



# INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DE UMA INDÚSTRIA DE CATALISADORES

Bernardo Oliveira de Carvalho

Monografia em Engenharia Química

Orientadores:

Prof. Claudinei de Souza Guimarães, DSc.

Ricardo Terra de Melo Marques, MSc.

Fevereiro de 2020

# INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DE UMA INDÚSTRIA DE CATALISADORES

*Bernardo Oliveira de Carvalho*

Monográfica em engenharia química submetida ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção de grau de bacharel em engenharia química.

Aprovador por:

---

Ronei de Almeida, M.Sc.

---

Estevão Freire, D.Sc.

---

César Martins Fraga, M.Sc.

Orientado por:

---

Claudinei de Souza Guimarães, Prof. D.Sc

---

Ricardo Terra de Melo Marques, M.Sc

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Fevereiro de 2020

Carvalho, Bernardo Oliveira de

Estudo sobre inventário de emissões de gases de efeito estufa de indústria de catalisadores /Bernardo Oliveira de Carvalho. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2019.

xii, 108 p.: il.

Monografia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2019

Orientadores: Claudinei de Souza Guimarães e Ricardo Terra de Melo Marques

1. Emissões atmosféricas. 2. GHG Protocol. 3. Impacto ambiental catalisadores de craqueamento. 4. Monografia (Graduação – UFRJ/EQ). 5. Claudinei de Souza Guimarães I. Título

Dedico este trabalho aos indecisos  
que duvidam de si mesmos  
pois na sua fraqueza se encontra a fortaleza

“Skills are cheap. Passion is priceless”

(Gary Vaynerchuk)

“Se você não pode medir, você não pode gerenciar”

(Peter Drucker)

## **Agradecimentos**

Primeiramente, gostaria de reforçar que todos as pessoas que me ajudaram de forma direta ou indiretamente nesta jornada, não só na elaboração deste trabalho, mas em todo o trajeto da minha graduação. Todos merecem uma menção e meus sinceros agradecimentos e caso não se tenham sido explicitados na presente passagem, saibam que minha consideração vai muito além desta simples página.

Em especial, gostaria de agradecer aos meus pais, Elmer e Liliam, pelo apoio no mais abrangente sentido da expressão. Por terem a paciência e dedicação de me mostrarem que sempre é possível conquistar se realmente me dedicar em algo.

Gostaria de agradecer a todos os meus amigos de faculdade, mas em especial a dois grupos de amigos, “Mural” e “Oh Shit”. Certamente vocês tornaram a faculdade não só mais tranquila como muito mais agradável.

Agradeço também à minha namorada, Vanessa, por ter a paciência de me aguentar nessa reta final, por me mostrar que outros pontos de vista sempre ajudam a compreender melhor uma situação e pelo carinho de compreender os momentos difíceis.

Agradeço aos colaboradores da fábrica, em especial meu co-orientador, Ricardo, que foi fundamental para a captação, interpretação e direcionamento de informações para a realização do trabalho.

Agradeço ao meu Orientador Claudinei pela imensa paciência após inúmeras remarcações, atrasos e discussões. Muito obrigado pelas orientações tanto acadêmicas, quanto profissionais.

Resumo da Monografia apresentada à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para a conclusão do curso de Engenharia Química.

# **ESTUDO DO INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DE UMA INDÚSTRIA DE CATALISADORES NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

Bernardo Oliveira de Carvalho

(bernardo.qui@gmail.com)

Fevereiro, 2020

Orientador: Prof. Claudinei de Souza Guimarães, DSc.

Orientador: Ricardo Terra de Melo Marques, MSc.

Recentes alterações no posicionamento de lideranças políticas mundiais sobre a temática de mudanças climáticas mundiais evidenciam a importância de um programa de gestão de emissões de gases de efeito estufa (GEE) tanto em organizações quanto em estados e nações. Os inventários de GEE são ferramentas essenciais para se realizar a gestão emissões de GEE pois são o primeiro passo, indicando o panorama atual e identificando em quais fontes de emissão se devem elaborar projetos de mitigação. Esta monografia buscou reanalisar e aprimorar um inventário a partir do estudo de caso de uma empresa de catalisadores localizada no Estado do Rio de Janeiro utilizando a metodologia e ferramentas propostas pelo Programa Brasileiro do GHG Protocol. A empresa avaliada apresentou 83% de suas emissões atreladas a atividades controladas diretamente pela empresa, sendo a maior parte atrelada ao consumo de gás natural em combustões estacionárias, que corresponde a cerca 77% do total. Uma proposta de mitigação para a referida fonte de emissão foi desenvolvida substituindo o combustível fóssil por biometano e suas possíveis implicações. O presente trabalho reforça uma cultura de gestão de emissões já estabelecida pela empresa, na qual já buscava alternativas de processos mais sustentáveis.

Abstract of monography presented to the Escola de Química / UFRJ as part of the requirements for the degree of Chemical Engineer.

# **STUDY ON INVENTORY OF EMISSIONS OF GREENHOUSE GASES OF CATALYST INDUSTRY AT THE STATE OF RIO DE JANEIRO**

Bernardo Oliveira de Carvalho

(bernardo.qui@gmail.com)

February, 2020

Advisor: Prof. Claudinei de Souza Guimarães, DSc.

Advisor: Ricardo Terra de Melo Marques, MSc.

Recent changes in the positioning of global political leaders on the theme climate change show the importance of the management of greenhouse gas emissions (GHG) both in organizations and in states and nations. The GHG inventories are essential tools to carry out the management of GHG emissions, as they are the first step, indicating the current scenario and identifying which emission sources should be developed for mitigation projects. This monograph sought to reanalyze and improve an inventory based on the case study of a catalyst company located in the State of Rio de Janeiro using the methodology and tools proposed by the Brazilian GHG Protocol Program. The evaluated company presented 83% of its emissions linked to activities directly controlled by the company, the majority being linked to the consumption of natural gas in stationary combustion, which corresponds to about 77% of the total. A mitigation proposal for the referred emission source was developed replacing fossil fuel with biomethane and its possible implications. The present work reinforces a culture of emissions management already established by the company, in which it was already looking for more sustainable process alternatives.

## Lista de Figuras

Figura 1 – Evolução da Matriz energética global dos anos 1800 aos anos 2005. Fonte: Fouquet, 2009.....	7
Figura 2 - Representação esquemática das trocas de energia entre o espaço sideral, a atmosfera e a superfície da Terra. Fonte: LASHOF, 1989. ....	9
Figura 3 – Concentração de CO <sub>2</sub> na atmosfera terrestre dos últimos 10.000 anos. Fonte: SCRIPPS, 2019 .....	10
Figura 4 – Solubilidade de CO <sub>2</sub> em água em diferentes temperaturas. Fonte: THE ENGINEERINGTOOLBOX, 2019.....	12
Figura 5 - 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.....	14
Figura 6 – Representação esquemática do ciclo de carbono terrestre.....	15
Figura 7 - Estrutura das camadas da atmosfera. Fonte: HIROKAWA, 2017.....	16
Figura 8 - Modos vibracionais da molécula de CO <sub>2</sub> e energias de transição associadas. ....	20
Figura 9 – Evolução dos níveis de CO <sub>2</sub> na atmosfera de 1979 até 2018.....	24
Figura 10 - Evolução dos níveis de CH <sub>4</sub> na atmosfera de 1979 até 2018.....	25
Figura 11 – Evolução dos níveis de N <sub>2</sub> O na atmosfera de 1979 até 2018.....	26
Figura 12 – Níveis de SF <sub>6</sub> na atmosfera de 1995 até 2013. Fonte: WMO, 2013 .....	27
Figura 13 – Níveis estimados de c-C <sub>4</sub> F <sub>8</sub> na atmosfera terrestre a partir de testemunhos de gelo de 1930 até 2019. Fonte: MÜHLE, 2019 .....	28
Figura 14 – Evolução dos níveis de alguns exemplos de CFCs, HCFCs e HFCs na atmosfera.....	29
Figura 15 – Evolução de níveis atmosféricos NF <sub>3</sub> medidas no Hemisfério Norte (NH) e no Hemisfério Sul (SH). Fonte: ARNOLD, 2013.....	30
Figura 16 – Distribuição de projetos aprovados de MDL no mundo. Fonte: KREIBICH, 2019. ....	43
Figura 17 – Distribuição de RCE emitidos por países até 2015. Fonte: CDM, 2015....	44
Figura 18 - Distribuição de URE emitidas até 2019 por tipo de projeto. ....	46
Figura 19 – Esquema de distribuição de PEMC. Fonte: FÓRUM CLIMA, 2019. ....	48
Figura 20 - Escopos das emissões de GEE em uma organização. Fonte: HIROKAWA (2017).....	51
Figura 21 – Relação entre as partes da ABNT NBR ISSO 14064. Fonte: ABNT, 200754	
Figura 22 – Esquema de Refino Genérico. Adaptado de: ABADIE, 2002.....	58

Figura 23 – Representação esquemática de conversor de UFCC moderno. Fonte: CABRELON, 2012. ....	59
Figura 24 – Demanda Global de catalisadores de refino por segmento em 2018. ....	62
Figura 25 – Planta baixa da unidade inventariada. Fonte: CIPA, 2019. ....	65
Figura 26 - Passos para realizar um inventário de emissões de GEE. Fonte: FERRÃO, 2016. ....	68
Figura 27 – Menu de navegação da ferramenta de cálculo GHG Protocol. (Fonte: PROGRAMA BRASILEIRO GHG PROTOCOL, 2019).....	76
Figura 28 – Resumo esquemático para a estimar emissões de transporte de terceiros. Fonte: Elaboração Própria. ....	87
Figura 29 - Distribuição das emissões totais de GEE calculadas por escopo (tCO <sub>2</sub> e). 95	
Figura 30 - Distribuição das emissões do Escopo 1. Fonte: Elaboração Própria.....	96
Figura 31 - Distribuição das emissões inventariadas nos escopos 1, 2 e 3. Fonte: Elaboração Própria .....	96
Figura 32 - Participação percentual de tCO <sub>2</sub> e dos GEE nos três Escopos. Fonte: Elaboração própria. ....	97
Figura 33 – Histórico de emissões totais e de combustão estacionária. Fonte: Elaboração Própria .....	98
Figura 34 - Evolução dos fatores de emissão de CO <sub>2</sub> do SIN e o percentual de contribuição de combustão estacionária no inventário. Fonte: Elaboração Própria.....	99
Figura 35 – Segmentação de emissões de combustão estacionária. Fonte: Elaboração Própria .....	102
Figura 36 – Comparativos de Panoramas de emissões. Fonte: Elaboração Própria. ....	106
Figura 37 – Novo panorama de emissões segmentado por categorias de emissão..	106

## Lista de Tabelas

Tabela 1 – Classificação de poluentes atmosféricos. Adaptado de: Guimarães (2016); Fornaro (2013).....	6
Tabela 2 – Principais GEE diretos monitorados por tratados internacionais com seus respectivos GWP e suas fontes de emissão antrópicas principais. Fonte: Ferramenta GHG Protocol, 2018.....	21
Tabela 3 - Principais empresas do setor de catalisadores de FCC. Fonte: GRACE, 2019; ALB, 2019; BASF,2019; SCC, 2019; SCC,2019; JGCCC,2019. ....	63
Tabela 4 - Princípios para contabilização e elaboração do inventário de GEE. Fonte: Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol (2008).....	67
Tabela 5 – Fontes de emissão identificadas nos Escopos 1, 2 e 3. Fonte: Elaboração própria. ....	71
Tabela 6 – Níveis de complexidade ( <i>tiers</i> ) das metodologias de cálculo. Adaptado de: Hirokawa,2017.....	73
Tabela 7 – Ferramentas de cálculo multisetorial utilizadas por escopo. Fonte: Elaboração Própria. ....	74
Tabela 8 - Emissões geradas por combustão móvel. Fonte: Elaboração Própria.....	77
Tabela 9 – Fontes de emissão por combustão estacionária. Fonte: Elaboração Própria. ....	78
Tabela 10 - Emissões geradas por combustões estacionárias. Fonte: Elaboração Própria.....	78
Tabela 11 – Emissões fugitivas detectadas. Fonte: Elaboração Própria. ....	81
Tabela 12 – Impacto de emissões de GEE no processo industrial. Fonte: Elaboração Própria.....	83
Tabela 13 - Emissões geradas pelo consumo de energia elétrica. Fonte: Elaboração Própria.....	85
Tabela 14 – Principais parâmetros de especificação para comercialização de Gás Natural fóssil e Biometano. Fonte: ANP, 2008 e 2017. ....	104

# SUMÁRIO

I. INTRODUÇÃO.....	1
II. OBJETIVO .....	3
II.1. Objetivo Geral .....	3
II.2. Objetivo Específico.....	3
III. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	4
III.1. A poluição atmosférica.....	4
III.2. Aquecimento global: Perturbação no ciclo de carbono .....	8
III.2.1. Equilíbrio natural da Temperatura: Efeito Estufa.....	8
III.2.2. Aumento da emissão de Gases do efeito estufa (GEE).....	9
III.2.3. Modificação de sumidouros naturais .....	11
III.3. Camadas da atmosfera terrestre .....	15
III.3.1. Troposfera .....	17
III.3.2. Estratosfera .....	17
III.3.3. Mesosfera.....	18
III.4. Gases do efeito estufa .....	19
III.4.1. Mecanismos de absorção de energia.....	19
III.4.2. Principais GEE .....	21
III.4.3. GEE indiretos .....	31
III.5. Panorama político-legal da agenda climática global .....	32
III.5.1. IPCC.....	32
III.5.2. UNFCCC .....	36
III.5.3. Encontros internacionais sobre mudanças climáticas .....	36
III.5.4. Protocolo de Kyoto .....	41
III.5.5. Diretrizes nacionais legais referentes a mudanças climáticas...	47
III.5.6. Inventário de GEE .....	50

IV. ÁREA DE ESTUDO .....	56
IV.1. Contexto da aplicação de produtos.....	56
IV.2. Funcionamento de Craqueamento catalítico em leito fluidizado .....	59
IV.3. Estruturação de marketshare global .....	61
IV.4. Estudo de caso: estrutura da organização.....	64
V. METODOLOGIA .....	66
V.1. GHG Protocol no Brasil .....	66
V.2. A geração do inventário .....	67
V.2.1. Definição dos limites organizacionais .....	68
V.2.2. Definição dos limites operacionais.....	69
V.2.3. Seleção de metodologia de cálculo e fatores de emissão .....	72
V.2.4. Captação de dados.....	74
V.2.5. Cálculo das emissões.....	75
V.2.6. Compilação do relatório de emissões de GEE .....	89
V.3. Limitações do inventário.....	90
V.4. Exclusões.....	93
VI. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	95
VI.1. Panorama geral de emissões .....	95
VI.2. Comparação com ano base .....	97
VI.3. Comparativo com empresa do mesmo segmento.....	99
VI.4. Oportunidades de melhoria nas estimativas .....	100
VI.5. Estratégias de mitigação.....	101
VII. CONCLUSÃO .....	107
VIII.Referências.....	109

# I. INTRODUÇÃO

No decorrer dos séculos XX e XXI, o avanço tecnológico favoreceu um processo de industrialização intenso e acelerado, alterando todos os aspectos da sociedade. A influência dessa modernização nos processos modificou a relação de como a humanidade produz, interage e valoriza suas condições de vida. A industrialização permitiu ao homem alterar seu entorno numa escala nunca antes concebida, desde a produção de produtos numa magnitude que possibilitou a comercialização de mercadorias complexas para uma grande massa de consumidores, perpassando pela formação de cidades complexas, remodelando a relação cidade/campo de trabalho da população economicamente ativa (LANDES, 1969).

No entanto, essa renovação nos modelos de vida não gerou somente impactos positivos. Os efeitos colaterais da industrialização estão mostrando suas facetas na forma de impactos ambientais mais diversos, desde alterações em ecossistemas devido à má disposição de rejeitos, contaminação calamitosa de corpos hídricos até alterações na composição atmosférica ocasionando desequilíbrios climáticos em escala global.

Tais desequilíbrios ocasionam consequências há pelo menos 200 anos, no entanto, seus impactos se tornaram tão contundentes que geraram repercussão até na grande mídia. A comunidade científica, no entanto, havia pautado essa temática há décadas, realizando conferências, estudos científicos e artigos para quantificar e traçar modelos de previsão das mudanças climáticas antropogênicas. A criação, em 1988, do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (do inglês, *Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC*), instituição de pesquisa ligada a ONU, foi uma direta consequência deste movimento acadêmico.

Apesar da preocupação com a qualidade do ar ser muito anterior a criação da instituição, suas atividades foram fundamentais para a coleta, padronização e disseminação de dados sobre os fenômenos climáticos e de forma ainda mais cabal, deu começo a iniciativas para ações de controle e mitigação de atividades poluidoras performadas nas mais diversas escalas, setores e países.

Uma das iniciativas incentivadas pelo instituto, atrelada a mitigação do fenômeno de aquecimento global, é a elaboração de Inventários de Gases de Efeito Estufa. Essa ferramenta permite qualquer tipo de organização conhecer seus perfis de emissão, quantificando suas fontes de emissão mais hegemônicas e com base nessas informações, desenvolver as oportunidades de redução ou minimização de impacto de suas emissões, ou seja, avançando para etapas mais avançadas, com estabelecimento de planos e metas voltadas para a redução de formas sistemáticas obtendo assim vantagens competitivas.

Na história recente, a sociedade desenvolveu uma percepção ainda mais apurada, intensificando reuniões, congressos e acordos internacionais para a criação de um modelo de desenvolvimento mais sustentável ambientalmente. Essas iniciativas geraram diversos mecanismos que privilegiam organizações que se dedicam a reduzir sua pegada ambiental (do inglês, footprint), como o comércio internacional de emissões, o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, ambos instituídos pelo Protocolo de Kyoto (UNFCCC, 2017).

Dessa maneira, empresas, corporações e organizações ambientalmente engajadas se beneficiariam não só com uma melhora de sua imagem perante os mercados nacionais e internacionais, como também obtém ganhos financeiros reais se tiverem alocadas em países com políticas públicas efetivamente comprometidas com a preservação do meio ambiente.

## **II. OBJETIVO**

### **II.1. Objetivo Geral**

O presente trabalho visa a análise crítica e aprimoramento do Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) de uma empresa produtora de catalisadores localizada no Estado do Rio de Janeiro, reanalisando e quantificando suas principais fontes de emissão de GEE e desenvolvendo estratégias para suas devidas mitigações.

### **II.2. Objetivo Específico**

As atividades específicas do presente trabalho englobando a elaboração do inventário de emissões de GEE foram:

- Identificar as principais fontes emissoras de GEE da empresa em estudo;
- Quantificar a emissão total de CO<sub>2</sub>e emitido pela empresa;
- Propor novas sistemáticas de coletas de dados para aprimorar a precisão e agilidade na elaboração de inventários de GEE futuros;
- Identificar as maiores fontes de emissão dentro de cada escopo;
- Propor estratégias de mitigação, remoção ou redução de emissões de GEE;

### **III. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **III.1. A poluição atmosférica**

A resolução CONAMA de nº 491, de 19/11/2018 é o instrumento legal que define poluente atmosférico como:

[...] qualquer forma de matéria em quantidade, concentração, tempo ou outras características, que tornem ou possam tornar o ar impróprio ou nocivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade ou às atividades normais da comunidade. (CONAMA, 2018, p.155)

Em virtude da sua abrangência, a referida definição legal não tipifica quanto as suas origens, podendo ser decorrentes de atividades antropogênicas ou fenômenos naturais, ou mecanismos de interação, podendo estes interferir através de reações químicas ou interações físicas. A Resolução citada acima tem como função primordial de traçar Padrões Nacionais de Qualidade do Ar utilizando-se como valores guias recomendados pela Organização Mundial da Saúde – OMS (2015), de forma a estabelecer não só os padrões de qualidade do ar Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar – PRONAR, bem como seus critérios de implementação. No tópico III.5.3.2, será explorado com mais profundidade a referida resolução.

Apesar da instrumentação legal ser recente, as atividades humanas sempre apresentaram um impacto na poluição da atmosfera, podendo se considerar impactos muitos antes da própria noção de humanidade, como na descoberta do fogo para assar alimentos, aquecer e proteger de animais silvestres. No entanto, as primeiras poluições antropogênicas, não tinham impactos praticamente algum frente aos fenômenos naturais como erupções vulcânicas, incêndios florestais de ocorrências naturais, tempestades de poeiras, etc.

As influências da humanidade no panorama climático do planeta só se tornaram mais acentuadas após o desenvolvimento tecnocientífico, quando este alterou não só o padrão da matriz energética global, mas principalmente sua escala, pois inicialmente as poluições atmosféricas se resumiam a queima de biocombustíveis, majoritariamente madeira, para obtenção de energia. Não antes dos anos de 1200, a civilização ocidental teve seu primeiro contato com uma outra fonte energética menos escassa, porém mais poluente, o carvão. (VIEIRA, 2009).

A adoção de carvão como fonte energética ocorreu de forma gradativa, mas seu aumento trouxe diversas complicações às populações próximas às principais fontes poluidoras da época, pequenas fundições e processos industriais rudimentares, como elevação nas taxas de mortalidade em decorrência de doenças respiratórias e cardiovasculares (LANDES, 1969).

Em virtude desta mudança de paradigma, a sociedade pressionou os mercados através de diferentes mecanismos, como por exemplo, a criação da primeira comissão para os problemas de poluição do ar em 1285 na Inglaterra. Ainda neste país, em 1306, Rei Eduardo I proíbe o uso de carvão em lareiras, com a intenção de prevenir doenças respiratórias da população. Em 1558, a Rainha Inglesa decretou a proibição da queima de carvão durante as sessões do parlamento. Somente em 1661, foram iniciadas discussões para redução da poluição no ar gerando assim um tratado anti-carvão, redigido por John Evelyn, com algumas sugestões para se melhorar a qualidade do ar londrino como a delimitação do uso de carvão, realocação de indústrias, desenvolvimento de novos combustíveis, implementação de corredores verdes ao longo de Londres (GUIMARÃES, 2016).

Na época, as preocupações com a poluição atmosférica ainda eram tratadas como um problema local, que afeta somente uma região ou espaço confinado, mas após algumas décadas, a humanidade desenvolveu a consciência de que esta se propaga por cidades, estados, países e até mesmo continentes, influenciando um sistema muito maior e mais complexo do que se tinha

noção já que o nível da poluição do ar de um local resulta de diversas interações em um complexo conjunto de fatores, dentre eles a carga de poluentes atmosféricos liberados, topografia da região (vales, planícies), mecanismos de remoção (vegetação local) e condições meteorológicas que podem facilitar ou dificultar a dispersão, tais como ventos, altura da camada de mistura, chuvas, etc (FORNARO, 2013).

Juntamente com o desenvolvimento desta maior consciência de como os mecanismos atmosféricos funcionam, proporcionada pelo avanço tecno-científico, ocorreu também um maior entendimento dos agentes poluidores propriamente ditos e como estes atuam. Para isso, estes foram classificados de acordo com alguns parâmetros, como seu estado físico (como material particulado ou vapores e gases), por sua classe química (orgânicos ou inorgânicos), tipos de compostos (compostos de carbono, nitrogênio, enxofre e halogenados), quanto a sua origem (como poluentes primários ou secundários). Sendo os poluentes primários, agentes emitidos diretamente no ar, enquanto poluentes secundários são formados na atmosfera por reações químicas entre compostos presentes na atmosfera e poluentes primários, seja por um ou mais processos de hidrólise, oxidação ou reações fotoquímicas (VIEIRA, 2009).

A Tabela 1 elenca uma relação dos principais poluentes de acordo com as classificações referidas anteriormente.

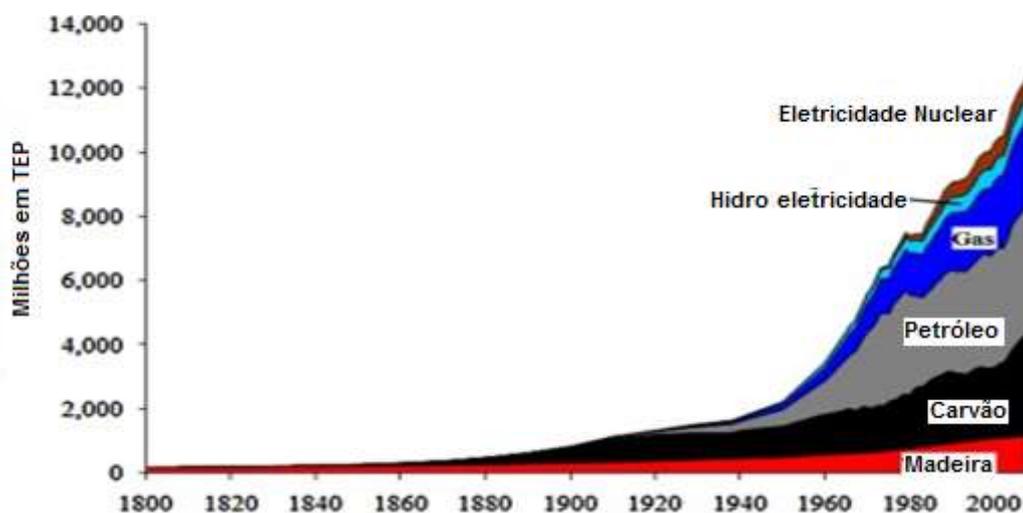
**Tabela 1** – Classificação de poluentes atmosféricos. Adaptado de: Guimarães (2016); Fornaro (2013)

<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 <sub>2</sub> , Cl, SO <sub>x</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 Orgânicos Voláteis (COV)	Alcanos, alcenos, aldeídos, álcoois, cetonas, aromáticos, nitratos de peroxiacil (PAN)
Compostos Halogenados	HCl, HF, CFC, HFC, PFC, HCFC, cloretos, fluoretos

A classificação e o entendimento dos mecanismos poluidores destes agentes atmosféricos possibilitaram a segmentação das formas de impacto em 3 grandes vetores, sendo estes: doenças respiratórias atreladas a inalação de particulados e a intensificação dos fenômenos de ocorrência natural de chuva ácida e efeito estufa.

No entanto, a intensificação do efeito estufa na atmosfera terrestre possui o maior potencial para alteração no panorama climático global devido a sua escala mais abrangentes que os demais vetores. Sua ocorrência é baseada na alteração da composição da atmosfera global, por meio da emissão intensiva e massificada de gases do efeito estufa, acima dos limites de depuração desses poluentes pelo meio ambiente terrestre (IPCC, 2018). Tais conceitos e mecanismos serão apresentados em tópicos mais oportunos no presente trabalho.

Ainda assim, estes três principais vetores de piora na qualidade do ar estão intimamente ligados a evolução da matriz energética global que teve seu primeiro ponto de inflexão a partir da primeira revolução industrial, 1760-1860, alterando não só a composição da matriz como também sua escala (GUIMARÃES, 2016). A Figura 1 retrata a evolução histórica da matriz energética global indicando sua escala e composição.



**Figura 1** – Evolução da Matriz energética global dos anos 1800 aos anos 2005. Fonte: Fouquet, 2009.

O gráfico indica, no entanto, que apesar da iniciada no período da primeira revolução industrial, a poluição atmosférica, intimamente associada a produção de energia, se agrava de maneira praticamente exponencial. Apesar de em diferentes proporções de impacto, todas as formas de obtenção de energia demonstradas na figura contribuem de forma direta ou indireta para a intensificação dos 3 vetores citados anteriormente. Ainda assim, o agravamento extremo do último vetor gerou um desequilíbrio de nomenclatura própria chamada aquecimento global.

## **III.2. Aquecimento global: Perturbação no ciclo de carbono**

### **III.2.1. Equilíbrio natural da Temperatura: Efeito Estufa**

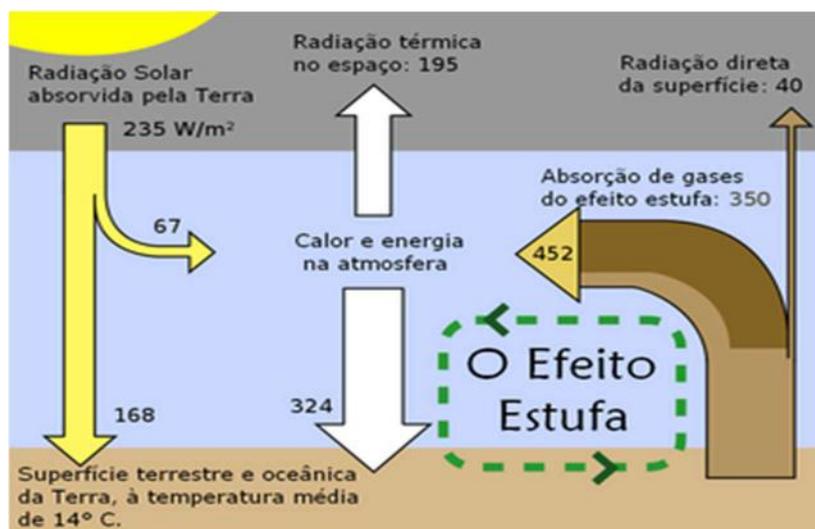
Caso o planeta terra tivesse sua temperatura influenciada somente pela radiação solar absorvida e refletida no planeta, sua temperatura média seria em torno de  $-18^{\circ}\text{C}$ . No entanto, a atmosfera terrestre tem um papel fundamental de preservar parte da radiação refletida da terra. Os principais componentes pela retenção dessa energia são os gases de efeito estufa, capazes de manter parte da radiação infravermelha refletida pela Terra. A presença destes gases na composição de nossa atmosfera não só elevou a temperatura média da terra para patamares que proporcionaram a vida como conhecemos, cerca de  $14^{\circ}\text{C}$ , mas estão diretamente relacionados a aparição desta no planeta como a conhecemos hoje (BILLINGS, 2013).

A temperatura média, portanto, é apenas uma resposta de um equilíbrio ecológico frágil, que leva em consideração diversos fatores com diferentes potências, sendo o acúmulo de GEE apenas mais um fator. Alguns outros fatores importantes para se considerar neste equilíbrio são a variação de irradiação solar, a atividade geotérmica do planeta, reflexividade da atmosfera, etc. O planeta já passou tanto por eras com temperaturas extremamente altas, como no seu período de formação, em que a atividade geológica do planeta conduzia a temperatura planetária, assim como por eras em que o gelo dominava grande parte da superfície terrestre,

eras glaciais provocadas pelo aumento de particulados na atmosfera atuando como bloqueadores solares que repeliam a radiação solar. (BILLINGS, 2013).

Recentemente, pelo menos no ponto de vista geológico, a maioria dos fatores que atuam na temperatura planetária de forma contundente permanecerem praticamente constantes, deixando como principal força de atuação, o nível de carbono presente na atmosfera. Nos últimos 2 milhões de anos, a concentração de CO<sub>2</sub> apresentava uma leve variação em seus percentuais, o que ocasionou um longo período de estabilidade climática planetária.

A Figura 2 demonstra um esquema simplificado de trocas de energia entre o espaço sideral, a atmosfera e a superfície terrestre em que o efeito estufa apresenta uma grande influência.

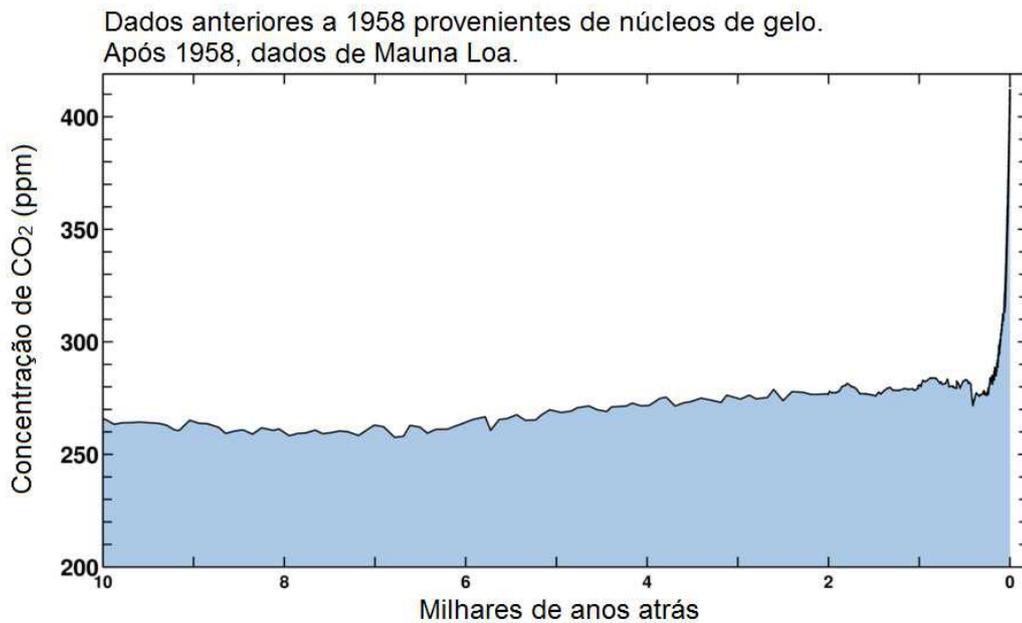


**Figura 2** - Representação esquemática das trocas de energia entre o espaço sideral, a atmosfera e a superfície da Terra. Fonte: LASHOF, 1989.

### III.2.2. Aumento da emissão de Gases do efeito estufa (GEE)

No entanto, a perturbação deste equilíbrio pelas atividades antrópicas que lançaram na atmosfera GEE em uma taxa nunca presenciada, elevando seus percentuais para níveis nada menores que estratosféricos. A origem destes gases tem relação direta com pontos de armazenagem de materiais orgânicos no ciclo de carbono que serão explanados mais a diante

neste trabalho. Essa mudança de composição atmosférica pode ser observada pela coleta de testemunhos de gelo retirados em ambos os polos do planeta, traçando-se assim uma série histórica de milhares de anos. A Figura 3 apresenta a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera terrestre dos últimos dez mil anos.



**Figura 3** – Concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera terrestre dos últimos 10.000 anos. Fonte: SCRIPPS, 2019

Essa forte quebra no patamar é também foi observada em diversos outros GEE com fatores de aquecimento global (do inglês, *Global Warming Potential* – GWP) ainda mais elevados que o referido acima, mas com suas origens muito são semelhantes (vide tópico III.4.3). A mudança na composição atmosférica presenciada nas últimas décadas foi a maior causa para que o efeito estufa tenha se intensificado de maneira a evoluir para o fenômeno antropogênico do aquecimento global. Torna-se imprescindível destacar que o fenômeno tem características auto catalíticas, modificando seus principais pontos de contraposição que serão explanados nos tópicos subsequentes a este.

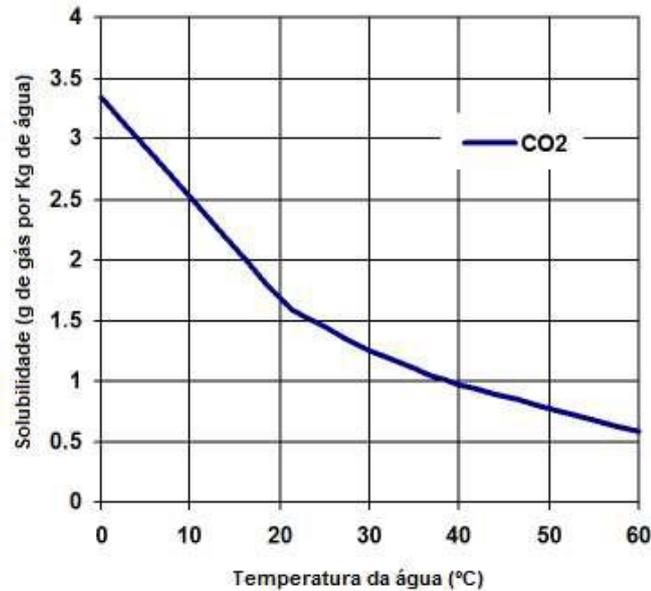
### **III.2.3. Modificação de sumidouros naturais**

Outro fator preponderante na contribuição da formação do aquecimento global foi a desregulação de alguns tipos de sumidouros naturais. Os sumidouros naturais sempre foram uma força geológica a se considerar no equilíbrio energético terrestre pois sua atuação de retirar alguns tipos GEE da atmosfera, reduzindo assim a retenção energética do planeta. Os principais sumidouros naturais estão o ecossistema oceânico e o ecossistema terrestre (ROSCOE, 2003).

O ecossistema oceânico, principal reservatório de carbono da terra, atua majoritariamente através de 2 mecanismos distintos para afixar o carbono atmosférico em seu estoque, os processos físicos e os processos biológicos. Estes processos, apesar de ocorrerem de forma independente, sofrem interferência um do outro, de forma que caso um deles venha a aumentar sua taxa de absorção de gases, o outro mecanismo tende a aumentar analogamente.

O primeiro processo, comumente conhecido como “Solubility pump”, decorre de 2 efeitos naturais: a diferença de solubilidade de gases em temperaturas distintas no oceano e a Circulação Termoalina (circulação oceânica global), isto porque a maioria dos GEE possuem maior solubilidade em águas frias (RAVEN & FALKOWSKI, 1999).

A Figura 4 apresenta a relação da solubilidade de CO<sub>2</sub> com a temperatura da água.



**Figura 4** – Solubilidade de CO<sub>2</sub> em água em diferentes temperaturas. Fonte: THE ENGINEERINGTOOLBOX, 2019.

Com a intensificação do efeito estufa, ocorre a redução dos efeitos dissipativos atmosféricos, forçando o aumento da temperatura dos oceanos pelo acúmulo de calor, o que diminui a capacidade de reter os gases dissolvidos, mostrando assim, o caráter auto catalítico deste fenômeno antrópico.

O processo biológico está baseado fortemente na atividade microbiana do ecossistema oceânico, na forma majoritária de fitoplanctons, que utilizam CO<sub>2</sub> dissolvido na água para o seu processo de fotossíntese. Este fator possui uma contundência tão importante não só pela redução de GEE, mas também pela emissão de O<sub>2</sub> para a manutenção da vida como conhecemos no planeta, pois algas marinhas produzem mais da metade de todo o oxigênio gerado no planeta.

Outros organismos marinhos também utilizam íon CO<sub>3</sub><sup>=</sup>, que se encontra em equilíbrio químico com o CO<sub>2</sub> troposférico, para outras funcionalidades como a formação de seus esqueletos e suas carapaças, constituídas preponderantemente por carbonato de cálcio. Após a morte dessas espécies de vida, seus restos são sedimentados no leito do oceano por dezenas de milhares de anos (ROSCOE, 2003).

O ecossistema terrestre também está baseado na atividade metabólica de organismos para capturar GEE da atmosfera. Neste caso, organismos autotróficos, como por exemplo plantas, vegetais e alguns tipos de bactérias, que possuem a capacidade de utilização de CO<sub>2</sub> para obtenção de energia. Esse mecanismo é a principal forma de absorção no ecossistema terrestre, no entanto essa rota não armazena somente nos pontos de absorção primários, também é o ponto de partida para outras formas de armazenamento.

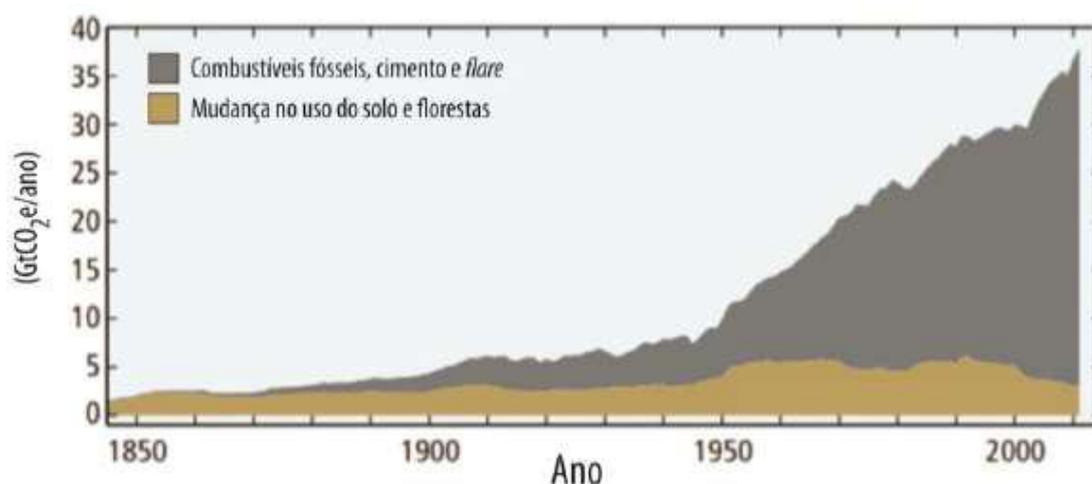
O armazenamento mais impactante no ecossistema terrestre se apresenta no final do ciclo, isto porque o maior reservatório de carbono se trata do próprio solo em si. Este é capaz de estocar o dobro do carbono que a vegetação e cerca de três vezes a concentração da atmosfera. No solo, ocorre o acúmulo de forma gradual pela deterioração do material orgânico de toda cadeia alimentar. (ROSCOE, 2003).

O solo possui diversas formas de armazenar o carbono, o tipo de estocagem depende primordialmente de: tipo de estrutura, ou origem, da qual esse material orgânico é proveniente; interações físico-químicas da matéria orgânica com os componentes minerais do solo; clima do local da decomposição; estrutura geológica local. Esses fatores que determinam a distinção de um resíduo orgânico gerando húmus, uma jazida de diamantes, um poço de petróleo ou qualquer outra das milhares de estruturas de armazenamento possíveis (MACHADO, 2005).

Contudo, o ecossistema terrestre também vem sofrendo influências antrópicas contundentes, em escala até maior que no ecossistema marinho. Isso porque a ação humana está agindo de forma exponencial em duas frentes de forma simultânea, na intensificação do desflorestamento de diversos biomas e na extração de estoques de carbonos que foram aprisionados no solo (IPCC, 2018).

O desmatamento global não é um processo recente e nem tem uma contribuição majoritária nas emissões diretas de GEE, cerca de 12% das emissões totais, contudo seu impacto real consiste em algo mais contundente como o declínio na taxa de absorção de gases na

atmosfera. Recentemente, foi observado um decréscimo nas emissões diretas deste tipo, o que não indica um aumento na área de vegetação capaz de capturar os gases, mas sim uma menor taxa de destruição da mesma que continua a ser destruída (van der Werf, 2009). A Figura 5 indica a evolução de emissões antrópicas de GEE por 2 tipos entre os anos 1850 aos anos 2000.



**Figura 5** - 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 histórico indicado acima evidencia o agravante mais significativo, o consumo de combustíveis fósseis, retirando assim milhares de toneladas de materiais orgânicos que se encontravam aprisionados a milhares de anos e os enviando a atmosfera. Segundo o IPCC, as emissões provenientes do consumo de combustíveis fósseis e processos industriais contribui mais de 75% das emissões totais de GEE (2014).

A Figura 6 apresenta de forma esquemática alguns dos processos descritos no tópico atual de forma integrada, comumente conhecido com ciclo de carbono.



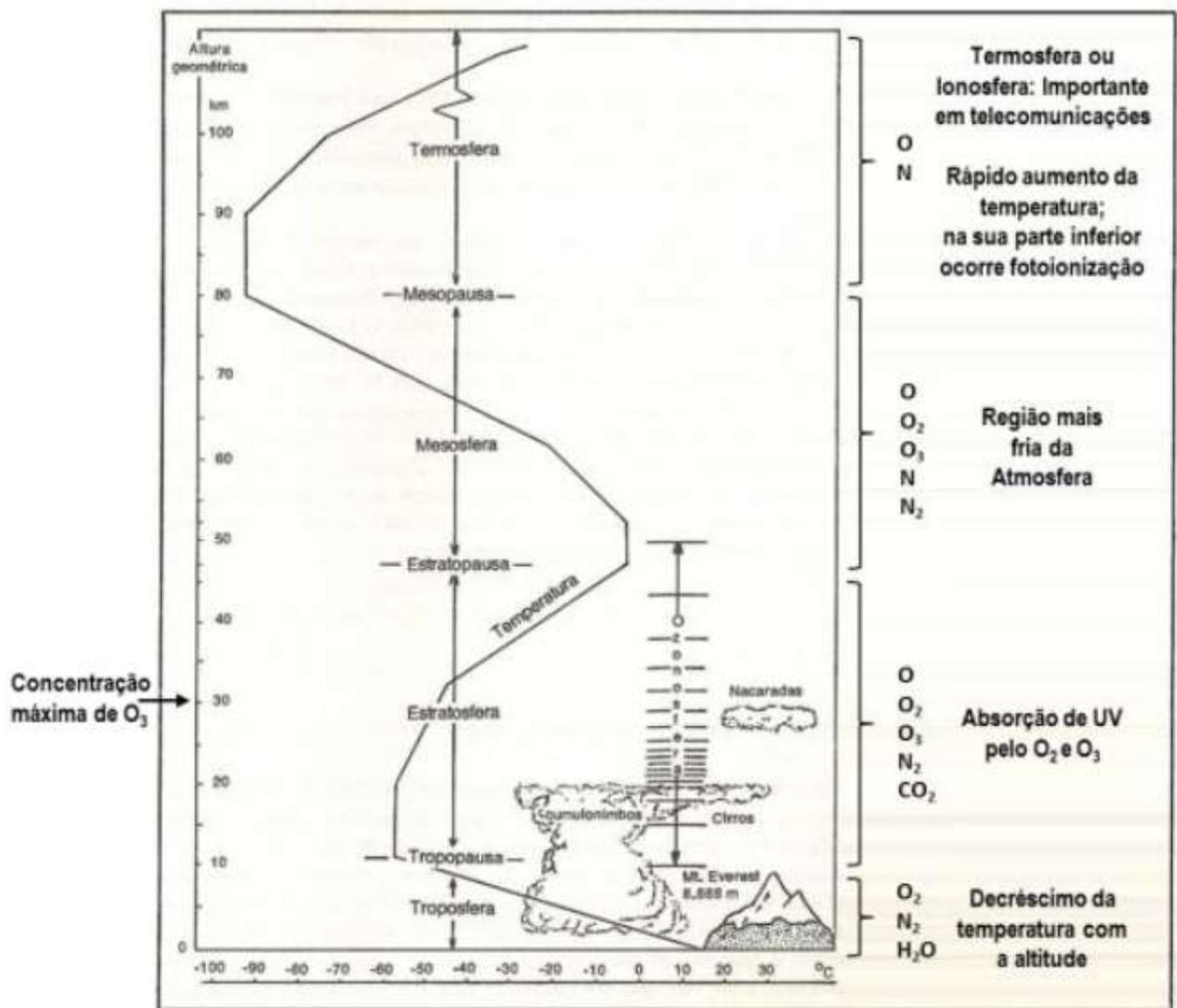
Figura 6 – Representação esquemática do ciclo de carbono terrestre.

Fonte: SITE SIGNIFICADOS, 2018.

### III.3. Camadas da atmosfera terrestre

A atmosfera terrestre, de forma simplista, é uma estreita capa de gases ao redor do planeta terra que se encontra atraída pela força gravitacional mesmo. As características desta variam consideravelmente ao se comparar as 5 camadas distintas da atmosfera: Troposfera, Estratosfera, Mesosfera, Termosfera e Exosfera (SEINFELD, 1998). A forma mais apropriada e aceita para a segmentação entre as camadas seria observação das inversões dos gradientes de temperatura em função da altitude.

A Figura 7 esquematiza de forma mais clara a segmentação e ressalta algumas características das camadas além de apresentar um parâmetro para comparação de altitude.



**Figura 7** - Estrutura das camadas da atmosfera. Fonte: HIROKAWA, 2017.

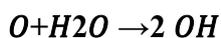
Não obstante, as separações são somente teóricas uma vez que ocorre circulação tanto de energia quanto massa entre os segmentos de forma constante.

O presente trabalho não tem a intenção de abranger em profundidade as características e singularidades apresentada em cada uma das camadas, mas apenas os mecanismos e informações mais pertinentes para a interação de GEE com as regiões da atmosfera.

### **III.3.1. Troposfera**

A troposfera possui a maior concentração de gases da atmosfera, aproximadamente 80% da massa total está presente nesta camada. Sua característica mais importante para o presente trabalho está relacionada a sua natureza oxidante que atua em praticamente todas as emissões de forma a alterar suas estruturas finais gerando os referidos GEE indiretos que serão mais bem explanados no tópico III.4.2.

Seu mecanismo de oxidação ocorre pela interação dos demais gases com os radicais hidroxila (OH) que são formados majoritariamente a partir da fotodissociação de ozônio na troposfera devido a exposição à radiação solar (GUIMARÃES, 2016), como indicado no par de reações abaixo:



Torna-se válido ressaltar que a atuação na oxidação dos gases emitidos por parte do radical hidroxila é apenas catalítica, não sendo este consumido ou formado no processo global, o que explica o tamanho do impacto de uma estrutura tal instável, com tempo de vida muito pequeno, menos de um segundo, que não apresenta grandes concentrações na troposfera. Sua pequena concentração, está relacionada principalmente a 2 fatores, a baixa ocorrência de O<sub>3</sub> na região da troposfera, mais alocada na estratosfera, e na sua fácil decomposição ao se reagir com outros compostos naturalmente presentes no meio (HEAL, 1995).

### **III.3.2. Estratosfera**

A estratosfera tem como característica central, sua alta concentração do componente O<sub>3</sub>. Este grande percentual de ozônio gera um gradiente levemente positivo de temperatura com altitude. Esse patamar praticamente estável na camada de ozônio ocorre devido a absorção de radiação Ultravioleta (UV) oriunda do Sol.

Essa absorção de radiação além de produzir aquecimento também produz grandes quantidades de oxigênio molecular. As equações abaixo indicam o processo de formação de O<sub>3</sub> (MCELROY, 2008).



Com a extensão de até cerca de 50 Km de altitude, a estratosfera atua de forma vital para a manutenção do equilíbrio atmosférico atual, pois atua como um bloqueador da radiação contra a superfície, principalmente da UV-C (frequência de 280~100nm) e parte do UV-B (315~280nm) assim como também atua como agente oxidante de qualquer emissão que não tenha sofrido uma ação completa do radical hidroxila em altitudes inferiores (IPCC,2001).

Durante os anos 80, foi observado uma rápida degradação desta camada pela emissão de clorofluorcarbonos (CFC), em instalações de refrigeração em diversas partes do planeta. Esses compostos ao absorverem a radiação UV, sofrem fotólise e liberando um halogênio, na maioria das vezes o cloro, que atua como um catalisador da reação de conversão de ozônio para oxigênio (GUIMARÃES, 2016). Após a comunidade científica tomar conhecimento deste efeito, a produção de CFC foi cessada através do protocolo de Montreal, redigido em 1987, mas entrando em vigor em 1989. Desde a imposição deste protocolo a concentração de CFC vem se reduzindo e a degradação de ozônio foi controlada. Esta evolução pode ser observada na Figura 14 indicada mais à frente no presente trabalho.

### **III.3.3. Mesosfera**

A mesosfera possui composição rica em íons e espécies monoatômicas, principalmente oxigênio e nitrogênio, é nesta região que emissões diretas que não foram convertidas pelos mecanismos nem da troposfera nem da estratosfera, são convertidas como é o caso de alguns GEE como SF<sub>6</sub> e PFC. (BRAESICKE, 2015).

A partir desta camada, os níveis atmosféricos apresentam uma influência no efeito estufa muito reduzida ou irrelevante. A exposição de informações sobre essas camadas superiores não agregaria nada de relevante para o presente trabalho além de fugir do escopo dele.

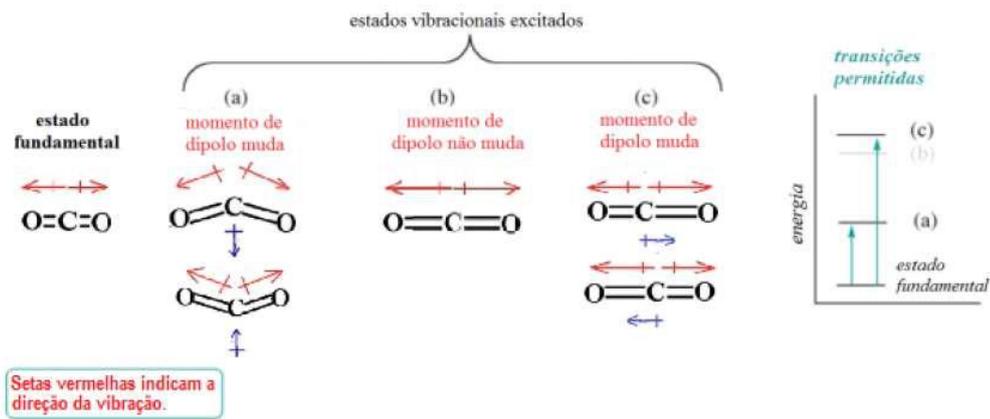
### **III.4. Gases do efeito estufa**

Como já foi introduzido no tópico III.2, parte da radiação solar absorvida na superfície terrestre é emanada na forma de radiação infravermelha. Essa radiação tenderia a se dissipar se não fosse a atuação de espécies presentes na atmosfera capazes de absorver essa radiação para posteriormente reexpedir a mesma em todas as direções. Qualquer composto gasoso capaz de realizar tal fenômeno se enquadra na definição de gases do efeito estufa. Essa absorção ocorre através de alguns mecanismos (SHAPLEY, 2010).

#### **III.4.1. Mecanismos de absorção de energia**

Os principais mecanismos de absorção da radiação infravermelha (IV) estão ligados diretamente as estruturas moleculares dos GEE, o que torna o impacto de cada composto diferente entre si. Essas diferenciais estruturais diferenciam a capacidade total de absorção do GEE porque as possibilidades de absorção de cada composto dependem especificamente do número de transições possíveis e da energia requerida para cada transição (SHAPLEY, 2010).

A energia IV absorvida pelos GEE envolvidas no efeito estufa ocorre principalmente pela transição energética para a mudança entre os modos de vibração possíveis nas moléculas destes gases. Cada molécula pode assumir diversos modos de vibração em que cada um deles estão associados a um tipo de distorção do estado fundamental da molécula. A Figura 8 demonstra essas transições em uma molécula de CO<sub>2</sub>, indicando seus modos de vibração tal como os níveis energéticos associados a cada um deles (HIROKAWA, 2017).



**Figura 8** - Modos vibracionais da molécula de CO<sub>2</sub> e energias de transição associadas.

Fonte: HIROKAWA, 2017.

Na Figura 8 é observado que os modos de vibração estão associados a molécula de dióxido de carbono alteram o comprimento e angulação das ligações de forma a alterar o momento dipolo resultante da estrutura. Tal característica é importante devido ao fato da energia necessária para causar esse tipo de distorção estar enquadrado exatamente na faixa de radiação eletromagnética do IV próximo (1.000 – 20.000 nm de comprimento de onda), exatamente a característica da radiação refletida pela superfície terrestre (SHAPLEY, 2010).

Devido à ausência desse tipo de transição em moléculas diatómicas ou monoatómicas grande parte da atmosfera terrestre (majoritariamente N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> e Ar) não tem condição de absorver a energia emitida pela Terra. Existem outros mecanismos associados ao efeito estufa com menor contribuição, como as transições rotacionais e até mesmo o ganho cinético de velocidade de moléculas. No entanto, esses fenômenos estão mais associados a propagação da energia absorvida no IV próximo do que na absorção propriamente dita.

Diversas transições possíveis existem até mesmo nas moléculas de GEE, com transições mais energéticas, como as transições eletrônicas, ou menos energéticas, como as transições de acoplamento de spin. No entanto, as demais transições não contribuem para fenômeno de efeito estufa de forma significativa (HIROKAWA, 2017).

### III.4.2. Principais GEE

O protocolo de Kyoto, que será mais bem desenvolvido no item III.5.3, tipifica em seu anexo A os gases de efeito estufa. No entanto, essa relação é periodicamente revisitada com a intenção de manter atualizada frente as novas informações e teóricas desenvolvidas pela comunidade científica através de “*Assessment Report*” publicado pelo IPCC. A relação mais atualizada de GEE se encontra listada na Tabela 2 em conjunto com seus respectivos GWP e suas principais fontes de emissão antropogênica.

**Tabela 2** – Principais GEE diretos monitorados por tratados internacionais com seus respectivos GWP e suas fontes de emissão antrópicas principais. Adaptado de: Ferramenta GHG Protocol, 2018

<b>GEE</b>	<b>GWP*</b>	<b>Principais Fontes</b>
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	1	Uso de combustíveis fósseis; Mudança no uso da terra; Queima de biomassa; Produção industrial
Metano (CH <sub>4</sub> )	25	Decomposição da matéria orgânica; reservatórios de hidrelétricas; criação de gado; agropecuária; queima de biomassa.
Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O)	298	Decomposição de matéria orgânica; uso de fertilizantes; queima de combustíveis fósseis; processos industriais
Hexafluoreto de enxofre (SF <sub>6</sub> )	22.800	Perdas em isolamento elétrico; condução de calor; perdas em processos industriais
Clorofluorcarbonos (CFC)**	4.750 – 14.400	Perdas em processos em refrigeração; Aerossóis e propelentes
Hidrofluorcarbonos (HFC)	12 – 14.800	Perdas em processos em refrigeração; Aerossóis e propelentes
Perfluorcarbonos (PFC)	7.390 – 17.700	Perdas em processos em refrigeração; Aerossóis propulsores; solventes industriais; espumas retardantes de chamas
Hidrofluorcarboneto (HCFC)**	77 – 2.310	Perdas em processos em refrigeração; Aerossóis e propelentes
Trifluoreto de nitrogênio (NF <sub>3</sub> )***	17.200	Fabricação de diversos componentes eletrônicos

\*Referente a 100 anos \*\* Protocolo de Montreal \*\*\*Adição posterior

Torna-se necessário explicitar que a Tabela 2 apresenta alguns GEE que não se encontravam na relação original do Protocolo de Kyoto, como é o caso do  $\text{NF}_3$  que foi adicionado à lista em 2013. Outro fato relevante a ser destacado é que o termo internacional que regula os níveis de CFC e HCFC é o Protocolo de Montreal que se focaliza na proteção da camada de ozônio da atmosfera terrestre (GUIMARÃES, 2016).

O GWP referente a cada substância indicada na Tabela 2 decorre de alguns parâmetros importante de serem destacados. Como GWP é uma medida de quanto calor um gás de efeito estufa retém na atmosfera até um horizonte de tempo específico, em relação ao dióxido de carbono. Ele compara a quantidade de calor retido por uma determinada massa de gás em questão com a quantidade de calor retido por uma massa semelhante de dióxido de carbono e é expresso como um fator de dióxido de carbono, padronizada como 1. A escala de comparação convencionada pelo IPCC, decorre exatamente desta padronização, denominada  $\text{tCO}_2\text{e}$ , que é obtida pela massa do GEE emitida multiplicado pelo seu respectivo GWP.

Os principais parâmetros a se avaliar para o cálculo do GWP de um GEE são: o tempo de vida atmosférico do composto, os comprimentos de onda de pontos de absorção de energia das moléculas e a capacidade de absorção no IV da espécie designada (IPCC, 2013).

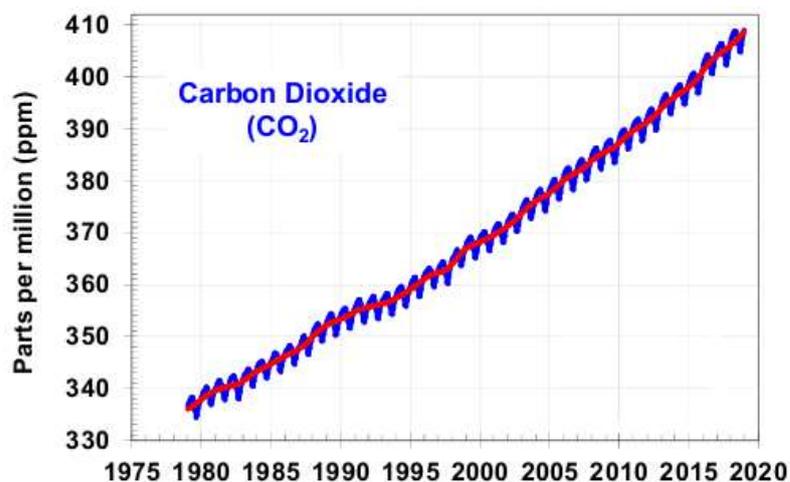
- Os horizontes de tempo mais comuns são referentes a 20, 100 e 500 anos e sua escolha tem grande impacto nos valores obtidos pelo fato das substâncias terem um tempo de remoção na atmosfera muito distinto comparados ao GEE padronizador,  $\text{CO}_2$ .
- A dependência do GWP no comprimento de onda da absorção é mais complexa, pois mesmo que um gás absorva radiação de maneira eficiente em um determinado comprimento de onda, isso pode não afetar muito seu GWP se a

atmosfera já absorve a maior parte da radiação nesse comprimento de onda. Um gás tem mais efeito se absorver em uma "janela" de comprimentos de onda em que a atmosfera é bastante transparente (ELROD, 1999).

- A capacidade de absorção de energia no infravermelho é intrínseca a cada tipo de molécula de gás e é a quantidade de energia por unidade de área, por unidade de tempo, absorvida pelo gás de efeito estufa, que de outra forma seria perdida no espaço (IPCC,2013).

Abaixo serão listadas algumas características dos GEE de maior relevância listado:

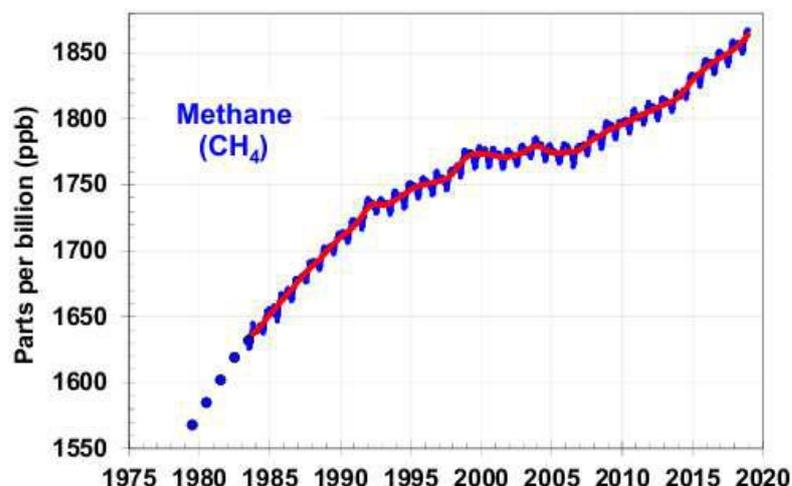
**Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)**: Principal GEE em termos quantitativos, tendo sua concentração considerada como parâmetro fundamental para o acompanhamento da evolução histórica do aquecimento global. Esse gás incolor e inodoro é resultado ou participa de praticamente qualquer cadeia produtiva moderna. No entanto, suas emissões antropogênicas estão principalmente ligadas a queima de combustíveis fósseis e a processos industriais diversos, com mais de 75%. Outro tipo de emissão relevante é a alteração no uso do solo, referindo se a destruição de sumidouros já destacada anteriormente. Esse composto é considerado um GEE direto, ou seja, já possui tempo de vida e mecanismos são suficientes para absorver energia ao ser liberado na atmosfera (IPCC, 2007). A Figura 9 indica a evolução recente nos níveis de CO<sub>2</sub> na atmosfera.



**Figura 9** – Evolução dos níveis de CO<sub>2</sub> na atmosfera de 1979 até 2018.

Fonte: NOAA GLOBAL AIR SAMPLING NETWORK, 2018.

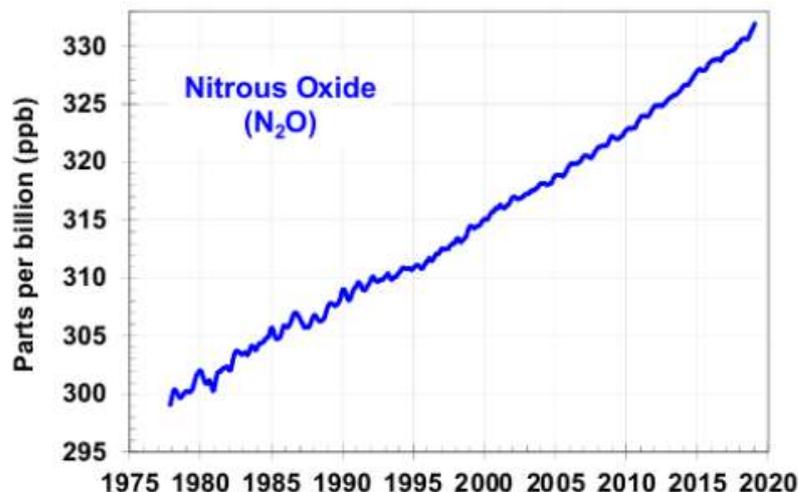
**Metano (CH<sub>4</sub>)**: Esse gás tem como principais fontes de emissão, processos de decomposição, queimas ineficientes e atividades pecuárias, mais especificamente os ruminantes. Seu efeito atua de forma sinérgica com outros GEE, pois seu mecanismo de remoção, que resultara na formação de outros GEE, compete pelos radicais hidroxila já presentes na atmosfera, tornando-os menos disponíveis para atuar em outros poluentes, o que aumenta seu tempo de vida média no sistema atmosférico. O metano é classificado com um GEE direto e seu GWP apresenta maiores valores porque seu tempo de vida é relativamente curto, pois esse composto é removido pelos radicais hidroxila ainda na troposfera. (GUIMARÃES, 2016). A Figura 10 indica a evolução recente nos níveis de CH<sub>4</sub> na atmosfera terrestre.



**Figura 10** - Evolução dos níveis de CH<sub>4</sub> na atmosfera de 1979 até 2018.

Fonte: NOAA GLOBAL AIR SAMPLING NETWORK, 2018.

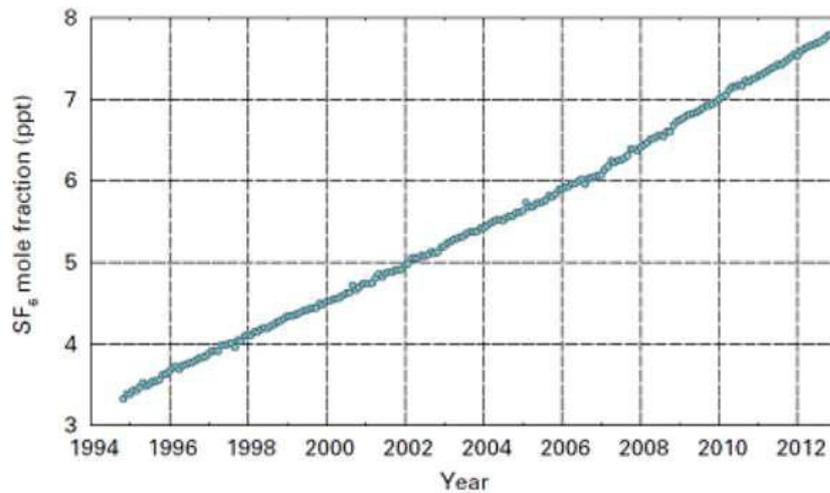
**Óxido nítrico (N<sub>2</sub>O):** A formação deste gás incolor, mais conhecido como gás do riso, ou hilariante, está diretamente relacionada a diversas fontes de emissão, tanto naturais quanto antropogênicas. As fontes naturais mais relevantes são os oceanos e florestas que emitem compostos nitrogenados proveniente de deposição e fixação natural nestes ecossistemas. As fontes antropogênicas mais contundentes estão atreladas a própria fixação de nitrogênio nos solos, mas pelo processo de enriquecimento para a agricultura na utilização de fertilizantes. Outras fontes antrópicas de menor impacto são a atividade pecuária e as indústrias de nylon e ácido nítrico (IPCC, 2007). A Figura 11 indica a evolução recente nos níveis de N<sub>2</sub>O na atmosfera terrestre.



**Figura 11** – Evolução dos níveis de N<sub>2</sub>O na atmosfera de 1979 até 2018.

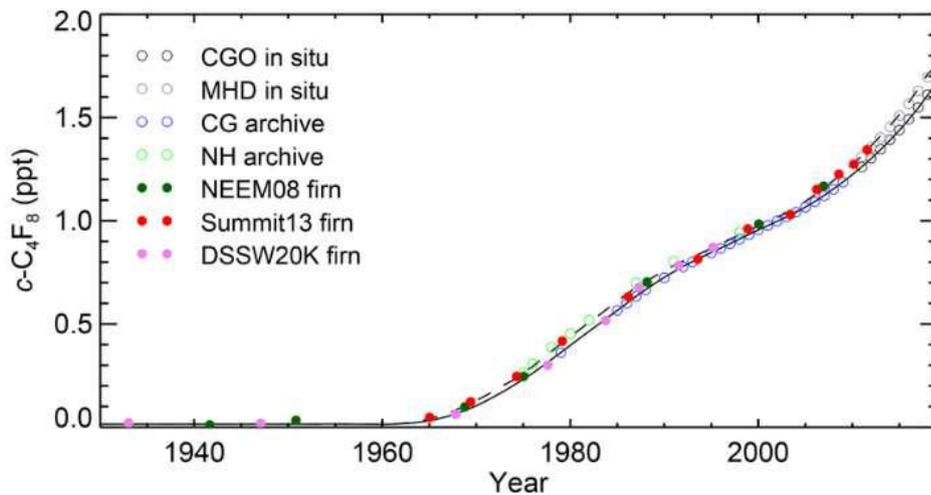
Fonte: NOAA GLOBAL AIR SAMPLING NETWORK, 2018

**Hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>):** Este gás incolor e translucido está intimamente ligado a isolamento elétrico e suas liberações estão relacionadas a emissões fugitivas destas instalações, ou seja, as emissões desse composto são praticamente exclusividade de atividades antrópicas. Em termos mássicos, suas emissões não possuem grande escala frente a outros GEE, no entanto seu impacto está relacionado ao seu tempo de vida muito elevado e sua grande área transversal. A soma destes fatores eleva muito o GWP deste composto. Sua elevada área está intimamente ligada à sua estrutura octaédrica e suas ligações S-F com comprimento de cerca de 156 pm. Seu elevado tempo de vida ocorre devido a sua grande estabilidade na atmosfera, pois possui densidade mais elevada, que a média do ar troposférico, dificulta seu principal mecanismo de remoção ocorra. Isto porque sua remoção ocorre por fotólise ou reação com os íons da mesosfera (IPCC, 2007). A Figura 12 indica os níveis de SF<sub>6</sub> na atmosfera terrestre.



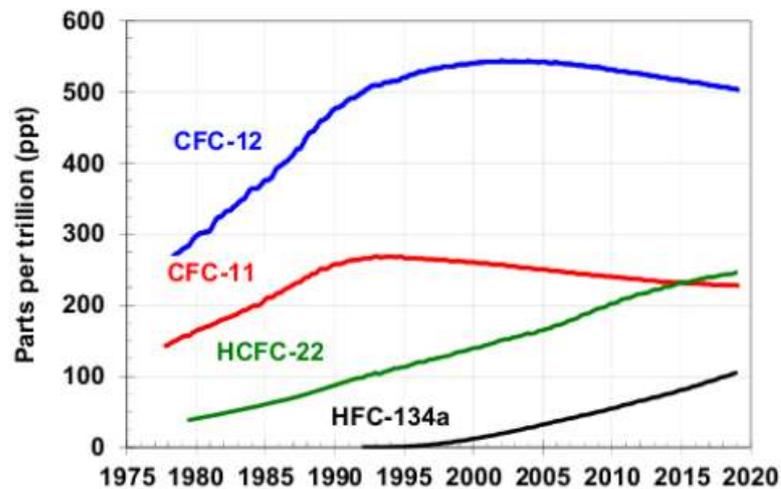
**Figura 12** – Níveis de SF<sub>6</sub> na atmosfera de 1995 até 2013. Fonte: WMO, 2013

**Perfluorcarbonos (PFC):** Essa classe de compostos, constituídos somente de carbono e flúor, possuem uma ampla gama de aplicações, sendo utilizados desde materiais antichamas, como espumas, revestimentos e tecidos, materiais resistentes a manchas, na indústria de semicondutores, na fabricação de matérias antiardentes, principalmente teflon. Todas essas aplicações exemplificadas indicam, de forma correta, uma clara tendência de emissão antropogênica destes compostos. O mecanismo de remoção dessa classe se assemelha com o mecanismo do item anterior devido a suas ligações C-F., ou seja, esta classe de composto também apresenta tempo de vida bem elevados. Seus GWP apresentam grande variação dentro da própria classe já que sua estrutura molecular também pode ser muito diversa, indo desde compostos mais simples como PFC-14 (CF<sub>4</sub>) até estruturas mais pesadas e complexas como PFC-318 (octafluorciclobutano) (IPCC, 2007). A Figura 13 indica, como exemplo, a série histórica dos níveis atmosféricos de PFC-318 a partir de testemunhos de gelo polar.



**Figura 13** – Níveis estimados de  $c\text{-C}_4\text{F}_8$  na atmosfera terrestre a partir de testemunhos de gelo de 1930 até 2019. Fonte: MÜHLE, 2019

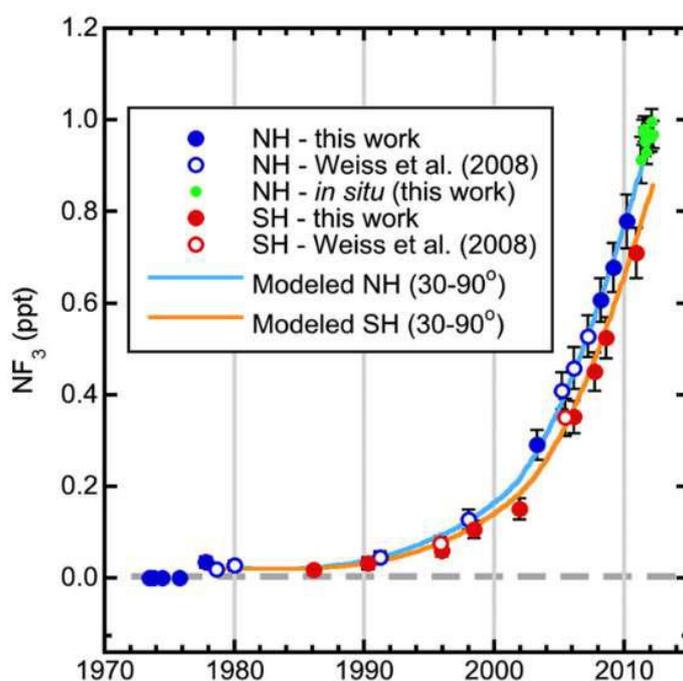
**Hidrofluorcarbonos (HFC):** Este grupo possui características semelhantes ao item anterior pois além de suas estruturas serem muito semelhantes, sua fonte de emissão decorre quase em sua totalidade em atividades antrópicas. Sua utilização é mais comum em sistemas de refrigeração de diversas escalas, desde aplicações industriais à ar condicionado automotivo. Esta classe de compostos abrange basicamente compostos organofluorados que foram desenvolvidos para a substituir os CFC e HCFC devido aos impactos destes grupos na camada de ozônio que serão abordados no tópico seguinte. Os HFC ganharam notoriedade somente recentemente, após implementação de resoluções do protocolo de Montreal, no entanto sua grande estabilidade na atmosfera já indica uma taxa de acúmulo praticamente exponencial. Alguns dos principais compostos deste grupo são R-410A, R-407C e R-134a e foram selecionadas pelo mercado devido a sua facilidade de mudança tecnológica entre sistemas antes dependentes de CFC, maior eficiência de processo ou facilidade de produção, (LESTER, 2015). A Figura 14 indica a evolução recente dos níveis do HFC, R-134a, na atmosfera terrestre juntamente com a evolução dos níveis de CFC e HCFC banidos da década de 90.



**Figura 14** – Evolução dos níveis de alguns exemplos de CFCs, HCFCs e HFCs na atmosfera de 1979 até 2018. Fonte: NOAA GLOBAL AIR SAMPLING NETWORK, 2018

**Clorofluorcarbonos (CFC) e Hidrofluorcarboneto (HCFC):** Ambos os grupos não apresentam taxas de acúmulo atmosférico positivas nas décadas mais recentes devido ao banimento pelo protocolo de Montreal. O que motivou abolir a produção e comercialização destas classes de produtos foram os mecanismos que estes compostos apresentam na atmosfera terrestre. Os compostos CFC foram inicialmente substituídos pelos HCFC, no entanto, após verificação científica observou-se que, mesmo com menor impacto, a substituição por esses compostos não seria a solução para proteger a camada de ozônio, situada na estratosfera. O mecanismo de remoção de ambos desses compostos além de ocorrer em camadas mais elevadas da atmosfera, que aumenta seu tempo de vida; afeta o balanço de ozônio na estratosfera de forma a reduzir essa proteção natural contra as radiações cósmicas de maior energia. A deterioração da camada de ozônio estratosférico foi detectada nos polos da Terra e motivou a criação de um acordo de cooperação internacional referido no início do tópico. Sendo este idealizado na convenção de Viena (1985) e ratificado em Montreal em 1987, (GUIMARÃES, 2016).

**Trifluoreto de nitrogênio (NF<sub>3</sub>):** Este composto nitrogênio-flúor é um gás incolor, inodoro e não inflamável. Sua principal aplicação está no condicionamento microeletrônico da era moderna, sendo indispensável na produção de memória de computador DRAM, a fabricação de monitores de tela plana e a produção em larga escala de células solares de filme fino. Seu GWP coloca-o apenas atrás do SF<sub>6</sub> no grupo de gases de efeito estufa monitorados pelo protocolo de Kyoto. Seu elevado valor de GWP decorre pelo seu tempo de vida muito acentuado. A UNFCCC decidiu incluir esse gás no segundo período de cumprimento do Protocolo de Kyoto, que começa em 2012 devido ao significativo aumento de escala de produção deste composto juntamente com uma melhor percepção técnico científica sobre esse composto na atmosfera. Seu mecanismo de remoção é semelhante ao SF<sub>6</sub> (PRATHER, 2008). A Figura 15 indica a evolução de frações de mole de ar seco atmosférico NF<sub>3</sub> (em ppt) medidas no Hemisfério Norte (NH) e no Hemisfério Sul (SH) arquivam amostras de ar e as abundâncias médias mensais calculadas a partir de medições *in situ*.



**Figura 15** – Evolução de níveis atmosféricos NF<sub>3</sub> medidas no Hemisfério Norte (NH) e no Hemisfério Sul (SH). Fonte: ARNOLD, 2013

### **Outros GEE diretos:**

Torna-se fundamental ressaltar que existem outros GEE considerados diretos que são monitorados e geridos pelo protocolo de Kyoto. Esses gases performam uma atuação no processo de aquecimento do planeta, no entanto obedecem a um ciclo natural próprio, regido pelo ecossistema planetário como é o caso da água.

A massa de água na atmosfera sempre tende ao equilíbrio da pressão de vapor de água de corpos hídricos, como rios, lagos e oceanos. No entanto, o fato de esse equilíbrio de pressão de vapor ser fortemente influenciado pela temperatura, explica novamente o caráter auto catalítico do aquecimento global.

Outro GEE direto que está contido na lista anexa do protocolo é o ozônio troposférico que também possui capacidade de absorver radiação, mas possui um tempo de vida muito reduzido. Apesar de não estar listado no protocolo, seu impacto no efeito estufa é significativo, pois modifica o tempo de meia vida de outros gases de efeito estufa devido a sua ação sobre o equilíbrio do radical OH na troposfera (IPCC, 2001).

### **III.4.3. GEE indiretos**

Além dos já listados GEE diretos, existem outras emissões que contribuem para a intensificação do efeito estufa. Esses compostos não podem ser considerados diretos por não absorverem quantidade relevante de radiação IV, como é o caso de CO e NO<sub>x</sub>, ou por já terem sido contabilizados no balanço de CO<sub>2</sub> global, neste caso os COV. No entanto, sua atuação é significativa para se modelar de forma precisa o aquecimento global de décadas mais recentes.

Seus impactos são advindos principalmente por dois efeitos:

- Prolongamento do tempo de vida de GEE diretos através da alteração de balanço natural de radicais OH;
- Geração de GEE diretos como compostos resultantes da remoção deste composto na atmosfera.

### **III.5. Panorama político-legal da agenda climática global**

Neste tópico, será discutido um panorama geral da agenda climática mundial e posteriormente direcionando um enfoque em alguns aspectos da política brasileira sobre o assunto. Torna-se válido ressaltar que o recorte realizado no presente trabalho não aborda todos os aspectos referentes ao tema, apenas retrata aspectos que foram julgados relevantes para o entendimento da composição.

#### **III.5.1. IPCC**

Ao se abordar o tema mudanças climáticas, fica evidente que este é um tema global que necessita ser avaliado pelo maior número de centros de pesquisa, ONGs, governos e instituições, o que poderia gerar um problema ao se tratar diversos pontos de geração de dados e informações no mundo. Para se mitigar essa problemática, foi instaurado em 1988, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, mais comumente conhecido pelo acrônimo IPCC, do inglês *Intergovernmental Panel on Climate Change*. Esta organização é classificada como uma organização governamental internacional, instituída sobre o escopo da Organização das Nações Unidas (ONU). O IPCC foi criado pela Organização Meteorológica Mundial (WMO) em conjunto com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA). Esta instituição tem como principal objetivo disseminar conhecimento técnico-científico sobre mudanças climáticas associadas principalmente às atividades antrópicas de forma a auxiliar líderes de países e organizações a se informar a cerca de dados e tendências identificadas pela comunidade científica. São sobre essas informações que serão traçadas as diretrizes, metas e regulamentações envolvendo o tema mudanças climáticas.

A instituição repassa essas informações na forma de relatórios que consistem em compilações de dados já revisados por uma base independente de cientistas num formato mais palatável para um público menos especializado. O IPCC tem como premissa principal a elaboração de “*Assessment Reports*”, que consiste num conjunto de documentos expressando informações mais atualizadas sobre mudanças climáticas até o momento.

O primeiro “*Assessment Report*”(FAR), elaborado em 1990, em impacto direto na criação de outro componente essencial para o combate ao aquecimento global, pois foi através das informações contidas nesse relatório, que seriam atualizadas dois anos depois num relatório suplementar, que se baseou o tratado internacional conhecido como Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima, no inglês UNFCCC. O tratado internacional foi resultante da Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD), informalmente conhecida como a Cúpula da Terra, realizada no Rio de Janeiro em 1992 que será desenvolvida num tópico mais à frente.

O segundo “*Assessment Report*” (SAR), elaborado em 1996, teve como principal conclusão a confirmação do dióxido de carbono como principal contribuição antropogênica de mudança climática. O Relatório projeta ainda a mudança média da temperatura do planeta e o aumento do nível do mar gerado pelo potencial das atividades humanas de alterar o clima da Terra em uma extensão sem precedentes na história.

Os principais fatores para tal projeção foram as longas escalas de tempo que governam tanto o acúmulo de gases de efeito estufa na atmosfera quanto a resposta do sistema climático a essas acumulações. O documento ainda alerta que muitos aspectos importantes das mudanças climáticas são efetivamente irreversíveis.” (IPCC, 1996).

O terceiro “*Assessment Report*” (TAR), elaborado em 2001, apresenta como grande fato diferenciador o início da elaboração de cenários a partir de projetos de algumas condições selecionadas por grupos de estudo. No total, foram publicadas 40 projeções de temperatura média global denominadas “Relatório Especial sobre Cenários de Emissões”, no inglês SRES. Os cenários SRES projetam uma ampla gama de possíveis mudanças no futuro desenvolvimento social e econômico, e os impactos projetados das mudanças climáticas variam de acordo com o cenário considerado. O IPCC não atribuiu probabilidades aos 40 cenários do SRES. Outra característica importante deste relatório foi a obtenção de um consenso científico de que as atividades antrópicas são efetivamente as causadoras pelo aquecimento global observado na mudança climática recente (IPCC, 2001).

O quarto “*Assessment Report*” (AR4), publicado em 2007, também teve em seu compilado a apresentação de SRES. Assim como no relatório anterior, essas projeções foram gerenciadas de forma a integrar em famílias de projeções. No entanto, no documento de 2007, as famílias foram reduzidas para somente seis grupos, (B1, A1T, B2, A1B, A2, A1FI). As famílias de projeções se diferenciam entre estimativa de temperatura média global e aumento dos níveis de oceanos. As projeções dos grupos A1 e A2 tendem a apresentar uma ótica econômica mais preponderante, enquanto as projeções dos grupos B1 e B2 apresentam uma perspectiva ambientalista mais contundente. A diferenciação entre as numerações dos cenários está relacionada perspectiva de dispersão da atmosfera sendo os cenários com números “1” para uma dispersão homogênea no globo, enquanto os cenários “2” possuem uma abordagem de mundo heterogêneo (IPCC, 2007).

Outra informação que indica o grau de importância que os relatórios avaliação possuem na política mundial seria a postergação da COP-13, que será explorado mais afundo no tópico seguinte. A reunião em Bali teve sua data alterada para dezembro de 2007 para que AR4 fosse publicado antes do evento atendendo pedidos de alguns líderes políticos.

O quinto “Assessment Report” (AR5), compilado em 2014, é o relatório de avaliação mais recente publicado da série. O documento possui não só a maior abrangência da série como também um nível de distinção entre os fatores que contribuem para o aquecimento global. Uma notória constatação do relatório foi que a contribuição do crescimento populacional da Terra é praticamente a mesma nas últimas quatro décadas, enquanto a contribuição referente ao crescimento da atividade econômica mundial se multiplicou consideravelmente (IPCC, 2014). Assim como o relatório anterior, a publicação final deste documento, “*Synthesis Report*”, precedeu em cerca de um mês a realização da COP do 2014. No entanto, seus impactos foram mais contundentes na COP do ano seguinte, realizada em Paris, onde foram elaborados uma série de acordos internacionais atrelados a um tratado conhecido popularmente como acordos de Paris, busca ter o impacto semelhante ao Protocolo de Kyoto exposto mais adiante.

O próximo “*Assessment Report*”, AR6, está previsto para ser publicado em 2022. No entanto, o IPCC divulga relatórios especiais fora dos ciclos de avaliação para tratar de temas mais específicos. Os últimos exemplos referentes a esse tipo de relatório seriam “*Special Report on Climate Change and Land*”, referente as consequências da mudança de uso do solo pelo aquecimento global, “*Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*” referente aos impactos sofridos por corpos hídricos e geleiras pela mudança climática e “*Special Report on Global Warming of 1.5 °C*” (SR1.5) que aborda a possibilidade de controlar o aumento de temperatura global da terra através de mudanças estruturais profundas. Todos esses relatórios fazem parte do ciclo de análise do AR6 e serão incorporados ao relatório de avaliação final em 2022.

### **III.5.2. UNFCCC**

Referenciada anteriormente, a convenção-quadro, aberto para assinatura em 1992, é um dos principais instrumentos para combate as mudanças climáticas globais pois apresenta uma extensa lista de países signatários, sendo mais de 197. Inicialmente, os países que participavam da convecção possuíam delimitações e limites não-vinculatórios de emissão, ou seja, sem penalizações para emissões excessivas de GEE. Essa característica do texto inicial tinha intuito de propiciar a assinatura do maior número de países já que a primeira intenção do tratado seria o desenvolvimento do maior número de inventários nacionais. A partir das informações levantadas, seriam desenvolvidas políticas de gestão e gerenciamento de GEE. O tratado passou a entrar em vigor em março de 1994 (UNFCCC, 2019).

O principal mecanismo de atuação desta convecção é a organização de reuniões anuais com líderes mundiais de países signatários do tratado, chamadas de Conferência das Partes (COP). A partir destes eventos são propostos e debatidos acordos mais incisivos para o gerenciamento de GEE na atmosfera, chamados protocolos. No entanto, os protocolos não foram elaborados logo após o início das conferências, sendo necessárias diversos encontros entre as nações para que estes fossem aprovados para uma ratificação em massa. Desta forma, torna-se válido apresentar um panorama das COP.

### **III.5.3. Encontros internacionais sobre mudanças climáticas**

Ao se tratar de encontro internacionais voltados a agenda climática, fica evidente que apesar da importância da estrutura fornecida nas COP, o tema já era abordado anteriormente, desta forma, seguem abaixo alguns eventos marcantes da agenda climática global:

1972 – Conferência de Estocolmo (Suécia): 1ª convenção mundial sobre o meio ambiente que cria o Programa de Meio Ambiente das Nações Unidas (em inglês, UNEP).

1979 – A Primeira Conferência Mundial sobre o Clima, copatrocinada pela UNEP, Organização Meteorológica Mundial (em inglês, WMO) e Conselho Internacional de Sindicatos Científicos (em inglês, ICSU) que resultou na criação do programa de pesquisa dedicado a estudo climatológico de forma abrangente. Esse programa, em inglês WCRP, é patrocinado por essas três mesmas instituições.

1988 – A WMO e UNEP criam o IPCC como principal assimilador de informações para a aquecimento global em específico.

1990 – Assembleia Geral da ONU inicia as negociações para a adoção da Convenção sobre Mudança do Clima através de informações geradas pelo FAR.

1992 – A Cúpula da Terra (ECO-92), no Rio de Janeiro, cria a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC).

1994 – A UNFCCC é entra em vigor após a confirmação de ratificação com descrição de estratégias para mitigação de aquecimento global e dissolução do Comitê de Negociação Intergovernamental (INC) instituído para criar a Convenção-Quadro, dando vez as COP.

1995 – COP-1, em Berlim, Alemanha – Com 117 delegados de estados soberanos, a convenção teve como pronto principal consenso de todos os países em se tomar ações mais enérgicas quanto à mitigação do efeito estufa.

1997 – COP-3, em Kyoto, Japão – Com a participação de 159 representantes, a conferência tem importância primordial ao estabelecer o Protocolo de Kyoto que estabelece metas quantificadas e compulsórias da redução de emissões de GEE para os principais emissores, listados no Anexo 1 da UNFCCC. O Protocolo ainda institui mecanismos que serão explorados mais à frente.

1998 – COP-4, em Buenos Aires, Argentina – Durante esta conferência, foram intensificadas as negociações para implementação do Protocolo de Quito, dando início a abertura para assinatura ao protocolo. A conferência teve como fato marcante a criação de um

pacote de metas denominado Plano de Ação de Buenos Aires. O programa delimitou uma data limite (COP-6) para questionamentos as principais regras e questões técnicas e políticas, bem como os impasses respectivos à implantação do Protocolo de Kyoto.

2000 – COP-6, em Haia, Holanda – O evento teve sua realização suspensa devido à falta de acordo entre diversas partes, principalmente entre a UE e os EUA que culminou a saída deste segundo a Convenção-Quadro.

2001 – COP-6,5, em Bonn, Alemanha – Em meados de 2001, foi realizado a continuação da COP-6, que pode ter potencialmente “salvo” o protocolo que se estava sendo negociado através do “Acordo de Bonn”. Este evento não contou com a participação americana.

2001 – COP-7, em Marrakesh, Marrocos – Os encontros foram retomados a seu cronograma padrão sem os EUA, que se retiraram de forma oficial do tratado. A convenção foi marcada pelo embate de alguns países desenvolvidos, denominados popularmente de “Grupo Umbrella”, com países em desenvolvimento representados principalmente pela coalizão “G77”. O principal ponto de atrito seriam os parâmetros operacionais do “Acordo de Bonn” e por consequência do próprio Protocolo de Quito. Após concessões de ambos os lados, o consenso estabelecido foi denominado “Acordo de Marrakesh”.

2002 – Rio +10, em Joanesburgo, África do Sul, – Realização da Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável. Esse evento, realizado em ocasião ao 20º e 10º aniversários das “Conferência de Estocolmo” e “ECO-92” respectivamente, trouxe a discussão diversos temas desde desenvolvimento sustentáveis a fontes de energias sustentáveis, que estão diretamente relacionados a emissões antropogênicas de GEE.

2002 – COP-8, em Nova Délhi, Índia, – A conferência foi marcada pelo avanço de negociações diversos projetos no escopo do MDL, evidenciando a formação de mercados para o comércio de créditos de carbono e iniciativas como o PCF – *Prototype Carbon Fund*, CO2e.com, CCX – *Chicago Climate Exchange*, etc. Destaca-se também esforço de ONG e

setores privados para a ratificação do Protocolo de Kyoto que passaram a possuir maior ingerência sobre o tema.

2004 – COP-10, em Buenos Aires, Argentina – Evento foi marcado pela definição de entrada em vigor do Protocolo de Kyoto, em fevereiro de 2005, que foi impulsionado em parte adesão russa ao Protocolo. No âmbito nacional, a conferência se tornou histórica pela decisão de divulgar sua Primeira Comunicação Nacional à Convenção do Clima, com o Inventário Nacional de Emissões de GEE.

2005 – COP-11/MOP-1, em Montreal, Canadá – 1ª Conferência com o Protocolo de Kyoto em vigor foi marcado por discussões em torno das perspectivas para o segundo período de compromisso e pela realização 1ª MOP (do inglês *Meeting of the Parties*), sendo este um encontro de países signatários do Protocolo de Kyoto.

2007 – COP-13/MOP-3, em Bali, Indonésia – A conferência teve forte influência do AR4 e seus dados técnicos foram essenciais para a criação e aprovação do “Plano de Ação de Bali”. O plano de negociações, também conhecido como “mapa do caminho”, não fixou metas de redução de GEE, mas estabeleceu o cenário para as negociações a serem levadas à COP 15 em Copenhague, onde existia esperança de um novo acordo. O plano de também discorre sobre a elaboração do novo tratado subsequente ao 1º período de compromisso do Protocolo de Kyoto.

2008 – COP-14/MOP-4, em Poznan, Polônia – O evento foi centrado nas discussões de um novo acordo climático posterior ao Protocolo de Kyoto, ou a extensão do mesmo. Ainda assim, o encontro não teve avanços concretos efetivos, principalmente devido a expectativa de mudança da política ambiental americana com a eleição de Barack Obama na presidência da potência mundial.

2009 – COP-15/MOP-5, em Copenhague, Dinamarca – A conferência se iniciou com grandes expectativas com a presença recorde de 115 líderes mundiais e mais de 40 mil representantes de governos, ONGs, imprensa e setor privado além de marcar o ápice de um

processo de dois anos de negociações sobre um novo acordo climático, iniciado no Plano de Ação de Bali. O encontro tinha como principal objetivo estabelecer as metas de redução de gases de efeito estufa para o período que se inicia em 2013. No entanto, devido a diversas discussões entre países e coligações, só foi gerado apenas um documento não vinculante denominado “Acordo de Copenhague” que não teve ratificação em massa dos participantes.

2010 – COP-16/MOP-6, em Cancun, México – A conferência foi marcada por um esfriamento das expectativas que ficou evidenciada pela ausência de acordos não-vinculantes gerados pelo evento. Ainda assim houve avanços como na estruturação do mecanismo REDD+ e nas discussões de metas do limite de elevação da temperatura Global. Em contrapartida ao cenário internacional, o Brasil apresentou grandes avanços como assinatura do decreto regulamentador da Política Nacional sobre Mudança do Clima e a apresentação do inventário de emissões do país entre 1994 e 2000.

2013 – COP-19/MOP-9, em Varsóvia, Polônia – Dentre os acordos firmados no evento destacam-se o financiamento climático e pagamento por emissão reduzida a partir de esforço de combate ao desmatamento e à degradação florestal (REDD+) e o regime de compensação por perdas e danos. Este evento ficou marcado pela ação de representantes de ONGs de se retirarem do último dia de conferência em protesto a lentidão das negociações.

2014 – COP-20/MOP-10, em Lima, Peru – Evento marcado pelo seu documento final, denominado vulgarmente de “Rascunho Zero”. Sendo este um acordo para a redução de emissões de gases de efeito estufa, que é a base para um novo pacto global de clima que poderá vir a ser adotado ao final do ano subsequente ano. Este acordo tem a intenção de substituir o Protocolo de Kyoto.

2015 – COP-21/MOP-11, em Paris, França – Com a ratificação recorde de 195 países, o documento finalizado na COP anterior evoluiu para o denominado “Acordo de Paris”. Este documento prevê limitar o aumento médio da temperatura global da Terra a 1,5 °C e US\$ 100

bilhões por ano para nações mais pobres destinarem a projetos de adaptação dos efeitos da mudança climática. Também se iniciam processo de negociação de Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC, na sigla em inglês).

2016 – COP-22/MOP-12/CMA 1, em Marrakesh, Marrocos – A convenção foi marcada como o primeiro encontro de parte do Acordos de Paris, referido vulgarmente como CMA. O encontro também foi marcado pelo seu foco mais abrangente em: gestão da água desde captação até descarte e desenvolvimento de cadeias energéticas menos carbono-dependentes. Outro ponto de destaque foi o maior enfoque a populações mais suscetíveis a mudanças climáticas e ao continente africano devido em parte pela localização geográfica do evento.

2018 – COP-24/MOP-14/CMA 1-3, em Katowice, Polônia – A conferência foi marcada pela publicação do SR1.5 que ocorreu meses antes da conferência que foi encomendada exatamente pela própria COP em 2015 e revelou que as mudanças climáticas teriam um impacto bem mais breve que projetado anteriormente.

2019 – COP-25/MOP-15/CMA 2, em Santiago, Chile – A reunião ocorreu em dezembro de 2019, mas apresentou o tom polêmico meses antes, principalmente no âmbito nacional, isto porque o Brasil, sede original do evento, anunciou que não sediaria mais a conferência. O Chile se voluntariou para sediar a convenção, mas no mês anterior a realização do evento, o país desistiu de sediar o evento devido à instabilidade política nacional, sendo transferida mais uma vez, agora para Madrid, Espanha.

#### **III.5.4. Protocolo de Kyoto**

Referenciado diversas vezes no tópico anterior, o tratado internacional conhecido como Protocolo de Kyoto tinha em seu texto original, redigido em 1997, foi um marco histórico na agenda climática mundial. Seu pioneirismo de iniciativa foi evidente em diversas frentes:

- Segmentação de Países Poluidores por nível de desenvolvimento, sendo os maiores países poluidores incluídos no Anexo I do documento;
- Distinção de metas entre segmentos distintos, quanto mais desenvolvido, mais ambiciosa a meta de redução;
- Metas claras de redução de emissões de forma vinculatória para os países do Anexo I ao longo dos períodos de compromisso, sendo o 1º período de 2008 até 2012.

O Protocolo, apesar de ser redigido em 1997, só entrou em vigor em 2005, pois tinha como premissa atingir pelo menos 55% dos países signatários do UNFCCC, assim como pelo menos 55% das emissões de GEE do planeta.

No entanto, o impacto desta diretriz não foi maior devido a recusa de ratificação de alguns países desenvolvidos que não aceitaram os limites impostos, conhecidos como QELROS— *Quantitative Emissions Limitations and Reduction Objectives* nos países signatários elencados no anexo B, enquanto países em desenvolvimento, não listados em anexo, tinham suas metas de redução de forma voluntária e ainda restituída através de mecanismos de flexibilização.

Esses tais mecanismos foram estruturados pelo próprio Protocolo de Kyoto e traziam a possibilidade de flexibilização das metas estipuladas para países do Anexo I frente as suas respectivas Linha de Base de Emissões. Desta forma, foram definidos três mecanismos de distintos que atuam em diferentes iniciativas de redução.

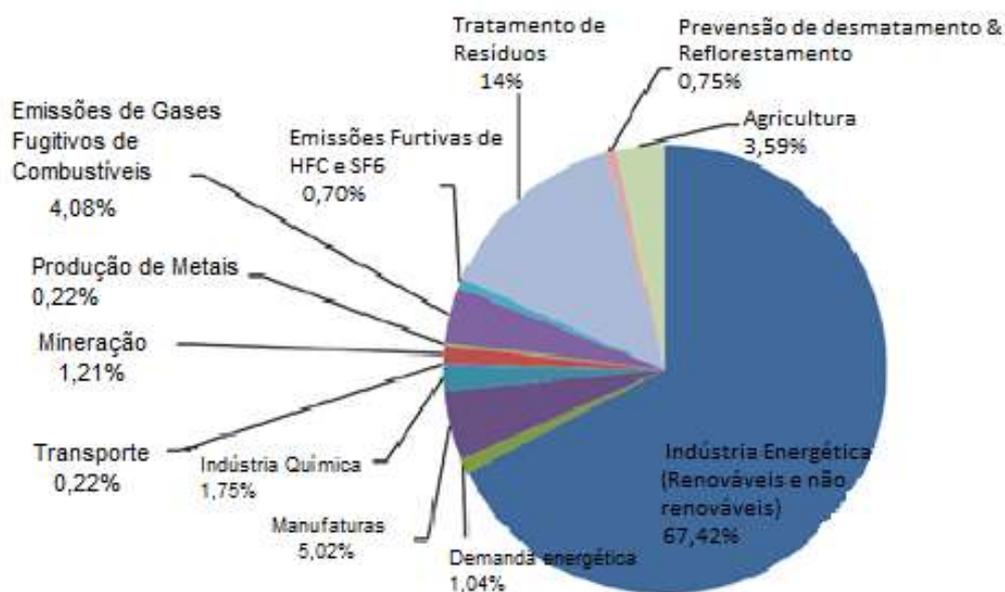
#### **III.5.4.1. Mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL)**

A principal atuação deste mecanismo é prestar assistência às Partes Não Anexo I da Convenção-Quadro para que viabilizem o desenvolvimento sustentável através da implementação de projetos que contribuam para o objetivo final de promover uma economia

menos emissora de GEE. Países classificados no Anexo I, que nesse mecanismo se apresentam como financiadores e recebem como contrapartida Créditos de Carbono (ou Redução Certificada de Emissões– RCE) para que cumpram seus compromissos quantificados de limitação e redução de emissões de GEE no protocolo, (CDM, 2005).

Os projetos devem fornecer reduções de emissão adicionais ao que de outra forma teria ocorrido caso a implementação fosse realizada através tecnologias poluidoras mais obsoletas. Os projetos devem se qualificar através de um processo rigoroso e público de registro e emissão para a geração dos créditos de carbono adequados, pois o mecanismo é supervisionado pelo Conselho Executivo próprio ao MDL, respondendo em última instância aos países que ratificaram o Protocolo de Kyoto.

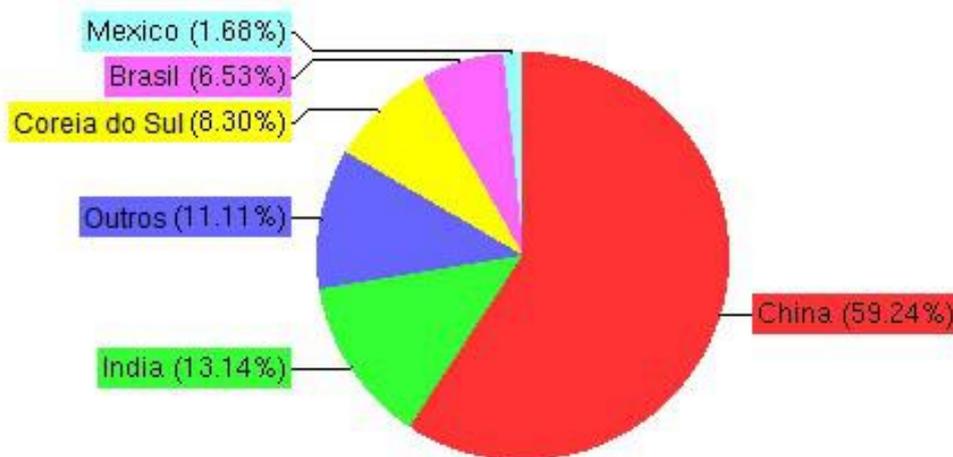
O protocolo estabeleceu que projetos de MDL devem atender a pelo menos um dos setores predefinidos, destacam-se os setores de Energia, Tratamento de resíduos, Industriais de Produção, Emissões de Gases Fugitivos de Combustíveis que correspondem a mais de 90% dos projetos aprovados pelo comitê executivo. A Figura 16 apresenta a distribuição de projetos de MDL por setor em todo o mundo.



**Figura 16** – Distribuição de projetos aprovados de MDL no mundo. Fonte: KREIBICH, 2019.

Em operação desde o início de 2006, o mecanismo já registrou mais de 1.650 projetos e estima ter produzido RCE com mais de 2,9 bilhões de tCO<sub>2</sub>e no primeiro período de compromisso do Protocolo de Kyoto, 2008–2012. Sua implementação foi fundamental para o desenvolvimento de algumas regiões de forma mais sustentável, como o aumento de 100% na geração de energia elétrica no continente africano através de projetos, (CDM, 2012).

O Brasil tem uma forte interação com esse mecanismo, sendo um dos principais países com emissões de RCE, no entanto, a hegemonia é certamente asiática, com grandes projetos nas áreas rurais da China e Índia. (CDM, 2015). A figura 17 indica as emissões de RCE por Países até o ano de 2015.



**Figura 17** – Distribuição de RCE emitidos por países até 2015. Fonte: CDM, 2015.

No âmbito nacional, se destacam os projetos de criação de aterros sanitários mais sustentáveis, sendo capazes de beneficiar o biogás advindo da decomposição de material orgânico destinado ao local. A instalações mais relevantes, implementadas por esse modelo foi a instalação do beneficiamento no aterro sanitário de Gramacho, em Duque de Caxias no ano de 2010 e Aterro sanitário Bandeirantes em São Paulo, em 2015. O somatório desses dois projetos tem a estimativa de se gerar mais de 9 milhões de CER. (CDM, 2015).

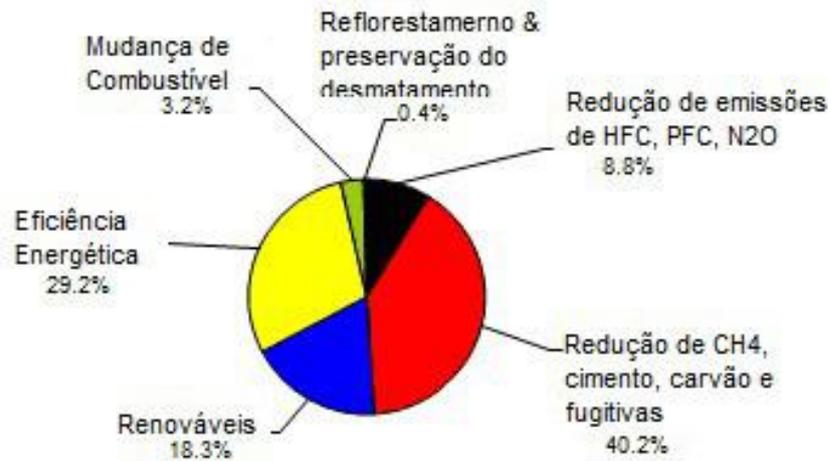
Países em desenvolvimento podem implementar projetos por conta própria que contribuam para a sustentabilidade e apresentem uma redução ou captura de emissões de GEE, obtendo como resultado RCE que podem ser negociados no mercado global.

#### **III.5.4.2. Implementação conjunta (JI)**

Semelhante ao mecanismo de flexibilização anterior, o principal fator que os difere está no fato dos projetos serem desenvolvidos entre países do Anexo I, ou seja, entre países mais industrializados, ou seja poluidores. Devido a esta diferença entre os mecanismos, algumas mudanças na estrutura de flexibilização foram adotadas, como a Unidade de Redução Emissões (URE). Essas unidades são emitidas pelo governo do país que recebeu o investimento para a realização dos projetos e são remetidos para o país financiador, sendo este processo arbitrado pelo JISC, do inglês *Joint Implementation Supervisory Committee*, ligado a UNFCCC.

Segundo JI, outra diferença marcante é a maior flexibilidade de cálculo da URE que é gerada a partir de uma linha hipotética de emissão estimada caso o projeto não seja implementado. O projeto de JI 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, tal processo é verificado por uma AIE – do inglês *Accredited Independent Entity*.

Assim como o MDL, o JI setoriza seus projetos nos mesmos setores específicos, no entanto, a desenvolvimento de projetos JI apresenta uma distribuição bem diferente dos projetos de MDL. A imagem 18 indica a distribuição de URE de JI por tipo de projeto.



**Figura 18** - Distribuição de URE emitidas até 2019 por tipo de projeto.

Fonte: CDM Pipeline (2019).

### III.5.4.3. Mercado de Carbono

O mecanismo, mais formalmente conhecido com Comércio Internacional de Emissões, é um sistema em que países que excederam seus compromissos de redução de emissões sob o Protocolo de Kyoto podem vender UQA (Unidades de Quantidade Atribuída) sobressalentes, mais conhecido como “Cap-and-trade”. Outras partes podem atingir suas próprias reduções de emissões adquirindo essas UQAs caso tenham excedido suas “contas de poluição”, proveniente de uma tradução livre de *allowances* (UNFCCC,2005).

Desta forma, foi criada uma commodity atrelada diretamente as metas de redução de emissão de GEE, que pode ser negociado por qualquer entidade governamental (nações, estados, etc) ou empresas que possuam limites de emissão de GEE. Esse mecanismo resultou em várias estruturas de comércio nacionais e regionais, como por exemplo o Esquema de Comércio de Emissões da União Europeia (EU ETS), Iniciativa climática ocidental (WCI), Membros da Iniciativa Regional de Gases de Efeito Estufa (RGGI) e Subsídios de carbono da Califórnia.

Essas estruturas estão ligadas a uma instituição maior denominada ICAP, do inglês *International Carbon Action Partnership*, que tem a função de conectar as diversas iniciativas implementadas pelo planeta. Atualmente, 20 mercados de carbono estão ativos no mundo todo, operando em economias que representam quase 40% do PIB global (ICAP,2019a).

O mercado de carbono utiliza além das UQAs como commodities como também as unidades geradas pelos outros mecanismos de flexibilização mencionados anteriormente: URE (dos projetos de Implementação Conjunta) e RCE (dos projetos de MDL). Existe ainda mais uma moeda de troca equivalente ao UQA, denominada URM (unidades de remoção, provenientes de atividades de LULUCF, em tradução livre ‘Uso do Solo, Mudanças no Uso do Solo e Florestas’). Todas essas signas são denominadas *offsets*, ou seja, abatimentos de carbono.

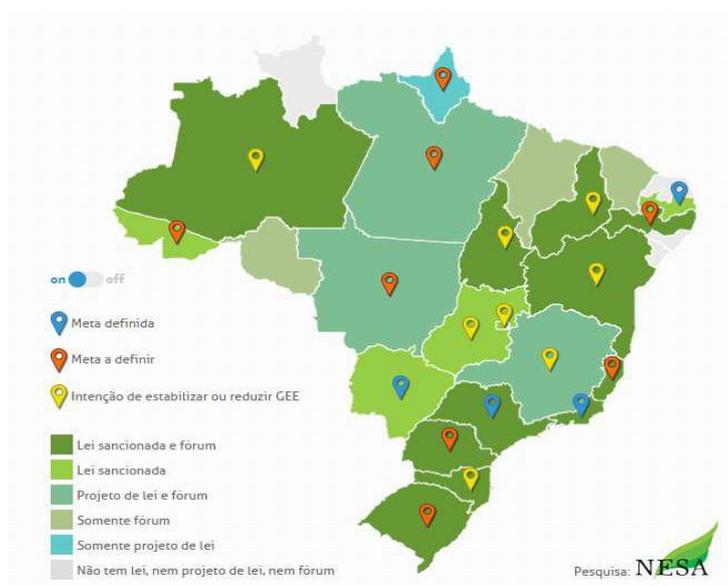
No âmbito nacional, ainda não foi apresentada nenhuma estrutura de negociação própria de créditos de carbono, no entanto, desde 2013 que um grupo de empresas de grande porte participa de uma simulação voluntária de ETS para obter experiência e desenvolver propostas para um sistema de comércio de emissões no Brasil que possa reduzir as emissões nacionais de GEE pelo menor custo possível. Em 2018, 29 empresas de diversos setores da economia brasileira participaram deste exercício. A simulação é coordenada pelo Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas (GVces) e negociações são realizadas na Bolsa de Valores do Rio de Janeiro (ICAP, 2019b).

### **III.5.5. Diretrizes nacionais legais referentes a mudanças climáticas**

Historicamente, o Brasil sempre possuiu um papel fundamental na agenda climática mundial, sendo evidenciado pela organização de eventos voltados ao tema, como a cúpula da Terra, a ratificação de acordos intergovernamentais, como Protocolo de Kyoto e os Acordos de Paris e a participação ativa em negociações de políticas internacionais, como a estruturação de regras de REDD+ principalmente voltada a prevenção do desmatamento.

Todos esses movimentos, no entanto, têm implicações nas políticas públicas nacionais, já que, como exemplo, a ratificação de acordos estabelece metas, ainda que voluntárias em Kyoto, de redução de emissões de GEE. Outra implicação direta de uma ratificação de um tratado internacional, neste caso os Acordos de Paris, seria a elaboração regular de inventários nacionais de emissões de GEE, comumente referenciados como NIR, do inglês *national inventory report*.

Para se estruturar suas intenções firmadas internacionalmente, o estado brasileiro gerou uma série de legislações atreladas ao tema. A legislação mais abrangente decorre da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC - Lei nº 12.187 de 2009), que oficializa compromisso voluntário do Brasil junto a UNFCCC de redução de emissões de gases de efeito estufa entre 36,1% e 38,9% das emissões projetadas até 2020 (BRASIL, 2019). Através das diretrizes do PNMC, o governo federal estabelece os Planos setoriais de mitigação e adaptação à mudança do clima para a consolidação de uma economia de baixo consumo de carbono. Esses planos setoriais forma desdobrados em várias Políticas estaduais sobre mudanças climáticas (PEMC) que estão representados esquematicamente da figura 19 juntamente com seus respectivos graus de maturação legislativa.



**Figura 19** – Esquema de distribuição de PEMC. Fonte: FÓRUM CLIMA, 2019.

Ao se analisar o esquema, pode-se observar que nem todos os 27 estados da federação possuem leis de PEMC e menos ainda definiram metas de redução. As regiões que apresentam a menor estrutura ambiental legal são Nordeste e Norte. O panorama na região Sudeste se torna bem mais evoluído, com todos os estados com políticas estaduais promulgadas e com metas de redução de emissão definidas ou em processo de definição.

No estado do Rio de Janeiro, a Lei 5.690/2010, referente ao PEMC, estabelece como um dos instrumentos da política estadual a elaboração de estimativas de emissões anuais de emissões GEE e do Inventário Estadual de Emissões de GEE elaborados a cada cinco anos, sem ainda definir uma metodologia em específica.

No Decreto nº 43.216/2011, ao estabelecer normas de execução dessa mesma PEMC, institui também metas de mitigação para o estado, definido metas gerais, baseadas redução da intensidade de emissões (tCO<sub>2</sub>e/PIB) até 2030 em relação ao ano-base de 2005, além de metas setoriais. No documento também se define que os licenciamentos ambientais para funcionamento de empresas devem decorrer de padrões de emissão restritivos e condizentes com o cumprimento das metas de mitigação, dando assim mais importância ao inventário de emissões de GEE, apesar de ainda não especificar uma metodologia, deixando isso a cargo do órgão ambiental estadual INEA – Instituto Estadual do Ambiente.

Na Resoluções INEA Nº 64/2012, define a apresentação de inventário de emissões de GEE para fins de Licenciamento Ambiental no Estado do Rio de Janeiro. A resolução elenca os tipos de empreendimentos que terão obrigatoriedade, o cronograma de entrega e os escopos mandatórios na elaboração do inventário, que serão mais bem abordados no tópico seguinte. No entanto, o item mais importante se encontra na metodologia de cálculo definida pela resolução, estabelecendo como o “Programa Brasileiro GHG Protocol” o método padrão.

### **III.5.6. Inventário de GEE**

Antes de se aprofundar na metodologia indicada no tópico anterior, torna-se necessária, a apresentação das bases teóricas que serviram como fundamentos para metodologia do Programa Brasileiro GHG Protocol.

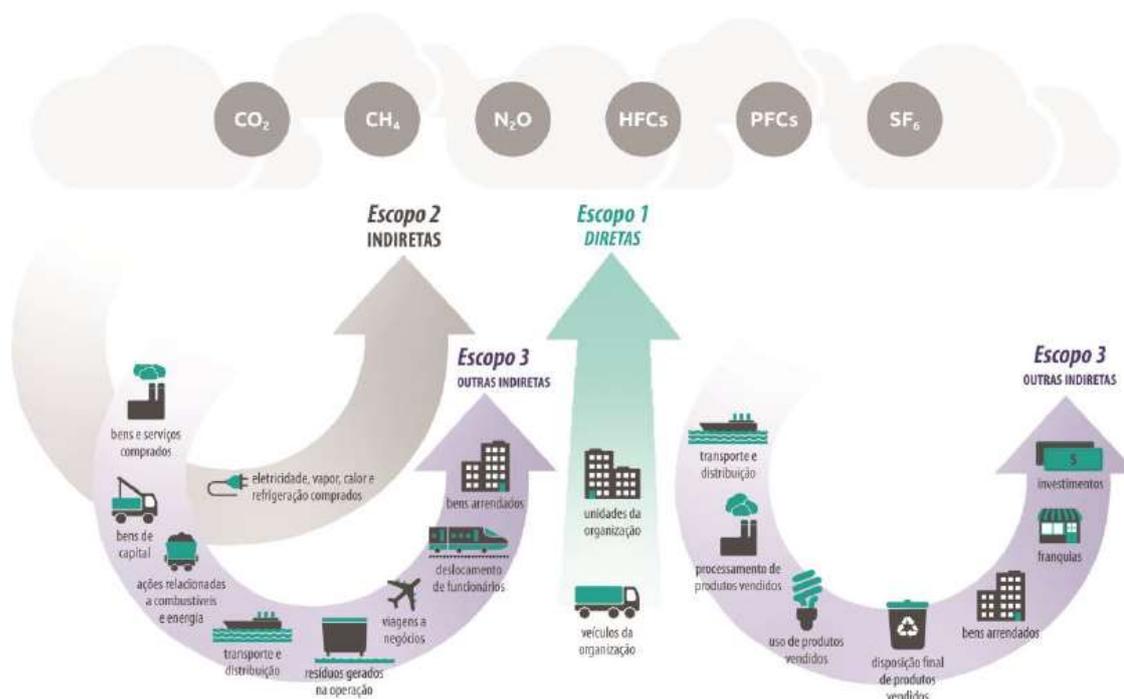
O inventário de emissões de GEE é, segundo a Resolução do INEA de nº 64/2012, “Documento de coleta e registro de dados com o objetivo de avaliar as emissões de GEE”. No entanto, essa definição torna-se muito superficial frente ao potencial que esse instrumento tem na gestão de emissões de uma organização, seja ela uma empresa, grupo de empresas, setor econômico, cidade, estado e até um país, como é o caso de NIR, citado anteriormente.

#### **III.5.6.1. GHG Protocol**

A principal metodologia utilizada como base para o Programa Brasileiro GHG Protocol é 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 simplesmente “GHG Protocol”. Essa ferramenta foi desenvolvida nos Estados Unidos, em 1998, pelo *World Resources Institute* (WRI) em parceria com o *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) e tinha como pretensão principal a padronização de metodologias para a quantificação de forma modular e específica das atividades de uma corporação (GHG PROTOCOL, 2019a)

Essa abordagem setorializada pelas atividades de uma companhia, também conhecida como abordagem “*Bottom-up*”, tem uma série de vantagens, frente a abordagem “*top-down*”, pois em termos de precisão, sensibilidade e peso de contribuição de cada cadeia de valor em que uma entidade está inserida, a contabilização ocorre de maneira desagregada entre diferentes fontes de emissão (D’AVIGNON, 2007).

A metodologia GHG Protocol estabeleceu como forma de segmentação das diferentes fontes de emissão possíveis em empresas o conceito de escopos de emissão. Os escopos são baseados tipo de controle que a empresa possui sobre a atividade em que se está sendo quantificada. Desta forma, foram estabelecidos 3 escopos de emissão que estão esquematizados na Figura 20, juntamente com algumas das categorias enquadradas em cada escopo.



**Figura 20** - Escopos das emissões de GEE em uma organização. Fonte: HIROKAWA (2017).

- Escopo 1 – Emissões diretas:** Sendo fontes de emissão que possuam controle direto da instituição inventariada que ocorrem dentro dos limites operacionais definidos. Este escopo enquadra todas as combustões controladas ou pertencentes ao órgão, como emissões resultantes da queima de combustíveis em fontes estacionárias (fornos, caldeiras, etc.) e móveis (frota própria ou arrendada), emissões fugitivas, tratamento de efluentes e emissões direta de GEE do processo de fabricação da empresa.

- **Escopo 2 – Emissões indiretas:** Emissões indiretas provenientes da aquisição e uso de energia gerada por terceiros pela instituição, enquadrando neste escopo tanto a aquisição de energia elétrica quanto a energia térmica na forma de vapor, calor, etc. Neste escopo se enquadra consumo de energia elétrica gerada pelas concessionárias fornecedoras do Sistema Interligado Nacional (SIN) e aquisição de vapor de alta pressão gerado fora dos limites operacionais.
  
- **Escopo 3 – Outras emissões indiretas de GEE:** Emissões de escopo 3 estão relacionadas com todas as emissões ocorridas na cadeia produtiva que não estão sobre controle direto da instituição. No presente escopo, as emissões foram subdivididas em 2 grandes categorias: *upstream* e *downstream*:
  - *Upstream:* Referindo-se a emissões geradas pela cadeia produtiva para suprir os insumos necessários para o funcionamento da instituição, como as emissões relacionadas a produção e transporte de matérias-primas, deslocamento de funcionários, viagens a negócios, tratamento de efluentes e resíduos processados em estações de tratamento de terceiros.
  - *Downstream:* Compreende emissões geradas pelos clientes da instituição após a aquisição de produtos e serviços fornecidos. Neste âmbito, se enquadram, por exemplo, o transporte e o uso de produtos vendidos além da disposição final dos mesmos.

Após esta iniciativa inicial, que permanece em constante atualização, outras diversas metodologias foram desenvolvidas para elaboração de inventários de emissões de GHG. Em 2006, outras duas metodologias fundamentais foram publicadas: ***2006 IPCC Guidelines for National GHG Inventories*** e **ISO 14064**.

### III.5.6.2. IPCC Guidelines

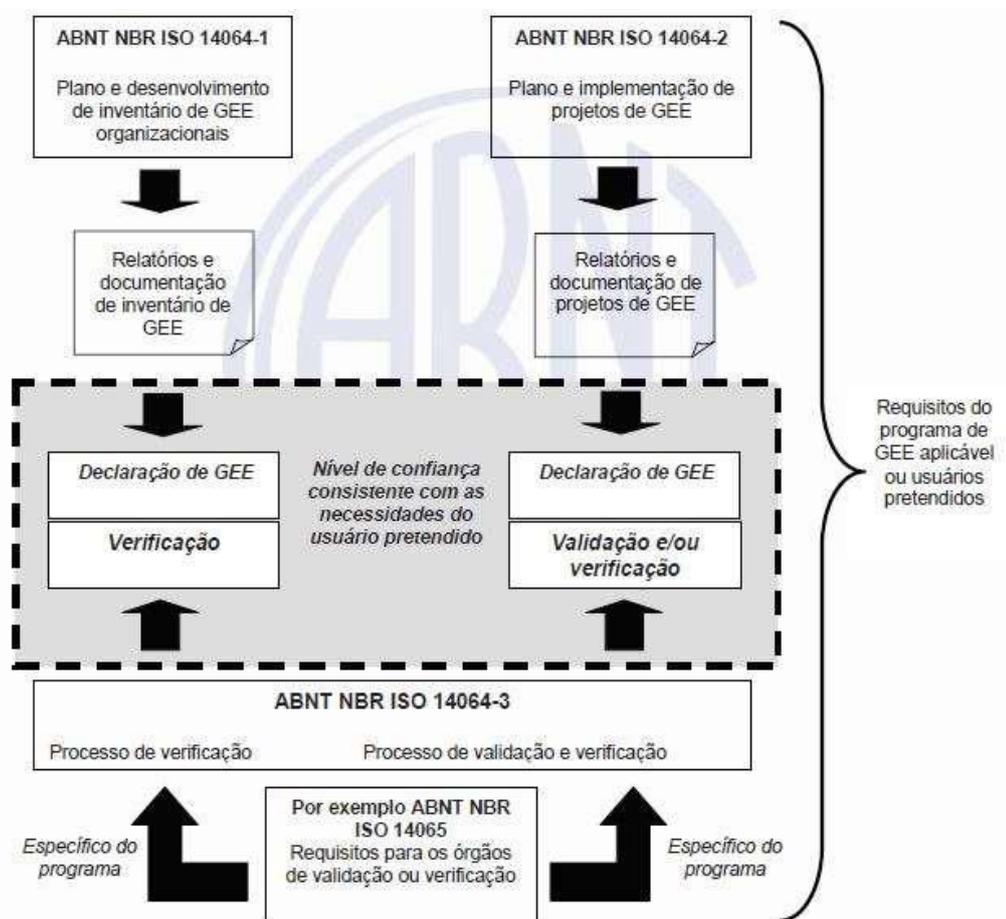
**2006 IPCC Guidelines for National GHG Inventories:** Consiste na última versão do guia desenvolvido pelo “grupo de trabalho sobre Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa”, NGGIP do inglês, para elaborar inventários a partir de metodologias internacionalmente discutidas e aprovadas para estimar as emissões de GEE de países do mundo. O grupo de trabalho é vinculado ao IPCC e suas atividades se iniciaram em 1991, no entanto, sua primeira publicação metodológica foi realizada em 1995. Atualmente a metodologia publicada em 2006 é a mais utilizada para reporte de emissões de países. Em 2013, foi publicado um relatório com metodologia suplementar, e mais recentemente, em 2019, o NGGIP publicou um extenso relatório de refinamento do guia de 2006 (NGGIP, 2019).

### III.5.6.3. Metodologia ISO

**ISO 14064:** A “*international organization for standardization*” (ISO) publicou em 2006, após 4 anos de desenvolvimento junto ao seu comitê técnico para gerenciamento ambiental, o guia metodológico para quantificar e reportar as emissões e remoções de GEE. O documento teve como principal objetivo definir os padrões e requisitos mínimos para inventários de GEE, que fornecessem uma estrutura básica comum e passível de auditoria externa. O padrão internacional é subdividido em 3 partes, suas relações estão representadas na Figura 21. Em 2018, norma foi revisada pela ISO para atualização de procedimentos e ajustes de pouca relevância, como subdivisões de categorias.

- **ISO 14064-1:** Essa parte da norma discorre sobre a quantificação e elaboração de relatórios de emissões e remoções de GEE para organizações. Desta forma, o padrão defini a forma como se quantifica e como se apresentam as emissões de uma empresa, destacando o recorte e indicando também a incerteza das projeções. Esse padrão se assemelha muito ao formato proposto no GHG Protocol, mantendo inclusive as estruturas de escopo e a abordagem selecionada.

- ISO 14064-2: Essa parte da norma trata da mesma atividade que a parte anterior, no entanto, aplicado a projetos. A Parte 2 apresenta uma grande diferença ao se considerar o GHG Protocol, pois estabelece princípios e especifica requisitos de processo ao invés de prescrever critérios específicos e procedimentos. Desta forma, o responsável pela elaboração do relatório deve considerar algumas relações para planejar e implementar o projeto, pois as diretrizes são flexíveis exatamente para se adequar melhor ao tipo de projeto.
- ISO 14064-3: A terceira e última parte do padrão discorre sobre a validação ou verificação de relatórios gerados pelas demais partes do padrão. Essa parte detalha o processo relacionado à verificação ou à validação de aspectos relativos ao GEE, desde o planejamento da verificação até a avaliação da declaração final.



**Figura 21** – Relação entre as partes da ABNT NBR ISO 14064. Fonte: ABNT, 2007

A Figura 21 também expõe relação que outra norma é possui com a ISO 14064, o que torna oportuno ressaltar o fato de que existem uma série de padrões envolvidos no desenvolvimento de um programa de gestão de emissões de GEE. Além da norma detalhada anteriormente, as normas diretamente relacionadas são:

- ISO 14065: que especifica requisitos para organismos que realizam validações ou verificações de declarações de GEE, ou seja, estabelece condições mínimas de estrutura das empresas verificadoras;
- ISO 14066: que estabelece requisitos de competências mínimas para a equipes de validação e/ou verificação de declarações de GEE, ou seja, estabelece condições mínimas do pessoal responsável pela verificação;

A implementação no âmbito brasileiro de todas essas normas foi feita por meio da criação de Normas Brasileiras Regulatórias (NBR) pela Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT). As NBRs são fidedignas as normas internacionais em termos de conteúdo técnico, redação e estrutura.

Após expressar algumas das metodologias mais disseminadas, torna-se primordial que a metodologia empregada no presente trabalho, que será melhor explanada no devido tópico, será do Programa GHG Protocol no Brasil, que foi desenvolvido com em conjunto entre WRI, WBSCD e o centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas (GVces) para considerar as peculiaridades nacionais. O desenvolvimento de programas nacionais de GHG Protocol também ocorreu em outros 3 países: Índia, México e Filipinas (GHG Protocol, 2019b).

## IV. ÁREA DE ESTUDO

### IV.1. Contexto da aplicação de produtos

Os produtos produzidos pela indústria de catalisadores são específicos para um tipo de processo denominado craqueamento catalítico em leito fluidizado. Este processo ocorre em praticamente todas as refinarias de grande porte do mundo e sua história de desenvolvimento teve um papel fundamental na história mundial.

O desenvolvimento das unidades de craqueamento catalítico em leito fluidizado, no inglês UFCC, data do começo do século XX. Sua importância foi primordial durante o período a segunda guerra mundial, quando a necessidade de combustível foi colossal (ABADIE, 1997). Mas antes de discorrer sobre a unidade em si, torna-se fundamental repassar como ela está inserida no contexto de uma refinaria.

Os processos em uma refinaria podem ser classificados em quatro grandes grupos:

- **Processos de Separação:** São sempre de natureza física e têm por objetivo desdobrar o petróleo em suas frações básicas, ou processar uma fração previamente produzida, no sentido de retirar dela um grupo específico de compostos. Suas principais unidades são: Destilações, atmosférica e vácuo, Desasfaltação a propano, Extração de aromáticos etc. (ABADIE, 2002).
- **Processos de Conversão:** São sempre de natureza química e visam transformar uma fração em outra(s), ou alterar profundamente a constituição molecular de uma dada fração, de forma a melhorar sua qualidade, valorizando-a. Isto pode ser conseguido através de reações de quebra, reagrupamento ou reestruturação molecular. Suas principais unidades são: UFCC, Reforma Catalítica, Alquilarão

Catalítica, Hidrocraqueamento Catalítico, processos de conversão térmica (Coqueamento Retardado e Viscorredução) (ABADIE, 2002).

- **Processos de Tratamento:** têm por finalidade principal eliminar as impurezas que, estando presentes nas frações, possam comprometer ou suas qualidades finais ou a rentabilidade de unidades mais a jusante que utilizem essas frações, como na prevenção de deterioração de catalisadores por parte de contaminantes. Suas principais unidades são: Tratamento Cáustico, Tratamento Merox, Tratamento DEA e Tratamento Bender (ABADIE, 2002).
- **Processos Auxiliares:** São aqueles que se destinam a fornecer insumos à operação dos demais processos, sejam eles reagentes, energia, vapor. Estão incluídas nesse grupo de processo também o tratamento e recuperação de subprodutos. Desta forma as principais unidades deste grupo são: Unidade de Geração de H<sub>2</sub>, Unidade Recuperadora de Enxofre, todas as unidades de utilidades, tratamento de efluentes (ABADIE, 2002).

Como o intuito deste panorama é simplesmente de posicionar a UFCC num esquema de refino, não será abordado grande parte das unidades citadas acima, mas sim transcorrer o percurso da majoritária carga processada pela unidade. Na Figura 22 é apresentado, através do esquema de refino genérico, que as unidades a montante da unidade são as destilações, a desasfaltação a propano e coqueamento retardado.

Ao se analisar o posicionamento da UFCC na figura, fica evidente que unidade se enquadra em um processo de “fundo de barril”, ou seja, a unidade tem como carga processada, majoritariamente, frações mais pesadas, como cadeias longas, poli ramificadas, policromáticas etc. Outra informação indicada na figura são os produtos gerados pela unidade, GLP, Nafta craqueada (aromáticos e Gasolina), LCO (diesel de FCC) e Óleo Decantado (diluyente para Bunker).

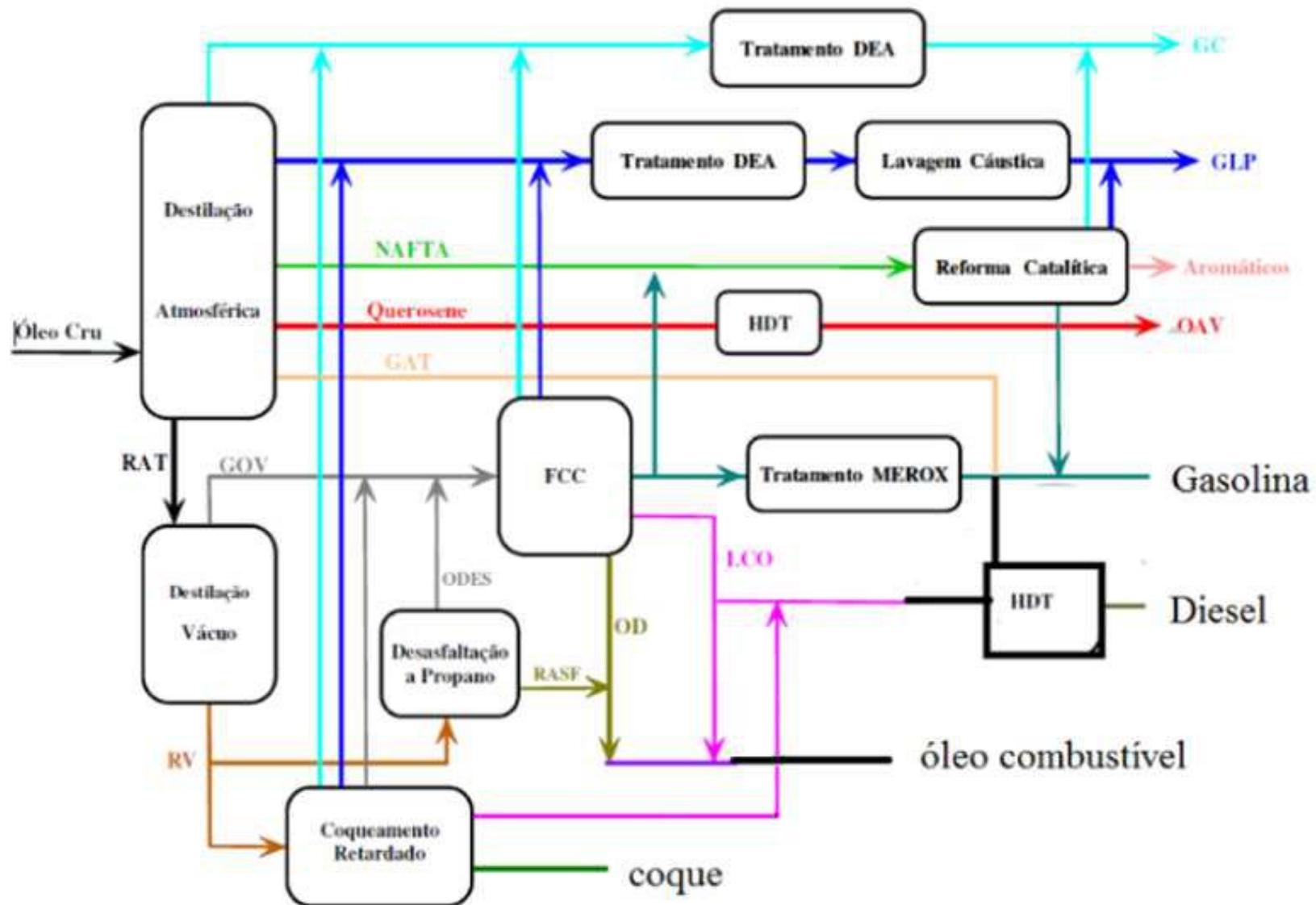


Figura 22 – Esquema de Refino Genérico. Adaptado de: ABADIE, 2002

Desta forma, fica clara a importância da unidade no esquema de refino de uma refinaria, convertendo frações pesadas, com pouco valor econômico, em frações mais leves, de maior valor econômico. No entanto, a operação dessa unidade é certamente uma das mais complexas da refinaria e seu funcionamento envolve diversos fatores, como qualidade e origem da fração processada, modelo de conversor, tipo de catalisador, objetivo de produção, etc.

#### IV.2. Funcionamento de Craqueamento catalítico em leito fluidizado

Uma unidade de FCC moderna consiste em três seções principais: o conversor, a fracionadora principal e a seção de recuperação de gás. Além dessas seções primárias, há o sistema de pré-aquecimento da carga e o gás de combustão do regenerador (ABADIE, 1997). Para o presente trabalho, torna-se importante comentar apenas a seção denominada conversor, onde o catalisador desempenha sua função de projeto. Na Figura 23 é apresentado um dos modelos de conversor utilizados:

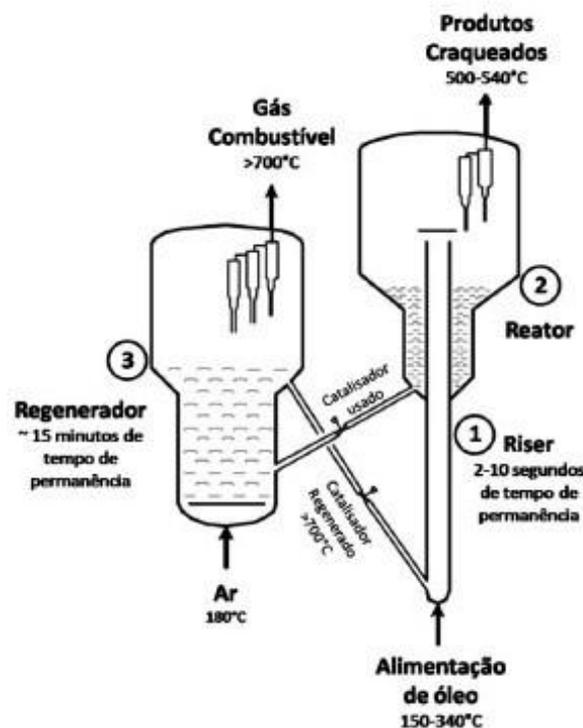


Figura 23 – Representação esquemática de conversor de UFCC moderno. Fonte: CABRELON, 2012.

A carga aquecida na seção de pré-aquecimento é injetada na base do riser, onde entra em contato com o catalisador quente proveniente do regenerador, indicado como (1) na imagem anterior. O catalisador fornecer ainda mais calor a carga, que vaporiza e percorre o riser. Neste trajeto, onde a mistura de carga vaporizada e catalisador se elevam que as reações de craqueamento endotérmico ocorrem. Os tempos de residência no riser são tipicamente muito curtos, de 1 a 3 segundos.

No final do riser (2), os produtos na forma vaporizada e o catalisador fluem através de um dispositivo de terminação e separação, majoritariamente ciclones, que separa o catalisador dos vapores de hidrocarbonetos. Esses produtos craqueados saem na parte superior dos ciclones e são encaminhados para a fracionadora principal, enquanto o catalisador é depositado pelos ciclones na base do reator, também conhecida como zona de strippagem. Esta parte do processo serve para retirar dos poros do catalisador vapores de produtos que tenham sido arrastados. Após a zona de strippagem, o catalisador flui pelo “*stand-pipe*” de catalisador gasto.

Ao final deste “*stand-pipe*”, o catalisador, que se encontra coberto por coque proveniente de reações de craqueamento secundárias que ocorrem em sua superfície, é transportado para o regenerador. Este vaso promove o contato eficiente entre o catalisador gasto e o ar injetado pelo soprador (3). O catalisador e o ar, bem misturados em um leito fluido, entram em combustão que produz calor que aumenta as temperaturas do catalisador em 150-200 °C. Os gases de combustão que deixam o leito de catalisador do regenerador passam através dos ciclones do regenerador onde o catalisador arrastado é removido e retornado para o leito do regenerador. Os gases de combustão que deixam os ciclones passam pelo plenum do regenerador e no sistema de gases de combustão. Após a queima o catalisador flui para o “*stand-pipe*” de catalítico regenerado e retorna na base do riser reiniciando o processo.

Durante todo o processo, as misturas de gases e catalisador estão sempre sendo mantidas em fluidização, seja pela injeção de vapor, pela vaporização da carga ou pelo ar injetado para combustão, por esse motivo que o catalisador de FCC possui o formato de pó de granulometria muito pequena, com tamanho médio de partícula de cerca de 80  $\mu\text{m}$ .

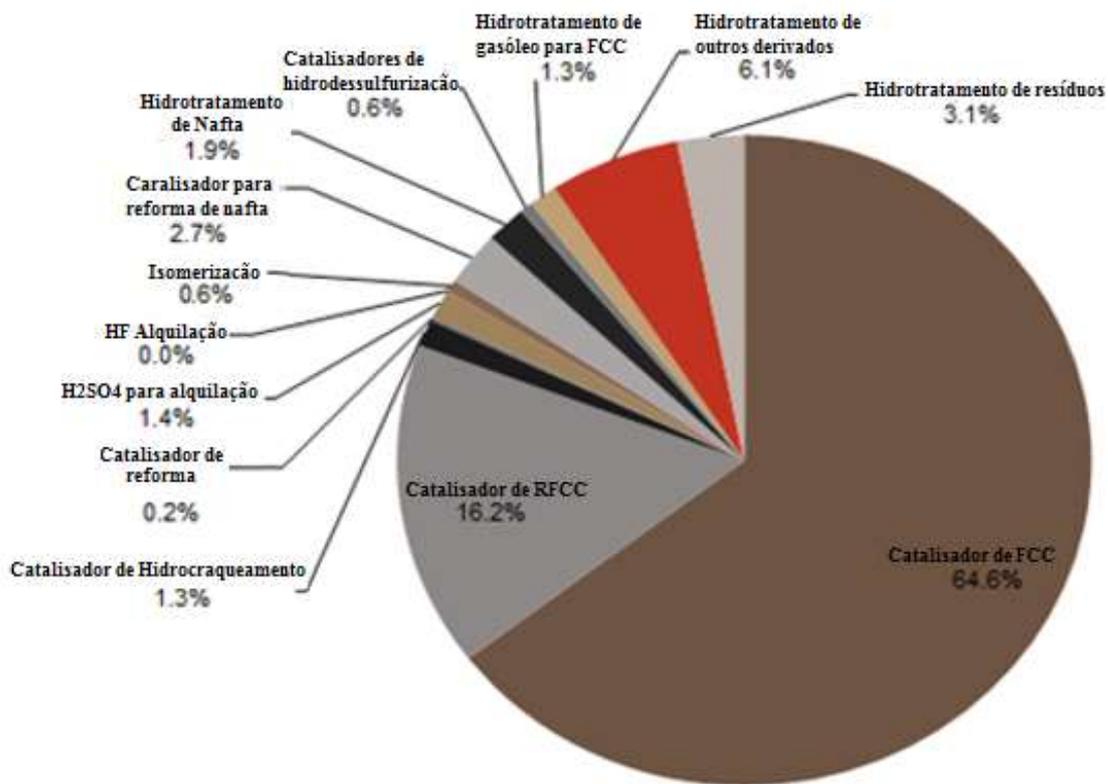
O catalisador de FCC deve possuir uma série de características fundamentais para exercer sua função corretamente. Além da granulometria adequada para fluidização, exposta anteriormente, as partículas de catalisador deve estar uma faixa de densidade bem específica, pois além de facilitar o processo de separação nos ciclones, garante a circulação de massa no sentido correto de operação, descrito anteriormente.

As partículas devem possuir ainda alta atividade e seletividade adequada para o objetivo da unidade, no entanto, essas duas propriedades podem ser ajustadas via formulações diferentes de sistemas catalíticos. Esses ajustes de formulação se referem ao percentual de componentes empregados na formação do cada catalisador. A formulação de um catalisador considera ainda outras propriedades como sua área específica, sua resistência mecânica, etc. mas que fogem ao escopo deste trabalho.

### **IV.3. Estruturação de marketshare global**

Atualmente, devido a sua grande importância estratégica e do tamanho de escala da indústria de refino, os fornecedores de catalisadores de FCC são empresas com ingerência global, competindo por clientes em praticamente todos os mercados no mundo. No entanto, não foi sempre assim, no início do desenvolvimento da tecnologia de UFCC, havia diversos fabricantes de catalisador para esse segmento. Esse afinilamento ocorreu principalmente pelo ganho de escala necessário para se competir de forma eficiente, já que a demanda de produtos do segmento é muito maior que os demais tipos de catalisadores de refino, apesar do nível de

complexidade tecnológica ser bem semelhante entre eles. A Figura 24 apresenta, de maneira percentual, demanda para o ano de 2018 dos vários segmentos de catalisadores de refino.



**Figura 24** – Demanda Global de catalisadores de refino por segmento em 2018.

Fonte: STRATAS ADVISORS, 2019

A elevada complexidade no processo e a grande escala de mercado, cerca de 540 mil toneladas em 2018, fez o mercado se restringir poucos fabricantes, mas de escala global, tornando esse segmento bem singular. A Tabela 3 indica os principais fabricantes do segmento e algumas informações relevantes.

**Tabela 3** - Principais empresas do setor de catalisadores de FCC. Fonte: GRACE, 2019; ALB, 2019; BASF,2019; SCC, 2019; SCC,2019; JGCCC,2019.

<b>Empresa</b>	<b>Mercados de Atuação</b>	<b>Unidades produtoras de catalisadores de FCC</b>
<b>W.R. Grace &amp; Co</b>	Catalisadores de refino, sílica amorfa, materiais de construção especializados, isolantes alimentícios, materiais resistentes a chamas, insumos de construção civil especializada	Curtis Bay, MD - USA Lake Charles, LA - USA Valleyfield, Québec - Canadá Worms - Alemanha
<b>Albemarle Corporation</b>	Sais e metais de lítio, bromo e derivados, retardantes de chama, catalisadores de FCC e HPC, serviços de química fina	BayPort, TX - USA Amsterdam - Holanda
<b>BASF Corporation</b>	Químicos, plásticos, produtos químicos de desempenho, catalisadores automotivos, catalisadores diversos, revestimentos, tecnologia de colheita, petróleo bruto e exploração e produção de gás natural	Attapulugus, GA - USA Savannah, GA - USA
<b>Lanzhou Petrochemical Company - Petrochina Division</b>	Catalisadores de refino, Combustíveis, lubrificantes, gás natural, petroquímicos e produtos de química fina	LanZhou Plant – China Chang-Ting Plant – China
<b>SCC - SINOPEC Division</b>	Catalisadores de FCC, catalisadores de poliolefina, catalisadores de matérias-primas orgânicas básicas, catalisadores químicos de carvão, catalisadores automotivos, aditivos e absorventes.	Yunxi, Yueyang, Hunan, China Zhoucun, Zibo, Shandong
<b>JGC C&amp;C - JGC Holdings</b>	Catalisadores de FCC, produtos de química fina.	Akiha-ku, Niigata, Japão

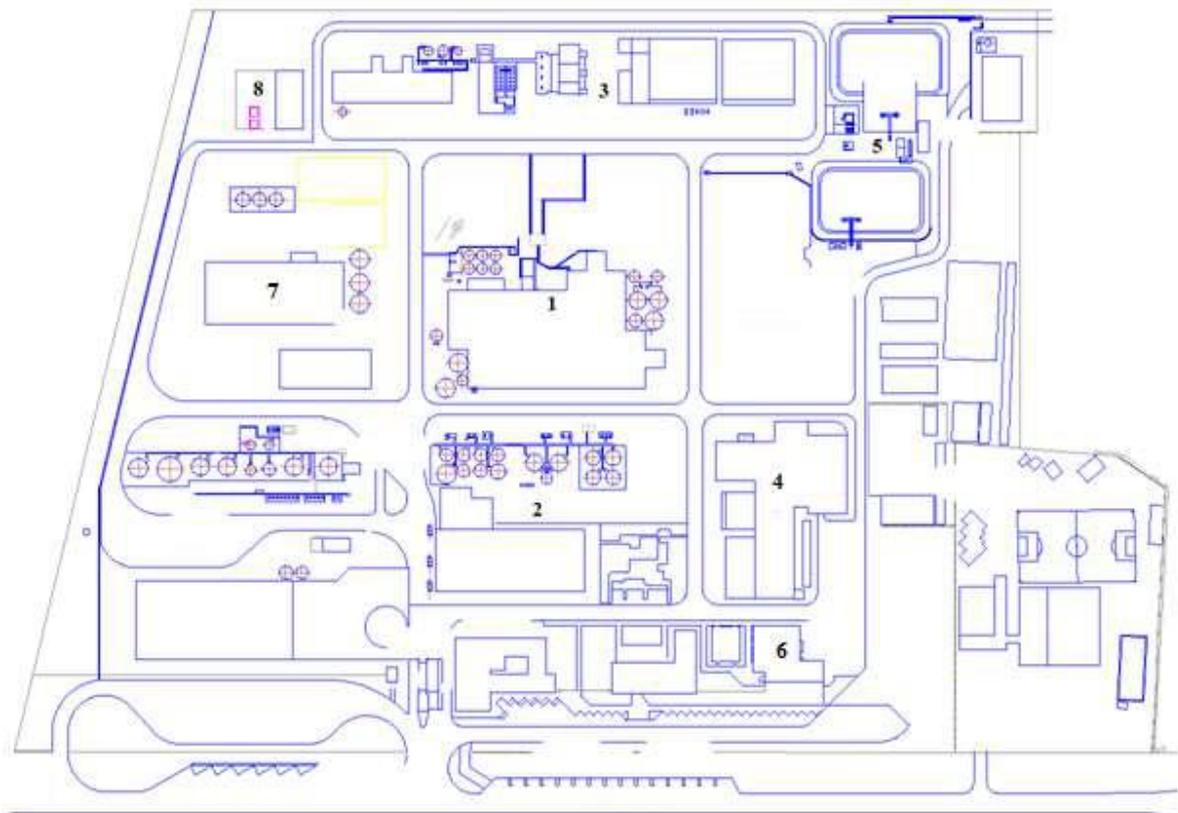
Essas características possuem um impacto direto no equacionamento das emissões do setor, pois as cadeias produtivas vinculadas ao setor têm complexidade em escala global. Como, por exemplo, a captação de insumos para a fabricação de catalisadores ocorre em diferentes partes do mundo e com níveis de complexidade de produção também variadas.

Por consequência, a avaliação da cadeia “*upstream*” com muitos níveis a se considerar. No âmbito “*downstream*” também se apresentam dificuldades já que uma única unidade produtiva geralmente supre diversas unidades de craqueamento no mundo, como foi o caso da unidade de produção analisada no presente trabalho.

#### **IV.4. Estudo de caso: estrutura da organização**

A empresa inventariada possui apenas uma unidade produtiva, situada no distrito industrial de Santa Cruz no município do Rio de Janeiro. A empresa é uma “*joint-venture*” entre uma das empresas líderes citadas na tabela o tópico anterior e uma empresa petrolífera de grande porte e com forte atuação em toda a cadeia produtiva do petróleo, desde sua prospecção, passando pelo refino até a distribuição de seus derivados finais.

A unidade agrega todos os seus setores neste local, desde os setores administrativos como financeiro, contábil, comercial, controladoria, recursos humanos; até setores totalmente voltados a produção de catalisadores como produção, logística, qualidade, tratamento de rejeitos. Na unidade, com a área de cerca de 97 mil m<sup>2</sup>, trabalham cerca de 250 colaboradores próprios e cerca de mais 250 terceirizados. A empresa possui grande parte da sua logística voltada para o transporte rodoviário, o que a torna diferente da maioria das unidades produtivas destacadas na Tabela 3, onde se predomina o modal ferroviário. Na Figura 25 pode ser observado a planta baixa da fábrica dividida em unidades, tendo algumas das suas áreas destacadas como pontos de interesse na elaboração do inventário.



**Figura 25** – Planta baixa da unidade inventariada. Fonte: CIPA, 2019.

- Área 1: Prédio de Processo 1
- Área 2: Prédio de Processo 2 + estocagem
- Área 3: Unidade de utilidades
- Área 4: Prédio Integrado (Laboratório, oficina de manutenção e almoxarifado)
- Área 5: Estação de tratamento de rejeitos
- Área 6: Refeitório
- Área 7: Prédio de Processo 3 + estocagem
- Área 8: Subestação elétrica

Torna-se relevante ressaltar que nem todas as áreas da empresa foram indicadas na Figura 25 pois não foi identificada nenhuma possível fonte de emissão de GEE relevante específica para as áreas não destacadas.

## V. METODOLOGIA

### V.1. GHG Protocol no Brasil

A história da metodologia aplicada no presente trabalho se inicia em maio de 2008 no lançamento oficial do Programa Brasileiro GHG Protocol. Como apresentado anteriormente, o programa é uma iniciativa entre WRI, o GVces, o Ministério do Meio Ambiente (MMA) e o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS), que buscou adaptar o método GHG Protocol para as necessidades e peculiaridades do mercado brasileiro, (PBGHGP, 2017)

Esse foi o primeiro grande passo para a tentativa de implementação de uma cultura nacional de gestão de GEE, pois poucos meses após seu lançamento, algumas empresas de grande porte já apresentavam os primeiros inventários brasileiros. Em 2010, mais uma etapa contundente, ocorreu com o lançamento do Registro Público de Emissões (RPE), uma plataforma online na qual as organizações participantes do Programa Brasileiro GHG Protocol (PBGHGP) relatam e divulgam seus inventários corporativos.

O PBGHGP evoluiu consideravelmente no decorrer da sua década de existência, um exemplo desta evolução é a disponibilização de guias metodológicos de aplicação, denominado “Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol” aplicado para empresas de variados portes, ferramentas de cálculo para atividades genéricas e caso a empresa deseje, compilação e divulgação do inventário no RPE de maneira automatizada.

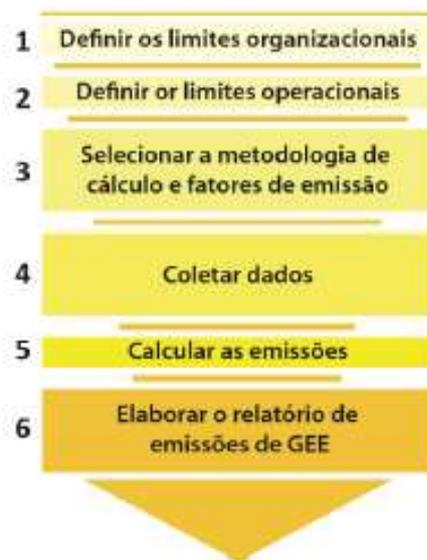
## V.2. A geração do inventário

Como forma de guia metodológico, o PBGHGP redigiu um documento denominado “Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol” que orienta em forma de diretrizes e etapas de elaboração para a geração do relatório. O documento, no entanto, se inicia discorrendo sobre os princípios fundamentais para a contabilização e elaboração do inventário. Os mesmos se encontram destacados na Tabela 4 com uma breve explanação sobre cada um deles.

**Tabela 4** - Princípios para contabilização e elaboração do inventário de GEE. Fonte: Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol (2008)

<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.

Esses princípios foram considerados durante todas as etapas de elaboração, que serão descritas abaixo, para se obter um relatório o mais fidedigno possível. A Figura 26 indica de forma esquemática as etapas subsequentes do processo.



**Figura 26** - Passos para realizar um inventário de emissões de GEE. Fonte: FERRÃO, 2016.

### V.2.1. Definição dos limites organizacionais

Devido as diversas conformações possíveis de estruturas legais e operacionais de empresas, o programa definiu dois tipos de abordagens para se definir os limites operacionais, sendo por controle operacional ou por participação societária. A escolha por uma abordagem implica diretamente no registro e comunicação dos dados obtidos, pois considera a condição do controle de decisão que um empreendimento tem sobre a companhia inventariada.

**A abordagem societária** é aplicada de forma que a participação que uma determinada empresa possui em um empreendimento ou operação, ou seja, reflete o percentual de participação societária na empresa não só nos lucros, mas também nas emissões do empreendimento. Esta abordagem não contempla se a empresa detentora possui controle sobre as operações ou não.

Esse tipo de abordagem é mais recomendado a *holdings* e corporações muito complexas. A forma com que essa abordagem se relaciona com o presente trabalho, apesar de não ser a abordagem selecionada, está inserida no sentido de que as empresas detentoras de participação no empreendimento inventariado, devem contabilizar com 50% das emissões levantadas como emissões da própria companhia, já que o objeto de estudo se trata de uma *joint-venture*.

**A abordagem operacional** delimita como emissões próprias 100% de emissões de GEE de qualquer atividade em que a empresa possua controle operacional sobre. Desta forma, caso uma empresa possua participação em outros empreendimentos, mas não os controle, as emissões deste não serão atribuídas.

Apesar de esta abordagem ter sido a selecionada no presente trabalho, não haveria alteração no ponto de vista numérico caso fosse selecionada a outra abordagem, já que a empresa inventariada não possui participação em outros empreendimentos e sua unidade produtiva é 100% pertencente a empresa. Essa unidade produtiva que foi definida como área de estudo que compreende todos os ativos pertencentes a empresa, assim como suas gerências.

### **V.2.2. Definição dos limites operacionais**

Após se definir os limites organizacionais, a próxima etapa consiste na identificação de emissões relacionadas direta ou indiretamente as atividades operacionais que ocorram dentro dos limites definidos na etapa anterior. Essa classificação entre atividades direta ou indiretamente relacionadas é realizada pelo sistema de escopos já explanado anteriormente no presente trabalho. A segmentação das emissões atmosféricas deve ser analisada caso a caso de forma a se considerar os ativos da empresa de forma a se considerar o critério de controle operacional sobre cada um dos ativos inventariados. Esta divisão se torna mais incerta ao se analisar ativos que podem enquadrar tanto no escopo 1 ou 3. O documento estabelece alguns parâmetros, mas salienta que qualquer enquadramento deve estar descrito no relatório final.

Nesta etapa, o documento guia salienta a importância de segregar as emissões de CO<sub>2</sub> provenientes da utilização de combustíveis de biomassa das emissões provenientes de origens fósseis, de forma que estas devem ser inventariadas, mas não podem ser agregadas as demais emissões já que pertencem a um ciclo de carbono bem distinto das emissões de origem fóssil. O mesmo parâmetro se aplica a emissões de compostos regulamentados pelo protocolo de Montreal.

O levantamento das emissões de escopo 3 é descrito de forma mais genérica e abrangente já que cada tipo de empresa possui uma cadeia de valor bem distinta, desta forma o PBGHGP recomenda passos genéricos para a identificação das emissões deste escopo.

- **Descrição da cadeia de valor** – o registro das emissões ao longo de toda a cadeia, considerando desde o beneficiamento inicial para a produção de insumos até a análise de ciclo vida dos produtos finais, pode revelar oportunidades de ganho de eficiência e redução de custos.
- **Identificar quais as categorias do Escopo 3 são mais relevantes** – Tomando em conta alguns critérios como: maiores proporções percentuais de emissões dentro do escopo 3 da empresa, emissões de atividades críticas, emissões que apresentam grande potencial de redução.
- **Identificação dos principais parceiros** ao longo da cadeia de valor tanto a montante quanto a jusante.
- **Quantificar as emissões de Escopo 3**

Além dos passos genéricos, o programa também apresenta 15 categorias para as emissões de escopo 3 que podem ou não apresentar relevância para o estudo de caso. Ao se considerar todas essas diretrizes, foi possível identificar várias fontes de emissão em potencial.

A Tabela 5 indica todas as fontes potenciais levantadas já utilizando a classificação em escopos e categorias. Posteriormente as emissões que não atenderem a pelo menos um dos 5 princípios fundamentais serão excluídas do relatório com a devida explicação para tal consideração seja falta de mecanismo de controle para quantificação de emissão da atividade, seja por apresentar uma escala de emissão muito pequena frente a ordem de grandeza das demais atividades. Tal retirada é denominada como o conceito de materialidade.

**Tabela 5** – Fontes de emissão identificadas nos Escopos 1, 2 e 3. Fonte: Elaboração própria.

<b>Escopo</b>	<b>Categoria da fonte</b>	<b>Atividade relacionada</b>
<b>Escopo 1</b>	Combustão móvel	Consumo de combustível fóssil em veículos de frota própria
	Combustão Estacionária	Consumo de combustível fóssil em fontes estacionárias como geradores, caldeiras e equipamentos térmicos de processo
	Emissões Fugitivas	Liberação intencional de CO <sub>2</sub> na manutenção e recarga de extintores de incêndio na unidade e liberação não intencional do vazamento de gases de refrigeração tanto na área industrial quanto na área administrativa
	Emissões de Processos	Proveniente do processo de calcinação de produtos, formando NO <sub>x</sub>
	Tratamento de Resíduos gerados nas operações tratados internamente	Unidade de tratamento de resíduos gerados pelo processo industrial.
	Efluentes	Tratamento de efluentes gerados pelo processo industrial
<b>Escopo 2</b>	Aquisição de Energia Elétrica	Utilização de energia elétrica proveniente do grid nacional de fornecimento, que possui impacto próprio na sua geração
	Categoria 1 – Bens e Serviços Comprados	Emissões de GEE provenientes da produção de insumos industriais necessários
	Categoria 4 – Transporte e Distribuição (Upstream)	Consumo de combustíveis fósseis em veículos da frota terceirizada para transporte de insumos industriais
	Categoria 5 – Resíduos Gerados nas operações (Efluentes Sanitários)	Tratamento de resíduos sanitários tratados por empresas terceirizada
<b>Escopo 3</b>	Categoria 6 – Viagens a negócios	Viagens aéreas de funcionários a serviço da empresa
	Categoria 7 – Deslocamento de Funcionários (casa-trabalho)	Deslocamento casa-trabalho de funcionários utilizando transporte fornecido pela empresa.
	Categoria 9 – Transporte e Distribuição (Downstream)	Consumo de combustíveis fósseis em veículos da frota terceirizada para transporte dos produtos até os clientes.
	Categoria 11 – Uso de bens e Serviços	Emissões de GEE provenientes do uso dos produtos nas unidades de craqueamento catalítico dos clientes
	Categoria 12 – Tratamento de fim de vida dos produtos vendidos	Emissões de GEE oriundos da disposição final de produtos já utilizados pelos clientes
	Categoria 13 – Bens arrendados	Centros de distribuição logística de produtos perto de clientes

Das fontes listadas na tabela 5, foram desconsideradas as fontes de escopo 3 de categorias 1 e 13 devido à falta de mecanismos de controle ou dados operacionais que possibilitassem a quantificação de emissões dessas atividades.

A categoria 1 foi desconsiderada devido à falta de informações sobre as emissões atreladas a fabricação de matérias primas utilizadas pela empresa. A obtenção desses dados se tornou complexa devido a produção de alguns desses insumos ocorrerem em diferentes partes do mundo, com minérios oriundos tanto de outros estados, como de outros países, que apresentam diferentes políticas de gestão de GEE com diferentes graus de sigilo de atividades empresariais.

A desconsideração da categoria 13 se deu pela falta de controle de emissões relacionadas aos galpões logísticos alugados pela empresa para atuar como centros de distribuição. Apesar de ser identificado no levantamento inicial, além de apresentar baixo impacto frente a outras emissões, seu grau de incerteza devido à falta de estrutura de controle corrobora para sua desconsideração.

### **V.2.3. Seleção de metodologia de cálculo e fatores de emissão**

Após a identificação das 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). O PBGHGP já identificou as metodologias de cálculo e de fatores de emissão adaptados à realidade da sociedade brasileira, utilizando fatores de emissão provenientes de relatórios locais para combustão móvel e aquisição de energia elétrica do (SIN), o que garante um nível de complexidade metodológico de *tier 2*. O *IPCC Guidelines* (2006) estabeleceu esses níveis de precisão de metodologias de cálculo em 3 níveis, segundo a Tabela 6.

**Tabela 6** – Níveis de complexidade (*tiers*) das metodologias de cálculo. Adaptado de: Hirokawa,2017.

<i>Tier 1</i>	<i>Tier 2</i>	<i>Tier 3</i>
Metodologias de cálculo simplificada, 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.

O programa orienta as empresas a utilizarem a metodologia de cálculo disponibilizado pelo próprio programa que já defini as metodologias mais precisas frente aos dados que se encontraram disponíveis, dando assim algumas alternativas para se calcular o impacto da emissão de uma mesma atividade. Essa ferramenta se encontra na forma de planilhas e integram tanto a seleção de fatores mais apropriados quanto a própria quantificação, que são atualizadas anualmente. No presente trabalho foi utilizada a versão “Ferramenta GHG Protocol v2019.3”, disponibilizada pelo PBGHGP em seu site na aba ferramenta de cálculo.

A versão utilizada foi a ferramenta mais atualizada quando se iniciou a quantificação das emissões do presente trabalho. Nesta versão estão presentes ferramentas de cálculo da maioria das emissões levantadas e serão devidamente explanadas na devida etapa. Ainda assim, a ferramenta também disponibiliza campos para computação de emissões a partir de outros métodos de cálculos, mas ressalta a importância de que esses métodos devam ter confiabilidade igual ou superior caso a fonte de emissão já tenha um método na própria ferramenta. A Tabela 7 indica a relação de ferramentas de cálculos padrão que foram utilizadas. Seu devido desenvolvimento será descrito detalhadamente mais à frente no trabalho presente trabalho.

**Tabela 7** – Ferramentas de cálculo multisetorial utilizadas por escopo. Fonte: Elaboração Própria.

<b>Ferramentas de cálculo de setor Multisetorial Utilizadas</b>	
<b>Escopo 1</b>	Emissões de combustão em equipamentos estacionários
<b>Escopo 1</b>	Emissões de CO <sub>2</sub> de transporte e fontes móveis
<b>Escopo 1</b>	Emissões furtivas de GEE no processo industrial
<b>Escopo 2</b>	Emissões indiretas de CO <sub>2</sub> de eletricidade comprada
<b>Escopo 3</b>	Emissões de CO <sub>2</sub> relacionada a viagens de negócios por funcionários
<b>Escopo 3</b>	Emissões do transporte de empregados fornecidos pela empresa
<b>Escopo 3</b>	Emissões de transporte de insumos industriais (upstream)
<b>Escopo 3</b>	Emissões de transporte de produtos aos clientes (downstream)

#### **V.2.4. Captação de dados**

A coleta de dados referentes a todas essas fontes de emissões foi proveniente de diversas fontes de informação. Majoritariamente, as informações foram obtidas por relatórios internos de controle de gestão. Esses relatórios são gerados de forma padronizada pela empresa devido ao próprio sistema de gestão da empresa. No entanto, a maioria dos mesmos não possuíam a intenção de aferir o impacto de emissões de GEE, sendo exceção o relatório de emissões de GEE obrigatório para o licenciamento ambiental. Os principais pontos de obtenção de informação foram os seguintes relatórios. Os nomes dos presentes documentos são adaptados:

- Relatório anual de emissões de GEE
- Relatório de controle operacional de balança de insumos
- Relatório de análise de ciclo de vida
- Relatório de vendas e embarques de produtos
- Relação controle de emissões de passagens aéreas
- Controle de qualidade de efluentes gerados

Além dos presentes relatórios, também foram solicitadas diversas informações referentes a atividades de terceiros a serviço da empresa e através do monitoramento de atividades da empresa. Essas solicitações foram encaminhadas principalmente através da troca de e-mails e o monitoramento de atividades da empresa foi realizado pelos sistemas de TI interno da empresa, no caso, foram o *PI System* e *TOTVS*. Os referidos sistemas são submetidos a auditorias periódicas de forma a garantir elevadas confiabilidade, operabilidade e processamento de informações de forma automatizada.

Nesta etapa, já foi possível observar as emissões de GEE provenientes de efluentes e resíduos gerados no processo industrial possuem impactos irrelevantes ou estes são nulos. Essas exclusões serão devidamente explicadas no tópico referente ao tema.

#### **V.2.5. Cálculo das emissões**

Como já foi exposto previamente, o GHG Protocol Brasil fornece uma ferramenta de cálculo intersetorial aberta e gratuita que permite, de maneira padronizada, estimar, com um grau razoável de exatidão, as emissões de um determinado limite organizacional e pode ser encontrada para download no site do programa.

##### **V.2.5.1. Apresentação da ferramenta**

A ferramenta tem o formato de planilha com menu de navegação, indicado na Figura 27 na parte superior de todas as abas. O menu de navegação compreende todo o conteúdo da planilha: as referências cinzas são relacionadas a abas auxiliares, instruções e fatores de conversão usados. Os botões azuis, laranjas e amarelos, remetem às subcategorias para o cálculo dos Escopos 1, 2 e 3, respectivamente. Os dados e as referências de cálculos usados nessa planilha serão discutidos e apresentados em cada um dos Escopos.



**Figura 27** – Menu de navegação da ferramenta de cálculo GHG Protocol. (Fonte: PROGRAMA BRASILEIRO GHG PROTOCOL, 2019)

### V.2.5.2. Cálculo de escopo 1

Apesar de indicado na Figura 27, nem todas as emissões apresentadas na planilha para o escopo 1 foram utilizadas, seja por não possuir aplicabilidade ao estudo de caso, como a aba de “atividades agrícolas” e “mudanças no uso do solo”. Também foram dispensadas de utilização outras abas devido ao impacto negligenciável referentes a tais emissões, como foi o caso de “efluentes” e “resíduos sólidos”. Suas devidas exclusões também foram certificadas em entrevista com a auditoria contratada, sendo de comum acordo optado por não as incluir no escopo 1 baseado na materialidade e serão devidamente justificadas no tópico de exclusões.

Desta forma, apenas 4 das abas indicadas no menu de navegação foram efetivamente utilizadas. Essas 4 fontes de emissão foram estimadas, juntamente com os cálculos, dados, premissas e fontes que a ferramenta utiliza da seguinte forma.

#### V.2.5.2.1. Combustão Móvel

A emissão de GEE por combustão móvel no escopo 1 está relacionada a frota própria da empresa para deslocamento da alta gerência, movida a gasolina comercial, de uma pick-up para uso exclusivo da manutenção, abastecida a diesel, e na operação de empilhadeiras abastecidas com GLP. A estimativa do consumo dos veículos foi feita com base no controle realizado pela empresa no consumo dos combustíveis. A ferramenta já tem em sua programação o percentual de biocombustíveis utilizados em cada combustíveis comerciais de forma que automaticamente segrega as emissões deste percentual, o que resultou em uma emissão total de **112,67 tCO<sub>2</sub>e** conforme detalhado na Tabela 8.

**Tabela 8** - Emissões geradas por combustão móvel. Fonte: Elaboração Própria

<b>Combustível</b>	<b>Consumo</b>	<b>Fator de emissão (KgCO<sub>2</sub>e/U de consumo)</b>	<b>Emissão total (tCO<sub>2</sub>e)</b>
<b>Gasolina</b>	29.727,76 L	1,688	50,19
<b>Diesel</b>	3.086,56 L	2,463	7,39
<b>GLP</b>	19.260 Kg	2,86	55,09
<b>Total</b>			<b>112,67</b>

Torna-se imprescindível ressaltar que a ferramenta de cálculo:

- Apresenta algumas alternativas para se estimar as emissões desta fonte através da quilometragem percorrida pelos veículos, no entanto são estimativas mais imprecisas, por isso não foram utilizadas.
- Indica de forma segmentada a emissão por GEE de cada fonte, fornecendo um fator de emissão específico de geração para cada GEE pertinente. Neste caso foram fornecidos fatores de emissão para CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, além do fator de emissão global, convertendo o consumo em tCO<sub>2</sub>e através dos respectivos GWP.

#### **V.2.5.2.2. Combustão Estacionária**

A emissão de combustão estacionada se refere a operações de equipamentos industriais e não industriais para a geração de vapor, calor, eletricidade ou energia cinética. Neste subtópico foram identificados três combustíveis distintos na operação da empresa, GLP, óleo diesel e gás natural seco. A Tabela 9 lista os equipamentos ou atividades relacionadas as emissões estacionárias segmentada por tipo de combustível. Deve-se ressaltar que alguns dos equipamentos relacionados abaixo estão listados como segredo industrial e não serão devidamente descritos, indicando apenas seu combustível, respeitando o compromisso de sigilo acerca da tecnologia, além de não o objetivo primário deste trabalho explorar as tecnologias específicas de tais equipamentos. Contudo, cabe ressaltar que em situações normais de elaboração, é preciso a indicação adequada das fontes de emissão.

**Tabela 9** – Fontes de emissão por combustão estacionária. Fonte: Elaboração Própria.

<b>Combustíveis</b>	<b>Fonte</b>	<b>Descrição</b>
<b>GLP</b>	Fornos industriais	Fornos do refeitório
<b>GLP</b>	Laboratório de qualidade	Aquecimento para preparo de análises
<b>Óleo Diesel</b>	Geradores	Dois geradores elétricos de emergência
<b>Gás natural</b>	Caldeiras	Duas caldeiras para geração de vapor a pressão de 13,5kgf/cm <sup>3</sup>
<b>Gás natural</b>	Equipamentos de processo 1	Três equipamentos térmicos utilizados para etapa intermediária de secagem no processo
<b>Gás natural</b>	Equipamentos de processo 2	Três equipamentos térmicos utilizados na reestruturação química de produtos intermediários do processo
<b>Gás natural</b>	Equipamento de processo 3	Equipamento de ajuste granulométrico de produtos finais de processo
<b>Gás natural</b>	Equipamento de processo 4	Equipamento acoplado à exaustão dos gases dos equipamentos de processo 2 para a degradação de gases NOx gerados.

O procedimento de cálculo para estimar as emissões das fontes estacionárias é bem similar ao tópico anterior, no sentido de se basear nas notas de compras dos combustíveis utilizados para se obter o consumo nas unidades e através de fatores de emissão selecionados pela ferramenta se obter as emissões tanto de todos os GEE de cada fonte como o tCO<sub>2</sub>e gerada pelas mesmas. Um resumo esquemático do processo indicado acima se encontra a Tabela 10.

**Tabela 10** - Emissões geradas por combustões estacionárias. Fonte: Elaboração Própria

<b>Combustível</b>	<b>Consumo</b>	<b>Fator de emissão (KgCO<sub>2</sub>e/U de consumo)</b>	<b>Emissão total (tCO<sub>2</sub>e)</b>
<b>GLP</b>	19.988,16 Kg	2,86	58,64
<b>Diesel</b>	14.178 L	2,463	33,82
<b>Gás natural</b>	26.147.998 m <sup>3</sup>	2,069	55.099,12
<b>Total</b>			<b>54.191,58</b>

### V.2.5.2.3. Emissões Fugitivas

Esta categoria de emissão compreende utilização de equipamentos de refrigeração (industrial ou comercial), extintores de incêndio, escape de gases para isolamento elétrico como SF6 e NF3, ou seja, liberações indesejadas de processo ou liberações intencionais como medida de segurança. A ferramenta de cálculo fornece três abordagens, com diferentes níveis de precisão, para estimar emissões fugitivas. Em ordem decrescente de precisão são:

- **Abordagem por "Estágio do Ciclo de Vida":** para usuários que contratam os serviços de manutenção dos sistemas de RAC ou de extintores de incêndio.
- **Abordagem por Balanço de Massa (Compra):** para usuários que mantêm seu próprio equipamento. É baseado na quantidade de gás comprada e utilizada.
- **Triagem:** estimativa baseada em fatores de emissão e taxas de vazamento padrão dos equipamentos. Os fatores têm alto grau de incerteza e são extremamente conservadores. Por isso, esse método não deve ser usado como substituto das opções 1 e 2.

Devido ao sistema de gestão e manutenção da empresa para as atividades enquadradas no tópico, a abordagem por balanço de massa foi a melhor opção encontrada. No levantamento inicial, foram identificadas três possíveis fontes de emissão nesta categoria: a manutenção da unidade da central de água gelada utilizada na planta, o condicionamento dos extintores de incêndio da fábrica e a manutenção dos sistemas de ar condicionado da área administrativa.

No entanto, na etapa de coleta de dados, foi tomado conhecimento de que os sistemas de ar condicionado utilizam como gás refrigerante o gás R-22, classificado como um HCFC. Devido a esse fato, essa atividade teve sua estimativa segregada em outra aba da ferramenta de cálculo denominada "Fugitivas - GEE não Quioto", já que o gás está enquadrado no protocolo de Montreal. Ainda assim, foi mantida o tipo de abordagem das demais fontes de emissão, sendo assim quantificada, mas não será reportada.

Para a abordagem de balanço de massa, foram levantadas as solicitações de gases refrigerantes da equipe de manutenção ao almoxarifado além do estoque no almoxarifado dos mesmos no dia 01/01/2018 e no dia 31/12/2018 e consideradas na equação 1 para se estimar tais emissões.

$$Emissões\ em\ CO_2e = (VE + T - MC) * GWP \quad Eq. (1)$$

Onde:

- **VE = Variação no Estoque (kg do gás):** diferença entre a quantidade do gás no estoque no início e no final do período;
- **T = Quantidade Transferida (kg do gás):** gás comprado menos gás vendido / dispensado durante o período;
- **MC = Mudança de Capacidade (kg do gás):** capacidade de todas as unidades no começo do período menos a capacidade no final do período.

Como não houve alteração de capacidade de refrigeração na planta e com uma variação ínfima entre os estoques do início do período e ao final dele, o cálculo para estimar as emissões de GEE se reduziram a multiplicação da quantidade transferida pelo respectivo GWP dos gases utilizados. A quantificação das emissões provenientes do condicionamento de extintores apresentou a mesma estrutura, considerando uma variação de estoque nula, no entanto, considerou a total renovação do gás comprimido nos cilindros para se considerar a abordagem mais conservadora possível. A Tabela 11 esquematiza a quantificação descrita.

**Tabela 11** – Emissões fugitivas detectadas. Fonte: Elaboração Própria.

Fonte de emissão	Gás relacionado	GWP	Quantidade Transferida (Kg)	Emissão total (tCO <sub>2e</sub> )
Recarga de extintores	CO <sub>2</sub>	1	2.100	2,10
Unidade central de água gelada	R-134a (HFC)	1.430	193,74	277,05
<b>Total</b>				<b>279,15</b>

#### V.2.5.2.4. Emissões de Processos

A ferramenta de cálculo estrutura a estimativa desse tipo de fonte de emissão de forma muito mais flexível devido a ampla variedade de atividades industriais possíveis. A estimativa utiliza a equação 3 como estrutura. Pode-se observar pela equação que qualquer processo com algum tipo de liberação de GEE pode ser estimado por ela, evidenciando o grau de generalização da mesma.

$$Emissões\ em\ CO_2e = (Q * GWP) - (E_{bio} + R_{bio}) \quad Eq. (2)$$

Onde:

- Q = Quantidade emitida de GEE em toneladas;
- GWP = Potencial de aquecimento do referido GEE da fonte de emissão;
- E<sub>bio</sub> = Quantidade de CO<sub>2</sub> emitido pelo processo ou atividade;
- R<sub>bio</sub> = Quantidade de CO<sub>2</sub> removido pelo processo ou atividade;

Apesar da característica generalista, o IPCC e o Inventário Nacional de emissões de GEE indicaram como as principais fontes de emissões mundiais dessa seção:

- Siderurgia
- Produção de Cimento
- Produção de Cal
- Produção de Alumínio
- Produção de Amônia e Ácido Adípico

A partir das classificações do IPCC para as fontes industriais de emissão, a unidade avaliada no presente trabalho é enquadrada como uma indústria química. Dentro deste segmento de indústria a empresa não está listada como uma das principais contribuintes de emissão nos níveis nacionais ou globais. Ainda assim, torna-se vital avaliar o processo produtivo para se mapear possíveis emissões e pontos de melhoria.

Após algumas reuniões e visitas a área industrial, foram explicitadas duas fontes de emissão de processo. O escape de NH<sub>3</sub> em equipamentos de processo e as emissões da chaminé do equipamento de processo 4 indicado na subdivisão de combustão estacionária.

O escape de NH<sub>3</sub> em equipamentos de processo ocorre devido a ineficiências no sistema de exaustão em equipamentos de troca iônica do processo. Devido à falta de informações para fechamento de balanço de massa entre o sistema de troca iônica e o sistema de recuperação de NH<sub>3</sub>, não foi possível quantificar a perda deste gás para a atmosfera. Ainda assim, como se trata de pequenos escapes oriundos de pequenas ineficiências ou descontroles de processo, sua ordem de grandeza não apresenta grande relevância para o inventário.

A emissão da chaminé do equipamento de processo 4 também é proveniente de uma ineficiência, mas neste caso, de reação. Isto porque esse equipamento tem a função de reagir os gases de NO<sub>x</sub> provenientes do equipamento 3, num processo de queima com gás natural em alta temperatura em um ambiente pobre de O<sub>2</sub>, promovendo majoritariamente as seguintes reações.

- $\text{CH}_4 + 4 \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{N}_2$
- $\text{CH}_4 + 4 \text{NO} \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{N}_2$
- $\text{CH}_4 + 2 \text{NO}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + \text{N}_2$

O equipamento 4 é subdividido em 2 zonas bem definidas: zona redutora e zona oxidativa. As reações indicadas anteriormente ocorrem principalmente na zona redutora, no entanto, estas não são as únicas que ocorrem nesta região, já que os processos de queima incompleta, gerando CO, também possuem certo grau de extensão. Devido a essa limitação cinética que se deve a existência da zona oxidativa, destinada a completar a queima dos gases provenientes da zona anterior através da injeção de ar como fonte de O<sub>2</sub>.

A limitação cinética também é a razão da fonte da emissão efetivamente ser inventariada, isto porque a emissão de NO<sub>x</sub> somente ocorre porque a conversão não é total, gerando uma carga residual que é emitida e mensurada pelo topo da chaminé. Devido a essas características, o sistema PromonAR do INEA monitora de forma frequente a emissões da unidade utilizando uma metodologia acordada entre o órgão e a empresa. Com base nos valores de NO<sub>x</sub> em ppm, vazão volumétrica da chaminé, calcula-se a vazão mássica de NO<sub>x</sub> que escapa da chaminé não convertido.

No entanto, nem todas as moléculas de NO<sub>x</sub> são classificadas como GHG, mas adotando uma abordagem mais conservadora possível, ao se estabelecer que toda molécula emitida seria considerada uma espécie qualificável, obtém-se o pior caso possível. Desta forma, foi obtida a extensão da fonte de emissão e seu impacto está resumida na Tabela 12.

**Tabela 12** – Impacto de emissões de GEE no processo industrial. Fonte: Elaboração Própria.

<b>Fonte de emissão</b>	<b>Gás relacionado</b>	<b>GWP</b>	<b>Quantidade Emitida (Kg)</b>	<b>Emissão total (tCO<sub>2</sub>e)</b>
<b>Emissão de processo</b>	N <sub>2</sub> O	298	1.376,39	410,16

### **V.2.5.3. Cálculo de escopo 2**

Após a contabilização das emissões diretas possíveis de avaliação, as emissões indiretas serão avaliadas na sequência. A primeira avaliação de indireta indicada nas especificações do PBGHGP são aquisições de energias externa aos limites organizacionais. Neste escopo estão enquadrados tanto aquisições térmicas quanto elétricas.

A ferramenta de cálculo possui cinco abas dedicadas somente a esse escopo, no entanto, apenas uma destas foi utilizada. O motivo está atrelado as fontes de emissão atreladas a esse escopo, pois duas abas são referentes à compra de energia elétrica, com duas abordagens distintas, duas são referentes a transmissão e distribuição de energia e uma aba se refere a aquisição de energias térmicas.

Como a empresa não adquire energias térmicas externas e não é a responsável pela transmissão ou distribuição de energia elétrica, somente as duas abas de aquisição elétrica foram consideradas para avaliação.

#### **V.2.5.3.1. Aquisição de energia elétrica**

Como a aquisição da energia elétrica é realizada através do SIN, a abordagem de localização seria a mais adequada pois considera o impacto médio de geração de sistema que gerador. A outra abordagem, baseada na escolha de compra, considera as fontes de emissão para geração de forma individual de cada fornecedor contratado.

Para se estimar as emissões de desse tipo de fonte, foram compilados os consumos de energia elétrica de forma mensal através de notas fiscais de compra. Com os seguintes dados, foram aplicados fatores de emissão mensais selecionados pela própria ferramenta que referência Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTI) que é o órgão responsável pela quantificação desses fatores. Esses fatores estão relacionados diretamente à matriz energética brasileira, variando mensalmente de acordo com a geração distribuída de

hidrelétricas, termoelétricas e fontes renováveis como eólica e solar. A Tabela 13 indica o resultado esquematizado do procedimento.

**Tabela 13** - Emissões geradas pelo consumo de energia elétrica. Fonte: Elaboração Própria.

<b>Mês</b>	<b>Consumo (MWh)</b>	<b>Fator de emissão (tCO<sub>2e</sub>/MWh)</b>	<b>Emissões Totais (tCO<sub>2e</sub>)</b>
<b>Janeiro</b>	3.712,3338	0,0640	237,5894
<b>Fevereiro</b>	3.251,2304	0,0608	197,6748
<b>Março</b>	3.540,3794	0,0635	224,8141
<b>Abril</b>	3.633,1966	0,0523	190,0162
<b>Mai</b>	3.360,3460	0,0607	203,9730
<b>Junho</b>	3.489,8281	0,0915	319,3193
<b>Julho</b>	3.458,1539	0,1076	372,0974
<b>Agosto</b>	3.572,6593	0,1181	421,9311
<b>Setembro</b>	3.452,1964	0,1182	408,0496
<b>Outubro</b>	3.815,7993	0,0802	306,0271
<b>Novembro</b>	3.369,0436	0,0366	123,3070
<b>Dezembro</b>	3.668,1773	0,0343	125,81848
<b>Total</b>	42.323,3439		<b>3.130,62</b>

#### **V.2.5.4. Cálculo de escopo 3**

Como já explanado anteriormente, a partir deste ponto as emissões indiretas não possuem caráter obrigatório de pois se tratam de atividades de terceiros que a empresa não teria facilidade em estimar com facilidade além das mesmas serem naturalmente declaradas como escopo 1 pelas empresas prestadoras desses serviços. No entanto, a análises de emissões vinculadas a esse escopo pode apresentar oportunidades de melhorias tanto no âmbito ambiental quanto econômico.

No menu de navegação da ferramenta de cálculo, pode-se observar que apenas 7 abas estão atreladas a esse escopo. Isto porque, apesar de apresentar 15 subcategorias ao todo, a primeira aba deste escopo possibilita o cadastramento de todas as subcategorias de forma genérica, enquanto as demais abas são propriamente para calcular estimativas de emissão.

Das 15 subcategorias, a segunda etapa de elaboração do relatório indicou apenas nove fontes de emissão de GEE, sendo duas destas, “bens e serviços” e “bens arrendados” foram descartadas assim que levantadas. Na presente etapa de elaboração, foram encontradas outras limitações e exclusões que serão explanadas nos tópicos referentes aos temas. Sendo assim, apenas quatro fontes de emissão foram efetivamente calculadas para o escopo 3. Sendo estas Transporte *upstream*, Viagens de negócios, Deslocamento de funcionários e Transporte *Downstream*.

#### **V.2.5.4.1. Transporte Upstream**

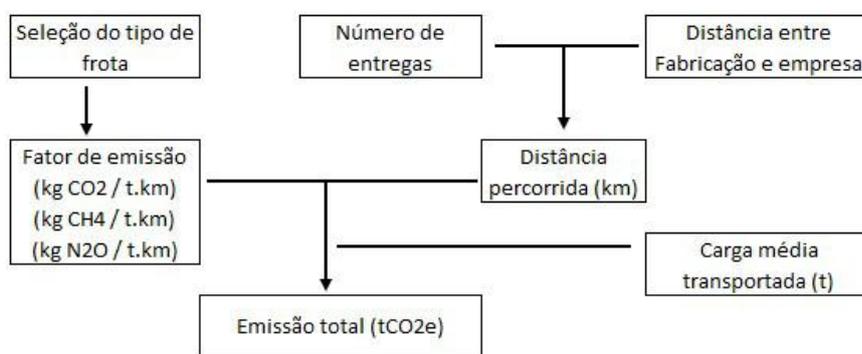
Esta fonte de emissão é referente ao todo o transporte de insumos para a operação da fábrica. As informações para a contabilização desta fonte foram extraídas do sistema de controle de balança da fábrica. O referido sistema registra não só o peso da matéria prima que chega unidade, como também a data e hora, o fornecedor e outras informações não relevantes para o presente trabalho.

Em posse dessas informações, foi possível estimar as emissões decorrentes do transporte de matérias primas entre os fornecedores e a empresa. Isto porque a ferramenta de cálculo fornece 3 opções de métodos para se estimar essa fonte:

- **Opção 1: Cálculo por tipo e ano de fabricação da frota e consumo de combustível;**
- **Opção 2: Cálculo por tipo e consumo de combustível;**
- **Opção 3: Cálculo por tipo de frota e distância percorrida;**

Devido à ausência de dados sobre o consumo de combustível no transporte, a opção 3 foi a metodologia selecionada. O equacionamento necessário para se gerar as estimativas de emissão consistiu em compilar a quantidade de carretas de entregas no ano, sua carga transportada média para cada matéria prima e cada fornecedor. Em seguida multiplicar a carga

média pela distância total percorrida (número de embarques x distância entre planta produtora e fábrica) e posteriormente aplicando o fator de emissão do veículo-modelo mais apropriado para cada matéria prima. Como todos os insumos analisados foram transportados em carreta com cerca de 20t de carga, foi selecionado para todas as matérias primas, a opção de frota como “Caminhão - rígido (acima de 17 toneladas)” foi selecionada para adequação os fatores de emissão mais adequados. A Figura 28 resume de forma esquemática o procedimento descrito.



**Figura 28** – Resumo esquemático para a estimar emissões de transporte de terceiros. Fonte: Elaboração Própria.

Este procedimento também foi aplicado a transporte hidroviário em matérias primas provenientes de outros países, com alguns ajustes estruturais, como a carga média em container e as distâncias entre unidades de fornecimento e consumo em rotas marítimas dos portos mais próximos. As rotas marítimas foram estimadas por outra ferramenta especializada da DHL global, denominada DHL CARBON CALCULATOR.

Nesta ferramenta, utiliza-se da localização do comprador e do vendedor do ativo em questão, o peso transportado e os modais utilizados no processo para se estimar a rota mais provável como também fatores de emissão mais adequados. No presente trabalho, só foram utilizadas distâncias estimadas e novamente aplicados fatores determinados pela ferramenta do PBGHGP.

Seguindo estes procedimentos e compilando-os, foram totalizadas emissões de *upstream* de **5.304,3tCO<sub>2</sub>e** e **520,84 tCO<sub>2</sub>e biogênico** durante todo 2018.

#### **V.2.5.4.2. Viagens a Negócios**

Nesta subcategoria, foram estimadas as emissões provenientes do deslocamento aéreo de funcionários a trabalho. Já que os deslocamentos terrestres de natureza eventual, como taxi, uber ou transfer, não possuem mecanismo de controles suficientes.

Para se estimar as emissões desta fonte, foi necessária a compilação de todos os requerimentos de compra de passagens aéreas da empresa no ano de 2018 e registrando os aeroportos de origem e de destino final além do número de solicitações de compra de cada documento. A partir da distância dos voos, a aba da ferramenta de cálculo selecionada o fator de emissão mais adequado, segmentando entre viagens curtas como menores de 500 Km, viagens médias, entre 500 e 3700 Km, e viagens longas, para trajetos maiores do que 3700 Km.

Desta forma, foi possível utilizar a aba de ferramenta de cálculo da subcategoria, ao se multiplicar o somatório das distâncias de cada tipo de viagem pelo seu respectivo fator de emissão. Esse procedimento gerou uma estimativa de emissão de **40,34 tCO<sub>2</sub>e**.

#### **V.2.5.4.3. Deslocamento de funcionários**

Esta subcategoria consiste em quantificar o deslocamento rotineiro dos funcionários para a unidade. Como a empresa disponibiliza, via terceirizada, linhas de transporte privadas para tal finalidade, foram levantadas, junto a empresa, as rotas exatas de todas as linhas de transporte fornecidas, os anos de fabricação e os tipos de frotas, ônibus, micro-ônibus, vans ou carros de passeio, que realizam tais trajetos. Este levantamento foi realizado tanto para transporte de funcionários do horário administrativo quanto para funcionários em regime de escalas em turno.

Munido destas informações foi possível realizar uma estimativa, via ferramenta de cálculo, de emissão através da distância percorrida. O processo consiste em estimar um consumo de combustível referentes a cada tipo de frota utilizada. Multiplicando a estimativa de

consumo pelo fator de emissão referente ao tipo de frota, se obtém a emissão da subcategoria em tCO<sub>2e</sub>. Para essa subcategoria, foram estimadas emissões de **232,89 tCO<sub>2e</sub>** e **26,88 tCO<sub>2e</sub> biogênico**.

#### **V.2.5.4.4. Transporte *Downstream***

A subcategoria de transporte *downstream* possui estrutura de cálculo semelhante da subcategoria *upstream*, no entanto sua fonte de informação é diferente. Isto porque os embarques foram obtidos do relatório de vendas, que fornece datas, número e peso de carretas para cada cliente além de outras informações não pertinentes ao presente trabalho.

Uma vez quantificado o número de embarques e o peso médio de cada embarque para cada um dos clientes, a próxima etapa seria a avaliação do trajeto entre a unidade inventariada e cada cliente levando em conta todos os modais de transporte. Assim como no transporte *upstream*, dois tipos de transporte tiveram de ser avaliados, os modais terrestre e hidroviário.

Em posse de todas dessas informações, foi possível estimar as emissões dessa subcategoria utilizando a ferramenta de cálculo que teve seu procedimento explanado na Figura 28, já exposto no tópico de transporte *upstream*. Após o procedimento foi estimado uma emissão de transporte *downstream* de **6.322,09 tCO<sub>2e</sub>** e **447,25 tCO<sub>2e</sub> biogênico**.

#### **V.2.6. Compilação do relatório de emissões de GEE**

A última etapa da elaboração do relatório tem como principal intenção a sintetização dos dados das várias unidades e fontes de emissão de forma padronizada e esquematizada. Essa padronização depende diretamente da estrutura organizacional, da abordagem de consolidação adotada e das premissas adotadas na geração do relatório. Ainda assim, o PBGHGP oferece algumas diretrizes para se guiar, sendo algumas destas:

- Uma breve descrição das fontes de emissão e os dados de emissões para os GEEs separadamente
- Uma lista e explicação de exclusões ou inclusões de fontes

- Definição do ano base e perfil das emissões ao longo do tempo
- O período da comunicação abrangido e as metodologias usadas para calcular ou medir emissões
- Quaisquer tendências evidentes nos dados
- Progresso em relação a quaisquer metas anteriormente estabelecidas
- A discussão das incertezas nos dados comunicados das emissões
- Uma descrição de acontecimentos e mudanças que tenham impacto nos dados comunicados

Além dessas diretrizes, o PBGHGP também recomenda outras atividades além da elaboração do inventário para que a gestão de GEE de uma companhia seja considerada eficaz: como o estabelecimento de metas de controle de emissões, ainda que voluntárias, monitoramento de emissões ao longo do tempo, observando se o perfil de emissões da empresa foi alterado com o tempo e a seleção de um ano base ou eventual recálculo das emissões de um ano base. Todas essas atividades possuem diretrizes próprias específicas e estão expostas no documento “Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol”.

### **V.3. Limitações do inventário**

No decorrer da elaboração do relatório de emissões de GEE, algumas fontes de emissão não foram possíveis de se obter estimativas com confiabilidade suficiente devido a uma gama de motivos que serão expostos neste tópico de forma segmentada por fonte de emissão.

**Emissões de produção de matérias primas:** A fonte de emissão atrelada ao preparo das matérias primas não pode ser estimada devido principalmente a grande complexidade de dois fatores: A complexidade dos processos de obtenção da matéria prima em si, como na obtenção de informações sobre a empresas que fornecem tais matérias primas.

A complexidade dos processos de obtenção decorre do fato de que grande parte das matérias primas obtidas são decorrentes da mineração de substratos específicos, na qual a descrição e o detalhamento do processo de beneficiamento são considerados como diferenciais competitivos. Essa característica induz os fornecedores a ser manterem em sigilo seus processos e por consequência, seus impactos.

Outro fator que impossibilitou a estimativa foi dificuldade de obtenção de dados de fornecedores de diferentes partes do planeta. Apesar de formalizar padrões de reportes numa escala global, a ISO 14064 não possui poder de obrigação de reporte das emissões para o público em geral. O repasse dessas informações dependem da legislação de cada nação. Algumas das empresas fornecedoras, situadas no exterior, não apresentam seus dados de suas emissões de GEE de forma pública.

**Emissões decorrentes do uso de produtos:** A fonte de emissão referente ao uso de catalisadores de craqueamento catalítico decorre do processo de regeneração do catalisador na unidade. A queima do coque no regenerador gera uma grande quantidade de CO<sub>2</sub> em seu processo pois retira todo o carbono que ficou retido na superfície do catalisador na forma mais oxidada possível. A estimativa para esse processo foi de certa forma simples e precisa, bastando considerar a composição dos gases de exaustão da chaminé do sistema de regeneração, que já apresenta monitoramento constante para controle da unidade.

Alguns valores estimados para algumas unidades chegaram a ser calculados, no entanto a política de sigilo de informação da empresa foi impeditiva no uso de dados de clientes sem o consentimento dos mesmos. Como o processo de liberação do uso de dados de diversos refinadores no mercado sul-americano não seria algo trivial de se obter, a estimativa não pode ser divulgada.

**Efluentes sanitários:** A emissão decorrente do tratamento de efluentes tratados por terceiros não foi possível devido a não disponibilidade de todos os dados de qualidade do período inventariado. Apesar de solicitações, só foi possível obter os dados de qualidade dos meses de janeiro, abril e junho. Pode-se observar, no entanto, que a contribuição desta fonte de emissão não seria muito expressiva frente as demais caso a tendência dos três meses obtidos se mantivesse, com média de 954 mg/L DBO de afluente e 29 mg/L de efluente. Além disso a vazão de média durante todo o período não foi elevada, cerca de 1.163 m<sup>3</sup>.

A relação entre a DBO e as emissões de GHG se dá pelo processo de tratamento do material orgânico do efluente, que em muitos casos, acarreta a liberação de CH<sub>4</sub> no processo. Caso o volume de efluente e a carga orgânica tratada fosse muito elevada, possivelmente esta fonte de emissão poderia se tornar relevante.

**Resíduos gerados no processo:** Nesta possível fonte de emissão, foi necessária a segmentação em dois grandes grupos. Resíduos de processo industrial e Resíduos de atividades administrativas.

A estimativa de resíduos gerados pelas atividades administrativas não foi possível de ser realizada devido destinação que estes materiais são dados. A empresa possui uma política de segregação de resíduos para futura destinação mais adequada. Em grande parte, esses materiais são destinados a reciclagem. Os materiais de natureza orgânica são tratados via compostagem. No entanto, como a quantidade é pequena, o valor de contribuição frente as demais emissão se torna irrisória. Somente o resíduo administrativo denominado “lixo comum” é destinado ao aterro de Seropédica que possui sistema de recuperação de biogás implantado, reduzindo seu impacto ambiental.

Os resíduos gerados do processo industrial não tiveram sua estimativa calculada devido a sua natureza química, já que os sólidos gerados são basicamente compostos inertes, sendo praticamente uma mistura de aluminossilicatos com sais inorgânicos residuais. No seu processo de degradação final, que ocorre em aterros sanitários, não há possibilidade de liberação de qualquer GEE para a atmosfera.

#### **V.4. Exclusões**

Além das fontes de emissão enquadradas nas limitações, outras fontes de emissão de GEE também não foram contabilizadas no relatório final, por se tratar de fontes com impactos muito pequenos frente as incertezas atreladas em processos de quantificação, de tal forma que não se consegue diferenciar a incerteza (ruído do método) da emissão em si.

**Emissões de Destinação final:** No processo de final de ciclo de vida na do produto, os catalisadores gastos possuem algumas destinações possíveis. Podendo ser utilizados como carga inerte em cimenteiras, serem reutilizados como catalisadores em outros processos que necessitam do emprego de peneiras moleculares, mas em último caso, são descartados em aterro industriais. As refinarias definem, dentro das opções economicamente viáveis, a destinação final do material após seu uso. Torna-se válido ressaltar que ainda que o material seja descartado em aterros, o mesmo não afetará a liberação de GEE para a atmosfera pois o mesmo é classificado com inerte.

**Efluentes industriais gerados na operação:** Ao se analisar a composição do efluente industrial descartado pela empresa, tornou-se evidente que o rejeito não possui material orgânico algum em sua composição. O único fator passível de impacto na liberação de GEE na

atmosfera seria a liberação de  $\text{NH}_3$  dissolvida no efluente que ao ser liberada, reage na atmosfera, formando após uma cadeia de reações o GEE  $\text{N}_2\text{O}$ .

No entanto, o padrão de qualidade para especificação do efluente é de 15 ppm de  $\text{NH}_3$  e durante o ano não houve descarte de efluente fora de especificação. Desta forma podendo-se presumir que a contribuição para emissões de GEE do efluente foram ínfimas, já que mesmo com o volume anual descartado e a liberação total da  $\text{NH}_3$  para a atmosfera, não chegaria à marca de uma tonelada de amônia descartada. Torna-se relevante destacar que a solubilidade da amônia depende do pH do efluente e que a liberação total é praticamente impossível nas condições presentes na natureza.

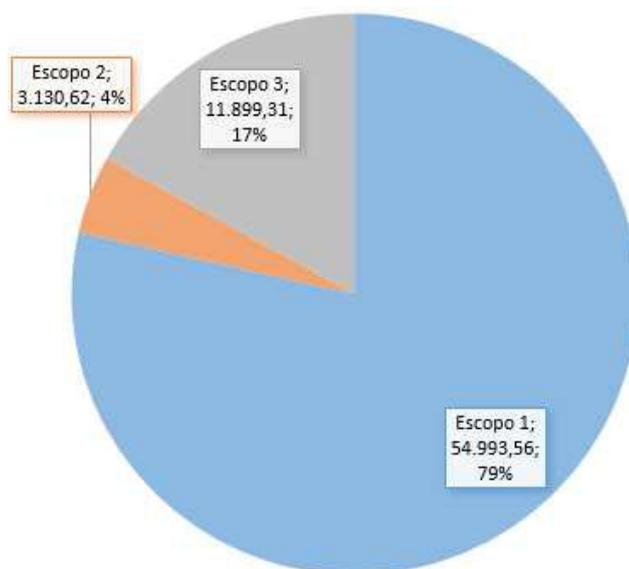
**Bens arrendados:** A fonte de emissão referida a bens arrendados se refere aos galpões alugados pela empresa para funcionarem como centro de distribuição mais próximos de clientes com consumos muito elevados. Essa estrutura logística é fundamental não só para garantir o fornecimento de forma segura, como reduz os gastos por parte da empresa.

Como as atividades realizadas nestes bens são exclusivamente de acondicionamento de produto e armazenamento, não ocorrem fontes de emissão nos locais, somente o uso de energia elétrica em quantidades ínfimas em comparação as demais fontes de emissão.

## VI. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### VI.1. Panorama geral de emissões

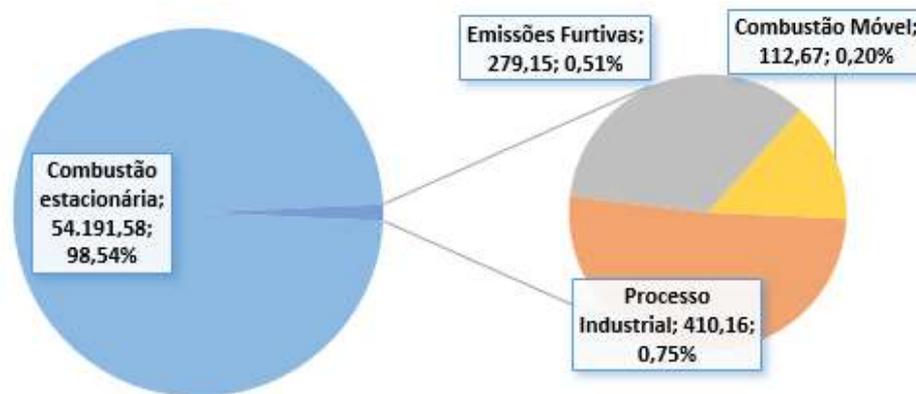
Após consolidar os dados de todas as fontes de emissão calculadas, foi estimado uma emissão total de **70.023 tCO<sub>2</sub>e** e **1.011 de tCO<sub>2</sub> biogênico** para a empresa no ano de 2018. Os percentuais de contribuição de cada escopo foram expressados na figura 29.



**Figura 29** - Distribuição das emissões totais de GEE calculadas por escopo (tCO<sub>2</sub>e).

Fonte: Elaboração própria.

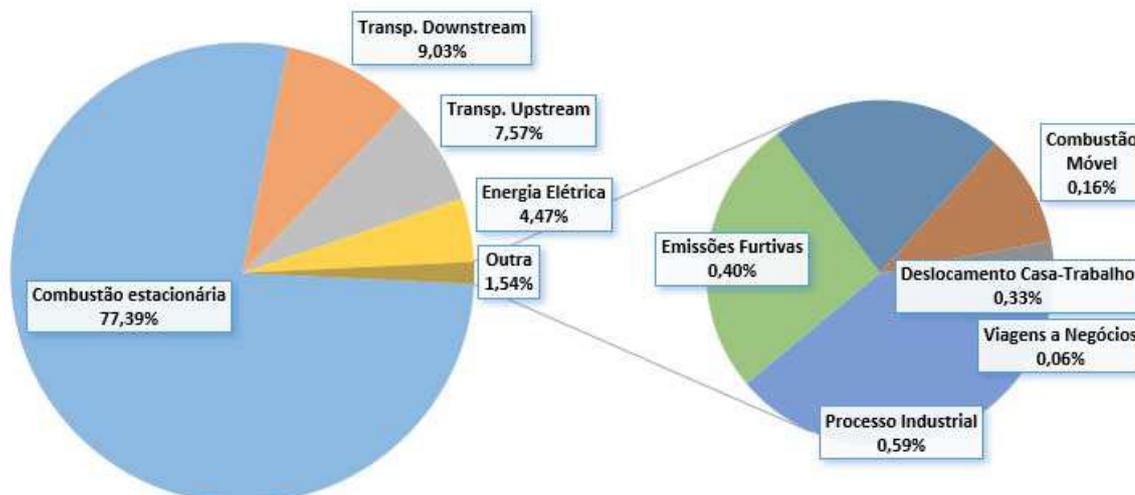
Pode-se notar uma clara predominância das emissões diretas no panorama de emissões da empresa, que por sua vez, se segmentam conforme a Figura 30 indica.



**Figura 30** - Distribuição das emissões do Escopo 1. Fonte: Elaboração Própria

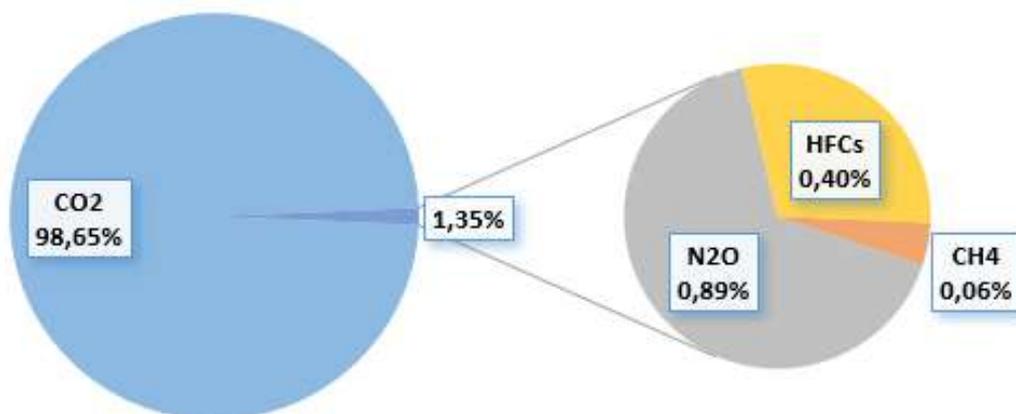
Desta forma observa-se que a fonte de emissão de combustão estacionária na realidade corresponde a aproximadamente 77% de todas as emissões inventariadas. Essa predominância se tornaria ainda mais contundente caso fosse feita uma análise de somente os escopos 1 e 2, obrigatórios de serem reportados. Desta forma, fica evidente que as estratégias de redução devem ser voltadas especificamente para a mitigação desta fonte de emissão que será analisada mais a fundo no tópico específico do tema.

Ao se considerar as emissões inventariadas nos escopos 2 e 3 nesta distribuição, observado na Figura 31, pode-se analisar que o panorama de emissões se torna mais segmentado, ainda assim, a predominância da categoria de combustão estacionária prevalece.



**Figura 31** - Distribuição das emissões inventariadas nos escopos 1, 2 e 3. Fonte: Elaboração Própria

A próxima etapa de análise dos dados compilados se refere aos recortes de emissões por GEE emitidos. A predominância da combustão estacionária desempenhará novamente uma influência contundente nesta análise, como pode ser observado na Figura 32.



**Figura 32** - Participação percentual de tCO<sub>2</sub>e dos GEE nos três Escopos. Fonte: Elaboração própria.

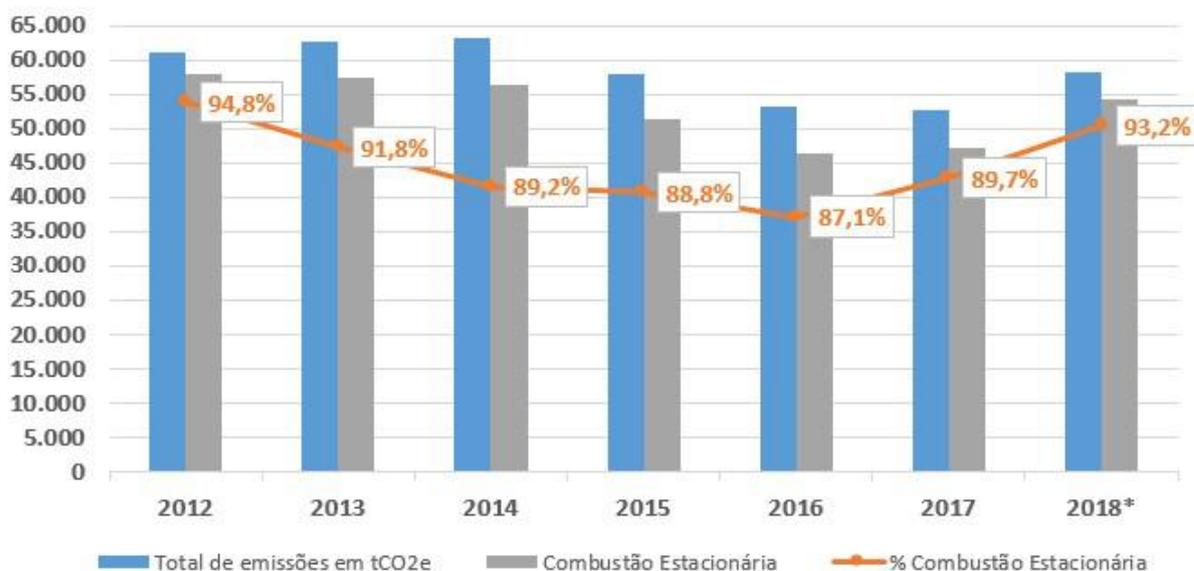
## **VI.2. Comparação com ano base**

A empresa já possui algumas práticas de gestão de emissões de GEE, como a definição do ano base, definido como 2012, ações de socioambientais de mitigação, como as práticas de compostagem e de coleta seletiva e a prática de monitoramento de emissão ao longo do tempo.

Graças a esse monitoramento, foi possível observar uma série histórica de duração considerável, sete anos. A evolução desses relatórios de monitoramento não pode ser comparada de forma direta frente ao presente trabalho já que algumas fontes de emissão levantadas nesta avaliação não foram levantadas nos anos anteriores.

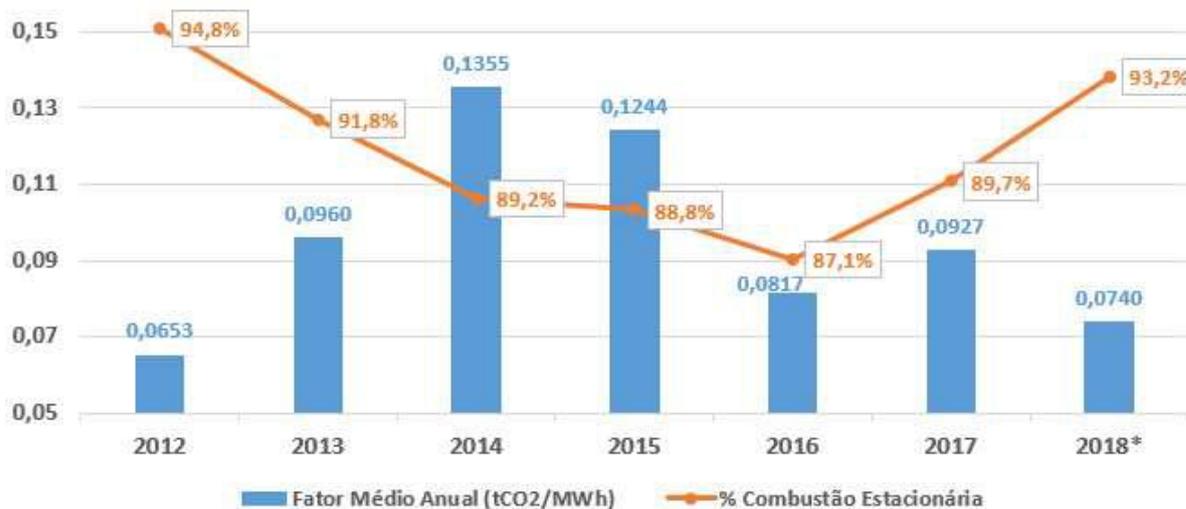
Ainda assim, pode se comparar as tendências dos anos anteriores, as estimativas do presente trabalho após a retirada das fontes de emissão exclusivas do trabalho no panorama de emissões, sendo estas, todas as fontes do escopo 3 que não eram avaliadas.

Esse comparativo indicado na Figura 33 indica duas características marcantes da operação de empresa que são: predominância do gás natural como principal fonte de emissão e a forte correlação entre o volume anual de produção com o volume de emissões de GEE anuais, apesar dos percentuais de emissões permanecerem estáveis.



**Figura 33** – Histórico de emissões totais e de combustão estacionária. Fonte: Elaboração Própria

A queda do percentual da combustão estacionária frente ao total de emissões no período de 2013 até 2016, está diretamente relacionada a crise hídrica brasileira que acarretou em um aumento no uso de termoeletricas que, por sua vez, aumentaram os fatores de emissão do SIN, como pode se observar Figura 34, que indica a série histórica dos fatores de emissão do sistema nacional juntamente com o percentual de contribuição de combustão estacionária do período.



**Figura 34** - Evolução dos fatores de emissão de CO<sub>2</sub> do SIN e o percentual de contribuição de combustão estacionária no inventário. Fonte: Elaboração Própria

No entanto, a correlação ressaltada anteriormente não explica a evolução do percentual de combustão estacionária, principalmente no biênio 2016-2017. Essa divergência ocorreu devido à alteração no balanço de utilização de duas rodas tecnológicas de produção que apresentam consumo de gás natural bem distintos entre si.

Infelizmente os dados de produção anual da empresa que não puderam ser explicitados por uma questão estratégica. Ainda assim, pode-se observar que as estimativas do presente trabalho foram condizentes com o panorama e volume de emissões da série histórica recente.

### **VI.3. Comparativo com empresa do mesmo segmento**

No processo de comparação entre plantas de produção do mesmo segmento, houve algumas dificuldades devido a própria estrutura organizacional dos competidores e da escala de produção apresentada por eles.

A complicação atrelada a estrutura organizacional dos competidores será relacionada ao fato de todas as empresas concorrentes do segmento atuarem em diversos outros segmentos, como fica evidente na Tabela 3. Essa atuação em diversos mercados compele que os competidores divulguem seus relatórios de emissão de forma a consolidar para todos os produtos que os mesmos produzem.

Desta forma, o relatório preliminar desenvolvido no presente trabalho não poderia ser diretamente comparado aos documentos disponibilizados pelos competidores, já que a empresa atua apenas em um único segmento.

O outro empecilho para a comparação do impacto ambiental da empresa frente a concorrência no setor se apresenta na forma de escala de produção. Uma vez que as principais concorrentes mapeadas são empresa multinacionais com escala de produção global, como capacidade produtiva de várias vezes maiores que a capacidade de produção da empresa inventariada.

#### **VI.4. Oportunidades de melhoria nas estimativas**

Durante o desenvolvimento do presente trabalho, foi possível identificar algumas oportunidades de melhorias para aprimorar o sistema de gestão de emissões de GEE, principalmente na formação de padrões de coleta de dados de terceiros. Já que todas as estimativas de fontes de emissão baseadas em distância percorridas possuem grau de incerteza mais elevados que procedimentos baseados no consumo de combustível atrelado a atividade.

Outro ponto a se considerar é o estabelecimento de metas de redução baseados em indicadores mais apropriados ao segmento que a empresa está inserida. O indicador mais apropriado para tal parametrização já está destacado no atual modelo de relatório de emissões atmosféricas da empresa, que seria um indicador de emissão atmosférica intensivo referente a

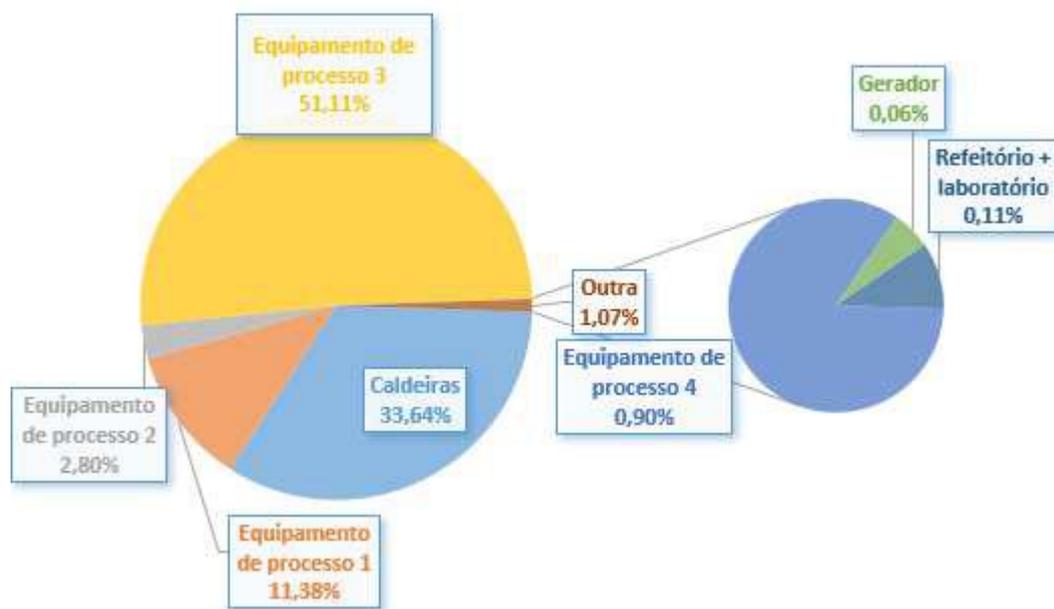
produção da empresa. Ou seja, o total de tCO<sub>2</sub>e inventariado seria dividido pela quantidade de toneladas produzidas pela empresa no ano inventariado.

Desta forma, seria aferida a intensidade de emissão da tecnologia de empregada pela empresa. Esta metrificação é fundamental para nortear os investimentos da empresa no desenvolvimento de projetos e aprimoramentos do seu processo produtivo atual para a geração de uma tecnologia de produção mais limpa e sustentável.

## **VI.5. Estratégias de mitigação**

Seguindo a temática do tópico anterior, a próxima etapa consiste na identificação e desenvolvimento de estratégias para mitigação das emissões inventariada pelo trabalho. Mas para isso se torna primordial identificar com precisão, a nível de equipamento ou atividade, qual seria a principal fonte de emissão da empresa.

Com já foi avaliado anteriormente na Figura 30, a categoria mais contundente em termos de emissões atmosféricas está atrelada a combustões estacionárias. No entanto, esta categoria compreende diversos equipamentos e processos produtivos avaliados dentro dos limites operacionais. Devido a essa condição, foi segmentar a categoria por equipamentos para uma avaliação mais precisado do impacto de cada componente da categoria, gerando a Figura 35.



**Figura 35** – Segmentação de emissões de combustão estacionária. Fonte: Elaboração Própria

Na Figura acima, se torna evidente que as emissões da categoria estão diretamente atreladas ao consumo de gás natural de origem fóssil, que é consumido pelos cinco maiores poluidores da Fábrica, correspondendo a cerca 99,83% das emissões de combustão estacionárias. Portanto, para que os projetos de mitigação tenham a maior contundência possível, estes devem abordar efetivamente a utilização do gás natural.

Antes da elaboração do presente trabalho, já se encontrava em desenvolvimento um projeto de substituição do insumo energético das caldeiras para biomassa como alternativa mais ecológica. No entanto, uma avaliação preliminar de viabilidade econômica simplória apontaria algumas problemáticas sobre este projeto, tais como:

- A implementação acarretaria o custo de mudança tecnológica das caldeiras que atualmente operam a gás natural;
- A elaboração de processos de gestão de resíduos gerados pela nova fonte de insumos, como a retenção de particulados e fuligem gerados, o que iria requerer a instalação de um filtro manga ou scrubber;
- A curva de aprendizado para operação otimizada após a troca geraria um período de custos mais elevados;

- A menor eficiência energética, devido ao menor poder calorífico, acarretaria num maior consumo de matéria prima para a obtenção de uma mesma quantidade de vapor;
- Transporte da matéria prima do local de fornecimento e transporte dos resíduos gerados para os locais de descarte causaram impacto ambiental em termos de emissões atmosféricas;
- O impacto do projeto aborda menos de 34% das emissões atmosféricas atreladas a combustão estacionária.

Com as seguintes considerações relevadas, se torna natural a tentativa de desenvolvimento de um projeto alternativo que possua não só uma abordagem mais ecológica, mas também mais rentável para a empresa.

A alternativa mais viável encontrada na literatura seria a utilização de biometano como substituto direto do gás natural não renovável, já que o mesmo pode ser utilizado como uma fonte energética “*drop-in*”, na qual não necessitam de ajustes na atual tecnologia, além do aumento claro de escopo do projeto já que poderá ser implementado em todos os equipamentos. Ou seja, impactaria cerca de 99,83% das emissões da categoria, não somente 34%.

Outra vantagem para na utilização desta alternativa, seria que a especificação para comercio do biometano, definida pela ANP, é idêntica em praticamente todas em todos os parâmetros de controle se comparada a especificação do gás natural, o que já garante um nível de qualidade próximo, como pode-se observar na Tabela 14.

**Tabela 14** – Principais parâmetros de especificação para comercialização de Gás Natural fóssil e Biometano. Fonte: ANP, 2008 e 2017.

<b>Parâmetro</b>	<b>Gás natural</b>	<b>BioMetano</b>
<b>Poder calorífico Superior - (kJ/m<sup>3</sup>)</b>	35.000 a 43.000	35.000 a 43.000
<b>Índice de Wobbe - (kJ/m<sup>3</sup>)</b>	46.500 a 53.500	46.500 a 53.500
<b>Metano, mín (%mol)</b>	85,0	90,0
<b>Etano, máx (%mol)</b>	12,0	anotar*
<b>Propano, máx (%mol)</b>	6,0	anotar*
<b>C<sub>4+</sub>, máx (%mol)</b>	3,0	anotar*
<b>O<sub>2</sub>, máx (%mol)</b>	0,5	0,8
<b>CO<sub>2</sub>, máx (%mol)</b>	3,0	3,0
<b>Enxofre Total, máx (mg/m<sup>3</sup>)</b>	70	70
<b>H<sub>2</sub>S, máx (mg/m<sup>3</sup>)</b>	10	10

\* A determinação somente deve ser realizada quando houver a adição de gás natural, GLP ou propano.

No entanto, torna-se fundamental ressaltar as possíveis problemáticas enfrentadas na implementação deste projeto. Uma das primeiras complicações identificadas seria a escala requerida para a substituição de todo o consumo de gás natural da empresa. Tal problemática foi sanada com o aumento da escala de produção de biogás proveniente do aterro sanitário de Seropédica, que se encontra a apenas 11 Km da fábrica.

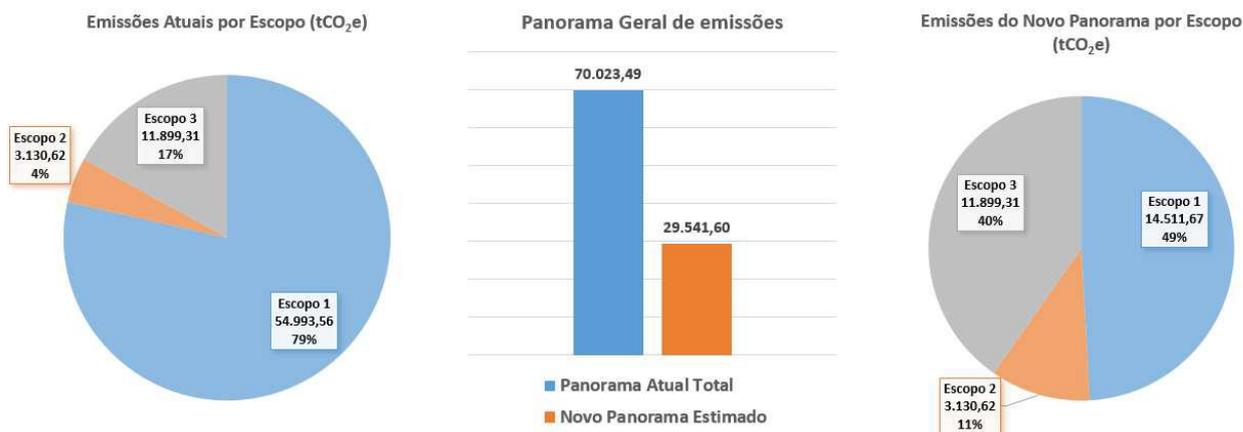
Segundo reportagem da EBC (GANDRA, 2019), e posteriormente confirmada via contato direto com o fornecedor, este “revamp” ainda está em processo de validação, mas a capacidade produtiva estimada atenderia a demanda da empresa. Ainda segundo a reportagem, a capacidade produtiva plena de 200 mil m<sup>3</sup> por dia, no entanto, segundo o fornecedor cerca de dois terços da produção já estariam comprometidos em contratos de fornecimentos.

Sendo a média de consumo diária de gás natural da planta foi de cerca de 71,6 mil m<sup>3</sup> no ano inventariado, e tendo apenas cerca de 66,6 mil m<sup>3</sup> disponível, fica impossibilitada a substituição total somente com este fornecedor. Também se torna pouco razoável considerar que a capacidade plena será atingida e estabilizada num processo industrial ainda em implementação. Desta forma, se torna mais prudente considerar apenas a substituição de 75% do consumo de gás natural, ou seja, um fornecimento de apenas cerca de 53,7 mil m<sup>3</sup> diários.

Outro ponto a se considerar neste projeto de mitigação é a logística adicional gerada pela troca de combustíveis, pois o fornecimento atual ocorre pela rede de gasodutos da Naturgy (antiga CEG). No entanto, o novo ponto de fornecimento necessita desenvolver uma rede de logística independente. Os contratos de fornecimento já em curso pelo fornecedor preveem uma distribuição via malha rodoviária, por meio de carretas de gás comprimido, mas este tipo de distribuição acarretaria mais emissões atmosféricas, ainda que em menor escala.

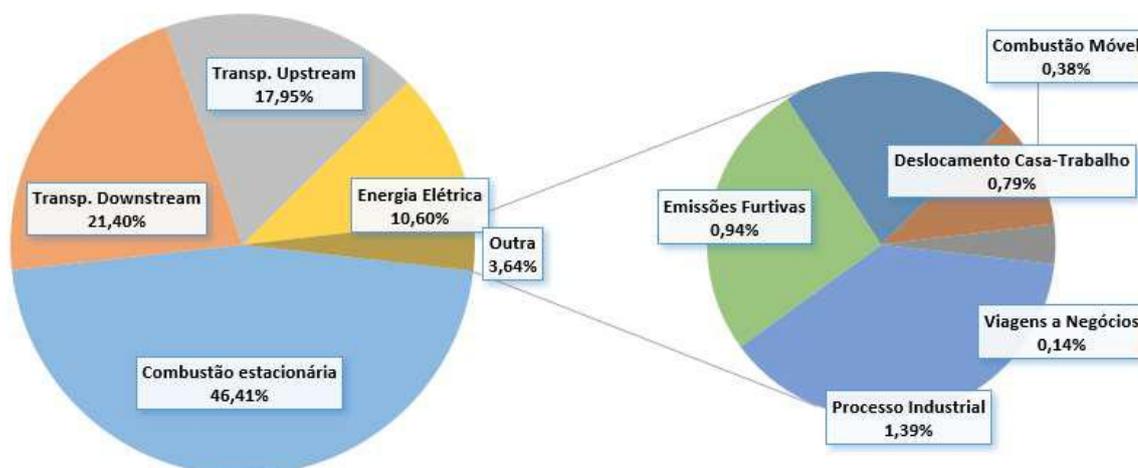
A alternativa logística mais recomendada do ponto de vista ecológico seria a implementação de um gasoduto conectando o ponto de fornecimento e o consumo. Esta alternativa possui vantagens não só ambientais quanto econômicas, já que não requer a instalação de sistemas próprios de armazenamento do gás e o custo de construção do gasoduto, que não é muito elevado devido a pequena distância entre fornecimento e consumo, ainda pode ser reduzido pela implementação conjunta com a outra empresa que já possui contrato de fornecimento e se encontra no mesmo distrito industrial da empresa inventariada.

Caso todas as propostas forem implementadas, o panorama de emissões se tornaria bem diferente da situação atual da empresa, não só em termos de escala, como também em segmentação. A redução estimada total seria em torno de 58%, enquanto a redução na categoria de combustão estacionária apresentou uma redução de 75% em suas emissões atmosféricas. Isto porque, como já foi exposto anteriormente, todas as fontes de emissão de combustíveis biogênicos renováveis, devem ser estimadas, mas não podem ser adicionadas ao inventário de emissões. Tais alterações podem ser observadas na Figura 36.



**Figura 36** – Comparativos de Panoramas de emissões. Fonte: Elaboração Própria

Neste novo panorama proposto a categoria de combustão estacionária, alocada no escopo 1 reduziu bastante seu grau de importância frente às demais fontes, no entanto ainda continua sendo a maior fonte de emissão, como pode ser observado na Figura 37.



**Figura 37** – Novo panorama de emissões segmentado por categorias de emissão.

Fonte: Elaboração Própria.

Os dados e estimativas já foram repassadas para um grupo de trabalho interno da empresa e o projeto de mitigação já se encontra em estudo para possível implementação.

## VII. CONCLUSÃO

A preocupação dada à pauta de mudanças climáticas do planeta por governos e instituições não é algo recente, gerando inclusive acordos internacionais e órgãos intergovernamentais para tratar exclusivamente do tema. No entanto, a recente onda de lideranças mundiais reticentes as bases teóricas que fundamentam a teoria defendida pela comunidade científica, tornam a identificação, quantificação e mitigação das fontes de emissão atmosféricas ainda mais fundamentais para a prevenção ou diminuição de uma catástrofe climática sem precedentes. Os inventários de emissão de GEE ainda são os melhores instrumentos para reagir a tal possibilidade.

A metodologia para o desenvolvimento de tais documentos, tanto para empresas quanto para países, foi amplamente debatida e validada pelo IPCC, além de se encontrar em constante revisão para práticas e informações mais atualizadas pela comunidade científica. Tais metodologias foram replicadas pelo contexto nacional pela GVces que não só manteve a elaboração de forma sistemática, seguindo passo-a-passo o cálculo dos escopos, como também desenvolveu ferramentas de cálculo generalistas e para setores em específico. Todo este desenvolvimento se encontra detalhadamente descrito nas “Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol”.

A metodologia proposta foi teve aplicação fácil e a ferramenta de cálculo desenvolvida pelo PBGHGP foi essencial para a elaboração do relatório parcial, já que o principal complicador do presente trabalho estava na compilação e organização de uma grande quantidade de dados. Outro fator que favoreceu utilização da ferramenta de cálculo foi o fato de as principais fontes de emissão já se encontrarem modeladas pelo programa, o que não seria verdade caso fosse necessário a quantificação de emissões mais específicas.

A análise do panorama de emissões inventariadas confirmou a predominância de uma categoria alocada no escopo 1, combustões estacionárias. Ou seja, após a reanálise de todas as emissões obrigatórias de escopo 1 e 2, mais o levantamento das emissões inventariáveis no escopo 3, as emissões de combustões estacionárias correspondia a pouco mais de 75% das emissões de todas as emissões envolvendo a empresa.

A partir desta constatação, foi desenvolvido uma proposta de plano de mitigação na qual se reduz as emissões atmosféricas inventariáveis pela substituição da fonte de combustíveis. Foi estimado que o impacto de emissões atmosféricas da empresa possa atingir uma redução de mais 50% das emissões caso sejam realizadas todas as propostas do presente trabalho.

Cabe ressaltar, no entanto, que as estimativas carecem da utilização de diversos fatores que apresentam caráter variável de um ano para o outro, como a matriz energética nacional, o mix de produção, a demanda de compras de matérias primas específicas, para listar alguns exemplos. Mas se torna inegável que o impacto ambiental gerado pela empresa seria reduzido em grande escala, caso o projeto seja implementado.

A gestão e o gerenciamento de emissões de GHG deve ser um esforço contínuo que pode ser benéfico não só para o meio ambiente quanto própria empresa. Pois ao se desenvolver outros planos de mitigação e sistema de compensação para abater ainda o efeito da empresa, a mesma pode ter ganho econômicos diretos destas ações.

## VIII. Referências

ABADIE, E. **Craqueamento catalítico**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 1997.

ALB – Albemarle Corporation. **Locations**. 2019. Disponível em: <<https://www.albemarle.com/locations>>. Acesso em: 15 nov. 2019.

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Resolução ANP Nº 16**, de 17.6.2008 - DOU 18.6.2008

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Resolução ANP Nº 685**, de 29.6.2017 - DOU 30.6.2017

ARNOLD, T. *et al.* Nitrogen trifluoride global emissions estimated from updated atmospheric measurements. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)**, v. 110, n. 6, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14064-1**: Gases de efeito estufa. Parte 1: Especificação e orientação a organizações para quantificação e elaboração de relatórios de emissões e remoções de gases de efeito estufa. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

BANERJEE, A; SINGH, A. **Catalyst demand growth projected at 1.1% through 2040**. Disponível em: <<https://stratasadvisors.com/Insights/2019/030119-Catalyst-Market-Outlook>>. Acesso em: 13 nov. 2019.

BASF. **Locations**. 2019. Disponível em: <<https://www.basf.com/global/en/who-we-are/organization/locations.html>>. Acesso em: 15 nov. 2019.

BILLINGS, L. **Five billion years of solitude**: the search for life among the stars. New York: Penguin Putnam Inc, 2013.

BRAESICKE, P. **Middle atmosphere**: zonal mean climatology - encyclopedia of atmospheric sciences, 2015, p. 50-56.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Política nacional sobre mudança do clima**. 2019. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/clima/politica-nacional-sobre-mudanca-do-clima.html>>. Acesso em: 9 nov. 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. 2018. **Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018**. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=740>>. Acesso em: 10 set. 2019.

BUTLER, J. H.; MONTZKA, S. A. **The NOAA annual greenhouse gas index (AGGI)**. 2019. Disponível em: <<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html>>. Acesso em: 28 set. 2019.

CABRELON, M. D. *et al* . Efeito do tempo de exposição a uma atmosfera coqueificante na microestrutura e nas propriedades de um concreto refratário usado na indústria petroquímica. **Cerâmica**, São Paulo, v. 58, n. 346, p. 195-204, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132012000200009>>. Acesso em: 12 nov. 2019.

CDM – CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM. United Nations Framework Convention On Climate Change. 2005. **Twenty-second meeting report**. Disponível em: <<https://cdm.unfccc.int/EB/022/eb22rep.pdf>>. Acesso em: 2 nov. 2019.

CDM – CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM. United Nations Framework Convention On Climate Change. 2012. **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: 2 nov. 2019.

CDM – CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM. United Nations Framework Convention On Climate Change. 2015. **CERs issued by host party**. Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20070718183925/http://cdm.unfccc.int/Statistics/Issuance/CERsIssuedByHostPartyPieChart.html>> Acesso em: 2 nov. 2019.

D'AVIGNON, A. **Metodologia de inventário de emissões de GEE “do” Estado**

**Federativo: energia e transportes.** 2007. Disponível em:

<[http://www.forumclima.pr.gov.br/arquivos/File/aa\\_miegee.pdf](http://www.forumclima.pr.gov.br/arquivos/File/aa_miegee.pdf)> Acesso em: 13 nov. 2019.

DANIELSON, E. W.; LEVIN, J.; ABRAMS, E. **Meteorology.** Califórnia: McGraw Hill, 2003.

DENTENDER, F. *et al.* Atmospheric Chemistry and Greenhouse Gases. Genebra: IPCC, 2001. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/TAR-04.pdf>>. Acesso em 10 set. 2019.

ELROD, M. J. Greenhouse warming potentials from the infrared spectroscopy of atmospheric gases. **Journal of Chemical Education**, v. 76, n. 12, 1999.

ENGINEERING TOOLBOX. **Solubility of gases in water.** 2008. Disponível em: <[https://www.engineeringtoolbox.com/gases-solubility-water-d\\_1148.html](https://www.engineeringtoolbox.com/gases-solubility-water-d_1148.html)>. Acesso em: 9 set. 2019.

FELIX, E. P.; CARDOSO, A. A. Amônia (NH<sub>3</sub>) atmosférica: fontes, transformação, sorvedouros e métodos de análise. **Química Nova**, São Paulo, v. 27, n. 1, 2004.

FERRÃO, J. de A. **Estudo do inventário de emissões de gases de efeito estufa de uma planta de cosméticos no estado do Rio de Janeiro.** 2016. 123 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

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: 10 set. 2019.

FÓRUM CLIMA – AÇÃO EMPRESARIAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. Instituto Ethos. **Observatório de políticas públicas de mudanças climáticas.** 2019. Disponível em:

<<https://forumempresarialpeloclima.ethos.org.br/observatorio-de-politicas-publicas-de-mudancas-climaticas>>. Acesso em: 9 nov. 2019

FOUQUET, Roger. Historical energy transitions: Speed, prices and system transformation. **Energy Research & Social Science**, v. 22, p. 7-12. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629616301979>>. Acesso em: 4 set. 2019.

GANDRA, Alana. Rio ganha duas usinas que transformam lixo em energia limpa. 2019. Disponível em: < <http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2019-07/rio-ganha-duas-usinas-que-transformam-lixo-em-energia-limpa>> . Acesso em: 18 nov. 2019.

GHG PROTOCOL - THE GREENHOUSE GAS PROTOCOL. **Country programs**. 2019(b). Disponível em: <<http://ghgprotocol.org/country-programs>>. Acesso em: 12 nov. 2019.

GHG PROTOCOL - THE GREENHOUSE GAS PROTOCOL. **About us**. 2019(a). Disponível em: <<https://www.ghgprotocol.org/about-us>>. Acesso em: 12 nov. 2019.

GRACE – W. R. Grace & Co. **Locations**. 2019. Disponível em: <<https://grace.com/en-us/locations/Pages/default.aspx>>. Acesso em: 15 nov. 2019.

GUIMARÃES, C. de S. **Controle e monitoramento de poluentes atmosféricos**. Rio de Janeiro: Grupo Elsevier, 2016.

HEAL, M. R.; HEARD D. E.; PILLING, M.J.; WHITAKER, B.J. On the development and validation of FAGE for local measurement of tropospheric OH and HO<sub>2</sub>. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 52, n. 19, p. 3428-3440, 1995.

HIROKAWA, F. A. **Inventário de gases de efeito estufa em uma indústria de produção de gases no estado do Rio de Janeiro**. 2017. 152 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

ICAP. Emissions Trading Worldwide: **Status Report 2019: “Full Report”**, 2019 (b)

Disponível em:

<[https://icapcarbonaction.com/en/?option=com\\_attach&task=download&id=625](https://icapcarbonaction.com/en/?option=com_attach&task=download&id=625)> Acesso em: 7 nov. 2019.

ICAP. Emissions Trading Worldwide: **Status Report 2019: Executive Summary**”, 2019(a)

Disponível em:

<[https://icapcarbonaction.com/en/?option=com\\_attach&task=download&id=613](https://icapcarbonaction.com/en/?option=com_attach&task=download&id=613)>. Acesso em: 7 nov. 2019.

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: 18 out. 2019.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate Change 2013: The Physical Science Basis: IPCC Working Group I Contribution to AR5. 2013. **Summary for policymakers**. Disponível em: <[http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5\\_SPM\\_FINAL.pdf](http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf)>. Acesso em: 22 set. 2019.

IPCC. **Climate change 1996: the science of climate change**. IPCC, Genebra, Suíça. Disponível em: <[https://books.google.com.br/books?id=k9n8v\\_7foQkC&printsec=frontcover&hl=pt-PT&source=gbs\\_vpt\\_buy#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.br/books?id=k9n8v_7foQkC&printsec=frontcover&hl=pt-PT&source=gbs_vpt_buy#v=onepage&q&f=false)>. Acesso em: 4 out. 2019.

IPCC. **Climate Change 2001: the scientific basis**. Cambridge University Press: United Kingdom, 2001. Disponível em:

<[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGI\\_TAR\\_full\\_report.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGI_TAR_full_report.pdf)> Acesso em: 8 out. 2019.

IPCC. **Climate change 2014**: synthesis report. IPCC, Genebra, Suíça, p. 1-6. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>>. Acesso em: 10 set. 2019.

J. A. RAVEN; P. G. FALKOWSKI. Oceanic sinks for atmospheric CO<sub>2</sub>. **Plant, cell and environment**, v. 22, issue 6, p. 741-755, 1999.

JOHNSON MATTHEY. **Contact us**. 2019. Disponível em: <<https://matthey.com/en/about-us/contact-us>>. Acesso em: 15 nov. 2019.

KREIBICH, N.; ARENS, C.; FECHTNER, H. **Programmes of activities**: first experiences with the programmatic CDM. 2019.

LASHOF, D. A. The dynamic greenhouse: feedback processes that may influence future concentrations of atmospheric trace gases and climatic change. **Climatic Change**, Netherlands, v. 14, issue 3, p. 213-242, 1989.

LESTER, Paul. **History of air conditioning**. Department of Energy. 2015. Disponível em: <<https://www.energy.gov/articles/history-air-conditioning>>. Acesso em: 1 out. 2019.

LORENZ, D. J.; DEWEAVER, E. T. The tropopause height and the zonal wind response to global. **Journal of Geophysical Research-Atmospheres**, v. 112, issue d10, 2007.

MACHADO, P. L. de A. carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Química Nova**, v. 28, n. 2, p. 329-334, 2005.

MCELROY, C. T.; FOGAL, P. F. Ozone: From discovery to protection. **Atmosphere-Ocean**, v. 46, issue 1, p. 1-13, 2010.

MUHLE, J. *et al.* Perfluorocyclobutane (PFC-318, c-C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>) in the global atmosphere. **Copernicus Publications**, v. 19, issue 15, 2019. Disponível em: <<https://www.atmos-chemistry.net/19/10335/2019/>>. Acesso em: 10 set. 2019.

NGGIP – NATIONAL GREENHOUSE GAS INVENTORIES PROGRAMME. **Publications**. 2019. Disponível em: <<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/index.html>> Acesso em: 14 nov. 2019.

OSSEIRAN, Nada; LINDMEIER, Christian. **9 out of 10 people worldwide breathe polluted air, but more countries are taking action**. 2018. Disponível em: <<https://www.who.int/news-room/detail/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>>. Acesso em: 30 ago. 2019.

PAPITASHVILI, N. E. [20--]. **MSIS-E-90 atmosphere model**. Disponível em: <[https://ccmc.gsfc.nasa.gov/modelweb/models/msis\\_vitmo.php](https://ccmc.gsfc.nasa.gov/modelweb/models/msis_vitmo.php)>. Acesso em: 18 set. 2019.

PBGHGP – 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. 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: 16 nov. 2019.

PBGHGP – PROGRAMA BRASILEIRO GHG PROTOCOL. **O programa brasileiro GHG protocol**. 2017. Disponível em: <<http://www.ghgprotocolbrasil.com.br/o-programa-brasileiro-ghg-protocol?locale=pt-br>>. Acesso em: 16 nov. 2019.

PRATHER, M. J.; HSU, J. NF<sub>3</sub>, the greenhouse gas missing from Kyoto. **Geographic Research Letters**, v. 35, issue 12, 2008.

ROSCOE, R. Rediscutindo o papel dos ecossistemas terrestres no sequestro de carbono. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v. 20, n. 2, p. 209-223, maio/ago. 2003.

SCC – Sinopec Catalysts Company. **About us**. 2019. Disponível em: <[http://scc.sinopec.com/scc/en/about\\_us/](http://scc.sinopec.com/scc/en/about_us/)>. Acesso em: 15 nov. 2019.

SCRIPPS INSTITUTION OF OCEANOGRAPHY (UC San Diego). **The keeling curve**. [20--]. Disponível em: <<https://scripps.ucsd.edu/programs/keelingcurve/>>. Acesso em: 9 set. 2019.

SEINFELD, J. H.; PANDIS, S. N. **Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change**. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 1998.

SHAPLEY, P. **Greenhouse gases**. 2010. Disponível em: <<http://butane.chem.uiuc.edu/pshapley/Environmental/L13/2.html>>. Acesso em: 21 set. 2019.

SUTTON, O. G., **Micrometeorology: a study of physical processes in the lowest layers of the Earth's atmosphere**. Krieger Pub Co, 1977.

UNFCCC – UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (Germany). **What is the Kyoto Protocol?** [20--]. Disponível em: <[https://unfccc.int/kyoto\\_protocol](https://unfccc.int/kyoto_protocol)>. Acesso em: 1 set. 2019.

UNFCCC – UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE 2005. **“Report of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Kyoto Protocol on its first session”** Disponível em: <<https://unfccc.int/resource/docs/2005/cmp1/eng/08a02.pdf>>. Acesso em: 7 nov. 2019.

UNFCCC – UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **Status of ratification**. [20--]. Disponível em: <<https://unfccc.int/process-and-meetings/the-convention/status-of-ratification/status-of-ratification-of-the-convention>> Acesso em: 18 out. 2019.

VAN DER WERF, G. *et al.* CO<sub>2</sub> emissions from forest loss. **Nature Geoscience**, v. 2, p. 737–738, 2009. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/ngeo671>>. Acesso em: 10 set. 2019.

WMO – WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Global Atmosphere Watch Programme (GAW)**. 2019. Disponível em:

<<https://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ghg/ghg9-en-online.html>>. Acesso em: 28 set. 2019.

LANDES, D. S. **The Unbound Prometheus: Technical Change and Industrial Development in Western Europe from 1750 to Present**. 1969. ISBN 978-0-521-09418-4