

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
ESCOLA DE QUÍMICA

Thais dos Santos Lucena



ANÁLISE DA EVOLUÇÃO RECENTE DOS PROJETOS DE
ARMAZENAMENTO E RECONVERSÃO DE CO₂ NO BRASIL E NO
MUNDO

RIO DE JANEIRO

2023

Thais dos Santos Lucena

ANÁLISE DA EVOLUÇÃO RECENTE DOS PROJETOS DE ARMAZENAMENTO E
RECONVERSÃO DE CO₂ NO BRASIL E NO MUNDO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheiro Químico.

Orientador(es): Clarice Campelo de Melo Ferraz

Rio de Janeiro

2023

CIP - Catalogação na Publicação

L935a Lucena, Thais dos Santos
ANÁLISE DA EVOLUÇÃO RECENTE DOS PROJETOS DE
ARMAZENAMENTO E RECONVERSÃO DE CO2 NO BRASIL E NO
MUNDO / Thais dos Santos Lucena. -- Rio de Janeiro,
2023.
90 f.

Orientadora: Clarice Campelo de Melo Ferraz.
Trabalho de conclusão de curso (graduação) -
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de
Química, Bacharel em Engenharia Química, 2023.

1. Captura de carbono. 2. Indicadores de
emissões. 3. Gases de efeito estufa. 4. Mudança
Climática. I. Campelo de Melo Ferraz, Clarice,
orient. II. Título.

Thais dos Santos Lucena

ANÁLISE DA EVOLUÇÃO RECENTE DOS PROJETOS DE ARMAZENAMENTO E
RECONVERSÃO DE CO₂ NO BRASIL E NO MUNDO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Escola de Química da Universidade Federal do
Rio de Janeiro, como parte dos requisitos
necessários à obtenção do grau de Engenheiro
Químico.

Aprovado em 04 de julho de 2023.

Clarice Campelo de Melo Ferraz, D.Sc. Professor(a) Adjunto(a) da Escola de Química, UFRJ

Yordanka Reyes Cruz, D.Sc. Professor(a) Adjunto(a) da Escola de Química, UFRJ

Carlos Eduardo F. Young, D.Ph. Professor(a) Titular do Instituto de Economia, UFRJ

Rio de Janeiro
2023

Dedico esse trabalho, primeiramente, aos meus pais, que sempre me apoiaram, me ensinaram o valor da educação e estiveram ao meu lado nas conquistas alcançadas. Dedico também à todos os meus amigos da universidade, especialmente ao Allan e ao Mael e ao meu parceiro, Fabrício.



AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido contando com apoio financeiro da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP, e da Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP, por meio do Programa de Recursos Humanos da ANP para o Setor de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Agradeço também à Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ pela formação ofertada no curso de graduação e apoio ao programa.

Gostaria de agradecer especialmente ao Programa de Recursos Humanos da ANP nº 17.1 - PRH-EA UFRJ, que teve o objetivo de propiciar uma formação complementar em Engenharia Ambiental na Indústria do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis na área de Engenharia e Gestão de Baixo Carbono.

RESUMO

LUCENA, Thais dos S. **Análise da evolução recente dos projetos de armazenamento e reconversão de CO₂ no Brasil e no mundo**. Rio de Janeiro, 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

A urgência atual para descarbonizar as atividades produtivas do setor de petróleo se traduz em uma crescente pressão por maior compensação de emissões e adoção de tecnologias para captura e estocagem (CCS) e/ou captura, estocagem e utilização (CCUS) do dióxido de carbono (CO₂) pelas empresas petrolíferas. No entanto, o panorama global das plataformas de captura de CO₂ em escala industrial ainda é pouco desenvolvido e constitui um grande desafio para as empresas produtoras de petróleo e governos dos seus países sede (IEA, 2020). Neste contexto, o presente trabalho buscou avaliar a viabilidade e a importância da contribuição de grandes empresas do setor de óleo e gás (O&G) na redução do desequilíbrio climático a partir da adoção das tecnologias de CCS e CCUS. Os resultados mostraram que algumas regiões globais e algumas das empresas listadas possuem maior engajamento em projetos de captura do que outras. Ao final, a análise realizada neste estudo revela que o emprego das tecnologias de CCS e de CCUS continua incipiente ao redor do mundo. O melhor resultado, observado dentre as empresas estudadas com relação ao montante de CO₂ capturado, equivale a cerca de 1 milhão de toneladas de CO₂-equivalente (MtCO_{2e}) por ano, contrastando com as estimativas recentes de até 0,6 Gt CO_{2e}/ano serem capturados globalmente no setor de energia em 2030. Enquanto isso, as emissões existentes apenas para a categoria “outras emissões indiretas relacionadas a indústria de O&G” (Escopo 3), atingem 400 MtCO_{2e} por ano em uma única empresa estudada, e portanto, o volume de CO₂ capturado pelas empresa acaba não alcançando sequer o equivalente a 1% das emissões observadas. Além disso, o estudo permite concluir que, para que haja a difusão dessas tecnologias, é necessário o desenvolvimento de um conjunto de instrumentos normativos e de incentivos mais robustos mundialmente para restrições nos níveis de emissões das empresas e de seus países-sede.

Palavras-chave: Captura de Carbono, indicadores de emissões; gases de efeito estufa; mudança climática.

ABSTRACT

LUCENA, Thais dos Santos. **Recent evolution of CO₂ storage and reconversion projects in Brazil and worldwide.** Rio de Janeiro, 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

The current urgency to decarbonize the production operations in the oil and gas (O&G) industry translates into a growing pressure for greater emissions compensation and the adoption of carbon capture and storage (CCS) and/or carbon capture, utilization, and storage (CCUS) technologies by oil companies. However, the global landscape of industrial-scale CO₂ capture platforms is still underdeveloped and poses a major challenge for oil-producing companies and their respective host-countries (IEA, 2020). In this context, this study aimed to assess the feasibility and importance of the contribution of major oil and gas companies in reducing climate imbalance through the adoption of CCS and CCUS technologies. The results showed that some global regions and listed companies are more engaged in capture projects than others. Ultimately, the analysis conducted in this study reveals that the implementation of CCS and CCUS technologies remains incipient worldwide. The best results, observed among the studied companies in terms of CO₂ captured, amount to approximately 1 million tonnes of CO₂-equivalent (MtCO_{2e}) per year, contrasting with recent estimates that up to 0,6 GtCO_{2e}/year will be globally captured in the energy sector by 2030. Meanwhile, emissions solely related to the "other indirect emissions associated with the O&G industry" category (Scope 3) reach 400 MtCO_{2e} per year in a single studied company, thereby the volume of CO₂ captured by companies is below 1% of observed emissions. Additionally, the study concludes that the diffusion of these technologies requires the development of a set of normative instruments and more robust incentives globally to restrict emissions levels of the companies and their home countries in the future.

Keywords: Carbon capture, emissions indicators; greenhouse gases; climate change.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 - Emissões mundiais de CO₂ pelo consumo de combustível por tipo, 1971-2018.	17
Figura 2.2 - Panorama geral sobre captura e estocagem de carbono (CCS) versus captura e utilização de carbono (CCUS).	20
Figura 2.3 - Esquema representativo dos sistemas de captura de carbono existentes.	22
Figura 2.4 - Futuras emissões anuais globais de CO₂ em (GtCO₂/ano)	27
Figura 2.5 - Mudanças na temperatura da superfície global de acordo com os cenários CMIP6.	28
Figura 2.6 - Reduções de emissões de CO₂ do setor de energia global (Cenário de Desenvolvimento Sustentável versus Cenário de Políticas Declaradas - IEA) [GtCO₂/ano x ano].	30
Figura 2.7 - Emissões por escopo em uma cadeia de valor.	33
Figura 2.8 - Principais fontes de emissão direta de CO₂ em 2016 de 36 empresas de Exploração e Produção de petróleo.	35
Figura 2.9 - Limites ao longo da operação industrial no setor de petróleo.	37
Figura 2.10 - Abordagens para relatar as emissões de GEE de Joint Ventures.	43
Figura 3.1 - Ranking de empresas do O&G de 2018.	47
Figura 4.1 - Gráfico de emissões diretas das empresas, enquadrados no Escopo 1 (segundo metodologia da IPIECA/WRI).	66
Figura 4.2 - Gráfico de emissões indiretas do Escopo 2 das empresas (segundo metodologia da IPIECA/WRI).	67
Figura 4.3 - Gráfico de ranking das empresas em relação aos valores de soma das emissões diretas e indiretas.	67
Figura 4.4 - Gráfico com outras emissões indiretas (Escopo 3) das empresas (segundo metodologia da IPIECA/WRI).	Error! Bookmark not defined.
Figura 4.5 - Intensidade de carbono das operações de E&P empresas (segundo metodologia da IPIECA/WRI).	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Títulos diversos das categorias de emissões por escopo.....	32
Tabela 2.2 - Sumário dos padrões para os indicadores de GEE reportados pelas empresas do O&G.....	40
Tabela 3.1 - Fatores de conversão utilizados.	50
Tabela 4.1 - Quadro de metas estipuladas pela BP no ano de 2020.....	54
Tabela 4.2 - Metas para emissões unitárias de GEE na Gazprom em 2020–2030, de toneladas de CO_{2e} por 1 tonelada de óleo equivalente produzido.....	57
Tabela 4.3 - Valores de metas de relacionadas à GEE da Sinopec para 2023.	63
Tabela 4.4 - Objetivos em relação a mudança climática estabelecidos pela Total em 2020.	63
Tabela 4.5 - Tabela de estratégias e objetivos empresariais das companhias estudadas	63
Tabela 4.6 - Valores das médias do Escopo 1 e 2 para os cinco anos avaliados.....	68
Tabela 4.7 - Ranking das empresas em relação aos valores de suas receitas (Bi US\$) para o ano de 2018.....	70
Tabela 4.8 - Ranking das empresas em relação aos valores da média de produção de hidrocarbonetos (milhões de barris equivalentes) para os anos de 2015-2020.	71
Tabela 4.9 - Dados de CO₂ estocado e transferido segundo relatórios anuais das empresas (2015-2020).	Error! Bookmark not defined.
Tabela 4.10 - Projetos de CCS e CCUS das empresas estudadas de acordo com os países das instalações.	76
Tabela 4.11 - Quadro de investimento em projetos de CCS e CCUS pelos países sede das empresas.....	83

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BECCS	<i>Biomass Energy with Carbon Capture and Storage</i> (Bioenergia com Captura e Armazenamento de Carbono)
CCS	<i>Carbon Capture and Storage</i> (Captura e Armazenamento de Carbono)
CCUS	<i>Carbon Capture, Utilization and Storage</i> (Captura, Utilização e Armazenamento de Carbono)
GEE	Gases de efeito estufa
GWP	<i>Global Warming Potential</i> (Potencial de Aquecimento Global)
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (Painel Intergovernamental de Mudança do Clima)
KPI	<i>Key performance indicators</i> (Indicadores-chave de performance)
NDC	<i>Nationally Determined Contributions</i> (Contribuição Nacionalmente Determinada)
O&G	Óleo e gás
T&D	Transmissão e Distribuição
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
SDS	Cenários de Desenvolvimento Sustentável

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivos	16
2	Revisão Bibliográfica	16
2.1	Descarbonização do setor de petróleo	17
2.2	A Captura e reconversão de CO ₂	19
2.2.1	Principais rotas tecnológicas	22
2.2.2	Cenários de emissões e de mitigação da mudança climática	24
2.2.3	As emissões da indústria do O&G	31
2.3	Reporte das emissões de GEE por empresas de petróleo	36
2.3.1	Distintos padrões internacionais de reporte de emissões	37
2.3.2	Indicadores de emissões padrão IPIECA - CCE-4 e demais	38
2.3.3	Indicadores de emissões padrão API	39
2.3.4	Indicadores de emissões das métricas SASB	39
2.3.5	Sumarização dos padrões de reporte	40
2.4	Tecnicalidades dos KPI's	42
2.5	Políticas públicas e governamentais	44
2.5.1	Taxação de carbono e mercado de carbono	45
3	METODOLOGIA	46
3.1	Estudo das diretrizes e objetivos das companhias	48
3.2	Avaliação dos indicadores das empresas	49
3.3	Projetos de CCS/CCUS das empresas	51
3.4	Investimento governamental dos países-sede	52
4	RESULTADOS	53
4.1	Características e diretrizes adotadas pelas empresas	53
4.1.1	Sumarização das estratégias empresariais	65
4.2	Dados de emissões	66
4.3	Indicadores de Intensidade de Carbono	73
4.4	Projetos de CCS e CCUS das empresas e Investimentos Governamentais	76
4.4.1	Investimento pelos países-sede	82
5	CONCLUSÕES	85
6	REFERÊNCIAS	87

1 INTRODUÇÃO

A urgência da redução de emissões poluentes associadas à crise climática tem aumentado a pressão social em prol de medidas efetivas para a descarbonização das atividades econômicas. Nesse contexto, cresce a perspectiva de implementação de restrições normativas ao uso de combustíveis fósseis e à adoção progressiva de mecanismos de precificação de emissões poluentes. Países produtores de petróleo e importantes atores da indústria petrolífera vêm estudando a adoção e a expansão da utilização de técnicas de captura, de estocagem, de uso e de reconversão de CO₂ em suas cadeias produtivas.

As tecnologias de captura e estocagem (CCS) e de captura, estocagem e utilização de carbono (CCUS) são consideradas instrumentos estratégicos para o equacionamento do controle de emissões globais de gases de efeito estufa, conforme o objetivo de manter o aquecimento do clima no planeta abaixo de 2°C, até 2050.

Para se adequar ao Cenário de Desenvolvimento Sustentável (SDS), proposto pela Agência Internacional do Meio Ambiente (IEA), atendendo aos limites propostos no documento AR5 (Fifth Assessment Report) do IPCC (2014), setores como o de energia, o de transporte e as atividades industriais precisam utilizar tecnologias menos intensivas em carbono. Além disso, realizar a compensação retroativa de suas emissões para que não se atinja o limite do estoque global de gases de efeito estufa (GEE's) para os próximos anos. (IPCC, 2014)

O relatório de Perspectivas Tecnológicas de Energia de 2020 demonstra que 70% da demanda de energia global para atividades de transporte, geração de energia e algumas aplicações industriais é suprida por combustíveis fósseis. Com a infraestrutura global instalada até 2019 para geração de energia, caso não houvesse nenhuma alteração, o setor seria capaz de lançar cerca de 750 GtCO₂ na atmosfera até 2070, o que esgotaria o estoque global de emissões disponível para manutenção do aquecimento do clima abaixo de 2°C. (IEA, 2020)

A participação do petróleo na matriz energética vem aumentando gradativamente ao longo dos anos. Ela passou de 23,1% em 2000, para 31,4% em 2019, um aumento de 8,3% de (IEA, 2019). O desafio de conter as emissões poluentes advindas dos combustíveis fósseis é expressivo, pois elas estão presentes em plantas de energia, sistemas de transporte e em diversas aplicações industriais. Desse modo, o emprego das tecnologias de CCS e CCUS é importante

ao setor de O&G, pois constitui um dos poucos mecanismos disponíveis para compensação dos impactos das atividades de produção já realizadas.

Além disso, as tecnologias de CCU e CCUS representam uma maneira de dirimir a urgência da transição energética e de inserir a indústria petrolífera na dinâmica de descarbonização das atividades produtivas, necessária à estabilidade do clima. Essas tecnologias podem ser essenciais para o alcance das metas de redução diante do atraso da descarbonização atual, que continua provocando o aumento do estoque de emissões poluentes na atmosfera (IEA, 2019).

Para analisar a contribuição na redução do desequilíbrio face a adoção dessas tecnologias, o presente trabalho realiza uma análise do nível de investimento nas técnicas de redução dos impactos climáticos das emissões poluentes com relação à captura e uso de CO₂ por grandes produtoras globais de petróleo, de 2015 a 2020. São analisadas as tecnologias de CCS e CCUS empregadas pelas 10 principais empresas petrolíferas do mundo, assim como o apoio ao investimento por meio de políticas públicas por seus países sede.

A realização do mapeamento e análise das tecnologias de CCS e CCUS aplicadas globalmente às principais produtoras de óleo e gás serve de instrumento para delinear os principais desafios e potenciais rotas de implementação, em escala nacional e global, destas técnicas. Partindo desta premissa, este trabalho realiza também uma análise dos dados de emissões e das estratégias de implementação de CCS e CCUS reportados pelas grandes produtoras.

A metodologia envolveu a realização de um levantamento das emissões de CO₂, desde 2015, das 10 maiores empresas petrolíferas globais em relação a receita, segundo ranking da Forbes (2019), que são: Sinopec, Royal Dutch Shell, Saudi Aramco, PetroChina, BP, Exxon Mobil, Total, Chevron, Gazprom e Petrobras, assim como o apoio de políticas públicas em seus países sede destinadas ao estímulo das tecnologias de CCS e CCUS.

As empresas escolhidas para o estudo caracterizam-se por atuarem nos setores de *Upstream* e *Downstream*, com algumas delas atuando também no *Midstream* como Shell, Sinopec e Petrobrás, no entanto, a segregação das atividades de refino nas métricas de reporte utilizadas permitiu realizar suas avaliações com equivalência às atividades das demais empresas. Além disso, o período de 2015 até 2020 foi delimitado a partir do ano em que obteve-se a publicação de Relatórios de Sustentabilidade por parte de todas as companhias listadas, assim foi possível ter-se dados reportados para os indicadores de todas empresas avaliadas.

É importante notar que o impacto da pandemia de COVID-19 nas atividades das empresas não foi discutido ao longo do trabalho, que foi realizado a partir de um ponto de vista de que reduções de emissões significativas apenas no ano de 2020 não foram dadas por ações planejadas das companhias. Ressalta-se ainda que os impactos relacionados à Guerra Rússia-Ucrânia (2022) não estão refletidos nos dados avaliados no trabalho, a qual ainda não havia sido deflagrada até 2020.

Foram ainda analisados os planos estratégicos já existentes das companhias selecionadas com relação a investimentos em tecnologias de CCS/CCUS e suas metas de redução de emissão até 2060.

O estudo procura medir a eficiência das medidas implementadas, de acordo com indicadores dos níveis de emissões e de captura/compensação de emissões equivalentes de carbono, e analisa a viabilidade destas técnicas como parte da estratégia para regular o volume de emissões poluentes a um nível que limite o aquecimento do clima a 2°C, estabelecido pelo Acordo de Paris (UNFCCC, 2015).

1.1 Objetivos

Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo geral avaliar a viabilidade das tecnologias CCS e CCUS contribuírem como fonte de contribuição significativa para a redução do desequilíbrio climático das atividades de grandes empresas de O&G. Entre os objetivos específicos, têm-se:

- Análise da evolução recente dos indicadores de emissões das companhias com relação a descarbonização de suas atividades;
- Avaliação dos projetos atuais de CCS/CCUS de cada empresa listada;
- Análise das políticas governamentais de fomento ao CCS/CCUS pelos países-sede das empresas.

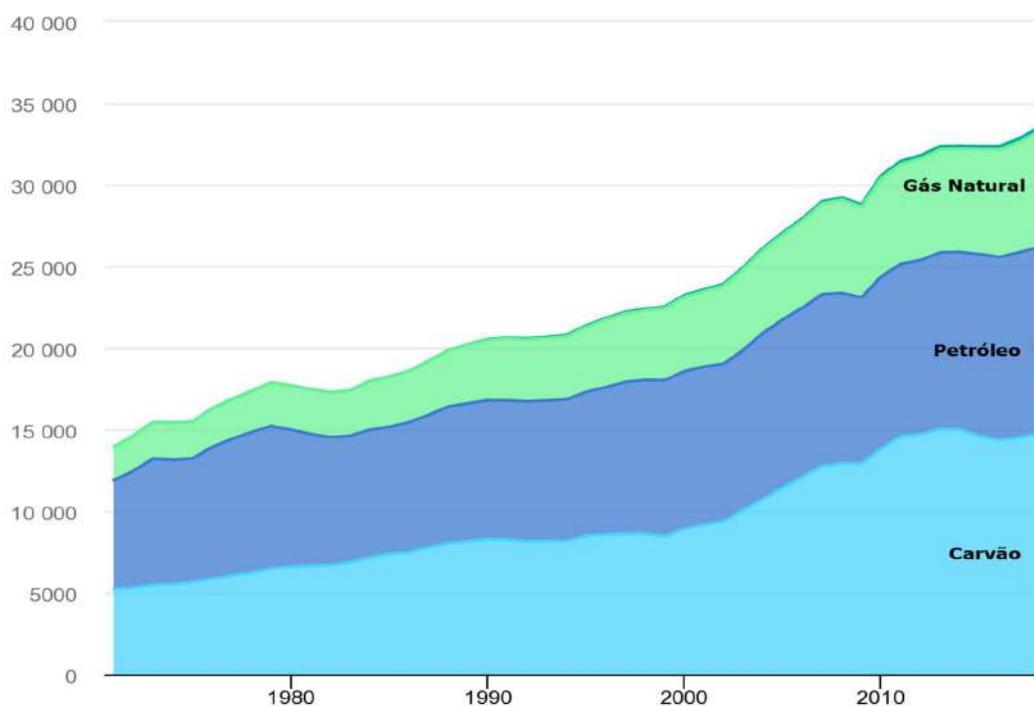
2 Revisão Bibliográfica

2.1 Descarbonização do setor de petróleo

O petróleo, historicamente, ocupa grande espaço na matriz energética global, com sua participação correspondendo a 23,1% do total de energia consumida em 2000 e 31,4% em 2019, segundo o relatório *World Energy Outlook 2019* (IEA, 2019). Por esta razão, as atividades produtivas e de consumo de produtos (em sua maioria combustíveis) do setor de óleo e gás (O&G) são altamente relevantes para os resultados de emissões globais.

Ao longo dos anos, as emissões globais relativas à energia gerada a partir do petróleo e gás natural cresceram gradativamente, conforme mostra Figura 2.1.

Figura 2.1 - Emissões mundiais de CO₂ pelo consumo de combustível por tipo, 1971-2018.



Fonte: Traduzido de (IEA, 2022b). *Unidades da escala do gráfico: [MtCO₂ X ano].

A cadeia de produção e de utilização do petróleo apresenta três principais gases de efeito estufa (GEE's) liberados ao longo de suas atividades: o gás carbônico (CO₂), o maior em volume de emissões, o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O). As proporções e o volume de produção de cada um destes variam de acordo com o nível de atividade e rotina de produção de

cada operadora, além das rotinas de transporte para armazenamento e venda do combustível final (HARGREAVES, 2019).

Embora o Brasil não tenha diretrizes legais específicas de níveis máximos de emissões de GEE pelo setor de óleo e gás, em 2009, foi instituída, através da edição da Lei nº 12.187, a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC). Ela estabelece o compromisso do País de redução entre 36,1% e 38,9% de suas emissões de GEE projetadas até 2020, em relação ao cenário tendencial de emissões que se tinha no ano de sua criação, em 2008. Além disso, foram criadas metas de redução de emissões para 2025 e 2030, estabelecidas na Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC)¹ de 2015.

A meta de redução de emissões a ser alcançada representa um enorme desafio, pois a demanda por energia global, assim como no Brasil, cresce em todos os cenários elaborados por diversos estudos, como nos planejamentos do Plano Decenal de Energia 2030 (Brasil), Horizon 2020 (União Europeia) e World Energy Outlook 2020 (Global - IEA).

Além disso, na ausência de políticas públicas que alterem a tendência atual, as demandas adicionais de energia em diversos países necessitariam ser supridas por combustíveis fósseis, agravando a crise climática. O Plano Decenal de Expansão de Energia (EPE, 2020), por exemplo, prevê investimentos do governo brasileiro para o setor de energia até 2029 da ordem de R\$ 2.3 trilhões de reais, dos quais 77,6% representam expectativa de investimento no setor de petróleo e gás natural.

No estudo de Cadez (2016), as opções de redução de emissões de empresas cujas atividades são intensivas em carbono estão classificadas entre 3 grandes nichos na construção de estratégias de mudança climática: redução interna de carbono, redução externa de carbono e compensação de carbono. (Cadez, 2016 APUD Weinhofer e Hoffmann, 2010). A primeira estratégia refere-se a ações dentro de uma empresa que reduzem as emissões de carbono na sua atividade produtiva (relacionadas ao Escopo 1); já a estratégia de redução externa de carbono envolve reduções de emissões de fora da empresa (as chamadas emissões dos Escopo 2 e 3).

¹ As Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC) são instrumentos criados durante a assinatura do Acordo de Paris, que foi firmado em 2015 durante a COP 21, com o objetivo intensificar os esforços globais para limitar o aumento da temperatura global a 1,5°C e evitar que ultrapasse os 2°C até o final do século. O Acordo é baseado na adesão voluntária dos países ao Acordo requereu o estabelecimento individual de suas NDC, as quais correspondem às suas metas internas e compromissos estratégicos de cada país para a redução de suas emissões de gases de efeito estufa (GEE) ao longo dos anos subsequentes.

Por fim, a estratégia de compensação de carbono é composta por ações tomadas visando equilibrar ou compensar emissões da empresa, como compra de créditos de carbono ou investimento em sumidouros de carbono. Neste escopo, inclui-se projetos de CCS e CCUS que possam ser empregados pelas companhias (Cadez, 2016).

Frente a este cenário, a indústria de O&G vem empregando esforços em 3 principais rotas de ações para mitigação do impacto de suas atividades: aumento de eficiência energética, transição para fontes renováveis de energia e compensação de emissões poluentes. Destas opções, pode-se classificar a primeira como estratégia de redução interna; a segunda como redução externa (como por exemplo, optar-se por transportes de produtos e geração da energia empregando fontes renováveis) e também interna (como realizando migração do portfolio da companhia) e, por fim, a compensação *per si* pode empregar CCS/CCUS (IEA, 2020).

A eficiência energética é atualmente a estratégia de redução de emissões mais comumente aplicada pelas empresas do O&G. No entanto, mesmo com alta eficiência, a produção, o refino e o uso final do petróleo ainda produzem quantidades significativas de CO₂ que necessitam ser compensadas/mitigadas para restrição do aquecimento do clima.

Desta forma, o desenvolvimento e o emprego das tecnologias de CCS e CCUS podem ser vistos como um indicativo da adaptação das petrolíferas aos cenários futuros de taxaço do carbono e entraves às emissões de CO₂. A análise dos resultados obtidos pelo emprego destas técnicas ao redor do mundo e a comparação dos cenários empresariais das maiores produtoras de O&G em relação às mudanças climáticas, podem ser usados para traçar o conhecimento acerca do fator competitivo e de risco às empresas do setor, no mundo e no Brasil.

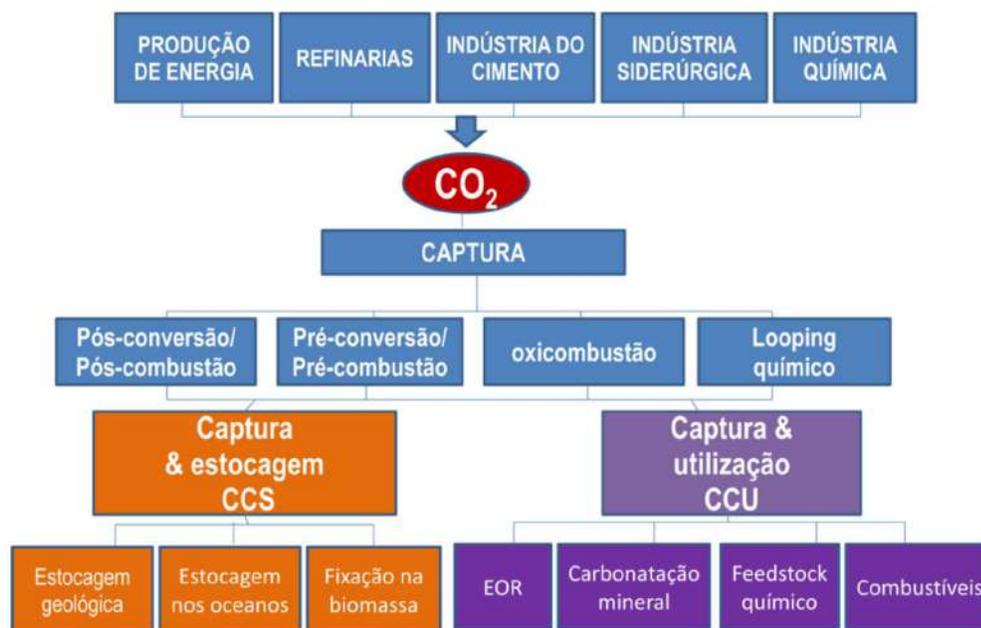
2.2 A Captura e reconversão de CO₂

As medidas de captura e estocagem e/ou uso (CCS e CCUS) de CO₂, são atualmente consideradas uma das principais estratégias de mitigação de mudanças climáticas. É praticável em larga escala e pode ser aplicada para captar o CO₂ diretamente do processo emissor ou da atmosfera. Após capturado, o gás coletado pode ser aplicado em estratégias de estocagem e de uso (direto ou de conversão) pelas empresas (IPCC, 2005).

Primeiramente, o processo de sequestro de carbono, conhecido como captura de carbono, pode ser subdividido entre a captura, o transporte e a estocagem. Este processo de sequestro pode ser feito através de vias naturais, como na rota metabólica de fotossíntese dos

vegetais ou fitoplânctons presentes nas florestas e mares que constituem sumidouros naturais de CO₂ (no inglês "*carbon sinks*"), ou por sequestro artificial, aonde será empregada tecnologia industrial para separação e armazenamento do gás carbônico (vide Figura 2.2) (MIRANDA ET AL, 2018).

Figura 2.2 - Panorama geral sobre captura e estocagem de carbono (CCS) versus captura e utilização de carbono (CCUS).



Fonte: MIRANDA ET AL, 2018

Assim, como visto na Figura 2.2, para a separação do carbono das fontes antropogênicas atuais, deve-se removê-lo de misturas ou efluentes gasosos de processos industriais, termelétricos ou até mesmo de processos envolvendo transformações do gás natural, como na produção do hidrogênio azul². Existe ainda a rota de captura em que é realizada a retirada do

² Plataformas de produção de hidrogênio azul consistem em processos que empregam a geração de hidrogênio a partir do gás natural (majoritariamente, vindo do gás natural ou de processos de gaseificação do carvão) junto do abatimento concomitante do CO₂ gerado por meio do emprego de CCS/CCUS. Estes processos permitem a transformação do hidrogênio cinza, que apresenta um balanço de 10kg de CO₂ emitidos a cada 1 kg de H₂ produzido, em azul, com balanço de 1-3 kg de CO₂ emitidos por kg do combustível. Assim, o hidrogênio azul é considerado um hidrogênio de baixas emissões, junto do hidrogênio de biomassa/bioenergia e o hidrogênio verde (obtido por hidrólise da água, sendo neutro em emissões) (McKinsey & Company, 2021).

carbono antropogênico diretamente do ar atmosférico, a qual é conhecida como captura direta do ar (DAC - *Direct Air Capture*).

Desta forma, conforme mostra a Figura 2.2, foram estabelecidas as rotas tecnológicas majoritárias para estas aplicações mais comuns de captura, sendo atualmente: pós-combustão, pré-combustão, oxi-combustão e outras rotas de processos industriais, que devem ser aplicadas de acordo com o conjunto de condições do processo de sequestro pretendido (MIRANDA et al, 2018; BRIGAGÃO, 2019).

Finalmente, uma vez que o CO₂ é capturado, ele pode ser armazenado em reservatórios geológicos, para mantê-lo longe da atmosfera terrestre, ou ser levado para processos de utilização direta pela indústria e/ou conversão do gás à produtos de maior valor agregado (MIRANDA et al., 2018). O trabalho de Cuéllar-Franca e Azapagic (2015) cita como opções de utilização do CO₂: a carbonatação mineral, o uso como gás de injeção em técnicas de EOR (*Enhanced Oil Recovery*, recuperação avançada de petróleo), a alimentação de indústrias químicas como insumo primário, a fabricação de combustíveis (gás presente na conversão da biomassa), entre outras aplicações.

Por fim, há ainda rotas de sequestro em que se emprega biomassa associada à geração de energia para realização paralela de separação e estocagem/utilização do CO₂, as quais são conhecidas como BECCS, acrônimo para bioenergia com captura e armazenamento de carbono. Estas tecnologias, embora utilizem processos biológicos, ainda são classificadas como rotas de sequestro artificial (IPCC, 2005).

No Brasil, onde já há uma plataforma robusta de utilização de bioenergia/bioeletricidade provindas de etanol gerado a partir da cana de açúcar (incluindo-se aqui insumos como o bagaço de cana, onde gera-se álcool 2ª geração), a aplicação de BECCS demonstra potencial de resultados de emissões negativas. O estudo de Moreira, J.R. et al (2016) discutiu como o balanço de GEE da produção e consumo final de etanol e bioeletricidade resulta em baixos valores de emissões de cerca de 9 gCO_{2e}/MJ (desconsiderando emissões provindas de mudança do uso da terra), o qual poderia ser totalmente abatido ou ainda alcançar resultados negativos de emissões se o CO₂, dos processos de fermentação e combustão dos resíduos da indústria açucareira, fosse capturado e armazenado no subsolo.

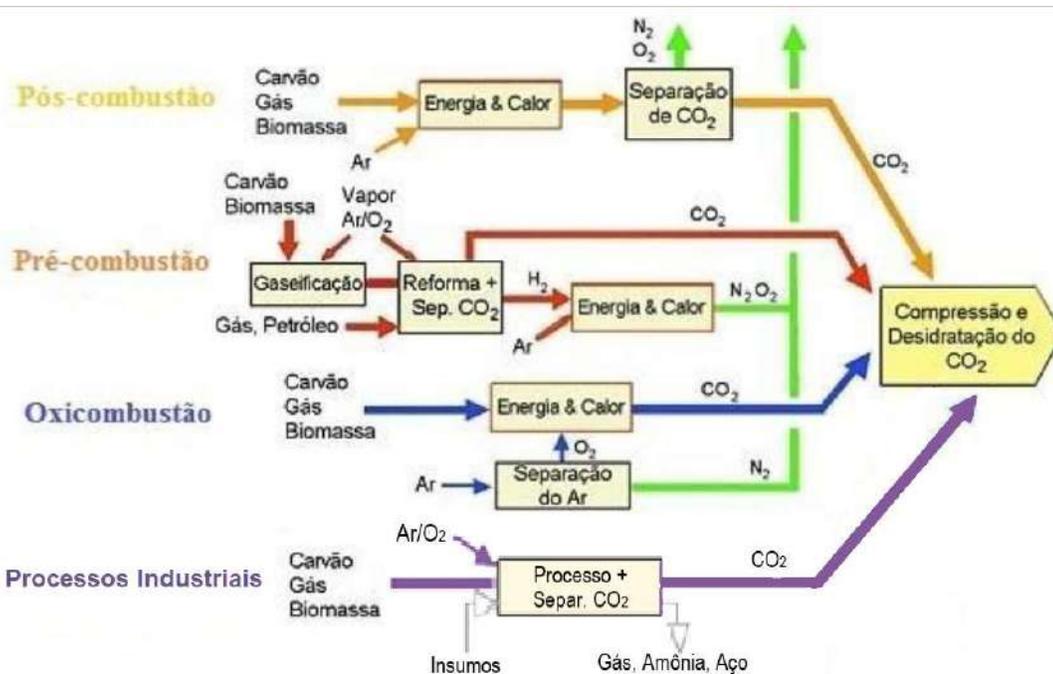
Estes valores do balanço de GEE do etanol demonstram-se expressivamente vantajosos frente a intensidade de carbono das operações do O&G, que segundo as estimativas recentes do IEA (2023), apresentaram valores globais de 636,4 kgCO_{2e}/MJ. Sendo assim, o Brasil apresenta

amplo potencial para o abatimento massivo de emissões com o desenvolvimento de plataformas de BECCS a partir dos biocombustíveis, desde que não implique em novas emissões provindas de mudança do uso do solo, as quais resultariam em cenários prejudiciais, e não mais favoráveis, ao equilíbrio climático. Por fim, atualmente, nota-se apenas um movimento para fomento do BECCS em território brasileiro sendo desenvolvido a partir da perspectiva de mercado de créditos de carbono dos biocombustíveis, pela política estabelecida no RenovaBio, o pode ser considerado positivo, porém, ainda em escala de maturação insuficiente (Silveira, B. H. M et al, 2022).

2.2.1 Principais rotas tecnológicas

A Figura 2.3 abaixo ilustra as rotas de captura de CO₂ para os processos industriais que envolvem geração e/ou consumo de energia obtida pelo emprego de combustíveis fósseis.

Figura 2.3 - Esquema representativo dos sistemas de captura de carbono existentes.



Fonte: Traduzido de (IPCC, 2005).

Sistemas que empregam a **pós-combustão** são caracterizados pela separação do CO₂ da corrente de saída de gases de combustão a ar convencional, após a a geração de energia. A pós-combustão é a rota mais comumente aplicada industrialmente, pois a estrutura necessária para captura pode ser acoplada a projetos de processos convencionais ou plantas já existentes.

Em geral, as correntes empregadas neste processo possuem alto teor de gases inertes (como N₂) e baixo teor de CO₂, em correntes de alta pressão. Por este motivo, a separação da corrente de captura do CO₂ é comumente realizada através de extração por solventes com alta afinidade pelo gás frente aos demais, como a monoetanolamina (MEA). Entretanto, uma desvantagem desta rota são os maiores custos de insumos químicos e o maior potencial de impacto ambiental advindo das cadeias produtivas dos solventes empregados, em comparação com as outras rotas de captura (CUELLAR-FRANCA e AZAPAGIC, 2015; KANNICHE et al., 2010).

Já os processos de **pré-combustão** consistem na realização da descarbonização do combustível a ser consumido previamente à etapa de geração de energia (daí surge o conceito de pré-combustão, pela retirada do carbono em etapa anterior à queima do combustível). Este processo é caracterizado pela remoção de CO₂ de correntes ricas em H₂, às quais são comumente advindas de processos produtores de gás de síntese (gás composto por uma mistura de H₂, CO e CO₂).

A etapa de alto custo e de maior complexidade dos processos de pré-combustão se encontram na própria geração do gás de síntese, que, uma vez obtido, é levado para a etapa de remoção do CO₂ não convertido à CO da corrente rica em combustível.

O carbono separado encontra-se em correntes com elevada pureza em CO₂, já podendo ser comprimido e levado para outras aplicações, enquanto a corrente com o combustível descarbonizado parte para outras etapas do processo de geração de energia. Devido às elevadas pressões e altas concentrações do CO₂ nas correntes obtidas na pré-combustão, a rota apresenta como principal vantagem uma facilidade de separação que possibilita o emprego de tecnologias de absorção física (utilizando solventes como selexol e rectisol) como opção à absorção química, reduzindo significativamente o custo desta etapa (BRIGAGÃO, 2019).

A **oxi-combustão** é realizada por meio da captação de CO₂ provindo de geração de energia onde foi empregado uma alimentação de oxigênio puro em lugar de ar. Esse processo permite a obtenção de uma saída gasosa constituída basicamente por CO₂ e H₂O, que podem ser separados por processos simples através de uma etapa de condensação da água.

A aplicação do oxigênio puro para combustão resulta em alguns gargalos operacionais pelo fato de requerir aplicação de recirculação parcial da corrente de saída da combustão para controlar o aumento de temperatura da chama, que implica em difícil controle operacional e maior consumo de energia, além de consumir grande quantidade de energia na etapa de separação de oxigênio do ar (BRIGAGÃO, 2019).

De maneira geral, a captura de carbono aplicada à indústria do petróleo pode ser correlacionada a uma destas rotas apresentadas devido à aplicação intrínseca da queima dos combustíveis fósseis para geração de energia. Já quando aplicado CCS e CCUS para fazer abatimentos indiretos de emissões, ou seja, pela captura em fontes não relacionadas às atividades da indústria, as rotas empregadas podem ser das mais diversas.

Outras rotas de captura advindas de **processos industriais** diversos podem incluir etapas de separações simples ou até a necessidade de se aplicar um looping químico ou processos diretos de fixação e conversão de carbono, como pela utilização de biomassa (MIRANDA et al, 2018).

2.2.2 Cenários de emissões e de mitigação da mudança climática

Atualmente, o impacto climático das atividades antropogênicas é amplamente discutido sob a ótica de cenários com patamares distintos de emissões poluentes e seus impactos. No presente trabalho, adotamos como fontes de informação estudos de monitoramento e de simulação das mudanças climáticas e sociais causadas pelo aumento da temperatura e dos efeitos das atividades humanas desenvolvidos pela Agência Internacional do Meio Ambiente (IEA - *International Environment Agency*) e pelo Painel Intergovernamental da Mudança do Clima (IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*).

Em seus relatórios e ensaios, as agências publicam cenários para diversas tendências em relação a matriz energética global, incluindo os principais fatores para projeções acerca das atividades do setor de óleo e gás. Estas projeções são instrumentos adotados em demais estudos acerca do equilíbrio climático e podem ser consideradas bases para formulação de padrões setoriais de emissões poluentes.

Os estudos globais realizados pela IEA contendo material de simulação e de avaliação do aquecimento do clima se baseiam em 4 cenários principais utilizados para formulação do

World Energy Outlook (IEA), a saber: *Net Zero Emissions by 2050 Scenario* (NZE); *Announced Pledges Scenario* (APS); *Stated Policies Scenario* (STEPS) e *Sustainable Development Scenario* (SDS) (IEA, 2019).

O Cenário de Zero Emissões Líquidas até 2050 (NZE) delineado com um objetivo final específico de que o aquecimento global não ultrapasse 1,5 °C com relação ao nível de emissões registrado em períodos pré-industriais. Neste cenário assume-se que não haverá um *overshoot* – ou seja, a temperatura global não ultrapassaria o limite de aquecimento – com probabilidade de 50%. Além disso, ele prevê universalidade do acesso a serviços de energia e alta qualidade do ar atmosférico.

O Cenário de Promessas Anunciadas (APS) considera que, no futuro, todas as políticas públicas relacionadas a compromissos ambientais anunciadas globalmente serão atendidas completamente, dentro dos prazos anunciados. Estão incluídos os *Nationally Determined Contributions* (NDC's) dos países e os compromissos de longo prazo de net zero emissions.

O Cenário de Políticas Declaradas (STEPS) procura se aproximar de uma plataforma mais pragmática das emissões globais, baseando-se no desempenho atual dos países. Este cenário reproduz configurações atuais de emissões de cada setor de acordo com políticas climáticas vigentes.

Por último, o Cenário de Desenvolvimento Sustentável (SDS) é o que está diretamente atrelado aos principais Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU. Ele traça uma trajetória para um futuro integrando os objetivos de acesso universal a serviços de energia acessíveis, confiáveis, sustentáveis e modernos até 2030 (ODS 7); produção e consumo responsáveis (ODS12) e realização de medidas eficazes de combate as mudanças climáticas (ODS 13), entre outros objetivos também indiretamente relacionáveis (ONU, 2022).

Deve-se notar que o nível de transformação da cadeia de produção do setor de energia e dos impactos ambientais associados a cada um dos cenários são distintos. É possível ordená-los de acordo com o nível de mudança do clima (a qual é diretamente relacionada a quantidade de GEE's emitidos sem compensação) resultante, sendo então o NZE e SDS aqueles mais alinhados aos objetivos globais do Acordo de Paris. Estes são seguidos pelo APS e, por fim, o STEPS, que procura refletir os resultados mais próximos dos atuais, revelando as transformações que deverão ocorrer se o padrão de desenvolvimento seguir sendo o mesmo. Este dois últimos, podendo levar ao não cumprimento das metas climáticas globais.

Nos Relatórios de Avaliação (*Assessment Reports*) publicados pelo IPCC, é possível compreender as tendências apresentadas para diferentes cenários de emissões globais, as quais são elaboradas para indicar os resultados esperados nos próximos anos. Esses cenários são utilizados para fornecer diferentes perspectivas sobre o futuro climático, levando em consideração fatores como o crescimento populacional, o desenvolvimento econômico, as tecnologias disponíveis e as políticas de mitigação e adaptação adotadas. As variações nas nomenclaturas dos cenários ajudam a entender as possíveis trajetórias delineadas e consequências das mudanças climáticas em cada uma delas (IPCC, 2021).

O Relatório 6 do IPCC- AR6, trata 5 trajetórias distintas para as tendências de mudanças climáticas globais, de acordo com seu nível de emissões de GEE. O “Projeto de Intercomparação de Modelos Climáticos Versão 6” (CMIP6, na sigla em inglês) que os analisa, contém dois cenários de baixas emissões, o SSP1-1.9 e o SSP1-2.6, um de emissões medianas, o SSP2-4.5, e dois de altas emissões globais, o SSP3-7 e o SSP5-8.5 como descritos brevemente a seguir:

SSP1- 1.9: Cenário de emissões de GEE muito baixas. As emissões de CO₂ decaem rapidamente, resultando em emissões líquidas globais iguais a zero em 2050 (ou muito próximo), seguido por período de emissões líquidas negativas até 2100.

SSP1- 2.6: Cenário de emissões baixas. Ocorre decaimento gradativo de emissões de CO₂ até o alcance de emissões neutras após 2050, seguido por anos de emissões líquidas negativas.

SSP2- 4.5: Cenário com emissões intermediárias. Mantém os níveis atuais de CO₂ até 2050).

SSP3- 7.0: Cenário de emissões altas. Ele prevê a duplicação do nível de emissões de GEE de 2015 até 2100.

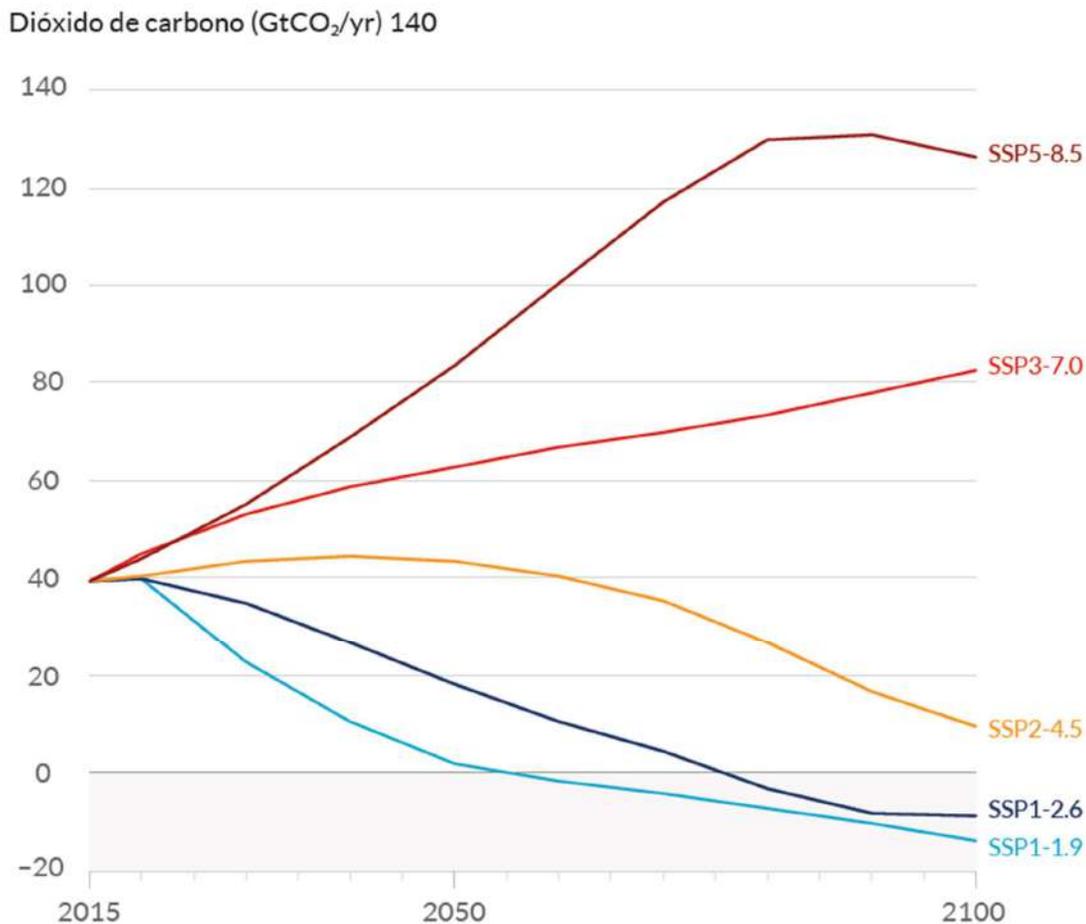
SSP5- 8.5: Cenário de emissões muito altas. A partir de 2015, praticamente dobram-se as quantidades de CO₂ emitido até 2050.

A nomenclatura destes cenários ilustrativos representa uma estrutura didática, organizada em "SSPx-y"s, com o SSP se referindo a sigla SSP de Trajetória Socioeconômica Compartilhada (em inglês, “*Shared Socio-economic Pathway*”). Cada SSPx descreve as tendências socioeconômicas inerentes ao respectivo cenário, indo dos menores valores de x, que corresponderiam a menores impactos climáticos, até o maior valor, em que haveria os mais graves problemas socioeconômicos globais decorrentes do aquecimento do clima. Enquanto

isso, o valor 'y' faz referência, de forma aproximada, ao nível de forçamento radiativo (em $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) resultante de cada cenário na chegada do ano de 2100.³

A Figura 2.4 ilustra os níveis de emissões estimados para cada caminho do AR6.

Figura 2.4 - Futuras emissões anuais globais de CO₂ em (GtCO₂/ano)



Fonte: IPCC, 2021

³ O forçamento radiativo refere-se a alterações na quantidade de radiação (calor) que entra ou sai do sistema climático da Terra, resultando em uma mudança líquida no fluxo radiativo na tropopausa (camada intermediária da atmosfera entre a troposfera e a estratosfera). As mudanças no forçamento radiativo ocorrem devido a vários fatores, como a concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, um dos gases de efeito estufa conhecidos. Quanto maior o forçamento radiativo, que representa a perturbação no equilíbrio entre a radiação solar absorvida pela Terra e a radiação infravermelha emitida pela Terra, maior será o impacto no aquecimento global. (IPCC, 2014)

A partir das taxas de forças radiantes resultantes de cada cenário estipulado, pode ser avaliado o que se chama de "sensibilidade climática em equilíbrio", ou seja, o nível de aumento da temperatura global frente à quantidade de CO₂, e outros GEE, presentes no ar. Apenas em relação à era pré-industrial, foi estimado que, em caso de aumento de 100% do nível de CO₂ existente na atmosfera, previsto nos cenários SSP2-4.5, SSP3-7.0 e SSP5-8.5, a Terra alcançaria um acréscimo de temperatura de 3 °C em 2100.

As estimativas de aumento da temperatura global para os próximos anos dos cenários traçados no AR6 estão organizadas ainda na Figura 2.5.

Figura 2.5 - Mudanças na temperatura da superfície global de acordo com os cenários CMIP6.

Cenário	Curto prazo, 2021–2040		Médio prazo, 2041–2060		Longo prazo, 2081–2100	
	Melhor estimativa (°C)	Faixa Muito provável (°C)	Melhor estimativa (°C)	Faixa Muito provável (°C)	Melhor estimativa (°C)	Faixa Muito provável (°C)
SSP1-1.9	1,5	1,2 a 1,7	1,6	1,2 a 2,0	1,4	1,0 a 1,8
SSP1-2.6	1,5	1,2 a 1,8	1,7	1,3 a 2,2	1,8	1,3 a 2,4
SSP2-4.5	1,5	1,2 a 1,8	2,0	1,6 a 2,5	2,7	2,1 a 3,5
SSP3-7.0	1,5	1,2 a 1,8	2,1	1,7 a 2,6	3,6	2,8 a 4,6
SSP5-8.5	1,6	1,3 a 1,9	2,4	1,9 a 3,0	4,4	3,3 a 5,7

Fonte: IPCC, 2021

A Figura 2.4 demonstra que, na faixa de maior probabilidade, a temperatura média na Terra pode chegar a tornar-se, no melhor cenário de emissões, de 1°C a 1,8°C mais alta do que a medida entre os anos de 1850 e 1900. Já no cenário mais grave, de 3,3°C a 5,7°C (Observatório do Clima, 2022).

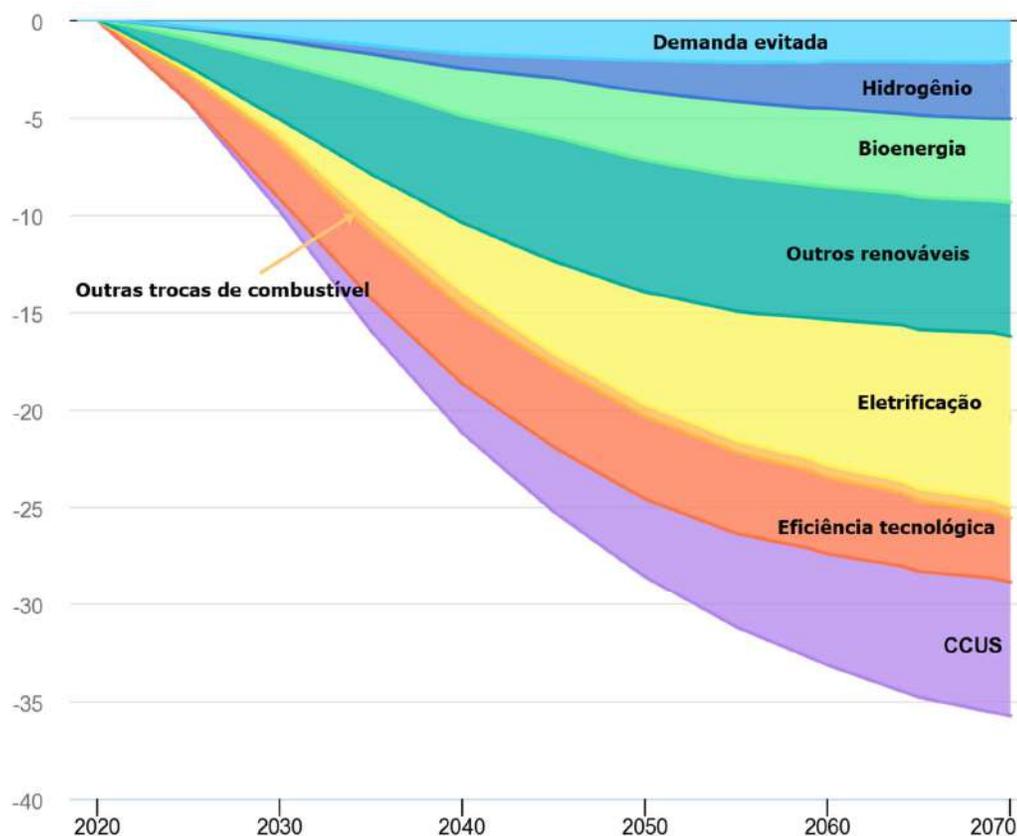
Nota-se que, para todos os caminhos desenhados no AR6, a meta do Acordo de Paris de limitação do aumento da temperatura em até 1,5°C é ultrapassada a partir de 2040. No entanto, considerando os 3 piores cenários, o aumento acima de 1,5°C está dentro da faixa de muito provável. No melhor cenário, o SSP1-1.9, é provável que se ultrapasse o nível de 1,5°C de aumento de temperatura da Terra, porém, com queda subsequente do aquecimento de 0,1°C (chamado "*overshoot*") no fim do século devido a compensações de emissões.

Estes resultados representam panoramas complexos e com potencial de graves consequências globais, dado que, conforme ressaltado no relatório, cada grau adicional no

aquecimento global irá resultar em maiores mudanças climáticas com resultados negativos para populações e meio ambiente. O acréscimo de 0,5°C de aquecimento irá acarretar maiores frequências de ondas de calor, secas regionais e fortes tempestades (IPCC, 2021).

Considerando estes resultados estimados pelo IPCC, entende-se que as tecnologias de CCS/CCUS constituem importantes instrumentos para redução das emissões de CO₂ globais, a tempo de evitar que o aquecimento ultrapasse o limite de 2°C; ou, de preferência, 1,5°C. Em 3 dos 5 cenários apresentados pelo IPCC, as tecnologias de CCS/CCUS são vistas como responsáveis pelo abatimento de volumes de CO₂ emitidos globalmente. O relatório de Perspectivas de Tecnologia de Energia da Agência Internacional de Energia (IEA, 2017), considerava que CCS/CCUS, como parte de um portfólio de ações, poderiam contribuir com 14% do total na redução de emissões de CO₂ necessárias relacionadas à energia até 2060 (IEA, 2017). Já em perspectivas tecnológicas mais recentes da Agência para redução de emissões globais a nível de emissões líquida zero até 2070, as estimativas são apresentadas na Figura 2.6.

Figura 2.6 - Reduções de emissões de CO₂ do setor de energia global (SDS *versus* STEPS - IEA) [GtCO₂/ano x ano].



*Unidades da escala do gráfico: [GtCO₂/ano X ano].

Fonte: Traduzido de (IEA, 2022a).

A Figura 2.6 demonstra o papel relevante da implementação de CCUS/CCS globalmente, a qual seria responsável por, aproximadamente, 20% (7 GtCO₂/ano) do total de abatimentos anuais de CO₂ (estimado em ~36GtCO₂/ano) no ano de 2070. Ainda pela curva de implementação, estas tecnologias atingiriam o nível de 15% da captura global (4 GtCO₂/ano) em 2050 e o de 6% (0,6 GtCO₂/ano) em 2030.

Os dados da Figura 2.6 refletem ainda uma margem de captura anual ainda menor que 0,1 GtCO₂/ano até 2025. A partir de 2026, deveria-se alcançar um patamar de 0,1 GtCO₂/ano, com aumentos de capacidade anual de ~100% até 2030 (IEA, 2022c). A estimativa apresentada é condizente com o cenário atual, em que a capacidade instalada global em 2021 correspondia

a apenas 45 MtCO₂/ano e com expectativa de aumento desta capacidade em mais 6,5 MtCO₂/ano provindos de novos projetos confirmados no mesmo ano (IEA, 2022d).

2.2.3 As emissões da indústria do O&G

Atualmente, a base de cálculo mundialmente difundida para elaboração de relatórios de de emissões foi definida pelo *GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard*. As normas do protocolo são elaboradas em uma parceria entre o *World Resources Institute* (WRI) e o *World Business Council on Sustainable Development* (WBCSD). A última revisão data de 2015, onde foi estabelecida, a classificação das emissões de GEE das atividades industriais em três grandes escopos: 1, 2 e 3, detalhados a seguir.

Escopo 1: Comumente relatadas como “*Emissões Diretas*”, equivale ao momento de emissões provindos de equipamentos ou outras fontes (parcialmente ou totalmente) pertencentes a empresa e utilizados em suas operações. É importante distinguir que a energia vendida por uma companhia a terceiros pode ser considerada como emissões do Escopo 1 a serem relatadas separadamente como “*emissões diretas de energia exportada*”.

Escopo 2: É composto pelo montante de emissões indiretas ligadas a compra de energia (podendo ser eletricidade, vapor ou calor) de terceiros para desenvolver as atividades da companhia. O montante que compõe o Escopo 2 é relatado como “*emissões indiretas de GEE de energia importada*”. Nota-se que as emissões do Escopo 2 ocorrem fisicamente na instalação onde a eletricidade é gerada, não no consumidor. Entretanto, a diretriz indica a não inclusão das emissões pelo serviço de transmissão e distribuição (T&D) da energia, que implica em um custo de energia, neste escopo. As emissões de T&D podem ser incorporadas no Escopo 3.

Escopo 3: O terceiro escopo incorpora todas as demais emissões indiretas, sendo frequentemente referido como “*Outras emissões indiretas*”. São as emissões de consequência das atividades da empresa, mas que ocorrem através de fontes que não pertencem ou são controladas pelo agente. No total, o padrão criado pelo *GHG Protocol* inclui 15 diferentes categorias para as emissões do Escopo 3. Alguns exemplos são: atividades de extração e produção de materiais consumidos, transporte de combustíveis empregados e a categoria que se mostra mais relevante para a indústria de petróleo e gás, “uso de produtos vendidos” (Categoria 11) (IPIECA, 2020).

A Tabela 2.1 traz os títulos de cada tipo de classe de montantes de emissões que podem ser encontrados nos relatórios de empresas de diversos setores dentre cada escopo, incluindo o O&G.

Tabela 2.1 - Títulos diversos das categorias de emissões por escopo.

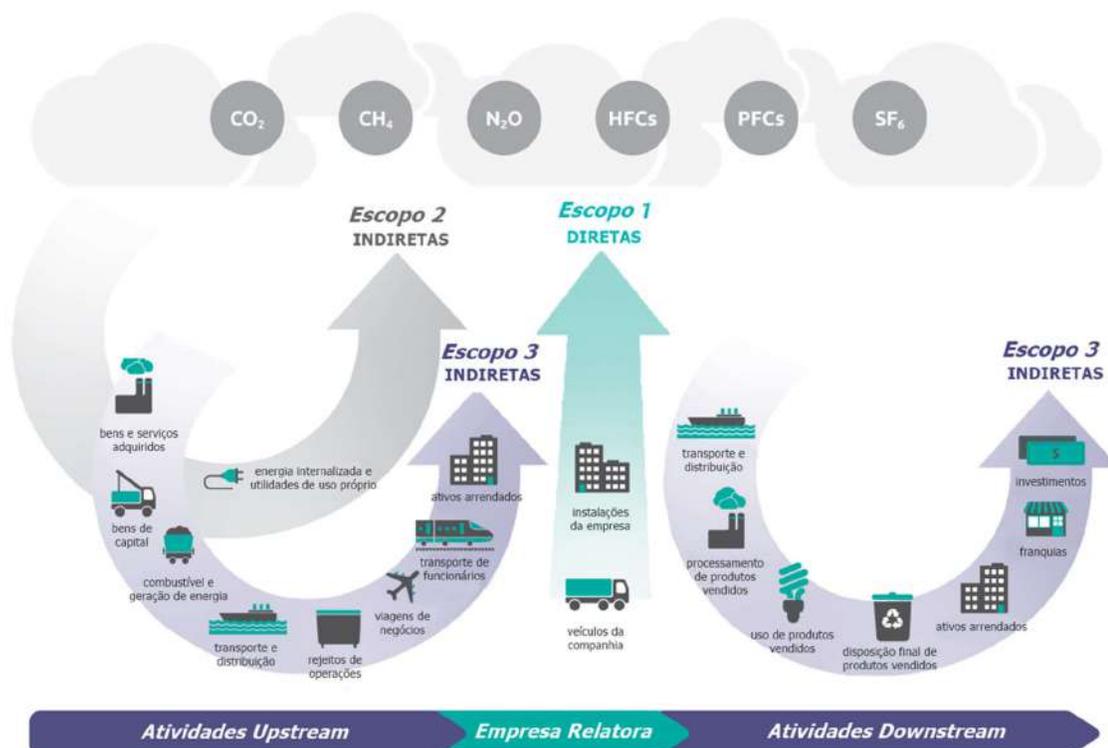
Descrição	Título	Categorias
Escopo 1	Emissões Diretas	-
	Emissões diretas de energia exportada	-
Escopo 2	Emissões indiretas de energia importada	-
Escopo 3	Outras emissões indiretas	Extração e produção de materiais comprados e combustíveis
		Transporte de materiais ou bens adquiridos
		Transporte de combustíveis comprados
		Viagem de negócios de funcionários
		Funcionários indo e voltando do trabalho
		Transporte de produtos vendidos
		Transporte de resíduos
		Extração, produção e transporte de combustíveis para geração de eletricidade
		Compra de eletricidade que é vendida a um usuário final
		Geração de eletricidade que é consumida pelo sistema de transmissão
		Ativos arrendados, franquias e atividades terceirizadas
		Uso de produtos e serviços vendidos
		Eliminação de resíduos gerados nas operações

		Eliminação de resíduos gerados na produção de materiais adquiridos e combustíveis
		Eliminação de produtos vendidos no final de sua vida

Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de (IPIECA, 2011).

Dessa forma, todos os gases de efeito estufa emitidos a partir de atividades da indústria do petróleo, como metano, dióxido de carbono e óxidos de enxofre, podem ser relatados dentre os três escopos, conforme ilustrado na Figura 2.7. É importante notar que, mesmo sendo contabilizados os diversos tipos de GEE para o reporte das emissões, estes gases devem ser tratados conforme seus impactos climáticos ambientais distintos.

Figura 2.7 - Emissões por escopo em uma cadeia de valor.



Fonte: Adaptado de (WRI - World Resources Institute, 2015)

Cada um dos GEE relacionados como contribuintes significativos das emissões totais devem ser relacionados em termos de emissões anuais em toneladas métricas e/ou CO₂ equivalente (CO_{2e}). O valor de CO_{2e} deve ser calculado de acordo com os fatores de potencial de aquecimento global (GWP), geralmente recolhidos do mais recente *Assessment Report* publicado pelo IPCC (IPIECA, 2020).

Além disso, mesmo as categorias de escopo 3 sendo projetadas para serem mutuamente exclusivas, como o produto mais comum do setor de O&G é o combustível e as emissões da Categoria 11 (uso de produtos vendidos, que abarca a combustão dos combustíveis), existe a probabilidade de dupla contabilização da queima do produto final em outras categorias dentro do escopo.

Alguns exemplos de possibilidade de dupla contagem de emissões podem ocorrer entre as categorias 4 (transporte a montante), 6 (viagens de negócios), 7 (deslocamento de funcionários) e 9 (transporte e distribuição a jusante) e todas as categorias em que a fonte primária de emissão decorra de combustão de combustíveis líquidos.

Da mesma forma, ao estimar emissões de produtos na forma de gás natural, as emissões da Categoria 11 também podem incluir emissões em categorias em que o uso de gás é um fator, por exemplo, o gás natural aplicado para produzir eletricidade.

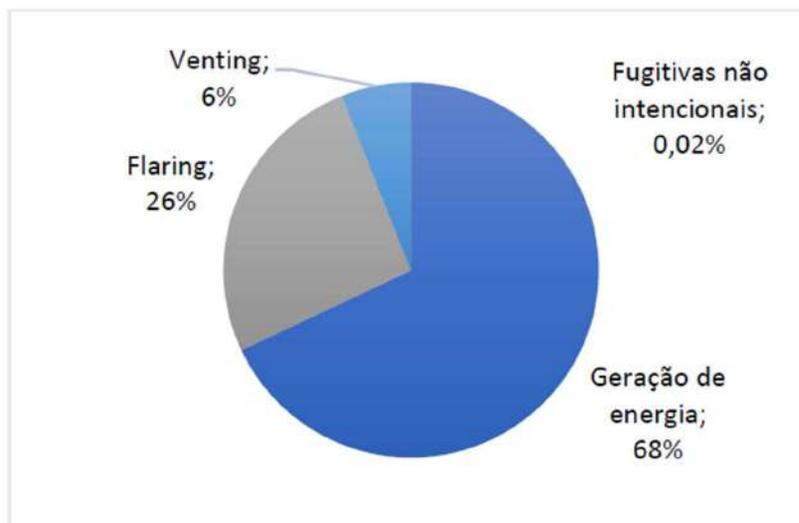
Sendo assim, as atividades produtivas da cadeia de valor do O&G culminam em diversas fontes de emissões de GEE distribuídas entre os 3 Escopos de emissões. As fontes de emissões diretas de suas operações estão relacionadas à combustão do petróleo e gás natural para geração de energia, atividades *midstream* para produção de derivados petrolíferos e ainda emissões fugitivas da cadeia de produção (IPCC, 2006).

As chamadas emissões fugitivas consistem na soma de gases que podem ser liberados de forma não controlada por equipamentos, como bombas, compressores e através de válvulas, de *flanges*, etc. (IPIECA, 2015) Estas emissões devem ser incluídas nos inventários de GEE das empresas dentro do Escopo 1 de emissões diretas das operações. Além disso, ainda há emissões provenientes de procedimentos de *venting* e *flaring* a serem contabilizadas (Hargreaves, 2019).⁴

⁴ O *venting* é caracterizado por uma liberação de gases para a atmosfera - podendo sejam vapores de hidrocarbonetos, vapor d'água ou até mesmo CO₂ ou pequenas quantidades de gás natural - de maneira controlada. Já o *flaring*, é a realização da queima de gás inflamável em sistemas de tocha para fins de segurança operacional.

Existe ainda o volume de CO₂ liberado durante o processo de queima do combustível para geração de energia, que representa, em média, cerca de 68% do impacto direto das atividades de produção de uma companhia do O&G, conforme mostra Figura 2.8.

Figura 2.8 - Principais fontes de emissão direta de CO₂ em 2016 de 36 empresas de Exploração e Produção de petróleo.



Fonte: Heargraves, 2019.

Assim, o impacto direto das atividades de uma grande produtora internacional de petróleo é constituído pela soma das emissões relacionadas às suas operações de *venting*, *flaring*, geração de energia e emissões fugitivas, para o Escopo 1. Para os impactos de emissões indiretas (vistos como os Escopos 2 e 3) ainda estarão envolvidos outros fatores importantes relacionados a cadeia produtiva, para além da pura atividade de produção (e exploração) desenvolvida (IPIECA, 2015).

Ainda é importante notar que cada uma dessas fontes de emissões possuem pesos diferentes no impacto final, pois a natureza do gás liberado pode resultar em diferentes GWP. Por exemplo, o gás de *venting* muitas vezes é composto de maior volume de CH₄ que o do *flare* (que, por passar pela queima em tocha, torna-se majoritariamente CO₂), o que representa maiores GWP das emissões associadas a operações de *venting* (HARGREAVES, 2019).

2.3 Reporte das emissões de GEE por empresas de petróleo

Atualmente, diversas petrolíferas divulgam relatórios de emissão de GEE de períodos transcorrentes, além de, em alguns casos, formarem associações com objetivo de terem voz no debate climático. Pode-se citar, como iniciativas globais de redução de emissões de GEE por parte de indústrias de óleo e gás criadas nos últimos anos, o *Global Gas Flaring Reduction* (GGFR), criado em 2002 pelo Banco Mundial, que tem apoio do Banco Europeu para Reconstrução e Desenvolvimento (EBRD) e reúne governos e companhias de petróleo como parceiros; o projeto “*Zero Flaring em 2030*”, lançado pelo Banco Mundial e as Nações Unidas em 2015; e a *Oil and Gas Climate Initiative* (OGCI), criada em 2014, que reúne hoje 12 petrolíferas, incluindo a Petrobras, e é capitaneada por grupos de CEO’s das empresas componentes da iniciativa.

Pelo fato das atividades de produção de petróleo envolverem processos que decorrem em altos montantes de emissão de gases de efeito estufa ao longo de toda cadeia produtiva, sua exata contabilização é complexa e apresenta muitos fatores de distinção entre os agentes do setor. A fim de padronizar a avaliação dos montantes de emissões de grandes produtoras e outros atores, pode-se utilizar indicadores estabelecidos internacionalmente por instituições e organizações relacionadas ao setor, conhecidos por indicadores-chave (do inglês – *key performance indicators* - KPI’s).

A principal referência internacional para padrões de cálculo de indicadores das empresas do setor de O&G é a IPIECA, a *International Petroleum Industry Environmental Conservation Association*, criada em 1974. A IPIECA emprega recursos para definir as melhores práticas e diretrizes coletivas em diversos aspectos das atividades do setor, dentre eles, diretrizes e instruções para elaboração de documentação contendo resultados de impacto climático e sustentabilidade das atividades das produtoras de petróleo (IPIECA, 2020).

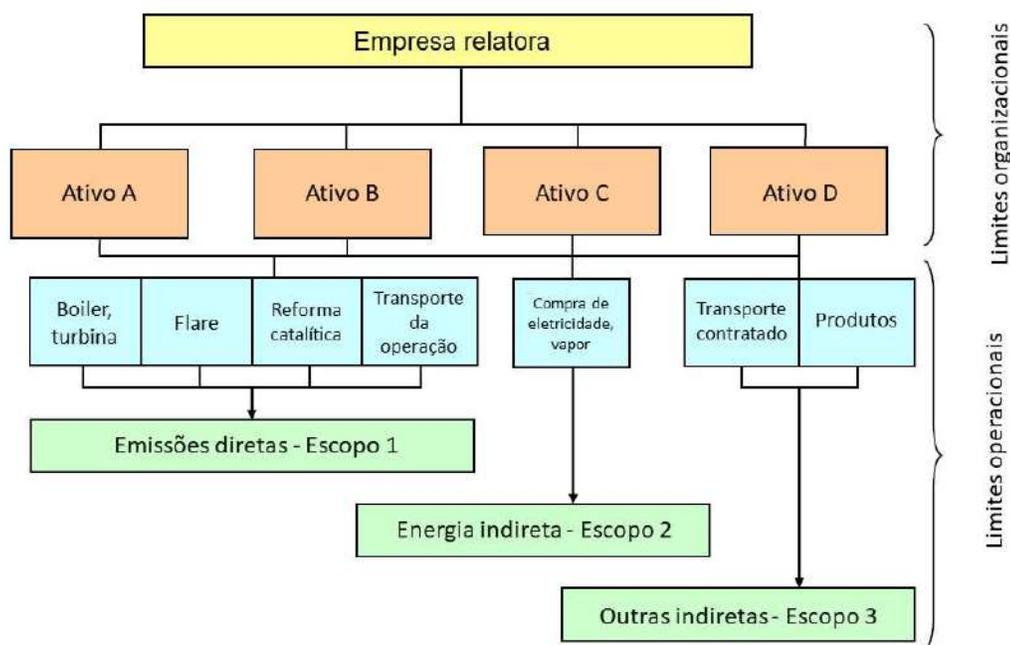
Os relatórios de sustentabilidade anualmente publicados pelas principais operadoras de O&G reúnem os KPI’s considerados essenciais pelos agentes do setor (agentes empresariais, governamentais e instituições relacionadas) para avaliação dos resultados de contribuição para a mudança climática de cada empresa. Em geral, estes relatórios portam os valores para indicadores obtidos sob a metodologia padronizada pelo IPIECA, entretanto outros podem apresentar resultados obtidos sob padrão API ou SASB.

2.3.1 Distintos padrões internacionais de reporte de emissões

Embora as 3 instituições padronizadoras internacionais, IPIECA, API e SASB utilizem definições e base de cálculo de emissões de GEE em comum, advindas de diretrizes do GHG *protocol*; ao produzir as diretrizes de seus padrões de indicadores, algumas distinções entre considerações utilizadas, assim como indicadores criados individualmente, acabam produzindo discrepâncias entre as métricas.

A primeira destas discrepâncias presente nos indicadores decorre da própria natureza dos escopos de emissões, e é reproduzida tanto entre cada métrica, como também entre as empresas. Isto ocorre porque a definição dos escopos de emissão implica no estabelecimento de limites organizacionais e operacionais das companhias individualmente. Estes dois tipos de limites utilizados no contexto dos inventários de emissões de GEE são representados na Figura 2.9.

Figura 2.9 - Limites ao longo da operação industrial no setor de petróleo.



Fonte: Traduzido de (IPIECA, 2011).

Os limites organizacionais estão atrelados aos ativos pertencentes a companhia, enquanto os limites operacionais abarcam todos os resultados ligados às operações da empresa. Dentro destes limites podem ser categorizadas as emissões para os três escopos e, por isso, a utilização distinta destes limites por parte das empresas resulta em distinções também nos indicadores reportados.

As métricas descritas, embora busquem seguir definições do GHG *protocol* ainda apresentam baixo grau de padronização de suas descrições dos limites operacionais e organizacionais, com categorizações que dependem fortemente de decisões particulares de cada companhia relatora.

Além disso, enquanto há indicadores comuns entre as diretrizes, há também outros definidos particularmente pelas instituições, resultando em dados que, por vezes, não terão equivalência em outras métricas. Indicadores relacionados apenas em um ou em poucos padrões de reporte, podem resultar em baixa comparabilidade de resultados ou baixa relevância para o público, uma vez que não podem ser estudados abrangentemente ao longo do setor. Na sequência, serão apresentados os detalhes de cada padrão de reporte de emissões.

2.3.2 Indicadores de emissões padrão IPIECA - CCE-4 e demais

Os padrões de reporte da IPIECA instituem que a contabilização do montante de emissões de GEE por empresas - desconsiderando a emissão especificamente do gás metano que, por si só, pode estar atrelada a indicadores específicos - seja feita com os resultados sendo dados no formato de toneladas anuais emitidas de CO₂ equivalente. O principal indicador de emissão de GEE, referenciado nas diretrizes como CCE-4 (*Greenhouse gas (GHG) emissions*) utiliza as bases de cálculo disponibilizadas pelo GHG *Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard*, assim como adota os escopos de emissões conhecidos (1,2 e 3).

Além do CCE-4, as diretrizes da IPIECA agrupam os seguintes indicadores como sendo “*Climate Change Related*” (relacionados a mudança climática - CCR): Estratégia e governança climática (CCE-1), Riscos e oportunidades relacionados ao clima (CCE-2), Tecnologias de baixo carbono (CCE-3), Emissões de metano (CCE-5), Uso de energia (CCE-6), Volume de Flare (CCE-7). Dentre estes, não há indicadores que não sejam comumente observados em outra métricas, além de suas unidades de medida seguirem padrões do setor. (IPIECA, 2011)

Além disso, já estão definidos nas diretrizes da IPIECA alguns outros instrumentos indicativos, como Intensidade de GEE, considerado como subcategoria dos indicadores CCE-4, e que pode ser obtido a partir das definições estipuladas na documentação disponibilizada. Segundo o manual de indicadores da IPIECA, a métrica é obtida através das emissões de GEE divididas pelo fator de normalização adequado para cada segmento de negócios da empresa.

2.3.3 Indicadores de emissões padrão API

Tendo como base os escopos de emissões do GHG *Protocol*, a API (*American Petroleum Institute*) publica diretrizes para a indústria de O&G que contam com compatibilidade com os valores dos indicadores de montante de emissão. Contudo, estipula também outros padrões para cálculo de KPI's que são baseados em outras diretrizes. Dentre eles têm-se: Emissões Diretas de GEE, Emissões Indiretas de GEE de Eletricidade Importada, Mitigação de GEE, Volume de *Flare*, Intensidade de Emissões de GEE, Emissões do Escopo 3, etc. (API, 2021; API, 2022)

Segue breve descrição sobre as características dos principais indicadores:

- Emissões Diretas de GEE - equivalente ao Escopo 1, base metodológica da IPIECA.
- Emissões Indiretas de GEE da Eletricidade Importada - equivalente ao Escopo 2, base metodológica da IPIECA.
- Mitigação de GEE's - Inclui-se um indicador de implementação de tecnologia de CCS (base metodológica de estudo do IPCC (2005)) e outro para montante de Créditos de Energia Renovável (RECs) (base metodológica do GHG *protocol*) adquiridos pela empresa.
- Intensidade de Emissões de GEE – em duas diferentes bases de cálculo “*Operated*” e “*Equity*” (ativos operados e percentual de participação), utiliza padrões de diversas instituições.
- Emissões do Escopo 3 (categoria 11) - base metodológica da IPIECA.

2.3.4 Indicadores de emissões das métricas SASB

A SASB consiste no Conselho de Normas Contábeis de Sustentabilidade, organização não governamental que desenvolve padrões de contabilidade para indicadores de

sustentabilidade para diversos setores industriais, incluindo para o setor de O&G. Embora não apresente a mesma abrangência de incorporação no setor, como das diretrizes IPIECA e da API, as métricas de emissão de GEE publicadas pelo SASB também podem ser vistas sendo aplicadas por produtoras de O&G para reportar resultados de forma mais simplificada.

Para o setor de O&G, a SASB enquadra os seguintes indicadores de emissão de GEE para serem reportados: quantidade de emissões globais brutas de Escopo 1, emissões de queima de combustíveis, emissões de outras combustões, outras emissões ventiladas, emissões fugitivas (como gás metano). Segundo a SASB, suas métricas são estabelecidas de acordo com a metodologia do *GHG Protocol*, o que, de maneira genérica, também tornaria seus indicadores de emissões equivalentes aos da IPIECA.

Além dos indicadores de emissões, as métricas da SASB também englobam indicadores ligados a outros aspectos observados nos relatórios de empresas do O&G, como por exemplo, de estratégias e objetivos de redução das emissões. (SASB, 2020)

2.3.5 Sumarização dos padrões de reporte

A Tabela 2.2 sumariza as relações entre os padrões para os indicadores de GEE observados para as instituições:

Tabela 2.2 - Sumário dos padrões para os indicadores de GEE reportados pelas empresas do O&G.

Indicador/Framework k	IPIECA	SASB	API
1	CCE-4: Emissões de Gases de Efeito Estufa	Emissões globais de GEE do Escopo 1 (Mt CO ₂ e) Emissões de Queima de Combustíveis Emissões de outras Combustões	Emissões Diretas de GEE Emissões Indiretas de GEE da Eletricidade Importada Emissões do Escopo 3 (categoria 11) (Mt CO ₂ e)

2	CCE-1: Governança e estratégia climática CCE-2: Riscos e oportunidades relacionados ao clima	Discussões da estratégia e metas de redução de emissões	Meta(s) de Redução de GEE
3	CCE-6: Uso de energia (GJ)	Energia total consumida (GJ) Total de energia renovável consumida (MWh) Energia total autogerada (MWh)	N/A (não se aplica)
4	Intensidade de GEE <i>(incluso entre os indicadores da categoria CCE-4 IPIECA)</i>	N/A	Intensidade de Emissões de GEE

Fontes: API, 2022; SASB, 2020; WRI, 2015

A tabela obtida demonstra que diversos dos indicadores dos 3 padrões internacionais são equiparáveis, embora não haja uma estrutura de indicadores inteiramente comum entre os panoramas de reporte, o que produz entre eles ausência de alguns resultados. Dos indicadores comuns entre os grupos, os principais são os de montante de emissão, que são metodologicamente equivalentes segundo os documentos das diretrizes.

O grupo de indicadores de estratégia empresarial frente a mudança climática também demonstra estar presente nos três padrões, no entanto, a metodologia empregada para reportar os itens é distinta. Enquanto o padrão API estipula uma listagem com sinalização dos objetivos alcançados, a IPIECA considera necessária a demonstração de valores (parciais e finais) dos resultados relativos a cada objetivo.

Os indicadores de uso de energia e intensidade de carbono (ou de GEE) são os mais discordantes entre os 3 padrões, estando ausentes em alguns dos panoramas e tendo

metodologias pobremente descritas, abarcando espaço para discordâncias entre si. A intensidade de GEE pode ser apresentada em diversos formatos, unidades e segmentações de atividades distintas, apresentando baixa comparabilidade; enquanto o indicador de uso de energia apresenta distinções na base de cálculo do consumo das empresas entre as métricas SASB e IPIECA.

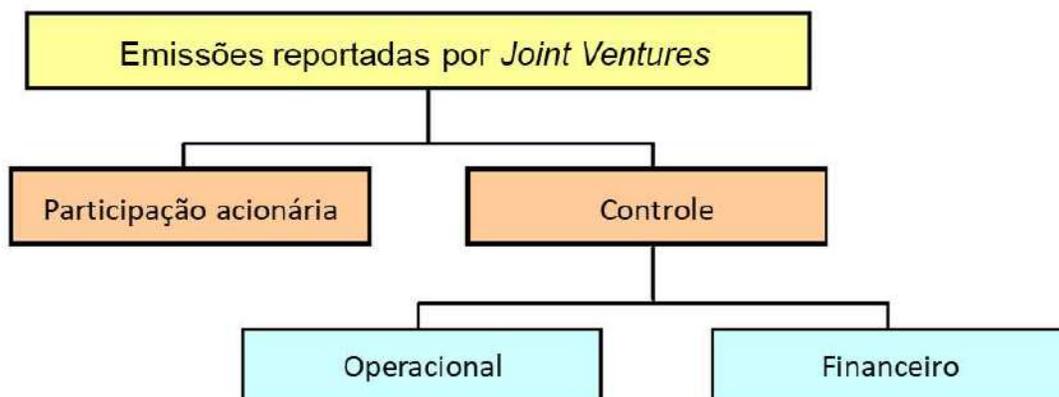
2.4 Tecnicalidades dos KPI's

Dentre os fundamentos para reporte dos indicadores de impacto ambiental, o estabelecimento correto dos limites de contabilização também se desdobra dentro de limites de operações, financeiros e de participação (acionário). Também existe os aspectos de troca de conteúdo (como por exemplo, importação/exportação de energia) que podem ser contabilizados a partir de diferentes abordagens, como de localização e de mercado.

De maneira geral, grandes produtoras de O&G possuem dentro de sua estrutura global, ramos de atividades que são desenvolvidas por mecanismos de *joint ventures* (associação econômica entre duas empresas para realizar uma atividade). Por vezes, a empresa terá divisões de negócios voltados a eixos específicos da cadeia produtiva, como produção, refino e venda/distribuição dos produtos, ou eixos de negócios paralelos ao principal, como ramos de biocombustíveis, derivados petroquímicos (como óleos lubrificantes, aditivos de performance, etc), o que torna mais complexa a contabilização das emissões totais das companhias (WRI, 2015).

A contabilização das emissões de GEE entre estas *joint ventures* (JV) pode ser realizada de três maneiras distintas, como demonstrado na Figura 2.10.

Figura 2.10 - Abordagens para relatar as emissões de GEE de Joint Ventures.



Fonte: Traduzido de (IPIECA, 2011).

O relatório de emissões pode ser baseado na participação acionária de cada empresa na joint venture ou apenas nos ativos controlados por cada parte. No caso de reporte por controle, este ainda pode ser dividido pelo controle operacional ou controle financeiro. As abordagens comumente utilizadas na indústria de O&G são de participação acionária e controle operacional (IPIECA, 2011).

Na indústria de petróleo, toda ou parte de uma empresa subsidiária, *joint venture*, investimento, instalação, fábrica, escritório ou local de negócios, pode ser considerada como uma unidade de relatório. As unidades de relatório representam os menores subgrupos de atividades práticas que refletem a gestão interna da empresa e que irão permitir que dados sejam relatados em nível local, nacional, regional ou global, conforme apropriado. A identificação e listagem de todas as unidades relatoras é o ponto de partida para a aplicação de limites organizacionais com base em participação acionária.

Unidades de relatório do O&G podem ser agrupadas por tipos de atividades *upstream* e *downstream*, como exploração, produção, perfuração, refino, fabricação e comercialização de produtos químicos. Além disso, os ativos das companhias podem ser operados pela própria ou apenas fazer parte do portfólio de participação da empresa relatora, já que por vezes, duas ou mais empresas podem estar envolvidas comercialmente em um ativo (como em uma *joint venture*).

Por fim, outras technicalidades também devem ser propriamente diferenciadas entre os métodos aplicados para outros Escopos (2 e 3) e também indicadores de intensidade e captura de carbono. Um exemplo destes aspectos é a diferença entre cálculos do Escopo 2 realizados por Controle *Market-Based*, que é diretamente relacionado com os valores de peso de carbono médio do mercado em que atua cada instalação da empresa; e o Método *Location-Based* em que utiliza-se intensidade de carbono local da operação (IPIECA, 2011).

Outro ponto importante a ser distinguido entre os relatórios das empresas são valores que podem ser reportados como de carbono transferido e carbono capturado. A diferença crucial é que o carbono reportado como transferido, equivale àquele que foi transacionado no mercado voluntário ou compulsório de créditos de carbono (conceito discutido no item 2.5.1), ou seja, não foi necessário capturá-lo fisicamente pela própria companhia, apenas foi comprado o papel de compensação dessa emissão. Já o carbono capturado, realmente passou por um processo de sequestro físico realizado pela companhia ou suas *joint ventures* (RCGI, 2019).

2.5 Políticas públicas e governamentais

O presente trabalho também discorre a cerca do potencial efetivo de medidas adotadas em políticas públicas ao redor do globo que podem ser apontadas como mais promissoras frente a resultados obtidos entre as empresas analisadas. A política governamental por parte dos países-sede de cada companhia avaliada pode ser incluída como um fator externo favorável (ou não) ao desenvolvimento de portfólio de projetos de CCS/CCUS pelas empresas.

Os mecanismos utilizados pelos países atualmente para incentivo à captura de carbono passam por esforços legislativos para impostura de taxas ao carbono emitido em atividades produtivas, até financiamento público para desenvolvimento de projetos de CCS/CCUS. Atualmente, acredita-se que o estabelecimento de políticas públicas com claros objetivos e estabelecida base regulatória são fatores de incentivos definidores à criação de ambientes favoráveis ao engajamento em atividades de captura.

Assim, este estudo também desenvolverá um apanhado geral para comparação das posições de engajamento das empresas e seus países-sede frente a mitigação do aquecimento do clima.

2.5.1 Taxação de carbono e mercado de carbono

A implementação da “taxa/imposto de carbono” ou “preço de carbono”, que consiste na cobrança de impostos extras sobre atividades poluentes, é uma tentativa de internalizar, ou seja, contabilizar, as externalidades das consequências advindas da mudança climática das atividades de exploração fóssil na economia dos países e, idealmente, também na global. Uma externalidade do sistema de preços é considerada na teoria econômica como uma *falha de mercado*, pois ali está um custo que não é onerado a ninguém, porém, continua existindo para as pessoas, meio ambiente e Estados de maneira não-uniforme. No caso da indústria do petróleo, os impactos ambientais provocados por suas atividades ficam a cargo de toda sociedade arcar com as consequências.

Além disso, a taxação de carbono é considerada um fator de incentivo ao investimento pelas empresas em tecnologias de CCS/CCUS e demais ações de redução de emissões; uma vez que o custo criado artificialmente para o que antes eram “emissões/rejeitos descartados de maneira não custosa”, torna desvantajosamente onerosas as rotas tecnológicas com altos níveis de emissões de CO₂. Assim, o preço de investir em tecnologias de redução de emissões torna-se mais atrativo aos *players* de indústrias intensivas em carbono, por efeito de influência negativa exercida (já que se aumenta o custo) pelas condições regulatórias do país (PWC, 2022). Outro quesito somado ao efeito de balanço de custo de emissões, é o ganho de recursos pelos governos para financiamento público futuro de novos projetos de CCS/CCUS.

Sendo assim, atualmente, países vêm mais comumente implementando instrumentos do tipo “comando e controle”, que consiste em estabelecer normas compulsórias de redução de emissões com fiscalização, como por meio de instauração de padrões tecnológicos obrigatórios ou proibição de certas práticas. Ainda, é comum observar-se o desenvolvimento de mecanismos para criação de benefícios fiscais, como subsídios, financiamentos e regimes de tributação diferenciados a ações de redução das empresas e cadeias industriais.

No entanto, nos últimos anos, cada vez mais países iniciaram também sistemas regulados no sentido da precificação do carbono, conforme estabelecido pelo Protocolo de Quioto em convenção da UNFCCC (Convenção Quadro das Nações Unidas Sobre a Mudança do Clima). Segundo o Protocolo, por meio do MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo), países e empresas poluentes podem negociar os chamados RCE (Reduções Certificadas de

Emissões) - que correspondem aos papéis de crédito de carbono - que podem ser gerados por atividades certificadas de redução de emissões (CLP, 2022).

Desde maio de 2021, o sistema de mercado de emissões desenvolvido pela União Europeia (ETS - *Emissions Trade Marketing*) negocia créditos de carbono a um valor de 50 euros por tonelada, 157% maior que o valor de 20 euros do início do mesmo ano. Além do ETS, hoje já se encontram, próximas da operação ou operando plataformas de comércio nacionais e subnacionais, no Canadá, China, Japão, Nova Zelândia, Coreia do Sul, Suíça e Estados Unidos (EPBR, 2021).

No Brasil, em termos de legislação vigente, já foi aprovado o projeto de Lei 528/2021, que prevê a instituição nacional para a regulamentação de um Mercado Brasileiro Redução de Emissões. Neste projeto são estabelecidas diretrizes para instrumentação nacional de um mercado regulado de carbono e criação do chamado Plano Nacional de Alocação, que seriam estabelecidos dentro da criação do SBCE (Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões). No entanto, regulamentação posterior para estas diretrizes ainda manteve-se pendente e não houve grandes progressos até o dado momento (CLP, 2021).

Além disso, o mercado brasileiro existente de créditos de carbono para atividades de biocombustíveis, instituído pelo RenovaBio, foi inaugurado em 2019 na B3 (bolsa de valores brasileira) para comercialização dos chamado CBIO (Crédito de Descarbonização de biocombustível) e foi capaz de movimentar 15 milhões de papéis entre 2019 e 2020. Cada um dos CBIOs corresponde a uma redução na emissão de 1 tonelada de CO₂ pelo uso do biocombustível em comparação ao combustível equivalente (no caso do etanol, é a gasolina).

Conforme discutido por Silveira, B. H. M et al (2022), a política do RenovaBio pode ser considerada um programa benéfico ao fomento de BECCS no país, pois ela integra esforços de mitigação em ações efetivas e constrói um mecanismo de contabilidade de emissões prático para produtores e investidores. Entretanto, diversos outros mecanismos fundamentais ainda são necessários a nível nacional, como estabelecimento de arcabouço legal robusto e crível no país e estabelecimento de metas nacionais integridades e com limitações de emissões condizentes com as necessidades globais.

3 METODOLOGIA

As empresas avaliadas no estudo foram selecionadas a partir do ranking da Forbes das 10 maiores produtoras do setor de O&G em relação a receita para o ano de 2018 (Forbes, 2019). A lista associa dados de receita obtidos do portal Statista e demonstra as empresas que podem ser consideradas as maiores do setor em relação às vendas realizadas. O ranking publicado conta com a relação contida na Figura 3.1.

Figura 3.1 - Ranking de empresas do O&G de 2018.



Fontes: Forbes, 2019

Assim, a listagem das empresas a serem avaliadas contém: BP, Chevron, Exxon Mobil, Gazprom, Petrobras, Petrochina, Saudi Aramco, Shell, Sinopec e Total; com seus países-sede correspondendo, respectivamente, a: Reino Unido (UK), Estados Unidos (USA), Rússia, Brasil, China, Arábia Saudita e França.

A lista obtida relaciona empresas de diversos países do mundo, o que permite uma avaliação ampla dos efeitos de financiamento público ao longo do Globo e entre as *majors* estudadas. Portanto, a contagem referindo as 10 maiores empresas do setor foi considerada como uma quantidade adequada a um estudo do cenário macro dos indicadores de emissões/intensidade de carbono e engajamento em projetos de CCS/CCUS para o setor de O&G.

Foram integrado à análise os Relatórios de Sustentabilidade anuais oficialmente publicados pelas empresas no período de 2015 à 2020, bem como outros materiais disponíveis comunicados à imprensa, folhas de dados e materiais suplementares. Para recolhimento dos dados dos governos, foram consultadas apenas fontes oficiais, como portal de informação de órgãos/secretarias/ministérios, comunicados a imprensa e divulgações de editais e relatórios de programas oficiais.

A partir do material coletado, foi desenvolvida a avaliação dos indicadores de interesse das empresas estudadas, junto da coleta e organização das informações dos projetos CCS/CCUS presentes nos relatórios de sustentabilidade. Busca de informações extras dos projetos de CCS/CCUS e avaliação do investimento por parte dos países-sede foram desenvolvidas seguidamente, junto de consulta a fontes suplementares quando necessário.

3.1 Estudo das diretrizes e objetivos das companhias

Os relatórios de sustentabilidade, bem como, geralmente, sites das companhias, constam de seus principais objetivos de sustentabilidade para os próximos anos. Assim, foram utilizadas publicações das empresas até o ano de 2020 para traçar um panorama de suas metas ambientais em relação às operações, junto do entendimento de sua aderência aos acordos e diretrizes internacionais para cumprimento de metas globais e reporte de impactos ambientais.

Para entender o posicionamento das empresas em relação às suas ambições de sustentabilidade, foram avaliados suas metas (*targets*) para os indicadores de emissões de GEE. Neste procedimento, não foram consideradas metas envolvendo valores monetários de investimento em renováveis, reduções de volume de *flare* ou emissão de metano (uma vez que estes já estão contabilizados nos valores finais dos Escopos 1 e 2 de operação) e quantidade de energia de fontes renováveis a serem geradas, já que estas fontes não entrariam em nenhum âmbito de energia que pode ser diretamente relacionada a emissões ou compensações de carbono feitas pelas empresas.

Além disso, outro ponto avaliado foi a adequação das empresas às práticas e metas desenvolvidas e consolidadas internacionalmente. Foram avaliados os eixos estratégicos assumidos por cada empresa quanto a adesão às metas do Acordo de Paris, se foram estipulados *targets* de *Net Zero* (emissões líquidas neutras), a quantidades de carbono a ser capturado/compensado e redução de intensidade das operações.

Por fim, também analisamos se as empresas seguem as diretrizes e métricas internacionais para cálculo dos indicadores relatados em suas publicações anuais. A padronização dos indicadores é crucial para permitir a comparação adequada entre os seus valores entre as empresas analisadas, de modo que se categorizou se as empresas são aderentes à diretriz de métricas hegemônica do setor, padronizada pela IPIECA (WRI), ou alguma outra prática excepcionalmente estabelecida e, neste caso, suas possíveis particularidades.

3.2 Avaliação dos indicadores das empresas

Para o estudo dos indicadores reportados pelas companhias, foram avaliados todos os possíveis indicadores relacionados a emissões de carbono, montante ou intensidade ("pegada"), classificados entre os CCE-4 da IPIECA: montantes de emissões do Escopo 1, 2 e 3, intensidade de carbono do E&P, quantidades de carbono capturado/transferido.

Indicadores referentes a categoria CCE-6 não foram relacionados na avaliação utilizada por terem tido muito baixa comparabilidade entre as companhias, principalmente àqueles que utilizam métricas nacionalmente instituídas. Assume-se que o indicador de intensidade do E&P (incluído em CCE-4) já demonstra importante panorama de "preço de carbono" relativo das operações de cada uma das empresas.

Para indicador de emissões, ainda foram feitas outras separações de condições específicas para aceitabilidade do dado como fonte pertinente para a comparação. Por este motivo, cada um deles foi filtrado de acordo com suas particularidades encontradas nos relatórios, que poderiam criar discrepâncias entre os valores. Considerações utilizadas para seleção dos dados:

Escopo 1 - Foram apenas utilizados os valores de Escopo 1 calculados sob o método de controle operacional da IPIECA. Esta abordagem foi feita a fim de garantir homogeneidade com os valores das relatoras que utilizam as metodologias nacionais.

Escopo 2 - De maneira semelhante ao Escopo 1, utilizaram-se os dados obtidos apenas por abordagem de controle operacional com cálculo de seus fatores de energia baseado em mercado, uma vez que este método é o mais bem estabelecido entre as metodologias vistas nas empresas.

Adicionalmente, médias para as emissões dos escopos 1, 2 e a soma 1+2 foram calculadas a partir dos dados dos 5 anos de cada empresa e a margem de erro dos valores obtidos foi estimada como sendo o desvio padrão entre os valores anuais apresentados.

Escopo 3 - Além de ter-se utilizado apenas dados de controle operacional, foi necessário observar possíveis distinções entre as categorias de uso dentro deste Escopo. Como algumas empresas fizeram subdivisões entre cada categoria do Escopo, enquanto outras reportaram um único valor dentro de descrições como "emissões de produtos vendidos", foram utilizados apenas dados da categoria 11 quando explicitamente assim divididos.

Além disso, para o Escopo 3, ainda houve empresas (como a Shell) que fizeram diferenciação entre os valores relativos à venda de produtos de produção própria e utilização de produtos de terceiros relacionados à cadeia. Nestes casos, foram utilizadas somas de ambos os dados para encontrar o valor de uso dos produtos finais (conforme preconizado no indicador padrão IPIECA).

Intensidade de carbono - Para o indicador de intensidade foram recolhidos dados disponibilizados em relação a produção de barris, dados normalizados por energia produzida ou montantes monetários (geralmente, valor em produtos vendidos) não foram considerados. Para garantir que a comparação entre as empresas seria pertinente, quando aplicável, os valores do indicador foram convertidos para mesma unidade de [kg CO_{2e}/boe] de acordo com Tabela 3.1 contendo os fatores de conversão empregados.

Tabela 3.1 - Fatores de conversão utilizados.

Valores de conversão empregados nos indicadores	
1 dia =	0,0027 ano
1 barril equivalente de petróleo =	6,119 megajoule (MJ)
1 tCO _{2e} / thousand boe =	1000 kg CO _{2e} / 1000 boe = 1 kg CO _{2e} / boe
1 thousand tonnes =	0,001 million tonnes
1 thousand barrels =	0,001 million barrels of oil equivalent

Fonte: Elaboração própria.

Indicador de carbono capturado - Considerou-se o carbono reportado em formato de balanço, juntos dos demais dados enumerados nas tabelas de resultados das empresas. Esta foi uma consideração conservadora, no sentido de que as empresas podem não contabilizar volumes de CO₂ eventualmente capturados em projetos das companhias. No entanto, como por muitas vezes estes projetos não são contínuos, ou os valores são divulgados cumulativamente,

considerar apenas os dados de carbono estocado/transferido que foram reportados segundo padrão contábil, é o mais adequado ao estudo do indicador ao longo dos anos e frente aos Escopos de emissões.

Assim, a partir das considerações utilizadas, as métricas distintas dos indicadores observadas foram consideradas compatíveis entre si, embora exista algumas incertezas que podem ter sido inseridas na padronização dos dados expostos pelas empresas em função das diferenças metodológicas existentes. Mesmo com os relatórios de sustentabilidade das 10 empresas do grupo avaliado variando em continuidade, qualidade de dados e a transparência da metodologia de cálculo, as equivalências entre as métricas permitiram a realização de avaliação comparativa dos indicadores principais analisados com discussão de suas particularidades.

3.3 Projetos de CCS/CCUS das empresas

O mapeamento dos projetos de CCS/CCUS das empresas estudadas foi realizado inicialmente através das relações publicadas em seus próprios relatórios de sustentabilidade e em seus sites oficiais. Porém, foram necessários buscar dados complementares que estavam defasados nos relatórios, o que foi recolhido em portais e relatórios internacionais com apanhados globais de projetos de CCS/CCUS, como o Global CCS (2022) e o SCSS (2023).

Os projetos foram reunidos e numerados em uma tabela relacionando: localização, empresas participantes, *status*, tecnologia aplicada, capacidade anual, potencial de captura total, total atual capturado e se contam ou não com investimento governamental.

Para a avaliação do *status* das instalações, foram considerados estágios de estudo de viabilidade, projetos já anunciados, em planejamento, em construção e já em operação. Qualquer projeto passado já anunciado oficialmente e ainda não em construção foi considerado estando na etapa de planejamento. Devido ao alto grau de incerteza que apresentam em sua continuidade, projetos na chamada fase "especulativa" - que podem existir no futuro de acordo com as declarações de intenções dos negócios - foram omitidos do estudo.

Ao relacionar as empresas para cada projeto levantado, só foram listadas aquelas pertencentes ao ranking avaliado neste estudo. As tecnologias aplicadas foram divididas entre as principais rotas tecnológicas existentes para o CCS/CCUS: oxícombustão, pós-combustão, pré-combustão, outros. Por vezes, algumas descrições também envolveram tecnologia de

geração de hidrogênio, ou emprego de EOR, BECCS para desenvolvimento dos projetos, por isso, ficaram sinalizados na tabela.

Além disso, instalações com finalidade não comercial ou do tipo piloto, que sejam voltadas apenas ao desenvolvimento de tecnologia dos processos de captura foram classificadas como tecnologia de pesquisa, já que por vezes podem empregar mais de uma rota tecnológica e em menores escalas, com arranjos semelhantes a plantas demonstrativas.

A capacidade de captura de cada projeto foi reunida em valores de MtCO₂/ano, enquanto o potencial de captura total relaciona as estimativas da quantidade de carbono que pode ser armazenado/utilizado ao longo de toda vida útil do projeto (MtCO₂). Para o total capturado, também foi utilizada a unidade de MtCO₂, no entanto, como diversos projetos ainda não operavam, foram sinalizados como *não aplicáveis* (N/A). Os dados não encontrados para informações de cada projeto foram sinalizados como ausentes através do sinal de um hífen ("-").

Por fim, projetos relacionados a energias renováveis, eficiência energética ou que não utilizavam diretamente o CO₂, mas sim trabalhavam na redução de outros gases de efeito estufa, não foram contabilizados por fugirem do escopo de estudo. Os projetos anunciados, ou em fase de pré-estudo de viabilidade após 2020, não estão incluídos na tabela por não fazerem parte dos relatórios recolhidos.

3.4 Investimento governamental dos países-sede

Os investimentos governamentais dos países sede foram recolhidos e organizados no formato de tabela. Foram buscados anúncios e programas oficiais de cada governo listado entre as empresas estudadas, a fim de mapear suas políticas públicas de incentivo em voga ou que já foram anunciadas para próximos anos. Agências governamentais de pesquisa energética ou de setor de O&G e energia foram consultadas como fonte de resultados ou relatoria das ações governamentais. A

Os dados reunidos foram utilizados para organizar um quadro geral contendo a situação atual de cada país-sede, onde são relacionados os objetivos da política energética, os gastos anunciados e os gastos já realizados (em CCS). Ao final, os países foram classificados entre país investidor, ou não, nas tecnologias de CCS e CCUS de acordo se já houve atualmente

montante expressivo gasto neste sentido. Foram considerados expressivos, valores cuja soma alcançou um mínimo de meio bilhão da moeda local, praticados até o final de 2020.

Os valores anunciados para investimentos futuros não foram considerados para a classificação atual como investidores ou não. Houve casos em que encontraram-se projetos financiados somando um investimento acima do mínimo estipulado para categorização como investidor, mas não houve transparência devida dos valores gastos. Assim, foi registrado como não tendo sido encontrados dados, porém, tornou-se uma informação avaliada como um atingimento do critério de investidor de maneira parcial.

Estes resultados reunidos foram utilizados para realizar uma avaliação macro entre o cenário de fomento das regiões globais em comparação com os resultados até então encontrados para cada empresa.

4 RESULTADOS

4.1 Características e diretrizes adotadas pelas empresas

Notou-se que as estratégias estabelecidas atualmente pelas empresas apresentam alta variação e, por muitas vezes, resultam em contradições entre os planos de investimentos em novos ativos e resultados ambientais das operações. De modo geral, as empresas apresentam-se concordantes com as metas do Acordo de Paris, em que 8 das 10 empresas citam explicitamente buscar atingimento do acordo e com os ODSs da ONU, com o qual todas as empresas publicaram aderência.

BP

A posição da BP em relação a mudança climática é de admissão de importância e de concordância com as metas de redução de emissões do Acordo de Paris. Quadro de metas disponibilizado pela empresa inclui os seguintes objetivos:

Tabela 4.1 - Quadro de metas estipuladas pela BP no ano de 2020.

	Objetivos	Performance 2020*	2030	2050 ou antes
1	Operações <i>Net Zero</i>	16%	30-35%	100%
2	Óleo e Gas <i>Net Zero</i>	9%	35-40%	100%
3	Cortando a intensidade	0,6%	>15%	50%

*Em relação ao ano de 2019.

Fonte: BP, 2020

O primeiro objetivo é relativo tornar neutro em emissões todas as operações da empresa em base absoluta até 2050 ou antes. Este refere-se diretamente às emissões de GEE de Escopo 1 e 2, às quais corresponderam a cerca de 55 Mt CO_{2e} em 2019, conforme será visto futuramente.

Já o objetivo nº 2 refere-se a obter emissões líquidas neutras em base absoluta para toda produção *upstream* de petróleo e gás da empresa, também até 2050 ou antes. Esta meta relaciona-se ao Escopo 3, porém, basea-se em divisão das participações da empresa (excluindo a Rosneft).

No terceiro objetivo, busca-se alcançar intensidade de carbono 50% menor que 2019 para os produtos vendidos pela BP até 2050. A abordagem utilizada nesta meta é de intensidade de carbono do ciclo de vida, por unidade de energia gerada; logo, difere-se do indicador de intensidade avaliado no item 4.3 deste estudo, não sendo diretamente comparáveis.

No entanto, a BP utiliza metodologia estipulada pela IPIECA, o que torna seus indicadores compatíveis com os valores das demais empresas que reportam sobre o mesmo padrão.

CHEVRON

A Chevron diz-se comprometida com a meta de redução de emissões do Acordo de Paris a fim de desempenhar esforços para limitar o aumento da temperatura média global a 1,5° C. Além disso, a empresa publicou em 2018 plano que dispõe de sua estratégia em relação a Mudança Climática, a qual mira “Maiores retornos, baixo carbono”, que constaria em três pilares de ações focando em operações com mais baixa intensidade de carbono, aumento de ativos de renováveis e investimento em tecnologias de baixo carbono.

Como principais metas assumidas à época tem-se a redução na intensidade de carbono de suas operações em 2028: de 40% para óleo produzido (24 kg CO₂e/boe) e 26% para o gás natural (24 kg CO₂e/boe) tendo como base valores de 2016 (equivalentes a 41,9 e 32,6 kg CO₂e/boe respectivamente – *equity basis*). (Corporate Sustainability Report, 2020) Além destas metas, em outubro de 2021, a empresa declarou pretensão em tornar-se neutra em intensidade de carbono até 2050.

Entre informações de metas para alocação de recursos da empresa em sua estratégia de transição energética temos citadas: injeção de 2 bilhões de dólares até 2028 em projetos de redução de carbono, investimento de 750 milhões de dólares até 2028 em renováveis e ações de compensação de carbono e compromisso de disponibilizar 300 milhões de dólares para o Fundo de Energia do Futuro II (*Future Energy Fund II*).

Os chamados Fundos de Energia do Futuro da Chevron, com o primeiro tendo sido criado em 2018 com aporte de 100 milhões de dólares, tem como objetivo destinar recursos da Chevron para aporte em *startups* com potencial de inovação tecnológica para o setor de energia. A divisão de capital de risco da Chevron, Chevron Technology Ventures (CTV), é responsável pelas decisões de investimento e faz a gestão dos recursos destes fundos. Anunciado em fevereiro de 2021, o Fundo de Energia do Futuro II, conta com recurso de 300 milhões de dólares a serem aplicados em empresas atuantes em eixos estratégicos para a companhia.

Em relação aos indicadores de nível de emissões de GEE da empresa, foi averiguado através de Relatórios de Sustentabilidade publicados anualmente pela Chevron em seu site, os quais contém valores de emissões para períodos dos últimos cinco anos de exercício individualmente.

No entanto, apenas o Relatório de Sustentabilidade de 2020 exhibe planilha completa contendo dados de todas categorias e Escopos a serem abordados na definição de boas práticas do tipo de documento. Até o ano de 2019, a empresa publicava outro formato de relatório, chamados Relatórios de Resiliência a Mudança Climática (do inglês “*Climate Change Resilience Report*”), contendo dados mais restritos, com pouca especificação de categorias de emissões e descrição incompleta dos 3 Escopos da IPIECA.

Além disso, estes relatórios divulgados até 2019 traziam dados de emissões relativas a períodos dois anos anteriores aos da publicação em exercício, o que criava defasamento dos dados disponibilizados anualmente. Nota-se que o formato dos reportes da empresa foi aprimorado ao longo dos anos de publicações e atualmente está mais próximo ao padrão de

transparência de dados descrito nas diretrizes para o setor, com melhor demonstração de cada Escopo, subcategorias, assim como suas bases de cálculo (IPIECA, 2015).

Em Relatório atual os dados de emissão disponibilizados são calculados utilizando como referência a metodologia do padrão de reporte CCE-4 preconizado pela IPIECA. A planilha contém dados de performance relacionados às emissões dos Escopos 1, 2 e 3, tanto para *base equity* como a *operational control*, definidos pelas diretrizes da IPIECA para confecção dos relatórios anuais.

EXXON MOBIL

A empresa Exxon concorda com as metas do Acordo de Paris, alegando apresentar planos consistentes com os objetivos globais para 2030 e 2050. Em seu site, no ano de 2020, a empresa publicou suas metas climáticas principais, que incluem:

- Plano de redução de emissões de GEE para 2025: diminuição da intensidade das emissões *upstream* de 15 a 20%; intensidade de metano em 40-50%; intensidade de queima em 35-45% (relativo a 2016). Espera-se que os planos de redução de emissões de 2025 reduzam os gases de efeito estufa em cerca de 30% para os negócios *upstream* da empresa.
- Disponibilizar reporte de emissões de Escopo 3 a partir de 2021.
- Busca alcançar o desempenho de emissões de GEE líder do setor em todos os negócios da companhia até 2030.

Ambos os planos de redução de emissões para 2025 e 2030 abrangem apenas as emissões de Escopo 1 e Escopo 2 dos ativos operados pela Companhia. Estas reduções são suportadas basicamente pela redução nos volumes de *Flare* e escape de Metano praticados pela Exxon, que relacionam-se apenas a escolhas de redução de impacto (e também ganho de eficiência), mas sem relação à captura de CO₂ ou migração para fontes mais limpas de energia.

Nota-se que os resultados do Escopo 3 são parcial/totalmente negligenciados, com apenas citação de uma meta para reporte dos valores em 2021. Este fato traz indicação que a posição da empresa com relação a compensação dos maiores impactos de sua atividade (emissões da queima dos combustíveis) ainda está sendo gerida de maneira negligente pela estratégia empresarial, com pouca/nenhuma visibilidade de metas de compensação/captura de CO₂.

Por fim, em relação a padronização do sistema de reporte de GEE pela Exxon Mobil, a empresa é aderente ao guia estabelecido pela IPIECA. No entanto, a empresa não publicou dados do Escopo 3 até então e seus indicadores de intensidade de carbono não seguem unidades padrão de kg CO_{2e}/boe, o que implica em dificuldades para comparação dos resultados entre as empresas estudadas. Além disso, os dados disponibilizados pela empresa ainda possuem um tópico dedicado ao montante equivalente de “emissões” capturadas de CO₂ pelos processos de CCS e CCUS em atuação.

GAZPROM

A Gazprom destaca-se entre as demais empresas estudadas na lista por não admitir claramente os objetivos internacionais como suas metas centrais de redução de impactos ambientais. A empresa utiliza como norteador para suas metas ambientais políticas internamente estabelecidas baseadas em leis nacionais (desenhadas pelo governo Rússia) e acordos firmados com seu país-sede.

Em 2018, o *Roadmap* do Sistema de Gestão de Emissões de Gases de Efeito Estufa para o Grupo Gazprom até 2030, foi instaurado na companhia levando a fim de adequá-la a objetivos de desenvolvimento sustentável (ODSs) da ONU e prioridades ambientais estabelecidas internacionalmente. O documento estabeleceu objetivos de valores para os indicadores projetados de emissões unitárias de GEE para 2020, 2025 e 2030, junto de principais passos para alcançá-los.

A projeção utilizada para determinação dos valores dos indicadores de montantes de emissões não é clara e não há transparência completa dos planos da companhia. Os objetivos disponibilizados estabelecem valores almejados para um indicador de intensidade de carbono das atividades da empresa, com as prospecções propostas disponíveis na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Metas para emissões unitárias de GEE na Gazprom em 2020–2030, de toneladas de CO_{2e} por 1 tonelada de óleo equivalente produzido.

	2020	2025	2030
	0.239–0.248	0.223–0.243	0.211–0.230

Fonte: Gazprom, 2020

Como os demais objetivos para indicadores dos montantes dos Escopos 1, 2 e 3 não são previamente disponibilizados, as discussões presentes nos relatórios de sustentabilidade da

empresa, com relação ao cumprimento de compromissos almejados, não é possível avaliar os objetivos propostos frente aos valores resultantes para cada período.

Além disso, em relação a metodologia empregada para produção dos relatórios da Gazprom, os resultados dos indicadores da empresa precisam ser diferenciados das demais companhias estudadas por não aplicar diretamente as diretrizes internacionais da IPIECA. A empresa vem emitindo Relatórios de Sustentabilidade desde 2008, os quais, a partir de 2017, estão sendo auditados para conformidade com os Padrões da *Global Reporting Initiative* (Padrões GRI), opção principal.

A Gazprom emprega diretrizes publicadas pelo Ministério Russo de Recursos Naturais e Meio Ambiente, o qual publicou a Orientação metodológica sobre a quantificação das emissões de gases de efeito estufa por entidades envolvidas em negócios e outras atividades na Federação Russa (Ordem nº300 - Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation, 2015), onde construiu-se os chamados indicadores RUIE (Gazprom, 2020).

De forma simplificada, os relatórios da companhia também contém as seguintes informações:

- Indicadores de desempenho RUIE;
- Indicadores da contribuição para a implementação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável estabelecidos pela Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento (UNCTAD).

PETROBRAS

A Petrobras apresenta dentre seus dez compromissos de sustentabilidade, publicados no relatório de 2020, seis metas relacionadas diretamente à carbono (compromissos estabelecidos tendo como base os valores do ano de 2015):

1. Redução das emissões absolutas operacionais totais em 25% até 2030;
2. Reinjeção de aproximadamente 40 MM ton CO₂ até 2025 em projetos de CCUS;
3. Redução de 32% na intensidade de carbono no segmento de E&P até 2025 (15 kgCO_{2e}/boe, mantidos até 2030);
4. Redução de 40% na intensidade de emissões do metano no segmento de E&P até 2025;

5. Redução de 16% na intensidade de carbono no refino até 2025, ampliando para 30% até 2030 (30 kgCO_{2e}/CWT).

Por fim, ainda há estabelecimento da meta de zero queima de rotina em *flare* até 2030, mas que não é foco deste estudo. A empresa alega ser adepta aos objetivos globais de redução de emissões do acordo de Paris, com meta final de tornar-se *Net Zero* até 2050.

Em relação às métricas utilizadas para cálculo dos indicadores, a Petrobras utiliza o padrão de reporte da IPIECA, no entanto, com algumas defasagens e discordâncias. Por exemplo, a empresa não disponibiliza separadamente valores de montantes do Escopo 1 e 2, o que impossibilita algumas comparações com os indicadores das demais empresas. Além disso, há algumas discordâncias nas descrições dos âmbitos dos indicadores e valores dos indicadores de montante capturado/transferido não são reportados segundo padrão da IPIECA.

PETROCHINA

Em seu relatório de sustentabilidade de 2020, a Petrochina assume que delineou ações para que seu portfólio, dividido entre os combustíveis fósseis e a energia limpa, sejam desenvolvidos de maneira integrada em sua cadeia de operações. Suas metas de sustentabilidade foram desenhadas a fim de atingir emissões “quase zero” por volta de 2050, buscando alcançar um resultado para atingir a meta de neutralidade de carbono da China até 2060.

Algumas das metas apresentadas de maneira explícita no relatório são:

- Em 2025, atingir o pico de emissões de carbono da companhia.
- Até 2035, obter portfólio de geração de energia por opções verde e de carbono zero, excedendo a energia fóssil autoconsumida.
- Alcançar condição de “quase zero” emissões em cerca de 2050.

Os planos da empresa, contendo seus principais objetivos em relação a gestão da mudança climática, foram estabelecidos entre um esquema de três etapas de “Substituição Limpa, Sucessão Estratégica e Transição Verde”. Construiu-se cinco plataformas de energia de “Petróleo, Gás, Calor, Eletricidade e Hidrogênio” para estabelecer um “Ecossistema de energia de baixo carbono” futuramente.

Estes planos estratégicos alegam ter sido construídos de maneira concordante com os planos nacionais de seu país-sede (China) para alcance de emissões líquidas neutras até 2060.

Dessa forma, a empresa não diretamente concorda com os valores de redução de emissões estabelecidos pelo acordo de Paris, mas contribui para redução do desequilíbrio climático apenas na medida da adesão instituída pela China em relação às metas internacionais. Adicionalmente, a empresa é aderente aos ODSs estabelecidos pela ONU, os quais alegam ser convergentes com suas metas de sustentabilidade.

Já em relação a metodologia empregada pela PetroChina para produção de seus indicadores relacionaos aos GEE, as empresas estudadas que são sediadas na China se destacaram por não aplicarem as diretrizes internacionais da IPIECA. Tanto a Petrochina, quanto a Sinopec utilizam por base o Guia de Relatórios Ambientais, Sociais e de Governança (ESG) emitido pela Bolsa de Valores de Hong Kong (abrev. HKEX).

O HKEX estabeleceu uma série de instrumentos instrutivos para a padronização dos resultados de GEE das operações das empresas de O&G. A principal referência para a elaboração dos relatórios contendo os GEE é o chamado documento de "Orientação de relatórios sobre KPIs ambientais". (HKEX, 2022)

A metodologia de cálculo dos KPIs utilizada possui algum nível de compatibilidade com os da IPIECA, porém as distinções adotadas podem gerar diversos desvios nos resultados dos indicadores das empresas da China. Os padrões incluem a determinação de montantes de emissões das companhias para os Escopos 1, 2 e 3 (chamados simplesmente como Emissões Diretas, Indiretas de energia e outras emissões indiretas), contabilização de carbono capturado e intensidade de carbono de operações.

A Petrochina, no entanto, apenas reporta dados dos Escopos 1 e 2 e não disponibiliza valores de intensidade de carbono ou captura/transferência

SAUDI ARAMCO

A Saudi Aramco demonstra em seu documento "*Climate change and the energy transition*" (2021) que assumiu cenários de redução de emissões concordantes com o Acordo de Paris para delinear seus objetivos para os indicadores de GEE. Os seus relatórios de sustentabilidade até 2020, no entanto, não constam de metas de indicadores estabelecidas e atingimento de resultados até então planejados.

Ainda neste sentido, a empresa também declara-se aderente aos objetivos de desenvolvimento sustentável (ODSs) da ONU, sendo este conceito incluso em seus Relatórios de sustentabilidade.

Em outubro de 2021, a empresa finalmente anunciou ambição de alcançar emissões neutras de GEE para os Escopo 1 e Escopo 2, em seus ativos operados até o ano de 2050. A Saudi Aramco assumiu também a meta de redução das emissões de GEE dos Escopo 1 e Escopo 2 (negócios *upstream* e *downstream*) em 52 MMtCO_{2e} em relação ao previsto (*business as usual* - negócios atuais) para 2035 (representando uma redução de 52%).

Para os indicadores de intensidade de carbono, foi delineado objetivo de reduzir a intensidade de carbono do *upstream* em ao menos 15% até 2035 (em relação aos valores de 2018). Este resultado implicaria na redução da intensidade de carbono de 10,2 kg CO_{2e}/boe (2018) para pelo menos 8,7 kg CO_{2e}/boe até 2035 (equivalente a um valor de 15% de redução).

Em adição a discussão dos indicadores, a empresa ainda delinea pouco sua estratégia de descarbonização dos produtos, em relação ao Escopo 3. Pouca informação é disponibilizada em relação ao estabelecimento de projetos de CCS/CCUS. Estes fatos demonstram a negligência atual da companhia para com os resultados de impacto ambiental relacionados às outras emissões indiretas de suas atividades (montantes do Escopo 3).

Por fim, a Saudi Aramco emprega o padrão da IPIECA para contabilização de suas emissões e cálculos de indicadores. A empresa reporta dados dos montantes dos Escopos 1 e 2 e intensidade de carbono do E&P, porém, não apresenta os dados do Escopo 3 e captura/transferência de carbono.

SHELL

A Shell declara, em seu Relatório de Sustentabilidade (2020), que suas emissões de GEE serão reduzidas das operações existentes de produção de óleo e gás, evitando a geração subsequente no futuro. A Shell declara alguns *milestones* (traduzidos como “marcadores”) considerados principalmente relevantes para próximos anos:

- Diminuição em 1-2% ao ano da produção total de petróleo da companhia até 2030. A Shell assume assim que sua produção anual atingiu o pico em 2019.

- Uma porcentagem de 55% ou mais do portfólio de ativos em produção da Shell seria voltada à produção de gás natural em 2030.
- Até 2025, manter uma intensidade de emissões de metano dos ativos operados pela Shell abaixo de 0,2%.

Nota-se então que a estratégia não implica em uma redução do total de ativos da companhia, volume de produção ou intensidade de projetos de exploração ao longo dos anos. Apenas irá tender a uma migração gradativa da empresa para projetos menos intensos em carbono, uma vez que o consumo de gás natural resulta em menores emissões de CO₂ que o de petróleo.

Além disso, metas estipuladas para redução de *flaring* e liberação fugitiva do metano acabam apontando uma operação mais eficiente em intensidade de carbono, mas não implica na extinção do impacto da companhia. Assim, mesmo com todas as metas propostas, os números atuais ainda exigiriam uma alta compensação das emissões por parte da Shell.

Dessa forma, a estratégia demonstra como as tecnologias de CCS e CCUS seriam importantes para permitir que a empresa alcance seu objetivo de zero emissões líquidas de CO₂ até 2050. Ao avaliar os projetos de CCS por parte da Shell percebe-se que o aumento do número e capacidade de captura das instalações que incluem sua participação será imprescindível, conforme tópicos a seguir discutidos demonstrarão.

Em relação aos indicadores de GEE reportados pela empresa, são disponibilizados em seus relatórios valores dos montantes de emissões dos Escopo 1, 2 e 3, intensidade de carbono no E&P e indicadores de carbono capturado e transferido. Todos os indicadores foram calculados conforme padronização preconizada pela IPIECA, o que os torna compatíveis para o estudo comparativos com as demais empresas.

SINOPEC

De maneira semelhante ao posicionamento da Petrochina, a Sinopec não declara explicitamente aderência às metas do Acordo de Paris, no entanto, inclui objetivo de seguir metas de descarbonização e operações *Net Zero* estipuladas pela China em sua política nacional. No entanto, a Sinopec assume os ODSs da ONU como norteadores para criação de seus objetivos de desenvolvimento para os próximos anos.

Em relação ao impacto de mudança climática, especialmente à sua contribuição de emissões de GEE, a empresa assumiu compromissos tomando 2018 como ano base (Tabela 4.3):

Tabela 4.3 - Valores de metas de relacionadas à GEE da Sinopec para 2023.

Até 2023:	
500.000	12.6
toneladas de CO ₂ capturado/ano	milhões de toneladas de emissões de CO ₂ reduzidas

Fonte: Sinopec, 2020

Além disso, a Sinopec propôs a meta de atingir o pico de suas emissões de dióxido de carbono antes da meta nacional chinesa (até 2030) e atingir a neutralidade de carbono até 2050.

A companhia também não utiliza o padrão internacional estabelecido pela IPIECA, pois, como no caso da Petrochina, emprega metodologia nacional publicada pela HKEX.

Os indicadores disponibilizados pela companhia segundo os padrões da HKEX são montantes de emissões para os Escopos 1 e 2 (Emissões Diretas e Indiretas de energia), carbono capturado/transferido e de Intensidade de emissão de GEE - porém, este reportado em unidade diferenciada do padrão internacional, toneladas equivalentes de CO₂e / RMB1 milhão, o que o torna não comparável aos demais resultados.

TOTAL

A Total se declara comprometida com as metas de sustentabilidade (ODSs) propostas pelas Nações Unidas e com as metas do acordo de Paris. Tendo em conta estas declarações, foram estabelecidos diferentes objetivos, apresentados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Objetivos em relação a mudança climática estabelecidos pela Total em 2020.

Abrangência	Âmbitos	Metas 2030	Metas 2050
Global	Escopos 1 e 2	<ul style="list-style-type: none"> Reduzir em pelo menos 40% em relação a 2015 as emissões líquidas (*) para atividades de O&G operados pelo Grupo. 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Net Zero</i> nas operações mundiais da Total até 2050 ou antes.

		<ul style="list-style-type: none"> • Manter a intensidade das emissões de CO_{2e} das instalações operadas para atividades upstream abaixo de 20 kg CO_{2e}/boe. • Melhorar em média 1% ao ano a eficiência energética das instalações operadas pelo Grupo desde 2010. 	
Global	Escopo 3	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzir a intensidade média de carbono dos produtos energéticos vendidos em todo o mundo em mais de 20% entre 2015 e 2030. • Atingir, um nível de emissões mundiais (Escopo 3) menor em termos absolutos do que em 2015. 	<ul style="list-style-type: none"> • Redução em 60% ou mais na intensidade média de carbono dos produtos energéticos utilizados mundialmente pelos clientes da companhia até 2050. Inclui-se a etapa intermediária de 35% de redução até 2040 (Escopos 1+2+3).
Europa	Escopos 1, 2 e 3	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzir em pelo menos 30% as emissões diretas e indiretas de GEE relacionadas ao uso pelos clientes dos produtos energéticos vendidos para uso final em termos absolutos em relação a 2015. (**) 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Net Zero</i> em todos os seus produtos de produção e energia usados por seus clientes na Europa até 2050 ou antes (Escopos 1+2+3).

Notas:

(*) O equivalente ao montante dos Escopos 1 e 2 descontando carbono capturado/compensado. (**) Essa meta de redução de 30% é estendida a todas as emissões dos Escopos 1, 2, 3 na Europa.

Fonte: Total, 2020

Nota-se que para 2030 as metas da companhia não demonstram-se totalmente condizentes com os objetivos globais do Acordo de Paris, apresentando diferenciação entre as metas para dentro da Europa e Globais (sendo menos restritivas quanto as exigências globais). Já para 2050, foi estabelecido objetivo concordante ao desafio do setor para 2050 em tornar-se neutra em emissões; no entanto, não necessariamente em todas atividades, com alguns nichos ainda podendo apresentar impactos ambientais significativos, como por exemplo para seu Escopo 3 global que não foi incluído nesta ambição.

Além disso, a estratégia empresarial da Total incluiu a criação de uma Divisão de *Venture Capture* (capital de investimento) denominada *Total Carbon Neutrality Ventures*, para

realizar aportes de investimento voltados especificamente para tecnologias de baixo carbono, o que incluiria as atividades de captura/compensação.

Em relação a métrica de indicadores ao qual a Total é adepta, a empresa se compromete a seguir a padronização estabelecida pela IPIECA. A empresa inclui os indicadores dos montantes de emissões do Escopo 1, 2 e 3 e intensidade de carbono do E&P, no entanto, não apresenta valores de carbono capturado/compensado.

4.1.1 Sumarização das estratégias empresariais

As informações então discutidas no item 4.1 para cada empresa listada, foram reunidas na Tabela 4.5, a qual sumariza a aderência (x) ou não de cada empresa a diferentes objetivos e metas consideradas relevantes.

Table 4.5 - Tabela de estratégias e objetivos empresariais das companhias estudadas.

Metas/Empresa	BP	Chevron	Exxon Mobil	Gazprom	Petrobras	Petro China	Saudi Aramco	Shell	Sinopec	Total Energies
Assunção das metas do Acordo de Paris explicitamente	X	X	X		X			X		X
Tornar-se neutro em emissões até 2050/2060	X	X			X	X	X	X	X	X
Redução de 30% ou mais da intensidade de carbono do E&P até 2030 *	X	X			X					
Metas de investimento/operações em Captura de Carbono específicas		X			X				X	X
Metodologia de reporte da IPIECA	X	X	X		X		X	X		X
Metas específicas de redução do ESCOPO 3	X									X

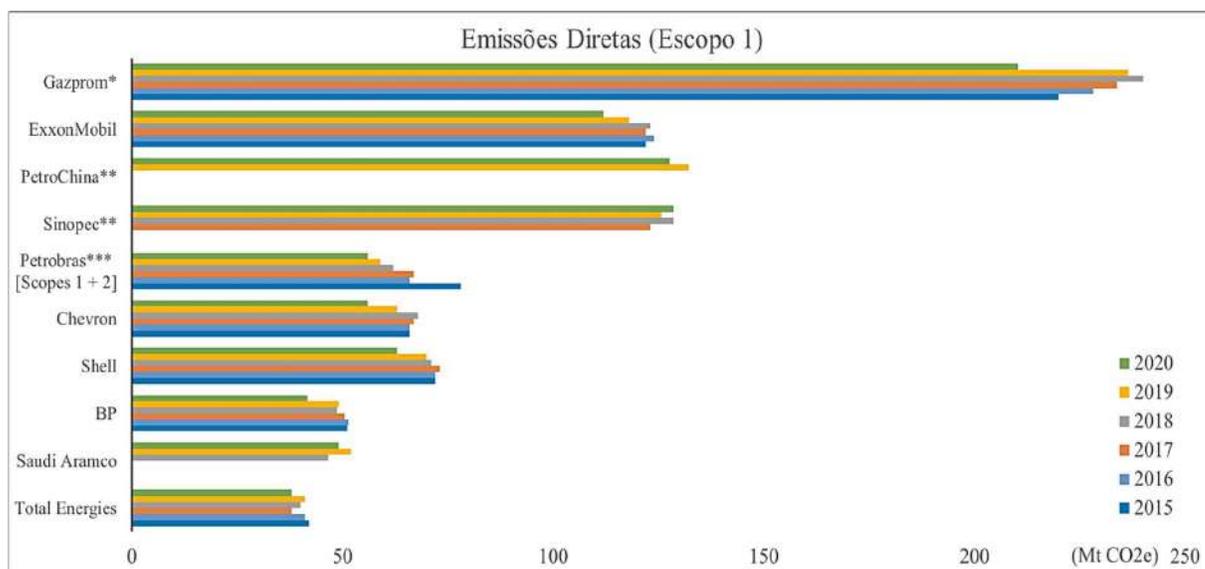
Nota-se que não foram todas as empresas listadas que declaram-se aderentes as metas do Acordo de Paris, com algumas apenas relacionando sua busca por cumprir os ODS da ONU. Sendo assim, também não são todas que tem como meta tornar-se neutras em emissões até 2060.

Além disso, apenas 4 das 10 empresas listada demonstraram alguma meta relativa a volumes de investimento ou volume de operações em Captura de Carbono. Por fim, apenas 2 das empresas estudadas apresentaram alguma meta de redução relacionada ao Escopo 3, o qual corresponde àquele de maiores impactos no desequilíbrio climático (pelos altos volumes de emissões de GEE), e por isso, mais necessária descarbonização.

4.2 Dados de emissões

Discute-se agora os fatores relacionados aos valores dos indicadores de montante de emissões de cada empresa para os 3 âmbitos da IPIECA, Escopos 1, 2 e 3. Os dados de emissões dos Escopos 1 e 2 das 10 empresas listadas podem ser observados através das Figuras 4.1 e 4.2, a seguir.

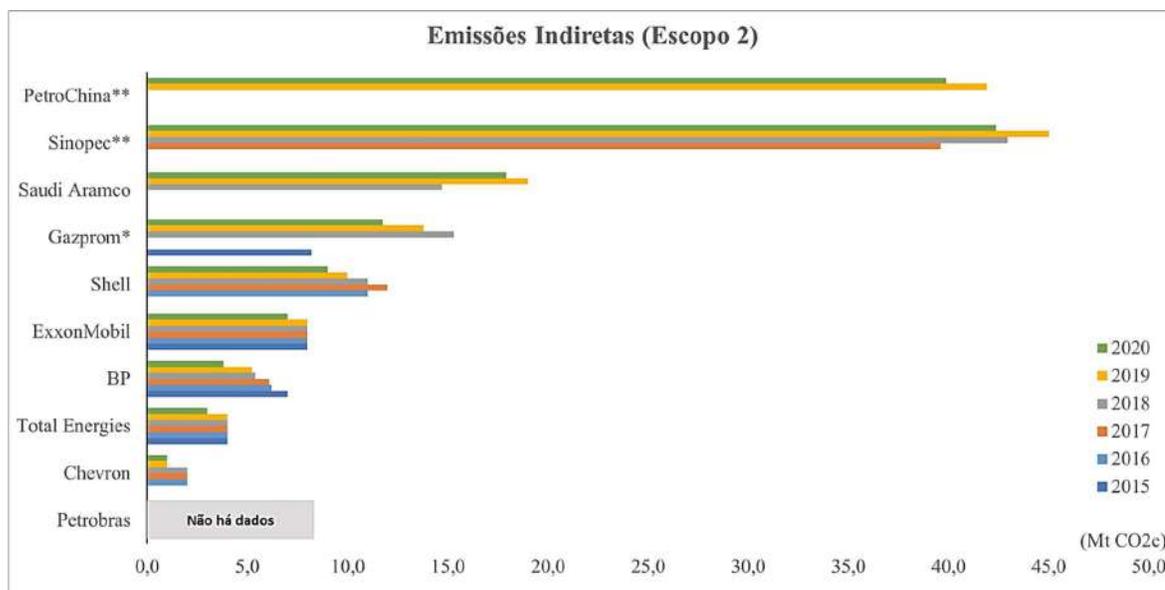
Figura 4.1 - Gráfico de emissões diretas das empresas, enquadrados no Escopo 1 (segundo metodologia da IPIECA/WRI).



*A Gazprom utiliza metodologia de cálculos de emissões estipulada internamente pelo MNRE. **Metodologia das empresas chinesas foi publicada pela HKEX. ***Dados disponibilizados pela Petrobras relacionam apenas valores da soma dos Escopos 1 e 2.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.2 - Gráfico de emissões indiretas do Escopo 2 das empresas (segundo metodologia da IPIECA/WRI).



*A Gazprom utiliza metodologia de cálculos de emissões estipulada internamente pelo MNRE.**Metodologia das empresas chinesas foi publicada pela HKEX. ***Dados disponibilizados pela Petrobras relacionam apenas valores da soma dos Escopos 1 e 2.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se que grande parte das empresas têm lacunas em seus dados de emissões às quais não são adequadamente explicadas nos relatórios. PetroChina, Sinopec e Saudi Aramco se destacam entre elas por terem histórico de emissões menos completos que as demais. Também é importante observar que a Petrobras apresenta em seu relatório apenas a soma dos Escopos 1 e 2, o que dificulta a análise de cada Escopo separadamente. Como resultado, não há estatísticas para o Escopo 2 da empresa no gráfico da Figura 4.2.

A Figura 4.1 demonstra algumas quedas dos valores de carbono do Escopo 1 para cada ano das empresas, sendo o maior nível de redução observado entre Petrobras, BP, Shell e Chevron. No entanto, a redução média das emissões é altamente variável ao longo do tempo e entre as empresas avaliadas, podendo também ser considerada mínima quando ocorre.

Para o Escopo 2 (Figura 4.2), de maneira geral, não se observa tendência de redução dos montantes, sendo mais estáveis que os do Escopo 1 por vezes com valores constantes. Esta estabilidade dos montantes do Escopo 2 pode ser relacionada ao fato de não ser comum que haja grandes variações na quantidade de energia comprada externamente pelas produtoras.

Fica claro pela análise combinada dos dados dos dois gráficos que as emissões indiretas de energia das empresas (Escopo 2) ocorrem em um volume significativamente menor do que suas emissões diretas (Escopo 1). Isto pode ser atribuído à própria forma de operação dos negócios de O&G, onde as emissões de fontes operadas pelas empresas naturalmente excedem as de energia comprada de fontes externas.

Adicionalmente, deve-se mencionar que a ordem de maiores emissoras varia de acordo com o Escopo de análise, exceto pelas empresas Sinopec, Petrochina e Gazprom, que apresentam os valores mais altos em ambos os Escopos. Esta observação indica que as tendências de emissões dos Escopos 1 e 2 não estão diretamente relacionadas a um único fator de operação das empresas.

A Tabela 4.6 a seguir contém as médias dos cinco anos para os valores dos Escopos 1 e 2 avaliados para cada empresa.

Tabela 4.6 - Valores das médias do Escopo 1 e 2 para os cinco anos avaliados.

Empresa	Média (5 anos) - Escopo 1 (Mt CO2e)	Média (5 anos) - Escopo 1 + 2 (Mt CO2e)	Desvios Padrões - Média 1 + 2 (Mt CO2e)	Porcentagem Escopo 2:1 (%)
Total Energies	40,0	43,8	1,77	10%
BP	48,8	54,4	4,26	12%
Petrobras	64,7	64,7	7,06	N/A
Chevron	64,3	65,7	4,35	2%
Saudi Aramco	49,2	66,4	3,98	35%
Shell	70,2	79,0	5,16	13%
MÉDIA DAS EMPRESAS	92,8	102,4	4,48	10%
ExxonMobil	120,2	128,0	4,43	7%
Sinopec**	126,5	169,0	3,65	34%
PetroChina**	129,9	170,8	3,32	31%
Gazprom*	228,1	236,3	12,24	4%
Média das porcentagens				16%

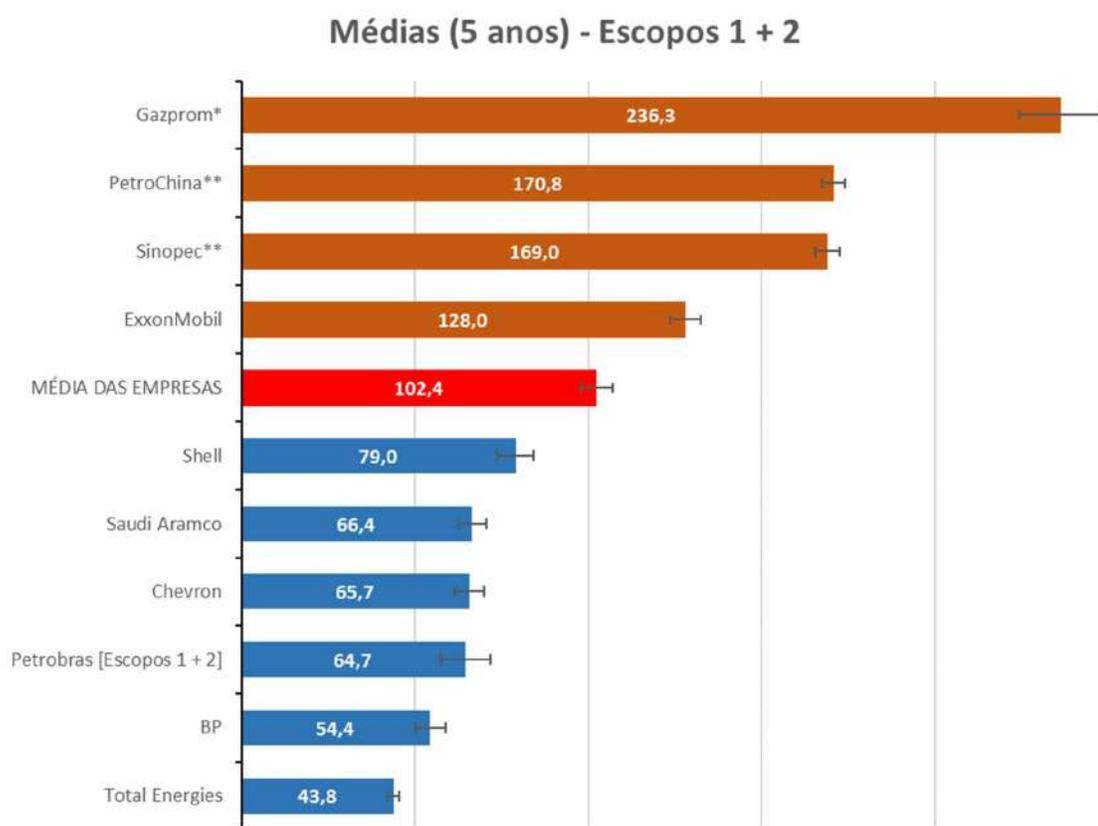
*A Gazprom utiliza metodologia de cálculos de emissões estipulada internamente pelo MNRE.**Metodologia das empresas chinesas foi publicada pela HKEX.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A proporção das emissões diretas para indiretas de cada empresa variou de 2 a 35%, com a média geral dessa relação chegando a 16%. (Escopo 2: Escopo 1). Os maiores valores percentuais do Escopo 2 em relação ao 1 entre as companhias são as da Saudi Aramco, da Sinopec e da Petrochina. Esse resultado sugere que esses *players* estão consumindo uma quantidade maior de energia importada em comparação com suas emissões de produção.

As somas dos Escopos 1 e 2 da Tabela 4.6 mostraram valores entre 40 - 250 CO_{2e}, com um montante de 102,4 Mt CO_{2e} como a média geral de todas as empresas e uma proporção de Escopo de 2:1 com um valor de 10%. O gráfico da Figura 4.3 também foi elaborado a partir das médias apresentadas na Tabela 4.6 e ilustra o ranking da soma dos Escopos 1 e 2 para classificar as empresas entre seus volumes médios emitidos direta e indiretamente (Escopo 1+2).

Figura 4.3 - Gráfico de ranking das empresas em relação aos valores de soma das emissões diretas e indiretas.



*A Gazprom utiliza metodologia de cálculos de emissões estipulada internamente pelo MNRE.**Metodologia das empresas chinesas foi publicada pela HKEX.

Fonte: Elaborado pelo autor.

As empresas Gazprom, PetroChina, Sinopec e ExxonMobil são as que apresentam emissões totais acima da média de todas as empresas avaliadas, conforme gráfico da Figura 4.3. A Total Energies teve o menor número de emissões diretas e indiretas, enquanto as outras

empresas abaixo da média alcançaram resultados próximos entre si. Além disso, nota-se também que as somas apresentam concordância com os resultados das posições vistas individualmente para as emissões direta e indiretas.

Para comparar os dados de emissões com o nível de atividade das companhias, foram montadas as duas Tabelas 4.7 e 4.8 contendo dados das médias de suas receitas e produção dos últimos 5 anos.

Tabela 4.7 - Ranking das empresas em relação aos valores de suas receitas (Bi U\$) para o ano de 2018.

Ranking de receitas	Empresa	Valores das receitas 2018 (Bi U\$)
1	Sinopec*	420,38
2	Shell	388,38
3	Saudi Aramco	356,00
4	PetroChina	342,21
5	BP	298,76
6	ExxonMobil	279,33
MÉDIA DAS EMPRESAS		266,03
7	Total Energies	209,36
8	Chevron	158,90
9	Gazprom	111,38
10	Petrobras	95,58

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 4.8 - Ranking das empresas em relação aos valores da média de produção de hidrocarbonetos (milhões de barris equivalentes) para os anos de 2015-2020.

Ranking de produção	Empresa	Hydrocarbon Production (MMboe/year)	
		Média de Produção (5 anos)	Desvios Padrões - Média de Produção
1	Saudi Aramco	4720,67	248,15
2	Gazprom	3468,83	225,83
3	PetroChina	1536,53	60,95
MÉDIA DAS EMPRESAS		1575,96	93,30
4	Shell	1278,18	97,10
5	Chevron	1035,08	72,26
6	Total Energies	974,85	85,91
7	Petrobras	973,04	43,40
8	BP	821,49	70,76
9	ExxonMobil	494,50	25,12
10	Sinopec*	456,47	3,54

*Produzido nacionalmente (no país-sede)

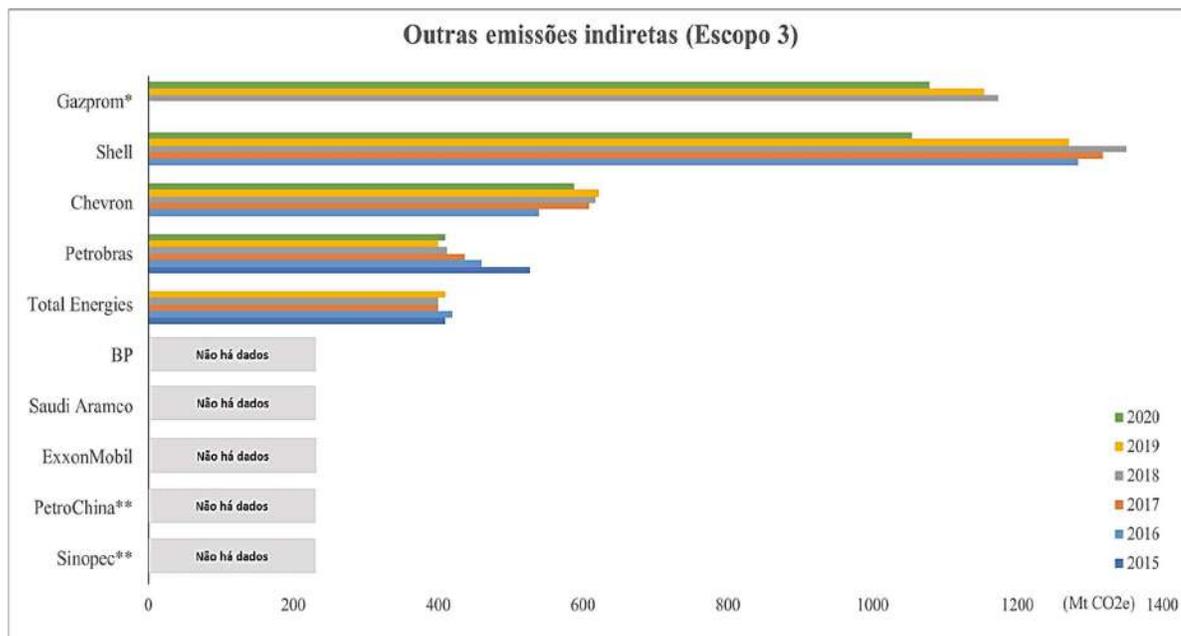
Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com esses números, fica claro que para a maioria das empresas, incluindo a Saudi Aramco e a Shell, por exemplo, os valores do Escopo 1+2 não acompanham de perto as tendências nos volumes de produção e receitas. Algumas empresas (como a Gazprom) têm produções e emissões acima da média, mas receitas abaixo da média, enquanto outras empresas (como ExxonMobil) têm uma situação oposta.

Esta observação corrobora que as emissões destes Escopos estão diretamente relacionados à gestão das operações pela relatora. Independentemente de seus valores de receita e produção, as empresas com operações mais intensivas em termos de uso de energia e emissão de poluentes geram os maiores níveis de emissões diretas e indiretas.

Já os valores de emissões indiretas do Escopo 3 das companhias avaliadas são apresentados na Figura 4.4, referindo-se especificamente aos montantes da Categoria 11, a qual relaciona a maior parcela de emissões desse escopo. Esta categoria representa as emissões relacionadas ao uso dos produtos comercializados pelas empresas, que, pela natureza da atividade, são majoritariamente combustíveis.

Figura 4.4 - Gráfico com outras emissões indiretas (Escopo 3) das empresas (segundo metodologia da IPIECA/WRI).



*A Gazprom utiliza metodologia de cálculos de emissões estipulada internamente pelo MNRE.**Metodologia das empresas chinesas foi publicada pela HKEX.

Fonte: Produzido pelo autor a partir dos dados dos inventários das empresas analisadas.

Como envolvem muitos agentes fora dos negócios e exigem mais trabalho de contabilidade, as emissões do Escopo 3 podem ser consideradas as mais desafiadoras de inventariar. Além disso, o escopo 3 possui mais fatores relacionados a erros do que os outros dois, o que muitas vezes exige a contratação de serviços de revisão e escrituração, elevando os custos que as empresas devem arcar.

Apenas 5 das 10 empresas avaliadas (Figura 4.4) relatam dados de emissões do Escopo 3 (base de cálculo operacional). A baixa disponibilidade nos relatórios atuais dos resultados para as emissões do Escopo 3, o mais abrangente da cadeia produtiva do petróleo, faz com que a avaliação comparativa da soma dos impactos finais das empresas não possa ser feita de maneira completa.

Todas as emissões entre as empresas reportadas no Escopo 3 excederam as emissões combinadas nos Escopos 1 e 2. De acordo com esses dados, a maior parte dos danos ambientais causados pelas atividades dos produtores se deve ao uso dos combustíveis que são produzidos em última instância. Como resultado, os compromissos das empresas para atingir o *net zero* (ou

seja, tornar-se neutro em carbono) exigem que elas compensem o carbono que é liberado durante o uso de seus produtos.

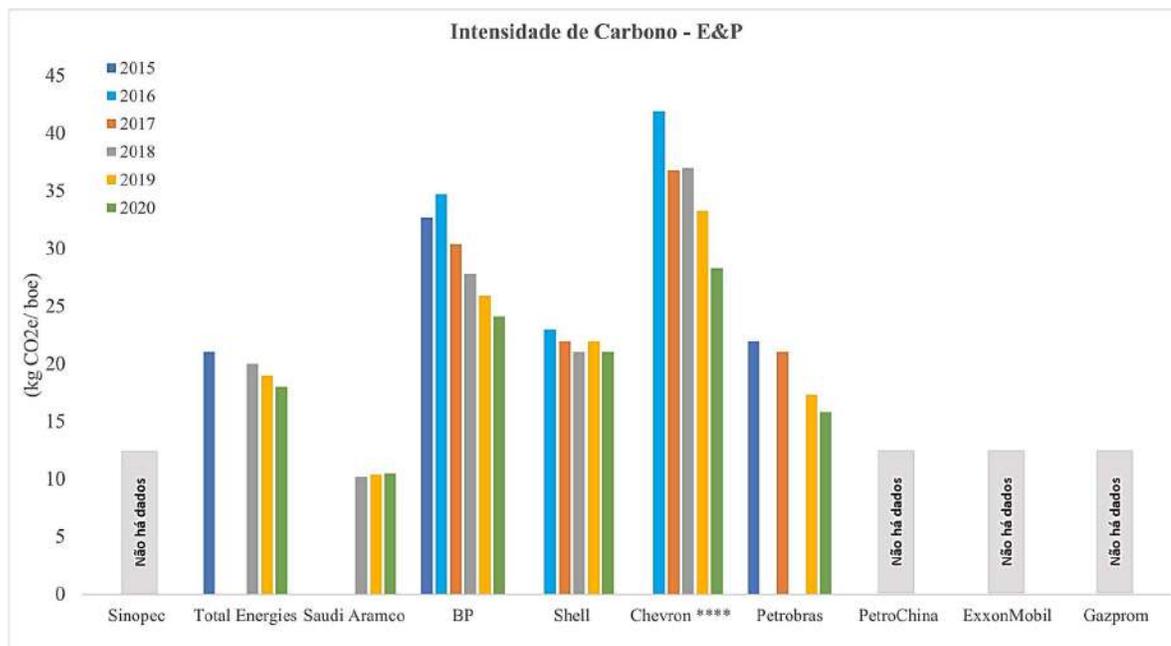
Na prática, o volume apresentado no Escopo 3 é aquele que está menos sujeito a ações de mitigação de impactos ambientais por medidas de eficiência energética ou mudança de fonte de energia. Pode-se assumir então que os maiores resultados do Escopo 3 entre as empresas são também aqueles que representam os maiores desafios em termos de necessidade de compensação de emissões, já que estas não podem ser facilmente mitigadas. Neste estudo, dentre as 5 relatoras publicantes do valor, seriam da Shell e da Gazprom.

A baixa disponibilidade do material relacionando o Escopo 3 reflete o atraso do desenvolvimento em relação a este âmbito poluidor frente aos demais desenvolvidos pelas produtoras. Portanto, uma vez que se tem os projetos de CCS e CCUS como principal mecanismo para melhoramento destes resultados para próximos anos, um aprimoramento dos relatórios deste KPI faz-se extremamente necessário como medida de visualização das condições reais desta frente dentro do setor.

4.3 Indicadores de Intensidade de Carbono

O gráfico da Figura 4.5 abaixo pode ser usado para conduzir a avaliação da intensidade de carbono, que mede a relação entre as emissões de GEE e a produção da empresa.

Figura 4.5 - Intensidade de carbono das operações de E&P empresas (segundo metodologia da IPIECA/WRI).



(****) Intensidade de carbono apenas do óleo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Embora todas as empresas que relatam sua pegada de carbono, com exceção da Saudi Aramco, pareçam estar melhorando seus números com o tempo, os resultados da pegada de carbono de uma empresa sozinhos não são capazes de identificar exatamente quais ações causaram o impacto positivo final. A redução da intensidade de carbono pode ser provocada, por exemplo, por medidas de aumento da eficiência energética ou pela decisão de deslocar ou alienar posições em ativos altamente poluentes.

Os dados sobre o CO₂ armazenado e transferido que foram encontrados nos relatórios de sustentabilidade são mostrados na Tabela 4.9 (conforme metodologia IPIECA).

Tabela 4.9 - Dados de CO₂ estocado e transferido segundo relatórios anuais das empresas (2015-2020).

Ano/Empresa	CO ₂ estocado (MtCO ₂)			CO ₂ utilizado/transferido (MtCO ₂)			SER(I) (MtCO ₂ e)
	Sinopec (II)	Shell	Chevron	Sinopec (II)	Shell	Chevron	BP
2015	-	-	-	-	-	-	0,2
2016	-	1,11	-	-	0,58	1	0,7
2017	0,27	1,14	<1	-	0,45	1	0,5
2018	1,01	1,07	<1	-	0,46	1	1,3
2019	1,26	1,13	1	-	0,43	1	1,4
2020	1,29	0,94	3	-	0,3	1	1

Notas: (I) Sigla para Sustainable GHG emissions reductions, trata-se de uma categoria que inclui atividades de CCS e CCUS mas que seria mais ampla que apenas a captura (incluindo medidas de Eficiência Energética ou Compra de créditos de compensação). (II) Foi utilizada metodologia nacional para contabilização do montante CO₂ reportado.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Apenas três das seis empresas que divulgaram o KPI de intensidade de carbono em E&P também publicaram os resultados de compensação de GEE do período, como pode ser observado na Figura 4.5. Apenas a Chevron demonstrou uma ligeira tendência ascendente na quantidade de CO₂ capturado desde 2015, apesar do fato de que todas as empresas que relatam sua pegada de carbono parecem estar vendo melhorias em seu impacto nas operações ao longo do tempo.

A partir de 2017, a Sinopec também demonstrou um aumento lento e gradual na quantidade de CO₂ captado. Porém, como foram adquiridos usando uma abordagem instituída nacionalmente que se desvia da norma da indústria, seus dados de pegada de carbono não podem ser considerados comparáveis aos demais.

Ao fim, ao realizar uma comparação das ordens de grandeza, nota-se que os valores emitidos pelas empresas, apenas para o Escopo 3, chegam ao valor máximo de cerca de 1300 Mt CO₂ anuais. Enquanto isso, o carbono capturado anualmente esteve em uma faixa máxima de 0,1 – 2,0 Mt CO₂eq entre as empresas, cujo somatório não alcança sequer o equivalente a 1% da taxa emitida somente para o Escopo 3.

4.4 Projetos de CCS e CCUS das empresas e Investimentos Governamentais

Uma visão geral é obtida ao avaliar-se os projetos de CCS e CCUS atualmente em andamento pelas empresas listadas, delineando um panorama geral do quanto pode ser esperado de aumento com sucesso da quantidade de CO₂ capturado por elas nos próximos anos e em quais nações isso ocorrerá. (Tabela 4.10).

Apenas 12 do total de 31 projetos encontrados estão hoje em operação, com os demais nas fases de planejamento, estudo de viabilidade ou construção. Além disso, apenas 9 destes projetos listados foram classificados como não constantes de investimento governamental durante seu processo de implementação.

Tabela 4.10 - Projetos de CCS e CCUS das empresas estudadas de acordo com os países das instalações.

Nº	País	Projeto	Empresas	Investimento Governamental	Tecnologia Aplicada	Status	Capacidade (MtCO ₂ /ano)	Potencial de captura total (MtCO ₂)	Total capturado (MtCO ₂)
1	Arábia Saudita	Uthmaniya h Project	Saudi Aramco	NÃO	Pré-combustão	Operação	0,8	40	4,8
2	Austrália	Gorgon	Shell, Chevron, ExxonMobil	SIM	Pós-combustão	Operação	4	100	5
3	Bélgica	Antwerp@C	ExxonMobil, Total Energies	SIM	Pós-combustão	Anúncio	~2,5	~15	N/A
4	Brasil	EOR com CCUS	Petrobras	NÃO	Pós-combustão + EOR	Operação	~5	40	14,4
5	Canadá	Polaris	Shell	SIM	Pós-combustão	Planejamento	~0,75	300	N/A
6	Canadá	Quest	Shell	SIM	Pós-combustão	Operação	1	-	6

7	Reino Unido	Acorn	Shell, ExxonMobil	SIM	Pós-combustão + hidrogênio	Planejamento	até 6,2	-	N/A
8	Catar	Ras Laffan CCS facility	ExxonMobil	SIM	Pós-combustão	Operação	2,1	-	-
9	China	Zhongyuan CCUS	Sinopec	SIM	Pós-combustão	Operação	0,12	-	-
10	China	Shengli Oilfield CCS	Sinopec	SIM	Pós-combustão	Operação	1	-	-
11	China	Qilu Petrochemical CCS	Sinopec	SIM	Pós-combustão	Construção	1	-	N/A
12	China	Eastern China CCS	Sinopec	SIM	Pós-combustão	Estudo de Viabilidade	-	N/A	N/A
13	China	Changqing Oil EOR CCUS	PetroChina	NÃO	Pós-combustão + EOR	Operação	0,05-0,1	-	1
14	China	Jilin Oilfield EOR CCUS	PetroChina	NÃO	Pós-combustão + EOR	Operação	0,35-0,6	-	0,37
15	Estados Unidos	National Carbon Capture Center	Total Energies	SIM	Pesquisa	Operação	~0,004	N/A	N/A
16	Estados Unidos	Holcim Portland Cement Plant Capture	Total Energies	NÃO	Pós-combustão	Planejamento	2	-	N/A
17	Estados Unidos	Kern River	Chevron	SIM	Pós-combustão	Planejamento	0,01	-	N/A
18	Estados Unidos	Planta McKittrick	Chevron	SIM	Pós-combustão	Planejamento	0,08	-	N/A

19	Estados Unidos	Mendota BECCS	Chevron	SIM	BECCS	Planejamento	0,3	-	N/A
20	Estados Unidos	Shute Creek LaBarge	ExxonMobil, Chevron	NÃO	Pós-combustão	Operação	6-7	-	-
21	França	DMX process	Total Energies	SIM	Pós-combustão	Planejamento	~0,0045	-	N/A
22	França	Lacq CCS	Total Energies	NÃO	Oxi-combustão	Encerramento	-	N/A	0,051
23	Holanda	Porthos	ExxonMobil, Shell	SIM	Pós-combustão	Planejamento	2,0 - 5,0	-	N/A
24	Holanda	Aramis	Shell, Total Energies	SIM	Pós-combustão	Planejamento	20	400	N/A
25	Indonésia	Tangguh LNG	BP	NÃO	Pós-combustão	Anunciado	-	25	N/A
26	Noruega	Nothern Lights	Shell, BP, Total Energies	SIM	Pós-combustão	Planejamento	1,5-5	-	N/A
27	Noruega	TCM	Shell	SIM	Pesquisa	Operação	-	N/A	N/A
28	Reino Unido	Net Zero Teesside	Shell, BP, Total Energies	SIM	Pós-combustão + Oxicomcombustão	Planejamento	-	-	-
29	Reino Unido	H2Teesside	BP	SIM	Pós-combustão + hidrogênio	Planejamento	2	-	N/A
30	Reino Unido	Zero Carbon Humber (ZCH)	BP	SIM	Pós-combustão + hidrogênio	Planejamento	até 18,3	-	N/A
31	Rússia	CCS Orenburg	Gazprom	NÃO	Pós-combustão	Estudo de	0,8	5000	N/A

						Viabilida de			
--	--	--	--	--	--	-----------------	--	--	--

Fonte: Produzido pelo autor a partir dos relatórios das empresas; Global CCS, 2022; SCCS, 2023.

Como pode ser visto, os projetos CCS e CCUS estão concentrados em partes específicas do globo onde as oportunidades de investimento são mais favoráveis. As localizações preferidas compartilham várias características essenciais, incluindo estruturas regulatórias claras, financiamento mais fácil e infraestrutura mais avançada. Esta tendência observada acaba estimulando o desenvolvimento de “polos” (também chamadas de plataformas e *hubs*) de captura de carbono, pois a estrutura para a realização de projetos é reforçada à medida que novos participantes e novas instalações conseguem se adequar ao ambiente estabelecido após uma etapa inicial.

Dentre os projetos divulgados pelas relatoras que acabam por consistir no desenvolvimento de “hubs” de CCS, citam-se: Acorn, Antwerp@c, Zero Carbon Humber, Net Zero Teesside, Porthos, Nothern Lights, Aramis, CCS Orenburg e EOR CCS (Petrobras). Nota-se então que a maioria destes hubs ainda encontram-se em fases iniciais, geralmente em planejamento, resultando em pouco ou nenhum detalhe de parcelas de participação dos investidores envolvidos e estimativas pouco acuradas de quantidades de instalação e capacidades esperadas para cada polo.

Pelo mesmo movimento de beneficiamento mútuo dos *players* que engajam aos *hubs* de CCS, muitas empresas de petróleo também decidiram criar associações corporativas (*ventures*) para pulverizar seus riscos de investimento, facilitar a obtenção de financiamento ou apoio governamental, aumentar seu impacto nas questões climáticas (regulatórias, de mercado etc.) e, de maneira mais ampla, auxiliar no alinhamento das ações e dos objetivos do grupo.

Assim, os principais pontos relacionados aos projetos de CCS/CCUS de cada uma das empresas avaliadas encontram-se listados abaixo:

Saudi Aramco: A empresa demonstra participação em um único projeto de CCS implementado atualmente, o projeto de EOR Uthmaniyah, que realiza abatimentos de carbono da planta de gás natural líquido Hawiyah onde opera, contando com 4 poços injetores de CO₂ para estocagem geológica. Portanto, o número de projetos apresentados se demonstra não relevante frente a necessidade total de descarbonização da empresa, a qual apresenta emissões dos

Escopos 1+2 de 66,4 MtCO_{2e}/ano frente a capacidade de apenas 0,8 MtCO_{2e}/ano de captura de carbono.

Shell: Atualmente a Shell participa em sete dos 51 projetos CCS de grande escala globais, listados pelo Global CCS Institute. (Global CCS, 2022). Seu portfólio de projetos se distribui entre os países: Austrália, Canadá, Reino Unido, Noruega, Escócia e Holanda, se dividindo entre projetos em fase de desenvolvimento e outros já em operação.

Sinopec: A Sinopec apresenta 3 distintos projetos atuais de CCS/CCUS em fase relativamente avançada: 2 em operação e 1 em construção. Todos os projetos apresentados pela companhia foram desenvolvidos dentro dos limites do país-sede da companhia, China, e envolveram investimento governamentais. O projeto listado em estudo de viabilidade ainda encontra-se em estágio prematuro, o que impossibilita obter-se estimativas de viabilidade e escala de impacto assertivas.

BP: Entre os dados da empresa, contam-se apenas projetos em estágio de planejamento, concentrando 3 dentre os 5 itens listados em localidades do Reino Unido. Além disso, todos aplicam tecnologia de pós-combustão e, por vezes, com possibilidade de integração com plataformas para geração de hidrogênio verde.

Total Energies: A companhia faz parte de 8 projetos, com 4 destes sendo relacionados a *hubs* de CCS/CCUS. Os projetos estão localizados entre: Holanda, Noruega, EUA, França, Reino Unido e Bélgica, e apresentam diferentes escalas de maturação. Dentre eles, destaca-se o único projeto encerrado na empresa, o Lacq piloto de CCS, em que foi realizada captura e injeção de CO₂ entre 2006 e 2013 para aplicação da tecnologia de oxi-combustão em piloto industrial. Das demais instalações, sinaliza-se ainda o Centro Nacional de Captura de Carbono operado com objetivo de pesquisa em tecnologias de CCS, enquanto as restantes empregam rota de pós-combustão.

Exxon Mobil: Dos 6 projetos da empresa, 3 encontram-se em estágio de operação, enquanto os outros 3 estão em fases mais prematuras. Os projetos em operação somam aproximadamente 13 MtCO_{2e}/ano, o que equivale a 10% do montante dos Escopos 1+2 da Exxon. Além disso, a empresa aplica majoritariamente a rota de pós-combustão em seus projetos, sendo estes distribuídos entre 6 diferentes países.

Petrochina: São apresentados 2 projetos apenas na localidade da China, ambos em fase de operação e acumulando a capacidade de 0,4-0,7 MtCO_{2e}/ano de captura de carbono. Assim, a

Petrochina possui apenas 0,3% de capacidade de compensação de seu total de emissões de 170,8 MtCO₂/ano de emissões dos Escopos 1+2.

Chevron: A companhia tem participação em 4 projetos, com pouca prevalência de projetos estilo *Joint Venture* (apenas 1 dos 4) em comparação com as demais. Os projetos ocorrem nos EUA e Austrália, com apenas um em fase de operação e todos contando com investimento governamental.

Petrobras: De parte da empresa brasileira, foram encontrados apenas projetos em que emprega-se utilização de CO₂ para EOR em campos maduros. A empresa busca realização da estocagem de carbono em diversos campos exploratórios favoráveis a atividade. Atualmente, reporta-se injeção bem-sucedida em campo da Bacia de Campos em água profundas (profundidade de 2200 m).

Gazprom: A Gazprom também reporta participação em apenas 1 projeto, em que visa-se empregar reinjeção de CCS em campo da região de Orenburg, Rússia. O projeto poderia futuramente gerar um *hub* de compensação de carbono para a região rica em atividades fabris, no entanto, ainda encontra-se em fase de Estudo de viabilidade, o que implica em grande incerteza em sua continuidade.

Assim, após a avaliação individual de cada companhia, pode-se assumir que a rota tecnológica predominante entre os projetos do setor é a pós-combustão, onde emprega-se a separação de gases da queima de combustíveis da geração de energia para sua posterior estocagem/reconversão. Esta rota demonstra-se como aquela de maior maturação em proporção de emprego industrial, o que representa maior disponibilidade bibliográfica e estado de engenharia bem estabelecidos e padronizadas para emprego em novas instalações.

Além disso, fatores cruciais como gargalos tecnológicos e disponibilidade de recursos para a rota mais bem desenvolvida tendem a tornar-se de menor resistência à aplicação da pós-combustão para plantas já existentes. Portanto, a pós-combustão pode ser assumida como escolha hegemônica para projetos dos próximos anos do setor O&G globalmente nível global.

A partir da Tabela 4.10, vê-se que os projetos já em estágio de operação de todas as empresas hoje somam ~21MtCO₂ de capacidade anual, o que representa 60% da capacidade atual global, segundo (IEA, 2020). A partir da soma das capacidades de captura anual de todos os projetos mapeados, nota-se uma potencial adição de cerca de 60 MtCO₂ à capacidade atual das empresas pelos projetos ainda não em operação - o que representa aumento de 290%.

Entretanto, de acordo com o cenário SDS da IEA, a captura e o armazenamento de carbono deveria representar 2.800 Mt CO₂ por ano em 2050. Este fato revela que a capacidade futura somada (de até 81 MtCO₂) para as empresas estudadas ainda representa quantidade de armazenamento insuficiente frente às quantidades de emissões produzidas.

Como elucidado durante as discussões do item 4.1, ao avaliar os projetos de CCS das empresas, nota-se que ainda há baixo desenvolvimento das suas atividades que visam a compensação de emissões de seus produtos (maior Escopo de emissões - 3). A quantidade, escala e potencial de impacto vistos entre os projetos de diversas das companhias estudadas, não corroboram com seus objetivos anunciados até 2025, 2050. A velocidade de crescimento da compensação das companhias em relação a implementação do CCS/CCUS demonstra-se, atualmente, incompatível com suas metas de descarbonização e os objetivos globais de redução.

Por fim, nota-se como o investimento governamental é expressivo entre os projetos listados na Tabela 4.10, estando presente em 70% dos itens. O fato observado representa a importância do ambiente regulatório e de financiamento regional para opção individual das empresas pela entrada em projetos específicos de CCS/CCUS. Ao avaliar este cenário regulatório e de fomento de cada país, faz-se possível entender aqueles mais propensos a arcar com metas globais de descarbonização, conforme visto no próximo tópico 4.4.1.

4.4.1 Investimento pelos países-sede

O financiamento do governo é fornecido para a esmagadora maioria dos projetos, o que reforça a importância do estabelecimento de políticas públicas voltadas para o desenvolvimento de infraestrutura de captura de carbono. Para comparar esses números por parte dos governos com a postura climática verificada para cada empresa, apresenta-se um panorama dos investimentos em CCS e CCUS nas nações onde estas são sediadas (Tabela 4.11).

Tabela 4.6 - Quadro de investimento em projetos de CCS e CCUS pelos países sede das empresas.

Países Sede	Empresas	Situação atual	Atual investidor expressivo em CCS/CCUS
Arábia Saudita	Saudi Aramco	Objetivos: tornar-se Net Zero em 2060; Gasto anunciado para CCS: US\$1,56 bilhões (fundo); Gasto realizado: não houve expressivamente	Não
Brasil	Petrobras	Objetivos: redução de 50% das emissões até 2030; Gasto anunciado para CCS: não houve expressivamente; Gasto realizado: não houve expressivamente	Não
China	Sinopec	Objetivos: tornar-se Net Zero em 2050; Gasto anunciado para CCS: [não encontrados dados] ; Gasto realizado: [não foram encontrados dados] embora haja gastos em diversos projetos demonstrativos	Intermediário
	Petrochina		
Estados Unidos	Chevron	Objetivos: redução de 80% das emissões de GEE até 2050 (base 2005); Gasto anunciado para CCS: mínimo de US\$0,5 bilhão por ano (fundo) ; Gasto realizado: US\$4,6 bilhões (fundo)	Sim
	ExxonMobil		
França	Total Energies	Objetivos: tornar-se Net Zero em 2050; Gasto anunciado para CCS: €6 bilhões por ano (financiamento externo- não apenas CCS); Gasto realizado: €14 bilhões (financiamento externo- não apenas CCS) e €1.5 bilhões (fundo verde)	Sim
Reino Unido	Shell	Objetivos: tornar-se Net Zero em 2050; Gasto anunciado para CCS: £1 bilhão; Gasto realizado: £0,8 bilhão (fundo)	Sim
	BP		
Rússia	Gazprom	Objetivos: tornar-se Net Zero em 2060; Gasto anunciado para CCS: não houve expressivamente; Gasto realizado: não houve expressivamente	Não

Fonte: Produzido pelo autor a partir de anúncios oficiais dos governos.

A partir da avaliação da Tabela 4.11, nota-se que apenas 2 dos 7 países-sede estudados não declaram até então ambição de tornar-se *Net Zero* no arco de até 2050/2060, o Brasil e os Estados Unidos. Isto torna-os menos concordantes com as metas mundiais de redução de mudanças climáticas dentre os demais, com o Brasil sendo aquele que apresenta menor ambição de redução (de apenas 50% de redução até 2030) entre os dois.

Além disso, dentre os 3 países classificados como não investidores: Arábia Saudita, Brasil e Rússia, a situação mapeada para a Arábia Saudita, a qual conta com um anúncio de investimento representativo (US\$ 1,56 bilhões) em fundo de financiamento de CCS/CCUS, torna-o mais promissor para entrada de projetos desta tecnologia. Para os países investidores,

de maneira geral, foram anunciados aumento, ou ao menos manutenção, dos níveis de investimento até então realizados.

Os países da União Europeia destacam-se como os maiores aplicantes de recursos para fundos de financiamento e desenvolvimento de plataformas de CCS/CCUS. A postura mais avançada de mercado consumidor exigente em relação a pegada de carbono, taxaço de emissões e maiores riscos de restrições de emissões futuras que, atualmente, encontra-se na União Europeia pode ser considerado principal fator para a vantagem das empresas desta região.

Já a China foi classificada como investidora intermediária em CCS pois, embora tenha anúncios recentes (2020) de assumpção da concordância com objetivos globais de neutralidade de carbono, o país já realizava investimento em diversos projetos demonstrativos. As empresas do país também já possuem plantas de CCS/CCUS em operação e os financiamentos anunciados pelo governo do país podem acelerar a formação de *hubs* de CCS nas regiões promissoras já mapeadas por agências governamentais.

Nota-se ainda que, majoritariamente, os anúncios de investimentos foram feitos em formato de disponibilização em fundos específicos para a compensação de carbono (por vezes, podendo ser fundos verdes), o que direciona mais assertivamente os esforços das companhias e agências de fomento governamentais.

Finalmente, ao comparar os resultados das empresas e seus países-sede, pode-se observar que as empresas que apresentaram os maiores projetos de CCS e CCUS e melhores indicadores de emissões da lista, têm suas sedes em nações que fizeram os maiores investimentos em CCS e CCUS, como Estados Unidos (Chevron e Exxon Mobil), França (Total Energies) e Reino Unido (Shell e BP).

As empresas cujos países sede foram considerados não investidores, também se mostraram aquelas com estratégias relacionadas a mudança climática em menor conformidade com a urgência de se alcançar balanço de emissões condizentes com os objetivos globais de restrição do aquecimento do clima. Ainda neste sentido, aquelas empresas notadas como possuindo as estratégias de mudanças climáticas menos alinhadas com a urgência global de balanço de emissões também foram aquelas cujos países de origem foram considerados não investidores, destacando-se Rússia (Gazprom), Arábia Saudita (Saudi Aramco).

5 CONCLUSÕES

Para a indústria de petróleo, é preciso haver mais uniformidade nos processos de contabilidade e de abatimento das emissões de carbono relatados para operações das produtoras. Os dados anuais avaliados apresentaram resultados semelhantes entre os anos para cada empresa, porém, as médias dos 5 anos foram significativamente diferentes entre as empresas por causa de suas operações distintas. De maneira geral, os dados dos KPIs de emissões avaliados não demonstraram um movimento de redução significativo entre 2015 e 2020 em nenhum dos Escopos para as companhias.

A análise dos dados apresentados neste estudo também demonstra que o uso das tecnologias de CCS e CCUS ainda é incipiente, conforme evidenciado pelo total de 5,8 MtCO_{2e} capturados anualmente pelas empresas de uma soma média de 1078 MtCO_{2e}/anos emitido (somente Escopo 1 e 2), ou seja, apenas 0,54% de carbono mitigado do total gerado. Assim, apesar de as empresas alegarem que há várias estratégias sendo desenvolvidas para diminuir o nível de emissões de suas atividades, os resultados ainda não apontam para reduções relevantes no impacto ambiental de suas operações.

Para alcance de um portfólio de compensação de carbono expressivo frente ao volume de emissões demonstrado, seria necessário um maior envolvimento das empresas petrolíferas em investimentos com esta finalidade. Faz-se necessário alterações nas políticas públicas voltadas para a indústria de petróleo e gás, que deveriam incluir um forte conjunto de instrumentos para incentivar a redução de emissões e a compensação de carbono.

Os incentivos governamentais mostraram-se cruciais nos cenários estudados para influência positiva das empresas por decidirem participar de projetos de CCS e CCUS. Foi visto que empresas de nações como Estados Unidos, França e Reino Unido, que têm um maior engajamento com compromissos e incentivos no combate às mudanças climáticas, têm mostrado estratégias mais robustas para a execução eficiente de ações de compensação de emissões.

No entanto, a adoção de tecnologias CCS e CCUS não é um indicador confiável da dedicação de uma empresa de petróleo para reduzir suas emissões poluentes. Várias estratégias estão sendo trabalhadas para diminuir a quantidade de emissões de suas atividades no balanço final. Foi demonstrado que algumas empresas optam por reduzi-los deixando de se envolver

em atividades mais poluentes e fortalecendo suas posições em outros setores, como participação em empreendimentos relacionados ao desenvolvimento de energias renováveis.

No contexto do Brasil, em que o setor de energia e produção de combustíveis abarca diversas opções de aplicação de bioenergia/biocombustíveis, nota-se a vantagem para o desenvolvimento em larga escala de aplicações de BECCS, frente às regiões globais de melhor desempenho em CCS/CCUS neste estudo até então (que foram vistas sendo a Europa Central e América do Norte, o BECCS). Os resultados do estudo demonstraram que a Petrobrás vem investindo com foco na captura do CO₂ de seus processos de E&P utilizando-o para a recuperação avançada (EOR) em seus campos, o que reduz suas emissões dos Escopos 1 e 2 mas não afeta o Escopo 3. Compensações do Escopo 3 da empresa poderiam ser futuramente endereçadas explorando sinergias de sua cadeia de distribuição, venda, insumos com o desenvolvimento da plataforma de BECCS brasileira.

Frente ao panorama atual, os governos devem priorizar o estabelecimento de instrumentos normativos que reduzam gradativamente o volume de emissões permitida para as atividades da cadeia de O&G. Inserindo penalidades ao descumprimento dos limites estabelecidos e, por outro lado, adotar instrumentos de incentivo, como linhas específicas de financiamento, para criar um cenário global mais consistente com as metas para os próximos anos. A criação de um marco regulatório confiável e claro, que ofereça previsibilidade e segurança jurídica aos investidores da cadeia é necessário para o sucesso de tais medidas.

6 REFERÊNCIAS

API - AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **API Compendium of GHG Emissions Methodologies**. Washington. 2021.

API - AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **API Guidance Document for GHG Reporting**. Massachusetts. 2022.

BP. (2020). **Energy Outlook 2020**. BP. Disponível em: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/energyoutlook.html>. Acesso em 8 de julho de 2022.

BP. (2020). **Sustainability Reports**. BP. Disponível em: <https://www.bp.com/en/global/corporate/sustainability.html>. Acesso em 23 de junho de 2022.

BRIGAGÃO, G. V. **Technological alternatives for carbon abatement and exergy efficiency: power generation, processing of CO₂-rich natural gas, and biorefineries**. UFRJ. Rio de Janeiro. 2019.

CADEZ, S., CZERNY, A. **Climate change mitigation strategies in carbon-intensive firms**. Journal of Cleaner Production. 2016. Elsevier Ltd, 112, pp. 4132–4143.

CHEVRON. (2020). **Sustainability Reports**. Chevron. Disponível em: <https://www.chevron.com/sustainability>. Acesso em 10 de maio de 2022.

CLP. Nota técnica: **O mercado de carbono no Brasil**. Online. 2022.

CUELLAR-FRANCA, R. M.; AZAPAGIC, A. **Carbon capture, storage and utilisation technologies: a critical analysis and comparison of their life cycle environmental impacts**. 9, p. 82-102. 2015.

EPBR. Preço do carbono na Europa mais que dobra e bate os 50 euros. Publicação Online. 2021.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2029**. Brasília. MME/EPE, 2020.

EXXONMOBIL. (2020). **Sustainability Reports**. ExxonMobil. Disponível em: <https://corporate.exxonmobil.com/Sustainability/Sustainability-Report>. Acesso em 23 de maio de 2022.

FORBES. **Petrobras é a 10ª maior petroleira do mundo em 2018**. Forbes. [S.l.]. 2019.

GAZPROM. (2020). **Sustainability Reports**. Gazprom. Disponível em: <https://sustainability.gazpromreport.ru/en/2020/>. Acesso em 23 de maio de 2022.

GLOBAL CCS, I. **CO₂Re: Facilities Database**. [S.l.]. 2022.

HARGREAVES, F. M. **Opções de Mitigação das Emissões de Gases de Efeito Estufa na Indústria de Petróleo e Gás Natural Brasileira**. Dissertação de mestrado. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2019.

HKEX. **Apêndice 2: Orientação de relatórios sobre KPIs ambientais**. [S.l.]. 2022.

IEA - International Energy Agency. 2020. **Energy Technology Perspectives: Special Report on Carbon Capture, Utilisation and Storage: CCUS in clean energy transitions**. Paris: IEA, Setembro de 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>. Acesso em Março de 2022.

IEA - International Energy Agency. 2022a. **Energy Technology Perspectives**. Paris: IEA, September 2020. Available at: <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>. Acesso em Outubro de 2022.

IEA - International Energy Agency. 2022b. **World CO2 emissions from fuel combustion by fuel, 1971-2018**. Paris: IEA, 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/world-co2-emissions-from-fuel-combustion-by-fuel-1971-2018>. Acesso em Janeiro de 2023.

IEA - International Energy Agency. 2022c. **Global energy sector CO2 emissions reductions by measure in the Sustainable Development Scenario relative to the Stated Policies Scenario**. Paris: IEA, 2022. Available at: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-energy-sector-co2-emissions-reductions-by-measure-in-the-sustainable-development-scenario-relative-to-the-stated-policies-scenario>. Acesso em Agosto de 2022.

IEA - International Energy Agency. 2022d. **Carbon Capture, Utilisation and Storage**. Paris: IEA, 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/carbon-capture-utilisation-and-storage-2>. Acesso em Junho de 2022.

IEA - International Energy Agency. **World Energy Outlook 2018: Oil and gas innovation**. IEA, [S. l.], p. Flagship Report, nov. 2018. Disponível em: <https://www.iea.org/>. Acesso em: 26 jun. 2020.

IEA - International Energy Agency. 2019. **World Energy Outlook 2019**. Paris: IEA, 2019. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/worldenergy-outlook-2019>. Acesso em Maio de 2021.

IEA - International Energy Agency. 2023. **Emissions from Oil and Gas Operations in Net Zero Transitions**. Paris: IEA, Maio de 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/emissions-from-oil-and-gas-operations-in-net-zero-transitions>. Acesso em Maio de 2023.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change**. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2014. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>. Acesso em Março de 2022.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. 2021. **Summary for Policymakers**. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3–32, doi:10.1017/9781009157896.001.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage**. Working Group III. England. 2005.

IPIECA. **Petroleum industry guidelines for reporting greenhouse gas emissions**. Londres. 2011.

KANNICHE, M. et al. **Pre-combustion, post-combustion and oxy-combustion in thermal power plant for CO2 capture**. [S.l.], p. 53-62. 2010.

KENARSARI, S. D.; YANG, D.; JIANG, G.; ZHANG, S.; WANG, J.; RUSSEL, A. G.; WEI, Q.; Fan, M. **Review of recent advances in carbon dioxide separation and capture**. RSC Advances 2013, 3, 22739.

McKinsey & Company. **Green Hydrogen: an opportunity to create sustainable wealth in Brazil and the world**. Publicação online, 25 nov. 2021. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/br/en/our->

insights/hidrogenio-verde-uma-oportunidade-de-geracao-de-riqueza-com-sustentabilidade-para-o-brasil-e-o-mundo#. Acesso em 10 de Março de 2023.

MOREIRA, J. R.; ROMEIRO, V.; FUSS, S.; KRAXNER, F.; PACCA, S. A. **BECCS potential in Brazil: Achieving negative emissions in ethanol and electricity production based on sugar cane bagasse and other residues.** Applied Energy: 2016. Volume 179, Pages 55-63. ISSN 0306-2619. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.06.044>.

MIRANDA, J. L.; MOURA, L. C.; DE FERREIRA, de H. B. P.; ABREU, T. (2018). **O Antropoceno e o CO2: Processos de Captura e Conversão.** Rev. Virtual Quim., 2018, 10 (6), no prelo. Data de publicação na Web: 4 de janeiro de 2019. Disponível em <http://rvq.sbq.org.br>. Acesso em 12 de Abril de 2022.

OC - Observatório do Clima. **IPCC AR6, WG1: RESUMO COMENTADO.** Publicação Online. 2022.

OC - Observatório do Clima. **Precificação do carbono é conceito que ganha força.** Observatório do Clima, [S. l.], p. Publicação, 22 jun. 2015. Disponível em: <http://www.observatoriodoclima.eco.br/>. Acesso em 18 de Agosto de 2020.

OC - Observatório do Clima. SIRKIS, A. **Por uma precificação positiva do carbono.** Observatório do Clima, [S. l.], p. Publicação, 22 jun. 2015. Disponível em: <http://www.observatoriodoclima.eco.br/>. Acesso em 26 de Junho de 2020.

PETROBRAS. (2020). **Relatórios de Sustentabilidade.** Petrobras. Disponível em: <https://sustentabilidade.petrobras.com.br/#ondeestamos>. Acesso em Julho de 2022.

PETROCHINA. (2020). **Environmental Social and Governance Reports. Petrochina.** Disponível em: <http://www.petrochina.com.cn/ptr/shyhj/2018kcxfbgen.shtml>. Acesso em Julho de 2022.

PWC. **Mercados de carbono 2022.** Publicação Online. 2022.

RCGI. **Barreiras para implementação de captura e armazenamento de carbono** são políticas, sociais e comerciais, afirmam especialistas. Online. 2019.

SASB - SUSTAINABILITY ACCOUNTING STANDARDS BOARD. **SASB Implementation Supplement – Greenhouse Gas Emissions and SASB Standards.** [S.l.]. 2020.

SAUDI ARAMCO. (2020). **Saudi Aramco Annual Reports.** Saudi Aramco. Disponível em: https://www.aramco.com/en/newsmedia/publications-archive?facets=publication_category_s%253D781e1e1685d64f1d971612a0d20f5e&sort=pubdate257cTrue. Acesso em Julho de 2022.

SCCS, SCOTTISH CARBON CAPTURE AND STORAGE. **Global CCS Map.** [S.l.]. 2023.

SEEG - Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa. 2019. **Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas do Brasil.** 1970 - 2018.

SEEG Brasil - **Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa.** Base de Dados: Emissões por atividade. Disponível em: <http://seeg.eco.br/>. Acesso em 26 de junho de 2021.

SILVEIRA, B. H. M.; COSTA, H. K. M.; SANTOS, E. M. **O benefício do RenovaBio para o mercado de BECCS no Brasil.** Technical Paper, Rio Oil & Gas 2022. Rio de Janeiro: IBP, 26 de Setembro de 2022. IBP1869. <https://doi.org/10.48072/2525-7579.rog.2022.440>

SINOPEC. (2020). **Sustainability Reports.** Sinopec. Disponível em: <http://spc.sinopec.com/spc/en/csr/>. Acesso em Setembro de 2022.

STRAELEN, J., GEUZEBROEK, F., GOODCHILD, N., PROTOPAPAS, G., MAHONY, L. 2010. **CO₂ capture for refineries, a practical approach**, *International Journal of Greenhouse Gas Control*. Elsevier Ltd, 4(2), pp. 316–320

TOTAL ENERGIES. (2020). **Climate Reports**. Total Energies. Disponível em: <https://totalenergies.com/investors/publications-andregulated-information/reports-and-publications>. Acesso em Setembro de 2022.

TOTAL. **Universal Registration Document 2020: including the Annual Financial Report**. [S.l.]. 2020.

UNITED NATIONS ORGANIZATION (ONU). 2022. **Department of Economic and Social Affairs: SDG Actions Platform**. Web publication: 2022. Disponível em: <https://sdgs.un.org/partnerships>. Acesso em December de 2022.

WEINHOFER, G., HOFFMANN, V.H. 2010. **Mitigating climate change: how do corporate strategies differ**. *Bus. Strategy Environ.* 19, 77e89.

WRI - WORLD RESOURCES INSTITUTE. **The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting**. Geneva and Washington D.C. 2015.