar um modelo de desenvolvimento econômico que torne a sustentabilidade ambiental uma pauta vital para os negócios, quanto de desenvolver ferramentas e mecanismos que ajudem empresas e nações a identificar, quantificar e mitigar suas emissões. Uma dessas ferramentas é o Inventário de GEE, permitindo que uma organização conheça o seu perfil de emissões, e, com base nele, possa identificar oportunidades de redução e tomar ações para minimizar seus impactos.

Ao mesmo tempo, uma parcela cada vez maior da sociedade tem se conscientizado sobre os problemas advindos do aquecimento do planeta e buscado alternativas mais sustentáveis no seu dia-a-dia, o que tem afetado as relações de consumo em todos os setores da economia. Essas preocupações refletem-se, também, na criação de índices no mercado de capitais, como o Índice Dow Jones de Sustentabilidade, que questionam as organizações quanto às suas emissões e influenciam nas decisões de instituições financeiras e investidores quanto à concessão de crédito e realização de investimentos (FERRÃO, 2016).

Assim, as organizações que quantificam suas emissões por meio dos Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa e atuam para reduzi-las se antecipam aos riscos de regulamentações futuras e ganham competitividade em relação aos seus concorrentes na aquisição de crédito e vantagens internacionais, como por exemplo, o financiamento de projetos com ganho sustentável por meio do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo instituído pelo Protocolo de Quioto (UNFCCC, 2017a). Além disso, as empresas que atuam de maneira proativa na gestão de suas emissões tem o potencial de melhorar sua reputação junto ao mercado, servindo de exemplo para outras organizações e contribuindo com sua parcela de responsabilidade na superação deste desafio mundial.

## **CAPÍTULO II – OBJETIVOS**

### **II.1 – OBJETIVO GERAL**

Elaborar o Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) de uma empresa do setor de produção de gases industriais localizada no Estado do Rio de Janeiro, identificando suas principais fontes de emissão e propondo ações estratégicas de mitigação.

### **II.2 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- Calcular a quantidade total de CO<sub>2</sub>e emitido pela empresa inventariada;
- Identificar oportunidades de redução das emissões de GEE;
- Comparar o perfil de emissões com outras empresas produtoras de gases;
- Comparar o perfil de emissões com outras indústrias na região;
- Analisar a participação das fontes de emissão em cada Escopo;
- Identificar oportunidades de melhoria na coleta de dados;
- Propor ações estratégicas de redução das emissões que apresentem viabilidade ambiental e econômica e
- Elaborar um plano de mitigação;



## **CAPÍTULO III – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **III.1 – A POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E OS GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE)**

A Resolução CONAMA nº 3, de 28 de junho de 1990, define o conceito de poluição atmosférica como “qualquer forma de matéria ou energia com intensidade, concentração ou características que possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e à qualidade de vida da comunidade” (BRASIL, 1990, p. 1). Embora não tão facilmente identificados quantos outros tipos de poluição, a Organização Mundial da Saúde (2016) destaca que os efeitos nocivos decorrentes da poluição do ar estão associados a mais de três milhões de mortes por ano, principalmente devido a problemas respiratórios (como asma, bronquite e câncer de pulmão) e cardiovasculares, das quais 90% ocorrem em países de baixa e média renda.

De modo geral, o nível da poluição do ar é resultante da interação de um complexo conjunto de fatores, por exemplo, a magnitude das emissões de poluentes atmosféricos, topografia da região (vales, planícies), mecanismos de remoção e condições meteorológicas que se apresentem favoráveis ou desfavoráveis à sua dispersão, tais como ventos, altura da camada de mistura, chuvas, etc (FORNARO, 2013). O Fórum Global de Poluição Atmosférica (2012) destaca como principais fontes de poluição do ar o uso de combustíveis fósseis para transporte e geração de energia, atividades industriais, queima de resíduos, madeira e outros combustíveis domésticos e fontes naturais, como vulcões, incêndios florestais e tempestades de poeira.

Os agentes poluidores podem ser classificados em grupos, de acordo com o estado físico (na forma de gases e vapores ou de material particulado), classe química (orgânicos ou inorgânicos), tipo de composto (compostos de carbono, nitrogênio, enxofre e halogenados) e origem (poluentes primários ou secundários). Os poluentes primários são aqueles liberados das fontes de poluição diretamente para o ar, tais como os gases que saem da chaminé de uma indústria ou do escapamento de um automóvel, enquanto os poluentes secundários são

formados a partir de reações químicas entre as substâncias comumente presentes na atmosfera e os poluentes primários (FIGUEIREDO, 2016). O Quadro 1 contém os principais poluentes atmosféricos de acordo com as classificações mencionadas.

**Quadro 1** – Classificação dos poluentes atmosféricos.

<b>Classificação</b>	<b>Exemplos</b>
Material Particulado	Poeiras, fuligem, fumaça, neblinas, gotículas
Gases e Vapores	CO, CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , NO <sub>x</sub> , HC, NH <sub>3</sub> , Cl <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S
Poluentes Primários	CO, SO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , COV, material particulado
Poluentes Secundários	O <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , NO <sub>2</sub> , nitratos de peroxiacil (PAN).
Poluentes Orgânicos	HC, aldeídos, sulfatos, ácidos orgânicos, nitratos orgânicos.
Poluentes Inorgânicos	CO, CO <sub>2</sub> , Cl, SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , poeira mineral, névoas, ácidas e alcalinas.
Compostos de Enxofre	SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> S, COS, CS <sub>2</sub> , DMS, sulfatos.
Compostos Nitrogenados	NO, NO <sub>2</sub> , HNO, NH <sub>3</sub> , nitrato
Compostos de Carbono (COV)	Alcanos, alcenos, aldeídos, álcoois, cetonas, aromáticos, nitratos de peroxiacil (PAN), etc.
Compostos Halogenados	HCl, HF, CFC, HFC, PFC, HCFC, cloretos, fluoretos

Fonte: Guimarães (2016); Fornaro (2013); Figueiredo (2016 *apud* ASSUNÇÃO, 1999).

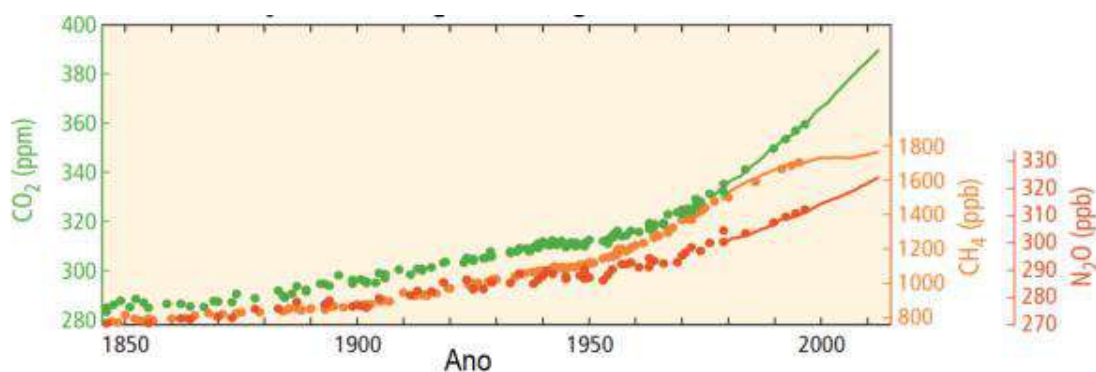
O aumento da industrialização e da urbanização ao longo do último século resultou em um crescimento expressivo nas fontes antropogênicas de poluição. Além da mencionada elevação nas taxas de mortalidade em decorrência de doenças respiratórias e cardiovasculares, as consequências do aumento da poluição do ar englobam a intensificação de fenômenos como a chuva ácida e o efeito estufa.

A primeira é causada por reações de hidrólise entre o vapor de água atmosférico e poluentes primários sulfurados e nitrogenados (SO<sub>x</sub> e NO<sub>x</sub>), gerando como produto ácidos fortes, como o H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e o HNO<sub>3</sub>, que podem causar danos patrimoniais às cidades por corrosão de mármore e pedras calcárias, além de provocar alterações nas características de corpos hídricos e solos, afetando a biota a eles associada. Por conta da ação dos ventos no transporte das nuvens de chuva, estes efeitos podem ser sentidos inclusive em regiões muito distantes dos pontos de emissão (USP, 2017).

A intensificação do efeito estufa, por outro lado, é resultado do aumento da concentração na troposfera de poluentes como  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$ , provenientes principalmente da queima de combustíveis fósseis, e gases refrigerantes, oriundos do uso de compostos halogenados em sistemas de refrigeração. Essa intensificação afeta a dinâmica das reações na atmosfera, elevando a temperatura do planeta e o nível dos mares, o que potencializa a ocorrência de catástrofes naturais, como enchentes, incêndios florestais, estiagens e ondas de calor, aumenta o risco de alagamentos em regiões costeiras e ameaça a biodiversidade em ecossistemas que dependem de um delicado equilíbrio ecológico (WWF, 2017).

### EVIDÊNCIAS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

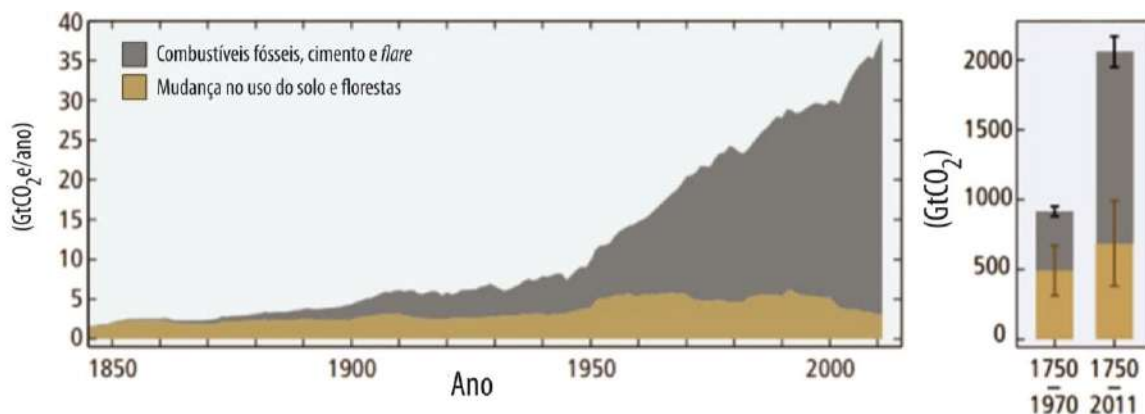
O rápido aumento observado na concentração de GEE na atmosfera tem causado preocupação crescente em todo o mundo por conta dos danos que a aceleração do efeito estufa pode causar à vida no planeta. Acompanhamentos da presença no ar de GEE como o dióxido de carbono, o metano e o óxido nitroso, apresentados na Figura 2, mostram que suas concentrações subiram durante o século XX a taxas superiores ao que seria característico de um ciclo natural de aquecimento.



**Figura 2** – Concentrações médias globais de GEE na atmosfera dos anos 1850 aos anos 2000.

Fonte: IPCC, 2014.

De fato, os níveis de evolução dos GEE da Figura 2 não são observados há no mínimo oitocentos mil anos para os três gases (IPCC, 2014). As emissões de  $\text{CO}_2$  de origem antrópica, por sua vez, apresentaram expressivo crescimento no mesmo período, como ilustra a Figura 3.



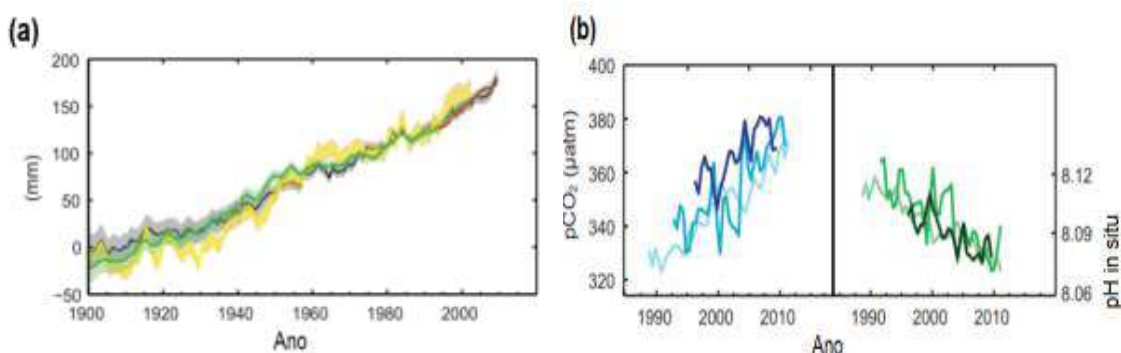
**Figura 3** – Emissões globais de GEE de origem antrópica dos anos 1850 aos anos 2000. A área cinza ilustra as emissões da queima de combustíveis fósseis, *flares* e produção de cimento; A área marrom indica emissões causadas por mudanças no uso do solo e florestas. Fonte: IPCC, 2014.

O IPCC, instituição científica de referência que se dedica a estudar as mudanças climáticas, concluiu em seu mais recente relatório (2014, p. 2) sobre as diversas alterações observadas no planeta e suas causas:

A influência da ação humana no sistema climático é clara, e as emissões atuais de gases de efeito estufa de origem antropogênica são as maiores na história. As mudanças observadas no clima vêm causando impactos generalizados a sistemas humanos e naturais. O aquecimento do sistema climático é inequívoco, e desde os anos 1950, muitas das mudanças observadas são inéditas em intervalos que vão de décadas até milênios. A atmosfera e os oceanos se aqueceram, as quantidades de neve e gelo diminuíram e o nível dos mares aumentou.

O nível dos mares também tem aumentado devido à expansão térmica e ao derretimento das geleiras nos polos. Além deste efeito, o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera resulta no aumento de sua dissolução nos oceanos, que, apesar de atuarem como sumidouros por esta razão, passam em contrapartida por um processo de acidificação. O

processo de acidificação causa uma gama impactos ambientais como a destruição de recifes de corais, cujas estruturas de  $\text{CaCO}_3$  se dissolvem na água do mar mais rapidamente do que a taxa de reposição destes organismos. Como resultado, atualmente cerca de 1/3 das espécies de corais do mundo estão em risco de extinção e, com eles, inúmeras espécies de peixes e outros animais que os utilizam como abrigo durante suas fases de desenvolvimento (SHAPLEY, 2010). As alterações observadas no nível dos mares e no pH dos oceanos são mostradas na Figura 4.



**Figura 4** – Mudanças no nível médio global dos mares (a) e processo de acidificação (b), acompanhada via  $\text{CO}_2$  dissolvido (esq.) e pH médio dos oceanos (dir.). Fonte: IPCC, 2013.

### III.2 – OS GASES DE EFEITO ESTUFA

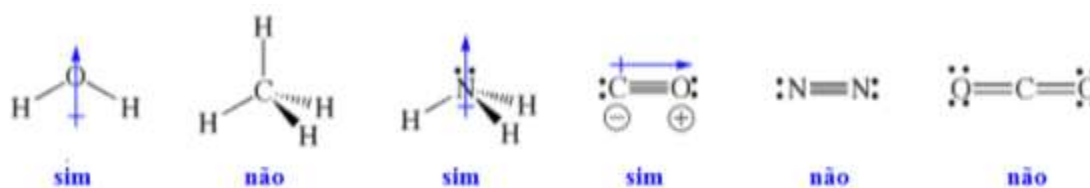
Parte da radiação solar que chega a Terra é refletida de volta ao espaço e parte é absorvida pela superfície do planeta, que ao aquecer libera grande parte da energia na forma de radiação infravermelha (IV). Os gases de efeito estufa (GEE) são substâncias capazes de reter uma parcela desta radiação e reemiti-la posteriormente em todas as direções, o que faz com que parte da energia efetivamente retorne à superfície terrestre (SHAPLEY, 2011). A este fenômeno de aprisionamento de calor foi dado o nome de efeito estufa. Ele é uma ocorrência natural e imprescindível para a existência de vida na Terra, pois possibilita que a temperatura média do planeta se mantenha em torno de  $15^\circ\text{C}$  e que a água se apresente no estado líquido. Sem ele, a temperatura média da superfície da Terra seria em torno de  $-15^\circ\text{C}$

(USP, 2017). Os mecanismos através dos quais os GEE são capazes de absorver a energia irradiada na faixa do infravermelho serão discutidos a seguir.

### III.2.1 – LIGAÇÕES POLARES E MOMENTO DE DIPOLO

A densidade eletrônica de uma ligação covalente depende das eletronegatividades dos átomos envolvidos no par. Nos casos em que átomos diferentes interagem, a densidade eletrônica tende a ser maior na região próxima ao átomo mais eletronegativo, dando origem a um dipolo elétrico, o qual pode ser representado por um vetor. O vetor resultante de todas as ligações de uma molécula é denominado momento de dipolo e indica em que direção se encontra a polarização eletrônica da espécie.

Algumas moléculas envolvidas em ligações covalentes não possuem momentos de dipolo resultante, como é o caso do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), do nitrogênio ( $\text{N}_2$ ) e do metano ( $\text{CH}_4$ ). Embora as ligações C–O e C–H apresentem polaridade (o monóxido de carbono, por exemplo, é uma molécula polar), devido à geometria molecular do  $\text{CO}_2$  e do  $\text{CH}_4$ , os vetores envolvidos nas suas ligações se cancelam. A Figura 5 traz alguns exemplos de momentos de dipolo moleculares.

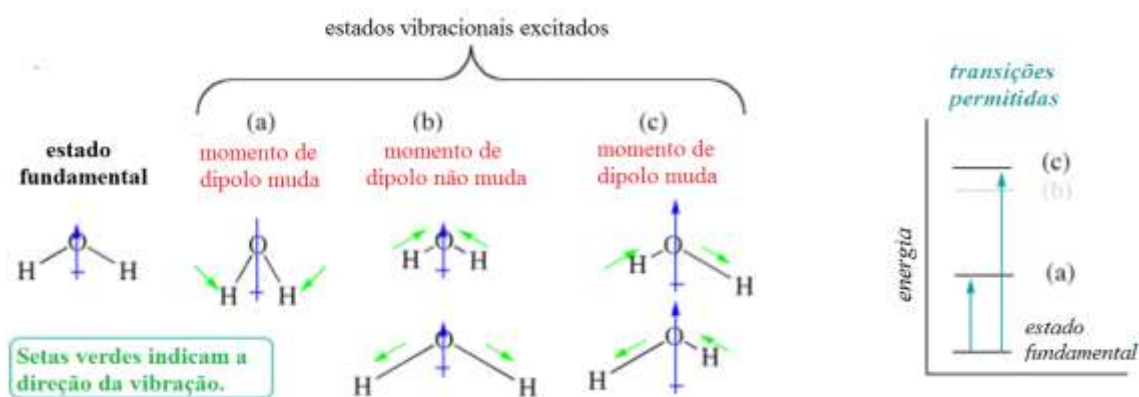


**Figura 5** – Exemplos de espécies que possuem e que não possuem momento de dipolo molecular.  
Fonte: Adaptado de Shapley (2011).

### III.2.2 – VIBRAÇÕES MOLECULARES E ENERGIA DE TRANSIÇÃO VIBRACIONAL

Ao receber energia, substâncias monoatômicas como o Argônio podem aumentar a sua velocidade. Substâncias poliatômicas, além do aumento de velocidade, podem também incorporar a energia recebida do ambiente na forma de energia vibracional, esticando e comprimindo suas ligações em padrões denominados modos de vibração. Guedes e Moreira (2017) definem os modos de vibração como as formas como uma molécula pode se movimentar preservando seu centro de massa. Cada modo normal de vibração é caracterizado por um tipo diferente de movimento e possui uma simetria, energia e frequência de oscilação associadas. Quando a molécula absorve energia e vibra, ela deixa seu estado fundamental e passa a um nível de energia superior por meio de uma transição vibracional, que, assim como as transições eletrônicas, está associada a **quantidades discretas de energia**. Por essa razão, para que a molécula possa absorver energia, é necessário que a radiação incidente tenha a mesma frequência que um de seus modos normais de vibração (SHAPLEY, 2011).

A Figura 6 ilustra os modos vibracionais característicos da molécula de água e seus momentos de dipolo resultantes, além dos níveis de energia correspondentes a cada transição vibracional.



**Figura 6** – Modos vibracionais da molécula de  $H_2O$  e energias de transição associadas.

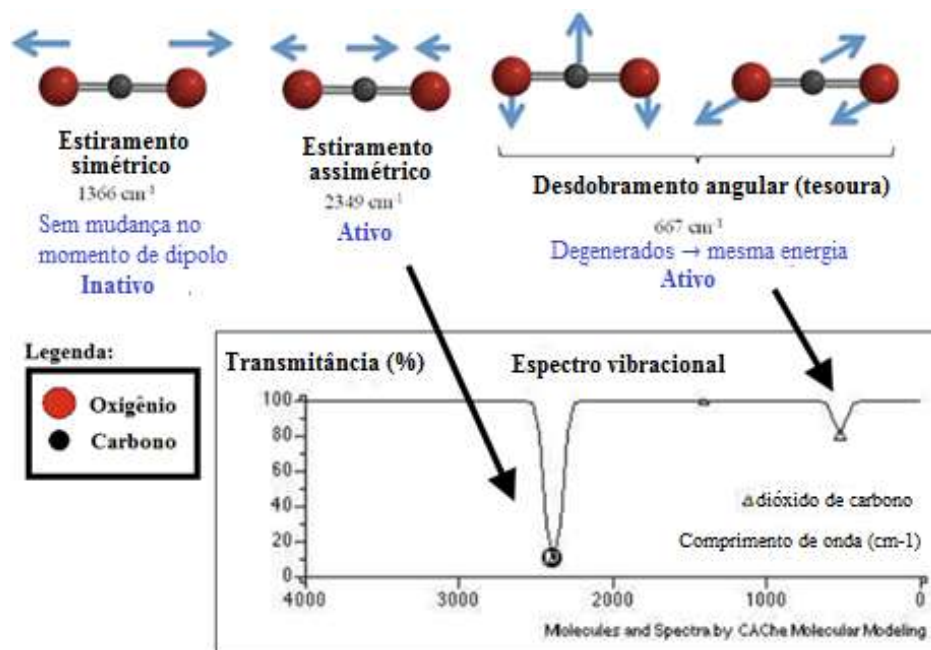
Fonte: Adaptado de Shapley (2011).

As setas verdes indicam a direção em que as ligações são esticadas e comprimidas nos modos de vibração, enquanto as setas azuis mostram o momento de dipolo resultante na molécula em cada situação. Embora a água apresente três modos vibracionais possíveis, são observadas absorções de energia apenas nos modos (a) e (c). Shapley (2011) afirma que este fenômeno se deve à regra de seleção para as transições vibracionais, na qual uma transição entre os níveis de energia só se faz possível caso ocorram mudanças no momento de dipolo do modo vibracional. Segundo Donoso (2017), isso se deve ao fato de que um dipolo oscilante gera um campo elétrico em torno da molécula que é capaz de interagir com a componente elétrica da radiação eletromagnética. Este efeito pode ser observado mesmo em moléculas apolares, nos casos em que seus modos vibracionais causam a formação momentânea de um dipolo.

### III.2.3 – ABSORÇÃO NA FAIXA DO IV PRÓXIMO

Um exemplo de modos vibracionais que produzem mudança no momento de dipolo molecular ocorre no dióxido de carbono. Embora em seu estado fundamental o CO<sub>2</sub> seja uma molécula apolar (momento de dipolo nulo), alguns dos seus modos de vibração dão origem a estruturas com momentos de dipolo não nulos. Por essa razão, o CO<sub>2</sub> pode absorver radiação infravermelha. Isto pode ser verificado em seu espectro de absorção no IV, mostrado na Figura 7, juntamente com os modos de vibração correspondentes.





**Figura 7** – Modos de vibração ativos para o IV e espectro de absorção do CO<sub>2</sub> no IV.

Fonte: Elaboração própria com base em Ophardt (2003) e Osibanjo, Curtis e Lai (2017).

Os dois desdobramentos angulares mostrados na Figura 7 são denominados degenerados porque representam o mesmo movimento, apenas deformando em direções diferentes, sendo o primeiro na direção do eixo y e o segundo na direção do eixo z. Como são processos equivalentes, apresentam a mesma energia associada e por isso são vistos em uma mesma banda do espectro de absorção.

Há três processos principais pelos quais uma molécula pode absorver energia proveniente de uma radiação eletromagnética: por meio de transições rotacionais, vibracionais e eletrônicas. Em todos os casos, a elevação do nível de energia interna da molécula é sempre proporcional à radiação absorvida, por meio de transições de um nível de energia inferior para um nível de energia superior em intervalos quantizados. Este princípio é utilizado na espectroscopia de absorção para medir a parcela de radiação que não é absorvida pela amostra e chega ao detector, dando origem a um espectro de transmitância como o visto na Figura 7. Os comprimentos de onda associados a cada radiação e transições possíveis estão esquematizados no Quadro 2.

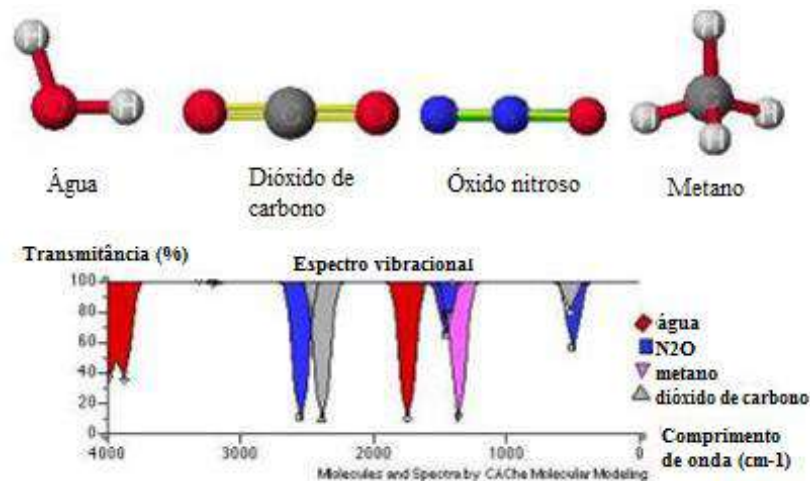
**Quadro 2** – Radiações eletromagnéticas e tipos de transição associados.

Comprimento de onda	Radiação	Tipo de transição
10-50 nm	Raios-X	Transições nucleares
50-1000 nm	UV-visível	Transições eletrônicas
1000-20.000 nm	IV próximo	Transições vibracionais
20.000-100.000 nm	IV distante	Transições rotacionais
100-10.000 $\mu\text{m}$	Microondas	Transições rotacionais
1-100.000 cm	Ondas de rádio	Acoplamento de spins

Fonte: Shapley (2011); Live Science (2015).

Podemos ver que a radiação eletromagnética na faixa do infravermelho próximo (IV próximo) se enquadra no nível de energia necessário às transições vibracionais.

Como mencionado, a superfície do planeta absorve a energia contida na radiação solar e emite posteriormente parte desta energia na forma de radiação IV. O que as moléculas classificadas como GEE têm em comum é o fato de apresentarem modos de vibração ativos na região do infravermelho. Por sua vez, as moléculas que compõem a maior parte da atmosfera ( $\text{N}_2$  e  $\text{O}_2$ ) não apresentam modos de vibração com alterações no momento de dipolo e, portanto, são incapazes de absorver a radiação emitida pelo planeta. A Figura 8 ilustra o espectro de absorção no IV de alguns GEE.



**Figura 8** – Espectro de absorção no IV de alguns GEE. Fonte: Ophardt (2003).

Vejamos agora quais são os dois tipos de GEE na atmosfera e por que são classificados dessa forma.

### III.2.4 – GEE DIRETOS

O grupo de GEE diretos abrange os gases que apresentam absorção expressiva de radiação IV na atmosfera e por isso atuam diretamente na intensificação do efeito estufa. Verificamos no espectro apresentado na Figura 8 que a água também é um GEE. Seu equilíbrio, entretanto, é regulado por um ciclo natural envolvendo a substância na atmosfera ( $H_2O_{(v)}$ ) e nos corpos hídricos ( $H_2O_{(l)}$ ). Sua rápida dinâmica de evaporação, coalescência (agregação em torno de partículas sólidas) e condensação contribuem para diminuir o impacto de absorção de radiação IV devido à sua breve permanência na atmosfera. Os GEE diretos controlados pelo Protocolo de Quioto, por sua vez, apresentam tempos de vida na atmosfera muito mais longos e emissões diretamente associadas às atividades humanas, cujas fontes estão resumidas no Quadro 3.

**Quadro 3** – Principais gases de efeito estufa diretos e suas fontes de emissão antropogênica.

<b>Gases</b>	<b>Principais fontes</b>
Dióxido de carbono ( $CO_2$ )	Uso de combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás natural) e mudança no uso da terra.
Óxido nitroso ( $N_2O$ )	Tratamento de dejetos animais; uso de fertilizantes; queima de combustíveis fósseis; alguns processos industriais (nylon fertilizantes).
Metano ( $CH_4$ )	Decomposição da matéria orgânica em aterros sanitários, lixões e reservatórios de hidrelétricas; criação de gado, cultivo de arroz e queima de biomassa.
Clorofluorcarbonos (CFC)	Embora tenham sido eliminados no Brasil por lei, ainda há equipamentos de refrigeração e ar condicionado que operam com esses gases (controlados pelo Protocolo de Montreal).
Hidrofluorcarbonos (HFC)	Aerossóis e refrigeradores.
Perfluorcarbonos (PFC)	Gases refrigerantes, solventes, propulsores, espuma e aerossóis.
Hexafluoreto de enxofre ( $SF_6$ )	Isolante térmico e condutor de calor.
Trifluoreto de nitrogênio ( $NF_3$ )	Fabricação de televisores de cristal líquido, indústrias de componentes eletrônicos.

Fonte: FIRJAN, 2017.

Um GEE direto de grande relevância não listado no Quadro 3 é o ozônio troposférico ( $O_3$ ) pelo fato de este não ser emitido à atmosfera diretamente por atividades antrópicas.

Entretanto, o ozônio troposférico é um poluente secundário formado a partir de reações envolvendo precursores (poluentes primários) como óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$ ) e Compostos Orgânicos Voláteis (COV). Embora na estratosfera ele desempenhe um importante papel absorvendo a radiação ultravioleta (UV), na troposfera o  $\text{O}_3$  ocupa a posição de terceiro GEE mais importante para o aquecimento global, devido à sua grande capacidade de absorção da radiação IV, estando atrás somente do dióxido de carbono e do metano (IPCC, 2001).

### III.2.5 – GEE INDIRETOS

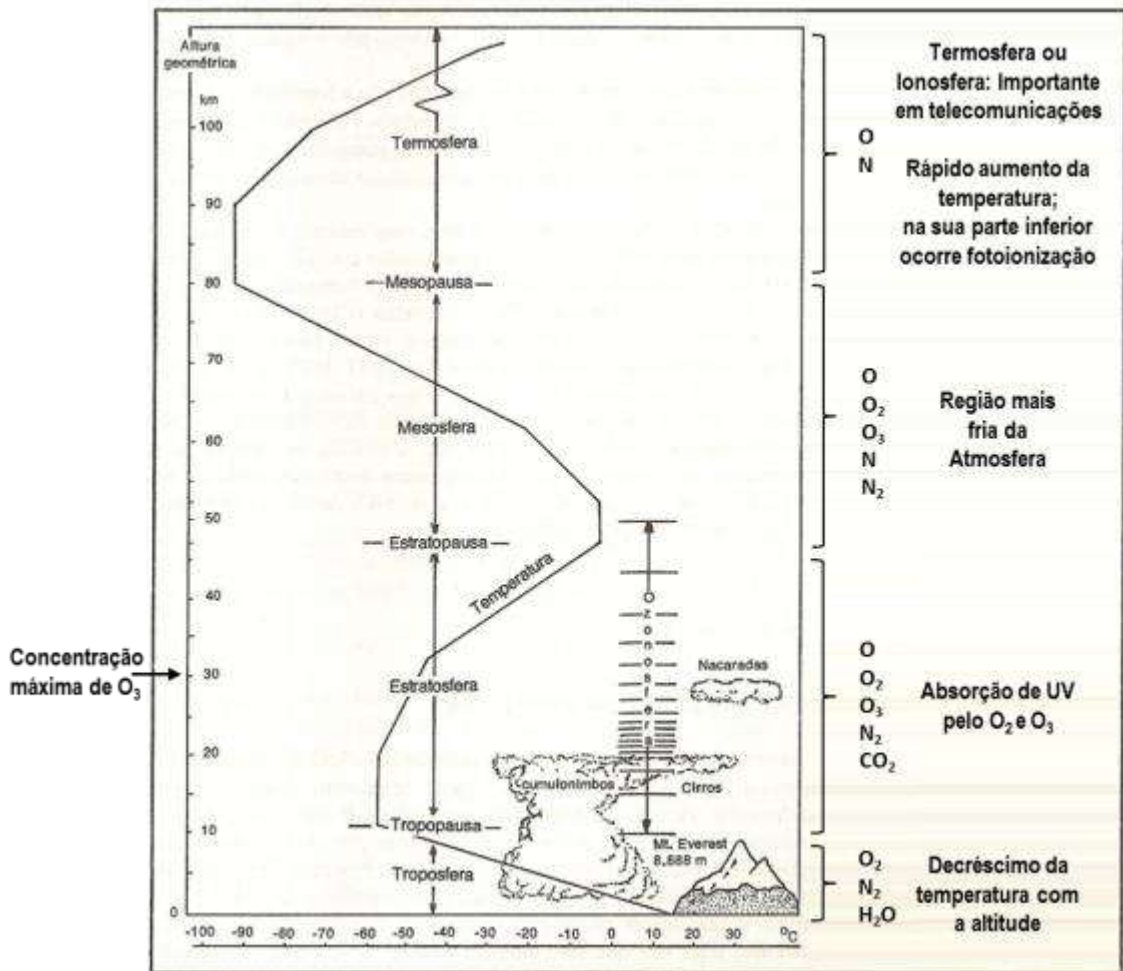
Adicionalmente aos gases citados, alguns poluentes como CO,  $\text{NO}_x$  e COV são denominados gases de efeito estufa indiretos (e/ou traços de gases) por não absorverem quantidade relevante de radiação IV e, no caso dos COV, seu carbono fóssil ter sido previamente contabilizado no balanço do  $\text{CO}_2$ . Entretanto, estes gases participam de processos que agravam o efeito estufa, incluindo a geração de ozônio troposférico e o prolongamento do tempo de vida dos GEE diretos (IPCC, 2001).

Em contraste, o tempo de vida destes gases é curto, pois reagem rapidamente com OH ou NO e são removidos;  $\text{NO}_x$ , por exemplo, que é emitido em sua maior parte como NO e entra em equilíbrio em poucos minutos com  $\text{NO}_2$ , apresenta tempo de remoção entre um dia na camada limite planetária, e dez dias na troposfera livre. Estes efeitos e conceitos serão discutidos no próximo item.

### III.3 – AS CAMADAS DA ATMOSFERA TERRESTRE

A atmosfera terrestre apresenta uma estrutura vertical composta por várias camadas que se diferem entre si em aspectos como temperatura, densidade e composição química. Não existe uma separação efetiva entre elas, e sim, circulação constante de matéria e energia, o que faz com que ocorrências em uma região tenham relevância para as demais. Dentre as

camadas mostradas na Figura 9, que se localizam a até 110 km de altitude, a troposfera e a estratosfera são as mais relevantes, pois nelas ocorre grande parte dos fenômenos meteorológicos e de poluição do ar de interesse prático (UEHARA, 2009).

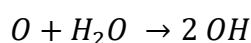
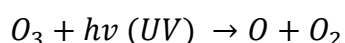


**Figura 9** – Estrutura das camadas da atmosfera. Fonte: Elaboração própria a partir de Uehara (2009); Rodrigues (2006) e Guimarães (2016).

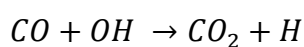
### III.3.1 – TROPOSFERA

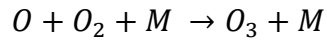
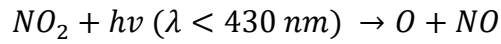
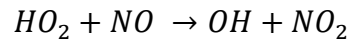
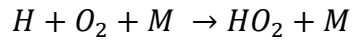
A troposfera é a camada mais próxima da superfície terrestre, com altitude entre 15 a 18 km na superfície do Equador e 6 a 8 km nos polos, concentrando 80% da massa da atmosfera. Nela se originam a maior parte das massas de ar e dos eventos meteorológicos que impactam a superfície do planeta. Também responde pelas maiores movimentações atmosféricas verticais, principalmente devido à convecção resultante do aquecimento do ar próximo ao solo durante o dia e ao choque de massas de ar contra obstáculos topográficos. Ela se divide por altitude em camada limite planetária (até 1 km) e troposfera livre (acima de 1 km). A temperatura nesta faixa cai rapidamente com a altitude até chegar em  $-56^{\circ}\text{C}$  (GUIMARÃES, 2016).

Uma das características mais relevantes acerca de nossa atmosfera é que ela é um ambiente oxidante, por conta da grande presença de oxigênio. A maioria das substâncias que entra em contato com ela sofre reações de oxidação e seus produtos finais depositam-se na superfície terrestre ao longo do tempo. Devido a este efeito, a oxidação é um processo muito importante para a remoção de poluentes atmosféricos (RODRIGUES, 2006 *apud* BAIRD, 2003). Segundo o IPCC (2001), todos os GEE, com exceção do  $\text{CO}_2$ , são removidos por reações dentro da própria atmosfera, sendo o OH o principal agente oxidante na troposfera. Ele se forma a partir da fotodissociação do ozônio pela exposição a raios UV, conforme o par de equações:

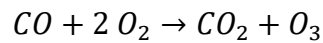


Na troposfera, ocorrem diversas reações de interesse para o efeito estufa, tais como a formação de ozônio por reações envolvendo  $\text{NO}_x$ , COV, CO e OH. Como há participação de radiação neste processo, o ozônio é formado com maior intensidade no período diurno (RODRIGUES, 2006). As reações do OH com o CO e  $\text{NO}_x$  estão detalhadas nas equações a seguir (GUIMARÃES, 2016).



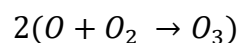
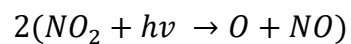
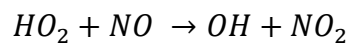
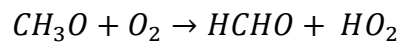
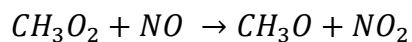
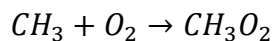
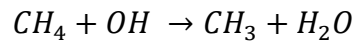


Equação global:

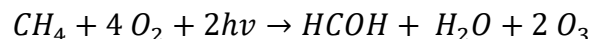


Sendo M uma molécula como  $O_2$  ou  $N_2$ , que absorve a energia da reação e estabiliza o radical formado (RODRIGUES, 2006).

As reações do OH com o metano também constituem a fonte principal de remoção da atmosfera deste e de outros GEE que contenham pelo menos um átomo de hidrogênio. As equações a seguir mostram a cadeia de reações parciais para remoção do  $CH_4$  por oxidação (GUIMARÃES, 2016):



Equação global (Metano):



O metano possui ainda efeito interno de amplificação no qual cada incremento de CH<sub>4</sub> na atmosfera aumenta o tempo de vida do CH<sub>4</sub> existente em 40%. Além disso, a adição de CO na atmosfera perturba o equilíbrio O<sub>3</sub>-OH-CH<sub>4</sub>, fazendo com que a cada 100 Mt de CO produzam perturbação equivalente a mais 5Mt de CH<sub>4</sub> (IPCC, 2013)

É possível observar nas duas reações globais apresentadas que o OH participa como um catalisador, pois não é consumido como reagente e nem formado. Uma vez que o radical hidroxila atua rapidamente nestas e em diversas outras reações com gases, mesmo em traços, a sua abundância na troposfera é controlada pela intensidade local de radiação UV e pela presença de NO<sub>x</sub>, COV, CH<sub>4</sub>, O<sub>3</sub> e H<sub>2</sub>O. Na maioria dos casos, o radical se transforma em HO<sub>2</sub>, regenerando o OH após reação com O<sub>3</sub> ou NO. Entretanto, caso o intermediário reaja com outras substâncias, por exemplo, HO<sub>2</sub> (gerando 2 H<sub>2</sub>O) ou com NO<sub>2</sub> (formando HNO<sub>3</sub>), o radical OH se perde (IPCC, 2001).

A química da troposfera constitui um sistema complexo de reações. Além do OH, ela também depende fortemente da temperatura local, da presença de ozônio troposférico, do nível de umidade (H<sub>2</sub>O) e das interações entre aerossóis formados por COV e traços de gases (NO, NO<sub>x</sub>, N<sub>2</sub>O), devido às numerosas sinergias apresentadas por estes fatores. Há fatores ainda cujas interações resultam paralelamente em amplificação e diminuição do efeito estufa, como é o caso do NO<sub>x</sub>, que, ao reagir com o HO<sub>2</sub> para regenerar OH, auxilia na remoção de poluentes; ao mesmo tempo, sua fotólise gera o radical oxigênio que dá origem ao ozônio troposférico (IPCC, 2001).

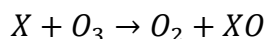
Entre a troposfera e a estratosfera existe uma zona de transição de cerca de 3 km denominada tropopausa, cuja principal característica é a temperatura próxima à isoterma, variando entre -50°C e -55°C (UEHARA, 2009).



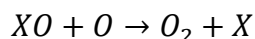
### III.3.2 – ESTRATOSFERA

A estratosfera tem seu limite superior a cerca de 50 km de altitude e é responsável principalmente pela absorção de radiação UV do Sol em uma região chamada ozonfera. A camada tem relativamente pouca movimentação vertical em comparação com a troposfera, devido ao gradiente positivo – e estável – de temperatura com a altitude, atribuído principalmente, à energia absorvida pelas moléculas de ozônio.

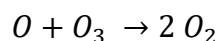
Compostos halogenados tiveram grande participação na rápida diminuição da ozonfera detectada nos anos 80 devido à sua elevada capacidade de destruir moléculas de ozônio, efeito atribuído principalmente aos gases refrigerantes contendo CFC (clorofluorcarbonos) (BODANSKY, 2001). Este efeito ocorre porque ao receber radiação UV, o composto é fotolisado e libera seu átomo de halogênio (representado abaixo por X), que em seguida destrói o ozônio conforme a reação a seguir:



Ao colidir posteriormente com outro radical livre (por exemplo, O), o halogênio perde o átomo de oxigênio e reinicia o ciclo:



Reação global:



Ao somar as duas reações, percebemos que o halogênio tem efeito catalítico. Por esta razão, uma única molécula de CFC que chegue à estratosfera é capaz de eliminar em média 150 mil moléculas de ozônio (GUIMARÃES, 2016). Entretanto, desde o Protocolo de Montreal, que aboliu a produção dos CFC e levou à sua gradual substituição por alternativas menos agressivas à camada de ozônio, a concentração destas substâncias na estratosfera vem aumentando mais lentamente e algumas vem apresentando diminuição, de acordo com o 3º Relatório do IPCC (2001).

Nesta camada e nas camadas superiores da atmosfera, a radiação UV promove ainda a fotólise de outros GEE que não são oxidados pelo radical OH na troposfera, como o  $N_2O$ , os PFC e o  $SF_6$ . O transporte vertical destes gases para regiões onde há radiação UV mais intensa é controlado pelo pequeno fluxo ascendente de  $O_3$ . Por essa razão, estes gases apresentam tempos de vida mais longos. Vale observar ainda que a destruição de alguns dos compostos gera radicais de halogênio, sendo possível inferir uma relação de *feedback* entre a concentração de  $O_3$  (e conseqüente transporte e fotólise de compostos halogenados) e a sua taxa de remoção na estratosfera (IPCC, 2001).

Na divisão entre a estratosfera e a mesosfera, há uma região de cerca de 5 km de extensão denominada estratopausa, que apresenta temperatura em torno de  $0^\circ C$  e acentuada queda na concentração de oxigênio molecular.

### III.3.3 – MESOSFERA

Nesta região a presença de moléculas é rara e predominam as partículas e íons livres. A presença de vapor de água e  $CO_2$  é insignificante, sendo os principais constituintes o oxigênio e o nitrogênio monoatômicos. O perfil de temperatura com a altitude é decrescente, sendo maior mais próximo à estratosfera devido à presença da camada de ozônio e chega aos  $-90^\circ C$  nas imediações da termosfera, a 90 km da superfície terrestre. A camada se estende por aproximadamente 30 km e a mesopausa por cerca de 10 km (UEHARA, 2009).

### III.3.4 – TERMOSFERA

É a última camada da atmosfera e estende-se de 90 km até cerca de 1000 km de altitude. Apesar da noção vaga de temperatura devido à presença diminuída de espécies químicas, a temperatura é estimada em torno de 500K a 2000K. O principal ponto de interesse na termosfera é uma região denominada ionosfera que se localiza no começo desta camada e é rica em íons livres que refletem as ondas de rádio e por isso têm importância vital para as telecomunicações e aplicações por satélite (CAMPOS, 2017).

### III.4 – O CENÁRIO ATUAL NO BRASIL E NO MUNDO

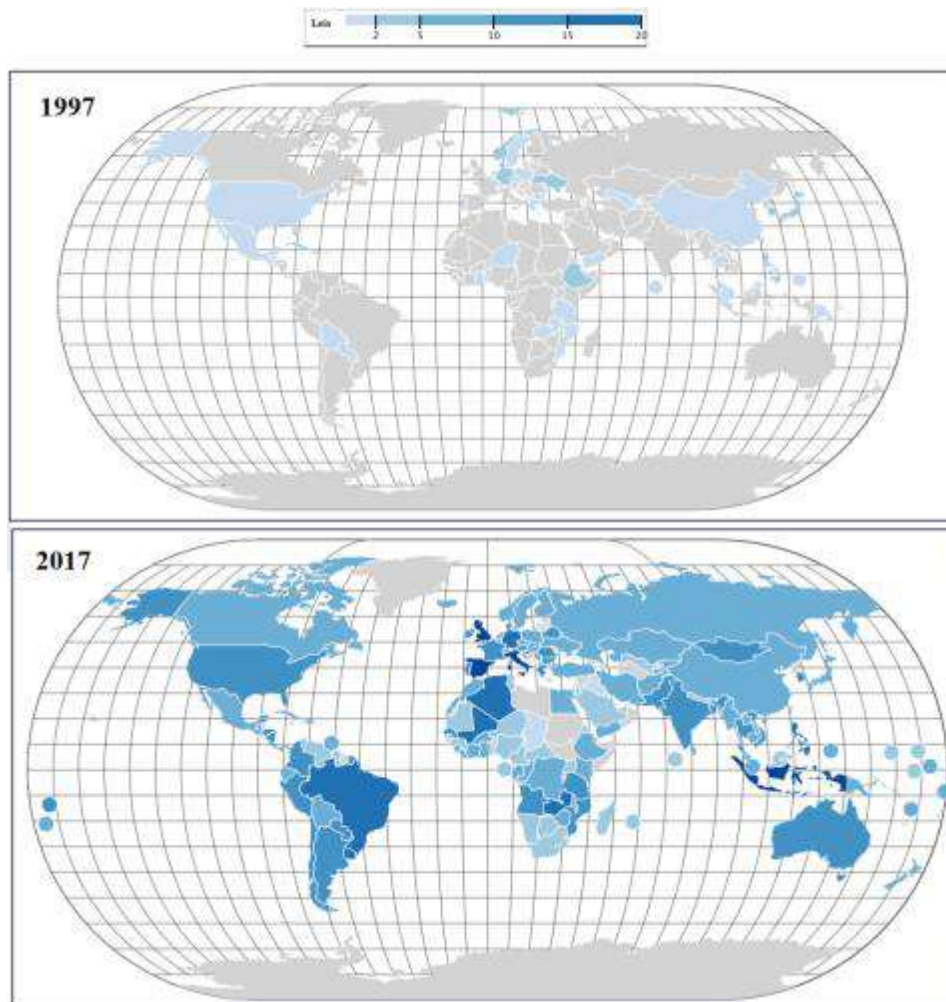
Ao final dos anos 80, a descoberta de danos extensivos à camada de ozônio concentrados sobre a Antártica – e a comprovação posterior de que eram causados principalmente pelas emissões de CFC – demonstrou de maneira dramática o potencial das atividades antrópicas de alterar as características da atmosfera e elevou o interesse global por discussões acerca das mudanças que estavam ocorrendo (BODANSKY, 2001). Representantes de diversos países passaram a se posicionar sobre a questão climática, que se tornou uma pauta intergovernamental: a conferência geral da ONU (1988) a classificou como “uma preocupação comum da humanidade”, reconhecendo a necessidade de estudos mais aprofundados sobre as suas causas.

Em 1992, ocorreu no Rio de Janeiro a Cúpula da Terra (ECO-92), a primeira conferência internacional da ONU sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, que contou com a participação de 172 países. Nela, foi proposto um alinhamento internacional com o objetivo de proteger o clima em respeito às gerações atuais e futuras (FIRJAN, 2017). Este marco resultou na criação da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, ou UNFCCC, que instituiu a Conferência das Partes (COP) – reunião anual dos países-membros – e iniciou a fase de negociações acerca de mecanismos para viabilizar a redução das emissões de GEE.

A partir destes esforços, surgiu o Protocolo de Quioto (em 1997), com metas claras de redução de emissões ao longo dos períodos de 2008-2012 e de 2013-2020, somente para as nações desenvolvidas. O Brasil foi um dos cerca de cinquenta países em desenvolvimento – que, até então, não possuíam obrigação legal nesse sentido – a estabelecer metas voluntárias de redução de GEE junto à UNFCCC em 2009, durante as negociações do Acordo de Copenhague (ROBINSON, 2010).

Os anos que se seguiram ao Protocolo de Quioto foram marcados por um aumento expressivo na quantidade de nações buscando de alguma forma se posicionarem sobre o tema, o que representou o transporte para a prática dos compromissos estabelecidos nas conferências (EVANS, 2017). Este movimento pode ser verificado no mapa da Figura 10, que

ilustra a mudança na quantidade de leis a respeito das mudanças climáticas entre os anos de 1997 e 2017.



**Figura 10** – Países com leis e políticas acerca das mudanças climáticas. A profundidade dos tons indica a quantidade de atos (leis e/ou políticas), sendo os tons mais escuros – como Reino Unido e Itália – indicativos de 20 atos ou mais e tons mais claros – como Venezuela e África do Sul – indicativos de 5 leis ou menos. Fonte: Adaptado de Nachmany et al. (2017).

Em 20 anos, o cenário mudou de um número escasso de legislações em apenas alguns países para uma base legal robusta abrangendo quase todo o planeta. De fato, segundo o relatório de Nachmany et al. (2017), há atualmente apenas cinco países que não possuem

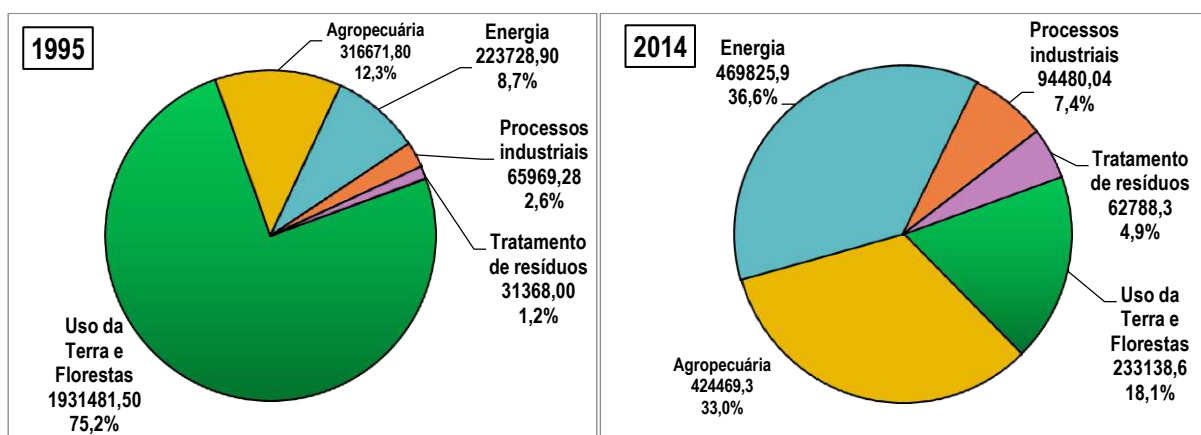
qualquer tipo de instrumento legal para o combate às mudanças climáticas (Líbia, Sudão, Somália, Comores e Guiné Equatorial).

Em 2015, a adoção do Acordo de Paris iniciou uma transição nas estratégias de atuação da UNFCCC. O modelo adotado pelo Protocolo de Quioto, em que apenas os países desenvolvidos tinham metas de redução de GEE, foi substituído pelo entendimento de que todos os países são responsáveis por este enfrentamento. No Acordo, 197 países concordaram em programar estratégias de longo prazo para atingir o pico de emissões globais o mais rápido possível e conter o aumento de temperatura neste século a no máximo 2°C acima dos níveis pré-industriais, com esforços adicionais para mantê-lo abaixo de 1,5°C. De acordo com o jornal *The Guardian* (2017), até novembro de 2017, os Estados Unidos (segundo maior emissor global de GEE), despontavam como o único país funcional no mundo a não ratificar o Acordo de Paris.

Os compromissos firmados pelo Brasil junto à UNFCCC ocorreram em 2009 e em 2015, nos Acordos de Copenhague e Paris, respectivamente. O compromisso voluntário assumido em 2009 tem como meta a redução entre 36,1% e 38,9% (1.168 a 1.259 GtCO<sub>2e</sub>) das emissões totais de GEE projetadas até 2020 (3.236 GtCO<sub>2e</sub>) e foi oficializado por meio da PNMC, Política Nacional sobre Mudança do Clima (BRASIL, 2017b). Para o Acordo de Paris, foi firmada uma redução nas emissões de 37% até 2025 em relação ao ano-base de 2005, com indicativo de redução de 43% até 2030, com base em estratégias como aumento do uso de biocombustíveis e outras energias renováveis e melhorias de eficiência energética e no manejo de terra e florestas (FIRJAN, 2017).

Uma das formas propostas pela PNMC para facilitar a execução destas diretrizes são planos setoriais de mitigação, sob responsabilidade do Poder Executivo, cujas metas de redução são gradativas e distribuídas entre os setores de Energia, Uso da terra e Florestas, Agropecuária, Processos Industriais e Tratamento de Resíduos (BRASIL, 2017a). Os inventários nacionais de emissões de GEE para o acompanhamento das metas são elaborados a cada 5 anos pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), que publica estimativas anuais para informar os setores interessados da sociedade (FRANÇA, 2016).

Até o ano de 2014 – estimativa mais recente disponível no Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE, 2017) – uma parcela significativa da redução havia sido alcançada, por conta principalmente do setor de Uso do Solo e Florestas, cujas emissões apresentaram queda de 87,93% no período de 1995 a 2014. Esta redução efetivamente modificou o perfil de contribuição para as emissões totais do Brasil dos cinco setores avaliados, conforme demonstrado pela Figura 11.



**Figura 11** – Emissões de dióxido de carbono equivalente, por setor. Fonte: SIRENE, 2017.

De acordo com Mazzola (2015), o principal motivador para a redução no setor mencionado foi a implantação pelo Governo Federal de uma política de contenção ao desmatamento da Amazônia com ações que vêm ocorrendo desde 2004. O setor de Uso de Solos e Florestas, contudo, é o único a apresentar reduções absolutas nas emissões em relação a 1990. Como se verifica no Quadro 4, as emissões de todos os demais setores do Brasil apresentaram consistentemente uma tendência de crescimento em todos os anos até 2012 (ano do último inventário).

**Quadro 4** – Emissões absolutas de gases de efeito estufa no Brasil, por setor, de 1990 a 2012.

Setores	1990	1995	2000	2005	2012	Variação	
	GgCO <sub>2</sub> e					1995-2005	2005-2012
Energia	187.739	227.604	298.611	328.377	446.154	44,3%	35,39%
Processos industriais	52.537	63.065	71.674	77.943	85.365	23,6%	9,5%
Agropecuária	303.772	335.775	347.882	415.724	446.445	23,8%	7,4%
Florestas	815.965	1.940.420	1.343.136	1.179.067	175.685	-39,2%	-85,1%
Resíduos	29.061	33.677	38.517	41.887	49.775	24,4%	18,8%
<b>TOTAL</b>	<b>1.389.074</b>	<b>2.600.543</b>	<b>2.099.820</b>	<b>2.042.998</b>	<b>1.203.424</b>	<b>-21,4%</b>	<b>-41,1%</b>

Fonte: MMA (BRASIL, 2017a).

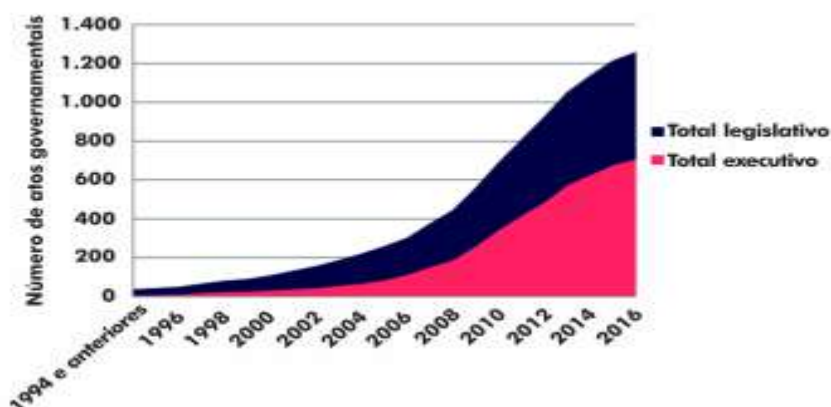
Este fato, somado aos indicativos recentes de mudanças na postura do Brasil com relação às questões ambientais, tais como a alteração no Código Florestal, os cortes de verba no Ministério do Meio Ambiente (G1, 2017) e a constatação de aumento no desmatamento na Amazônia (INPE, 2016) revelam uma tendência oposta à demonstrada quando da assinatura dos Acordos de Copenhague e Paris e têm gerado questionamentos em observatórios internacionais quanto à capacidade do país de cumprir sua primeira meta de redução de emissões em 2020 (CAT, 2017).

### III.5 – AS LEIS INTERNACIONAIS E NACIONAIS SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

A primeira legislação internacional com metas e prazos para a redução de emissões de GEE foi o Protocolo de Quioto, que entrou em vigor em 2005. Enfatizando o princípio de “responsabilidades comuns, porém diferenciadas”, este compromisso se aplicava com força de lei apenas nas nações desenvolvidas (37 das 192 signatárias). De acordo com a UNFCCC (2011), além de mudanças em políticas internas, nações desenvolvidas poderiam também fazer uso de três mecanismos auxiliares instituídos pelo tratado para flexibilizar o alcance de suas metas: o Comércio de emissões (Mercado de carbono), a Implementação Conjunta (IC) e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), que serão mais bem detalhados no próximo item.

O Acordo de Paris, por sua vez, estabeleceu a participação de todas as nações signatárias na redução de emissões por meio de Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs, em inglês) e elaboração de políticas que contribuam para este fim (FIRJAN, 2017). Assim, as NDCs representam, em suma, o esforço que cabe a cada país para que a meta de manter a elevação média da temperatura global abaixo de 2°C até o fim do século seja alcançada. Para tal, os países se comprometeram a reportar a cada 5 anos seus inventários de emissões de GEE, a comunicar os esforços empreendidos na forma de objetivos de redução por período e ações planejadas, e a cooperar entre si visando atingir o objetivo máximo de frear as mudanças climáticas.

Prevaleceu o entendimento de que as nações apresentam diferentes capacidades de execução de medidas e que os países em desenvolvimento atingirão seu pico de emissões em um prazo mais longo do que as nações desenvolvidas. Por esta razão, estão previstas estruturas de cooperação para acelerar a implantação de uma economia de baixo carbono nos países em desenvolvimento por meio de mecanismos financeiros e de transferência de tecnologia e conhecimento (*know-how*) dos países desenvolvidos. O Acordo também instituiu metas de Adaptação visando reduzir a vulnerabilidade global às mudanças do clima, pelo compartilhamento de cases de resiliência implantados com sucesso pelas nações participantes (UNFCCC, 2017b). A oficialização destes compromissos implicou no crescimento do número de regulações que tratam do tema em todo o mundo, processo ilustrado pela Figura 12.



**Figura 12** – Número de atos governamentais sobre mudanças climáticas de 1994 até 2017. Fonte:

Adaptado de EVANS, 2017.



De 1997 até 2017, a quantidade de atos governamentais legislativos (leis, políticas públicas) e executivos (decretos, medidas provisórias, planos de crescimento) estabelecendo ações de enfrentamento às mudanças climáticas saltou de 60 para mais de 1250 atos – um crescimento de mais de 20 vezes em 20 anos.

É possível notar na Figura 12 que a taxa de produção de novas leis e decretos vem caindo. Como observado por Nachmany et al. (2017) em relatório sobre a evolução das regulações acerca das mudanças climáticas, este fenômeno é esperado, uma vez que no cenário atual a maioria dos países instituiu políticas nacionais que cobrem grande parte dos principais pontos de atenção, o que reduz a necessidade de criar de novas leis. Segundo o mesmo relatório, o maior desafio global reside atualmente na consolidação das regulações existentes para que atinjam os resultados pretendidos.

No Brasil, a PNMC (Lei nº 12.187 de 2009, regulamentada pelo Decreto nº 7.390 de 2010) constituiu o marco regulatório para as políticas sobre mudanças climáticas e deu responsabilidade ao Poder Executivo por criar planos setoriais nas frentes de mitigação de emissões e adaptação às mudanças climáticas (BRASIL, 2017a). A partir da PNMC, o número de estados brasileiros com Políticas Estaduais sobre Mudanças Climáticas (PEMC) subiu de três em junho de 2009 para quinze em outubro de 2017, como ilustrado na Figura 13.



**Figura 13** – Mapa das leis sobre mudanças climáticas nos estados brasileiros.

Fonte: Adaptado de FÓRUM CLIMA, 2017.

Como pode ser observado no mapa da Figura 13, apenas quatro estados (RJ, SP, PB e MS) possuem metas definidas quanto à mitigação de emissões. No Estado do Rio de Janeiro, o Decreto nº 43.216/2011 define como meta geral a redução da intensidade de emissões (tCO<sub>2</sub>e/PIB) até 2030 em relação ao ano-base de 2005, busca aumentar o uso de energias renováveis na matriz energética e incentiva substituições tecnológicas que reduzam a intensidade das emissões na produção industrial (FIRJAN, 2017).

O Quadro 5 apresenta a síntese das legislações estaduais sobre mudanças climáticas em vigor ou em fase de projeto de lei (PL), até o mês de outubro de 2017.

**Quadro 5 – Políticas Estaduais de Mudanças Climáticas no Brasil.**

Região	Estado	Leis que instituem as PEMC
Norte	AC	Lei 2.308/2010 – Sistema Estadual de Incentivos a Serviços Ambientais - SISA, Programa de Incentivos por Serviços Ambientais – ISA Carbono e demais Programas de Serviços Ambientais.
	AP	Projeto de Lei da Política Estadual de Mudanças Climáticas do Amapá. Minuta preliminar para consulta pública desde 15/09/2009.
	AM	Lei 3.135/2007 – Mudanças Climáticas, Conservação Ambiental e Desenvolvimento Sustentável.
	PA	PL da Política Estadual de Mudanças Climáticas do Amapá. Minuta preliminar para consulta pública desde 15/09/2009.
	TO	Lei 1.917/2008 – Política Estadual sobre Mudanças Climáticas, Conservação Ambiental e Desenvolvimento Sustentável.
Nordeste	BA	Lei 12.050/2011 – Política sobre Mudança do Clima.
	PB	Lei 9.336/2011 – Política Estadual de Mudanças Climáticas.
	PI	Lei Nº 6.140/2011 - Política Estadual sobre Mudança do Clima e Combate à Pobreza.
	PE	Lei 14.090/2010 – Política Estadual de Enfrentamento às Mudanças Climáticas
Centro Oeste	GO	Lei 16.497/2009 – Política Estadual sobre Mudanças Climáticas.
	MT	PL da Política Estadual de Mudanças Climáticas. Minuta preliminar em trâmite desde 27/10/2010.
	MS	Lei nº 4.555/2014 – Política Estadual de Mudanças Climáticas
Sudeste	ES	Lei 9.531/2010 – Política Estadual de Mudanças Climáticas
	MG	PL 1.903/2007 – Política Estadual de Mudanças Climáticas
	RJ	Lei 5.690/2010 – Política Estadual sobre Mudança Global do Clima e Desenvolvimento Sustentável
	SP	Lei 13.798/2009 – Política Estadual de Mudanças Climáticas
Sul	PR	Lei 17.133/2012 – Política Estadual sobre Mudança do Clima
	RS	Lei 13.594/2010 – Política Gaúcha sobre Mudanças Climáticas
	SC	Lei 14.829/2009 – Política Estadual sobre Mudanças Climáticas e Desenvolvimento Sustentável

Fonte: Antunes e Sanchez (2013); Fórum Clima (2017); Piauí (2014); Mato Grosso do Sul (2017).

As principais estratégias utilizadas por essas legislações para alcançar suas metas envolvem mecanismos em oito esferas: **De Mercado** (ex.: projetos de MDL e Mercado de Carbono); **Econômica** (financiamentos, fundos e linhas de crédito); **Fiscal** (alterações na aplicação de taxas e tributos); **Regulatória** (licenciamento ambiental e outros instrumentos regulatórios); **Pesquisa** (fomento a produções técnico-científicas em temas como economia do clima, metodologias para inventários de emissões de GEE, entre outros); **Educação e capacitação** (educação ambiental nas redes pública e particular de ensino e cursos de formação em mudanças climáticas, principalmente para funcionários públicos); **Gestão** (Planos estratégicos, gestão de riscos e áreas protegidas, instrumentos de ordenamento territorial, indicadores de sustentabilidade, criação de núcleos de adaptação às mudanças do clima, entre outros); e de **Monitoramento ambiental** (do clima, de indicadores socioeconômicos, da biodiversidade, etc.) (FÓRUM CLIMA, 2017).

Os princípios das políticas estaduais envolvem majoritariamente ações reativas de minimização de impactos decorrentes da mudança climática que tenham causado prejuízos econômicos notáveis em suas regiões, como alagamentos, deslizamentos de terra e crises de abastecimento de água. As iniciativas envolvem, por exemplo, melhorias na gestão dos recursos hídricos, zoneamento costeiro, uso e ocupação irregular do solo, manutenção da cobertura florestal, etc. Ainda são poucas as iniciativas estaduais voltadas a criar capacidade adaptativa e de resiliência, como identificado por Speranza & Resende (2015) no relatório 'Adaptação às mudanças climáticas no Brasil: subsídios para o debate e a construção de políticas públicas'.

Um exemplo de iniciativa de destaque neste sentido foi à criação do Centro de Operações Rio após o episódio de fortes chuvas na Cidade do Rio de Janeiro em 2010. A existência do centro integrado possibilita a realização de ações permanentes de prevenção e o aprendizado constante por meio da análise de tendências e da comunicação entre os órgãos competentes, além de garantir maior velocidade na mobilização de recursos para responder aos cenários de adversidade.

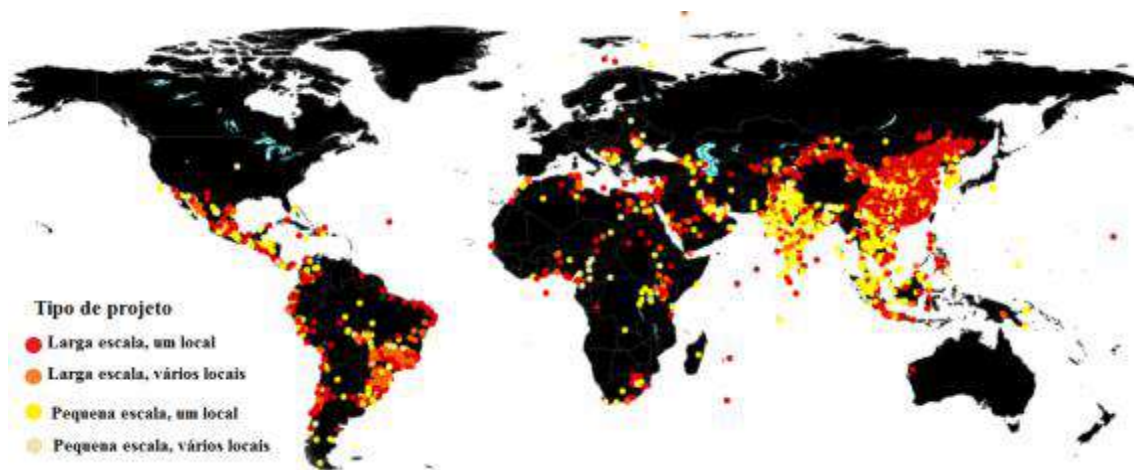
### III.6 – OS MECANISMOS DO PROTOCOLO DE QUIOTO

O Protocolo de Quioto foi adotado em 11 de dezembro de 1997 e entrou em vigor de 16 de fevereiro de 2005. Reconhecendo que os países desenvolvidos são os principais responsáveis pelos níveis de GEE observados na atmosfera como resultado de mais de 150 anos de atividade industrial, o Acordo atribuiu a essas nações parcelas maiores de responsabilidade na contenção do aquecimento global por meio de metas de redução de GEE com força de lei. Ao final do 1º período do Protocolo (2012), a redução total observada nas emissões ultrapassou a meta acordada de 5%, atingindo o patamar de 22,6% de redução de GEE.

As medidas para alcançar as metas deveriam se basear principalmente em ações internas, como mudanças na matriz energética e transição para tecnologias mais limpas. Contudo, considerando que os países desenvolvidos contam com um parque industrial relativamente antigo e que incorporar novas tecnologias a estruturas pré-existentes (*retrofit*) tende a demandar investimentos comparativamente mais altos do que em novos projetos, o Protocolo também desenvolveu três mecanismos que poderiam ser utilizados para alcançar as metas de maneira mais econômica ao mesmo tempo em que estimulava investimentos alinhados a uma economia de baixo carbono. A saber:

#### III.6.1 – MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO (MDL)

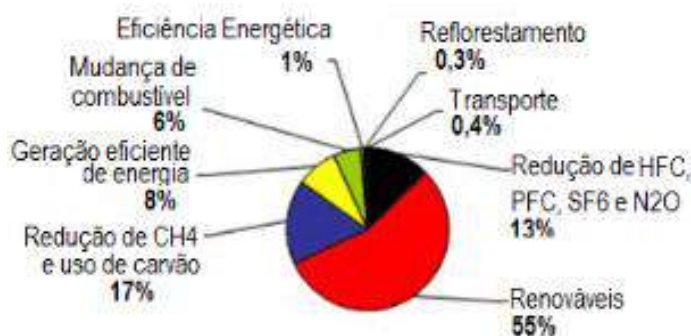
Por meio deste mecanismo, uma nação desenvolvida pode financiar projetos de redução de GEE em países em desenvolvimento por meio da compra dos Créditos de Carbono (ou Certificados de Emissões Reduzidas – CER) vendidos por estes países no mercado de carbono, que podem então ser abatidos da meta do país desenvolvido. A Figura 14 mostra a distribuição dos projetos de MDL pelo planeta.



**Figura 14** – Projetos de MDL classificados por escala e localidades. Fonte: CDM (2017).

Segundo a UNFCCC (2017c), projetos de MDL podem envolver, por exemplo, o aumento de eficiência energética em uma caldeira ou a instalação de painéis solares em um projeto de geração de energia elétrica em áreas rurais. Para garantir a integridade e credibilidade do mecanismo, os projetos são submetidos a processos de certificação e devem fornecer evidências de que produziram redução de GEE superiores ao que seria obtido na ausência de financiamento proveniente da venda dos créditos de carbono, ou seja, devem auxiliar o país em desenvolvimento a atingir resultados superiores à proposta original, por exemplo, aumentando a escala do projeto ou viabilizando o uso de tecnologias mais eficientes.

Durante o 1º período de comprometimento do Protocolo (2008-2012) o mecanismo certificou mais de 1.650 projetos em 161 países que totalizaram cerca de 2,9 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e em créditos de carbono (CER). Até 2012, cerca de metade dos investimentos em energias renováveis ocorridos nos países em desenvolvimento utilizaram recursos de MDL (CDM, 2012). O Brasil é o terceiro maior comerciante deste mercado, com cerca de 5% do total de CER negociadas mundialmente por meio de 268 projetos (BRASIL, 2012). A Figura 15 mostra a distribuição de CER esperados até 2020 em todo o mundo, divididos por setor.



**Figura 15** – Distribuição de CER esperados até 2020 por setor.

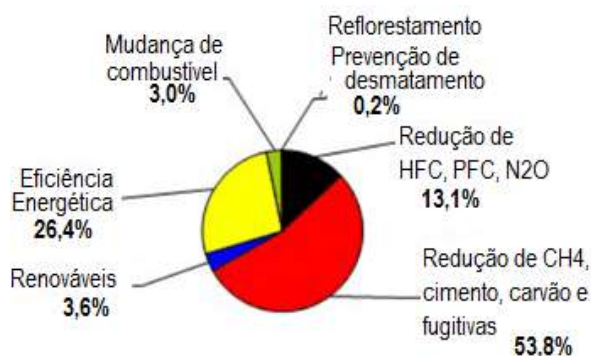
Fonte: CDM Pipeline (2012).

Exemplos desta aplicação incluem três projetos realizados em comunidades rurais da Índia, China e Nepal (CDM, 2017a) (Ref.: 121, 410, 2221, 136 e 139) que conjuntamente evitaram a emissão de cerca de 170.880 tCO<sub>2</sub>e/ano ao instalarem biodigestores domésticos e fogões e/ou aquecedores movidos a biogás. Além de reduzir emissões de CO<sub>2</sub>e, esses projetos levaram saneamento básico a cerca de 295.000 pessoas, reduziram gastos com combustível, exposições a fumos da queima de lenha, querosene e resíduos agrícolas, desmatamentos locais e erosão, além de liberarem em média 3 horas por dia do recolhimento de lenha e viagens para compra de combustível, tarefas executadas principalmente pelas mulheres.

Outro exemplo foi com a instalação de uma usina de beneficiamento de biogás sobre o antigo aterro sanitário de Gramacho, em Duque de Caxias em 2010. Segundo a Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro (2015), o biogás de Gramacho é coletado através de uma rede de captação com cerca de 300 poços a uma vazão de 20.000 Nm<sup>3</sup>/dia, concentrado a 94% na unidade e posteriormente vendido à REDUC em substituição ao gás natural da Bacia de Campos. O projeto possibilita que cerca de 300.000 tCO<sub>2</sub>e/ano deixem de ser emitidas para a atmosfera (CDM, 2017b).

### III.6.2 – IMPLEMENTAÇÃO CONJUNTA (IC)

Este mecanismo permite que um país com metas de redução de GEE possa financiar projetos executados em outro país que também possua compromissos junto ao Protocolo de Quioto, cujos abatimentos de GEE são convertidos em Unidades de Redução de Emissões – URE. Este mecanismo fornece à nação financiadora uma forma adicional de alcançar suas metas e a possibilidade de comercializar as URE no mercado de carbono, enquanto apresenta à outra nação uma fonte auxiliar de financiamento para seus projetos e a possibilidade de transferência de tecnologia (UNFCCC, 2017d). A Figura 16 apresenta a distribuição dos 761 projetos de IC com URE emitidas até 2012 divididos por tipo de projeto.



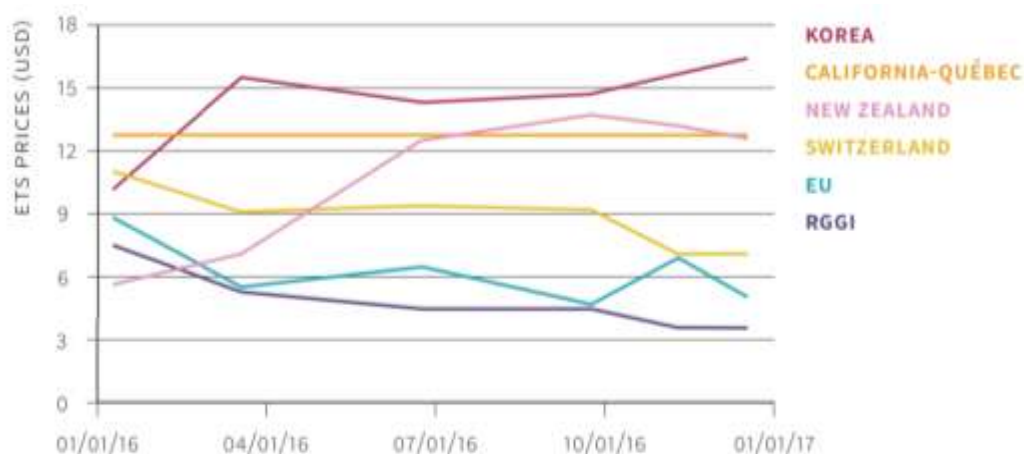
**Figura 16** – Distribuição de URE emitidas até 2012 por tipo de projeto.

Fonte: CDM Pipeline (2012).

O projeto de IC deve produzir ganhos adicionais na redução de emissões de uma fonte ou aumentos de eficiência na remoção de um sumidouro em relação ao que teria sido alcançado sem o mecanismo para que seja certificado como URE. Um exemplo de aplicação ocorreu na fábrica de fertilizantes da empresa Lovochemie, a maior da República Tcheca, que recebeu financiamento da Dinamarca para instalar um novo catalisador que gerou a redução de aproximadamente 1.250.000 tCO<sub>2</sub>e em emissões de N<sub>2</sub>O provenientes da produção de ácido nítrico entre os anos de 2008 e 2012. Adicionalmente, os fundos da venda das URE foram reinvestidos em projetos sustentáveis, que positivamente impactaram as operações da Lovochemie (JI, 2012).

### III.6.3 – MERCADO DE CARBONO (COMÉRCIO INTERNACIONAL DE EMISSÕES)

Por conta das metas de emissões acordadas pelo Tratado, os países signatários efetivamente possuem limites de emissões que são contabilizados em Unidades de Quantidade Atribuída (UQA). Caso um país signatário emita menos GEE do que sua meta, ou seja, possua UQA sobressalentes, ele pode vendê-las a outros países signatários cujas emissões estejam acima de suas respectivas metas. Isto deu status de commodity às reduções ou remoções de emissões de GEE, que passaram a ser negociadas em bolsa, dando origem ao “Mercado de Carbono”. Tanto entidades governamentais quanto empresas (caso possuam limites de emissão de GEE) podem operar estes papéis. A Figura 17 mostra os preços negociados em cinco bolsas internacionais de mercado de carbono.



**Figura 17** – Preços nos mercados de carbono pelo mundo em 2016. Fonte: ICAP (2017).

Além das UQA, as unidades de remoção de GEE mencionadas anteriormente também podem ser negociadas no mercado de carbono: URE (dos projetos de Implementação Conjunta), CER (dos projetos de MDL) e também URM (unidades de remoção, provenientes de projetos de ‘Uso do Solo, Mudanças no Uso do Solo e Florestas’, tais como projetos de reflorestamento). Cada uma destas unidades é equivalente a uma tonelada de CO<sub>2</sub>e. De acordo com a agência Reuters (2012), em 2012 o mercado de carbono estava avaliado em US\$ 176 bilhões. Até 2014, segundo o World Bank (2014), os fundos de carbono haviam apoiado projetos em 75 países equivalentes a mais de 187 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e evitadas.



Como uma forma de evitar que uma determinada nação venda seus créditos de carbono em excesso, tornando-se porventura incapaz de atingir sua meta individual, os países só podem comercializar até 10% de seus créditos totais (somatório de UQA, RCE, URE e URM). Para garantir a transparência e segurança no processo de trocas, todas as transações de créditos de carbono entre países são arquivadas em registros nacionais ligados diretamente à UNFCCC, além do MDL possuir seu próprio sistema de registro de créditos concedidos em CER (UNFCCC, 2017e).

Algumas regiões estabelecem seus próprios mercados de carbono, possibilitando trocas entre países, províncias ou cidades em uma mesma área, cujas transações também estão ligadas aos sistemas de registros da UNFCCC para fins de auditoria. A União Europeia opera o maior mercado deste tipo (EU ETS) negociando aproximadamente 45% de suas emissões, majoritariamente de usinas termelétricas (THE GUARDIAN, 2011), entre 31 países que têm permissão para comprar uma quantidade limitada de créditos de carbono fora do bloco. Há atualmente 21 sistemas independentes deste tipo em operação no mundo, abrangendo 35 países, 15 províncias e 7 cidades (ICAP, 2017), incluindo bolsas nos EUA, Coreia do Sul, Suíça, Canadá, Nova Zelândia, entre outros.

### III.7 – PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (IPCC)

Em 1988, Organização Meteorológica Mundial (WMO) e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) instituíram o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, ou IPCC, cujo objetivo de fornecer informações com sólida base técnica e científica sobre as mudanças climáticas associadas às atividades antrópicas, para auxiliar líderes de organizações e responsáveis políticos na tomada de decisão em resposta aos impactos causados por este fenômeno, por exemplo, através da formulação de diretrizes e regulamentações. Sob os preceitos básicos de neutralidade e objetividade nas análises, o órgão publica regularmente relatórios que abrangem todos os aspectos envolvidos nas mudanças climáticas, seus impactos socioeconômicos e apresenta opções de mitigação e adaptação aos cenários antecipados (FIRJAN, 2017).

A sua principal linha de trabalho consiste na revisão e consolidação dos achados mais recentes identificados em trabalhos científicos de todo o mundo para fornecer um panorama claro e amplo dos conhecimentos existentes no campo das mudanças climáticas. Sendo uma entidade intergovernamental, o IPCC conta com a contribuição de milhares de cientistas de seus 195 países-membros. Os processos de análise, aprovação e revisão de relatórios, bem como a eleição do conselho-diretor (Genebra, Suíça), ocorrem em sessões plenárias abertas a todos os membros. Segundo o próprio IPCC (2016), esta característica multicultural e científica contribui para uma análise mais aprofundada e isenta das publicações, sendo sua função limitada ao fornecimento de dados para sustentar ações de resposta, não atuando propriamente na redação das políticas ou regulamentações resultantes.

Estes esforços são compilados nos Relatórios do IPCC. Com abertura e transparência, os relatórios identificam as tendências observadas nas revisões, apresentam e ponderam as possíveis soluções para o combate ao aquecimento global e vêm produzindo resultados expressivos. O primeiro Relatório, lançado em 1990, evidenciava o caráter global dos impactos no clima e a necessidade de envolver todos os países na busca de soluções (IPCC, 2017). Por esta razão, exerceu papel fundamental na criação da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas – UNFCCC, no Rio de Janeiro em 1992. As premissas da UNFCCC de buscar soluções conjuntas para a proteção do clima e as informações presentes no segundo Relatório do IPCC, lançado em 1995, serviram de base para as negociações que deram origem ao Protocolo de Quioto, em 1997.

O IPCC segue sendo referência por seus Relatórios (o 3º lançado em 2001, o 4º em 2007 e o 5º em partes, entre 2013 e 2014) e pelo suporte a demandas específicas do UNFCCC, governos e outras instituições por informações de referência através da preparação de relatórios especiais, técnicos e metodológicos. Estes documentos são utilizados, por exemplo, para a elaboração de Inventários de Gases de Efeito Estufa (GEE) dos países-membros, fornecendo uma ampla lista de fatores de emissão para diversas substâncias e atividades (IPCC, 2017). Em 2007, o órgão foi reconhecido com o Prêmio Nobel da Paz, "por seus esforços em reunir e disseminar conhecimento sobre as mudanças climáticas causadas pelo homem e estabelecer as bases para as ações necessárias para combater estas mudanças."

(NOBEL PRIZE, 2007). Atualmente, o IPCC vem revisando achados recentes para a produção do 6º Relatório, cujo lançamento está planejado para 2022, antes da convenção para análise global dos resultados alcançados pelo Acordo de Paris, marcada para 2023 (UNFCCC, 2016).

### III.8 – O INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GEE

O inventário de emissões de GEE é o primeiro passo tomado por uma instituição em direção na melhoria da sua gestão de emissões. Ele tem o objetivo de traçar o perfil relacionado às atividades da instituição com base em padrões e protocolos internacionais, gerando um panorama que auxilia na identificação dos principais aspectos que contribuem para a sua pegada de carbono (FGV, 2009). Por essa razão, a elaboração do inventário de GEE constitui peça fundamental nos esforços para transformar o discurso de sustentabilidade em ação. Após esta etapa de autoavaliação, as organizações têm maior facilidade em apontar áreas-chave e se engajar de maneira efetiva no enfrentamento às questões relacionadas às mudanças climáticas (BM&FBOVESPA, 2017a).

O inventário consiste em uma investigação detalhada e abrangente das fontes de emissões de uma dada empresa, cidade, estado ou mesmo país, realizada de maneira estruturada. Pela forma como é feita a coleta e separação dos dados, é possível verificar posteriormente a sua procedência exata, facilitando o mapeamento de oportunidades de melhoria e de ganhos nos mais diversos âmbitos que compõem a organização. Exemplos incluem a identificação de oportunidades de redução de custos operacionais pelo aumento de eficiência nos processos – e consequente redução no gasto energético ou nas emissões relacionadas ao processo –, ao mesmo tempo em que ocorre melhoria do desempenho ambiental; a criação de indicadores próprios (dióxido de carbono equivalente por unidade de produção) que melhor representem o contexto organizacional e que permitam o acompanhamento ano a ano do desempenho ambiental visando ao aprimoramento de desempenho; bem como a replicação das soluções desenvolvidas para instalações semelhantes de uma mesma companhia ou setor. A cadeia de melhorias pode se estender, ainda, para fora

dos limites da organização ou setor específicos, com potencial para causar impactos em toda a cadeia de valor da organização inventariante ao abranger fornecedores e clientes (FGV, 2009).

Além disso, a elaboração de inventários de GEE, bem como a sua divulgação através de plataformas públicas de reporte como o *Carbon Disclosure Project* (CDP) e o *Global Reporting Initiative* (GRI) torna possível à comparação de desempenho entre companhias de diversos setores por meio de um indicador universal e quantificável, o gás carbônico equivalente (CO<sub>2</sub>e). Estas informações servem de base para discussões crescentes entre as partes interessadas, que buscam precificar o carbono emitido como forma de incorporar nas decisões de hoje os custos dos danos ambientais futuros advindos das mudanças climáticas, tais como os de safras ruins ocasionadas pela instabilidade das chuvas, variações nos preços das commodities agrícolas e prejuízos relacionados com secas e enchentes (CDP, 2012).

Assim, as empresas que divulgam seus inventários ano após ano e demonstram liderança na gestão do carbono têm mais chances de obter vantagens competitivas, tais como:

- Melhor qualificação para participar na formulação de políticas públicas e legislações específicas, defendendo seus interesses durante as etapas de definição das regras a serem seguidas pelos setores da economia;
- Participação em mercados de créditos de carbono e atração de investidores para o financiamento de projetos de melhoria;
- Aprimoramento da credibilidade no mercado e do relacionamento com suas partes interessadas, como acionistas, clientes, funcionários e sociedade, uma vez que garante a transparência no acesso a dados que têm grande relevância para a sociedade atual.
- Manutenção de registros históricos que facilitam o estabelecimento de metas voluntárias, as quais poderão ser consideradas em regulações e licenciamentos;

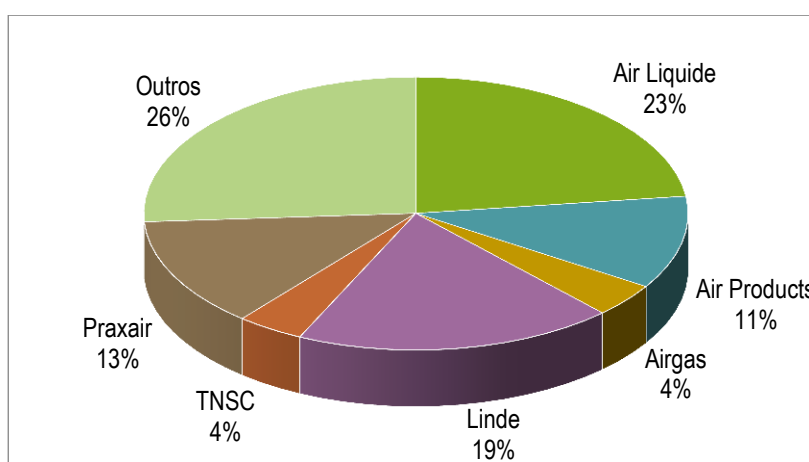
Do ponto de vista financeiro, a divulgação do inventário auxilia também na consolidação de uma carteira de investimentos composta por empresas líderes na busca de

práticas mais sustentáveis. Desta maneira, os esforços das instituições que buscam alternativas para operar com processos mais eficientes e mais limpos são recompensados com uma maior visibilidade no mercado de capitais aos investidores que buscam referências para o investimento socialmente responsável (BM&FBOVESPA, 2017b). Estes benefícios fomentam diretamente as iniciativas para frear as mudanças climáticas e contribuem para a empreitada global rumo a uma economia de baixo carbono (FGV, 2009).

## CAPÍTULO IV – ÁREA DE ESTUDO

### IV.1 – A INDÚSTRIA DE GASES

Os produtos da indústria de gases estão presentes nas atividades de diversas outras indústrias, como a siderúrgica, química e petroquímica, bem como nos setores medicinal, de alimentos e bebidas e em pequenos consumidores. Embora os produtos em si sejam bastante similares em características e custos de produção, seu mercado se insere em um ambiente complexo, cujos atores – em oposição ao encontrado em outros mercados de *commodities* – buscam a diferenciação de variadas formas, por exemplo, por meio da logística na entrega de produtos, garantias de fornecimento e formulações especiais para atender às especificidades dos clientes (PEREIRA & ASSAFIN, 2014). Os principais atores no segmento global, em ordem de faturamento, são: Air Liquide (AL), Linde Group, Praxair, Air Products (AP) e Taiyo Nippon Sanso Corporation (TNSC). A Figura 18 mostra as participações no mercado (*market share*).



**Figura 18** – Market Share do setor de gases industriais (2013).

Fonte: PEREIRA & ASSAFIN, 2014 apud SPIRITUS GROUP, 2013.

Sendo uma indústria altamente competitiva, globalizada e que se encontra em estado amadurecido, o crescimento das empresas produtoras atualmente acompanha o crescimento da economia, seja pelo aumento de demanda diretamente ligado à produção industrial, seja

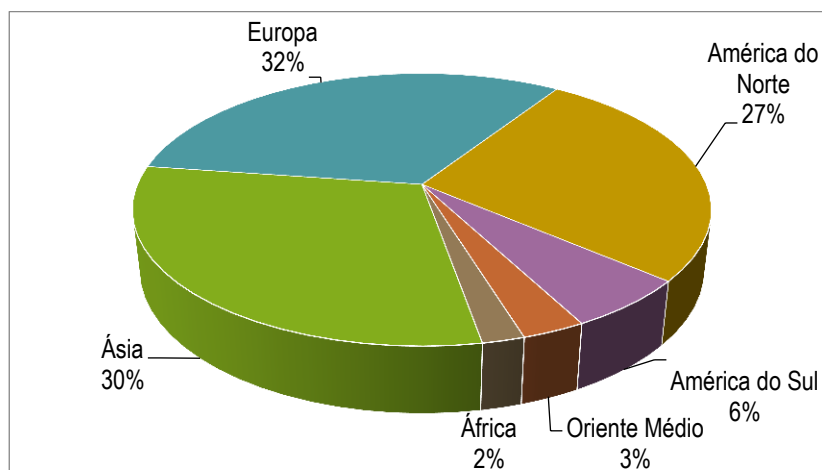
pela abertura de novos mercados. Como a distribuição dos produtos é complexa e cara, os movimentos de expansão tendem a ocorrer por meio de fusões e aquisições de empresas do setor cujas intrincadas estruturas de logística se encontram estabelecidas (PASSOS & TEIXEIRA, 2017). Isto pode ser observado na Figura 18 pelo reduzido número de grandes empresas que dominam os negócios no setor. O Quadro 6 compara a origem, os principais setores de atuação, faturamento e número de funcionários das maiores empresas do setor de gases industriais.

**Quadro 6** - Características das principais empresas do setor de gases industriais.

<b>Empresas</b>	<b>Origem</b>	<b>Principais setores de atuação</b>	<b>Funcionários e Faturamento</b>
Air Liquide	Criada na França (1902). Entrou nos Estados Unidos em 1968. Em 2004, adquiriu a Messer Griesheim e em 2016, a Airgas, tornando-se a maior empresa de gases industriais do mundo.	Alimentos Química & Energia Metais & Vidros Eletrônicos & Solda Saúde Mergulho Construção	Em 2016, possuía aproximadamente 65.000 funcionários e faturamento de US\$ 18,1 bilhões.
The Linde Group	Fundada em junho de 1879, por Carl Von Linde. Possui mais de 600 filiais em mais de 100 países.	Alimentos Química & Energia Metais & Vidros Eletrônicos & Solda Saúde Universidade	Em 2016, o grupo empregou cerca de 60.000 pessoas e teve faturamento de US\$ 15,3 bilhões.
Praxair	Em 1992 a empresa Union Carbide, vinda da Linde Division of Union Carbide Corp, se separa e forma a Praxair, com sede em Buffalo nos Estados Unidos.	Alimentos Química & Energia Metais & Vidros Eletrônicos & Solda Saúde Construção	Em 2016, a Praxair Inc. teve receita de US\$ 10,5 bilhões e cerca de 26.000 funcionários.
Air Products	Fundada em 1940, tem sede na Pensilvânia, Estados Unidos.	Alimentos Química & Energia Metais & Vidros Eletrônicos & Solda Saúde Universidade	Em 2016, empregou 15.000 funcionários e teve faturamento de US\$ 8,2 bilhões.
TNSC	A Taiyo Nippon Sanso Corporation foi criada através da fusão da Nippon Sanso Corporation e Taiyo Toyo Sanso Corp Ltd, em Outubro de 2004.	Alimentos Química & Energia Metais & Vidros Eletrônicos & Solda Saúde Universidade	Em 2016, a TNSC empregou 14.100 trabalhadores e obteve faturamento de US\$ 6,2 bilhões.

Fonte: Pereira e Assafin, 2014;AL, 2017a; Linde, 2017a;Praxair, 2017;AP, 2017a;TNSC, 2017.

A produção global de gases industriais em 2005 foi estimada em 225 bilhões de metros cúbicos pela consultoria de mercado Freedonia Group (2001). O mercado internacional de gases, por sua vez, deverá ter crescimento de 6,57% ao ano no período de 2017-2021 e atingir o valor de US\$ 58,4 bilhões negociados até o final de 2018 (ORBIS RESEARCH, 2017). Dentre as regiões com maior potencial de crescimento destaca-se o mercado da Ásia-Pacífico, cuja demanda é impulsionada pela rápida industrialização de economias como China, Índia, Coréia do Sul, Singapura e Japão. Os BRICS (organização composta por 5 países fundadores como o Brasil, Rússia, Índia e China que também inclui a África do Sul) também apresentam boas perspectivas de consumo por conta de obras de urbanização e infraestrutura para atender ao aumento populacional (TRANSPARENCY MARKET RESEARCH, 2015). A importância relativa da Ásia no mercado global pode ser percebida na Figura 19, que mostra o volume de negócios por região.



**Figura 19** – Parcela de mercado por região global (2013).

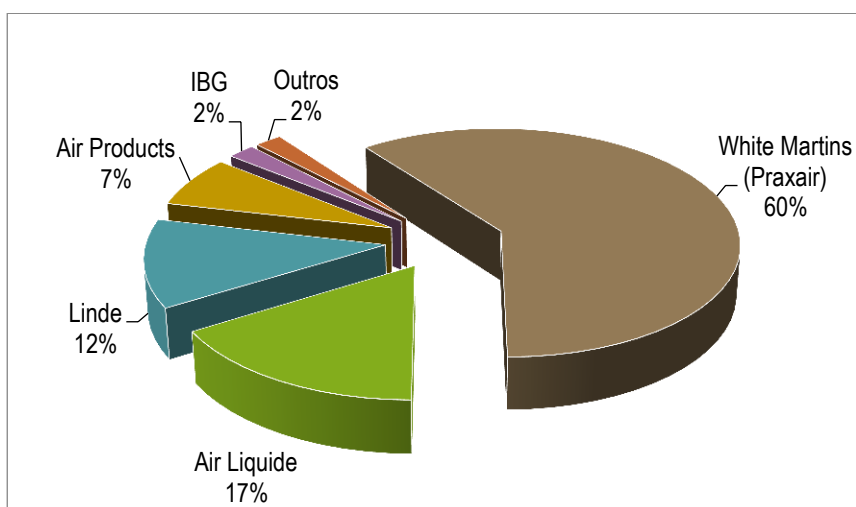
Fonte: Adaptado de Pereira e Assafin, 2014 apud Spiritus Group, 2013.

Nota-se na Figura 19 que o volume demandado pela Ásia aproxima-se da demanda da Europa e é superior à América do Norte, mesmo essas duas regiões sendo as de maior industrialização no cenário mundial. A indústria de gases tende a aumentar suas vendas em setores que atendam diretamente ao consumidor final, como fabricantes de automóveis, logística e distribuição, indústria alimentícia e indústria química. Além destes, os três setores



que têm concentrado a maior parte dos novos negócios são o medicinal – movido por uma população mundial que vive cada vez mais e demanda por serviços de saúde –, o setor de eletrônicos e o setor de manufatura, que em meio ao crescimento exponencial que têm apresentado nos últimos anos, passaram a abranger novas aplicações com gases.

No Brasil, a receita líquida da indústria chegou a R\$ 4,3 bilhões em 2009 (PEGN, 2010). A Figura 20 mostra a participação no mercado nacional de cada uma das empresas no ano de 2016.



**Figura 20** – Market Share da indústria de gases no mercado brasileiro (2016).

Fonte: Elaboração própria com base em CUNHA, 2017.

Observar-se que o mercado nacional tem participação majoritária das mesmas multinacionais que dominam o mercado mundial. A Indústria Brasileira de Gases (IBG), criada em 1992 e sediada em Jundiaí (SP), desponta como o único fabricante brasileiro do segmento, com cerca de 300 funcionários e 2% de participação no mercado, o que, em 2009, representou R\$ 100 milhões de faturamento (PEGN, 2010). Com relação à concorrência no mercado brasileiro, Pereira e Assafin (2014 *apud* Fairbanks, 2006) observam que a mesma tem se tornado mais acirrada nos últimos anos. Isso se deve principalmente aos movimentos de aumento de *market share* das empresas participantes, por investigações oficiais sobre práticas de cartel e pela diminuição de negócios com clientes internacionais, que se recusam a considerar a alta carga tributária brasileira nas negociações, pressionando pelo pagamento de um mesmo valor pelos produtos no mundo todo.

O modelo de negócios desta indústria envolve, geralmente, a instalação de unidades de separação de ar (do inglês *Air Separation Unit*, ASU) dentro ou nas imediações de grandes clientes, como usinas siderúrgicas ou polos petroquímicos. Os produtos são enviados diretamente para esses clientes via gasoduto, de maneira relativamente contínua e constante. Este modelo de fornecimento é conhecido como *On-site* e se baseia em contratos de longa duração que cobrem os elevados custos de construção da ASU e, segundo Pereira e Assafin (2014), representam uma importante barreira de entrada no mercado, pois proporcionam vantagem competitiva às empresas que os detêm, tanto em relação à logística de distribuição facilitada quanto em *Market Share*, pois grande parte das receitas do setor provém dos grandes clientes. A Figura 21 mostra uma ASU em construção.



**Figura 21** – Planta de destilação criogênica em fase de construção.

Fonte: Chemicals Technology, 2015.

As plantas construídas no modelo *On-site* costumam ser superdimensionadas, visando atender também às necessidades do mercado consumidor de pequeno e médio porte nas

redondezas. Para estes últimos, o fornecimento dos produtos se dá, respectivamente, na forma de cilindros (*Packaged*) e de líquido criogênico (granel), produto no qual as empresas costumam obter margens de lucro superiores às obtidas com os gasodutos (PASSOS & TEIXEIRA, 2017).

A Figura 22 apresenta o carregamento de caminhões de cilindros utilizados no fornecimento do tipo *Packaged*.



**Figura 22** – Carregamento em uma estação de enchimento de cilindros. Fonte: Oxiguaçu, 2017.

Dificuldades envolvendo transporte e armazenamento, exigências regulatórias cada vez mais restritivas e pressão de clientes por aspectos de qualidade e meio ambiente se apresentam como desafios para as empresas do setor. O transporte e armazenamento de gases normalmente requer que eles sejam primeiro convertidos à fase líquida, devido à grande diferença de volume entre os dois estados físicos, sendo necessário vaporiza-los posteriormente para o uso. Esse processo é complexo, caro e deve observar diversos aspectos de segurança para evitar acidentes com grande potencial de perdas, o que eleva os custos operacionais.

Na Figura 23 pode ser observada a entrega de líquido criogênico (granel) a um cliente detentor de um tanque criogênico de pequeno porte (conhecido como *microbulk*).



**Figura 23** – Fornecimento do tipo granel a um tanque *microbulk*. Fonte: Air Liquide, 2017b.

Além dos custos crescentes com o manejo de líquidos criogênicos, controles cada vez mais rígidos de qualidade vêm sendo exigidos para o fechamento de negócios, principalmente nos ramos de alimentos e gases medicinais, o que pressiona investimentos da indústria para garantir competitividade. Por fim, a busca crescente dos consumidores por alternativas mais sustentáveis representa ao mesmo tempo um risco de queda no faturamento em alguns itens do portfólio e uma oportunidade de explorar novos mercados em aplicações que aumentem a eficiência de processos e/ou reduzam as emissões de seus clientes (TRANSPARENCY MARKET RESEARCH, 2015).

#### IV.2 – PRINCIPAIS PRODUTOS E APLICAÇÕES

Os três principais gases industriais – nitrogênio, oxigênio e argônio – são também aqueles presentes em maior volume na atmosfera terrestre. Somados, eles respondem por aproximadamente 99,9% em volume do ar seco – 78,08% de nitrogênio, 20,95% de oxigênio e 0,93% de argônio (GRIMM, 2017), e por essa razão, também são conhecidos como gases do ar ou gases atmosféricos.

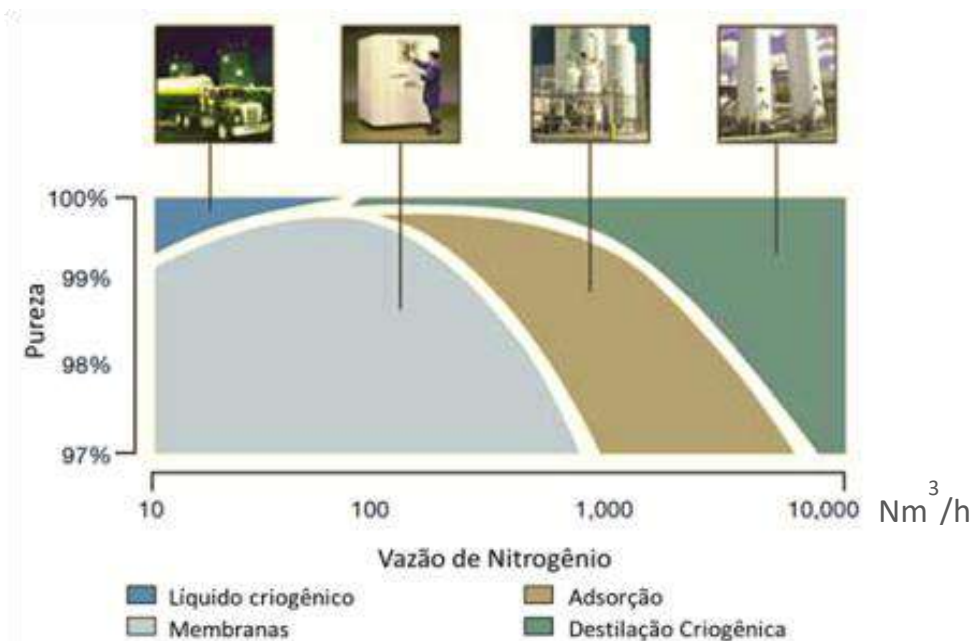
O oxigênio é utilizado na área de saúde como gás medicinal, na indústria petroquímica no craqueamento catalítico fluidizado (FCC), na siderurgia para enriquecer o ar enviado a

altos-fornos visando aumentar a eficiência na combustão, em unidades de recuperação de enxofre, bem como no tratamento de efluentes, atuando em lodos ativados, auxiliando no controle de odores, bem como na geração de ozônio para desinfecção (WHITE MARTINS, 2017a).

O nitrogênio na forma de gás é amplamente empregado para inertizar atmosferas e tubulações a fim de aumentar a segurança na operação com inflamáveis, para pressurizar poços de petróleo, como gás de purga na siderurgia evitando a oxidação do aço, bem como, na forma de líquido, para controlar a temperatura de processos e preservar materiais biológicos (WHITE MARTINS, 2017b).

O argônio, por sua vez, é empregado principalmente como gás de proteção, para gerar atmosfera inerte. Desta maneira, ele melhora a estabilidade e as características da soldagem de autopeças, chassis, silenciadores e demais equipamentos automotivos, bem como ajuda a preservar produtos alimentícios e evita a oxidação em processos de metalurgia (WHITE MARTINS, 2017c).

Para a produção dos gases mencionados acima, há três processos industriais já consolidados, que utilizam como matéria-prima o ar ambiente. São eles: destilação criogênica, adsorção por variação de pressão (do inglês *Pressure Swing Adsorption*, PSA) e separação por membranas. A opção por um dos processos depende de fatores como a vazão, pureza e perfil de demanda (contínua ou intermitente), capacidade de produzir argônio, produto na forma de líquido ou de gás, mercado consumidor nas redondezas, etc. Considerando que os métodos de distribuição tendem a ser integrados, ou seja, gasoduto, cilindros e líquidos criogênicos são normalmente provenientes da mesma planta, o processo escolhido é geralmente aquele que atende às considerações do projeto com o menor custo (PRAXAIR, 2017). A Figura 24 resume as purezas e vazões comercialmente viáveis dos três processos disponíveis para obtenção do nitrogênio.



**Figura 24** – Processos para produção de nitrogênio de acordo com a vazão e pureza.

Fonte: PASSOS & TEIXEIRA, 2014 apud IVANOVA & LEWIS, 2012.

Além dos gases do ar, há ainda outros gases industriais classificados como gases de processo (monóxido e dióxido de carbono, hélio, hidrogênio, misturas especiais e acetileno) que se inserem em diferentes ramos da economia. O dióxido de carbono, por exemplo, é produzido em categoria industrial e alimentícia e amplamente utilizado como agente criogênico para conservar alimentos, no processo de carbonatação de bebidas, produção de gelo seco, controle de pH para tratamento de água e efluentes e na produção de papel e celulose, pressurização de reservatórios para recuperação avançada de petróleo e como gás de proteção em soldas, misturado ao argônio (WHITE MARTINS, 2017d). Ele é obtido em sua maior parte pela purificação de correntes secundárias (*by-product*) provenientes de refinarias e outras indústrias químicas que o separam como um subproduto de seus processos. O processo geralmente envolve a absorção seletiva do CO<sub>2</sub> por meio de lavagem com etanolaminas, seguida de lavagem com KMnO<sub>4</sub>, para remoção de traços de H<sub>2</sub>S e aminas, e liquefação (CANGEMI, 2012).

O hidrogênio pode também ser obtido a partir de correntes *by-product*, sendo



purificado com o processo de adsorção por variação de pressão (PSA), chegando a purezas de 99,99% (NASCIMENTO, 2010). Outras formas de obtenção incluem a reforma a vapor e a reforma autotérmica de gás natural, que também podem produzir CO e/ou CO<sub>2</sub> como produtos, e a eletrólise. O hidrogênio é utilizado, por exemplo, para síntese de amônia, hidrogenação de óleos vegetais, remoção de enxofre de diversos combustíveis no processo de refino (CUNHA, 2017), geração de energia em células a combustível, soldagem de aços inoxidáveis e como gás de sinterização na indústria aeroespacial (LINDE, 2017b).

#### IV.3 – ESTUDO DE CASO: APRESENTAÇÃO DA ORGANIZAÇÃO

A indústria inventariada neste trabalho possui três unidades de produção no Estado do Rio de Janeiro, sendo uma unidade de produção de dióxido de carbono e gelo seco (CO<sub>2</sub>) localizada no município de Duque de Caxias, uma planta de destilação criogênica (ASU) – responsável pela produção de oxigênio, nitrogênio e argônio – e uma planta de purificação de hidrogênio (H<sub>2</sub>), as duas últimas em Volta Redonda. Na Figura 25 pode ser observado a torre de destilação criogênica da ASU e um dos vasos de PSA.



**Figura 25** – Torre de destilação criogênica (esq.) e vaso de PSA (dir.). Fonte: Autora.

As unidades mencionadas realizam fornecimento de produto via gasoduto (ASU e H<sub>2</sub>) e por pontos de abastecimento a granel, onde caminhões e conjuntos cavalo-carreta param para carregar. Dessa maneira, elas enviam parte de sua produção na forma de líquido para duas unidades de enchimento de cilindros (Filial 1 e 2), instaladas nas cidades de Macaé e Rio de Janeiro, que fracionam e comercializam gases atmosféricos, gases de processo e uma grande variedade de gases especiais em cilindros a clientes de menor porte de diversos segmentos, como pequenas oficinas mecânicas e laboratórios de análises clínicas. Os centros de distribuição – acoplados às unidades de enchimento de cilindros – também atendem clientes de médio porte na região, como hospitais, entregando produto na forma de líquido a tanques criogênicos que estão fisicamente localizados no cliente.

A sede administrativa está localizada na capital e é composta por um núcleo administrativo e um operacional (ADM 1 e 2). Há também duas unidades fabris nos municípios do Rio de Janeiro e Duque de Caxias (Fábrica 1 e 2), responsáveis pela manufatura de equipamentos especiais que dão suporte às operações de produção e logística. Por fim, a empresa conta com um centro de pesquisas em aplicações de gases, instalado no interior da Fábrica 2, cujos dados, para os efeitos deste inventário, foram contabilizados dentro da unidade supracitada.

Pela natureza intensiva em energia do processo produtivo, principalmente o de retificação criogênica, os custos operacionais da indústria de gases se concentram principalmente na compra de energia elétrica (PASSOS & TEIXEIRA, 2017). A Figura 26 apresenta o compressor de uma das plantas. Esses equipamentos são responsáveis pela maior parte da energia elétrica consumida na organização.





**Figura 26** – Compressor de uma das plantas industriais. Fonte: Autora.

Após consulta com engenheiros da produção, foi constatado que não há processos gerando dióxido de carbono como produto de uma reação, embora o mesmo seja separado em peneira molecular nas etapas de PSA da produção de hidrogênio e da retificação criogênica e possa ser liberado como emissão fugitiva nas tubulações da unidade de purificação de dióxido de carbono. Todo o CO<sub>2</sub> produzido nas operações da empresa no Brasil provém de plantas *by-product*, ou seja, o CO<sub>2</sub> é recuperado a partir de correntes cedidas por outras indústrias que o geram em seus processos.

Outro forte aspecto das operações consiste nos intrincados planos de logística e distribuição. Pelo fato de as empresas desta indústria também comercializarem diversos tipos de gases, inclusive GEE como o dióxido de carbono, o hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>) e o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) – estes últimos com elevados potenciais de aquecimento global, é provável que o uso de produtos vendidos constitua uma fonte expressiva de emissões de Escopo 3 para esta indústria.

## CAPÍTULO V – METODOLOGIA

### V.1 – O GHG PROTOCOL

A metodologia utilizada neste trabalho foi o The Greenhouse Gas Protocol – A Corporate Accounting and Reporting Standard (O Protocolo de Gases de Efeito Estufa – Um Padrão Corporativo de Contabilização e Reporte) ou *GHG Protocol*, ferramenta internacionalmente reconhecida para a elaboração de inventários e que hoje é a mais utilizada por empresas e governos em todo o mundo para entender, quantificar e gerenciar suas emissões. O programa foi originalmente desenvolvido nos Estados Unidos, em 1998, pelo World Resources Institute (WRI) em parceria com o World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) para atender a demandas de empresas, governos e organizações não governamentais quanto à gestão das questões ligadas ao aquecimento global (THE GREENHOUSE GAS PROTOCOL, 2017a).

Seu principal objetivo é fornecer uma série de ferramentas metodológicas padronizadas, de caráter modular e flexível, para viabilizar o cálculo das emissões de um grande número de atividades, efetivamente possibilitando que indivíduos e instituições em qualquer parte do mundo elaborem seu inventário de emissões de GEE. O uso das tais ferramentas de cálculo é detalhado em normas e diretrizes compiladas em um manual corporativo, disponibilizado publicamente (PINHO, 2009).

Embora seja a mais utilizada internacionalmente, o *GHG Protocol* não é a única metodologia existente para a elaboração de inventários. Uma pesquisa realizada por Hall e Lee (2008) com 11 empresas líderes no gerenciamento de carbono apontou que as metodologias de contabilização de emissões de GEE mais utilizadas no setor industrial incluem, também, a ISO 14.064-1 e o Defra. Todas essas metodologias visam uniformizar a maneira como as empresas devem calcular suas emissões e ajudam a dar credibilidade às corporações tanto em relação às informações comunicadas quanto às metas de redução assumidas (HALL e LEE, 2008).

Em 12 de maio de 2008, foi dado um importante passo para a criação de uma cultura nacional de gestão de GEE com o lançamento, em Brasília, do Programa Brasileiro do *GHG Protocol*. Resultado de uma parceria entre o WRI, o WBCSD, o Ministério do Meio Ambiente (MMA), o Centro de Estudos em Sustentabilidade da FGV (GVces) e o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS), o Programa Brasileiro tem o intuito de disseminar metodologias adaptadas à realidade nacional, contribuindo para o desenvolvimento da capacidade técnica e institucional de seus participantes na elaboração e publicação de inventários de GEE e na gestão voluntária de suas emissões. Um exemplo é a veiculação de todos os módulos gerais existentes em uma única planilha de cálculo e a utilização de fatores de emissão locais sempre que disponíveis, como os provenientes do Sistema Interligado Nacional para a energia elétrica e o Ministério do Meio Ambiente para o transporte rodoviário (PINHO, 2009).

Além do Brasil, o *The GHG Protocol* (2017a) também possui programas locais na Índia, México e Filipinas, que buscam desenvolver metodologias mais adequadas à realidade destes países, aprimorando a efetividade da ferramenta na resposta às mudanças climáticas. Neste âmbito, o Programa Brasileiro (2017a) destacou-se ao criar, em 2011, o Registro Público de Emissões, um banco de dados online no qual as empresas participantes podem publicar seus inventários de GEE para consulta por todas as partes interessadas, aumentando a transparência na divulgação de dados e facilitando a criação de benchmarks setoriais. Até novembro de 2017, mais de 1800 inventários estavam disponíveis para download na plataforma.

## V.2 – A GERAÇÃO DO INVENTÁRIO

Com a finalidade de aplicar as metodologias fornecidas pelo *GHG Protocol* para a confecção de um inventário de GEE – e posterior avaliação do perfil de emissões para propor ações estratégicas de redução e mitigação – foram utilizadas como objeto de estudo as operações localizadas no Estado do Rio de Janeiro de uma empresa do setor de produção de gases industriais, considerando dados referentes ao ano de 2016 (período compreendido entre

01/01/2016 e 31/12/2016). Toda a coleta de informações ocorreu com o aval da empresa, que tem interesse em conhecer e gerenciar seus impactos à comunidade e ao meio ambiente.

Este trabalho configura um inventário preliminar para estas unidades e o primeiro “passo” ou “start-up” para o estabelecimento de uma cultura e de um sistema de gerenciamento de emissões de GEE na organização.

Para tanto, foram utilizadas as diretrizes divulgadas pelo Programa Brasileiro (2008) no documento ‘Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol’, composto por 9 capítulos através dos quais o programa visa:

- Assegurar a consistência das informações relatadas com princípios internacionalmente aceitos para elaboração de inventários de GEE
- Promover a publicação dos inventários e criar um registro de fácil acesso para a consulta destes dados
- Promover uma cultura empresarial de gestão voluntária de emissões de GEE, visando facilitar a transição da economia brasileira para uma economia de baixo carbono

A estrutura em capítulos do documento é apresentada no Quadro 7.

**Quadro 7 – Estrutura das Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol**

Introdução	Introdução ao GHG Protocol
Capítulo 1	Programa Brasileiro GHG Protocol
Capítulo 2	Princípios para contabilização e elaboração do inventário
Capítulo 3	Metas organizacionais e design do inventário
Capítulo 4	Definição dos limites de um inventário de emissões de GEE
Capítulo 5	Monitorando emissões ao longo do tempo
Capítulo 6	Identificando e calculando emissão de GEE
Capítulo 7	Relatando emissões de GEE
Capítulo 8	Especificações para verificação
Capítulo 9	Definição da meta de emissões de GEE
Anexo I	Gases regulados pelo Protocolo de Kyoto e Potencial de Aquecimento Global (GWP)
Anexo II	Contabilização de emissões indiretas resultantes de energia elétrica adquirida
Anexo III	Setores industriais e escopos

Fonte: Especificações do Programa Brasileiro *GHG Protocol* (2008)

O documento apresenta os cinco princípios que devem apoiar e nortear todo o processo de contabilização e elaboração de inventários, detalhados na Tabela 1. Eles se inspiram, em parte, nos princípios de contabilidade financeira e objetivam assegurar que o inventário represente, com justiça e transparência, todas as emissões de GEE da organização.

**Tabela 1** – Princípios para contabilização e elaboração do inventário de GEE

<b>Relevância</b>	Assegurar que o inventário reflita com exatidão as emissões da organização e seja útil para a tomada de decisão de seus utilizadores – tanto internos quanto externos.
<b>Integralidade</b>	Todas as fontes dentro dos limites do inventário devem ser contabilizadas, garantindo que o documento seja abrangente e significativo. Quaisquer exclusões deverão ser documentadas e justificadas com transparência.
<b>Consistência</b>	Manter os limites do inventário, abordagens de contabilização e metodologias de cálculo consistentes entre os anos, permitindo que o utilizador compare a evolução temporal das emissões. Justificar e documentar quaisquer mudanças.
<b>Transparência</b>	Registrar informações relevantes de maneira factual, neutra e compreensível, com base em documentações claras que possam ser validadas por auditores internos e externos. Detalhar com precisão toda fonte, referência e suposição relevante.
<b>Exatidão</b>	Reduzir incertezas tanto quanto possível, garantindo que os dados sejam suficientemente precisos para que os utilizadores possam tomar decisões com razoável nível de confiança quanto à integridade das informações.

Fonte: Especificações do Programa Brasileiro *GHG Protocol* (2008)

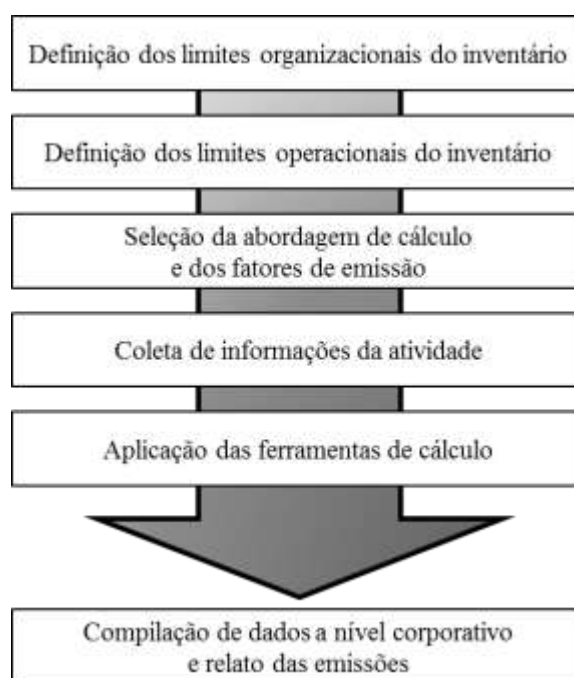
O relato deve incluir os cinco gases e duas famílias de gases internacionalmente reconhecidos como gases de efeito estufa (GEE) e regulados pelo Protocolo de Quioto, identificados no Quadro 8 juntamente com seus potenciais de aquecimento global (GWP), que indicam a contribuição para o efeito estufa de cada gás quando comparado com o dióxido de carbono, cujo GWP é definido como 1. Com esta medida, fica possível comparar os efeitos de diversas substâncias utilizando uma unidade comum, conhecida como dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e).

**Quadro 8** – Gases de efeito estufa e seus potenciais de aquecimento global (GWP).

Gás	GWP
CO <sub>2</sub>	1
CH <sub>4</sub>	25
N <sub>2</sub> O	298
SF <sub>6</sub>	22.800
HFC	124 –14.800
PFC	7.390 –12.200
NF <sub>3</sub>	17.200

Fonte: BM&FBOVESPA, 2017a.

A elaboração do inventário compreende seis etapas principais (FGV, 2009), ilustradas na Figura 27. São elas: definição dos limites organizacionais do inventário; definição dos limites operacionais do inventário; seleção da abordagem de cálculo com base nas metodologias disponíveis e dos fatores de emissão; coleta de informações da atividade; aplicação das ferramentas de cálculo para determinar as emissões; compilação de dados a nível corporativo e relato das emissões.



**Figura 27** – Etapas para a elaboração do inventário de GEE. Fonte: Elaboração própria.

## V.2.1 – LIMITES ORGANIZACIONAIS

Devido às variadas estruturas legais e operacionais que as empresas podem apresentar, tais como joint-ventures e subsidiárias, bem como participação acionária em outras empresas com ou sem poder de decisão sobre as operações, o programa apresenta duas abordagens para registrar e comunicar os dados das emissões de GEE: por controle organizacional ou por participação societária, conforme sumarizado no Quadro 9.

**Quadro 9** – Sumário das abordagens de consolidação por limite organizacional.

<b>Abordagem</b>	<b>Definição</b>	<b>Contabilização dos GEE</b>
Controle operacional	Autoridade para introduzir e implementar políticas de operação	Se possuir controle operacional: 100% Se não possuir controle operacional: 0%
Participação societária	Porcentagem de posse	Porcentagem da propriedade

Fonte: Especificações do Programa Brasileiro *GHG Protocol* (2008)

Na primeira abordagem, a empresa lista somente as atividades nas quais tem controle sobre as decisões tomadas no nível da operação, omitindo as demais participações em fontes que possua ingerência; na abordagem por participação societária, por sua vez, a empresa deve incluir as emissões de GEE relativas aos negócios que possuir, ponderadas pelo seu percentual de participação em cada empreendimento.

Neste trabalho, a abordagem escolhida para registrar e comunicar os dados de emissões foi a de controle operacional, sendo a outra opção a abordagem com base na participação societária. De acordo com o Programa Brasileiro (2008, p. 22) “Nas duas opções é obrigatório que a organização inclua no inventário uma lista de todas as entidades jurídicas, tanto aquelas em que a empresa possui participação societária, quanto aquelas em que possui controle operacional.”. A Tabela 2 contém a lista das unidades em que a instituição inventariada possui controle operacional, bem como o tipo de operação e a porcentagem de participação societária.

**Tabela 2** – Unidades e operações inventariadas.

<b>Unidade</b>	<b>Operação</b>	<b>Município</b>	<b>Participação societária</b>
ASU	Planta de destilação criogênica	Volta Redonda	100%
H <sub>2</sub>	Planta de separação de hidrogênio	Volta Redonda	
CO <sub>2</sub>	Planta de separação de CO <sub>2</sub>	Duque de Caxias	
Fábrica 1	Fábrica de equipamentos	Rio de Janeiro	
Fábrica 2	Fábrica de equipamentos	Duque de Caxias	
ADM 1	Núcleo administrativo	Rio de Janeiro	
ADM 2	Núcleo operacional	Rio de Janeiro	
Filial 1	Unidade de enchimento de cilindros	Rio de Janeiro	
Filial 2	Unidade de enchimento de cilindros	Macaé	

Fonte: Elaboração própria.

Não foram incluídos na Tabela 2 dois elementos requisitados nas Especificações do Programa Brasileiro, descritos a seguir:

- (a) **Entidades em que a empresa possui participação societária, mas não possui controle operacional:** tal lista não foi incluída, por este tratar-se de um estudo cujo escopo não abrangeu essas entidades e operações.
  
- (b) **Identificação das entidades legais que detêm o controle operacional sobre as unidades:** Esta informação foi utilizada durante a aplicação da ferramenta. Entretanto, o acesso aos dados utilizados neste trabalho somente foi possível mediante compromisso de sigilo acerca do nome da empresa que permitiu a realização do estudo. Contudo, cabe destacar que, em situações normais, é preciso divulgar os nomes das entidades jurídicas controladoras das unidades e operações inventariadas.



## V.2.2 – LIMITES OPERACIONAIS

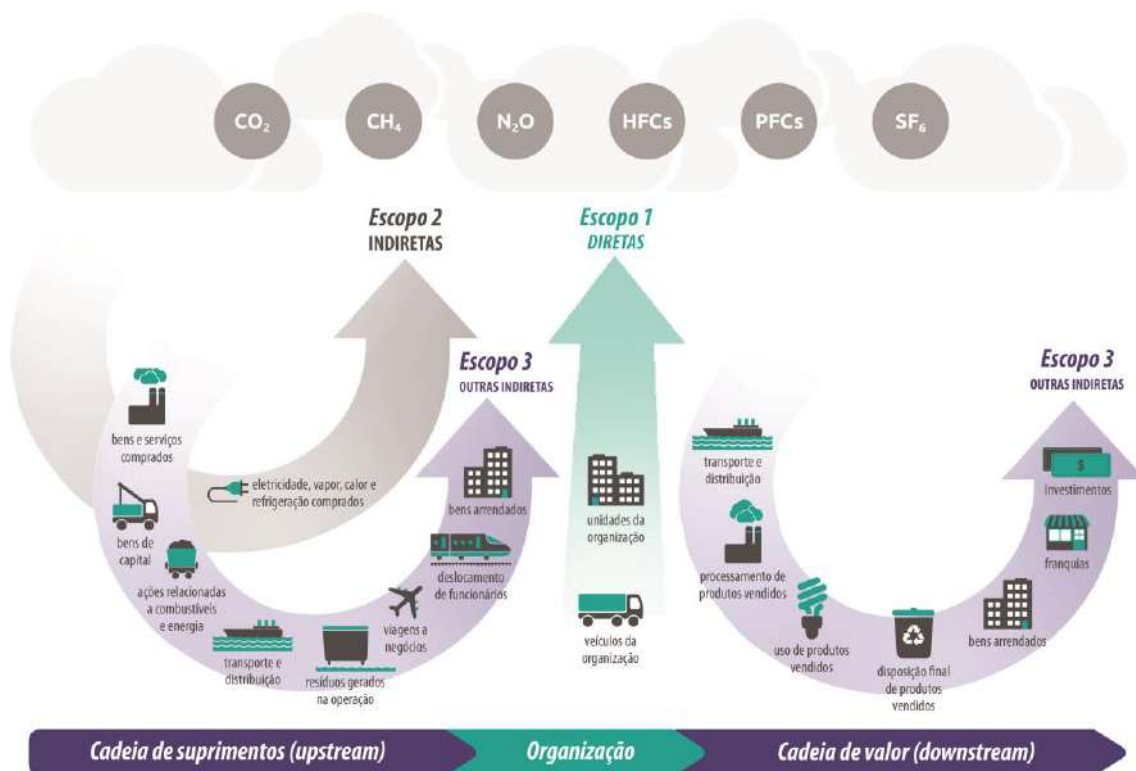
Após a identificação dos seus limites organizacionais, as empresas devem identificar as emissões relacionadas com as atividades operacionais dentro de tais limites como diretas ou indiretas. As emissões diretas são aquelas que provêm de fontes que estão sob o controle da organização. Por outro lado, as emissões indiretas são aquelas que, embora estejam associadas às atividades da empresa, provêm de fontes que não estão sob o seu controle (FIRJAN, 2017). Para auxiliar nesta determinação, aumentar a transparência dos dados e possibilitar a comparação entre diferentes tipos de organizações, o Programa Brasileiro (2008) define três escopos de alocação das emissões. O objetivo é segregar as fontes de emissões de acordo com o nível de controle operacional que as organizações têm sobre as mesmas, em oposição a uma divisão apenas por tipo de fonte. Os escopos são descritos a seguir:

- **Escopo 1 – Emissões diretas:** são aquelas provenientes de fontes pertencentes ou sob o controle da empresa, incluindo emissões resultantes da queima de combustíveis em fontes estacionárias (fornos, caldeiras, motores, etc.) e móveis (frota própria ou arrendada), emissões fugitivas, agrícolas, por mudanças no uso do solo e emissões de processos físicos ou químicos, por exemplo, purificação de correntes contendo GEE e tratamento de efluentes em uma ETE própria.
- **Escopo 2 – Emissões indiretas:** emissões relacionadas à combustão estacionária para geração de energia na forma de eletricidade, vapor ou calor que é adquirida (gratuita ou onerosamente) pela organização inventariante para o uso em seus processos ou serviços.
- **Escopo 3 – Outras emissões indiretas:** emissões relacionadas às atividades da organização inventariante que se inserem em sua cadeia de valor, ocorrendo

em fontes que não estão sob o seu controle. As emissões dentro do escopo 3 estão divididas em *upstream* e *downstream*:

- *Upstream*: emissões relacionadas à cadeia de bens e serviços adquiridos pela companhia, tais como produção, transporte e distribuição de insumos (inclusive energia – por exemplo, as viagens para transporte de combustíveis até a organização), deslocamento de funcionários, viagens a negócios e tratamento de efluentes e resíduos gerados na operação.
- *Downstream*: emissões relacionadas às atividades após a aquisição pelos clientes dos produtos ou serviços da organização, tais como uso, transporte, distribuição, tratamento e disposição final dos produtos vendidos.

A Figura 28 apresenta um esquema ilustrativo das emissões por escopos.



**Figura 28** – Escopos das emissões de GEE em uma organização.

Fonte: WRI/WBCSD (2017).

Conforme preconiza o *GHG Protocol* (2008), para que um inventário possa ser considerado completo, o relato das emissões de Escopo 1 e 2 é obrigatório, sendo opcional a inclusão de informações acerca das emissões de Escopo 3. O *GHG Protocol* classifica as fontes de emissões dentro do Escopo 3 em doze categorias (FGV, 2011), cuja numeração correspondente foi mantida neste trabalho.

A Tabela 3 traz de maneira resumida as fontes identificadas nas atividades da empresa inventariada dentro dos Escopos 1 e 2 de acordo com essas diretrizes, além de algumas categorias de fontes enquadradas no Escopo 3.

**Tabela 3** – Fontes de emissão identificadas nos Escopos 1, 2 e 3.

<b>Escopo</b>	<b>Tipo de fonte</b>	<b>Atividade</b>
1	Combustão móvel	Consumo de combustíveis fósseis em veículos da frota própria para deslocamento de funcionários e transporte e distribuição de produtos.
	Processos industriais	Emissão de GEE resultante do processo de purificação de dióxido de carbono.
	Fugitivas	Liberação não intencional nas operações de enchimento de cilindros; processamento de correntes <i>by-product</i> para obtenção de CO <sub>2</sub> e de H <sub>2</sub> purificados; vazamentos de equipamentos de ar condicionado.
2	Aquisição de energia elétrica	Utilização de combustíveis fósseis para geração de eletricidade comprada do grid.
	Aquisição de energia térmica	Utilização de combustíveis fósseis para geração de vapor fornecido à planta de destilação criogênica.
3	Categoria 5 – Resíduos gerados nas operações	Tratamento de resíduos sólidos gerados pelas atividades da companhia e gerenciados por terceiros.
	Categoria 6 – Viagens a negócios	Viagens aéreas de funcionários a serviço da empresa.
	Categoria 7 – Deslocamento de funcionários	Deslocamento casa-trabalho de funcionários utilizando transporte público e particular.
	Categoria 9 – Transporte e distribuição <i>downstream</i>	Consumo de combustíveis fósseis em veículos da frota terceirizada para transporte e distribuição de produtos na forma de líquidos (carretas criogênicas) e gás (cilindros).
	Categoria 10 – Processamento de produtos vendidos	Emissões de GEE provenientes da combustão estacionária (no cliente) da corrente de gás residual da purificação de H <sub>2</sub> .
	Categoria 11 – Uso de produtos vendidos	Emissões de GEE provenientes do uso pelos clientes dos produtos vendidos (líquido e gases).

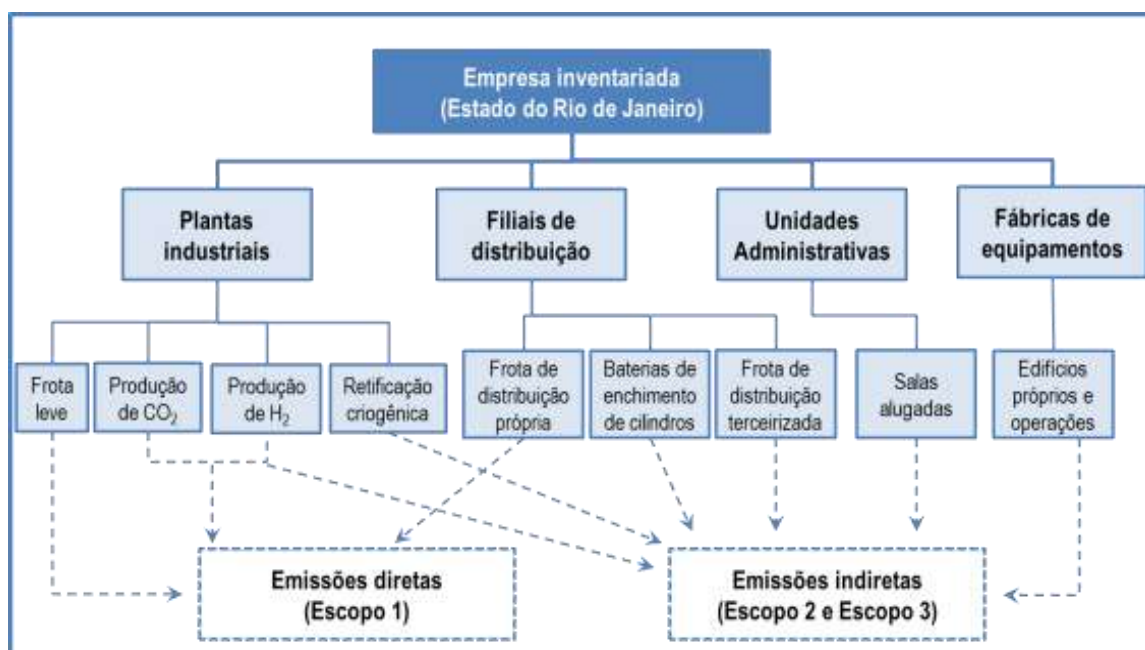
Fonte: Elaboração própria.

Como mencionado no item IV.3, em um levantamento com especialistas das respectivas áreas de produção na empresa foi constatado que o dióxido de carbono não é gerado por nenhum dos processos da companhia, mas pode ser liberado como emissão fugitiva através de vazamentos nas tubulações da unidade de produção de CO<sub>2</sub>, que processa uma corrente rica no gás proveniente de uma refinaria.

Outra fonte identificada é o Transporte e Distribuição de produtos vendidos, uma vez que a companhia atende a todo o Estado do Rio de Janeiro a partir de dois centros de distribuição logísticos, principalmente através de frota terceirizada e uma pequena parcela por frota própria. Para facilitar o deslocamento dos funcionários entre plantas, a empresa também dispõe de veículos leves próprios.

Dentro do Escopo 3, as Categorias 5, 6, 7, 9, 10 e 11 apresentavam controles que possibilitavam o cálculo, ainda que aproximado, de suas emissões e por isso foram contabilizadas no inventário. Os resíduos gerados na operação (Categoria 5) e as viagens aéreas a negócios (Categoria 6) apresentavam controles mais bem estabelecidos cujas informações eram mais adequadas à utilização da ferramenta de cálculo. As demais categorias necessitaram, em algum grau, de tratamento de dados e da realização de considerações para a contabilização, que estão detalhadas no item V.5. Dentre elas, destaca-se o uso de produtos vendidos (Categoria 11) resultante da comercialização de GEE, tais como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>), como uma possível fonte expressiva de emissões devido ao alto potencial de aquecimento global (GWP) dos dois últimos gases – especialmente o SF<sub>6</sub>, ainda que a empresa o comercialize em pequeno volume no Estado do Rio de Janeiro.

A Figura 29 apresenta um esquema ilustrativo dos limites operacionais e organizacionais adotados para a realização deste trabalho.



**Figura 29** – Limites organizacionais e operacionais do inventário. Fonte: Elaboração própria.

### V.2.3 – SELEÇÃO DA ABORDAGEM DE CÁLCULO E DOS FATORES DE EMISSÃO

Uma vez definidas as fronteiras da organização e identificadas as suas atividades emissoras, deve-se selecionar metodologias que permitam a conversão dos dados da atividade em dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e). De modo geral, as diferenças entre as metodologias de cálculo se concentram na forma como são tratadas as informações de emissões, o que resulta em diferentes níveis de incerteza (FIRJAN, 2017). A Tabela 4 apresenta os três níveis (*tiers*) de incerteza utilizados pelo IPCC (1996) para classificar a complexidade destas metodologias.

**Tabela 4** – Classificação dos níveis de complexidade (tiers) das metodologias de cálculo.

<b>Tier 1</b>	<b>Tier 2</b>	<b>Tier 3</b>
Metodologias de cálculo mais simples, que utilizam dados genéricos para estimar as emissões da atividade, com um grau mais alto de incerteza. Utilizada principalmente quando não há dados mais específicos sobre a atividade, país ou setor.	Nível intermediário de complexidade, fazendo uso de ferramentas e dados de emissão específicos para suas regiões, países ou setores. Produzem, assim, estimativas com um nível menor de incerteza.	Nível de complexidade alto. De modo geral, são metodologias que utilizam procedimentos modelados especificamente para a planta industrial e dados de maior qualidade, tais como medições diretas do teor de carbono no combustível utilizado. São esperadas as menores incertezas.

Fonte: FIRJAN, 2017.

Observando o princípio da Exatidão, os inventários devem ser concebidos dando preferência às metodologias de cálculo disponíveis que apresentem maior precisão e adequação ao contexto de seu inventário. Contudo, o *GHG Protocol* (2008) comenta que abordagens mais rigorosas, como a mensuração direta das emissões de GEE com base no monitoramento de concentrações, podem apresentar custos proibitivos ou execução complexa e são incomuns na indústria. Alternativamente, essas determinações são substituídas por balanços de massa, cálculos em base estequiométrica ou pelo uso de fatores de emissão. Este último consiste na aplicação de uma taxa que relaciona um dado de atividade – tal como toneladas, litros ou quilômetros – com a emissão de GEE e constitui a abordagem mais comum para estimar emissões.

Os fatores de emissão podem ter variadas precisões, indo desde os mais genéricos – como os disponibilizados nos Relatórios do IPCC, que permitem estimar as emissões com base em dados de atividade menos precisos, até fatores definidos por fábrica ou equipamento, dependentes de diversas variáveis específicas da atividade. A entidade procura desenvolver metodologias de cálculo com fatores de emissão que atendam às necessidades de contabilização de fontes comuns a diversos setores e países (*THE GHG PROTOCOL*, 2017b).

O Programa Brasileiro busca sempre que possível adaptar estas metodologias à realidade brasileira (FGV, 2009), utilizando, por exemplo, fatores de emissão provenientes de relatórios locais para combustão móvel e aquisição de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional (SIN), divulgados, respectivamente, pelo MMA e pelo MCTIC.

Para o presente trabalho, foi escolhida a metodologia baseada em fatores de emissão. Nesta abordagem, um dado da atividade (litros, quilômetros, quilos, etc.) é multiplicado por um fator que o relaciona à quantidade de GEE emitida (por exemplo, kg CH<sub>4</sub> por litro de combustível). Caso o dado monitorado não se apresente nas mesmas unidades que o fator de emissão disponível, é necessário empregar também um fator de conversão, cuja função é transformar as dimensões do dado da atividade em uma unidade equivalente à do fator de emissão, conforme o exemplo abaixo:

$$E_x = f_x \times f_{y \rightarrow x} \times Q_y$$

Onde:

$E_x$  = Emissão calculada para o GEE “x”, em tCO<sub>2</sub>e

$f_x$  = Fator de emissão do GEE “x”, em tCO<sub>2</sub>e/TJ

$f_{y \rightarrow x}$  = Fator de conversão, em TJ/L

$Q_y$  = Dado da atividade, em L

Na equação, o dado da atividade se encontra em litros (de diesel, por exemplo). Para calcular as emissão de CO<sub>2</sub>e utilizando o fator de emissão disponível, é preciso multiplicar o dado da atividade primeiramente pelo fator de conversão  $f_{y \rightarrow x}$ , transformando-o de litros para terajoules, e, em seguida, multiplicar o resultado pelo fator de emissão. Assim, obtém-se facilmente a quantidade de CO<sub>2</sub>e emitida (em toneladas) a partir de um dado de fácil monitoramento no dia-a-dia das operações (volume de combustível). As principais limitações neste tipo de abordagem são a disponibilidade de fatores de emissão confiáveis (fornecidos por instituições reconhecidas), sua adequação ao contexto da organização (fatores

relacionados ao uso de energia elétrica, por exemplo, variam expressivamente entre países dependendo da participação de combustíveis fósseis em sua matriz energética) e a compatibilidade entre as unidades do fator de emissão e as variáveis mais facilmente medidas no dia-a-dia das operações (ou a disponibilidade de fatores de conversão confiáveis).

Para a aplicação desta metodologia, foi utilizada a ferramenta de cálculo disponibilizada pelo Programa Brasileiro *GHG Protocol* (2017b) – “Ferramenta GHG Protocol v2017 v4”, que condensa os diversos módulos de contabilização desenvolvidos pelo Programa em uma planilha de cálculo atualizada trimestralmente com fatores de emissão locais e internacionais. A ferramenta fornece mais de um método de contabilização para diversas fontes de emissão, com níveis de precisão que aumentam de acordo com o nível de detalhamento das informações que o usuário tiver a sua disposição (FIRJAN, 2017). Isso se deve ao fato de que os fatores de emissão com maior grau de precisão costumam estar atrelados a um número maior de variáveis.

Além da planilha do *GHG Protocol*, as seguintes metodologias complementares foram empregadas para a determinação de algumas fontes de emissão do inventário. O item V.4 detalha as considerações envolvidas na execução destas abordagens. São elas:

- (a) **Escopo 1 – Emissões provenientes de Processos industriais:** Não havia uma ferramenta setorial dentre as recomendadas pelo Programa que contemplasse os processos industriais da empresa inventariada. Assim, as emissões foram estimadas a partir de balanços de massa realizados com base em informações de produção das unidades e pureza contratada.
- (b) **Escopo 2 – Emissões provenientes de Aquisição de vapor:** Os dados de atividade requisitados pela ferramenta para este cálculo só começaram a ser monitorados no ano posterior ao período inventariado. Assim, foi empregada modelagem a partir da relação entre os dados atuais da atividade e as variáveis que afetam o parâmetro, cujos dados estavam disponível no período inventariado.



#### V.2.4 – COLETA DE INFORMAÇÕES DA ATIVIDADE

A coleta de informações é a etapa em que ocorre o maior investimento de tempo e esforço na elaboração do inventário de emissões de GEE. Apesar disso, é um esforço essencial para a obtenção de resultados de qualidade e que obedecem aos princípios de relevância, integralidade e transparência na elaboração de inventários.

Pinho (2009) comenta acerca da coleta de dados que, embora a princípio esta etapa pareça trivial, na prática, os procedimentos para o correto reporte dos dados passam pelo entendimento claro por parte da organização dos seus limites operacionais, das informações necessárias para a gestão das fontes identificadas e da extensão de sua responsabilidade sobre as emissões. Sem estes fatores, a obtenção de um relatório verdadeiramente relevante para a tomada de decisão por seus utilizadores pode ser prejudicada, por exemplo, pela dificuldade na obtenção de informações precisas, completas e consistentes ou, ainda, pela inexistência dos controles e monitoramentos necessários à contabilização de cada fonte, inclusive nos casos em que a empresa detém controle operacional sobre as mesmas. Isto reforça a importância de uma cultura empresarial de gestão de emissões de GEE, que conte com o estabelecimento de metas e o envolvimento de todos os níveis hierárquicos no processo.

As informações pertinentes para a confecção deste inventário preliminar foram coletadas a partir de controles de atividades disponibilizados por diversos setores da organização, além de consultas a especialistas e supervisores da produção.

Em um primeiro momento, o trabalho foi explicado aos responsáveis por fornecer as informações relevantes para a mensuração das fontes identificadas preliminarmente com base nas diretrizes do Programa Brasileiro. Os controles corporativos relacionados a estas fontes foram requisitados e avaliados quanto à aplicabilidade para a ferramenta de cálculo. Os contatos e troca de informações foram realizados em sua maioria por via telefônica ou correio eletrônico (*e-mail*), além de algumas reuniões presenciais.

Num momento posterior, foi realizada uma visita de campo à ASU para obtenção de dados e identificação de fontes adicionais relacionadas às plantas industriais. Este

levantamento foi feito por meio de entrevista com os responsáveis pela produção e operação da unidade e recolhimento de dados de monitoramento que só estavam disponíveis localmente, por exemplo, vazão diária de correntes de processo e recargas de óleo nos equipamentos.

Foram solicitadas informações adicionais ou dados de atividade alternativos para quantificar as fontes cujos controles foram avaliados como menos precisos, insuficientes para a aplicação da ferramenta ou incompletos. No caso dos controles cujas informações estavam faltando, foi utilizado o sistema de compras da companhia para emitir relatórios nos quais foi possível obter alguns dos valores. Contudo, foram observadas numerosas inconsistências neste processo que levaram à conclusão de que algumas informações estavam incompletas. Nestes casos, foi avaliado caso a caso a possibilidade de realizar estimativas com base em outras unidades ou na literatura, ou exclusão da fonte do inventário.

#### V.2.5 – APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS DE CÁLCULO

O Programa Brasileiro (2017b) recomenda a utilização de sua ferramenta de cálculo pelo caráter referencial da mesma, obtido a partir revisões periódicas por peritos e entidades de destaque na indústria com o objetivo de nela reunir as melhores metodologias atualmente disponíveis. Entretanto, o Programa não impede que as organizações utilizem ferramentas de cálculo e fatores de emissão próprios ou que sejam mais representativos para as suas operações, desde que os mesmos apresentem precisão mais elevada e sejam consistentes.

#### V.2.6 – COMPILAÇÃO DE DADOS A NÍVEL CORPORATIVO E RELATO DAS EMISSÕES

A tarefa de formulação do inventário consiste na consolidação de dados provenientes de diversas unidades da instituição. Para minimizar a ocorrência de erros, é útil estabelecer estratégias de comunicação de emissões ou de informações de atividade através de procedimentos padronizados e consistentes. Duas abordagens se destacam no âmbito de agrupamento e síntese de dados:

- (a) **Abordagem centralizada:** Consiste na consolidação a nível corporativo dos dados de atividade e posterior cálculo de emissões de uma única vez para toda a organização, utilizando os dados unificados.
  
- (b) **Abordagem descentralizada:** Nesta estrutura, os dados de atividade são coletados e tratados na própria unidade, que realiza diretamente o cálculo de suas emissões.

Independentemente da abordagem escolhida, objetiva-se ao final encontrar o mesmo resultado de emissões totais de GEE. A abordagem centralizada apresenta a vantagem de garantir a padronização dos dados, minimizando a ocorrência de erros e a necessidade de auditoria dos dados.

Por outro lado, a realização dos cálculos de maneira descentralizada pode ajudar a promover a conscientização acerca da gestão de GEE no nível da organização e pulveriza a carga de trabalho, além de ser mais adequada no caso de cálculos referentes a emissões de processo utilizando ferramentas setoriais, que requerem conhecimentos mais refinados das características do processo e das operações.

Em ambos os casos, a utilização de bases de dados confiáveis, formulários e/ou procedimento padronizados facilitam o processo e garantem maior confiabilidade às informações reportadas (PROGRAMA BRASILEIRO, 2008).

A abordagem centralizada foi utilizada na realização deste trabalho, por conta da sede corporativa da empresa, localizada no Estado do Rio de Janeiro, contar com numerosos controles e relatórios gerenciais pré-existentes, gerados a partir de mecanismos padronizados de reporte de dados de atividade que já se encontram estabelecidos na organização. Além disso, como mencionado, optou-se por utilizar para este inventário a planilha de cálculo disponibilizada pelo Programa Brasileiro (2017b), cujas metodologias utilizam fatores de emissão locais, sempre que disponíveis. Os resultados obtidos serão detalhados no Capítulo VI, Resultados e Discussões.

As informações que não puderam ser obtidas na forma ideal para a aplicação da ferramenta foram tratadas utilizando, por exemplo, fatores de conversão disponíveis no Balanço Energético Nacional (EPE, 2015a), estimativas com base em dados populacionais (ALELO, 2016), pesquisas setoriais (SILVA; OLIVEIRA; MIGUEL, 2008), bem como as considerações descritas no item V.5.

### V.3 – LIMITAÇÕES DO INVENTÁRIO

A adoção de uma abordagem sistemática de mensuração de fontes visa assegurar que o inventário produzido reflita com fidelidade o panorama das emissões de uma organização. Entretanto, apesar dos esforços em produzir um relato dotado de completude e exatidão, há limitações práticas no processo. A principal dificuldade reside no fato de que nem todas as informações necessárias à realização dos cálculos podem estar disponíveis, devido à inexistência de controles acerca desses dados nas organizações. Por este motivo, enfatiza-se a necessidade de que seja estabelecida uma cultura de gestão de emissões que permeie por toda a organização.

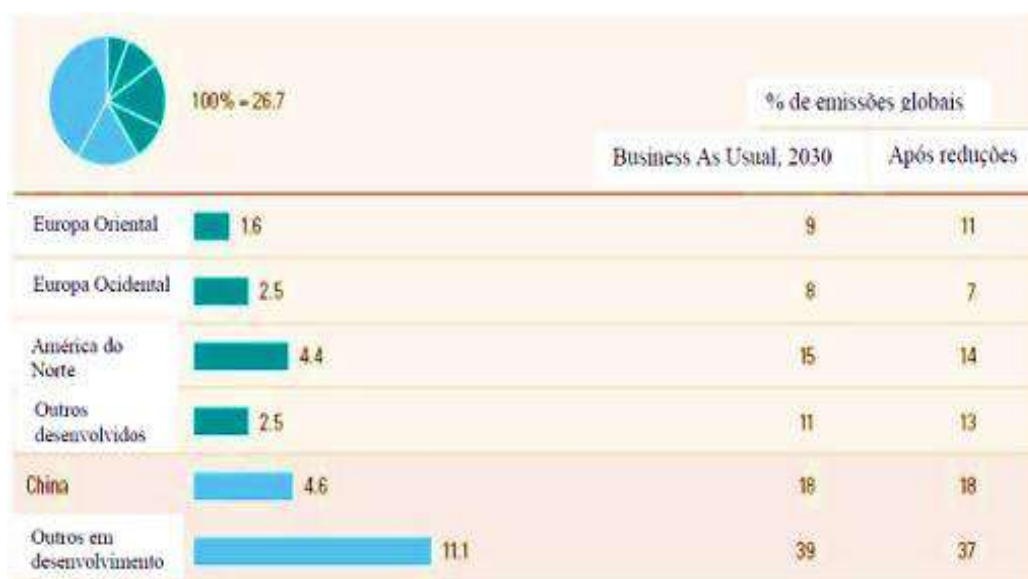
Outro ponto limitante está no fato de que nem todas as fontes de emissão possuem metodologias de contabilização estabelecidas. As emissões provenientes de processos industriais, por exemplo, dependem em larga escala do desenvolvimento de ferramentas setoriais, pois podem ser governadas por um grande número de variáveis específicas aos negócios.

### V.4 – AÇÕES DE MITIGAÇÃO

O inventário atua como uma espécie de “raio-x” ou “linha base” das emissões de uma organização. A partir destes resultados, a organização passa a ter informações valiosas para embasar a tomada de decisão quanto a ações de prevenção e compensação. Segundo França (2016, apud MEDEIROS & DANIEL, 2011), as ações de compensação ou neutralização são

medidas com foco em reduzir, equilibrar, sequestrar ou evitar as emissões de GEE da organização, como por exemplo, por meio de ações de reflorestamento e prevenção de desmatamento.

Como observado em um relatório da consultoria McKinsey (ENKVIST; NAUCLÉR; ROSANDER, 2007), os maiores potenciais de mitigação de emissões residem sobre os novos projetos, especialmente os de eficiência energética. Estas oportunidades se devem ao fato de medidas mitigatórias em novos empreendimentos terem custos menores de implantação em comparação com a adaptação (*retrofit*) de estruturas já existentes (equipamentos, edifícios, veículos, instalações de geração de energia, troca de tecnologia em processos industriais, etc). Por essa razão, os países em desenvolvimento, que têm mais oportunidades de realização de novos empreendimentos do que as nações desenvolvidas, possuem papel fundamental na transição para uma economia de baixo carbono, concentrando mais da metade das oportunidades de abatimento de emissões por menos de 40 €/tCO<sub>2</sub>e até 2030, como ilustrado na Figura 30.



**Figura 30** – Potencial de abatimento de GEE até 2030 com custo de até 40 €/tCO<sub>2</sub>e, por região.

Fonte: PINHO, 2009 apud ENKVIST; NAUCLÉR; ROSANDER, 2007.

## V.5 – CONSIDERAÇÕES IMPORTANTES UTILIZADAS NO INVENTÁRIO

Para se chegar ao resultado final do inventário, foi necessário fazer algumas considerações, que estão descritas a seguir.

### V.5.1 – EMISSÕES DE PROCESSOS INDUSTRIAIS (ESCOPO 1)

O *The GHG Protocol* (2017b), bem como o Programa Brasileiro (2017b), não disponibilizavam durante a realização deste trabalho uma ferramenta setorial que pudesse atender às especificações dos processos da empresa. Assim, foram avaliadas as características dos três processos inventariados e em seguida realizado um balanço de massa com base em dados de produção e de purezas de corrente acordados em contrato. As avaliações e considerações realizadas em cada processo estão descritas a seguir:

1. **Planta de destilação criogênica (ASU):** Embora o processo envolva a liberação para o ar do CO<sub>2</sub> removido como impureza, esta não foi considerada uma emissão no inventário por representar a separação simples dos componentes presentes no ar atmosférico, em oposição a um acréscimo de CO<sub>2</sub> na atmosfera.
2. **Planta de purificação de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>):** O produto é obtido a partir de uma corrente enriquecida neste gás proveniente de uma refinaria de petróleo. Para os cálculos, considerou-se que o CO<sub>2</sub> é totalmente recuperado na corrente de produto. Além do dióxido de carbono, a corrente de entrada contém apenas traços de outros GEE, majoritariamente metano. Foi assumida a liberação total destes traços para a atmosfera na ausência de equipamentos de *flare*.
3. **Planta de purificação de hidrogênio (H<sub>2</sub>):** Esta planta separa o hidrogênio de uma corrente *by-product* de gás de coqueria proveniente de uma usina siderúrgica através do processo de adsorção por variação de pressão (PSA). A corrente com os gases

residuais da separação é enviada de volta ao cliente para queima em Alto Forno devido a seu poder calorífico, de modo que essa queima não foi considerada no Escopo 1. Para os cálculos, considerou-se que o H<sub>2</sub> é totalmente separado da corrente de gás residual, saindo somente na corrente de produto ou como emissão fugitiva.

#### V.5.2 – EMISSÕES DE COMBUSTÃO ESTACIONÁRIA (ESCOPO 1)

A combustão estacionária foi considerada nula. Como característica do modelo de negócios desta indústria, as unidades se localizam no interior ou nas adjacências dos pátios produtivos de seus clientes, sendo o fornecimento de produto condicionado à disponibilização pelo cliente de toda a infraestrutura de utilidades necessárias às suas operações. Assim sendo, não há necessidade por parte da empresa inventariada de possuir caldeiras ou outros equipamentos movidos a combustão, tais como geradores elétricos e motores auxiliares, sendo sua base operacional totalmente elétrica.

Com relação à possível existência de bombas auxiliares movidas a óleo diesel para combate a incêndio em situações de falta de energia, foi verificado que, na principal planta produtiva (ASU), toda a infraestrutura de combate a incêndio é suprida por sistemas passivos de dilúvio e geração de energia da própria usina siderúrgica. A unidade administrativa, por sua vez, localiza-se em salas corporativas alugadas, cujo sistema de bombeamento para combate a incêndio é de responsabilidade da administração do condomínio e compartilhado com as demais empresas instaladas no edifício. Com relação às outras plantas produtivas e filiais, contou-se com os dados do sistema de compras, que registra todas as provisões efetuadas pela empresa. No período de 2016, não houve registros de compra de óleo diesel para equipamentos em nenhuma das unidades localizadas no Estado do Rio de Janeiro, o que foi considerado plausível face ao caráter eventual do acionamento deste tipo de sistema.

Vale ressaltar que a contabilização de emissões com base em registros de compras não reflete com precisão exata o período de ocorrência destas emissões, devido à ausência de controle sobre quando o combustível será efetivamente utilizado. Assim, na prática, pode ter havido emissões relacionadas à combustão estacionária no ano inventariado pela queima de

combustíveis adquiridos em um período anterior. Buscou-se minimizar esta limitação de maneira consistente quantificando, no ano do inventário, todas as emissões associadas a compras realizadas dentro deste período.

#### V.5.3 – EMISSÕES FUGITIVAS (ESCOPO 1)

As emissões fugitivas relacionadas às unidades de enchimento de cilindros e à planta de CO<sub>2</sub> foram obtidas a partir de monitoramentos de níveis de tanque versus produto faturado e já constituíam controle consolidado na organização. Os sistemas de refrigeração das plantas ASU e H<sub>2</sub> não contemplam um GEE definido pelo Protocolo de Quioto e não houve reposição do mesmo no período inventariado. Para a planta de H<sub>2</sub>, as emissões fugitivas foram estimadas com base em perdas de 1% no processamento do gás de coqueria bruto.

Com relação às emissões fugitivas de gases refrigerantes provenientes dos equipamentos de ar condicionado, não foram encontrados controles que contemplassem a manutenção destes aparelhos. São necessárias informações como o registro da capacidade total de armazenamento e da carga de gases refrigerantes nos equipamentos em cada manutenção para que seja possível calcular as emissões pelo vazamento destes gases aplicando a metodologia do *GHG Protocol*. Por este motivo, foi possível realizar apenas uma estimativa superficial das emissões fugitivas com base na quantidade presumida de equipamentos de ar condicionado nas unidades.

#### V.5.4 – EMISSÕES PROVENIENTES DA AQUISIÇÃO DE VAPOR (ESCOPO 2)

Os dados necessários para o cálculo das emissões associados com o uso de vapor pelas unidades produtivas não estavam disponíveis para o período inventariado. Foi identificado que não havia uma exigência contratual por parte de nenhuma das três plantas sobre a medição de tais parâmetros. Contudo, mesmo sem os dados necessários, considerou-se a realização de uma estimativa, ainda que com menor precisão, para que fosse possível realizar a quantificação destas emissões.



Devido à dificuldade encontrada na obtenção de dados relativos à produção, apenas a ASU foi escolhida para a realização da estimativa, pois tanto a demanda por energia elétrica quanto a produção industrial desta unidade são desproporcionalmente superiores às das plantas de H<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> (97,45% da eletricidade e 99,56% da produção em toneladas métricas no somatório das três unidades)(AP, 2017b). Além disso, a ASU começou recentemente a monitorar o parâmetro necessário para o cálculo das emissões (ano posterior ao período inventariado), o que forneceu importantes dados de entrada para a aplicação de uma abordagem com base em modelagem de parâmetros.

O modelo se fundamentou na suposição, com base na análise do processo, de que a resposta do parâmetro-alvo seria influenciada significativamente por duas variáveis de processo independentes cujos dados de monitoramento já eram coletados no período inventariado. Esta hipótese foi confirmada pela equipe de campo, que conta com cerca de 20 anos de experiência na operação da planta em questão. O modelo foi obtido por regressão multivariada a partir de medições das variáveis independentes e do parâmetro-alvo em 60 pontos coletados no ano de 2017 utilizando a ferramenta complementar de análise de dados do *software* Microsoft Excel. A relevância estatística do modelo foi verificada a partir dos P-valores dos coeficientes e do teste-F de Fischer.

Ele foi posteriormente aplicado aos pontos das variáveis independentes medidos ao longo de 2016 para gerar uma estimativa do parâmetro-alvo nesse período, que foi utilizada para calcular as emissões associadas à demanda de vapor de utilidade juntamente com dados setoriais da geração de vapor em caldeira (SILVA; OLIVEIRA; MIGUEL, 2008), fatores de conversão (EPE, 2015a) e fatores de emissão (U.S.EPA, 2016). Esta abordagem foi necessária devido às características da mistura de combustíveis utilizados pela usina siderúrgica para alimentar a caldeira, que não era contemplada na ferramenta de cálculo do *GHG Protocol*.

#### V.5.5 – EMISSÕES DE TRANSPORTE E DISTRIBUIÇÃO *DOWNSTREAM* (ESCOPO 3)

As informações de consumo de combustível em litros são enviadas de maneira consolidada pelas transportadoras que realizam a distribuição dos produtos vendidos na forma

de líquido criogênico. Desta forma, não era possível verificar a quantidade exata de combustível utilizado pelas unidades dentro do Estado do Rio de Janeiro nos casos em que uma mesma transportadora atendesse também a unidades de outros estados. Assim, foram feitas duas ponderações, a primeira com base no número de veículos da transportadora que atendem aos CDL (centros de distribuição logísticos) de cada unidade, considerando movimentações semelhantes de carga, e a segunda com base na quantidade de produto vendido por cada unidade atendida. Por segurança, foi adotado o maior valor de emissões encontrado dentre as duas ponderações.

Para a distribuição de produtos na forma de cilindros, os dados monitorados estavam na forma de quilômetro rodado e eram, de modo geral, menos precisos e completos do que os disponíveis para a distribuição de líquidos. As informações faltantes foram estimadas de um mês para o outro com base no valor médio do ano. Ademais, a atividade é realizada por um número substancialmente maior de transportadoras com variados modelos de veículos. Para os cálculos, foi adotado um modelo de veículo padrão, com base nos caminhões de propriedade da empresa que também realizam este serviço.

#### V.5.6 – EMISSÕES PELO PROCESSAMENTO DE PRODUTOS VENDIDOS (ESCOPO 3)

Após a recuperação do hidrogênio, a corrente residual de gás de coqueria retorna para o cliente para queima no Alto Forno, devido a seu alto poder calorífico (MORAES JÚNIOR, 2010). Como a combustão é realizada em outra empresa – ainda que seja a proprietária original da corrente *by-product* processada pela planta de H<sub>2</sub> –, as emissões associadas a esta devolução foram contabilizadas como emissões de processamento de produtos. Os cálculos foram realizados com base na pureza contratual de hidrogênio produto, nos dados de produção e considerando que não há hidrogênio na corrente de gás residual. Como o H<sub>2</sub> não atua como um GEE, assumiu-se a equivalência entre as emissões da queima do gás de coqueria original (com hidrogênio) e do gás residual (sem hidrogênio), desprezando as perdas por emissões fugitivas (1%) e no produto (0,01%). Foram utilizados os fatores de conversão disponíveis no Balanço Energético Nacional (EPE, 2015a) para tratar os dados para utilização na ferramenta de cálculo do *GHG Protocol* (2017b).

### V.5.7 – EMISSÕES PELO USO DE PRODUTOS VENDIDOS (ESCOPO 3)

Assim como mencionado no caso das emissões por combustão estacionária (subitem V.5.2), não é possível determinar com exatidão a data da emissão de GEE relacionada com a utilização dos produtos vendidos pela empresa. Por esta razão, foi adotada a abordagem de contabilização imediata com base na data de faturamento.

Outro fator que foge ao controle da organização inventariante é a forma como os produtos serão utilizados por seus compradores. Estas variações vão desde a existência de controles internos que reduzam ou impeçam as emissões de GEE para a atmosfera (uma vez que as mesmas seriam categorizadas como Escopo 1 para o cliente), até transformações químicas que podem aumentar ou diminuir a contribuição final do produto para o aquecimento global (por exemplo, caso o uso do cliente resultasse na conversão do metano vendido em dióxido de carbono, isto reduziria em 25 vezes o seu potencial de aquecimento global (GWP) em relação ao produto originalmente vendido). Devido a esta limitação de informações, foi assumida a liberação total para a atmosfera de todos os GEE vendidos em sua composição original.

### V.5.8 – EXCLUSÕES

A seguir, são apresentadas as fontes de emissão excluídas do inventário, classificadas por escopo e fonte, seguida da justificativa para a ausência:

#### **Escopo 1**

- **Emissões fugitivas – (Vazamentos em caminhões e cilindros):** Não foram consideradas as perdas na modalidade de armazenagem móvel (caminhões e cilindros) por não haver até o momento um procedimento estabelecido para o monitoramento destas liberações.

## Escopo 2

- **Emissões por aquisição de vapor:** O cálculo não foi realizado para as plantas de H<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> devido à dificuldade na obtenção de informações para construir um modelo que quantificasse estas emissões. Prioridade foi dada à ASU nestes esforços, por conta de sua elevada produção e demanda energética em relação às plantas de H<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>.

## Escopo 3

Os comentários referem-se somente às exclusões dentro das fontes do Escopo 3 que foram mensuradas no inventário, cujo relato de fontes para as quais dados confiáveis possam ser obtidos é opcional. Para as demais categorias do Escopo 3, a quantificação não foi realizada devido à falta de informações-chave que comprometeram o cálculo utilizando a ferramenta do *GHG Protocol*.

- **Emissões pelo uso de produtos vendidos (Misturas de Gases):** Devido ao elevado número de composições e complexidades das misturas de gases fabricadas pela empresa e de não estarem prontamente disponíveis tabelas de referência para estas composições, não foi possível realizar a quantificação desta fonte.
- **Viagens a negócios (Terrestres):** Não foram incluídas as viagens terrestres utilizando serviços de transporte de passageiros, como taxi, uber ou transfer, devido à inexistência de monitoramentos quanto às variáveis necessárias ao cálculo das emissões.

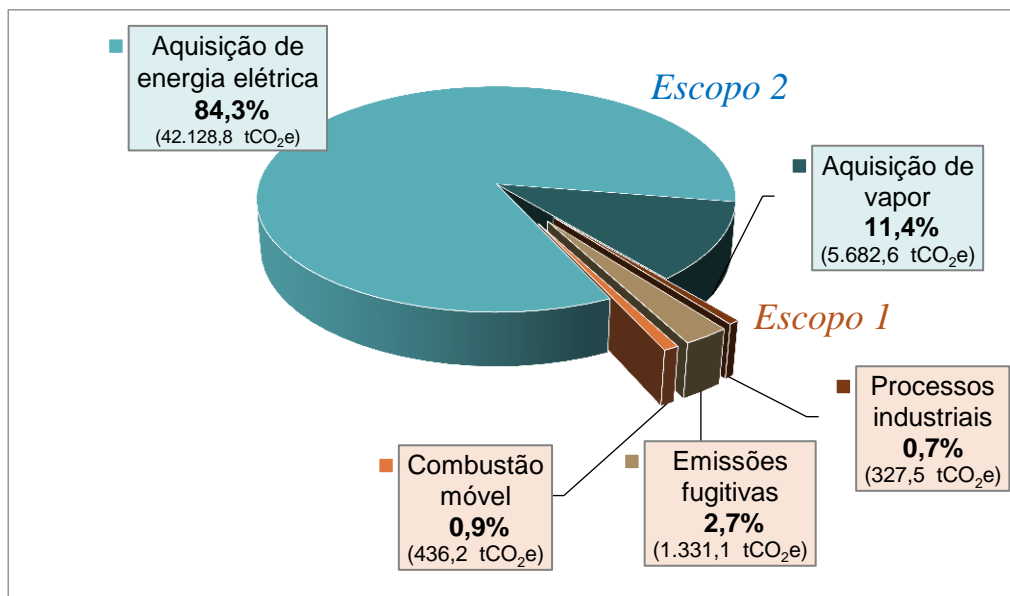
## CAPÍTULO VI – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos aplicando a ferramenta metodológica do *GHG Protocol* e observando os princípios determinados nas especificações do Programa Brasileiro serão expostos a seguir. Por se tratar de um inventário preliminar, as emissões relacionadas a algumas fontes não puderam ser obtidas com a utilização da metodologia.

As emissões calculadas para os GEE serão divididas por Escopos e expressas em toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO<sub>2</sub>e). Adicionalmente, informações de emissões disponibilizadas por (1) empresas do setor de gases industriais (dados internacionais), e (2) empresas de outros setores (dados do Estado do Rio de Janeiro) serão utilizadas para fins de comparação com os valores obtidos no presente trabalho. Uma vez que as emissões destas organizações diferem entre si em ordens de grandeza, devido à natureza de seus negócios e magnitude das operações, apenas o perfil de participação percentual de cada escopo será utilizado para a avaliação.

### VI.1 – PANORAMA GERAL OBTIDO DAS EMISSÕES

O resultado final calculado para as emissões diretas e indiretas da organização no ano de 2016 foi de **49.906,3 tCO<sub>2</sub>e** para os Escopos 1 e 2 e de **134,5 tCO<sub>2</sub> biogênico**. Os valores obtidos para as emissões de dióxido de carbono equivalente são ilustrados na Figura 31.

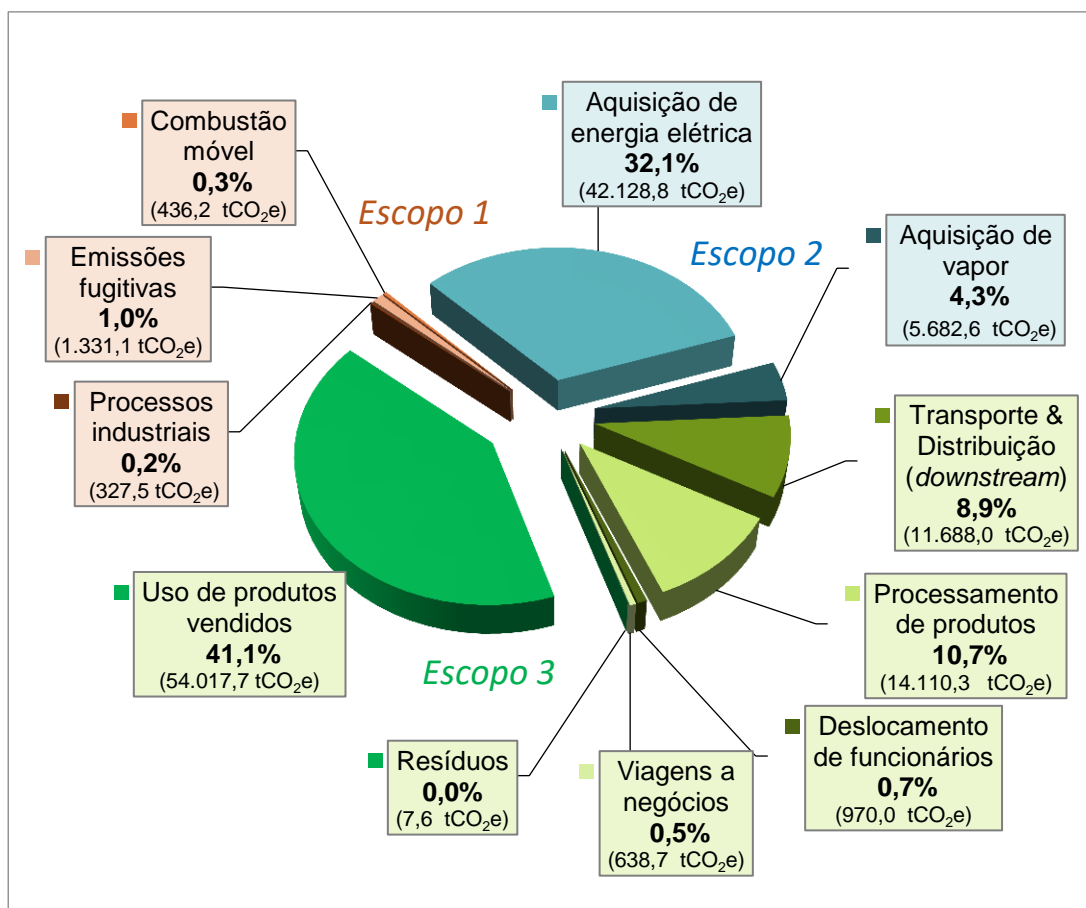


**Figura 31** – Emissões totais de GEE calculadas para os Escopos 1 e 2 (tCO<sub>2</sub>e).

Fonte: Elaboração própria.

Como se pode notar, a maior parte das emissões de reporte obrigatório calculadas para a organização consiste em emissões indiretas provenientes da aquisição de energia elétrica e de vapor (95,8%). Tal resultado condiz com o perfil intensivo em energia verificado para a indústria de gases, e, especialmente, com o fato de a energia elétrica adquirida ser o maior custo operacional da organização inventariada. Por outro lado, a inexistência de processos produtivos que utilizam combustão estacionária e a terceirização da maior parte da frota de transporte e distribuição justificam os pequenos resultados observados para as emissões diretas.

A Figura 32 apresenta o perfil de emissões obtido com a inclusão na análise das emissões de Escopo 3 (Outras emissões indiretas), cujo relato é opcional. Neste caso, o resultado final calculado foi de **131.338,5 tCO<sub>2</sub>e** para os Escopos 1, 2 e 3 e de **833,3 tCO<sub>2</sub> biogênico**.

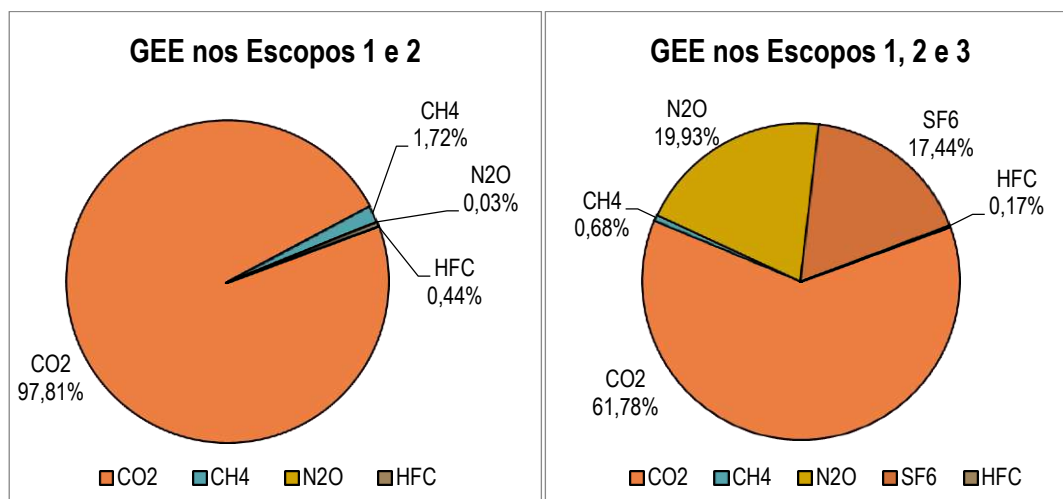


**Figura 32** – Emissões totais de GEE calculadas para os Escopos 1, 2 e 3 (tCO<sub>2</sub>e).

Fonte: Elaboração própria.

Neste cenário, uma diferença significativa na participação de cada Escopo pode ser observada, sugerindo que os impactos da indústria de gases se encontram principalmente em sua cadeia de valor, na qual a organização tem pouco ou nenhum controle. Este resultado evidencia a importância de se empregar esforços para a determinação de emissões em todos os Escopos, contudo, foi observado durante a realização do trabalho que as informações do Escopo 3 são de obtenção notavelmente mais difícil que aquelas de reporte obrigatório, exatamente por dependerem de controles e esforços fora dos limites da empresa. Nesse sentido, fica evidente a importância do envolvimento de todos os níveis hierárquicos da organização e setores relevantes na gestão de GEE e o estabelecimento de uma estratégia de coleta de dados de atividade que, além da própria organização, abranja seus clientes e fornecedores.

A Figura 33 compara a participação de cada tipo de GEE nas emissões de reporte obrigatório (Escopos 1 e 2) e nas emissões totais (abrangendo os três Escopos).



**Figura 33** – Participação percentual dos GEE nos Escopos 1 e 2 (esq.) e nos três Escopos (dir.).

Fonte: Elaboração própria.

## VI.2 – COMPARAÇÃO COM O ANO BASE

Uma vez que o presente trabalho constitui um inventário preliminar de GEE da organização, não foi possível avaliar as emissões calculadas contra um ano base de comparação da própria companhia. Vale ressaltar que esta é a primeira ação tomada por essa empresa com o objetivo de contabilizar suas emissões de GEE de acordo com os princípios do *GHG Protocol*, e que a partir deste relatório a organização terá informações de partida para planejar seu posicionamento quanto ao gerenciamento local de emissões.

Há um interesse geral da organização por ações que eliminem ou compensem quaisquer impactos causados ao meio ambiente visando atender às expectativas de seus clientes, funcionários, acionistas, fornecedores e comunidades nas quais operam. Neste âmbito, os gestores responsáveis pela área de Meio Ambiente buscam aprofundar o entendimento sobre o perfil de emissões da empresa para a tomada de decisão a respeito de ações mitigatórias e criação de sistemas de gerenciamento de GEE. Somente após a

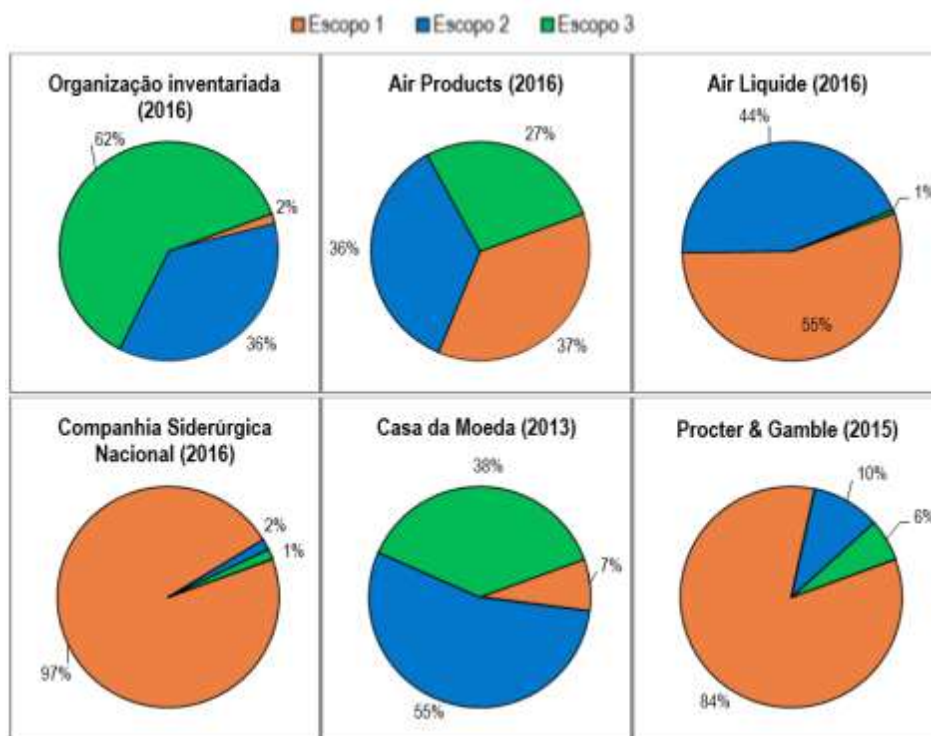


consolidação das etapas de monitoramento deve ser gerado um novo inventário que se configure como ano base para a definição de metas de redução e compensação de emissões.

## VI.2 – COMPARAÇÃO COM OUTRAS ORGANIZAÇÕES

Devido à inexistência de um ano base na organização para a comparação com anos anteriores, a Figura 34 apresenta a comparação entre os perfis de emissões de diversas empresas e o perfil obtido para a organização inventariada. Foram incluídas as emissões relativas ao ano de 2016 de duas companhias do setor de gases industriais, a Air Liquide (2017c) e a Air Products (2017c), cujas informações foram obtidas em suas respectivas páginas e dizem respeito às operações globais destas companhias.

Além delas, foram incluídas três empresas localizadas no Estado do Rio de Janeiro de outros setores que não o de gases industriais, com o objetivo de comparar os perfis de emissão obtidos localmente para diferentes tipos de negócios. As empresas foram: a Casa da Moeda (2014), com emissões relativas ao ano de 2013 em suas três fábricas; a P&G (FERRÃO, 2016), com emissões relativas a uma fábrica de cosméticos em 2015; e a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN, 2017), com emissões relativas à Usina Presidente Vargas em 2016. As informações da Casa da Moeda e da CSN foram obtidas por meio do Mapa de Inventários do Registro Público de Emissões.



**Figura 34** – Comparação dos perfis de emissões de GEE da organização com outras indústrias.

Fonte: Elaboração própria.

Quando comparadas com empresas dentro do mesmo setor, nota-se que as emissões diretas da organização apresentam participação notavelmente inferior no perfil de emissões. Tanto a Air Liquide quanto a Air Products apresentam individualmente os Escopos 1 e 2 ocupando percentuais próximos no total de suas emissões (37% e 36% para a Air Products, respectivamente, e 55% e 44% para a Air Liquide), enquanto que para a organização inventariada o Escopo 2 teve representatividade muito superior ao Escopo 1. Esta diferença se deve principalmente às operações de produção de hidrogênio por reforma a vapor, responsáveis pela maior parte das emissões diretas na indústria de gases, além de plantas de cogeração como as operadas pela Air Liquide, e que ambas são inexistentes nas operações da organização no Estado do Rio de Janeiro.

Além disso, a Air Liquide (2017c) contabilizou no Escopo 3 apenas um tipo de fonte (viagens aéreas), o que possivelmente contribuiu para a baixa representatividade do Escopo 3

em seu perfil de emissões. Por fim, os dados tanto da Air Liquide quanto da Air Products se referem às suas operações globais, nas quais predominam o transporte e distribuição por frota própria (a terceirização deste serviço é observada predominantemente na América do Sul).

Por sua vez, a comparação com as outras três indústrias localizadas no Estado do Rio de Janeiro mostra que o perfil de emissões é muito dependente do tipo de negócio. Indústrias de transformação como a CSN, cujo processo demanda a geração de grande quantidade de energia térmica por meio da combustão de matrizes fósseis em fornos, altos-fornos e caldeiras apresentam um perfil de emissões mais inclinado ao Escopo 1. Um comportamento semelhante foi observado na P&G, cujas principais fontes de emissões diretas foram a combustão estacionária em caldeira (53%) e o tratamento de efluentes na ETE (44%). Devido a seu modelo de negócios, toda a demanda por energia térmica da empresa inventariada neste trabalho entra no Escopo 2, pois todas as utilidades são fornecidas pelo cliente *On-site*.

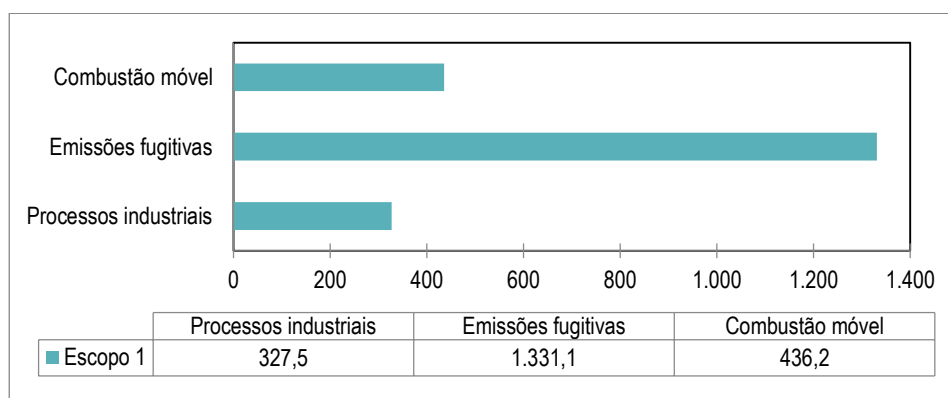
Embora também se enquadre na categoria de indústria de transformação, a Casa da Moeda tem um perfil de emissões muito diferente das demais organizações na Figura 34, com predomínio do Escopo 2, uma vez que as três fábricas em seu complexo em Santa Cruz – de cédulas, moedas e gráfica – não possuem tanta demanda por energia térmica e funcionam principalmente a base de energia elétrica. Neste caso, o principal ponto de diferença em relação à organização inventariada é a extensão das fontes contabilizadas no Escopo 3, que no caso da Casa da Moeda contou apenas com o transporte e distribuição *upstream*.

### VI.3 – ANÁLISE DOS ESCOPOS

A seguir, serão detalhados os resultados obtidos do cálculo de cada Escopo. Informações adicionais como tabelas e etapas de cálculo para a obtenção das emissões dos três Escopos podem ser consultadas nos Anexos I, II e III, respectivamente.

### VI.3.1 – ESCOPO 1: EMISSÕES DIRETAS

Para este escopo, foram consideradas as emissões provenientes do consumo de combustível em veículos de propriedade da empresa e emissões relativas aos processos industriais, dividindo-se em emissões de processo e emissões fugitivas (vazamentos). As participações de cada fonte se dividem conforme a Figura 35.



**Figura 35** – Distribuição das emissões de Escopo 1 em tCO<sub>2</sub>e. Fonte: Elaboração própria.

#### (a) Combustão móvel

O consumo de combustíveis por fontes móveis referentes à frota própria de (1) veículos leves para deslocamento de funcionários e (2) transporte e distribuição de cilindros (gases) resultou em **436,2 tCO<sub>2</sub>e** conforme detalhado nas Tabelas 5 e 6.

**Tabela 5** – Emissões geradas por veículos da frota própria no deslocamento de funcionários.

Combustível	Consumo (L)	Fator de emissão (kg CO <sub>2</sub> e/L)	Emissão total (tCO <sub>2</sub> e)
Gasolina	217.313	1,688	366,9
Etanol	27.628	0,013	0,4
Diesel	2.691	2,463	6,6
<b>Total</b>			<b>373,9</b>

Fonte: Elaboração própria.

**Tabela 6** – Emissões geradas por veículos da frota própria no transporte e distribuição de gases.

<b>Tipo de veículo</b>	<b>KM rodado</b>	<b>Consumo médio (km/L)</b>	<b>Consumo estimado (L)</b>	<b>Fator de emissão (kg CO<sub>2</sub>e/L)</b>	<b>Emissão total (tCO<sub>2</sub>e)</b>
Caminhão leve a diesel (Ano 2011)	140.794	5,6	25.142	2,479	<b>62,3</b>

Fonte: Elaboração própria.

Para o cálculo das emissões de transporte e distribuição, a informação disponível era a quilometragem rodada. Este dado resulta em uma estimativa menos precisa do que o cálculo a partir da quantidade de combustível consumido – como foi o caso da frota leve – pois, além da estimativa da quantidade de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O advindos da queima nos motores a combustão, depende ainda de uma estimativa de consumo médio de combustível por quilômetro rodado que pode diferir substancialmente entre os variados modelos de veículos utilizados para este serviço. Os cálculos completos com fatores de emissão para cada tipo de GEE e combustível utilizado estão disponíveis no Anexo I.

(b) Emissões fugitivas

Nas emissões fugitivas, foram consideradas as emissões de CO<sub>2</sub> por vazamentos nos tanques, baterias de enchimento de cilindros e tubulações de processo nas Filiais 1 e 2 e na planta de CO<sub>2</sub>; estimativas de vazamentos de fluidos refrigerantes em equipamentos de ar condicionado; bem como perdas de 1% na corrente de gás de coqueria (COG) processada pela planta de H<sub>2</sub>, resultando em **1.331,1 tCO<sub>2</sub>e**. A Tabela 7 detalha as emissões fugitivas de CO<sub>2</sub> produto nas baterias de enchimento de cilindros e na planta de CO<sub>2</sub>.

**Tabela 7** – Emissões fugitivas provenientes do vazamento de produto.

<b>Unidade</b>	<b>GEE processado</b>	<b>GWP</b>	<b>Emissões fugitivas (tCO<sub>2</sub>e)</b>
Filial 1	CO <sub>2</sub> (de Enchimento)	1	139,4
Filial 2	CO <sub>2</sub> (de Gelo Seco)	1	35,1
Filial 2	CO <sub>2</sub> (de Enchimento)	1	39,7
Usina CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> (da Produção)	1	40,6
<b>Total</b>			<b>254,8</b>

Fonte: Elaboração própria.

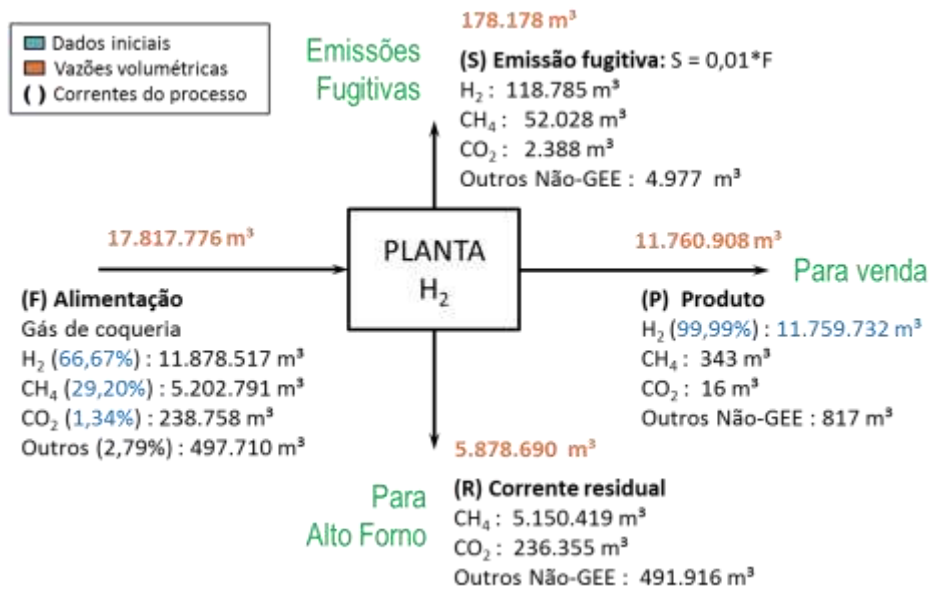
A Tabela 8 resume o cálculo das emissões provenientes do vazamento de fluidos refrigerantes dos equipamentos de ar condicionado. As cargas dos equipamentos foram estimadas com base no tamanho das unidades inventariadas e na capacidade média de cada tipo de equipamento, disponível na tabela de cargas da planilha de cálculo do Programa Brasileiro do *GHG Protocol* (2017b).

**Tabela 8** – Emissões fugitivas geradas por equipamentos de ar condicionado.

Fluido	GWP	Unidade	Tipo de sistema de refrigeração	Carga estimada (kg)	Perda estimada (kg/ano)*	Emissões fugitivas (tCO <sub>2</sub> e)
R-134a	1.430	ADM 1 e 2	Comercial, Grande	4.000,0	120,0	171,6
		FILIAL 1	Comercial, Médio	1.000,0	30,0	42,9
		CO2**	Comercial Individual	12,0	0,4	0,5
		ASU**	Comercial Individual	24,0	0,7	1,0
		H2**	Comercial Individual	12,0	0,4	0,5
		FILIAL 1	Comercial Individual	12,0	0,4	0,5
<b>Total</b>						<b>217,6</b>

\*O Programa Brasileiro estima perdas de 3% da carga no equipamento anualmente; \*\*Áreas administrativas das unidades; Fonte: Elaboração própria.

Para estimar as emissões fugitivas decorrentes de vazamentos do gás de coqueria (COG) na planta de H<sub>2</sub>, matéria-prima para obtenção do gás hidrogênio a 99,99% de pureza pelo processo PSA, o balanço material ilustrado na Figura 36 foi realizado com base nas composições volumétricas mínimas de entrada e saída do hidrogênio acordadas em contrato, na composição média do gás de coqueria (U.S.EPA, 2007), na quantidade total de hidrogênio produzido e assumindo que não resta H<sub>2</sub> na corrente residual que retorna para queima no Alto Forno da usina siderúrgica.

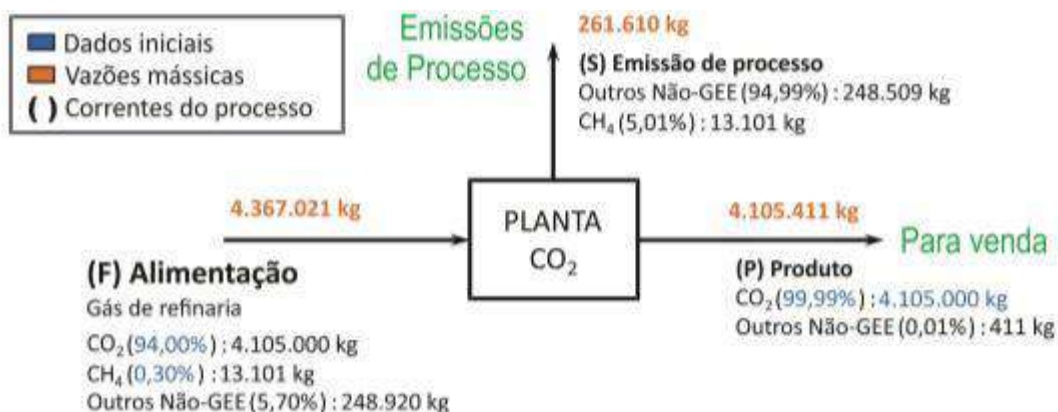


**Figura 36** – Balanço material do processo de purificação de H<sub>2</sub>. Fonte: Elaboração própria.

Após a realização do balanço, foram utilizadas as densidades do metano (NIST, 2017a) e do dióxido de carbono (NIST, 2017b) nas condições de temperatura e pressão do processo para converter o resultado para valores mássicos e, multiplicando-os em seguida por seus respectivos GWP, obteve-se o valor final de emissões fugitivas (corrente (S)), que totalizaram **858,7 tCO<sub>2</sub>e**. Os resultados completos estão disponíveis no Anexo I.

(c) Processos Industriais

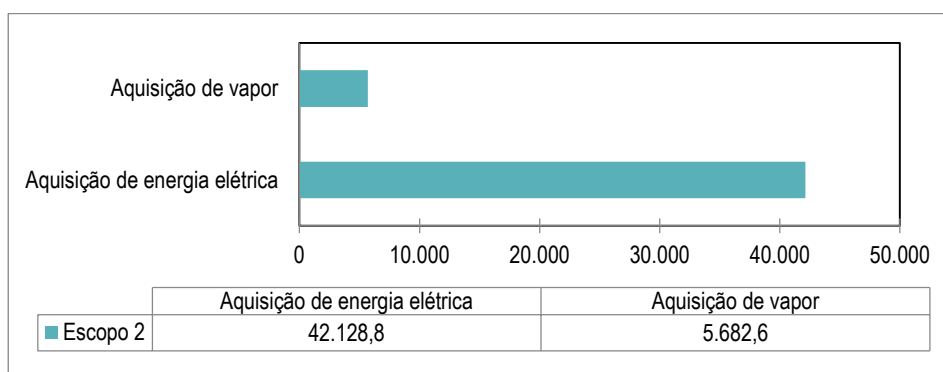
Conforme discutido no item V.5.1, foram consideradas apenas as emissões provenientes do processamento de uma corrente *by-product* de uma refinaria de petróleo para obtenção de CO<sub>2</sub>, considerando-se a recuperação total deste gás como produto e a liberação total dos demais GEE para a atmosfera na ausência de equipamentos de *flare*. Um balanço de massa, ilustrado na Figura 37, foi realizado utilizando as composições mássicas mínimas da corrente de alimentação acordadas em contrato, pureza do produto e produção total no ano de 2016, o que levou ao resultado de **327,5 tCO<sub>2</sub>e** emitidos no processo industrial. Os cálculos completos encontram-se no Anexo I.



**Figura 37** – Balanço de massa do processo de purificação de CO<sub>2</sub>. Fonte: Elaboração própria.

### VI.3.2 – ESCOPO 2: EMISSÕES INDIRETAS POR AQUISIÇÃO DE ENERGIA

Neste escopo, foram contabilizadas as emissões provenientes da aquisição de energia elétrica por todas as unidades inventariadas e de energia térmica na forma de vapor pela ASU. As participações de cada fonte se dividem conforme a Figura 38.



**Figura 38** – Distribuição das emissões de Escopo 2 em tCO<sub>2</sub>e. Fonte: Elaboração própria.



(a) Aquisição de energia elétrica

A partir dos dados de consumo de energia elétrica disponibilizados pela companhia, foram calculadas as emissões referentes ao período do inventário utilizando os fatores de emissão mensais do Sistema Interligado Nacional (SIN), listados na Tabela 9. As variações observadas nestes fatores ao longo do ano se devem à variação da participação de usinas termelétricas na matriz energética brasileira.

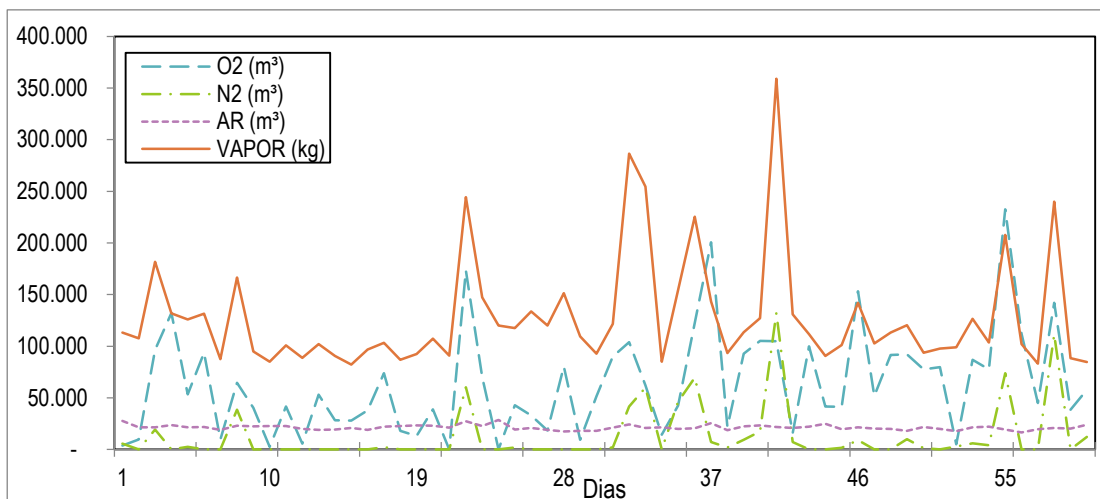
**Tabela 9** – Emissões geradas pelo consumo de energia elétrica.

Mês	Consumo (MWh)	Fator de emissão (tCO <sub>2</sub> e/MWh)	Emissões totais (tCO <sub>2</sub> e)
Janeiro	47.519	0,0960	4.561,9
Fevereiro	38.524	0,0815	3.139,7
Março	43.429	0,0710	3.083,5
Abril	32.788	0,0757	2.482,1
Maiο	39.563	0,0701	2.773,3
Junho	39.955	0,0760	3.036,6
Julho	42.434	0,0725	3.076,5
Agosto	41.791	0,0836	3.493,8
Setembro	38.227	0,0897	3.428,9
Outubro	45.325	0,0925	4.192,5
Novembro	51.457	0,1002	5.156,0
Dezembro	51.878	0,0714	3.704,1
<b>Total</b>	<b>512.890</b>		<b>42.128,8</b>

Fonte: Elaboração própria.

(b) Aquisição de energia térmica (vapor)

Seguindo a metodologia detalhada no item V.5.4, um modelo foi gerado para estimar o consumo de vapor na planta de retificação criogênica (ASU) devido à indisponibilidade deste dado no período inventariado. O comportamento de consumo de vapor (com base em medições diárias recentes) foi analisado juntamente com os principais parâmetros que geram a demanda por esta utilidade, isto é, o volume de líquidos criogênicos vaporizados (O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> e Argônio) para atender o gasoduto do cliente. O gráfico destes dados é mostrado na Figura 39.



**Figura 39** – Perfil de vaporização de O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> e Ar e de consumo de vapor.

Fonte: Elaboração própria.

Os picos coincidentes são um possível indício de que há correlação entre estas variáveis de processo e o consumo de vapor, como suposto inicialmente com base na análise do processo. Foi aplicada uma primeira regressão multivariada neste conjunto de dados (60 pontos) relacionando os volumes dos três líquidos vaporizados ao consumo de vapor, cuja análise de variância (ANOVA) resultou em P-valores para o O<sub>2</sub> e o N<sub>2</sub> menores do que 5%. Isto indicou uma probabilidade baixa de que os mesmos resultados poderiam ser observados caso a hipótese nula (ausência de relação entre as variáveis) fosse verdadeira. A partir deste resultado, o Argônio foi excluído da análise por apresentar pequena relevância estatística (P-valor: 0,146) e foi aplicada uma segunda regressão apenas com o O<sub>2</sub> e o N<sub>2</sub> como variáveis independentes, cujo resultado gerou um modelo com os seguintes coeficientes:

$$Vapor = 98155,31 + 0,15 \times VLO_{2,vap} + 1,65 \times VLN_{2,vap}$$

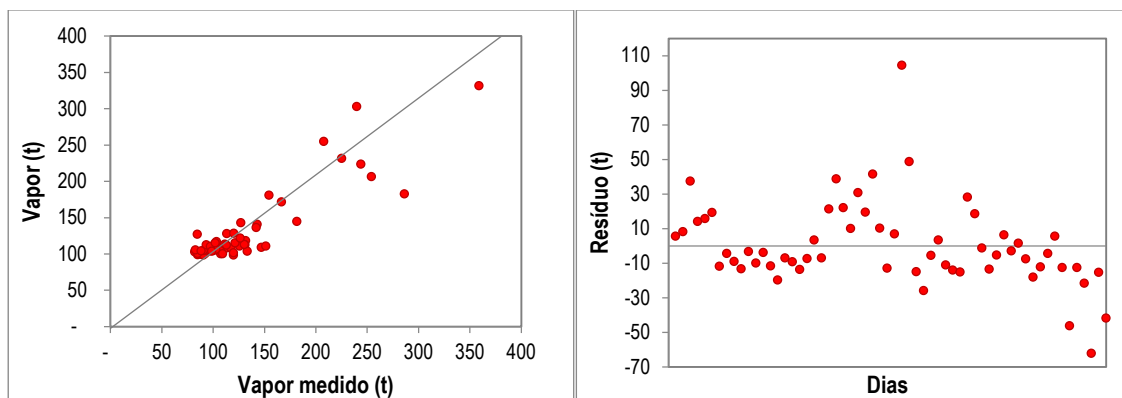
Sendo:

Vapor – vapor consumido, em kg;

VLO<sub>2,vap</sub> – volume de Oxigênio líquido vaporizado, em m<sup>3</sup>

VLN<sub>2,vap</sub> – volume de Nitrogênio líquido vaporizado, em m<sup>3</sup>

Os P-valores dos novos coeficientes (interseção, O<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>) foram, respectivamente: 4,7241E-26; 0,0473; e 2,2923E-17, indicando que os três coeficientes podem rejeitar a hipótese nula se considerado um nível de confiança de 95%. Além disso, a ANOVA indicou um P-valor de 7,7725E-21 para o F de Fischer, mostrando que o conjunto de dados é estatisticamente significativo. Por fim, o ajuste dos dados teve ‘R-quadrado ajustado’ igual a 0,796, mostrando um ajuste satisfatório considerando-se que são medições provenientes da operação e o reduzido número de informações disponíveis. A Figura 40 mostra, à esquerda, o vapor medido no intervalo de 60 dias contra o vapor estimado a partir do modelo e, à direita, o gráfico dos resíduos desta comparação.



**Figura 40** – Avaliação do vapor modelado contra o vapor medido (esq.) e gráfico dos resíduos (dir.).  
Fonte: Elaboração própria.

O modelo foi então aplicado aos dados de líquidos vaporizados em 2016 para gerar uma estimativa em quilogramas da quantidade de vapor consumido no período do inventário. Por conta do modelo de negócios desta indústria, todo vapor utilizado é fornecido por seus clientes. Por esta razão, o combustível utilizado na caldeira do cliente, uma usina siderúrgica, foi presumido com base em dados setoriais como sendo uma mistura de gás de coqueria (COG) e gás de alto forno (BFG) (SILVA; OLIVEIRA; MIGUEL, 2008).

Uma vez que a ferramenta de cálculo do *GHG Protocol* não dispunha de fatores de

emissão para a queima do BFG, foram utilizados os fatores de emissão fornecidos pela U.S.EPA (2016) referentes ao CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O emitidos por milhão de BTU (mmBTU) obtidos da queima de COG e BFG na caldeira. Para realizar a conversão do vapor de quilogramas para BTU, a corrente foi simulada no *software* UniSim e foi obtido o fator de conversão de 1.080 BTU/kg de vapor nas condições de temperatura e pressão do processo. Por fim, a estimativa das emissões de Escopo 2 decorrentes da aquisição de vapor foi calculada conforme as Tabelas 10 e 11 a seguir. Por sugestão do *GHG Protocol*, foi considerada uma eficiência de 80% no fervedor. Os dados completos utilizados no modelo e nos cálculos estão disponíveis no Anexo II.

**Tabela 10** – Mistura de gases para a caldeira e seus fatores de emissão.

<b>Gás</b>	<b>% da Energia**</b>	<b>Fator de emissão CO<sub>2</sub> (kg/mmBTU)*</b>	<b>Fator de emissão de CH<sub>4</sub> (kg/mmBTU)*</b>	<b>Fator de emissão de N<sub>2</sub>O (kg/mmBTU)*</b>
Alto forno (BFG)	82,57	274,320	2,20E-05	1,00E-04
Coqueria (COG)	17,43	46,850	4,80E-04	1,00E-04

\* Silva, Oliveira e Miguel (2008); \*\* U.S.EPA (2016). Fonte: Elaboração própria.

**Tabela 11** – Emissões geradas pela aquisição de vapor na ASU.

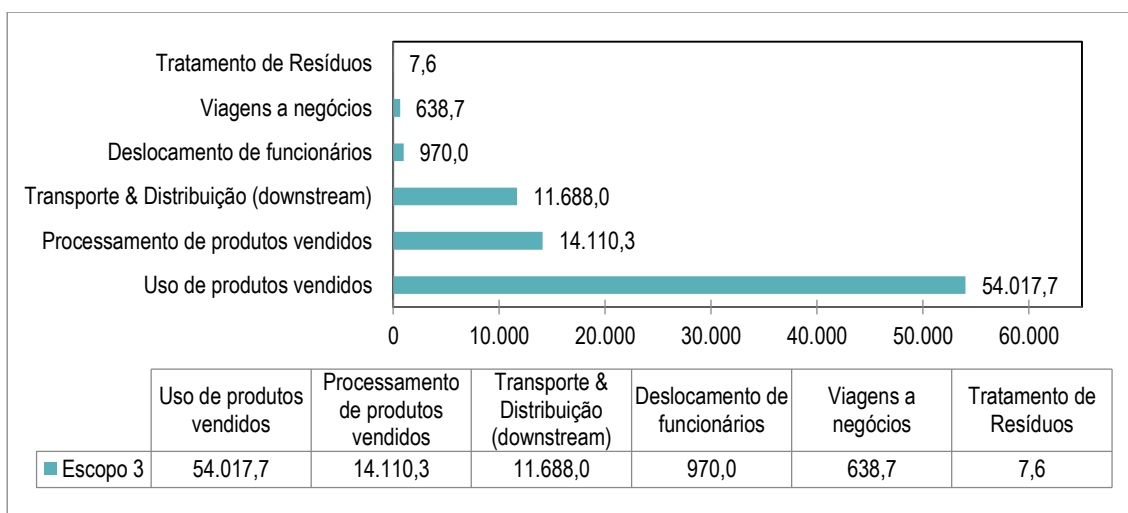
<b>Vapor Estimado (kg)</b>	<b>Energia (mmBTU)</b>	<b>Emissão de CO<sub>2</sub> (kg)</b>	<b>Emissão de CH<sub>4</sub> (kg)</b>	<b>Emissão de N<sub>2</sub>O (kg)</b>	<b>Emissão total (tCO<sub>2</sub>e)</b>
17.934.868	24.212	5.681.829	2,5	2,4	5.682,6

Fonte: Elaboração própria.

### VI.3.3 – ESCOPO 3: OUTRAS EMISSÕES INDIRETAS

Para esta quantificação, foram utilizados dados referentes ao transporte e distribuição de produtos (*downstream*), deslocamento dos funcionários (casa-trabalho-casa), viagens aéreas a negócios, tratamento e disposição final de resíduos gerados na operação, uso e processamento de produtos vendidos. É importante lembrar que para que estas emissões

pudessem ser calculadas, foi necessário fazer diversas considerações detalhadas nos itens V.5.5 a V.5.7, além de ter sido necessário excluir algumas fontes, tanto as detalhadas no item V.5.8 quanto outras para as quais não havia informações suficientes para a realização de estimativas, o que leva a uma maior incerteza relacionada a este Escopo. A Figura 41 ilustra as participações de cada fonte no total contabilizado para o Escopo 3.



**Figura 41** – Distribuição das emissões de Escopo 3 em tCO<sub>2</sub>e. Fonte: Elaboração própria.

(a) Resíduos gerados na operação

Para os resíduos sólidos da operação, foram considerados os resíduos de papel e papelão, plástico, madeira, varrição de fábrica (galhos e folhagens), resíduos de poda e jardinagem, resíduos de alimentos e EPI, trapos e estopas contaminados ou desgastados enviados a aterro sanitário ou compostados. Havia ainda dados a respeito de resíduos como de lã de vidro, perlita, galões contaminados com tinta, filtros de ar e material de construção civil, mas os mesmos não são contabilizados pela metodologia como geradores de metano em condições anaeróbias. A emissão total desta fonte foi de **7,6 tCO<sub>2</sub>e** referentes aos resíduos enviados para compostagem. A Tabela 12 apresenta as porcentagens de cada tipo de resíduo e a geração de CO<sub>2</sub>e dos resíduos enviados a aterro sanitário e a Tabela 13 apresenta as emissões referentes aos resíduos de alimentos e de poda que foram compostados.

**Tabela 12** – Perfil dos resíduos enviados a aterro sanitário e emissões geradas.

<b>Composição do resíduo</b>	<b>Anos</b>		<b>2016</b>
A - Papéis/papelão	A / Total	[%]	6,9%
B - Resíduos têxteis	B / Total	[%]	1,6%
C - Resíduos alimentares	C / Total	[%]	2,5%
D - Madeira	D / Total	[%]	0,0%
E - Resíduos de jardim e parque	E / Total	[%]	31,2%
F - Fraldas	F / Total	[%]	0,0%
G - Borracha e couro	G / Total	[%]	2,4%
Outros materiais inertes		[%]	55,48%
DOC - Carbono Orgânico Degradável no ano		[tC/tMSW]	0,106800981
<b>Emissões de CH<sub>4</sub> provenientes de aterro sanitário (tCO<sub>2</sub>e)</b>			<b>0,0*</b>
<b>Emissões totais de CO<sub>2</sub> biogênico (t)</b>			<b>6,3*</b>

\* CH<sub>4</sub> gerado no aterro é recuperado e queimado em flare. O CO<sub>2</sub> gerado é considerado biogênico por provir do metabolismo de microorganismos anaeróbios, independentemente da origem do resíduo; Fonte: Elaboração própria.

**Tabela 13** – Resíduos enviados para compostagem e emissões geradas.

<b>Massa de resíduos compostados (kg)</b>	<b>Fator de emissão (gCH<sub>4</sub>/kg Resíduo)</b>	<b>Fator de emissão (gN<sub>2</sub>O/kg Resíduo)</b>	<b>Emissão total (tCO<sub>2</sub>e)</b>
39.898	4,0	0,3	7,6

Fonte: Elaboração própria.

Os dados completos de resíduos estão disponíveis no Anexo III. Como 98% dos resíduos enviados a aterro sanitário foram gerados por unidades localizadas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, considerou-se para os cálculos que o manejo dado ao metano no(s) aterro(s) sanitário(s) desta região se aplicaria a todos os resíduos da operação aterrados. De acordo com o fluxo de destinação final dos resíduos disponível no Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, elaborado pela Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro (2015), e com matéria publicada no jornal O Globo (2012), todos os resíduos das cidades do Rio de Janeiro e Duque de Caxias seguem para o Centro de Tratamento de Resíduos (CTR-Rio) em Seropédica, que faz a recuperação total do biogás com queima em *flare*, cujas emissões de CO<sub>2</sub> são consideradas biogênicas.

(b) Viagens a negócios

Como discutido em V.5.8, foram consideradas apenas as viagens aéreas para o cálculo. As emissões geradas por este tipo de deslocamento totalizaram **638,7 tCO<sub>2</sub>e** conforme explicitado na Tabela 14. Os resultados completos encontram-se no Anexo III.

**Tabela 14** – Emissões geradas por viagens aéreas a negócios.

Tipo de trecho*	Nº de viagens	Distância percorrida (km)	Fator de emissão de CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> / passageiro.km)	Fator de emissão de CH <sub>4</sub> (kg CH <sub>4</sub> / passageiro.km)	Fator de emissão de N <sub>2</sub> O (kg N <sub>2</sub> O / passageiro.km)	Emissão total (tCO <sub>2</sub> e)
Curto	3414	1.276.115	0,1351	2,59E-06	4,29E-06	174,1
Médio	2856	4.068.183	0,0817	3,70E-07	2,58E-06	335,4
Longo	300	1.376.421	0,0929	3,70E-07	2,95E-06	129,1
<b>Total</b>						<b>638,7</b>

\* Trechos Curtos: ≤ 500 km; Médios: > 500 km e < 3700 km; e Longos: ≥ 3700 km; Fonte: Elaboração própria.

(c) Deslocamento de funcionários (casa-trabalho-casa)

As emissões estimadas decorrentes do trajeto casa-trabalho-casa dos funcionários totalizaram **970,0 tCO<sub>2</sub>e** conforme detalhado na Tabela 15. Para os cálculos, foi considerado que os trabalhadores residentes em regiões metropolitanas (94,6% dos funcionários) percorrem em média 16 km para chegar ao trabalho (32 km no dia), de acordo com a pesquisa de mobilidade urbana realizada pela empresa Alelo (2016). A mesma pesquisa apontou os meios de transporte mais utilizados pelos brasileiros e a porcentagem dos respondentes que as utilizam, cujos dados foram considerados para estimar o número de funcionários por modal. Foram considerados como dias trabalhados os 251 dias úteis do ano de 2016.

**Tabela 15** – Emissões geradas pelo deslocamento casa-trabalho-casa dos funcionários.

Modal	% por modal	Passageiros	Distância anual (km)	Fator de emissão (g CO <sub>2</sub> e/passageiro.km)	Emissão total (tCO <sub>2</sub> e)
Carro	41	483	3.876.002	143,9	557,9
Ônibus municipal	49	577	4.632.295	87,9	407,3
Metrô	10	117	945.366	5,0	4,7
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>1.177</b>	<b>9.453.664</b>		<b>970,0</b>

Fonte: Elaboração própria.

(d) Transporte e distribuição *downstream*

Como discutido no item V.5.5, foram consideradas para o cálculo as informações das frotas de transporte e distribuição de líquidos criogênicos e de cilindros (gases), cujos reportes são feitos em litros de diesel e em quilômetros rodados, respectivamente. O somatório destas fontes totalizou **11.688,0 tCO<sub>2</sub>e** conforme a Tabela 16.

**Tabela 16** – Emissões provenientes do transporte e distribuição terceirizado de produtos.

Frota	KM rodado	Carga média transportada (t)	Consumo de Diesel B7* (L)	Fator de emissão (Diesel)	Fator de emissão (Biodiesel)	Emissão total (tCO <sub>2</sub> e)
Distribuição de Líquidos	NA	NA	1.816.731	2,648 **	0,014 **	4.475,3
Distribuição de Gases	2.686.085	5,1	NA	0,567 ***	0,003 ***	7.212,6

\* Diesel com 7% de Biodiesel; \*\* kgCO<sub>2</sub>e/L; \*\*\* kg CO<sub>2</sub>e / t.km; Fonte: Elaboração própria.

O veículo-modelo escolhido para a distribuição de gases foi o Ford Cargo 815e, (classificado na ferramenta de cálculo como ‘Caminhão rígido (3,5 a 7,5 toneladas)’), cuja carga máxima é de 5,1 toneladas. A escolha foi feita com base na análise de alguns modelos de veículos da frota própria que atendem a distribuição de gases e consulta às páginas das montadoras (FORD, 2017) (KIA MOTORS, 2017). Considerou-se que esses caminhões saem com a capacidade máxima a fim de otimizar o número de viagens. Os cálculos completos do transporte e distribuição terceirizados estão disponíveis no Anexo III.



(e) Processamento de produtos vendidos

As emissões da planta de H<sub>2</sub> – decorrentes da queima em Alto Forno do gás residual que sobra da purificação do hidrogênio a partir de gás de coqueria (COG) – foram calculadas utilizando as considerações efetuadas no item V.5.6, o balanço material efetuado na Figura 36, os fatores de conversão disponibilizados no Balanço Energético Nacional (EPE, 2015a) e os fatores de emissão por queima de COG disponibilizados pela U.S. EPA (2016), resultando em 14.110,3 tCO<sub>2</sub>e, como detalhado na Tabela 17. Os cálculos completos podem ser consultados no Anexo I, Emissões Fugitivas, no balanço de massa do processo de H<sub>2</sub>.

**Tabela 17** – Emissões geradas pela queima da corrente de gás residual em Alto Forno.

COG processado * (m <sup>3</sup> )	Fator de conversão **	Fator de emissão de CO <sub>2</sub> ***	Fator de emissão de CH <sub>4</sub> ***	Fator de emissão de N <sub>2</sub> O ***	Emissões totais (tCO <sub>2</sub> e)
17.638.422	17,06	46,850	4,80E-04	1,00E-04	14.110,3

\* Excluídas as emissões fugitivas; \*\* mmBTU / 1000 m<sup>3</sup> COG; \*\*\* kg/mmBTU; Fonte: Elaboração própria.

(f) Uso de produtos vendidos

As emissões calculadas para esta fonte totalizaram **54.017,7 tCO<sub>2</sub>e** e estão resumidas na Tabela 18. Nesta categoria, conforme detalhado no item V.5.7, utilizou-se a data do faturamento para contabilizar as emissões, uma vez que se desconhece a data efetiva de uso do pelo cliente final. Além disso, foi considerada a emissão total para a atmosfera de todos os compostos vendidos na sua composição original, por também ser desconhecido o uso e o manejo dado aos mesmos pelos compradores (exceto pelo Acetileno, para o qual foi considerada a queima total por ser um gás utilizado tipicamente para soldagem).

**Tabela 18** – Emissões geradas pelo uso de produtos vendidos.

<b>Substância</b>	<b>GWP</b>	<b>Fator de emissão</b>	<b>Venda</b>	<b>Emissões (tCO<sub>2</sub>e)</b>
Dióxido de Carbono	1	-	5.165.167 kg	5.165,2
Hexafluoreto de enxofre	22.800	-	1.005 kg	22.906,7
Óxido Nitroso	298	-	87.025 kg	25.933,5
Metano	25	-	76 kg	1,9
Acetileno	-	3,38*	1.423 kg	4,8
Impurezas no H <sub>2</sub> **	-	-	1.176 m <sup>3</sup>	5,7
<b>Total</b>				<b>54.017,7</b>

\* kg CO<sub>2</sub>e/kg Acetileno (FGV, 2016); \*\* Impurezas no hidrogênio produto (0,01%) contendo CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>. Fonte: Elaboração própria.

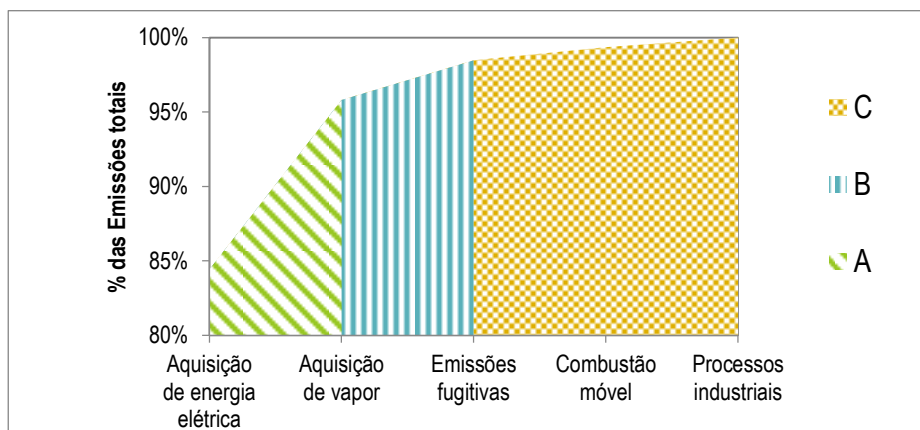
Aqui, destacam-se as estimativas de emissões decorrentes da venda de pouco mais de 1.000 kg de hexafluoreto de enxofre (GWP: 22.800). Dado o alto potencial de aquecimento global desta substância e o fato de que a mesma é normalmente utilizada como isolante em sistemas fechados (LINDE, 2017c), é provável que o seu manejo pelos compradores inclua esforços de contenção de vazamentos e mitigação de emissões, que atualmente são desconhecidos pela organização. Dessa forma, uma maneira de aumentar a precisão de estimativas futuras poderia passar pelo relacionamento com o cliente que possibilitasse a coleta de dados de uso e vazamentos dos GEE de alto GWP por eles adquiridos.

As emissões referentes às impurezas no hidrogênio produto foram calculadas utilizando o balanço material elaborado na Figura 36, a partir da composição da corrente (P) e dos fatores de emissão da U.S.EPA (2016). Como mencionado durante o cálculo das emissões fugitivas, utilizou-se as densidades do CH<sub>4</sub> e do CO<sub>2</sub> nas condições de T e P do processo para fazer as conversões para base mássica. Os cálculos completos deste processo podem ser consultados no Anexo I, Emissões Fugitivas, no balanço de massa do processo de H<sub>2</sub>.

#### VI.4 – AÇÕES ESTRATÉGICAS DE REDUÇÃO

O perfil de emissões da organização foi analisado por meio de uma curva ABC que elencou as fontes de emissão por seu impacto relativo no inventário dos Escopos 1 e 2 – para as quais a organização detém posse ou controle operacional que viabilize a redução de

emissões. Este método evidencia os alvos de maior potencial de redução e ajuda a direcionar esforços. A Figura 42 mostra a curva obtida, que traz a progressão das participações percentuais de cada fonte nas emissões totais, da maior para a menor participação.



**Figura 42**– Curva ABC para os Escopos 1 e 2. Fonte: Elaboração própria.

Como se pode observar, somadas, as fontes localizadas na área A (listras diagonais), relativas à aquisição de energia elétrica e de vapor, respondem pela maior parte das emissões totais do inventário para os Escopos 1 e 2 (95,80%). A fonte contida na área B (listras verticais) incrementa a porcentagem de emissões totais até 98,47%, enquanto que todas as demais fontes presentes na área C somadas contribuem com os 1,53% restantes.

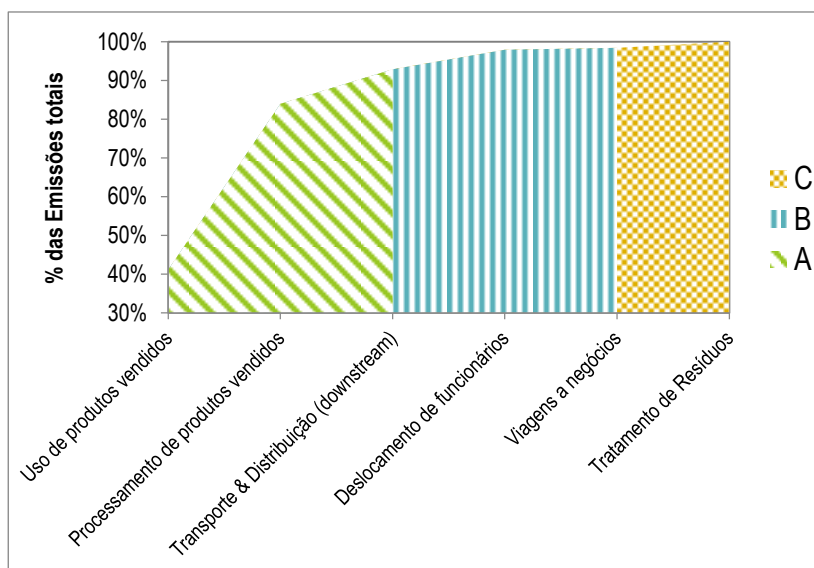
Desta maneira, os esforços na redução de impactos devem preferencialmente se concentrar na redução do consumo de energia elétrica e térmica. Para este fim, podem ser empregadas ações visando otimizar o uso da energia, tais como:

- Projetos de eficiência energética em estruturas e equipamentos;
- Diminuição de perturbações na operação (ex.: partidas e paradas de planta);
- Redução de perdas para o ambiente (ex.: isolamento elétrico e térmico, contenção de vazamentos em tanques e tubulações);
- Aproveitamento de energia renovável (ex.: instalação de painéis solares);
- Criação de indicadores-chave e desdobramento de metas (gestão à vista).

As medidas devem se concentrar principalmente na planta de retificação criogênica (ASU), que responde pela maior parte da demanda energética verificada no inventário (46.353,8 tCO<sub>2</sub>e das 47.811,4 tCO<sub>2</sub>e contabilizadas no Escopo 2 – 96,95%). No caso específico da aquisição de vapor pela ASU, uma medida de diminuição de perturbações poderia envolver a inclusão de mecanismos em contrato que estimulassem um perfil mais constante de utilização de O<sub>2</sub> e N<sub>2</sub> pelo cliente *On-site* do que o observado na Figura 39, diminuindo a necessidade de vaporizar líquido criogênico durante picos de consumo no gasoduto, atividade que por definição é pouco eficiente do ponto de vista energético.

Além da redução de emissões atmosféricas, estes esforços gerariam benefícios adicionais para a organização como redução no impacto de seu principal centro de custos – a energia – e criação de valor junto à sociedade como uma empresa ligada à sustentabilidade, o que confere a esta estratégia viabilidade econômica (além da viabilidade ambiental).

Ao analisar somente as emissões na cadeia de valor (Escopo 3), obteve-se a curva ABC mostrada na Figura 43.



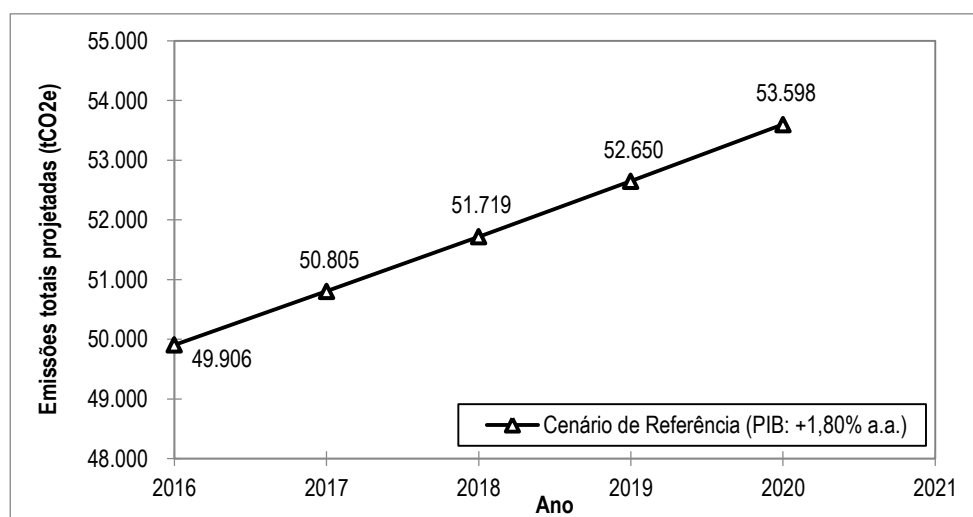
**Figura 43** – Curva ABC para os Escopos 1, 2 e 3. Fonte: Elaboração própria.

Somadas, as atividades de uso, processamento e distribuição de produtos vendidos respondem por 92,85% das emissões contabilizadas na cadeia de valor da empresa. Embora as emissões de Escopo 3 ocorram em fontes que não pertencem ou não são controladas pela

organização, algumas atitudes como a oferta de soluções que reduzam as emissões do cliente e/ou aumentem sua eficiência energética e o estímulo ao aumento do uso de biocombustíveis na frota terceirizada constituem oportunidades de a empresa reduzir seus impactos e gerar valor para clientes, acionistas e sociedade.

## VI.5 – MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES

As emissões de Escopo 2, principalmente aquelas relacionadas ao consumo de energia elétrica, foram escolhidas como foco para os esforços de mitigação. Para que fosse possível elaborar um plano de mitigação de emissões, devido às mesmas estarem diretamente ligadas à produção industrial, foi necessário primeiro construir um cenário de referência para os próximos anos. Como discorrido no Capítulo IV, a indústria de gases encontra-se em estado amadurecido e seu crescimento atualmente acompanha o crescimento da economia. Por essa razão, foi utilizada a projeção de crescimento para o PIB Nacional fornecida pela Empresa de Pesquisa Energética (2015b) para conceber um cenário de emissões de GEE para o período de 2016 a 2020 (crescimento de 1,8% ao ano), cujo resultado é mostrado na Figura 44.



**Figura 44** – Cenário de referência para as emissões totais de GEE de 2016 até 2020.

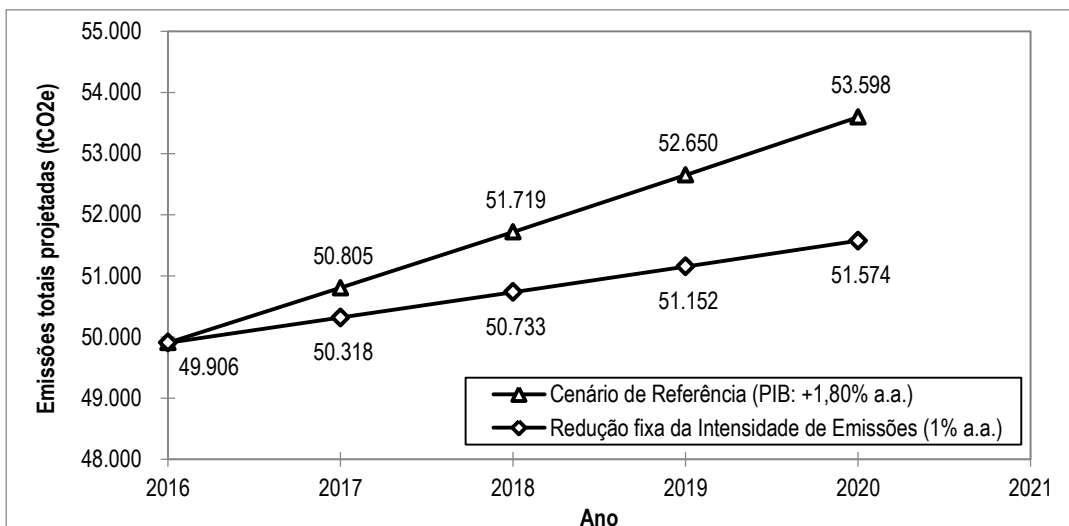
Fonte: Elaboração própria.

Neste cenário de referência, tanto a produção industrial quanto as emissões de GEE cresceram à mesma taxa que o PIB Nacional (1,8% a.a.). A proposta do plano de mitigação é que a produção industrial se mantenha no mesmo ritmo, enquanto que as emissões de GEE devem ser reduzidas com base no seguinte indicador:

$$\textit{Intensidade de Emissões} = \frac{\textit{Emissões de Escopo 2 (tCO2e)}}{\textit{Produção total (Nm}^3\textit{GO2e)}}$$

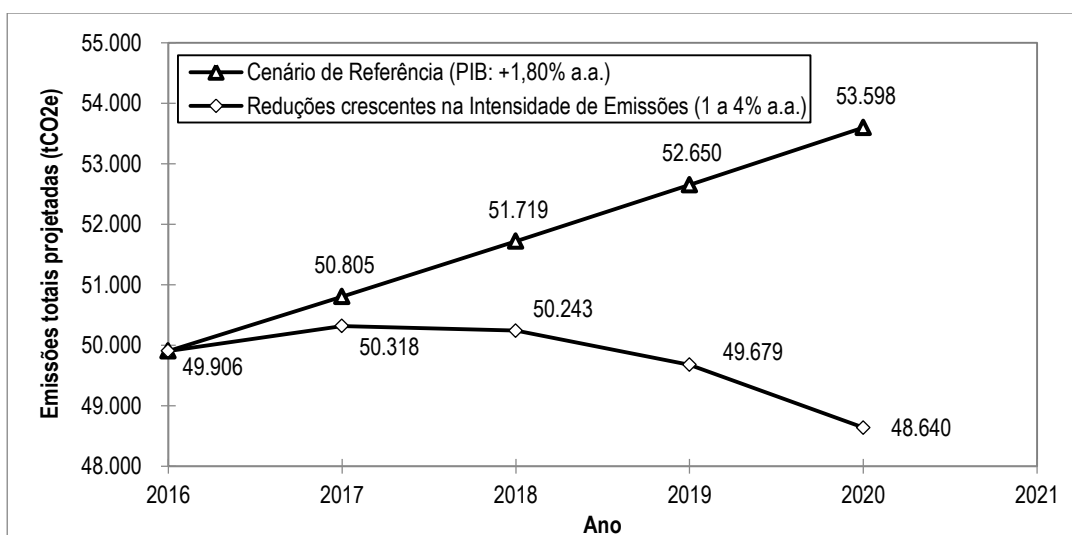
A unidade Nm<sup>3</sup> de GO<sub>2</sub>e (Normal metro cúbico de gás oxigênio equivalente, sendo Normal o volume medido a 0°C e 1 atm) é uma métrica criada pela companhia para expressar o somatório da produção de vários tipos de gases atmosféricos, como O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> e Argônio nos estados líquido e gasoso e é a principal unidade utilizada para expressar a produção industrial.

No cenário de referência, este indicador se manteve constante ao longo dos anos. Na proposta de mitigação, ele deve ser reduzido anualmente, ou seja, deve ser possível produzir a mesma quantidade de produtos com menor gasto energético. As Figuras 45 e 46 ilustram dois cenários de emissões projetadas considerando diferentes metas de redução do indicador Intensidade de Emissões.



**Figura 45** – Plano de Mitigação 2016-2020 com meta fixa de redução de intensidade de emissões. Fonte: Elaboração própria.

Neste cenário, a meta do plano de mitigação consiste na redução todos os anos de 1% no indicador Intensidade de Emissões em relação ao ano anterior. Ao final do último ano (2020), a redução de emissões totais no plano é projetada em **4.994,2 tCO<sub>2</sub>e** ou 1,93% em relação ao cenário de referência.



**Figura 46**– Plano de Mitigação 2016-2020 com meta crescente de redução de intensidade de emissões. Fonte: Elaboração própria.

No segundo cenário, a meta do plano aumenta 1% a cada ano em relação à meta do ano anterior. Na prática, a meta começa como sendo 1% de redução na Intensidade das

Emissões no ano de 2017 em relação à Intensidade de Emissões de 2016, e chega até 4% de redução na Intensidade de Emissões no ano de 2020 em relação à Intensidade de Emissões em 2019. Ao final do último ano (2020), a redução de emissões totais no plano é projetada em **9.892,1 tCO<sub>2</sub>e** ou 3,82% em relação ao cenário de referência.

Observa-se pelo formato da curva na Figura 46 que a implantação de uma meta variável faz com que o crescimento absoluto das emissões totais de GEE seja revertido. Mesmo com o aumento constante na produção industrial, até o final do plano de mitigação a organização conseguiria emitir menos GEE totais (48.640 tCO<sub>2</sub>e em 2020) do que no início do plano (49.906 tCO<sub>2</sub>e em 2016). No cenário de metas constantes (Figura 45), embora o plano contribua para que a organização se torne mais eficiente, ao final estes esforços não proporcionariam reduções absolutas nas emissões de GEE.



## CAPÍTULO VII – CONCLUSÃO

As mudanças climáticas são um processo inequívoco e que tenderá a ocupar cada vez mais um lugar de destaque nas relações comerciais no século XXI, especialmente após os compromissos assumidos pelas nações signatárias do Acordo de Paris. Neste cenário, a produção de inventários de GEE pelas indústrias contribui para a disseminação de uma cultura de gestão de emissões e para o amadurecimento desta prática que hoje se encontra em estágio inicial no ambiente empresarial brasileiro.

A metodologia apresentada pelo Programa Brasileiro do *GHG Protocol* por meio de seu documento de especificações e ferramenta de cálculo foi de fácil compreensão e aplicação. Ela constituiu um valioso recurso para a elaboração do inventário devido à sua grande abrangência e por utilizar fatores de emissão atualizados e relevantes, de fontes acreditadas como o IPCC, o U.S.EPA, ou locais, sempre que disponíveis. Entretanto, a ferramenta ainda não representa uma solução global, necessitando de outras fontes complementares de informação e metodologias setoriais, especialmente no que tange às emissões relativas aos processos industriais.

A análise do perfil de emissões obtido no inventário demonstrou a importância de considerar o Escopo 3 na contabilização de emissões da indústria de gases, pois este foi o que teve maior representatividade no resultado final. Neste, o uso de produtos vendidos se mostrou como a fonte mais importante de emissões, tendo sido identificado como oportunidade de melhoria o refinamento da coleta de dados para incluir a forma de utilização dos produtos pelos clientes, especialmente o hexafluoreto de enxofre, para que uma contabilização mais precisa dessas emissões seja possível. A comercialização de soluções que aumentem a eficiência de processos ou permitam a redução de suas emissões, cada vez mais comuns no portfólio de produtos desta indústria, se mostra como uma importante oportunidade de a empresa auferir lucros em novos negócios, ao mesmo tempo em que promove a mitigação de impactos em sua cadeia de valor.

Dentre as emissões de Escopo 1 e 2, que estão sob o controle da organização, a

aquisição de energia elétrica foi a fonte que gerou as maiores emissões de gases de efeito estufa na indústria inventariada. Este resultado foi condizente com o perfil apresentado por outras empresas de gases industriais – após discutirem-se as razões para as diferenças de representatividade do Escopo 1 – e com empresas de outros setores que não apresentam alta demanda por energia térmica. Dessa maneira, constatou-se que é possível implantar ações de mitigação que reduzam simultaneamente custos operacionais estratégicos e a quantidade de GEE emitidos para a atmosfera, aliando ganhos ambientais, econômicos e de imagem para a empresa.

A comparação entre os dois cenários do plano de mitigação mostrou ainda que a perseguição de metas mais ambiciosas de redução é fundamental para que se alcance o pico de emissões de GEE o mais rapidamente possível e comecem a ocorrer reduções nas emissões absolutas. Como preconizado pelo Acordo de Paris, esta reversão de perfil é essencial para que se possa alcançar a meta de conter a elevação da temperatura global em no máximo 2°C até o final deste século.

Além da eficiência energética, outras formas de mitigação ou compensação de emissões são possíveis, como a substituição de combustíveis fósseis por fontes de energia renovável, reaproveitamento e substituição de materiais, plantio de árvores e reduções de perdas. Cabe a cada organização avaliar o seu perfil de emissões por meio do inventário de GEE e identificar suas fontes com maior potencial de redução.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIR LIQUIDE. **Who we are:** Profile. 2017(a). Disponível em: <<https://www.airliquide.com/group/profile>>. Acesso em: 27 nov. 2017.

AIR LIQUIDE. **Microbulk.** 2017(b). Disponível em: <<https://industry.airliquide.ca/supply-modes/microbulk>>. Acesso em: 27 nov. 2017.

AIR LIQUIDE. **2016 Sustainable Development Report:** Extracts from the Reference Document. 2017(c). Disponível em: <<https://www.airliquide.com/sites/airliquide.com/files/2017/03/09/2016-sustainable-development-report.pdf>>. Acesso em: 28 nov. 2017.

AIR PRODUCTS. **About Us.** 2017(a). Disponível em: <<http://www.airproducts.com/Company/about-us.aspx>>. Acesso em: 27 nov. 2017.

AIR PRODUCTS. **CDP 2017 Climate Change Information Request:** Air Products & Chemicals, Inc.. 2017. Disponível em: <<http://www.airproducts.com/~media/Files/PDF/company/CDP-2017-response.pdf>>. Acesso em: 28 nov. 2017.

AIR PRODUCTS. **Hydrogen - Weight and Volume Equivalents.** 2017(b). Disponível em: <<http://www.airproducts.com/products/Gases/gas-facts/conversion-formulas/weight-and-volume-equivalents/hydrogen.aspx>>. Acesso em: 12 nov. 2017.

ALELO. **Pesquisa de mobilidade Alelo.** 2016. Disponível em: <<http://www.alelopesquisa.com.br/pesquisa-de-mobilidade-alelo.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2017.

ANTUNES, Verônica Nascimento Brito; SANCHEZ, Gabriela Fernandez. **ANÁLISE DAS POLÍTICAS ESTADUAIS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS ATRAVÉS DO ENFOQUE POLICY CYCLE.** In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA ECOLÓGICA, 10., 2013, Vitória. Inovação e Sustentabilidade sob a ótica

da economia ecológica. Vitória: ECOECO, 2013. p. 11 - 12. Disponível em: <[http://www.ecoeco.org.br/conteudo/publicacoes/encontros/x\\_en/GT9-2153-1564-20130603044541.pdf](http://www.ecoeco.org.br/conteudo/publicacoes/encontros/x_en/GT9-2153-1564-20130603044541.pdf)>. Acesso em: 17 nov. 2017.

ASSUNÇÃO, J. V. de; PESQUERO, C. R. **Dioxinas e furanos**: origens e riscos. Revista Saúde Pública, São Paulo (SP), v. 33, n. 5, p. 523-530, out. 1999. Disponível em: <[http://www.scielosp.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-89101999000500014&lng=en&nrm=iso](http://www.scielosp.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-89101999000500014&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 19 nov. 2017.

BAIRD, C. **Química ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 2003.

BM&FBOVESPA. Sustentabilidade. **Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE)**. 2017(a). Disponível em: <[http://www.bmfbovespa.com.br/pt\\_br/institucional/sustentabilidade/nabolsa/relatorios/inventario-de-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa-gee.htm](http://www.bmfbovespa.com.br/pt_br/institucional/sustentabilidade/nabolsa/relatorios/inventario-de-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa-gee.htm)>. Acesso em: 05 de nov. de 2017.

BM&FBOVESPA. 12<sup>a</sup> **carteira do Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE) entra em vigor**. Notícias, 12 jan. 2017(b). Disponível em: <[http://www.bmfbovespa.com.br/pt\\_br/noticias/12-carteira-do-indice-de-sustentabilidade-empresarial-ise-entra-em-vigor.htm](http://www.bmfbovespa.com.br/pt_br/noticias/12-carteira-do-indice-de-sustentabilidade-empresarial-ise-entra-em-vigor.htm)>. Acesso em: 05 de nov. de 2017.

BODANSKY, Daniel. **The History of the Global Climate Change Regime**. In: LUTERBACHER, Urs; SPRINZ, Detlef. International relations and global climate change. Eua: Mit Press, 2001. Cap. 2. p. 23-40. Disponível em: <[http://graduateinstitute.ch/files/live/sites/iheid/files/sites/admininst/shared/doc-professors/luterbacher chapter 2 102.pdf](http://graduateinstitute.ch/files/live/sites/iheid/files/sites/admininst/shared/doc-professors/luterbacher%20chapter%20102.pdf)>. Acesso em: 13 nov. 2017.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA N° 003/1990**. 1990. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100>>. Acesso em: 19 nov. 2017.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Política Nacional sobre Mudança do Clima**. 2017(a). Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/politica-sobre-mudanca-do-clima>>. Acesso em: 17 nov. 2017.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. . **Entenda como funciona o mercado de crédito de carbono**. 2012. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2012/04/entenda-como-funciona-o-mercado-de-credito-de-carbono>>. Acesso em: 21 nov. 2017.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Emissões de Gases de Efeito Estufa**. 2017(b). Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/mma-em-numeros/emissoes-de-gee>>. Acesso em: 17 nov. 2017.

CAMPOS, Sarmiento. **Propagação Ionosférica**. Disponível em: <<http://www.sarmiento.eng.br/Propagacao.htm>>. Acesso em: 24 nov. 2017.

CANGEMI, José Marcelo. **Química Inorgânica Industrial I: Gases Industriais**. 2012. UNIFEB. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/JosMarceloCangemi/aula-2-gases-industriais-2012-unifeb>>. Acesso em: 27 nov. 2017.

CASA DA MOEDA DO BRASIL (Brasil). **Participantes: Casa da Moeda do Brasil**. 2017. Registro Público de Emissões. Disponível em: <<https://www.registropublicodeemissoes.com.br/participantes/1178>>. Acesso em: 29 nov. 2017.

CDP – CARBON DISCLOSURE PROJECT. **Relatório CDP Brasil 2012**: do disclosure à ação. [S.l: s.n.], 2012. 52 p. Disponível em: <[http://www.abrapp.org.br/Lists/Sustentabilidade/Attachments/19/CDP\\_Completo\\_Brasil\\_port\\_2012.pdf](http://www.abrapp.org.br/Lists/Sustentabilidade/Attachments/19/CDP_Completo_Brasil_port_2012.pdf)>. Acesso em: 30 de out. de 2012.

CAT – CLIMATE ACTION TRACKER. **Brazil: Rating**. 2017. Disponível em: <<http://climateactiontracker.org/countries/brazil.html>>. Acesso em: 18 nov. 2017.

CDM – CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM. United Nations Framework Convention

of Climate Change. **Registry systems under the Kyoto Protocol**. 2017(a). Disponível em: <<http://cdm.unfccc.int/Projects/MapApp/index.html?state=Registered>>. Acesso em: 21 nov. 2017.

CDM – CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM. United Nations Framework Convention On Climate Change. 2012. **Report: “Benefits of the Clean Development Mechanism 2012”**: Highlights. 2012. Disponível em: <[http://cdm.unfccc.int/about/dev\\_ben/ABC\\_FactSheet.pdf](http://cdm.unfccc.int/about/dev_ben/ABC_FactSheet.pdf)>. Acesso em: 21 nov. 2017.

CDM – CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM. United Nations Framework Convention On Climate Change. 2017. **Project 9087: Gramacho Landfill Gas Project**. 2017(b). Disponível em: <<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1356155404.95/view>>. Acesso em: 21 nov. 2017.

CDM PIPELINE. UNED DTU Partnership. **CDM/JI Pipeline Overview Page**. 2012(a). Disponível em: <<http://www.cdmpipeline.org/overview.htm>>. Acesso em: 19 nov. 2017.

CDM PIPELINE. **Ji Projects**. 2012(b). Disponível em: <<http://www.cdmpipeline.org/ji-projects.htm#2>>. Acesso em: 19 nov. 2017.

CHEMICALS TECHNOLOGY. **Linde commissions air separation unit in Texas, US**. 2015. Disponível em: <<http://www.chemicals-technology.com/news/newslinde-commissions-air-separation-unit-in-texas-us-4539718>>. Acesso em: 27 nov. 2017.

COMPANHIA SIDERÚRGICA NACIONAL (CSN). **Participantes**: Usina Presidente Vargas (UPV). 2017. Registro Público de Emissões. Disponível em: <<https://www.registropublicodeemissoes.com.br/participantes/2106>>. Acesso em: 29 nov. 2017.2

CUNHA, Armando Lucas Cherem da. **Gases industriais: EQI 471 – Processos inorgânicos I**. Rio de Janeiro: Escola de Química, 2017. 28 slides, color. Notas de aula. Disponível em: <<https://goo.gl/g4wwrP>>. Acesso em: 09 nov. 2017.

DONOSO, José Pedro. **Espectroscopia Infravermelha: Moléculas**. Disponível em: <<http://www.ifsc.usp.br/~donoso/espectroscopia/Infravermelho.pdf>>. Acesso em: 19 nov. 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (Brasil). Ministério de Minas e Energia. **Balço Energético Nacional: Ano base 2014**. Rio de Janeiro: EPE, 2015(a). 291 p. Anexo VIII – Fatores de Conversão. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2015.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf)>. Acesso em: 15 nov. 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (Brasil). Ministério de Minas e Energia. **Caracterização do Cenário Econômico para os próximos 10 anos (2015-2024): NOTA TÉCNICA DEA 12/15**. 2015(b). Série ESTUDOS ECONÔMICOS. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/Série Estudos de Energia/DEA 12-15 NT Cenário economico 2015-2024vf.pdf](http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/Série%20Estudos%20de%20Energia/DEA%2012-15%20NT%20Cenario%20economico%202015-2024vf.pdf)>. Acesso em: 02 dez. 2017.

ENKVIST, Per-anders; NAUCLÉR, Tomas; ROSANDER, Jerker. **A cost curve for greenhouse gas reduction**. Estocolmo: Mckinsey & Company, 2007. (McKinsey Quarterly). Disponível em: <<https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability-and-resource-productivity/our-insights/a-cost-curve-for-greenhouse-gas-reduction>>. Acesso em: 14 nov. 2017.

EVANS, Simon. Carbon Brief. **Mapped: Climate change laws around the world**. 2017. Disponível em: <<https://www.carbonbrief.org/mapped-climate-change-laws-around-world>>. Acesso em: 13 nov. 2017.

FAIRBANKS, M. **Capacidade produtiva cresce para acompanhar clientes**. In: Química e Derivados on Line, v. 439, abril 2006.

FERRÃO, Jonas de Araujo. **Estudo do inventário de emissões de gases de efeito estufa de um planta de cosméticos no estado do Rio de Janeiro**. 2016. 123 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

- FIGUEIREDO, Isabel Peralva. **Avaliação de emissões atmosféricas na indústria siderúrgica sob a ótica do controle e monitoramento: O caso da CSN.** 2016. 84 f. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016. Cap. 3. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10016279.pdf>>. Acesso em: 13 nov. 2017.
- FIRJAN. Departamento Regional do Estado do Rio de Janeiro. **Cartilha inventário de emissões de gases de efeito estufa.** Rio de Janeiro: [s.n.], 2017. 64 p.
- FORD CAMINHÕES. Serviços ao cliente. **Especificações técnicas: Cargo 815e.** Disponível em: <<http://www.fordcaminhoes.com.br/servlet/BlobServer/C-815-Especificações-Técnicas.pdf?blobtable=DFYBlob&blobheader=application/pdf&blobwhere=1249060118871&blobcol=urlblob&blobkey=id>>. Acesso em: 03 de nov. de 2017.
- FORNARO, Adalgiza. **Poluição Atmosférica: Conceitos.** 2013. Disponível em: <[http://www.dca.iag.usp.br/www/material/fornaro/ACA410/polui%e7%e3o\\_do\\_ar\\_junho2013.pdf](http://www.dca.iag.usp.br/www/material/fornaro/ACA410/polui%e7%e3o_do_ar_junho2013.pdf)>. Acesso em: 19 nov. 2017.
- FÓRUM CLIMA – AÇÃO EMPRESARIAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. Instituto Ethos. **Observatório de Políticas Públicas de Mudanças Climáticas.** 2017. Disponível em: <<https://forumempresarialpeloclima.ethos.org.br/observatorio-de-politicas-publicas-de-mudancas-climaticas>>. Acesso em: 17 nov. 2017.
- FÓRUM GLOBAL DE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA. Stockholm Environment Institute (SEI). **Policy Briefs: Sources.** 2012. Disponível em: <<https://www.sei-international.org/gapforum/policy/sources.php>>. Acesso em: 19 nov. 2017.
- FRANÇA, Marlon Lacerda. **Estimativa das emissões de gases do efeito estufa e proposta de mitigação dos impactos ambientais gerados por um empreendimento da construção civil: Um estudo de caso.** 2016. 110 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em:



<<http://dissertacoes.poli.ufrj.br/dissertacoes/dissertpoli1730.pdf>>. Acesso em: 19 nov. 2017.

FREEDONIA GROUP. **Freedonia Industry Study #1489**: World Industrial Gases with forecasts to 2005 and 2010. 2001. Disponível em: <<https://www.freedoniagroup.com/brochure/14xx/1489smwe.pdf>>. Acesso em: 29 nov. 2017.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. Centro de Estudos em Sustentabilidade da EAESP. **Guia para a elaboração de inventários corporativos de emissões de gases do efeito estufa (GEE)**. São Paulo: FGV, 2009. 22 p. : il. color.; 21 cm.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. Centro de Estudos em Sustentabilidade da EAESP. **Categorias de emissões de escopo 3 adotadas pelo Programa Brasileiro GHG Protocol**. 2011. 5 p. Disponível em: <[http://mediadrawer.gvces.com.br/ghg/original/ghg\\_categorias\\_e3\\_definicoes\\_curta.pdf](http://mediadrawer.gvces.com.br/ghg/original/ghg_categorias_e3_definicoes_curta.pdf)>. Acesso em: 11 nov. 2017

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. Centro de Estudos em Sustentabilidade da EAESP. **NOTA TÉCNICA: Emissões de gases de efeito estufa por queima de acetileno (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>)**. 1.0. São Paulo: [s. I.], 2016. 2 p. Disponível em: <[http://mediadrawer.gvces.com.br/ghg/original/ghg-protocol\\_nota-tecnica\\_uso-de-acetileno\\_v1.pdf](http://mediadrawer.gvces.com.br/ghg/original/ghg-protocol_nota-tecnica_uso-de-acetileno_v1.pdf)>. Acesso em: 10 nov. 2017.

**G1. Cortes restringem funcionamento de parques e fiscalização de áreas ambientais**. 2017. Reportagem de Alessandra Modzeleski. Disponível em: <<https://g1.globo.com/natureza/noticia/cortes-restringem-funcionamento-de-parques-e-fiscalizacao-de-areas-ambientais.ghtml>>. Acesso em: 18 nov. 2017.

GRIMM, A. M. **Meteorologia Básica**: Notas de Aula. Disponível em: <<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap1/cap1-2.html>>. Acesso em: 29 nov. 2017.

GUEDES, Ilde; MOREIRA, José E. **O efeito Raman**. Disponível em:

<<http://www.searadaciencia.ufc.br/especiais/fisica/raman/raman1.htm>>. Acesso em: 19 nov. 2017.

GUIMARÃES, Claudinei de Souza. **Controle e Monitoramento de Poluentes Atmosféricos**. Rio de Janeiro: Campus (grupo Elsevier), 2016. 232 p.

HALL, Gill; LEE, Joanna. **Making Advances in Carbon Management - Best practice from the Carbon Information Leaders**. [s.l.]: A Joint CDP and IBM study, 2008.

ICAP. Emissions Trading Worldwide: **Status Report 2017**. Berlin: Icap, 2017. 77 p.  
Disponível em:  
<[https://icapcarbonaction.com/en/?option=com\\_attach&task=download&id=447](https://icapcarbonaction.com/en/?option=com_attach&task=download&id=447)>.  
Acesso em: 22 nov. 2017.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (Brasil). **PRODES estima 7.989 km2 de desmatamento por corte raso na Amazônia em 2016**. 2016. Disponível em: <[http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod\\_Noticia=4344](http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=4344)>. Acesso em: 18 nov. 2017.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis: IPCC Working Group I Contribution to AR5**. 2013. Summary for Policymakers (SPM). Disponível em:  
<[http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5\\_SPM\\_FINAL.pdf](http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf)>.  
Acesso em: 20 nov. 2017.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014: Synthesis Report Summary for Policymakers**. Genebra: IPCC, 2014. 32 p.  
Disponível em: <[http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5\\_SYR\\_FINAL\\_SPM.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf)>. Acesso em: 22 nov. 2017.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. WG1. **Atmospheric Chemistry and Greenhouse Gases**. Genebra: IPCC, 2001. 50 p. (TAR). Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1/pdf/TAR-04.PDF>>. Acesso em: 23 nov.

2017.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2016. **Organization.**

Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/organization/organization.shtml>>. Acesso em: 28 de out. de 2017.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2017. **History.**

Disponível em: <[https://www.ipcc.ch/organization/organization\\_history.shtml](https://www.ipcc.ch/organization/organization_history.shtml)>. Acesso em: 28 de out. de 2017.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Revised IPCC guidelines for national GHG inventories:** Reference Manual. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 1996.

IVANOVA, Svetlana; LEWIS, Robert. **Producing Nitrogen via Pressure Swing**

**Adsorption:** Pressure Swing Adsorption (PSA) can be a cost-effective method of onsite nitrogen generation for a wide range of purity and flow requirements. AIChE: CEP, Allentown, p.38-42, jun. 2012. Disponível em: <[http://www.airproducts.com/microsite/uk/GGG/pdf/NitrogenViaPSA\\_CEP\\_article.pdf](http://www.airproducts.com/microsite/uk/GGG/pdf/NitrogenViaPSA_CEP_article.pdf)>. Acesso em: 09 nov. 2017.

JI – JOINT IMPLEMENTATION MECHANISM. United Nations Framework Convention On Climate Change. **10 highlighted JI projects.** 2012. Disponível em: <[http://ji.unfccc.int/about/multimedia/ji\\_highlights.pdf](http://ji.unfccc.int/about/multimedia/ji_highlights.pdf)>. Acesso em: 21 nov. 2017.

KIA MOTORS. Veículos. **Bongo:** ficha técnica. Disponível em: <[https://www.kia.com.br/downloads/fichas\\_tecnicas/bongo.pdf](https://www.kia.com.br/downloads/fichas_tecnicas/bongo.pdf)>. Acesso em: 03 de nov. de 2017.

LINDE GROUP. **Leveraging Potential:** Financial Report 2016. 2017(a). Disponível em: <[http://www.the-linde-group.com/internet.global.thelindegroup.global/en/images/12989\\_Linde-FB-2016-EN-online\\_2017-03-0814\\_401906.pdf?v=9.0](http://www.the-linde-group.com/internet.global.thelindegroup.global/en/images/12989_Linde-FB-2016-EN-online_2017-03-0814_401906.pdf?v=9.0)>. Acesso em: 27 nov. 2017.

LINDE GROUP. **Aplicações de hidrogênio nas refinarias**. 2017(b). Disponível em: <[http://www.linde-gas.com.br/pt/processes/petrochemical\\_processing/hydrogen\\_applications\\_refineries/index.html](http://www.linde-gas.com.br/pt/processes/petrochemical_processing/hydrogen_applications_refineries/index.html)>. Acesso em: 09 de nov. de 2017.

LINDE GROUP. **Hexafluoreto de enxofre**: Aplicações e embalagens. 2017(c). Disponível em: <[http://www.linde-gas.com.br/pt/products\\_and\\_supply/packaged\\_chemicals/product\\_range/sulphur\\_hexafluoride.html](http://www.linde-gas.com.br/pt/products_and_supply/packaged_chemicals/product_range/sulphur_hexafluoride.html)>. Acesso em: 01 dez. 2017.

LIVE SCIENCE. **What Is Electromagnetic Radiation?** 2015. Artigo de Jim Lucas. Disponível em: <<https://www.livescience.com/38169-electromagnetism.html>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

MATO GROSSO DO SUL. Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul. **Programa Estadual de Educação Ambiental**: Capacitação para Nivelamento de Conhecimentos em Educação Ambiental. 2017. Disponível em: <[http://www.imasul.ms.gov.br/wp-content/uploads/sites/74/2017/08/CAPACITAÇÃO\\_PROEEA-MS\\_21-08.pdf](http://www.imasul.ms.gov.br/wp-content/uploads/sites/74/2017/08/CAPACITAÇÃO_PROEEA-MS_21-08.pdf)>. Acesso em: 17 nov. 2017.

MAZZOLA, Bruno Giovanni. Universidade de São Paulo. **Contribuições do Brasil para a Redução das Emissões Globais de Gases de Efeito Estufa**. São Paulo: USP, 2015. 18 p. (Políticas nacionais de redução de GEE). Para mudar o futuro: COP21 Como avançar em Paris. Disponível em: <[http://www.usp.br/mudarfuturo/cms/wp-content/uploads/07\\_brasil.pdf](http://www.usp.br/mudarfuturo/cms/wp-content/uploads/07_brasil.pdf)>. Acesso em: 17 nov. 2017.

MEDEIROS, G.A.; DANIEL, L.A. **Responsabilidade Ambiental**: Neutralização do carbono gerado pelos alunos da Faculdade de Tecnologia de Indaiatuba - SP. Revista Reverte, Indaiatuba, n. 7, 2011.

MORAES JÚNIOR, Walter Freitas de. **Eficiência e precaução na siderurgia a base de coque**: A implementação de uma coqueria em Ipatinga/MG. 2010. 199 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade

Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010. Cap. 4. Disponível em: <[http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/3334/1/DISSERTAÇÃO\\_EficiênciaPrecauçãoSiderurgia.PDF](http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/3334/1/DISSERTAÇÃO_EficiênciaPrecauçãoSiderurgia.PDF)>. Acesso em: 09 nov. 2017.

NACHMANY, Michal et al. Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment. **Global trends in climate change legislation and litigation**: 2017 Update. 6. ed. Londres: [s. l.], 2017. 27 p. Disponível em: <<http://www.lse.ac.uk/GranthamInstitute/wp-content/uploads/2017/04/Global-trends-in-climate-change-legislation-and-litigation-WEB.pdf>>. Acesso em: 13 nov. 2017.

NASCIMENTO, Joel Santana do. **Separação de hidrogênio de misturas gasosas através de membrana de carbono do tipo fibra oca**. 2010. 107 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Engenharia Química, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010. Cap. 2. Disponível em: <[http://www.nucat.coppe.ufrj.br/index.php/producao-intelectual/teses/doc\\_download/22-reator-catalitico-com-membrana-de-carbono-para-producao-de-hidrogenio](http://www.nucat.coppe.ufrj.br/index.php/producao-intelectual/teses/doc_download/22-reator-catalitico-com-membrana-de-carbono-para-producao-de-hidrogenio)>. Acesso em: 10 nov. 2017.

NIST – NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. U.S. Department Of Commerce. **Isothermal Properties for carbon dioxide**. Disponível em: <<http://bit.ly/2njX9a8>>. Acesso em: 30 nov. 2017.

NIST – NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. U.S. Department Of Commerce. **Isobaric Properties for Methane**. Disponível em: <<http://bit.ly/2zF8MKE>>. Acesso em: 30 nov. 2017.

NOBEL PRIZE. Nobel Media AB, 2014. **The Nobel Peace Prize 2007**. Disponível em: <[http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/peace/laureates/2007/](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/peace/laureates/2007/)>. Acesso em: 28 de out. de 2017.

O GLOBO. **Minc afirma que lixo de Caxias vai para Seropédica, e não para Belford Roxo**. 2012. Matéria de Rafael Galdo. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/rio/minc-afirma-que-lixo-de-caxias-vai-para-seropedica-nao>>

para-belford-roxo-5754171>. Acesso em: 01 dez. 2017.

OPHARDT, Charles E. Elmhurst College. **Global warming**: Virtual Chembook. 2003. Disponível em: <<http://chemistry.elmhurst.edu/vchembook/globalwarmA5.html>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

ORBIS RESEARCH. **Global Industrial Gases Market 2017-2021**. 2017. Publicado por Technavio. Disponível em: <<http://www.orbisresearch.com/reports/index/global-industrial-gases-market-2017-2021>>. Acesso em: 27 nov. 2017.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). General Assembly. A/RES/43/53, 70th plenary meeting. **Protection of global climate for present and future generations of mankind**. Nova Iorque: ONU, 1988. Disponível em: <<http://www.un.org/documents/ga/res/43/a43r053.htm>>. Acesso em: 13 nov. 2017.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease**. 2016. Disponível em: <<http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/250141/1/9789241511353-eng.pdf?ua=1>>. Acesso em: 19 nov. 2017.

OSIBANJO, Richard; CURTIS, Rachael; LAI, Zijuan. **Infrared: Theory**. 2017. LibreTexts Library: Chemistry. Disponível em: <[https://chem.libretexts.org/Core/Physical\\_and\\_Theoretical\\_Chemistry/Spectroscopy/Vibrational\\_Spectroscopy/Infrared\\_Spectroscopy/Infrared:\\_Theory](https://chem.libretexts.org/Core/Physical_and_Theoretical_Chemistry/Spectroscopy/Vibrational_Spectroscopy/Infrared_Spectroscopy/Infrared:_Theory)>. Acesso em: 20 nov. 2017.

OXIGUAÇU. **Empresa**. Disponível em: <<http://www.oxiguacu.com.br/empresa>>. Acesso em: 27 nov. 2017.

PASSOS, I.O.; TEIXEIRA, V.B. **Avaliação da separação dos gases do ar através de processo híbrido com destilação criogênica e PSA**. 2017. 66 p. Projeto de Final de Curso (Graduação) – Engenharia Química, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

PEQUENAS EMPRESAS & GRANDES NEGÓCIOS (PEGN). **IBG é o único fabricante brasileiro do setor de gases**. 2010. Matéria de Sergio Tauhata. Disponível em: <<http://revistapegn.globo.com/Revista/Common/0,,EMI125170-17165,00-IBG+E+O+UNICO+FABRICANTE+BRASILEIRO+DO+SETOR+DE+GASES.html>>. Acesso em: 27 nov. 2017.

PEREIRA, C. E. M.; ASSAFIN, J. F. M. **Estruturas e modelos de negócio no mercado de gases industriais**. 2014. 74 p. Projeto de Final de Curso (Graduação) – Engenharia Química, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

PIAUI. Secretaria Estadual de Meio Ambiente. **Legislação ambiental do estado do Piauí: Resoluções do Conselho Estadual do Meio Ambiente**. 2014. Disponível em: <[http://www.semar.pi.gov.br/download/201412/SM19\\_5a22f2f6b8.pdf](http://www.semar.pi.gov.br/download/201412/SM19_5a22f2f6b8.pdf)>. Acesso em: 17 nov. 2017.

PINHO, Ingrid Person Rocha e. **Inventário e gerenciamento de emissões de gases de efeito estufa na indústria de bebidas: Um estudo de caso no Brasil**. 2009. 141 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

PRAXAIR INC. **Praxair 2016 Annual Report: Delivering operational excellence**. Danbury: Praxair Technologies Inc., 2016. 2017. 123 p. Disponível em: <<http://annual-reports.praxair.com>>. Acesso em: 08 nov. 2017.

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. **Plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos (PMGIRS) da Cidade do Rio de Janeiro: base de dados – dez/2014**. Rio de Janeiro: Prefeitura, 2015. Disponível em: <[http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/3372233/4160602/PMGIRS\\_Versao\\_final\\_publicacao\\_DO\\_dezembro2015\\_19\\_ABR\\_2016\\_sem\\_cabecalho1.pdf](http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/3372233/4160602/PMGIRS_Versao_final_publicacao_DO_dezembro2015_19_ABR_2016_sem_cabecalho1.pdf)>. Acesso em: 4 nov. 2017.

PROGRAMA BRASILEIRO GHG PROTOCOL. **O Programa Brasileiro GHG Protocol**.

2017(a). Disponível em: <<http://www.ghgprotocolbrasil.com.br>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

PROGRAMA BRASILEIRO GHG PROTOCOL. **Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol**: Contabilização, quantificação e publicação de inventários corporativos de emissões de gases de efeito estufa. 2. ed. 2008. 39 p. Disponível em: <[https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/arquivos.gvces.com.br/arquivos\\_ghg/152/especificacoes\\_pb\\_ghgprotocol.pdf](https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/arquivos.gvces.com.br/arquivos_ghg/152/especificacoes_pb_ghgprotocol.pdf)>. Acesso em: 10 nov. 2017

PROGRAMA BRASILEIRO GHG PROTOCOL. **Ferramenta de Cálculo**. 2017(b). Disponível em: <<http://www.ghgprotocolbrasil.com.br/ferramenta-de-calculo>>. Acesso em: 11 nov. 2017

REUTERS. **Global carbon market value rises to record \$176 billion**. 2012. Cologne: Reuters Business News, 2012. Disponível em: <<https://www.reuters.com/article/us-world-bank-carbon/global-carbon-market-value-rises-to-record-176-billion-idUSBRE84T08720120530>>. Acesso em: 22 nov. 2017.

ROBINSON, Kaleigh. WRI - World Resources Institute. **Brazil's global warming agenda**. 2010. Disponível em: <<http://www.wri.org/blog/2010/03/brazils-global-warming-agenda>>. Acesso em: 17 nov. 2017.

RODRIGUES, William Senna. **Estudo de caso**: Análises sazonais dos dados meteorológicos e de SO<sub>2</sub> de uma rede de monitoramento de qualidade do ar, como ferramenta de apoio a gestão das emissões de SO<sub>2</sub> de uma refinaria de grande porte. 2006. 214 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação Stricto Sensu em Sistemas de Gestão, Meio Ambiente, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2006. Cap. 2. Disponível em: <[http://www.btdt.ndc.uff.br/tde\\_arquivos/14/TDE-2008-08-21T114337Z-1609/Publico/DISSERTACAO%20WILLIAM%20SENNNA.pdf](http://www.btdt.ndc.uff.br/tde_arquivos/14/TDE-2008-08-21T114337Z-1609/Publico/DISSERTACAO%20WILLIAM%20SENNNA.pdf)>. Acesso em: 23 nov. 2017.

SHAPLEY, Patricia. **Greenhouse gases**. 2010. Disponível em:



<<http://butane.chem.uiuc.edu/pshapley/Environmental/L13/2.html>>. Acesso em: 19 nov. 2017.

SHAPLEY, Patricia. **Molecular vibrations**. 2011. Disponível em: <<http://butane.chem.uiuc.edu/pshapley/genchem1/115/index.html>>. Acesso em: 19 nov. 2017.

SILVA, J. M.; OLIVEIRA, A. C. B.; MIGUEL, L. M. **Central termoeétrica de cogeração da CSN: expectativas e resultados**. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 17., 2003, Uberlândia. Arquivos... Campinas: MFAP, 2008. Disponível em: <<http://www.mfap.com.br/pesquisa/arquivos/20081216113535-GPT-14.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2017.

SIRENE. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (Brasil). **Sistema de Registro Nacional de Emissões**. 2017. Disponível em: <<http://sirene.mcti.gov.br/sobre-o-sirene>>. Acesso em: 17 nov. 2017.

SPERANZA, Juliana; RESENDE, Flávia. Fórum Clima – Ação Empresarial sobre Mudanças Climáticas. Observatório de Políticas Públicas de Mudanças Climáticas. **Adaptação às mudanças climáticas no Brasil: Subsídios para o debate e a construção de políticas públicas**. São Paulo: Instituto Ethos, 2015. 28 p. Disponível em: <<http://forumempresarialpeloclima.org.br/wp-content/uploads/2015/04/Artigo-Adaptacao-Forum-Clima-20151.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2017.

SPIRITUS GROUP. 2013. Disponível em: <[http://www.stfc.ac.uk/files/2772/2772\\_res\\_1.pdf](http://www.stfc.ac.uk/files/2772/2772_res_1.pdf)>. Acesso em: 20 nov. 2017.

TAIYO NIPPON SANSO CORPORATION. **Annual Report: Annual Report 2016**. 2017. Disponível em: <[https://www.tn-sanso.co.jp/en/ir/annual\\_report.html](https://www.tn-sanso.co.jp/en/ir/annual_report.html)>. Acesso em: 27 nov. 2017.

THE GREENHOUSE GAS PROTOCOL. **Country Programs**. 2017(a). Disponível em:

<<http://www.ghgprotocol.org/country-programs>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

THE GREENHOUSE GAS PROTOCOL. **Calculation Tools**. 2017(b). Disponível em: <<http://www.ghgprotocol.org/calculation-tools>>. Acesso em: 11 nov. 2017.

THE GUARDIAN. **Syria signs Paris climate agreement and leaves US isolated**. 2017. Reportagem de Fiona Harvey. Disponível em: <<https://www.theguardian.com/environment/2017/nov/07/syria-signs-paris-climate-agreement-and-leaves-us-isolated>>. Acesso em: 18 nov. 2017.

THE GUARDIAN. **What is the emissions trading scheme and does it work?** 2011. Sandbag. Disponível em: <<https://www.theguardian.com/environment/2011/jun/07/ets-emissions-trading>>. Acesso em: 19 nov. 2017.

TRANSPARENCY MARKET RESEARCH. **Industrial Gases Market: Heightened Industrial Activity in APAC to Propel Growth Through 2018**. 2015. Disponível em: <<https://www.transparencymarketresearch.com/pressrelease/global-industrial-gases-market.htm>>. Acesso em: 27 nov. 2017.

U. S. EPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Center for corporate climate leadership. **Direct emissions from stationary combustion sources: greenhouse gas inventory guidance**. Washington, D.C.: 2016. 24 p. vol. 2. Disponível em: <[https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-03/documents/stationaryemissions\\_3\\_2016.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-03/documents/stationaryemissions_3_2016.pdf)>. Acesso em: 29 out. 2017.

U. S. EPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Emission Factor Documentation for AP-42 Section 12.2, Coke Production: Final Report**. 2007. Table 4-6. Major components of raw coke oven gas. Disponível em: <[https://www3.epa.gov/ttn/chief/old/ap42/ch12/s02/bgdocs/b12s02\\_jul07.pdf](https://www3.epa.gov/ttn/chief/old/ap42/ch12/s02/bgdocs/b12s02_jul07.pdf)>. Acesso em: 30 nov. 2017.

UEHARA, Sandro Toshio. **Análise de dados de sistema LIDAR de retroespalhamento correlacionada com dados meteorológicos**. 2009. 154 f. Dissertação (Mestrado) -

Curso de Tecnologia Nuclear, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Cap. 3. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85134/tde-10102011-095256/pt-br.php>>. Acesso em: 23 nov. 2017.

UNFCCC – UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **A Summary of the Kyoto Protocol:** Powerful, complicated... and taking root. 2017(a). Disponível em: <[http://unfccc.int/kyoto\\_protocol/background/items/2879.php](http://unfccc.int/kyoto_protocol/background/items/2879.php)>. Acesso em: 13 nov. 2017.

UNFCCC – UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **Climate Get the Big Picture:** The Paris Agreement. 2017(b). Disponível em: <<http://bigpicture.unfccc.int/#content-the-paris-agreemen>>. Acesso em: 18 nov. 2017.

UNFCCC – UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **Clean Development Mechanism (CDM).** 2017(c). Disponível em: <[http://unfccc.int/kyoto\\_protocol/mechanisms/clean\\_development\\_mechanism/items/2718.php](http://unfccc.int/kyoto_protocol/mechanisms/clean_development_mechanism/items/2718.php)>. Acesso em: 21 nov. 2017.

UNFCCC – UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **Joint Implementation (JI).** 2017(d). Disponível em: <[http://unfccc.int/kyoto\\_protocol/mechanisms/joint\\_implementation/items/1674.php](http://unfccc.int/kyoto_protocol/mechanisms/joint_implementation/items/1674.php)>. Acesso em: 21 nov. 2017.

UNFCCC – UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **Registry systems under the Kyoto Protocol.** 2017(e). Disponível em: <[http://unfccc.int/kyoto\\_protocol/registry\\_systems/items/2723.php](http://unfccc.int/kyoto_protocol/registry_systems/items/2723.php)>. Acesso em: 21 nov. 2017.

UNFCCC – UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **Fact sheet:** The Kyoto Protocol. 2011. Disponível em:

<[https://unfccc.int/files/press/backgrounders/application/pdf/fact\\_sheet\\_the\\_kyoto\\_protocol.pdf](https://unfccc.int/files/press/backgrounders/application/pdf/fact_sheet_the_kyoto_protocol.pdf)>. Acesso em: 13 nov. 2017.

UNFCCC – UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE, FCCC/APA/2016/INF.4/Add.1, 2016. *Marrakech*. Ad hoc working group on the Paris convention: second part of the first session. Disponível em: <<http://unfccc.int/resource/docs/2016/apa/eng/inf04a01.pdf>>. Acesso em: 28 de out. de 2017.

USP. Química Ambiental. **Poluição atmosférica & chuva ácida**. Disponível em: <[http://www.usp.br/qambiental/chuva\\_acidafront.html](http://www.usp.br/qambiental/chuva_acidafront.html)>. Acesso em: 19 nov. 2017.

WHITE MARTINS GASES INDUSTRIAIS LTDA. **Oxigênio**: Indústrias. 2017(a). Disponível em: <<http://www.praxair.com.br/gases/buy-liquid-oxygen-or-compressed-oxygen-gas/?tab=ind%C3%BAstrias>>. Acesso em: 08 nov. 2017.

WHITE MARTINS GASES INDUSTRIAIS LTDA. **Nitrogênio**: Indústrias. 2017(b). Disponível em: <<http://www.praxair.com.br/gases/buy-liquid-nitrogen-or-compressed-nitrogen-gas/?tab=ind%C3%BAstrias>>. Acesso em: 08 nov. 2017.

WHITE MARTINS GASES INDUSTRIAIS LTDA. **Argônio**: Indústrias. 2017(c). Disponível em: <<http://www.praxair.com.br/gases/buy-compressed-argon-gas-or-liquid-argon/?tab=ind%C3%BAstrias>>. Acesso em: 08 nov. 2017.

WHITE MARTINS GASES INDUSTRIAIS LTDA. **Dióxido de carbono**: Indústrias. 2017(d). Disponível em: <<http://www.praxair.com.br/gases/buy-liquid-or-compressed-carbon-dioxide-gas/?tab=ind%C3%BAstrias>>. Acesso em: 08 nov. 2017.

WORLD BANK. **World Bank Carbon Funds and Facilities**. 2014. Disponível em: <<http://www.worldbank.org/en/topic/climatechange/brief/world-bank-carbon-funds-facilities>>. Acesso em: 21 nov. 2017.

WWF. **Impacts of global warming**. Disponível em: <<http://www.wwf.org.au/what-we-do/climate/impacts-of-global-warming#gs.XIlzSmY>>. Acesso em: 19 nov. 2017.

## ANEXO I – EMISSÕES DE ESCOPO 1

### COMBUSTÃO MÓVEL PRIMARIZADA

#### 1) FROTA LEVE:

COMBUSTÍVEL	CONSUMO (L)	Combustível fóssil			Biocombustível			% Biocombustível
		Fator de emissão (kg CO <sub>2</sub> /L)	Fator de emissão (kg CH <sub>4</sub> /L)	Fator de emissão (kg N <sub>2</sub> O/L)	Fator de emissão (kg CO <sub>2</sub> /L)	Fator de emissão (kg CH <sub>4</sub> /L)	Fator de emissão (kg N <sub>2</sub> O/L)	
GASOLINA	217.313	2,212000	0,000808	0,000258	1,526000	0,000224	0,000013	27%
ETANOL	27.628	-	-	-	1,457000	0,000384	0,000013	100%
DIESEL	2.691	2,603000	0,000139	0,000139	2,431000	0,000332	0,000020	7%

COMBUSTÍVEL	CONSUMO (L)	EMIÇÃO CO <sub>2</sub> (t)	EMIÇÃO CH <sub>4</sub> (t)	EMIÇÃO N <sub>2</sub> O (t)	EMIÇÃO TOTAL (tCO <sub>2</sub> e)
GASOLINA	217.313	350,91	0,14	0,04	366,9
ETANOL	27.628	-	0,01	0,00	0,4
DIESEL	2.691	6,51	0,00	0,00	6,6
		357,42	0,15	0,04	373,9

#### 2) DISTRIBUIÇÃO DE GASES:

*KM rodado de transporte e distribuição primarizado.*

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Total
<b>KM RODADO</b>	11.982	9.511	11.249	9.902	9.902	9.902	9.902	13.835	17.947	12.751	12.751	11.160	<b>140.794</b>

*Cálculo das emissões de transporte e distribuição primarizado.*

<b>TIPO DE VEÍCULO</b>	Caminhão leve a diesel
<b>ANO FROTA (MÉDIO)</b>	2011
<b>KM TOTAL</b>	11.982
<b>Consumo médio (km/L)</b>	5,6
<b>Consumo estimado (L)</b>	2.140
<b>Fator de emissão (kg CO<sub>2</sub>/L)</b>	2,42079
<b>Fator de emissão (kg CH<sub>4</sub>/L)</b>	0,00034
<b>Fator de emissão (kg N<sub>2</sub>O/L)</b>	0,00017
<b>EMIÇÃO CO<sub>2</sub> (kg)</b>	5.180
<b>EMIÇÃO CH<sub>4</sub> (kg)</b>	0,72
<b>EMIÇÃO N<sub>2</sub>O (kg)</b>	0,36
<b>EMIÇÃO TOTAL (tCO<sub>2</sub>e)</b>	5,3

## EMISSÕES FUGITIVAS

### 1 ) Estimativas de uso de gases refrigerantes em aparelhos de ar condicionado

*Vazamento de gases refrigerantes em equipamentos de ar condicionado*

Nome da Unidade	Tipo de sistema	Gás utilizado	GWP	Carga	Nº de unidades	Carga total (kg)	Perda estimada (3% a.a.) (kg)	Emissões (kg CO2e)
ADM 1 E 2	Comercial Médio / Grande	HFC-134a	1.430	2.000	2	4.000	120,0	171.600,0
FILIAL 1	Comercial Médio / Grande	HFC-134a	1.430	1.000	1	1.000	30,0	42.900,0
CO2 (ADM)	Comercial Individual	HFC-134a	1.430	6	2	12	0,4	514,8
ASU (ADM)	Comercial Individual	HFC-134a	1.430	6	4	24	0,7	1.029,6
H2 (ADM)	Comercial Individual	HFC-134a	1.430	6	2	12	0,4	514,8
FILIAL 1	Comercial Individual	HFC-134a	1.430	6	2	12	0,4	514,8
FILIAL 2	Comercial Individual	HFC-134a	1.430	6	2	12	0,4	514,8
<b>Total</b>		-		<b>3.030</b>	<b>15</b>	<b>45.450</b>	<b>1.364</b>	<b>217.589</b>

### 2) Balanço de massa da purificação de H2 de gás de coqueria @ Usina H2

<i>Balanço de massa</i>			
Corrente	Substâncias	Composição (%)	Quantidade processada (kg/ano)
<b>Alimentação (Gás de Coqueria)</b>	Dióxido de carbono	1,34% ***	238.758
	Metano	29,20% ***	5.202.791
	Outros (Não GEE)	2,79%	497.710
	Hidrogênio	66,67% *	11.878.517
	<b>Total Alimentação</b>	<b>100,00%</b>	<b>17.817.776</b>
<b>Fugitivas (Gás de coqueria)</b>	Dióxido de carbono	1,34%	2.388
	Metano	29,20%	52.028
	Outros (Não GEE)	2,79%	4.977
	Hidrogênio	66,67%	118.785
	<b>Total Fugitivas</b>	<b>100,00%</b>	<b>178.178</b>
<b>Produto (Hidrogênio purificado)</b>	Dióxido de carbono	0,00%	16
	Metano	0,00%	343
	Outros (Não GEE)	0,01%	817
	Hidrogênio	99,99% **	11.759.732 *
	<b>Total Produto</b>	<b>100,00%</b>	<b>11.760.908</b>
<b>Residual</b>	Dióxido de carbono	4,02%	236.355
	Metano	87,61%	5.150.419
	Outros (Não GEE)	8,37%	491.916
	<b>Total Residual</b>	<b>100,00%</b>	<b>5.878.690</b>

\*Fonte: Supervisor de Produção / \*\*Fonte: NASCIMENTO, 2010. / \*\*\* Fonte: U.S.EPA (2007).

Emissões fugitivas: Considerou-se que 1% deste volume processado de COG é perdido.

Corrente	Substância (somente GEE)	Quantidade processada (m³/ano)	Continua para o processo (m³/ano)	Emissão fugitiva (m³/ano)
Entrada	Gás de coqueria	17.817.776	17.639.598	178.178

Emissões fugitivas: CH4 e CO2 liberados para a atmosfera / Segundo a U.S.EPA (2007), a composição de GEE no COG é de 29,2% de metano e 1,34% de CO2, assim:

Emissão fugitiva (m³/ano)	Densidade CH4 (T,P Processo) * (kg/m³)	CH4 emitido (kg)	Densidade CO2 (T,P Processo) * (kg/m³)	CO2 emitido (kg)	Emissões totais (tCO2e)
178.178	0,6569	34.176	1,8080	4.317	858,7

Uso de produto vendido

COG residual no produto (m³/ano)	Densidade CH4 (T,P Processo) * (kg/m³)	CH4 emitido (kg)	Densidade CO2 (T,P Processo) * (kg/m³)	CO2 emitido (kg)	Emissões totais (tCO2e)
1.176	0,6569	226	1,8080	28	5,7

Processamento de produto vendido - Queima do gás residual no Alto Forno

Volume COG efetivamente processado (m³) ***	Fator de conversão*	Energia do COG (mmBTU)	CO2 **	CH4 **	N2O **	EMIÇÃO DE CO2 (kg)	EMIÇÃO DE CH4 (kg)	EMIÇÃO DE N2O (kg)	EMIÇÃO TOTAL do COG Residual (tCO2e)
17.638.422	17,06	300.911	46,850	4,80E-04	1,00E-04	14.097.702,73	144,44	30,09	14.110,3

\* (mmBTU / 1000 m³) (EPE, 2015) ; \*\* (kg/mmBTU) (US EPA, 2016) ; \*\*\* COG que entra subtraído das emissões fugitivas e do COG que fica a 0,01% no hidrogênio produto. // Hipótese: Fator de emissão COG residual=COG original, uma vez que o H2 removido não é GEE.

Separação das emissões entre Escopo 1 e Escopo 3

Entrada de COG (m³)	Emissões fugitivas (m³)	COG no produto (m³)	COG enviado ao Alto Forno (m³)	Emissão por uso de produto vendido - Escopo 3 (tCO2e)	Emissão por Queima no Alto Forno - Escopo 3 (tCO2e)	Emissões fugitivas (1% de perda do processado) - Escopo 1 (tCO2e)
17.817.775,8	178.177,8	1.176	17.638.422	5,7	14.110,3	858,7

Fatores de emissão específicos (tCO2e/m³ H2 produzido)

Emissão fugitiva	Produto vendido	Produto processado	Operação H2 (Total)
7,30E-05	4,82E-07	1,20E-03	1,27E-03

## PROCESSOS INDUSTRIAIS

Características das correntes de processo

Corrente	Substâncias	Composição (%)	Quantidade processada (kg/ano)
Alimentação	Dióxido de carbono	94,00	4.105.000
	Metano	0,30	13.101
	Outros (Não GEE)	5,70	248.920
	Total Alimentação	100,00	4.367.021
Produto	Dióxido de carbono	99,99	4.105.000

Quantidade de Metano emitido

Corrente	Vazão (kg/ano) *	CH4 emitido (kg/ano)	Emissão (tCO2e)
Entrada	4.367.021	13.101	327,5

\* Hipótese 1: Recuperação de 100% do CO2 na corrente de produto.

## ANEXO II – EMISSÕES DE ESCOPO 2

### AQUISIÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA

1º Regressão:

Estatística de regressão								
R múltiplo	0,900211002							
R-Quadrado	0,810379849							
R-quadrado ajustado	0,800221626							
Erro padrão	24619,44485							
Observações	60							
ANOVA								
	gl	SQ	MQ	F	F de significação			
Regressão	3	1,4506E+11	48353445701	79,77575375	3,30091E-20			
Resíduo	56	3,3943E+10	606117064,7					
Total	59	1,79E+11						
	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Interseção	57436,11411	28114,9577	2,042902382	0,045779449	1115,085983	113757,1422	1115,085983	113757,1422
O2 (M³)	0,140512908	0,0734872	1,912073201	0,060987675	-0,006699646	0,287725462	-0,006699646	0,287725462
N2 (M³)	1,636948584	0,13485121	12,1389239	2,57793E-17	1,366809148	1,907088021	1,366809148	1,907088021
AR (M³)	1,944572387	1,31964723	1,473554708	0,146200772	-0,698998677	4,588143452	-0,698998677	4,588143452

2º Regressão:

Estatística de regressão								
R múltiplo	0,896117989							
R-Quadrado	0,803027451							
R-quadrado ajustado	0,796116133							
Erro padrão	24871,1261							
Observações	60							
ANOVA								
	gl	SQ	MQ	F	F de significação			
Regressão	2	1,4374E+11	71872118323	116,1902126	7,77253E-21 * <0,05 : Relevância estatística			
Resíduo	57	3,5259E+10	618572913,7					
Total	59	1,79E+11						
	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 99,0%	Superior 99,0%
Interseção	98155,31181	5234,75707	18,75069092	4,7241E-26	87672,89159	108637,732	84205,36222	112105,2614
O2 (M³)	0,149926729	0,07395739	2,027204106	0,047327257	0,001829606	0,298023852	-0,047160142	0,347013599
N2 (M³)	1,645429628	0,13610564	12,08935662	2,29234E-17	1,372882784	1,917976473	1,282725724	2,008133533

Comparação Modelo vs. Medição:

DIA	O2 (M³)	N2 (M³)	AR (M³)	VAPOR MEDIDO (KG)	VAPOR MODELADO (KG)	RESÍDUOS
1	3.891	5.555	27.636	113.177	107.879	5297,96
2	9.592	-	21.501	107.520	99.593	7926,29
3	96.531	19.369	21.563	181.661	144.498	37162,38
4	132.067	-	23.669	131.835	117.956	13879,11
5	53.393	2.544	21.474	125.870	110.346	15523,68
6	93.602	-	21.776	131.353	112.189	19164,25
7	9.523	-	18.991	87.521	99.583	-12062,06
8	64.371	38.536	23.003	166.665	171.215	-4549,52



9	40.335	-	22.334	94.893	104.203	-9309,61
10	2.592	-	22.612	85.108	98.544	-13435,92
11	41.567	-	22.667	100.827	104.387	-3560,82
12	5.662	-	19.817	88.806	99.004	-10198,30
13	53.065	-	18.950	102.007	106.111	-4103,77
14	28.094	-	19.400	90.470	102.367	-11897,25
15	27.796	-	20.855	82.252	102.323	-20070,78
16	37.805	-	19.062	96.617	103.823	-7206,29
17	73.948	2.074	22.018	103.274	112.655	-9380,81
18	17.984	-	22.595	86.979	100.852	-13872,79
19	13.110	-	23.368	92.560	100.121	-7561,35
20	38.759	-	22.963	107.211	103.966	3244,88
21	-	-	20.964	90.862	98.155	-7293,51
22	173.305	60.144	27.459	244.247	223.101	21145,42
23	70.204	-	22.770	147.227	108.681	38546,23
24	-	-	28.496	120.021	98.155	21865,19
25	42.707	1.975	19.265	117.552	107.808	9744,14
26	32.928	-	20.829	133.600	103.092	30507,70
27	18.204	-	18.823	120.156	100.885	19271,42
28	80.397	-	17.418	151.441	110.209	41232,03
29	9.306	-	17.881	109.592	99.551	10041,77
30	51.483	-	18.159	92.683	105.874	-13190,99
31	90.084	1.923	21.100	121.585	114.825	6759,93
32	104.008	41.534	24.284	286.444	182.090	104353,43
33	61.996	59.883	20.807	254.451	205.983	48467,17
34	14.214	-	21.453	85.054	100.286	-15232,27
35	42.603	46.251	19.946	154.530	180.645	-26115,41
36	122.347	69.585	20.635	225.279	230.996	-5716,62
37	200.548	7.240	25.492	143.231	140.136	3095,07
38	21.631	2.020	18.551	93.345	104.722	-11376,94
39	92.723	9.462	22.474	113.354	127.626	-14272,22
40	105.247	17.279	23.241	127.096	142.366	-15270,43
41	104.691	132.107	21.760	359.131	331.224	27907,34
42	15.734	7.284	20.863	130.760	112.500	18259,93
43	99.825	-	22.017	111.635	113.122	-1486,35
44	41.416	-	24.963	90.701	104.365	-13663,68
45	41.372	1.486	19.430	101.214	106.803	-5589,09
46	153.234	8.949	21.569	142.029	135.854	6174,47
47	51.818	-	20.086	102.768	105.924	-3156,02
48	91.448	-	19.895	113.251	111.866	1385,49
49	92.023	9.804	18.058	120.225	128.084	-7859,01
50	77.483	1.305	21.821	93.664	111.919	-18254,97
51	79.635	-	19.954	97.642	110.095	-12452,43
52	4.845	2.793	17.725	98.821	103.477	-4656,29
53	86.934	6.050	21.417	126.601	121.144	5457,01
54	77.428	3.986	22.140	103.507	116.323	-12815,62
55	232.618	73.679	19.328	207.854	254.265	-46411,08
56	111.801	-	16.315	102.166	114.917	-12750,97
57	44.911	-	19.504	83.108	104.889	-21780,37
58	142.050	111.196	20.909	240.053	302.418	-62364,50
59	38.523	-	20.107	88.413	103.931	-15518,44
60	57.600	12.149	24.041	84.806	126.781	-41975,82
Total	3.823.011	756.162	1.278.201	7.706.702	7.706.702	0,00

Vaporizado 2016 e Estimativa de Vapor:

Mês	O2 (M³)	N2 (M³)	VAPOR ESTIMADO (KG)
1	1.611.812	600.426	1.327.768
2	1.679.070	782.168	1.636.895
3	2.108.327	270.513	859.360
4	172.269	1.174.000	2.055.717
5	1.198.103	454.859	1.026.221
6	2.877.653	630.487	1.567.014
7	3.248.952	380.160	1.210.787
8	4.011.653	760.792	1.951.439
9	1.904.383	701.217	1.537.476
10	2.765.117	968.396	2.106.148
11	2.714.982	390.043	1.146.992
12	1.460.261	724.408	1.509.050
<b>Total</b>	<b>25.752.582</b>	<b>7.837.469</b>	<b>17.934.868</b>

Composição do gás de alimentação da caldeira e Fatores de emissão:

Gás	Energia recuperada (Gcal/h) *	% do total	CO2 ** (kg/mmBTU)	CH4 ** (kg/mmBTU)	N2O ** (kg/mmBTU)
Alto forno (BFG)	450	82,57%	274,320	2,20E-05	1,00E-04
Coqueria (COG)	95	17,43%	46,850	4,80E-04	1,00E-04

\*(SILVA; OLIVEIRA; MIGUEL, 2008) / \*\* U.S.EPA (2016)

Estimativa de emissão com base na energia demandada:

Mês	VAPOR ESTIMADO (KG)	ENERGIA (mmBTU)	EMIÇÃO DE CO2 (kg)	EMIÇÃO DE CH4 (kg)	EMIÇÃO DE N2O (kg)	EMIÇÃO TOTAL (tCO2e)
1	1.327.768	1.792	420.641	0,18	0,18	420,7
2	1.636.895	2.210	518.574	0,23	0,22	518,6
3	859.360	1.160	272.248	0,12	0,12	272,3
4	2.055.717	2.775	651.258	0,28	0,28	651,3
5	1.026.221	1.385	325.111	0,14	0,14	325,2
6	1.567.014	2.115	496.436	0,22	0,21	496,5
7	1.210.787	1.635	383.581	0,17	0,16	383,6
8	1.951.439	2.634	618.223	0,27	0,26	618,3
9	1.537.476	2.076	487.078	0,21	0,21	487,1
10	2.106.148	2.843	667.235	0,29	0,28	667,3
11	1.146.992	1.548	363.371	0,16	0,15	363,4
12	1.509.050	2.037	478.072	0,21	0,20	478,1
<b>Total</b>	<b>17.934.868</b>	<b>24.212</b>	<b>5.681.829</b>	<b>2,47</b>	<b>2,42</b>	<b>5.682,6</b>

## ANEXO III – EMISSÕES DE ESCOPO 3

### RESÍDUOS GERADOS DA OPERAÇÃO

Tipo e destinação dos resíduos:

Unidade	Perigosos reciclados	Perigosos aterrados	Perigosos - Outros	Não Perigosos reciclados	Não Perigosos aterrados	Não Perigosos - Outros	Total (kg)	Total Aterro (kg)	% Desvio de Aterro
Filial 1	-	13	73	15.941	13.585	5	29.617	13.598	54,1%
Filial 2	-	-	-	535	220	-	755	220	70,9%
CO2	7.480	-	-	5.298	2.233	-	15.011	2.233	85,1%
ADM 1	-	-	-	2.615	16.566	456	19.637	16.566	15,6%
ADM 2	-	-	-	2.040	141	770	2.951	141	95,2%
Fábrica 1	26	1.145	35.165	88.620	9.760	18.796	153.512	10.905	92,9%
Fábrica 2	2.728	5.052	233.057	188.120	21.629	27.881	478.467	26.681	94,4%
ASU-ADM	16	-	513	328	36	328	1.221	36	97,1%
H2	4.357	-	-	495	77	167	5.096	77	98,5%
ASU	1.258	-	2.450	42.038	1.114	-	46.860	1.114	97,6%
<b>Total</b>	<b>15.865</b>	<b>6.210</b>	<b>271.258</b>	<b>346.030</b>	<b>65.361</b>	<b>48.402</b>	<b>753.126</b>	<b>71.571</b>	<b>90,50%</b>

Perfil dos resíduos enviados a aterro sanitário:

Resíduo aterrado	Quantidade (kg)	% do total
Borra de café	3.003	3,04%
EPI Contaminado	2.350	2,38%
Espuma	530	0,54%
Galão contaminado com tinta	2.205	2,23%
Granalha	600	0,61%
Lã de Vidro	640	0,65%
Latas Aerosol	80	0,08%
Material de construção civil	26.845	27,21%
Miscelanea	75	0,08%
Outro (Filtros de ar)	2.830	2,87%
Papel & Papelão	6.843	6,94%
Papel higiênico	2.468	2,50%
Perlita	8.250	8,36%
Pilhas e baterias	54	0,05%
Plástico	3.070	3,11%
Produto químico	278	0,28%
Resíduos alimentares	2.463	2,50%
Resíduos de escritório	1.520	1,54%
Resíduos de poda (Jardinagem)	109	0,11%
Resíduos de varrição de fábrica	30.629	31,04%
Solventes usados	2.050	2,08%
Sucata	245	0,25%
Estopas com óleo e graxa	1.530	1,55%
<b>Total</b>	<b>98.668</b>	<b>100,00%</b>

## VIAGENS AÉREAS

Fatores de emissão (Defra, UK):

Tipo	Distância	Fator de emissão de CO2 (kgCO2 / passageiro.km)	Fator de emissão de CH4 (kgCH4 / passageiro.km)	Fator de emissão de N2O (kgN2O / passageiro.km)
Curto	<=500	0,1351	2,59E-06	4,29E-06
Médio	>500 e <= 3700	0,0817	3,70E-07	2,58E-06
Longo	>3700	0,0929	3,70E-07	2,95E-06

Cálculo das emissões nas viagens:

TRECHO	DISTÂNCIA (km)	TIPO	VIAGENS	Distância total (km)	EMISSÃO CO2 (kg)	EMISSÃO CH4 (kg)	EMISSÃO N2O (kg)
SDU/CAW	237	Curto	3	710	95,88	0,00	0,00
GIG/DIQ	336	Curto	2	673	90,88	0,00	0,00
GIG/GRU	336	Curto	125	42.043	5.679,69	0,11	0,18
GIG/PLU	336	Curto	1	336	45,44	0,00	0,00
SDU/GRU	336	Curto	83	27.917	3.771,32	0,07	0,12
SDU/PLU	336	Curto	7	2.354	318,06	0,01	0,01
GIG/CGH	360	Curto	677	244.047	32.968,96	0,63	1,05
SDU/CGH	360	Curto	633	228.186	30.826,22	0,59	0,98
GIG/CNF	364	Curto	369	134.206	18.130,23	0,35	0,58
SDU/CNF	364	Curto	452	164.393	22.208,31	0,43	0,70
GIG/IPN	378	Curto	22	8.320	1.123,98	0,02	0,04
SDU/IPN	378	Curto	12	4.538	613,08	0,01	0,02
GIG/VCP	397	Curto	256	101.759	13.746,92	0,26	0,44
SDU/VCP	397	Curto	312	124.019	16.754,06	0,32	0,53
GIG/VIX	418	Curto	290	121.341	16.392,30	0,31	0,52
SDU/VIX	418	Curto	166	69.457	9.383,18	0,18	0,30
GIG/GVR	454	Curto	3	1.361	183,92	0,00	0,01
SDU/GVR	454	Curto	1	454	61,31	0,00	0,00
GIG/RAO	504	Médio	27	13.600	1.110,81	0,01	0,04
SDU/RAO	504	Médio	9	4.533	370,27	0,00	0,01
SDU/UBA	595	Médio	1	595	48,63	0,00	0,00
GIG/JTC	603	Médio	31	18.708	1.528,00	0,01	0,05
SDU/JTC	603	Médio	33	19.915	1.626,58	0,01	0,05
GIG/CWB	671	Médio	184	123.478	10.085,21	0,05	0,32
SDU/CWB	671	Médio	86	57.713	4.713,74	0,02	0,15
GIG/SJP	674	Médio	9	6.069	495,66	0,00	0,02
SDU/SJP	674	Médio	4	2.697	220,30	0,00	0,01
GIG/JOI	678	Médio	11	7.453	608,70	0,00	0,02
GIG/UDI	678	Médio	1	678	55,34	0,00	0,00
SDU/JOI	678	Médio	27	18.293	1.494,09	0,01	0,05
SDU/UDI	678	Médio	38	25.746	2.102,79	0,01	0,07
GIG/MOC	679	Médio	2	1.358	110,94	0,00	0,00
SDU/MOC	679	Médio	11	7.470	610,15	0,00	0,02
GIG/NVT	708	Médio	14	9.913	809,68	0,00	0,03
SDU/NVT	708	Médio	15	10.621	867,51	0,00	0,03
GIG/FLN	756	Médio	17	12.858	1.050,21	0,00	0,03
GIG/ARU	764	Médio	7	5.351	437,04	0,00	0,01
SDU/ARU	764	Médio	12	9.173	749,21	0,00	0,02
GIG/LDB	809	Médio	3	2.428	198,34	0,00	0,01
SDU/LDB	809	Médio	6	4.857	396,69	0,00	0,01
GIG/TJL	903	Médio	8	7.223	589,91	0,00	0,02

SDU/TJL	903	Médio	14	12.639	1.032,34	0,00	0,03
GIG/VDC	916	Médio	1	916	74,79	0,00	0,00
SDU/VDC	916	Médio	1	916	74,79	0,00	0,00
GIG/BSB	917	Médio	42	38.527	3.146,70	0,01	0,10
SDU/BSB	917	Médio	71	65.128	5.319,42	0,02	0,17
GIG/GYN	927	Médio	31	28.736	2.347,01	0,01	0,07
SDU/GYN	927	Médio	52	48.202	3.936,92	0,02	0,12
GIG/CXJ	1064	Médio	2	2.127	173,77	0,00	0,01
GIG/XAP	1064	Médio	2	2.127	173,77	0,00	0,01
SDU/CXJ	1064	Médio	2	2.127	173,77	0,00	0,01
GIG/PFB	1093	Médio	5	5.464	446,24	0,00	0,01
GIG/POA	1123	Médio	211	237.014	19.358,38	0,09	0,61
SDU/POA	1123	Médio	43	48.302	3.945,07	0,02	0,12
GIG/IGU	1180	Médio	11	12.976	1.059,81	0,00	0,03
GIG/CGR	1210	Médio	10	12.102	988,44	0,00	0,03
SDU/CGR	1210	Médio	13	15.733	1.284,97	0,01	0,04
GIG/SSA	1218	Médio	703	856.423	69.949,12	0,32	2,21
GIG/AJU	1469	Médio	25	36.732	3.000,14	0,01	0,09
GIG/ASU	1476	Médio	1	1.476	120,53	0,00	0,00
SDU/ASU	1476	Médio	4	5.903	482,13	0,00	0,02
SDU/PMW	1489	Médio	5	7.443	607,91	0,00	0,02
GIG/CGB	1567	Médio	2	3.135	256,05	0,00	0,01
SDU/CGB	1567	Médio	3	4.702	384,07	0,00	0,01
GIG/MCZ	1683	Médio	15	25.250	2.062,31	0,01	0,07
SDU/MCZ	1683	Médio	1	1.683	137,49	0,00	0,00
GIG/MVD	1822	Médio	24	43.721	3.570,99	0,02	0,11
SDU/MVD	1822	Médio	1	1.822	148,79	0,00	0,00
GIG/REC	1864	Médio	279	519.936	42.466,24	0,19	1,34
SDU/REC	1864	Médio	1	1.864	152,21	0,00	0,00
GIG/JPA	1954	Médio	2	3.907	319,14	0,00	0,01
GIG/IMP	1965	Médio	1	1.965	160,49	0,00	0,01
GIG/THE	1965	Médio	4	7.860	641,96	0,00	0,02
SDU/IMP	1965	Médio	2	3.930	320,98	0,00	0,01
GIG/AEP	1967	Médio	11	21.632	1.766,83	0,01	0,06
GIG/CKS	1984	Médio	2	3.969	324,13	0,00	0,01
GIG/EZE	1999	Médio	38	75.953	6.203,49	0,03	0,20
GIG/MAB	2031	Médio	1	2.031	165,88	0,00	0,01
GIG/NAT	2071	Médio	3	6.214	507,49	0,00	0,02
GIG/VVI	2153	Médio	1	2.153	175,87	0,00	0,01
SDU/VVI	2153	Médio	9	19.379	1.582,81	0,01	0,05
GIG/FOR	2182	Médio	457	997.270	81.452,98	0,37	2,57
SDU/FOR	2182	Médio	1	2.182	178,23	0,00	0,01
GIG/SLZ	2250	Médio	22	49.496	4.042,60	0,02	0,13
SDU/SLZ	2250	Médio	5	11.249	918,77	0,00	0,03
GIG/BEL	2456	Médio	63	154.715	12.636,48	0,06	0,40
SDU/BEL	2456	Médio	6	14.735	1.203,47	0,01	0,04
SDU/STM	2578	Médio	1	2.578	210,57	0,00	0,01
GIG/MCP	2668	Médio	6	16.009	1.307,58	0,01	0,04
GIG/PVH	2702	Médio	2	5.404	441,38	0,00	0,01
SDU/PVH	2702	Médio	3	8.106	662,07	0,00	0,02
GIG/MAO	2832	Médio	51	144.451	11.798,15	0,05	0,37
SDU/MAO	2832	Médio	6	16.994	1.388,02	0,01	0,04
GIG/SCL	2934	Médio	28	82.145	6.709,28	0,03	0,21
GIG/LIM	3774	Longo	222	837.785	77.844,23	0,31	2,47
GIG/PIU	4461	Longo	1	4.461	414,50	0,00	0,01
GIG/CCS	4512	Longo	1	4.512	419,28	0,00	0,01
GIG/VLN	4532	Longo	3	13.595	1.263,24	0,01	0,04
GIG/BOG	4533	Longo	26	117.868	10.951,93	0,04	0,35

GIG/CTG	5090	Longo	1	5.090	472,97	0,00	0,02
GIG/PTY	5287	Longo	2	10.573	982,42	0,00	0,03
GIG/MEX	7657	Longo	1	7.657	711,47	0,00	0,02
GIG/EWR	7725	Longo	1	7.725	717,75	0,00	0,02
GIG/JFK	7747	Longo	2	15.494	1.439,68	0,01	0,05
GIG/OPO	7940	Longo	1	7.940	737,78	0,00	0,02
GIG/IAH	8072	Longo	7	56.506	5.250,33	0,02	0,17
SDU/IAH	8072	Longo	1	8.072	750,05	0,00	0,02
GIG/BUF	8138	Longo	11	89.521	8.317,95	0,03	0,26
GIG/MTY	8154	Longo	2	16.309	1.515,35	0,01	0,05
GIG/MAD	8166	Longo	5	40.828	3.793,60	0,02	0,12
GIG/IND	8241	Longo	1	8.241	765,75	0,00	0,02
GIG/BCN	8500	Longo	1	8.500	789,82	0,00	0,03
GIG/ORD	8520	Longo	1	8.520	791,62	0,00	0,03
GIG/MXP	9221	Longo	1	9.221	856,81	0,00	0,03
GIG/BRU	9410	Longo	1	9.410	874,31	0,00	0,03
GIG/FRA	9591	Longo	3	28.774	2.673,61	0,01	0,08
GIG/NUE	9640	Longo	1	9.640	895,69	0,00	0,03
GIG/TRF	10317	Longo	1	10.317	958,64	0,00	0,03
GIG/YEG	10792	Longo	2	21.584	2.005,51	0,01	0,06
GIG/PVG	18277	Longo	1	18.277	1.698,22	0,01	0,05
<b>Total por GEE (kg)</b>					<b>632.558,86</b>	<b>5,32</b>	<b>20,03</b>
<b>Total (ton CO2e)</b>							<b>638.660</b>

## COMBUSTÃO MÓVEL TERCEIRIZADA

### 1) DISTRIBUIÇÃO DE LÍQUIDOS:

Fatores de emissão:

Fator de emissão (por litro)	CO2	CH4	N2O	CO2e
Diesel	2,603	0,000138531	0,0001385	2,6477456
Biodiesel	2,431	0,000331595	1,99E-05	0,0142188

Veículos por unidade e transportadora:

TRANSPORTADORA	PRODUTO	UNIDADES	%Veículos	TOTAL
TRANSPORTADORA 1	Gases do Ar, CO2	ASU (RJ)	40%	100%
		Filial 1 (RJ)		
		ASU (Outros estados)	60%	
TRANSPORTADORA 2	Hidrogênio	H2 (RJ)	64%	100%
		H2 (Outros estados)	36%	

Diesel ponderado e Cálculo da emissão:

Mês	Consumo (L) (Diesel B7)	Fator de Emissão (Diesel), kgCO2e/L	Fator de Emissão (Biodiesel), kgCO2e/L	EMIÇÃO TOTAL (tCO2e)
Janeiro	126.689	2,648	0,014	312,1
Fevereiro	130.183	2,648	0,014	320,7
Março	141.417	2,648	0,014	348,4
Abril	141.136	2,648	0,014	347,7
Mai	144.630	2,648	0,014	356,3
Junho	134.606	2,648	0,014	331,6
Julho	164.521	2,648	0,014	405,3
Agosto	176.265	2,648	0,014	434,2
Setembro	148.878	2,648	0,014	366,7
Outubro	176.281	2,648	0,014	434,3
Novembro	164.170	2,648	0,014	404,4
Dezembro	167.956	2,648	0,014	413,7
<b>Total</b>	<b>1.816.731</b>			<b>4.475,3</b>

## 2) DISTRIBUIÇÃO DE GASES:

Quilometragem total e Modelo dos veículos da frota primarizada:

KM Rodado		Modelos dos veículos	
Mês	Total (km)	Modelo do Veículo	Capacidade de carga (kg)
Janeiro	278.026	Ford Cargo 815e	5.100
Fevereiro	230.253	Ford Cargo 815e	5.100
Março	224.143	Ford Cargo 816 S	5.080
Abril	240.388	<b>Média</b>	<b>5.093</b>
Mai	254.634		
Junho	237.333		
Julho	233.372		
Agosto	268.513		
*Setembro	223.725		
Outubro	170.650		
Novembro	149.806		
Dezembro	173.857		
<b>Total</b>	<b>2.684.699</b>		
*Estimado			

Fatores de emissão:

Combustível	Fator de emissão (kg CO2 / t.km)*	Fator de emissão (kg CH4 / t.km)*	Fator de emissão (kg N2O / t.km)*	Fator de emissão (kg CO2e / t.km)
Diesel	0,5571	0,0000296473	0,0000296473	0,567
Biodiesel	0,520263023	7,09652E-05	4,25791E-06	0,003
* Fator de emissão para Caminhão - rígido (3,5 a 7,5 toneladas)				

Cálculo das emissões:

Total Estimado (km)	Carga transportada média (t)	EMIÇÃO CO2 fóssil (kg)	EMIÇÃO CH4 (kg)	EMIÇÃO N2O (kg)	EMIÇÃO TOTAL (tCO2e)
2.686.085	5,09	7.087.889,6	445,2	381,3	7.212,6