

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

AMANDA WERMELINGER PINTO LIMA

**CAPTURA, UTILIZAÇÃO E ARMAZENAMENTO DE CARBONO: UMA
PERSPECTIVA BRASILEIRA**

Rio de Janeiro

2024

AMANDA WERMELINGER PINTO LIMA

CAPTURA, UTILIZAÇÃO E ARMAZENAMENTO DE CARBONO: UMA
PERSPECTIVA BRASILEIRA

Artigo apresentado como requisito parcial à conclusão do curso de MBA em Gestão Estratégica em Energias Naturais Renováveis, Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Dhyogo Miléo Taher

Rio de Janeiro

2024

TERMO DE APROVAÇÃO

AMANDA WERMELINGER PINTO LIMA

CAPTURA, UTILIZAÇÃO E ARMAZENAMENTO DE CARBONO: UMA PERSPECTIVA BRASILEIRA

Artigo aprovado como requisito parcial à conclusão do curso de MBA em Gestão Estratégica em Energias Naturais Renováveis, Programa de Pós-graduação, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Dhyogo Miléo Taher

Rio de Janeiro, ____ de _____ de 2024.

RESUMO

O caminho dos países para atingir emissões líquidas zero até 2050 é um grande desafio. Nessa conjuntura de descarbonização e com base em relatórios publicados principalmente pela Agência Internacional de Energia e pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, faz-se necessário limitar o aquecimento global a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais. Assim, a fim de evitar os piores impactos gerados pelas alterações climáticas e mitigar os efeitos já existentes, é preciso utilizar todas as estratégias de descarbonização existentes e estimular o desenvolvimento de novas soluções. E é nesse contexto que se encontram as remoções de carbono baseadas em tecnologia, como o caso do CCUS – Captura, Utilização e Armazenamento de carbono. Ainda em estágio inicial de desenvolvimento no Brasil, o CCUS consiste em um processo integrado de captura de carbono proveniente de fontes estacionárias, transporte e injeção em um espaço de subsuperfície poroso, com posterior utilização ou não do dióxido de carbono armazenado. Para além da visão mundial, este artigo abordará o atual estágio de desenvolvimento desta nova indústria em âmbito brasileiro e os pontos estratégicos que precisam ser aprimorados para que haja o avanço do CCUS no Brasil.

Palavras-chave: emissões líquidas zero; tecnologia; CCUS; Brasil.

ABSTRACT

Countries pathways to achieve net-zero emissions by 2050 is a major challenge. In this context of decarbonization and based on reports published mainly by the International Energy Agency and the Intergovernmental Panel on Climate Change, it is necessary to limit global warming to 1,5°C above pre-industrial levels. Therefore, in order to avoid the worst impacts generated by climate change and mitigate existing effects, it is required to use all decarbonization strategies and encourage the development of new solutions. This is the context that technology-based carbon removals are found, such as CCUS – Carbon Capture, Use and Storage. Beginning the development in Brazil, CCUS consists of an integrated process of capturing carbon from stationary sources, transporting and injecting it into a porous subsurface space, with subsequent use or not of the stored carbon dioxide. Beyond global vision, this article will address the current stage of this new industry in Brazil and the strategic points to improve CCUS in Brazil.

Keywords: net-zero emissions; tecnologia; CCUS; Brazil.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Cadeia CCUS	15
FIGURA 2 – Emissão de CO ₂ com potencial para BECCS, por volume	16
FIGURA 3 – Possíveis sites para armazenamento de CCUS	Error! Bookmark not defined.

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – Emissões Líquidas de GEE Totais no Brasil	9
GRÁFICO 2 – Oferta Interna de Energia (ano base 2022).....	200
GRÁFICO 3 – Emissões totais em Processos industriais	211
GRÁFICO 4 – Atividades industriais com maiores emissões	22

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Total de CO ₂ capturado por CCUS.....	18
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIE	Agência Internacional de Energia
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
BECCS	<i>Bioenergy with carbon capture and storage</i>
BIOCCS	<i>Bioenergy with carbon capture and storage</i>
CBAM	Carbon Border Adjust Mechanism
CBIOS	Créditos de Descarbonização
CCUS	Captura, Utilização e Armazenamento de Carbono
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
DACCS	<i>Direct Air Carbon Capture and Storage</i>
EOR	Enhanced Oil Recovery
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FPSO	Floating, Production, Storage and Offloading
GEE	Gases do Efeito Estufa
IBP	Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
L-DAC	DAC Líquido
META II	Projeto de Assistência Técnica dos Setores de Energia e Mineral
MME	Ministério de Minas e Energia
NDCs	Contribuições Nacionalmente Determinadas
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PD&I	Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
PNE	Plano Nacional de Energia
PNMC	Política Nacional sobre Mudança do Clima
Renovabio	Política Nacional de Biocombustíveis
SBCE	Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa
S-DAC	DAC Sólido
SEEG	Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa
UE	União Europeia

UNFCC Convenção – Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas
UPGN Unidade de Processamento de Gás Natural

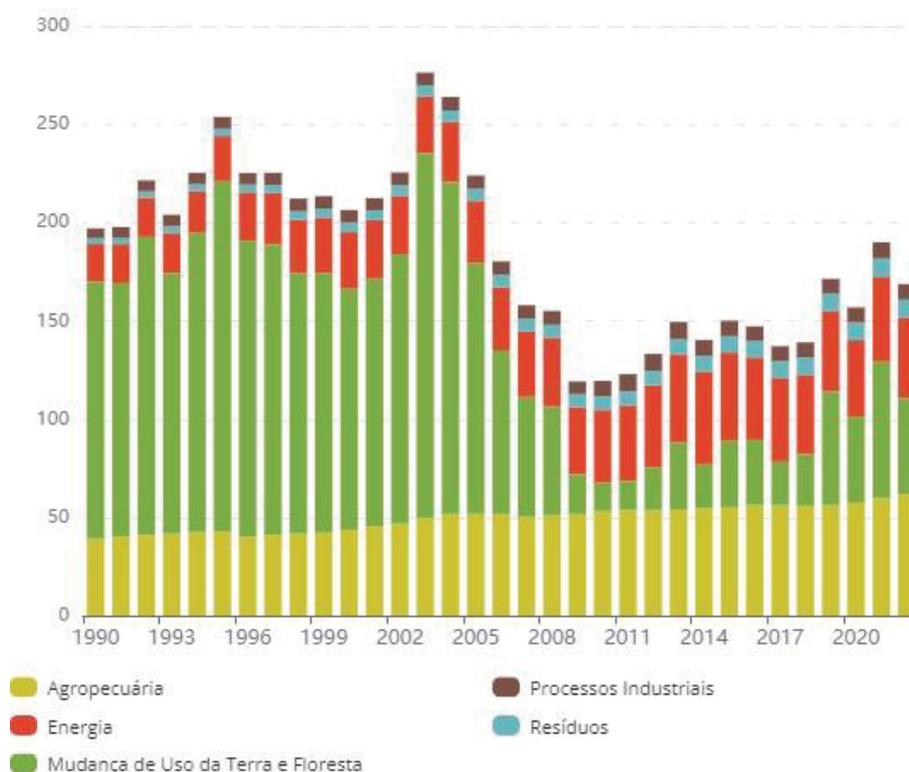
SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	10
1.2	OBJETIVOS	12
1.2.1	Objetivo geral	12
1.2.2	Objetivos específicos	12
2	METODOLOGIA	12
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
3.1	CCUS	13
3.2	BIOCCS OU BECCS	16
3.3	DACCS	17
3.4	CCUS NO MUNDO	18
3.5	BRASIL E CCUS	20
3.5.1	Questões legais e regulatórias	233
3.5.2	Questões políticas e incentivos	25
3.5.3	Mapear áreas com potencial de armazenamento	27
3.5.4	Investir em Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) e mão de obra especializada	288
3.5.5	Promover o apoio público	29
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	29
	REFERÊNCIAS	300

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o Brasil ocupa a 6ª posição no ranking dos países que mais produzem gases de efeito estufa (GEE) no mundo. Segundo a Climate Watch (2023), plataforma de dados climáticos do World Resource Institute, o ranking é composto por China, Estados Unidos, Índia, Rússia, Indonésia e, finalmente, Brasil, com emissões líquidas na ordem de 1.469,64 MtCO₂e. Nesse contexto, é importante identificar as áreas que lideram a produção de emissões no Brasil e que podem ser visualizadas no Gráfico 1, o qual foi obtido por meio do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2023), senão vejamos: agropecuária; mudança do uso da terra e florestas; energia; processos industriais e resíduos.

GRÁFICO 1 – Emissões Líquidas de GEE Totais no Brasil



Fonte: SEEG (2023).

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2023), os gases de efeito estufa são componentes gasosos da atmosfera, tanto naturais quanto antrópicos, que absorvem e emitem radiação em comprimentos de onda específicos dentro do espectro de radiação infravermelha emitida pela superfície da Terra, pela atmosfera e pelas nuvens. Assim, fazem parte dos GEE o dióxido de carbono (CO₂), o

metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O), o hexafluoreto de enxofre (SF_6), o trifluoreto de nitrogênio (NF_3), o perfluorcarbonos (PFC) e o hexafluoreto de enxofre (SF_6).

É importante mencionar que os gases que mais se destacam no cenário global são os compostos de carbono, pois são encontrados em todo o ciclo da vida, além de estar presente nos alimentos, nos produtos e nos combustíveis utilizados pelo homem. Portanto, soluções que tornem o ciclo do carbono mais sustentável são algumas das alternativas mais eficientes de controlar as emissões de GEE e alcançar a neutralidade climática. No caso do Brasil e de acordo com o Gráfico 1, é importante que o governo crie políticas públicas ligadas à remoção de carbono baseadas na natureza e na tecnologia. Neste artigo será analisada a captura, a utilização e o armazenamento de carbono (CCUS), uma das formas de remoção de carbono baseada na tecnologia.

1.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Em dezembro de 2015, os países signatários da Convenção – Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC) assinaram o Acordo de Paris (BRASIL, 2017). Este acordo versa sobre medidas de redução das emissões de dióxido de carbono, objetivando manter o aumento da temperatura média global abaixo de 2°C em relação aos níveis pré-industriais, e envidar esforços para limitar esse aumento da temperatura a $1,5^\circ\text{C}$. Nesse contexto, os países signatários estipularam metas para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa, as quais chamaram de Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs), as quais também monitoram e verificam o progresso dos objetivos estipulados.

No final de 2021, a UNFCCC (2021) publicou um relatório com as NDCs consolidadas dos países e chegou à conclusão de que seria necessário robustecer consideravelmente as NDCs existentes para alcançar os níveis almejados do Net Zero. Acrescentou que se as emissões não se reduzirem até 2030, será necessário um esforço adicional para compensar a lentidão até então estabelecida pelos países em atender o cronograma estabelecido pelas próprias NDCs.

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), no relatório Global Warming of $1,5^\circ\text{C}$, é claro ao dispor que com as NDCs atuais espera-se que o aquecimento global ultrapasse $1,5^\circ$ acima dos níveis pré-industriais, mesmo que estes compromissos sejam atendidos (IPCC, 2023, p. 95).

Portanto, é necessário que se estabeleçam os caminhos adequados para que o aquecimento seja limitado a 1,5° C. O mapa para tal afirmativa foi dado pela Agência Internacional de Energia (AIE) que, em seu relatório “Credible Pathways to 1,5° – Four Pillars for action in the 2020’s”, elenca 4 (quatro) pilares fundamentais a serem implantados: descarbonização da eletricidade, aceleração da eficiência energética e eletrificação com aumento da capacidade de utilização das energias renováveis; redução do desmatamento para zero emissões líquidas até 2030; combate às emissões diferentes de dióxido de carbono e utilização das tecnologias de captura e armazenamento de carbono (AIE, 2023, p. 3).

Nesse contexto, o presente artigo versará sobre o CCUS (em inglês, *Carbon Capture and Utilization Storage*), que corresponde a um processo de captura do CO₂ proveniente de grandes fontes estacionárias; compressão do gás e transporte por meio de dutos até locais que poderão reutilizar o CO₂ ou injetá-lo em formações geológicas aptas ao armazenamento durante longos períodos.

A AIE, em seu Relatório “The Oil and Gas Industry in Net Zero Transitions”, é bem explícita ao mencionar que o CCUS é uma tecnologia essencial para alcançar emissões líquidas zero ao desempenhar um papel importante para descarbonizar as indústrias “*hard to abate*” (AIE, 2023). Além disso, ela menciona o papel crítico que deverá ser realizado pela indústria do petróleo e do gás natural, a qual já possui expertise técnica e competência em gestão de projetos e em ativos geológicos.

As indústrias “*hard to abate*” são aquelas que dependem da utilização dos combustíveis fósseis no seu dia-a-dia e substituí-los por um com uma pegada menor de carbono inviabilizaria tecnicamente ou economicamente o seu bom funcionamento. Essas indústrias são as de cimento, a siderúrgica, a de mineração e aço, as centrais petroquímicas, as refinarias, etc.

No que tange ao CCUS, a Global CCS Institute, em análise feita sobre o Relatório Síntese AR6 do IPCC, frisou a importância desta nova tecnologia para os caminhos de mitigação e acrescentou que a capacidade técnica mundial de armazenamento geológico é estimada em cerca de 1000 GtCO₂, o que seria mais do que suficiente para limitar o aquecimento global a 1,5°C (GLOBAL CCS INSTITUTE, 2023, p. 3).

Portanto, visualizada a importância do CCUS, é necessário focar nos objetivos gerais relativos ao processo de captura, transporte, utilização e armazenamento do dióxido de carbono removido.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Após toda a discussão que foi trazida na introdução e na fundamentação teórica, estabeleceu-se como objetivo geral do presente artigo a demonstração da importância da captura, da utilização e do armazenamento de carbono em reservatórios geológicos como uma nova atividade disruptiva e apta a contribuir com a mitigação dos gases de efeito estufa na atmosfera.

1.2.2 Objetivos específicos

A fim de demonstrar a importância do CCUS, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- 1- Analisar a definição de CCUS e de todo o processo de captura, transporte, utilização e armazenamento geológico. Convém mencionar que a formação desta que vos escreve é jurídica. Portanto, não serão discutidos pormenores geológicos, mas sim compiladas as informações trazidas por grandes stakeholders e pelos órgãos oficiais;
- 2- Analisar o CCUS nível mundo, com as legislações que impulsionaram a criação e o desenvolvimento desta nova tecnologia;
- 3- Analisar o atual estágio de desenvolvimento do CCUS no Brasil. Nesse contexto, serão mencionados os projetos de lei em trâmite no Congresso Nacional; as ações até então tomadas pelo Poder Executivo; além de explicitar quais pontos estratégicos ainda precisam ser desenvolvidos para que o CCUS avance no país.

2 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para escrever o presente artigo consistiu em pesquisa exploratória, já que o tema relacionado à CCUS ainda é bastante incipiente a nível nacional e mundial. Assim, empregou-se a pesquisa qualitativa, a fim de sedimentar alguns conceitos importantes sobre o tema.

No que tange à contextualização da utilização do CCUS, sua cadeia de valor e aplicação mundial foram utilizadas revisões bibliográficas e estudo de documentos provindos de relatórios técnicos, os quais foram elaborados principalmente por instituições internacionais como a Agência Internacional de Energia e o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas.

No que diz respeito à aplicação do CCUS no Brasil, foram também utilizadas revisões bibliográficas e estudo de relatórios técnicos de órgãos governamentais nacionais como a Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CCUS

Para que haja o cumprimento das metas de redução de carbono na atmosfera, limitando o aumento de temperatura a 1,5°C, faz-se necessário o desenvolvimento massivo de tecnologias de remoção de carbono. Nesse contexto, o CCUS poderá colaborar para o atingimento das emissões líquidas zero ao capturar e separar o CO₂ retirado de grandes fontes estacionárias, como em processos industriais; comprimir e ser transportado para armazenamentos em espaços porosos de formações rochosas subterrâneas profundas ou para ser utilizado na formação de nova matéria – prima.

Dito isso, é importante que seja analisada a cadeia de valor do CCUS, começando pelo estágio 1 da captura.

A captura consiste em tecnologias que retiram e separam o dióxido de carbono de outros gases provenientes de fontes estacionárias. Assim, de acordo com o Atlas Brasileiro de Captura e Armazenamento Geológico de CO₂ (Ketzer *et al.*, 2016), a captura pode ser realizada por meio de quatro processos:

- a) Pós-combustão: é o processo mais utilizado. Nele, o CO₂ é separado do gás de combustão após a queima do combustível fóssil ou da biomassa na presença de oxigênio e nitrogênio;
- b) Pré-combustão: os combustíveis são submetidos a processos de gaseificação, convertendo-os em hidrogênio e monóxido de carbono (gás de sínteses). Após, por meio do vapor, o CO é convertido em CO₂, e retirado o hidrogênio;

- c) Oxi-combustão: o combustível é queimado com oxigênio puro, produzindo CO₂ e vapor d'água, podendo ser separados por condensação;
- d) Separação em processos industriais: os mais corriqueiros são baseados na absorção seletiva de CO₂ utilizando solventes, como a amina.

Realizada a captura, o CO₂ será comprimido a um estado supercrítico para ser transportado ao local de armazenamento ou para ser transportado a um local onde ele obterá nova utilização, como na produção de combustíveis sintéticos, produtos químicos, agregados para a construção e fertilizantes.

De acordo com a AIE (IEA, 2023), cerca de 230 MtCO₂ são utilizados todos os anos na indústria de fertilizantes. No que diz respeito especificamente ao transporte, os dutos e navios são consideradas as opções para transporte em larga escala, ao passo que trens e caminhões ainda não são economicamente viáveis.

Transportado o dióxido de carbono até um armazenamento geológico, ele poderá ser injetado em campos depletados de óleo e gás; reservatórios salinos; jazidas de carvão não minerável e basalto.

A EPE, no *paper* Captura e Armazenamento de Carbono – Um breve guia sobre uma das alternativas-chave para a transformação do setor de óleo e gás no Brasil (EPE, 2023a), elencou os requisitos mínimos para a seleção de um sítio de armazenamento. Ela destacou a necessidade de se avaliar:

- a) O tipo e a qualidade do reservatório: Porosidade (> 15%), permeabilidade (> 10 mD) e espessura efetiva (> 15m) são os elementos primordiais para se analisar capacidade de injeção e de estocagem. O armazenamento do gás deve ocorrer a profundidade mínima estimada do reservatório de 800 metros;
- b) Existência de rocha selante maior do que 50 m sobre o reservatório;
- c) Mapeamento de falhas ou fraturas a fim de eliminar riscos de fuga de CO₂;
- d) Tectônica local com sismicidades baixas;
- e) Cobertura de dados de geologia e geofísica 2D e 3D, bem como de poços exploratórios com o registro de perfis digitais;
- f) Malha de poços perfurados, a fim de se avaliar a estrutura geológica existente no local.

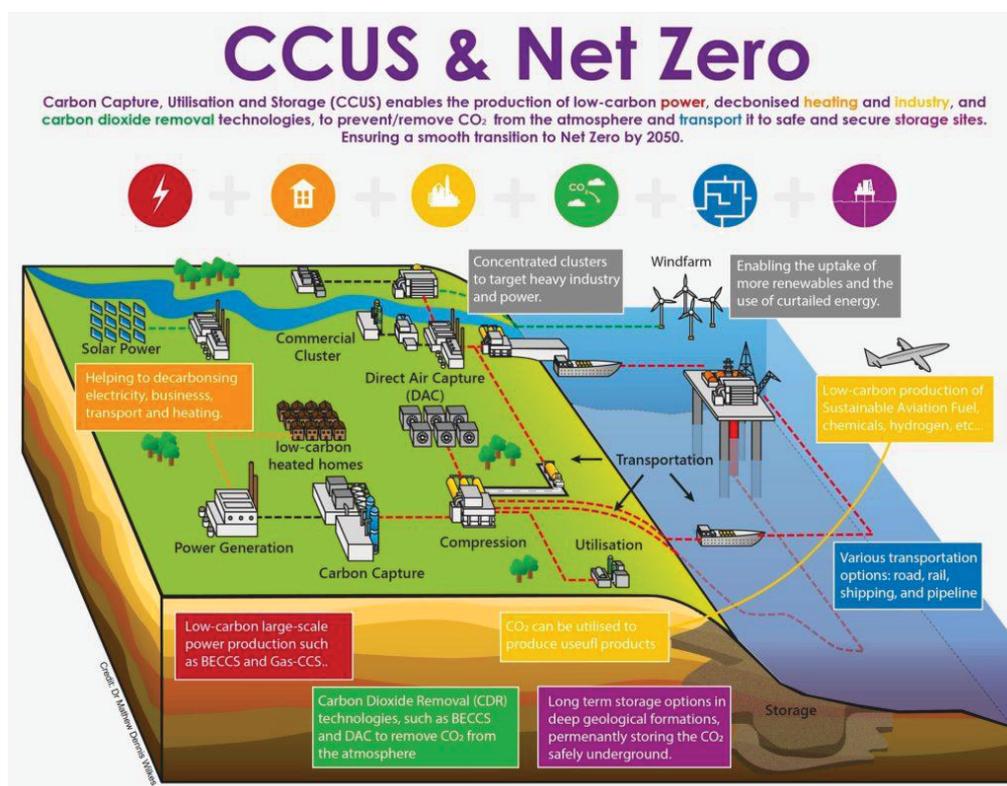
Além disso, a EPE (2023a) faz menção à “Poços abandonados e preservados devem ser selecionados, evitando a competição com atividades produtivas”. Nesse

contexto, é importante mencionar o papel da Recuperação Avançada de Óleo (do inglês, *enhanced oil recovery – EOR*). Esta consiste em um processo de injeção de CO₂ em campos produtores de petróleo, a fim de aumentar a pressão do reservatório, forçando a saída do petróleo residual. Como consequência da recuperação, algum CO₂ acaba preso no reservatório.

Este processo de recuperação já existe há bastante tempo (desde 1970) e é considerado por alguns agentes como o expoente do CCUS. Apesar de respeitar este entendimento, é forçoso reconhecer que o objetivo principal do EOR não é o aprisionamento do CO₂, mas sim a recuperação do óleo e do gás que estão nas camadas mais difíceis de serem retiradas. Assim, seu regramento não contempla os requisitos regulatórios específicos para CCUS.

Após tudo o que foi mencionado, vejamos a Figura 1 que traz uma cadeia completa de CCUS, com a captura em usinas de geração de energia, transporte e aquecimento; o transporte mediante rodovias, ferrovias, navios e dutos; a possibilidade de reutilização do CO₂ em combustíveis sustentáveis de aviação, produtos químicos de baixo carbono e hidrogênio; e o seu armazenamento final.

FIGURA 1 – Cadeia CCUS



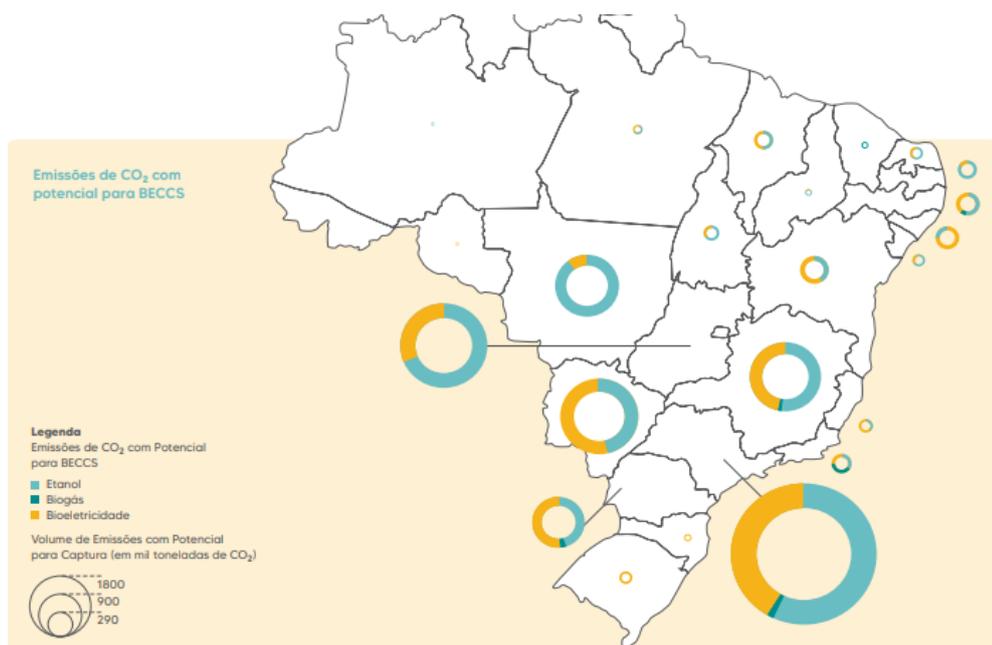
Fonte: Wilkes (2023).

3.2 BIOCCS OU BECCS

De acordo com a AIE (IEA, 2023), BECCS (em inglês, *Bioenergy with carbon capture and storage*) envolve a captura e o armazenamento permanente de CO₂ proveniente de processos em que a biomassa é convertida em combustíveis ou queimada diretamente para gerar energia. Por isso, é caracterizado como um processo que gera emissões negativas, já que, em um primeiro momento, há o sequestro de carbono pelas plantas, as quais produzirão bioenergia para sua sobrevivência (fotossíntese). Posteriormente, os vegetais, como a cana e o milho, são colhidos e transformados em produtos como o etanol, o biometano e a bioeletricidade, liberando CO₂ no processo. Esse CO₂ será capturado e injetado definitivamente em sítios geológicos.

Nesse cenário, o Brasil ocupa um local de destaque e pode despontar como um grande incentivador dessa tecnologia, pois possui uma extensa região de bacias sedimentares já conhecidas pela exploração *onshore* de óleo e gás e grandes centros agrícolas. A Figura nº 2, extraída do 1º Relatório Anual de CCS no Brasil 2022/2023, demonstra que as regiões Sudeste e Centro-Oeste possuem as maiores concentrações de emissões de CO₂ com potencial para BECCS em razão da grande produção de etanol.

FIGURA 2 – Emissão de CO₂ com potencial para BECCS, por volume



Fonte: CCS Brasil (2023).

Destaca-se que, até o presente momento, há um grande projeto da FS Fueling Sustainability em andamento em Lucas de Rio Verde – Mato Grosso. A empresa pretende investir R\$ 330 milhões de reais em armazenamento de dióxido de carbono proveniente de suas usinas de etanol de milho (RAMOS, 2023).

3.3 DACCS

DACCS (em inglês, *Direct Air Carbon Capture and Storage*) é o processo de captura direta do dióxido de carbono do ar atmosférico para posterior armazenamento em locais geológicos ou utilização em novas matérias-primas, como os combustíveis sintéticos.

De acordo com a AIE (IEA, 2023), 27 (vinte e sete) usinas DACCS foram comissionadas até o momento em todo o mundo, capturando quase 0.01 MtCO₂/ano. Uma das razões deste número ser ainda pequeno encontra-se na dificuldade de captura direta do CO₂ do ar, já que, por estar mais diluído do que na captura proveniente de uma fonte estacionária, há um consumo muito maior de energia na atividade.

É importante mencionar que as duas principais tecnologias que são utilizadas para DACCS e que também consomem muita energia são o DAC Sólido (S-DAC) e o DAC Líquido (L-DAC). De acordo com a AIE (IEA, 2023), o DAC Sólido necessita de calor de temperatura mais baixa. Com isso, ele pode utilizar fontes de energia renováveis. Já o DAC Líquido necessita de calor de alta temperatura (até 900°C), sendo alimentado atualmente por gás natural.

Dessa forma, há uma demanda por inovação em opções de energia com baixas emissões com possibilidade de gerar calor a altas temperaturas, maximizando o potencial de remoção de carbono das plantas L-DAC.

No Brasil, há um projeto piloto da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul com a Repsol Sinopec Brasil que estudará a remoção de CO₂ diretamente da atmosfera para posterior armazenamento em rochas basálticas (PUCRS, 2022).

3.4 CCUS NO MUNDO

Em maio de 2021, a AIE lançou um relatório que foi um marco nas análises de políticas relacionadas às mudanças climáticas. O “*Net Zero by 2050 – A Roadmap for the Global Energy Sector*” trouxe o que os pesquisadores classificaram como o caminho global para emissões líquidas zero até o ano de 2050, demandando um esforço global entre os países desenvolvidos e os emergentes em investimentos relacionados às políticas energéticas e climáticas (AIE, 2021). Para tanto, o relatório alerta que para atingir a redução de dióxido de carbono nos próximos 30 anos, é necessária uma série de políticas e desenvolvimentos tecnológicos relacionados à eficiência energética; mudanças de comportamento; eletrificação; renováveis, hidrogênio, bioenergia e CCUS (AIE, 2021).

No que tange ao tema objeto do presente artigo, o relatório trouxe uma tabela, a qual reproduzo abaixo – Tabela 1 - com a quantidade de CO₂ que poderá ser capturada caso o CCUS seja implementado globalmente até 2050. Veja que a projeção é de 7,6 GtCO₂ capturados anualmente provindos de processos e combustíveis fósseis, de bioenergia e de captura direta do ar.

TABELA 1 – Total de CO₂ capturado por CCUS

	2020	2030	2050
Total CO₂ captured (Mt CO₂)	40	1670	7600
CO₂ captured from fossil fuels and processes	39	1325	5245
Power	3	340	860
Industry	3	360	2620
Merchant hydrogen production	3	455	1355
Non-biofuels production	30	170	410
CO₂ captured from bioenergy	1	255	1380
Power	0	90	570
Industry	0	15	180
Biofuels production	1	150	625
Direct air capture	0	90	985
Removal	0	70	630

Fonte: AIE (2021).

Além dessas perspectivas, é importante ter o conhecimento acerca do atual status das instalações de CCUS ao redor do mundo e no que os governos estão trabalhando para estimular o desenvolvimento dessa tecnologia.

Nesse contexto, destaca-se o panorama trazido pela Global CCS Institute no relatório “*Global Status os CCS 2023 Scaling Up Through 2030*” (GLOBAL CCS INSTITUTE, 2023), o qual elenca a existência de 41 projetos em operação e 351 projetos sendo desenvolvidos no ano de 2023, com capacidade atual de 361 MtCO₂. Eles destacam que a maioria das instalações de CCUS encontra-se nos Estados Unidos e na Europa. Isso ocorre em razão dos incentivos governamentais oferecidos à iniciativa privada para o desenvolvimento desses *hubs*.

Em 2021, os Estados Unidos publicaram a Lei de Emprego e Investimento em Infraestrutura (do inglês, *Infrastructure Investment and Jobs Act*), a qual disponibilizou mais de US\$ 12 bilhões de dólares para CCUS e atividades relacionadas, incluindo: US\$ 2.5 bilhões para armazenamento de carbono; US\$ 8 bilhões para centros de hidrogênio e mais de US\$ 200 milhões concedidos ao Departamento de Energia para o desenvolvimento de tecnologias CCUS.

Em 2022, os Estados Unidos trouxeram a Lei de Redução da Inflação (do inglês, *Inflation Reduction Act*) que visou diminuir as emissões de GEE em 50% abaixo dos níveis de 2005 até o ano de 2030. Para tanto, o governo concedeu créditos fiscais, sendo o crédito denominado “45Q” o mais importante para CCUS, o qual concede US\$ 85 dólares por tonelada de carbono capturado e armazenado provindo de instalações industriais e usinas de energia e US\$ 180 dólares por tonelada para DACCS.

Em 2021, a União Europeia (UE) lançou o pacote “*Fit for 55*”, o qual buscou atualizar as políticas climáticas e energéticas do velho continente com a meta de redução de emissões de GEE em pelo menos 55% até 2030. Em abril de 2023, por meio de uma reforma no pacote, o parlamento da UE aprovou o Mecanismo de Ajuste de Fronteira de Carbono (do inglês, *Carbon Border Adjust Mechanism - CBAM*), isto é, um tributo aplicado em face de importações provindas de países sem regulação efetiva de carbono.

De forma específica e de acordo com o relatório *Global Status os CCS 2023 Scaling Up Through 2030*” (GLOBAL CCS INSTITUTE, 2023, p. 14), os países com mais projetos de CCUS em desenvolvimento são Estados Unidos – 154 projetos; Grã-Bretanha - 45 projetos; Canadá - 48 projetos, China - 21 projetos e Noruega - 16 projetos. Nesse contexto, é importante destacar um projeto de CCUS bastante relevante que está em desenvolvimento na Noruega, o chamado *Longship*, da empresa Northern Lights JV.

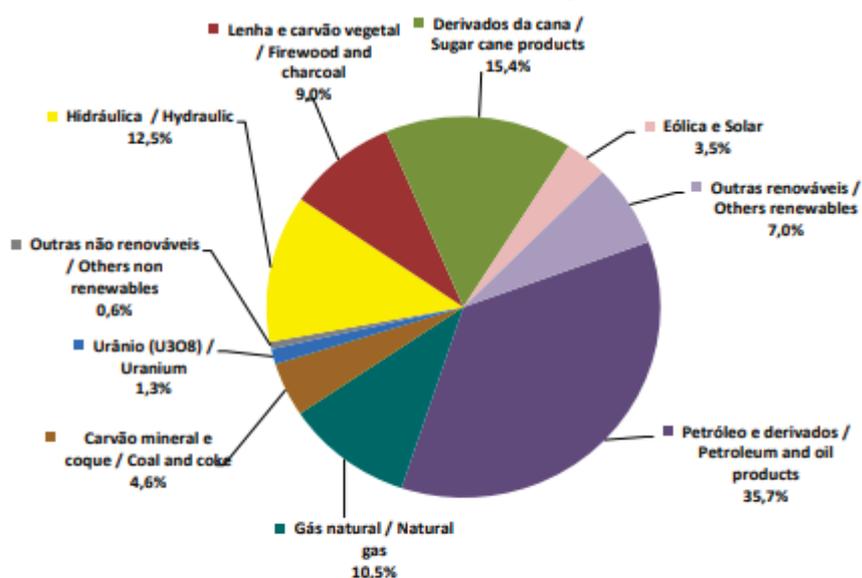
Ele consiste na captura de CO₂ de fontes industriais na região de Oslo, transporte até Øygarden e injeção em um reservatório salino profundo no Mar do Norte. Os resultados da avaliação do projeto mostram que, desde sua construção até o fechamento da área de armazenamento, é esperado que sejam emitidos 3,32 MtCO₂e para um total de 127,8 MtCO₂ armazenados, colaborando, assim, para a descarbonização da economia europeia (NORTHEN LIGHTS, 2023).

3.5 BRASIL E CCUS

O Brasil é um dos países que podem aproveitar o potencial de implementação de CCUS, já que este está diretamente associado às atividades ligadas aos setores de energia e da indústria.

No que tange ao setor energético, a matriz brasileira, apesar de diversificada e renovável, apresenta uma grande oferta no setor de petróleo e derivados. O Gráfico 2 mostra a oferta interna brasileira trazida pela EPE no Balanço Energético Nacional 2023 (BRASIL, 2023a):

GRÁFICO 2 – Oferta Interna de Energia (ano base 2022)



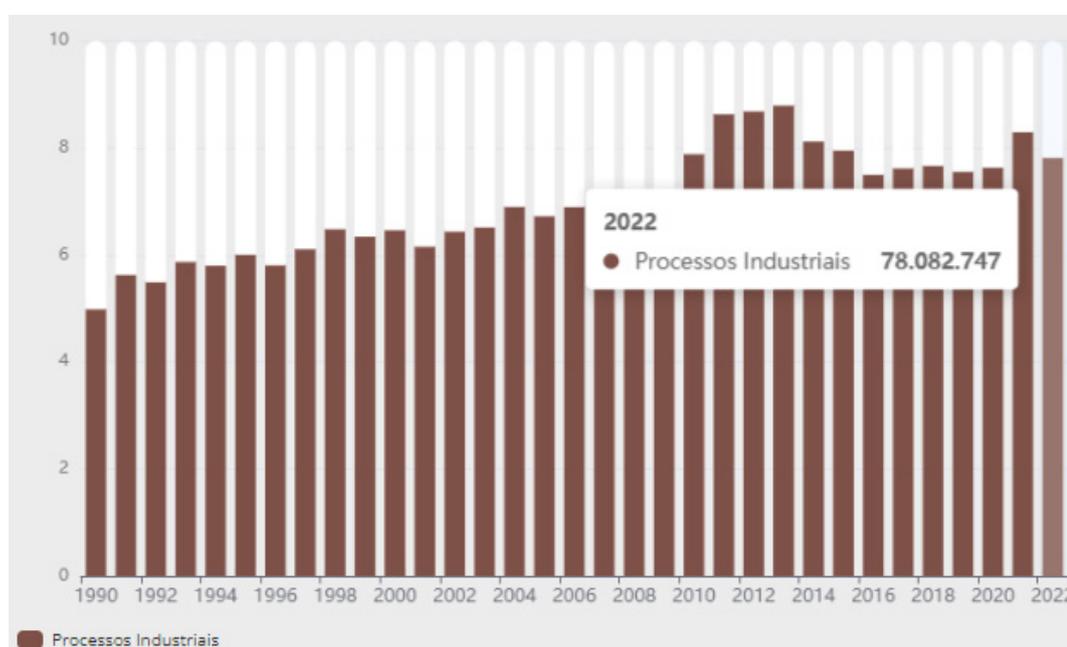
Nota: Inclui importação de eletricidade oriunda de fonte hidráulica. 1 kWh = 860 kcal (equivalente térmico teórico - primeiro princípio da termodinâmica). Ver Anexo VL6 - Tratamento das informações. / Includes electricity imports originated from hydraulic sources. 1 kWh = 860 kcal (physical equivalent - First Principle of Thermodynamics). Look Appendix VL6.

Fonte: EPE (2023a).

É importante destacar que as principais fontes estacionárias relacionadas ao setor do petróleo, derivados e gás natural são as plataformas e FPSOs (do inglês, *Floating, Production, Storage and Offloading*), refinarias, centrais petroquímicas, UPGNs (Unidades de Processamento de Gás Natural), termoeletricas, terminais de GNL, etc. Todas essas estruturas são consideradas “*hard to abate*”.

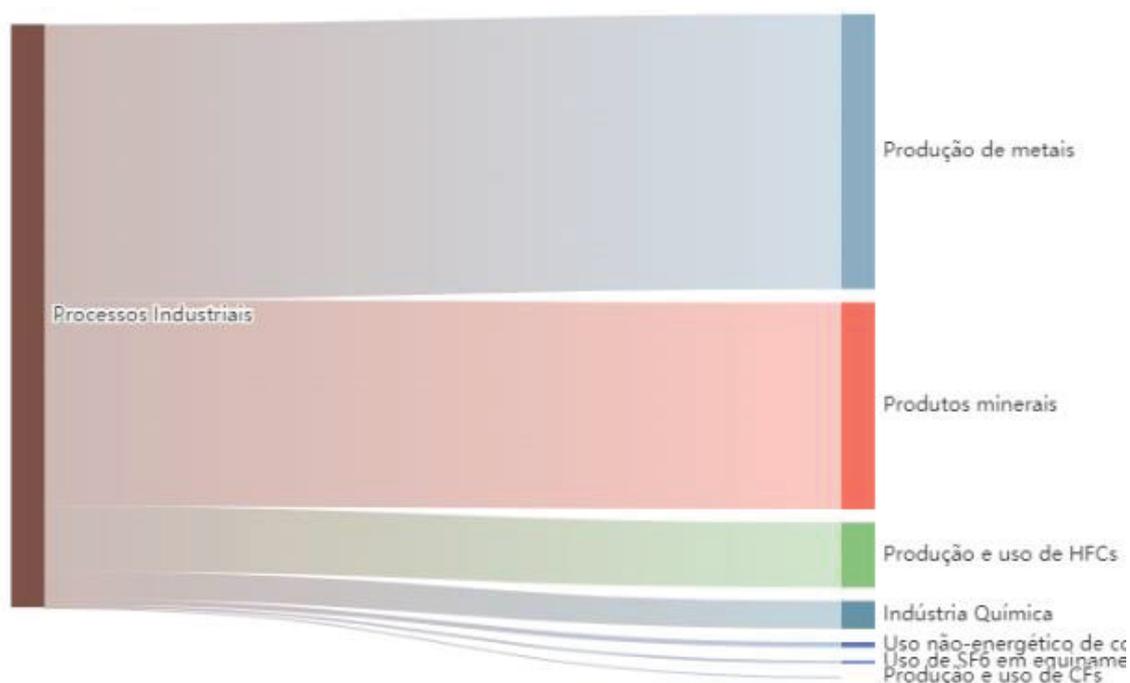
No que tange às indústrias, pode-se verificar, no Gráfico 3, que no ano de 2022 foram emitidos aproximadamente 78 milhões de toneladas de CO₂. No Gráfico 4 observa-se que os setores de produção de metais e produtos minerais estão na liderança de emissões.

GRÁFICO 3 – Emissões totais em Processos industriais



Fonte: SEEG (2023).

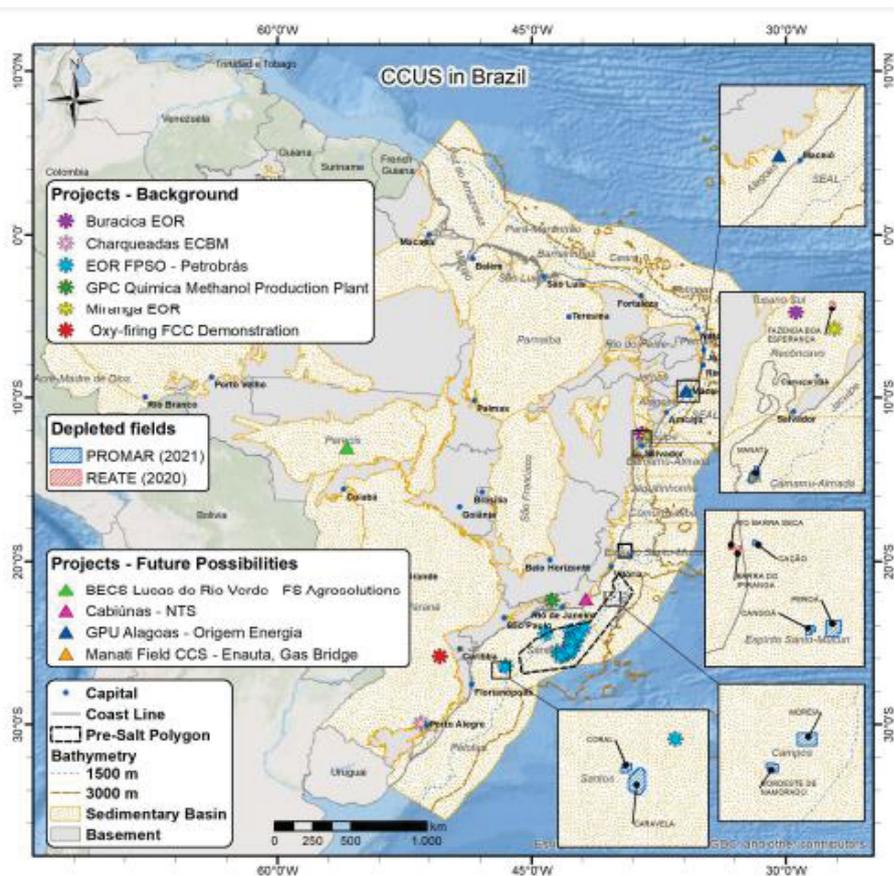
GRÁFICO 4 – Atividades industriais com maiores emissões



Fonte: SEEG (2023).

Além das fontes de emissão, o Brasil possui uma geologia bem conhecida, em razão dos inúmeros dados já existentes do setor de óleo e gás. Portanto, as bacias sedimentares são as áreas mais promissoras para armazenamento, em especial os reservatórios depletados e aquíferos salinos já conhecidos. A EPE, em apresentação realizada no *24th World Petroleum Congress 2023* (CASTRO *et al.*, 2023), mostrou o mapa abaixo com os possíveis *sites* para armazenamento de CCUS. Nele, há um destaque para as Bacias Sedimentares de Santos-Campos, Potiguar, Recôncavo, Amazonas-Solimões e Paraná. A Bacia do Parecis também foi mencionada nos projetos futuros, haja vista o estudo da empresa FS Fueling Sustainability para a implantação de BECCS.

FIGURA 3 – Possíveis sites para armazenamento de CCUS



Fonte: EPE (2023a).

Apesar de possuir grandes fontes de emissão e um contexto geológico já conhecido, o Brasil precisa avançar em várias frentes para que o CCUS possa se desenvolver e gerar segurança nos investidores. A seguir, serão tratados alguns aspectos que a academia, o mercado e os agentes como um todo alertam serem estratégicos para o avanço do CCUS.

3.5.1 Questões legais e regulatórias

Apesar do mercado e da academia já estarem discutindo os temas relacionados à CCUS, é de fundamental importância que o governo estabeleça um marco legal e regulatório sobre o tema, a fim de dar segurança jurídica para a tomada de decisão do investidor em aportar recursos ou não nesta nova tecnologia, garantir a proteção ambiental e a saúde pública, tornar claros os direitos e as responsabilidades das partes

interessadas e fornecer uma base jurídica para o desenvolvimento, operação e gestão a longo prazo do CO₂ armazenado.

A AIE, em seu relatório *Legal and Regulatory Frameworks for CCUS – An IEA CCUS Handbook* (IEA CCUS Handbook, 2022), trouxe as principais questões que devem estar contempladas na legislação de CCUS, as quais elenco as mais compatíveis com o caso brasileiro:

- Definição do âmbito regulatório: estabelecer os parâmetros para classificação e grau de pureza do CO₂, além da propriedade do CO₂ ao longo da cadeia de valor do CCUS;
- Avaliação da legislação ambiental: analisar toda a legislação ambiental de forma a estipular requisitos para que os operadores minimizem os impactos ambientais e de saúde pública;
- Autorização de implantação de projetos pioneiros: Estes podem acelerar a curva de aprendizado na implantação de toda a cadeia do CCUS e estimular a inovação. Atualmente, há o projeto pioneiro Cabiúnas – São Tomé sendo desenvolvido pela Petrobras, o qual pretende armazenar 100 KtCO₂/a no reservatório salino de São Tomé, no Rio de Janeiro. De acordo com apresentações feitas pela própria companhia (EPBR, 2023), esse projeto terá a duração prevista de 2 a 3 anos e possui o objetivo de validar tecnologias existentes e desenvolver novas; transportar CO₂ por meio de 80 Km de dutos dedicados, testar o armazenamento e monitorar a injeção no reservatório salino;
- Garantia do armazenamento seguro: Isso deverá ser feito por meio de planos de medição, monitoramento e verificação do CO₂ estocado; inspeções e fechamento dos locais;
- Responsabilização pelo armazenamento a longo prazo: Deverá ser abordado a responsabilidade técnica e financeira do operador e da autoridade governamental durante o armazenamento e após o fechamento do local;
- Facilitação de acesso de terceiros às infraestruturas de CCUS, tanto no transporte quanto no armazenamento;
- Possibilidade de interação de projetos de CCUS com outros recursos de superfície ou subsuperfície, como as eólicas *offshore*;

- Critérios de transição entre a recuperação avançada de óleo e o armazenamento dedicado.

Atualmente estão em curso alguns projetos de lei que tratam sobre CCUS, quais sejam:

- a) P.L. nº 1.425/2022: é o projeto de lei que disciplina a exploração da atividade de armazenamento permanente de dióxido de carbono de interesse público, em reservatórios geológicos ou temporários, e seu posterior reaproveitamento. Após 11 emendas apresentadas, encontra-se na Câmara dos Deputados para aprovação.
- b) P.L. nº 4.516/2023: também conhecido como “Combustível do Futuro”, este projeto de lei versa sobre diversos assuntos relacionados à combustíveis sustentáveis e traz alguns dispositivos sobre CCUS. Apensou o P.L nº 4.196/2023 que também traz alguns itens relacionados à CCUS.

Além dos projetos de lei, a Diretoria da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) já aprovou a elaboração de um estudo regulatório visando à inserção da atividade de CCUS na cadeia do petróleo, gás natural e biocombustíveis (BRASIL, 2023b).

3.5.2 Questões políticas e incentivos

Sem um apoio governamental e a criação de políticas públicas específicas com incentivos financeiros não há a possibilidade de concretização do armazenamento de CO₂. É importante destacar que apesar de o setor privado ter o capital e a expertise para impedir o aumento das emissões, somente o governo possui a capacidade de libertar esse potencial e impulsionar os investimentos em CCUS.

A AIE, em seu relatório *CO₂ Storage Resources and their Development – An IEA CCUS Handbook* (IEA CCUS HANDBOOK, 2022), elencou algumas ações que seriam necessárias para apoiar a implementação de CCUS, senão vejamos:

- Financiamentos específicos para empresas que desejam desenvolver o armazenamento;
- Créditos Fiscais por tonelada de CO₂ armazenada;

- Certificados Negociáveis para aqueles que produzam combustíveis com baixo teor de carbono;
- Programas de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação;
- Regras sobre a comercialização do CO₂ armazenado, mediante o desenvolvimento de um modelo de negócio que aborde o financiamento e a geração de receita.

Em 29 de dezembro de 2009, por meio da Lei nº 12.187/2009, o governo criou a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), a qual estabeleceu diretrizes relacionadas às ações mitigadoras das alterações climáticas, a fim de garantir um desenvolvimento econômico e social sustentável.

Em âmbito nacional, o Plano Nacional de Energia 2050 – PNE 2050 (BRASIL, 2023c, p. 139), publicado em 2020 pelo Ministério de Minas e Energia – MME, previu a utilização do CCUS em setores com emissões difíceis de abater como termelétricas a combustíveis fósseis e indústrias que utilizam o carvão mineral.

A Política Nacional de Biocombustíveis (Renovabio), a seu turno, foi criada por meio da Lei nº 13.576/2017 e possui como objetivos fornecer uma importante contribuição para o cumprimento dos compromissos determinados pelo Brasil no âmbito do Acordo de Paris; promover a expansão dos biocombustíveis na matriz energética, com ênfase na regularidade do abastecimento de combustíveis e assegurar a previsibilidade para o mercado de combustíveis, induzindo ganhos de eficiência energética e de redução de emissões de GEE na produção, na comercialização e no uso de biocombustíveis.

Um dos principais estímulos ao mercado privado e à política de descarbonização foi a criação dos Créditos de Descarbonização (CBIOS). O CBIO é um ativo ambiental com negociação permitida desde dezembro de 2019. Cada CBIO emitido por produtores e importadores de biocombustíveis corresponde a uma tonelada de carbono que deixa de ser emitida para a atmosfera.¹

Além das políticas mencionadas, é necessário fazer uma menção ao Projeto de Lei nº 2148/15 (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2023). Ele cria o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE). Sua aprovação é de

¹ Para saber mais sobre comercialização dos CBIOS, acessar: <https://www.anbima.com.br/data/files/2B/23/E9/0F/FEF447101699D3471B2BA2A8/Guia%20de%20Operacionalizacao%20do%20CBIO.pdf>

fundamental relevância para àqueles que desejam investir em CCUS, já que criará títulos aptos a serem comercializados com empresas que não consigam compensar suas emissões.

Não se pode olvidar do novo Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) (BRASIL, 2023d), o qual induz investimentos em eco combustíveis e em petróleo e gás. Apesar de parecer contraditório, é importante investir no desenvolvimento de novos combustíveis mais sustentáveis, sem esquecer da segurança energética que, atualmente, só é viável com o óleo e o gás.

3.5.3 Mapear áreas com potencial de armazenamento

É de vital importância que sejam identificados e avaliados os recursos existentes no subsolo, a fim de desenvolver grandes locais de armazenamento de CO₂ provindo de fontes diversas. A AIE, em seu relatório *CO₂ Storage Resources and their Development – An IEA CCUS Handbook* (IEA CCUS HANDBOOK, 2022), dispõe sobre a necessidade de existir uma equipe para reanalisar os dados geológicos existentes com o objetivo de identificar *sites* para armazenamento de CO₂, além de decidir qual metodologia reconhecida internacionalmente seria a mais adequada para o caso; desenvolver atlas ou base de dados nacionais de recursos de armazenamento; melhorar o gerenciamento de dados e apoiar a digitalização de registros legados. Assim, seria importante reunir empresas de petróleo e gás, universidades, empresa de aquisição de dados e outras agências em um esforço único. Após reunir os dados existentes, a disponibilização dos mesmos deve ser realizada sempre que possível.

No contexto de mapeamento de áreas, tanto o Projeto de Lei do Combustível do Futuro quanto o Projeto de Lei nº 1.425/2022 dispõem ser da ANP a competência para organizar e manter o acervo das informações e dados técnicos relativos às atividades de armazenamento geológico de dióxido de carbono, regular e autorizar as atividades relacionadas com o armazenamento geológico de dióxido de carbono. Essa disposição específica relacionada à ANP está em consonância com as existentes hoje no artigo 8º, II, III, XI e XII, Lei do Petróleo, senão vejamos:

Art. 8º A ANP terá como finalidade promover a regulação, a contratação e a fiscalização das atividades econômicas integrantes da indústria do petróleo, do gás natural e dos biocombustíveis, cabendo-lhe:
[...]

II – promover estudos visando à delimitação de blocos, para efeito de concessão ou contratação sob o regime de partilha de produção das atividades de exploração, desenvolvimento e produção;

III – regular a execução de serviços de geologia e geofísica aplicados à prospecção petrolífera, visando ao levantamento de dados técnicos, destinados à comercialização, em bases não-exclusivas;

[...]

XI – organizar e manter o acervo das informações e dados técnicos relativos às atividades reguladas da indústria do petróleo, do gás natural e dos biocombustíveis; e

XII – consolidar anualmente as informações sobre as reservas nacionais de petróleo e gás natural transmitidas pelas empresas, responsabilizando-se por sua divulgação (BRASIL, 1997).

Um ponto de partida para o mapeamento de áreas com potencial de armazenamento foi dado pela EPE que, em 17 de novembro de 2023, publicou a Consulta Pública nº 1/2023, a qual possui como objetivo dar transparência ao estudo realizado e receber contribuições de agentes que atuam no setor de óleo e gás, na comunidade acadêmica e nos demais segmentos da sociedade brasileira para o aprimoramento do "*Zoneamento Nacional de Recursos de Óleo e Gás 2021-2023*" (EPE, 2023b, p. 118).

Além desse estudo, a própria EPE abriu licitação para contratar consultoria técnica especializada, a fim de elaborar estudos relacionados à estocagem de gás natural e, secundariamente, captura, utilização e armazenamento de carbono. Tais estudos farão parte do Projeto de Assistência Técnica dos Setores de Energia e Mineral (Meta II) e recebem financiamento do Banco Mundial (EPE, 2022).

3.5.4 Investir em Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) e mão de obra especializada

Os custos para que haja viabilidade financeira em projetos de CCUS são altos. Entretanto, à medida que mais projetos são desenvolvidos e implementados, mais estudos serão feitos e novos conhecimentos adquiridos. Investir em pesquisa e inovação é o caminho para acelerar este novo ramo tecnológico. Nesse contexto, a ANP pode ser a Agência catalisadora ao incentivar a aplicação dos recursos oriundos da Cláusula de PD&I, constante nos contratos para exploração, desenvolvimento e produção de petróleo e gás natural, em estudos relacionados às novas tecnologias e formação de recursos humanos para a cadeia de CCUS.

Além das cláusulas de PD&I, é importante mencionar sobre a possibilidade de atualização e redirecionamento de ativos (*revamping*) de óleo e gás. O Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás (IBP), em seu relatório “*Tecnologias de Captura e Armazenamento de Carbono (CCUS) e sua importância para a transição energética no Brasil: o PL 1425*” (IBP, 2023, p. 4) é assertivo ao afirmar que o CCUS constitui grande oportunidade para a indústria de óleo e gás no Brasil, as quais poderão reduzir as emissões em suas próprias operações, além de utilizar a infraestrutura de gasodutos existentes das instalações de superfície, submarinas e dos reservatórios depletados, diminuindo os custos do projeto.

Assim, a infraestrutura a ser utilizada na cadeia de CCUS pode ser reaproveitada e desenvolvida a partir da indústria de óleo e gás. Com isso, as empresas poderiam expandir seu portfólio para os novos ramos de baixo carbono. Não se pode olvidar que os empregos existentes seriam mantidos, já que essas empresas investiriam na formação e no aperfeiçoamento da sua própria força de trabalho.

3.5.5 Promover o apoio público

É crucial a conscientização da população brasileira sobre a necessidade de se reduzir as emissões de dióxido de carbono e sobre o papel que o CCUS pode desempenhar. A AIE, em seu relatório *Legal and Regulatory Frameworks for CCUS – An IEA CCUS Handbook* (IEA CCUS HANDBOOK, 2022), traz um rol não taxativo de interações com a população, tais como: necessidade de divulgação do processo regulatório aplicável aos projetos de CCUS por meio de consulta pública; relatórios transparentes da autorização, do desenvolvimento e das decisões regulatórias; reuniões comunitárias e workshops para apresentar e discutir um projeto; portais da internet com informações técnicas, avaliações de risco e medidas a serem tomadas para mitigação; e a realização de atividades educacionais formais e informais em toda a fase de elaboração, operação e encerramento do projeto.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com a AIE, as atuais instalações energéticas e industriais poderão gerar mais de 600 GtCO₂ até o final de suas vidas úteis se não forem mitigadas. Ademais, é fato que os países não estão nem perto de desenvolver toda uma

infraestrutura robusta para capturar, transportar e armazenar o CO₂ previsto nos cenários de transição energética e de descarbonização.

Nesse contexto, muitos avanços são necessários, especialmente no que diz respeito à legislação, políticas públicas, incentivos, mapeamento de estruturas geológicas, avanços tecnológicos e de mão de obra, além de apoio popular.

O Brasil, a seu turno, também precisa atingir suas metas climáticas e, apesar de ser um país com uma matriz energética bem diversificada e renovável, ainda faz bastante uso do petróleo, de seus derivados e do gás natural. Dessa forma, o CCUS é uma tecnologia que pode ajudar na remoção do carbono, principalmente nos setores difíceis de abater.

Como medida mais urgente, é necessária a publicação legal sobre o tema, com o correspondente apoio regulatório da Agência Nacional do Petróleo e dos órgãos ambientais, especificando principalmente as responsabilidades ambientais em caso de fuga de CO₂ e responsabilidades sobre o armazenamento ao longo do tempo, isto é, após os prazos contratuais.

Ademais, é imperativo a publicação da lei que trata sobre o mercado de carbono no Brasil. De forma bem sucinta, essa lei versará sobre um sistema de precificação de carbono, isto é, a empresa que não conseguir abater suas emissões necessitará comprar créditos de carbono de outra empresa que tenha emitido menos que o limite. Logo, em relação ao CCUS, a empresa que gerar crédito de carbono em razão de seu armazenamento, poderá vender no mercado e, assim, obter receita da atividade.

Portanto, é de suma importância a publicação das legislações mencionadas, além de todos os temas específicos pormenorizadas no item 3.5.

Espera-se, com isso, que o Brasil consiga atingir um novo patamar em seus objetivos climáticos por meio da utilização de sua expertise em óleo e gás e de seu conhecimento geológico, os quais poderão diminuir os custos dos projetos, além de aproveitar e capacitar a mão de obra existente nas empresas de petróleo e gás.

REFERÊNCIAS

ABNT. **Gases de efeito estufa**. 2023. Disponível em: <https://www.abntonline.com.br/sustentabilidade/GHG/faq#:~:text=GEE%20%C3%A9%20a%20sigla%20para,pela%20atmosfera%20e%20pelas%20nuvens>. Acesso em: 12 dez. 2023.

AIE. **Credible Pathways to 1,5°**. Four Pillars for action in the 2020's. 2023.

AIE. **Net Zero by 2050** - A Roadmap for the Global Energy Sector. 2021.

AIE. **The Oil and Gas Industry in Net Zero Transitions**. 2023.

BRASIL. Casa Civil. **Transição e Segurança Energética**. 2023d. Disponível em: <https://www.gov.br/casacivil/pt-br/novopac/transicao-e-seguranca-energetica>. Acesso em: 20 dez. 2023.

BRASIL. **Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997**. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências. 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9478.htm. Acesso em: 15 dez. 2023.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral do Clima. **Acordo de Paris**. 2017. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/acordo-de-paris-e-ndc/arquivos/pdf/acordo_paris.pdf. Acesso em: 18 dez. 2023.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **ANP iniciará estudo para futura regulação sobre captura, uso e armazenamento de carbono**. 2023b. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/canais_atendimento/imprensa/noticias-comunicados/anp-iniciara-estudo-para-futura-regulacao-sobre-captura-uso-e-armazenamento-de-carbono. Acesso em: 14 dez. 2023.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanço Energético Nacional**. 2023a. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-748/topico-687/BEN2023.pdf>. Acesso em: 5 jan. 2024.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Ministério de Minas e Energia Lança o Relatório Final do Plano Nacional de Energia 2050 - PNE 2050**. 2023c. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/publicacoes/plano-nacional-de-energia/plano-nacional-de-energia-2050#:~:text=O%20PNE%202050%20sinaliza%20o,partir%20de%20diretrizes%20do%20MME>. Acesso em: 8 jan. 2024.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. **Câmara aprova projeto que regulamenta o mercado de carbono no Brasil**. 2023. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/1029046-camara-aprova-projeto-que-regulamenta-o-mercado-de-carbono-no-brasil>. Acesso em: 12 dez. 2023.

CASTRO, N. *et al.* A Glimpse at Carbon Capture, Utilisation and Storage (CCUS) in Brazil's Oil and Gas Sector. **24th World Petroleum Congress 2023**, Canadá, 2023.

CCS Brasil. **1º Relatório anual de CCS no Brasil 2022/2023**. 2023.

CLIMATE WATCH. **Historical GCG Emissions**. 2023. Disponível em: https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?end_year=2020&start_year=1990. Acesso em: 12 jan. 2024.

EPBR. **Mudanças climáticas**. 1 vídeo (1h). 2023. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=iqPY8y9LbJs>

EPE. **Captura e Armazenamento de Carbono** – Um breve guia sobre uma das alternativas-chave para a transformação do setor de óleo e gás no Brasil: EPE, 2023a.

EPE. **Consulta Pública do Zoneamento Nacional de Recursos de Óleo e Gás - Ciclo 2021-2023**. 2023b. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Paginas/Consulta-Publica-do-Zoneamento-Nacional-de-Recursos-de-Oleo-e-Gas-Ciclo-2021-2023.aspx>. Acesso em: 12 jan. 2024.

EPE. **Licitação – LI.EPE.001/2022. 2022**. Contratação de consultoria técnica especializada para estocagem subterrânea de gás natural e secundariamente a captura, utilização e armazenamento de carbono (CCUS). BR-EPE-302379-CS-QCBS TDR-16. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/a-epe/aceso-a-informacao/licitacoes-e-contratos/li-epe-001-2022>. Acesso em: 17 dez. 2023.

GLOBAL CCS INSTITUTE. **CCS in the IPCC Sixth Assessment (AR6) Synthesis Report**. 2023.

IBP. **Tecnologias de captura e armazenamento de carbono (CCUS) e sua importância para a transição energética no Brasil**: O PL 1425. 2023. Disponível em: <https://www.ibp.org.br/personalizado/uploads/2023/01/artigo-abc-ccus.pdf>. Acesso em: 8 jan. 2024.

IEA. **CO₂ Capture and utilisation**. 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/energy-system/carbon-capture-utilisation-and-storage/co2-capture-and-utilisation>. Acesso em: 22 dez. 2023.

IEA CCUS Handbook. **Legal and Regulatory Frameworks for CCUS**. 2022.

IPCC. **Global Warming of 1,5°C**. 2023.

KETZER, J. M. M. *et al.* **Atlas brasileiro de captura e armazenamento geológico de CO₂**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2016.

NORTHEN LIGHTS. **Northern Lights value chain provides 97% net CO₂ abatement**. 2023. Disponível em: https://norlights.com/news/northern-lights-value-chain-provides-97-net-co2-abatement/?trk=feed_main-feed-card_feed-article-content. Acesso em: 20 dez. 2023.

PUCRS. **PUCRS fecha parceria com a Repsol Sinopec Brasil para remover CO₂ diretamente da atmosfera**. 2022. Disponível em: <https://www.pucrs.br/blog/pucrs-repsol-remover-gas-carbonico-atmosfera/>. Acesso em: 12 dez. 2023.

RAMOS, C. S. **FS captura carbono de etanol de milho**. Valor Econômico. 2023. Disponível em: <https://valor.globo.com/agronegocios/noticia/2023/03/24/fs-captura-carbono-de-etanol-de-milho.ghtml>. Acesso em: 16 dez. 2023.

SEEG. **Emissões totais**. 2023. Disponível em: https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?end_year=2020&start_year=1990. Acesso em: 18 dez. 2023.

UNFCCC. **Contribuciones determinadas a nivel nacional presentadas en virtud del Acuerdo de París**. 2021.

WILKES, M. D. **CCUS & Net Zero**. 2023. Disponível em: <https://ukccsrc.ac.uk/ukccsrc-ecr-ccs-visual-communication-competition-2023/>. Acesso em: 22 dez. 2023.