

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AUDITORIA AMBIENTAL

LUCAS OLIVEIRA DA CRUZ SIQUEIRA

**A crise climática e o potencial brasileiro no
armazenamento geológico de carbono - CCS**

SANTOS

2021

LUCAS OLIVEIRA DA CRUZ SIQUEIRA

**A crise climática e o potencial brasileiro no
armazenamento geológico de carbono - CCS**

Dissertação apresentada à
Universidade Santa Cecília como
parte dos requisitos para obtenção de
título de mestre no Programa de Pós-
Graduação em Auditoria Ambiental,
sob orientação da Profa. Dra.
Alessandra Aloise de Seabra.

SANTOS

2021

Autorizo a reprodução parcial ou total deste trabalho, por qualquer que seja o processo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos.

577.144 Siqueira, Lucas Oliveira da Cruz.
S631c A crise climática e o potencial brasileiro no armazenamento geológico de carbono - CCS.
Lucas Oliveira Da Cruz Siqueira
- 2021
- 63 p.

Orientador: Profa. Dra. Alessandra Aloise de Seabra

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Santa Cecília,
Programa de Pós-Graduação em Auditoria Ambiental, Santos, SP,
2021.

1. Captura e Armazenamento de Carbono - CCS. 2. Análise regulatória. 3. Armazenamento geológico. 4. Redução de GEE.
I. Seabra, Alessandra Aloise de. II. A crise climática e o potencial brasileiro no armazenamento geológico de carbono - CCS.

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação a Lívia e ao Felipe, minha filha e meu sobrinho, que através deste trabalho possam compreender o papel das próximas gerações em estabelecer uma nova relação com o planeta, quiçá, baseado em princípios de cooperativismo, compromisso ambiental e justiça social.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus pais, Zoel e Elaine por fazerem todo o possível para realização do meu percurso formativo, desde a educação básica até a Pós-Graduação, indo além do papel da família, meus verdadeiros parceiros.

A minha noiva Letícia, pelo apoio aos meus objetivos, a paciência por suportar por vezes minha ausência, e ao amor demonstrado no cotidiano.

Ao meu irmão Leandro, por toda a contribuição durante os momentos de angústias quando havia dificuldades quanto à formatação, normas, referências e processos durante o desenvolvimento do trabalho.

A minha orientadora Profa. Dra. Alessandra Aloise de Seabra, que por incontáveis versões me auxiliou na construção de um raciocínio científico e crítico.

Ao amigo Victor, pelo auxílio durante os anseios que rondaram a finalização do trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Auditoria Ambiental da Universidade Santa Cecília por todo o suporte e conhecimento gerado diante da aventura em trilhar novos caminhos do conhecimento.

E a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

RESUMO

O aumento exponencial da queima de combustíveis fósseis ao longo dos últimos três séculos por meio de atividades antrópicas, tem se tornado um dos principais fatores de desordens ambientais globais. Reduzir os gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, como o gás carbônico (CO₂), tem se mostrado um dos maiores desafios de organizações internacionais e autoridades científicas. Considerando o cenário emergente e inflamado acerca do debate energético, bem como o curto lapso temporal para a implementação das metas brasileiras assumidas diante do novo orçamento atmosférico global, o objetivo do trabalho é apresentar o potencial brasileiro para o desenvolvimento da técnica de sequestro, captura e armazenamento de CO₂ – CCS, o que será desenvolvido a partir da demonstração da viabilidade da utilização da forte estrutura petrolífera nacional no desenvolvimento do CCS, além das considerações sobre as condições geológicas nacionais para o armazenamento. A importância ambiental dessa proposta mitigatória está associada à construção paralela de novos modelos sociais, cujo objetivo está na definição de uma estrutura industrial transitória capaz de redefinir os contornos entre a atual indústria excessivamente carbonizada e uma economia mais verde. Uma vez demonstrado referido potencial, ao lado dos respectivos objetivos internos e comerciais externos, será discutido o principal entrave para a realização em larga escala da atividade no país, a ausência de um marco regulatório da atividade.

Palavras-chave: Captura e Armazenamento de Carbono – CCS; Análise regulatória; Armazenamento geológico; Redução de GEE.

ABSTRACT

The climate crisis and the Brazilian potential in geological carbon storage - CCS

The exponential increase in the burning of fossil fuels over the past three centuries through human activities has become one of the main factors of global environmental disorders. Reducing greenhouse gases (GHG) in the atmosphere, such as carbon dioxide (CO₂), has proven to be one of the greatest challenges for international organizations and scientific authorities. Considering the emerging and inflamed scenario about the energy debate, as well as the short time lag for the implementation of the Brazilian goals assumed in the face of the new global atmospheric budget, the objective of the work is to present the Brazilian potential for the development of the technique of sequestration, CO₂ storage - CCS, which will be developed from the demonstration of the feasibility of using the strong national oil structure in the development of CCS, in addition to considerations on national geological conditions for storage. The environmental importance of this mitigation proposal is associated with the parallel construction of new social models, the objective of which is to define a transient industrial structure capable of redefining the contours between the current excessively carbonized industry and a greener economy. Once this potential has been demonstrated, alongside the respective internal and external commercial objectives, the main obstacle to the large-scale realization of the activity in the country will be discussed, the absence of a regulatory framework for the activity.

Keywords: Carbon Capture and Storage. CCS. Regulatory Analysis. Geological Storage. GHG reduction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Etapas do processo de Captura e Armazenamento de Carbono..	25
Figura 2.	Sistemas de captura de CO ₂	26
Figura 3.	Salinidade mínima considerada para armazenamento de CO ₂	27
Figura 4.	Opções de transporte de CO ₂	28
Figura 5.	Técnicas de Monitoramento de CO ₂	30
Figura 6.	Território Brasileiro - Fontes emissoras em bacias sedimentares.	31
Figura 7.	Relação entre as principais atividades de P&D em tecnologia de CCS no Brasil.....	32
Figura 8.	Condições de armazenamento de CO ₂ em áreas geológicas.....	35
Figura 9.	Salinidade da água adequada ao armazenamento de CO ₂	35
Figura 10.	Área de Estudo – TECNOPUC – Viamão (RS).....	37
Figura 11.	Esquema de recuperação de campos avançados de Petróleo, injeção de água e CO ₂	39
Figura 12.	Produção de Petróleo e Injeção de CO ₂ no Campo de Buracica..	40
Figura 13.	Dutos de CO ₂ na região do Recôncavo Baiano.....	41
Figura 14.	Localização da Bacia de Campos.....	42
Figura 15.	Presença de basalto na Bacia Sedimentar do Paraná e fontes emissoras de CO ₂	43
Figura 16.	Cavernas de sal profundas.....	44
Figura 17.	Etapas do Licenciamento Ambiental.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Fases da Revolução Industrial.....	12
Tabela 2.	Objetivo 13 (ONU).....	18
Tabela 3.	Principais Acordos e Conferências Climáticas.....	22
Tabela 4.	Processo explicativo de captura de CO ₂	26
Tabela 5.	Critérios de Armazenamento de CO ₂	29
Tabela 6.	Projetos de Pesquisas e Desenvolvimento de Tecnologias de CCS no Brasil.....	34
Tabela 7.	Resumo de Participação Pública.....	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIA	Avaliação de Impacto Ambiental
ANP	Agência Nacional do Petróleo
CCP	<i>CO₂ Capture and Storage</i>
CCS	<i>Carbon Capture and Storage</i>
CF	Constituição Federal
CE	Comunidade Européia
CEPAC	Centro de Excelência em Pesquisa e Inovação em Petróleo, Recursos Minerais e Armazenamento de Carbono
CH₄	Metano
CO₂	Dióxido de Carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COP	<i>Conference of the Parties</i>
EIA-RIMA	Estudo de Impacto Ambiental – Relatório de Impacto Ambiental
EOR	Recuperação Aprimorada de Petróleo
EUA	Estados Unidos da América
FAFEN	Fábrica de Fertilizantes Nitrogenados
FAPESP	Fundo de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
GEE	Gases do Efeito Estufa
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IPCC	<i>International Painel on Climate Change</i>
LI	Licença de Instalação
LO	Licença de Operação
LP	Licença Prévia
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MMV	Monitoramento Medição e Verificação
MT/ano	Megatonelada por ano
N₂O	Óxido Nitroso
OMM	Organização Meteorológica Mundial
ONU	Organização das Nações Unidas
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PL	Projeto de Lei
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PPB	Partículas por bilhão
PPM	Partículas por milhão
PUC-RS	Pontifícia Universidade Católica – Rio Grande do Sul
RECAGE	Programa de Revitalização de Campos com Alto Grau de Exploração
RGCI	<i>Research Center for Gas Inovation</i>
RLAM	Refinaria Landulpho Alves
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
USP	Universidade de São Paulo

Sumário

1. Introdução	11
1.1 Conferências e Acordos Ambientais Mundiais	12
2. Conjuntura Ambiental e a Formação do Regime Climático Global	15
2.1 Aquecimento Global e Efeito Estufa.....	16
2.2 Mudanças Climáticas	17
2.3 Formação dos Regimes Internacionais.....	19
2.4 Formação do Regime Climático Global.....	20
3. Captura, Transporte, Armazenamento, e Monitoramento de CO₂	23
3.1 Captura.....	25
3.1.1 Tecnologias de Captura	26
3.2 Transporte	27
3.3 Armazenamento	28
3.4 Monitoramento, Medição e Verificação de CO ₂	29
3.5 CCS no Brasil: Características e Potencialidades	30
4. Projetos de CCS no Brasil	32
4.1 Potencialidades de Armazenamento no Brasil	34
4.2.1 Estudo de Caso: Projeto Ressacada e Projeto CO ₂ MOVE.....	36
4.2.2 Estudo de Caso: Projeto de Captura de CO ₂ em São Mateus do Sul (PR)	38
4.2.3 Estudo de Caso: Programa de Recuperação de Campos com Alto Potencial de Exploração (RECAGE).....	38
4.2.4 Estudo de Caso: Bacia de Campos	41
4.2.5 Estudo de Caso: Rochas Vulcânicas na Bacia Sedimentar do Paraná	42
4.2.6 Estudo de Caso: <i>Research Center for Gas Innovation</i> - USP.....	43
5. Regulação da captura e armazenamento de CO₂ no Brasil em análise comparativa com as condições de regulação de captura no exterior	45
5.1 Direitos de Propriedade no Brasil e no Mundo.....	46
5.2 Licenciamento Ambiental e a Captura de Carbono.....	47
5.3 Regulação de CCS no exterior.....	50
6. Considerações Finais	54
Referências Bibliográficas	56
Anexos	62

1. INTRODUÇÃO

Desde o surgimento dos parques industriais as indústrias já compunham um importante indutor na transformação do espaço mundial. Em meados do século XVIII, a partir da revolução industrial a organização, vide reorganização espacial, vem se mostrando como o principal foco de organização política, econômica, social, e ambiental do mundo.

O cenário industrial avança à medida em que se ajusta às as necessidades industriais características de cada período. Esses movimentos, caracterizados por etapas da Revolução Industrial, ora cíclicos e cada vez mais transformadores, apresentam diferentes fases, marcando uma cisão entre características peculiares que se definem de geração em geração.

A industrialização apresentou consequências ao longo da história - vide tabela 1 - como, por exemplo, um exponencial crescimento econômico para as nações, a princípio, estabelecida de forma primitiva, a partir do artesanato, quando o artesão abdica do trabalho simples e isolado, e passa a se organizar de forma produtiva e mecanizada.

A primeira fase da Revolução Industrial se dá, de forma pioneira, na Inglaterra, quando a inovação tecnológica da máquina a vapor revoluciona a capacidade de transformação dos recursos naturais, utilizando o ferro como matéria prima e o carvão mineral como fonte de energia. Conforme esclarece (SANTOS e SILVEIRA, 2006), é o começo da utilização de novas tecnologias para a fabricação de seus produtos. Durante a primeira fase mecanicista tiveram origem os principais conflitos de ordem ambiental, cujos impactos, provenientes da queima de combustíveis fósseis utilizados como fontes de energia - sobretudo o carvão mineral, ocasionou o aumento dos gases de efeito estufa, a exemplo do dióxido de carbono (CO₂), resultando ao meio ambiente, prejuízos em grande escala, (ONU-BRASIL, 2018).

A segunda fase se caracteriza no século XIX, sobretudo nos Estados Unidos e Alemanha. O motor a combustão dá início ao desenvolvimento do setor automotivo (Taylorismo/Fordismo). O aço, nesse período, é a matéria prima principal e o petróleo a sua fonte de energia. Já o terceiro ciclo desse movimento revolucionário ocorre no século XX com o advento da informática e

da Internet, dando início ao período técnico-científico-informacional (SANTOS, 1996), fator de desenvolvimento do setor de telecomunicações, informática, e *high tech* sustentado pela fibra ótica e o silício como matérias primas, (MOREIRA, 2005).

Considerando o ponto de vista de Santos (1994) acerca da importância de se conhecer o processo que envolve um objeto histórico, a presente investigação apresenta como um dos seus objetivos, evidenciar os eventos que antecederam a preocupação dos grandes órgãos institucionais - acadêmicos e ambientais, com relação aos problemas climáticos (ONU-BRASIL, 2018), encontrando no dióxido de carbono o seu principal agente e como perspectiva, a realização das propostas de mitigação do lançamento desse gás na atmosfera, responsável por afetar, de forma nociva, diversos biomas.

Tabela 1. Fases da Revolução Industrial

REVOLUÇÃO INDUSTRIAL		
SÉCULO	TIPO DE INDÚSTRIA	INOVAÇÃO TECNOLÓGICA/PRINCIPAL FONTE DE ENERGIA
XVIII	Têxtil	Máquina a vapor/carvão mineral
XIX	Automotiva (Taylorismo = divisão de tarefas)	Motor a combustão/petróleo
XX	Automotiva (Fordismo = produção em massa)	Esteira rolante/petróleo

Fonte: Elaboração própria baseado em Duarte (1999).

1.1 Conferências e Acordos Ambientais Mundiais

Conforme o histórico acerca da produção e consumo industrial, marcados por intensa agressão ambiental por meio da emissão de poluentes, a partir da década de 1960/1970, as crises ambientais começam a apontar para uma urgente necessidade de conscientização frente um possível colapso, que se apresentava essencialmente em consequência da exploração industrial relacionada à queima de combustíveis fósseis e a sua agressão ao meio ambiente.

Diante do cenário relatado acima e em consonância com setores governamentais de todo o mundo, sobretudo a parcela ocidental do globo, os meios científicos e acadêmicos, passaram a organizar encontros e

conferências referentes à ordem econômica dos países aliada ao desenvolvimento ambiental sustentável, com vistas ao aquecimento global.

Diante dos principais acordos ambientais, dois deles se destacam dentro do Regime Climático Internacional: Protocolo de Kyoto (COP 3) e o Acordo de Paris (COP 21).

As metas propostas pelo Protocolo de Kyoto apontavam para uma redução de 5,2% das emissões de GEE (Gases do Efeito Estufa), a partir do parâmetro referente às emissões da década de 1990.

O referido Protocolo, entre vários outros elementos, trouxe a possibilidade de utilização de mecanismos de mercado para que os países desenvolvidos pudessem cumprir os compromissos quantificados de redução e limitação de emissão de gases de efeito estufa (GEE). No caso do Brasil, a participação no mencionado mercado ocorre por meio do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), por ser o único mecanismo do Protocolo de Kyoto que admite a participação voluntária de países em desenvolvimento.

O MDL consiste no desenvolvimento de projetos que reduzam a emissão de gases de efeito estufa. Os projetos no âmbito do MDL são implementados em países menos desenvolvidos e em desenvolvimento, os quais podem vender as reduções de emissão de GEE, denominadas Reduções Certificadas de Emissão (RCEs) para os países desenvolvidos, auxiliando-os assim a cumprir as suas metas e compromissos de redução de GEE assumidos junto ao Protocolo de Kyoto (MCTIC-BRASIL, 2019).

O protocolo de Kyoto não obteve total aceitação dos países centrais – a exemplo dos Estados Unidos – o que gerou desinteresse de outros países em ratificar a sua proposta. Contudo, entrou em vigor no ano de 2005. Diante da recusa de alguns países desenvolvidos, o Protocolo de Kyoto enfraqueceu e não conseguiu levar adiante a efetivação de sua proposta. Por outro lado, durante a COP 21 – “21ª Conferência das Partes da Convenção – Tabela das Nações Unidas Sobre Mudança do Clima” – evento que aconteceu em Paris em 11 de dezembro de 2015, quando surge o “Acordo de Paris”. Em vigor desde 2016, o Acordo de Paris tem por principal finalidade reduzir o aquecimento global até o ano de 2100 para que a temperatura média do planeta tenha um aumento inferior a 2°C (CEBDS, 2016). Este acordo destina-se, não apenas aos países já desenvolvidos, mas a todos os países, em colaboração ao desenvolvimento ambiental de todo o planeta.

Segundo o Ministério de Ciência e Tecnologia do Brasil (MCTIC, 2019), ao contrário do que ocorreu com a não adesão dos países desenvolvidos aos compromissos estabelecidos pelo Protocolo de Kyoto, a COP 21, de início, trouxe a ratificação de grandes potências à aplicação ao Acordo de Paris.

Assim, a sociedade internacional concretiza um orçamento atmosférico global e vinculante. Para atender ao compromisso climático traçado no Acordo de Paris, a presente pesquisa considera a tecnologia de captura, sequestro e armazenamento de carbono um importante facilitador nesse processo, e tem como objetivo geral analisar a capacidade brasileira de reunir condições geológicas e tecnológicas para a captura, sequestro e armazenamento de CO₂. O estudo se dará a partir da análise de casos no Brasil e no mundo, de forma que demonstre a viabilidade da prática, sob o ponto de vista econômico, técnico e regulatório, considerando os mecanismos inseridos durante o processo de licenciamento ambiental das instalações.

Para atingir os objetivos da pesquisa, o estudo analisou as contribuições teóricas acerca das técnicas de captura e armazenamento de carbono, a conjuntura regulatória em países que já apresentam maturidade da tecnologia e inclusive seus efeitos, partindo de um cenário geral, em busca de uma constatação particular, o cenário da técnica de *Carbon Capture and Storage* - CCS no Brasil considerando as possíveis analogias para o incentivo da prática, baseado de acordo com a metodologia hipotético-dedutiva (NEVADO, 2008).

A tecnologia de CCS, se mostra uma tecnologia pertinente à realidade brasileira e um componente que encontra enquadramento na estrutura do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) - uma série de propostas estipuladas no Protocolo de Kyoto (Andrade e Costa, 2008), que se referem a projetos capazes de contribuir para a redução dos gases poluentes na atmosfera, que no específico caso representa uma importante ferramenta de captura, sequestro, e armazenamento de carbono.

Portanto a presente investigação se torna pertinente, devido ao potencial brasileiro de captura, armazenamento e transporte de CO₂, colaborando no cumprimento das metas climáticas estabelecidas no respectivo Regime Internacional, ratificado pelos países signatários da Convenção Tabela das

Nações Unidas, que busca, em última análise, estabelecer um modelo econômico sustentável global.

Diante dessa grande demanda ambiental frente à técnica de CCS, serão abordadas as normas jurídicas que sustentam essa possibilidade, evidenciando suas conquistas e os desafios a serem ultrapassados, viabilizando um desdobramento específico da pesquisa que consiste na avaliação do potencial jurídico regulatório brasileiro, através da análise comparativa dos regimes legais - brasileiro e estrangeiro - que adotam a medida de captura e seus resultados.

Com a finalidade de avaliar a capacidade do Brasil para receber instalações de armazenamento de CO₂, a estrutura temática dos capítulos se apresentará da seguinte forma:

- Capítulo 02: Conjuntura Ambiental e a Formação do Regime Climático Global.
- Capítulo 03: Captura, Transporte, Armazenamento, e Monitoramento de CO₂.
- Capítulo 04: Projetos de CCS no Brasil.
- Capítulo 05: Regulação da captura e armazenamento de CO₂ no Brasil em análise comparativa com as condições de regulação de captura no exterior.
- Capítulo 06: Considerações finais.

2. Conjuntura Ambiental e a Formação do Regime Climático Global

A conjuntura ambiental e as circunstâncias climáticas do planeta vêm apresentando ao longo das últimas décadas o potencial destrutivo relacionado ao consumo dos recursos naturais, exigindo uma situação de emergente reparação ambiental.

De acordo com Romeiro-Conturbia (2014), o mundo apresenta as externalidades negativas em relação às falhas de mercado, motivado por instabilidades financeiras, e as catástrofes ambientais.

Sob o aspecto socioeconômico as externalidades estão relacionadas ao custo social da poluição, ou seja, ela seria um tipo de responsabilidade por dano.

“Durante o processo produtivo, além do produto a ser comercializado, são produzidas ‘externalidades negativas’. São chamadas externalidades porque, embora resultantes da produção, são recebidas

pela coletividade, ao contrário do lucro, que é percebido pelo produtor privado. Daí a expressão 'privatização de lucros e socialização de perdas', quando identificadas as externalidades negativas" (DERANI, 1997. Apud COLOMBO, 2004 p.20)."

Desta forma, os efeitos sobre a sociedade recaem sobre a socialização das perdas de maneira a ocasionar uma ausência de direitos, precarizando usualmente os recursos públicos e exigindo uma intervenção governamental, de forma que promova uma regulação social com o fito de promover a alocação e fiscalização mais eficiente desses recursos.

2.1 Aquecimento Global e Efeito Estufa

Os temas referentes ao aquecimento global e ao efeito estufa preocupam as autoridades, instituições governamentais, meio acadêmico, e a sociedade civil em busca de uma melhor condição de vida em todos os seus aspectos.

Conforme levantamentos realizados pelo Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas (IPCC, 2013), no decorrer da história, os países industrializados respondem por grande porcentagem das emissões de gases que compõe o efeito estufa. Os dados divulgados pelo IPCC afirmam que não são positivas as projeções acerca do aumento das emissões para as próximas décadas, exigindo grande empenho mundial para o controle, sobretudo do carbono na atmosfera.

As concentrações de dióxido de carbono aumentaram 40% desde a era pré-industrial, em primeiro lugar, a partir das emissões de combustíveis fósseis e, em segundo lugar, pelas emissões líquidas das alterações do uso dos solos. O oceano absorveu cerca de 30% do dióxido de carbono antropogênico emitido, provocando a acidificação do oceano (IPCC, 2013).

A concentração atmosférica dos gases de efeito estufa, dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) aumentou desde 1750, coincidindo com o processo de intensificação das atividades industriais, por isso relacionado à atividade humana. Em 2011, as concentrações destes gases de efeito de estufa foram de 391 ppm (CO₂), 1803 ppb (CH₄) e 324 ppb (N₂O),

e excedendo níveis pré-industriais em cerca de 40%, 150% e 20%, respectivamente (IPCC, 2013).

O último boletim referente aos gases de efeito estufa, emitido pela Organização Mundial Meteorológica – órgão integrante do Sistema da Organização das Nações Unidas (ONU), responsável pela monitoria do clima e da água no planeta, evidencia um aumento de 43% no total das forças radioativas desses gases, considerando o CO₂ como o mais nocivo ao aquecimento do planeta (ONU, 2019).

2.2 Mudanças Climáticas

As mudanças climáticas são uma realidade. O mundo já está 1.1°C mais quente do que no início da revolução industrial. E isso tem um impacto importante no globo e na vida das pessoas. Com as tendências atuais persistindo, as temperaturas globais podem subir de 3.4°C a 3.9°C ainda neste século, causando impactos destrutivos sobre o meio ambiente (ONU, 2019).

A população mundial está consciente dos sérios riscos ambientais sobre a vida humana, efeitos nocivos afetam os ecossistemas e conseqüentemente a qualidade de vida, uma vez que há a escassez da água e de alimentos, bem como a queda da qualidade de produtos alimentícios. O mundo animal se torna vulnerável aos desastres ambientais, como o desaparecimento de geleiras, quebra das calotas polares e o alarmante número de queimadas existentes.

As mudanças climáticas globais, em seu maior grau, causadas pela humanidade, aumentam a preocupação da comunidade científica, governantes e população mundial, tornando constantes as conferências internacionais para a avaliação de medidas impostas quanto ao controle das emissões de altos índices de gás carbônico na atmosfera.

A medição das alterações no sistema climático mundial se dá por meio de satélites e outras tecnologias, de forma direta, esse procedimento ocorre devido à iniciativa do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC).

O ano de 2013 forneceu importantes evidências sobre o clima e suas alterações climáticas. Com base na revisão de diversos indicadores, o IPCC

divulgou o seu Quinto Relatório de Avaliação. O documento conclui que as mudanças climáticas se agravam cada vez mais e que a atividade humana é a causa principal, tendo no agente do gás carbônico o principal responsável por esse agravo.

A ONU obteve a partir do ano de 2015 um marco que favorece medidas de grande relevância frente a tomadas de decisões em favor do planeta nas mais diversas ordens. “O ano de 2015 apresentou uma oportunidade histórica e sem precedentes para reunir os países e a população global e decidir sobre novos caminhos, melhorando a vida das pessoas em todos os lugares” (ONU, 2018). Uma dessas principais medidas tomadas foi à criação de dezessete Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), sendo o décimo terceiro deles, aquele referente às mudanças climáticas, conforme estabelecido na Tabela 2: reforçar a resiliência e a capacidade de adaptação e transformação dos riscos relacionados ao clima e às catástrofes naturais em todos os países.

Tabela 2. Objetivo 13 (ONU)

13.1	Reforçar a resiliência e a capacidade de adaptação a riscos relacionados ao clima e às catástrofes naturais em todos os países.
13.2	Integrar medidas da mudança do clima nas políticas, estratégias e planejamentos nacionais.
13.3	Melhorar a educação, aumentar a conscientização e a capacidade humana e institucional sobre mitigação, adaptação, redução de impacto e alerta precoce da mudança do clima.
13.3a	Implementar o compromisso assumido pelos países desenvolvidos, partes da Convenção Tabela das Nações Sobre Mudança do Clima [UNFCC] para a meta de mobilizar conjuntamente US\$100 bilhões por ano a partir de 2020, de todas as fontes, para atender às necessidades dos países em desenvolvimento no contexto das ações de mitigação significativas e transparência na implementação e operacionalizar plenamente o Fundo Verde para o clima, por meio de sua capitalização, o mais cedo possível.
13.3b	Promover mecanismos para a criação de capacidades para o planejamento relacionado à mudança do clima e à gestão eficaz nos países menos desenvolvidos, inclusive com foco em mulheres, jovens, comunidades locais e marginalizadas.

2.3 Formação dos Regimes Internacionais

No âmbito da regulação internacional acerca da construção de instituições fortes que orientam as práticas globais, é possível explorar o conceito de governança, definido por Gonçalves (2011), como a totalidade de diversas maneiras pelas quais os indivíduos e as instituições, públicas e privadas, administram seus problemas comuns.

Porém, pensar a governança na aldeia global característica da contemporaneidade requer atenção aos limites que os Estados soberanos impõem à própria governança, sobretudo uma governança tripartite, quando levada em consideração também a sociedade civil, além das instituições públicas e privadas. Dessa forma, no âmbito global o poder é dividido entre Estados e outras entidades, tornando-se necessárias novas instituições caracterizadas por regimes internacionais.

Os regimes internacionais devem por sua eficácia, regular internacionalmente a partir de bases institucionais as normas que irão nortear os atores sociais de diversas áreas específicas e que compõem um subconjunto da sociedade internacional. Segundo Krasner (1983), os regimes são conjuntos de princípios, normas, regras e procedimentos de tomada de decisão, explícitos ou implícitos, em torno dos quais convergem as expectativas dos atores numa dada área das relações internacionais.

A efetividade de um regime internacional consiste no cumprimento dos compromissos firmados entre as partes, desta forma, a concretização vai além da soberania das nações, capaz de conduzir e induzir o desenvolvimento dos países, podendo até refrear em alguns casos, vide a estipulação de créditos de carbono a partir do Protocolo de Kyoto, por exemplo, (ANDRADE, e COSTA, 2008).

A efetividade dos Regimes Internacionais enquanto ações de governança ambiental global depende da vontade do Estado-nação de abrir mão de alguns de seus dogmas para a consecução do interesse comum mundial, com plena transparência no monitoramento de suas condutas e do grau de resistência dos mecanismos pressupostos, e ajustados no âmbito interno de cada Estado-nação. CAMARGO (2015). Apud REI, GONÇALVES, e SOUZA. (2017. p.92).

Ademais, os regimes internacionais consistem em uma das maneiras possíveis de promover a governança global, visto que a governança equivale à totalidade das maneiras pelas quais são administrados os problemas comuns.

2.4 Formação do Regime Climático Global

A formação do Regime Climático Global (UNFCCC) tem por principal finalidade a elaboração de arranjos institucionais e instrumentos jurídicos definidos a partir dos encontros realizados ao longo das Conferências das Partes, seguindo os pressupostos estipulados durante as Convenções--Tabelas das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas.

Segundo, Rei, Gonçalves e Souza (2017), diante das problemáticas globais apresentadas sobre a questão ambiental, o Sistema das Nações Unidas normatizado a partir da Convenção, entrelaça o regime climático e a governança ambiental como um mecanismo para resolução de conflitos e cooperação entre os demais Estados nacionais que participam dos encontros referentes às Conferências das Nações Unidas (COP).

Durante as conferências os objetivos residem no desafio de alcançar conformidade entre as disposições referentes à estabilização das concentrações de gases do efeito estufa presentes na atmosfera, e a adaptação à interferência antrópica delas, possibilitando a resiliência dos ecossistemas às mudanças climáticas e o desenvolvimento econômico de uma maneira sustentável.

A temática da mudança climática representa um problema na arena das negociações intergovernamentais, principalmente em virtude dos principais ativos para adequação de índices menos poluentes fugirem aos interesses das autoridades internacionais, antes vinculados a discussão de temas a respeito de poderio bélico e econômico.

Atualmente, se mostra de maior pertinência o desenvolvimento de tecnologias sofisticadas e inovadoras, sobretudo a respeito da governança internacional, promovendo encontros que discutam pautas para a melhoria dos indicadores ambientais. A quebra da ordem vigente é fundamental para atenuar

os danos do sistema de produção e do modo de vida em vigor, responsáveis pelos atuais índices de degradação ambiental.

Em 1979 ocorre a primeira conferência mundial do clima em Genebra, e em 1988 a formação do IPCC.

O IPCC é um organismo internacional componente da (ONU), pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e pela Organização Meteorológica Mundial (OMM). Seu principal objetivo é analisar e avaliar informações socioeconômicas e científicas produzidas no mundo para compreensão das mudanças climáticas e seus resultados.

Embora os problemas ambientais se mostrassem cada vez mais abrangentes, somente em 1992 com a realização da ECO-92 no Rio de Janeiro, todos os países com representação na Organização das Nações Unidas aderiram à estabilização da emissão de gases do efeito estufa.

Em 1992, praticamente todos os países do mundo assinaram e ratificaram a Convenção-Tabela das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas – CQNUMC. O principal objetivo da convenção é atingir a estabilização da concentração atmosférica dos GEE, num nível que poderá prevenir a perigosa interferência antropogênica no sistema climático. (ANDRADE e COSTA, 2008. p.32).

A partir da ratificação da UNFCCC ficou acordado o papel da Conferência das Partes (COP), entrando em vigor a partir do ano de 1995 como o órgão supremo da entidade, responsável por reunir anualmente todos os países membros. Os encontros realizados na Conferência das Partes (COP) têm por finalidade promover essa cooperação e ajustar as metas a índices vinculados em ações praticáveis (REIS, GONÇALVES, e SOUZA, 2017).

Tabela 3. Principais Acordos e Conferências Climáticas.

ANO	EVENTO	PAUTA
1972	Conferência de Estocolmo – Suécia	Recomendações referentes à poluição e à preservação de recursos naturais.
1979	Primeira Conferência Mundial do Clima – Genebra	Debate entre cientistas e especialistas acerca das questões ambientais: agricultura, recursos hídricos, energia, biologia e economia.
1988	ONU cria o IPCC (<i>Intergovernmental Panel On Climate Change</i>)	O Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas - é um órgão composto por delegações de 130 governos para prover avaliações regulares sobre a mudança climática.
1990	Segunda Conferência Mundial do Clima	Novas pesquisas sobre aquecimento global.
1992	ECO – 92	Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. Iniciou o processo de criação da UNFCCC (Tabela das Nações Unidas para Mudanças do Clima).
1994	UNFCCC	Entra em vigor e cria a plataforma para a elaboração de acordos internacionais, definindo o papel de cada país no controle do aquecimento global.
1997	ASSINATURA DO PROTOCOLO DE KYOTO	É o primeiro acordo que define metas e objetivos específicos para reduzir a emissão dos gases de efeito estufa.
2002	RIO + 10	Declaração de Joanesburgo. Foi a 2ª Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável, tornando as resoluções anteriores mais abrangentes em relação ao aquecimento global.
2005	Protocolo de Kyoto entra em vigor	Protocolo de Kyoto entra em vigor com a ratificação da Rússia, representando todos os países juntos, 55% das emissões dos gases de efeito estufa no mundo.
2008	Flexibilização do Protocolo de Kyoto	Os mecanismos de flexibilização tornam o protocolo politicamente sustentável, facilitando o cumprimento das metas por meio do "comércio" das emissões de crédito de carbono.
2015	Assinatura do Acordo de Paris	Sucessor do Protocolo de Kyoto, tem como alguns de seus objetivos: conter o aumento da temperatura global em até 2°C em relação ao período pré-industrial, com esforços para conter em 1,5°C; apoiar os países menos industrializados e acompanhar o progresso dos países em suas metas.

Fonte: Elaboração própria baseado em: ONU-BRASIL (2019).

Em 1997, o Protocolo de Kyoto, seguindo as definições de redução geradas na ECO-92, se torna um marco no Regime Climático Global pois é o primeiro grande encontro a estipular metas de redução das emissões, a princípio estipulados para serem cumpridos entre os anos de 2008 e 2012.

Segundo Stella *et al.* (2011), o novo período do Protocolo de Kyoto se iniciou a partir de 2013 até o ano de 2017, estendido até o final de 2020 de acordo com a COP-17. A compilação dos novos desafios visa atender as metas estipuladas que não foram cumpridas, compensados por meio do comércio de

créditos de carbono, níveis de referência e a criação de um fundo verde para o clima.

Ainda remetendo aos objetivos normatizados na Convenção-Tabela das Nações Unidas em 1992, o Acordo de Paris, assinado em 2015, entrelaça o regime climático global e a governança global como uma forma de resolução de conflitos e a promoção de uma cooperação entre os Estados nacionais, permeado na redução das emissões - pressuposto firmado como compromisso a ser cumprido - e baseado em pressupostos como os mecanismos de desenvolvimento limpo (MDL) previsto no Protocolo de Kyoto.

A cooperação entre os Estados nacionais perante as reduções se tornou um objetivo, sobretudo devido a não adoção das propostas acordadas pelos países mais poluidores, destacando os Estados Unidos da América, país que está em processo de saída do Acordo de Paris conforme anunciado no ano de 2017, e assim como os demais países centrais não vem cumprindo com os acordos desde as metas determinadas no Protocolo de Kyoto.

3. Captura, Transporte, Armazenamento, e Monitoramento de CO₂

O capítulo intitulado “Captura, Transporte, Armazenamento, e Monitoramento de CO₂”, visa descrever as quatro etapas básicas – Figura 1 - da tecnologia de captura de carbono denominada *Carbon Capture and Storage* (CCS), uma tecnologia de destaque para o armazenamento do carbono. Durante a utilização do termo “monitoramento de carbono”, é comum a utilização da terminologia MMV – que se refere ao conjunto de monitoramento, medição e verificação.

Ainda buscando explorar as propriedades da presente técnica para o território nacional, o capítulo trata das características e potencialidades de CCS no Brasil.

Diversas estratégias técnico-científicas têm voltado a atenção para a mitigação desse grande problema logístico e de ordem mundial, pois visa solucionar um significativo motivador ecossistêmico, relacionado à emissão de um dos principais gases do efeito estufa.

Em busca de intervenções que promovam a erradicação da excessiva emissão de gases do efeito estufa e demais poluentes atmosféricos, muitos são os olhares de cientistas e órgãos governamentais que se voltam para essa finalidade, cujas discussões, experiências e projetos se fundem na busca por tecnologias de reparação ambiental como o CCS - *Capture and Storage* - fator desencadeante da pesquisa vigente.

Partindo da urgência da implantação de atividades que demonstrem a confiabilidade da operação da Captura e Sequestro de CO₂ – Ketzer (2016) salienta a agravante emissão de gás carbônico não apenas como o resultado de processos industriais por meio da queima de produtos à base de cimento, fertilizantes, petróleo, e gás, como também o altíssimo nível desse gás armazenado em reservatórios geológicos.

O relatório da *Carbon Capture & Storage Association – CCS (2019)*, associação de pesquisa relacionada a tecnologia de CCS no Reino Unido e na União Europeia, também defende a necessidade do uso dessa tecnologia em relação à redução do carbono na atmosfera, não apenas buscando resultados de mitigação provenientes da industrialização a base de combustíveis fósseis durante o processo da quebra de materiais, mas também na elevada porcentagem de geração de eletricidade - cerca de 90% de toda emissão, considerando os nichos de exploração de petróleo e gás, principalmente.

De acordo com o CEPAC apud Ketzer 2016, (Centro de Excelência em Pesquisa e Inovação em Petróleo, Recursos Minerais e Armazenamento de Carbono), por meio de iniciativas de centros de pesquisas científicas e acadêmicas, bem como de setores industriais conscientes da necessidade de cooperar com a diminuição de CO₂ na atmosfera, recentemente têm ocorrido o aumento de pesquisas no desenvolvimento de tecnologias para o armazenamento do carbono em áreas geológicas de grande potencial de armazenamento, considerando a eficácia nos resultados obtidos em alguns pontos do globo, onde há significativa redução e controle emitido, atestando a efetividade da prática e demonstrando um otimismo no controle das emissões.

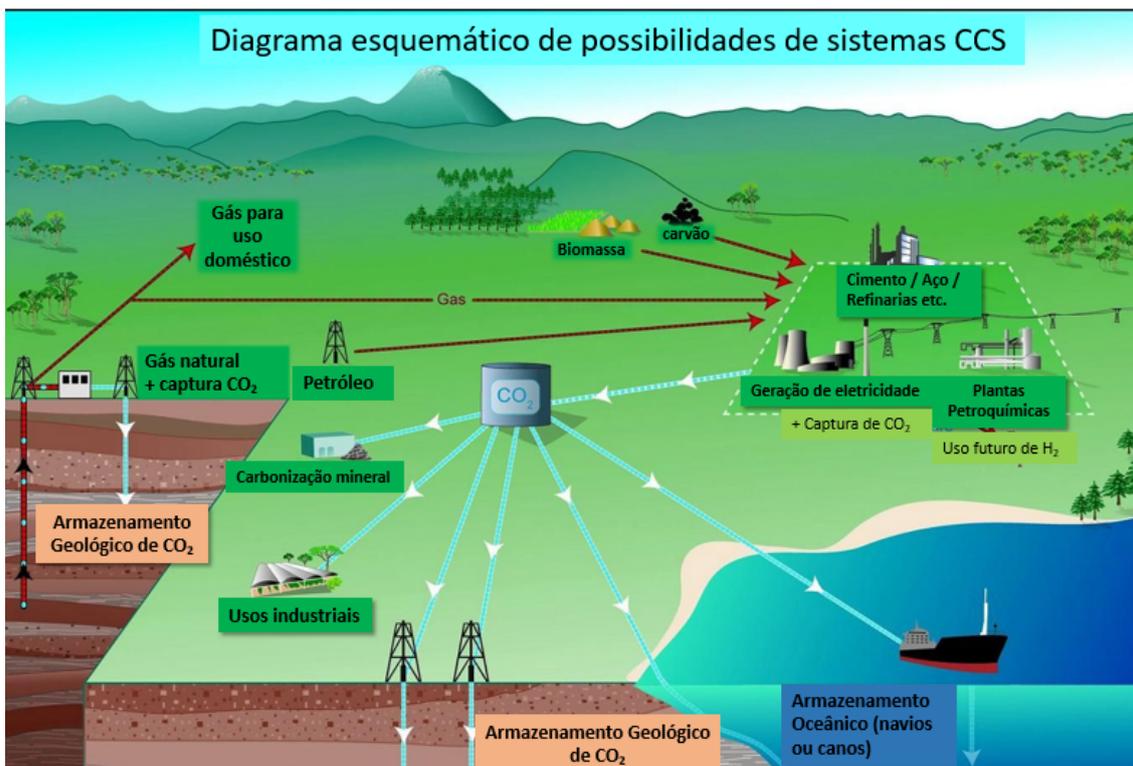


Figura 1. Etapas do processo de Captura e Armazenamento de Carbono (IPCC, 2005).

3.1 Captura

O processo de captura de CO₂ tem em sua tecnologia, um altíssimo nível de eficácia que, segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, 2008), atinge a elevada porcentagem de 90% de diminuição do gás direto de sua fonte emissora. Gaspar (2014) esclarece que a etapa de captura do CO₂ fundamenta-se em separar o dióxido de carbono da emissão de outros gases que compõem a queima de produtos em fontes estacionárias de indústrias siderúrgicas, refinarias e outros sítios, a fim de que atinja sua condição mais pura para posterior reaproveitamento limpo.

É possível separar o CO₂ emitido na queima de combustíveis fósseis, processá-lo para a sua forma líquida e transportá-lo por dutos, rodovias ou por via marítima para reservatórios geológicos como minas desativadas, campos de petróleo ou outros locais onde o CO₂ possa ser armazenado. (CÂMARA *et al.*, 2011).

3.1.1 Tecnologias de Captura

Segundo o IPCC (2005), são três as principais e diferentes formas tecnológicas de captura de CO₂: pré-combustão, pós combustão e oxí-combustão, como mostram a Figura 2 e o Tabela 4. Cada uma dessas etapas está voltada para a especificidade da indústria ou usina na qual se dará o processo, vide Figura 3.

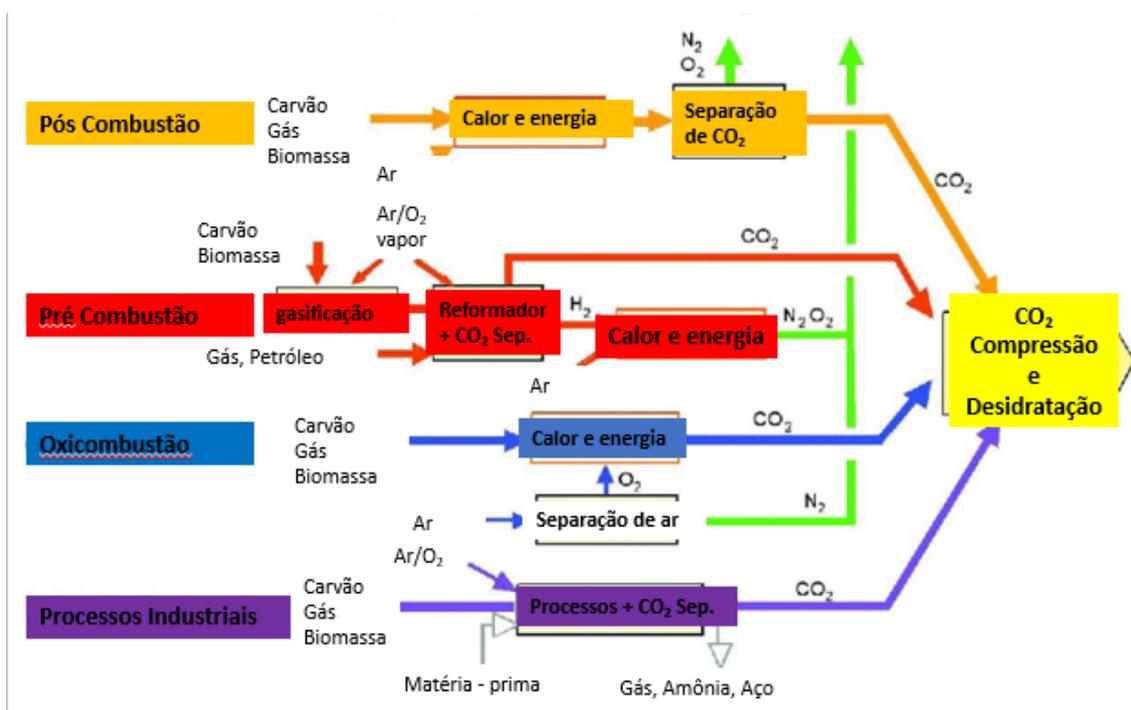


Figura 2. Sistemas de captura de CO₂ (Fonte: IPCC, 2005 – Adaptado pelo autor).

Tabela 4. Processo explicativo de captura de CO₂.

PRÉ COMBUSTÃO	Ocorre com o processo da mistura do combustível primário com o vapor ou com oxigênio, produzindo uma mistura de monóxido de carbono com hidrogênio, de modo que dessa mistura, o CO ₂ , devido a ação do vapor, é separado, podendo, então, ser armazenado, tornando-se o hidrogênio, um gerador de energia limpa e calor.
PÓS COMBUSTÃO	Separa, por meio de um solvente líquido, o CO ₂ dos gases produzidos pela queima do combustível primário, recuperando uma pequena fração pura do gás de 3% a 15% de seu volume.
OXI-COMBUSTÃO	O processo dessa tecnologia envolve a queima do combustível com oxigênio puro. Deste modo, o CO ₂ em contato com o vapor d'água é separado por meio do processo de condensação.

Fonte: IPCC- *Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage*, 2005.

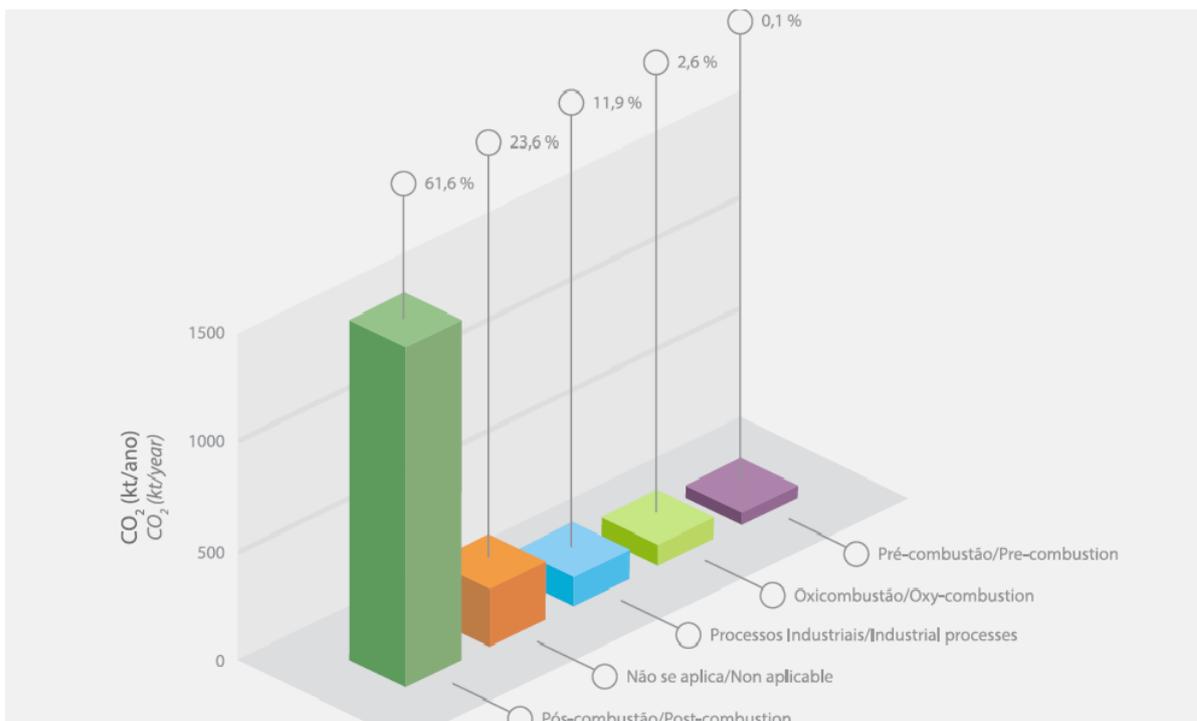


Figura 3. Salinidade mínima considerada para armazenamento de CO₂ (Fonte: Atlas Brasileiro de Captura e Armazenamento Geológico de CO₂, 2016).

3.2 Transporte

A CCS esclarece que após a captura, o CO₂ passa por sua segunda etapa: o transporte, demonstrado na Figura 4, cujo deslocamento se dá por meio de dutos, caminhões ou navios-tanque até o local de armazenamento, sendo consideradas fundamentais as formações geológicas onde o gás é armazenado, devendo oferecer um alto nível de segurança para toda a região onde se encontra localizado o armazenamento do gás. Ainda com a finalidade de se atestar a segurança do transporte do carbono, é comum a prática de comprimir o CO₂ a um estado supercrítico, quando o gás é elevado a um estado mais denso, próprio para o transporte e futura injeção.

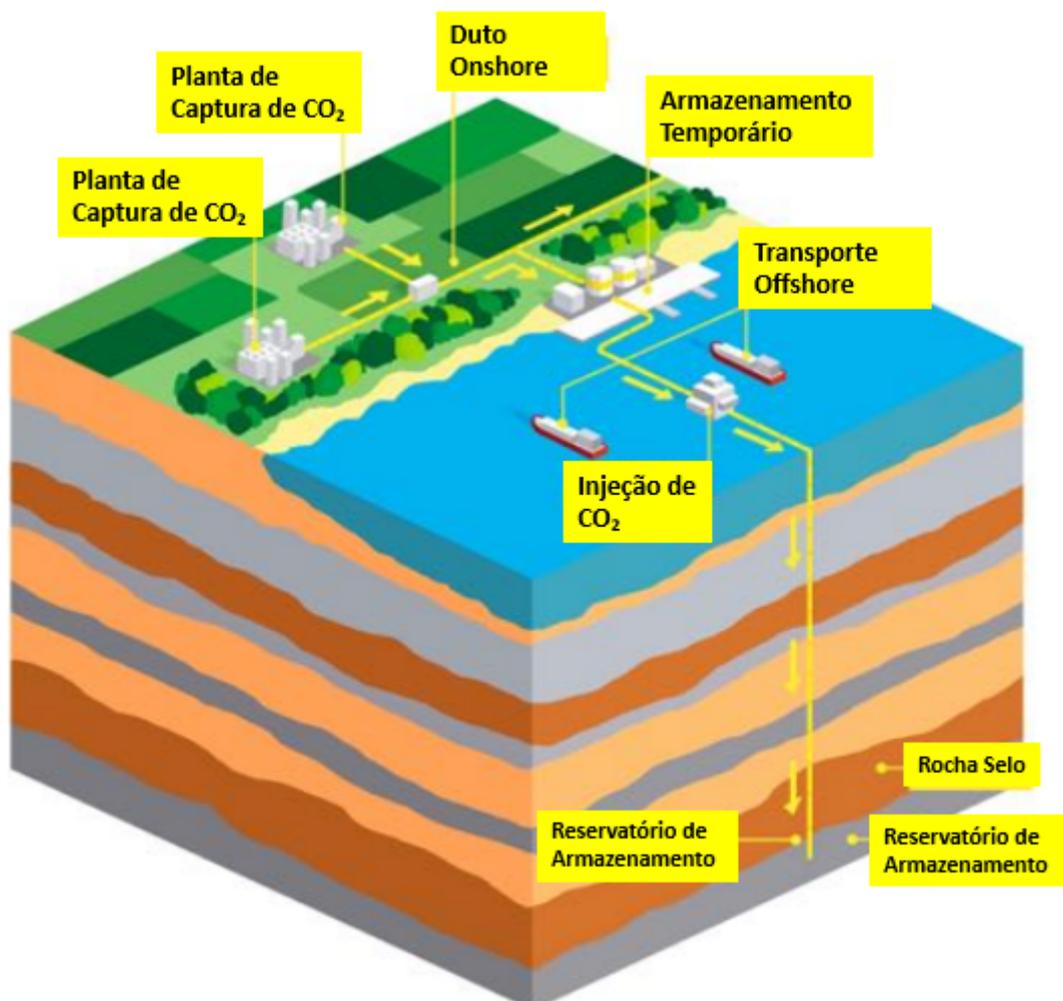


Figura 4. Opções de transporte de CO₂ (Fonte: Atlas Brasileiro de Captura e Armazenamento Geológico de CO₂, 2016 – Adaptado pelo autor).

3.3 Armazenamento

Conforme Ketzer (2016), após a captura do CO₂, ocorre o processo de armazenamento do gás, obedecendo a critérios de grande importância para preservação do ambiente e segurança local, vide Tabela 5.

Tabela 5. Critérios de Armazenamento de CO₂.

- Capacidade e taxas adequadas de injetividade (permeabilidade na proximidade de poços de injeção);
- Ambiente geológico estável (geoquimicamente e geomecanicamente). Características da bacia (estratigrafia e profundidade de reservatório adequados, regimes geotérmicos e hidrodinâmicos favoráveis e baixa atividade sísmica);
- Recursos da bacia (ocorrência de óleo e gás para EOR, carvão para ECBM, distância segura dos aquíferos de água doce, disponibilidade de formações salinas profundas);
- Maturidade da indústria de petróleo e infraestrutura (equipamentos, tubulações, poços e dados geológicos existentes);
- Questões sociais e econômicas (níveis de desenvolvimento adequados, oportunidades de financiamento, aceitação pública).

Fonte: Atlas Brasileiro de Captura e Armazenamento Geológico de CO₂, 2016.

3.4 Monitoramento, Medição e Verificação de CO₂

A captura, o transporte, e o armazenamento de CO₂ estão entre os principais componentes a respeito da técnica de CCS, porém, outro importante indicador a respeito da segurança do armazenamento em formações geológicas é o monitoramento do carbono armazenado.

O armazenamento do CO₂, mesmo quando configurado para perdurar por milhões de anos abaixo da superfície requer um monitoramento minucioso. Segundo o Atlas Brasileiro de Captura e Armazenamento Geológico de CO₂ (2016), o monitoramento deve ocorrer antes, durante e após a fase de injeção de carbono, comparando sempre com medições de referências e utilizando tecnologias das indústrias de óleo e gás, métodos geoquímicos também podem ser utilizados para avaliar o movimento do CO₂ abaixo da superfície.

Algo importante a ser destacado por Costa (2009), é que durante a escolha do ponto no projeto do CCS, na fase preparatória da injeção, é levado em consideração todas as áreas para onde o carbono possa migrar depois de armazenado, e não somente o reservatório geológico alvo da injeção. Estes procedimentos ocorrem para minimizar um possível vazamento e consequente acidente ambiental.

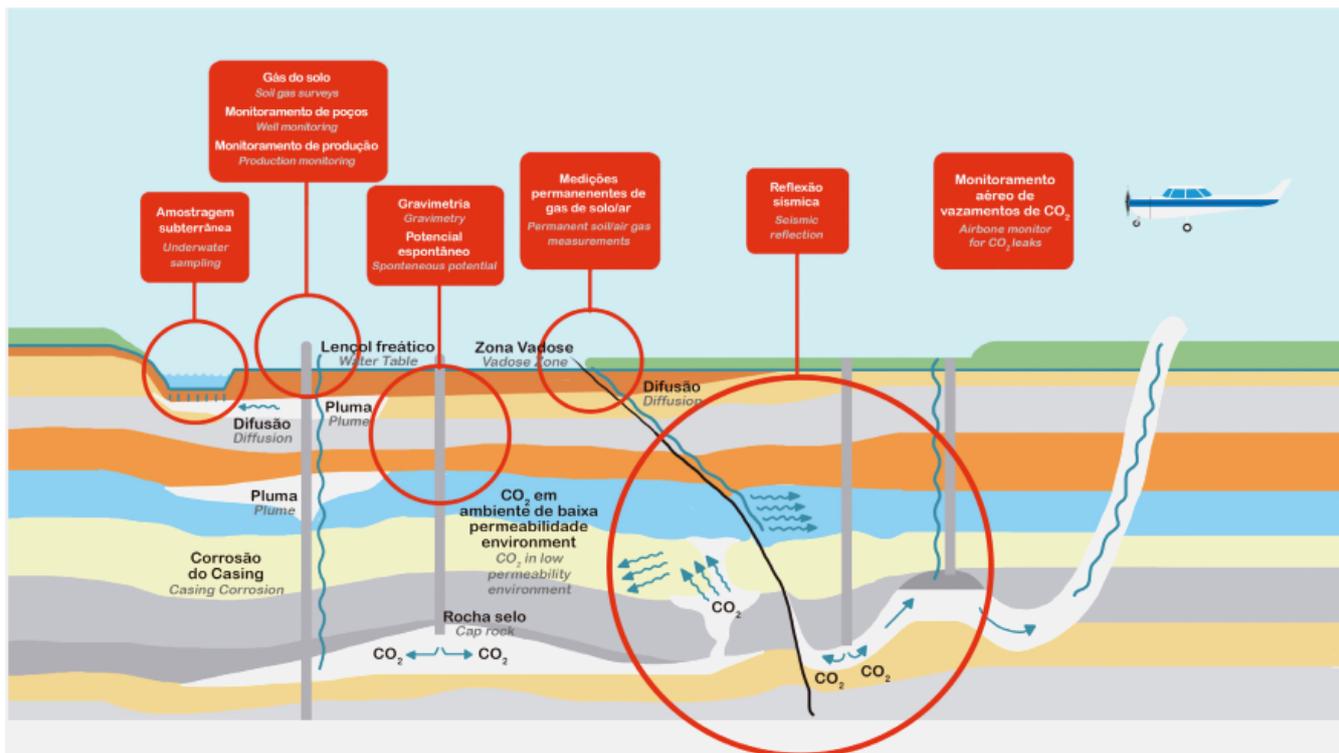


Figura 5. Técnicas de Monitoramento de CO₂ (Fonte: CO₂ Capture Project, 2019).

3.5 CCS no Brasil: Características e Potencialidades

No sentido de demonstrar uma importante característica para o sucesso da técnica em território brasileiro, salienta-se a segurança e o tempo de armazenamento em formações geológicas a grandes profundidades, que garante durar milhões de anos. De acordo com o Atlas Brasileiro de Captura e Armazenamento Geológico de CO₂ (2016), o potencial em termos de volume de CO₂ assegura a efetividade da técnica, sobretudo no Brasil devido grande emissão de fontes estacionárias, como exposto na Figura 6.

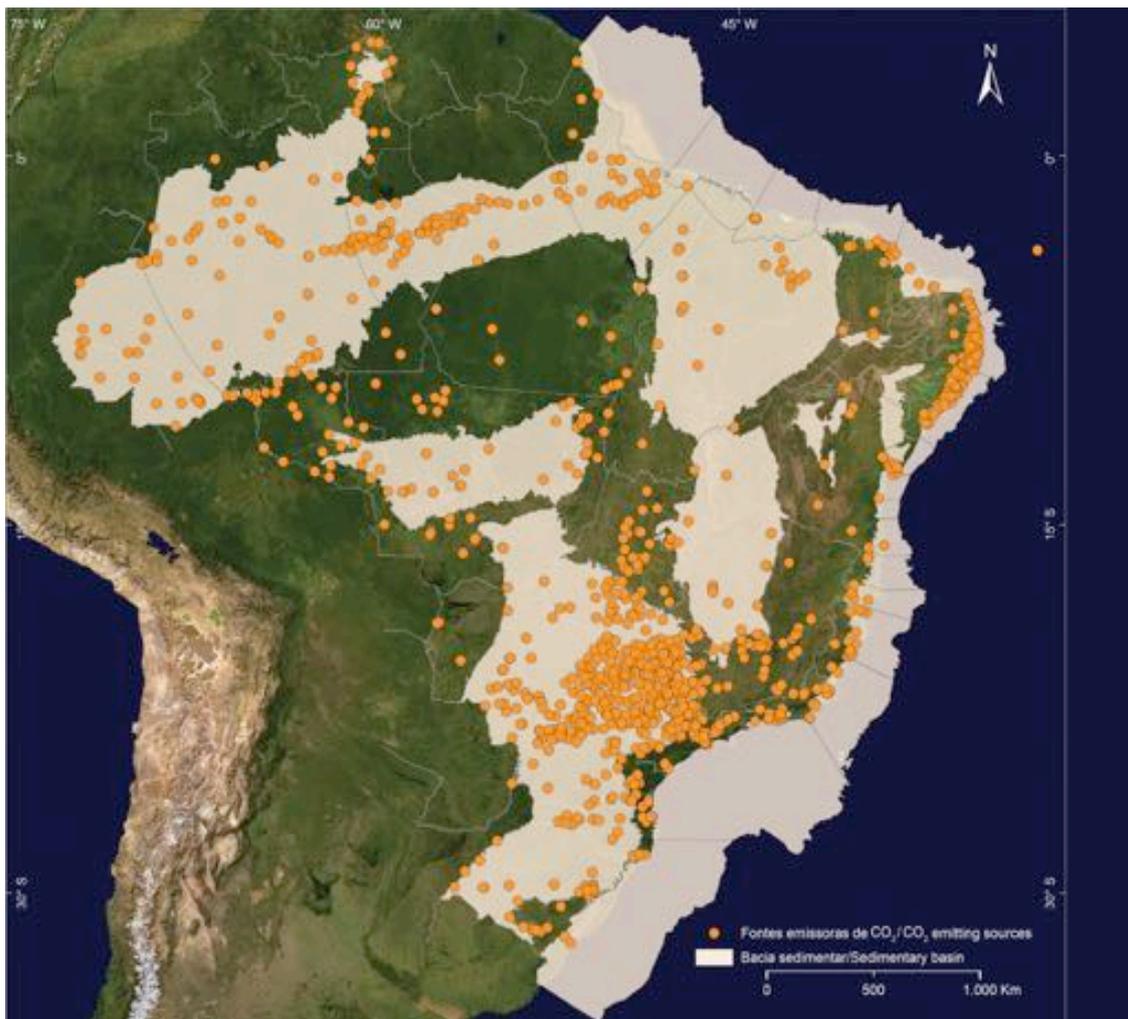


Figura 6. Território brasileiro - Fontes emissoras em bacias sedimentares (Fonte: Atlas Brasileiro de Captura e Armazenamento Geológico de CO₂, 2016).

Outra característica viável à tecnologia de CCS é a possibilidade de se enquadrar como um Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), mencionada no Protocolo de Kyoto, e originada na UNFCCC, funcionando como uma das ferramentas institucionais capaz de possibilitar incentivos financeiros para investimentos em eficiência energética.

O desenvolvimento de projetos dentro do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) da Convenção Tabela das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (CQNUMC) possibilita a obtenção de incentivos financeiros para investimentos em eficiência energética. Atividades de Projetos de Programas de Atividades (PoAs) com diferentes tecnologias já foram aprovados pelo Comitê Executivo do MDL e tiveram Reduções Certificadas de Emissão (RCEs) emitidas, gerando receitas para seus respectivos desenvolvedores. A análise de

projetos de sucesso, tal como dos projetos que não alcançaram o registro, são de extrema importância para análise de viabilidade de um projeto de eficiência energética no Brasil. (MMA, 2020).

4. Projetos de CCS no Brasil

O início das atividades de pesquisa e desenvolvimento (P&D) explorando a tecnologia de CCS no Brasil se deu na década de 1980 na Bahia. No entanto, a ausência de interesse do setor público somado à burocracia estatal e ao pouco investimento torna a aplicação da técnica CCS um obstáculo, em especial no Estado da Bahia, região de alto potencial para captura e armazenamento de carbono (CÂMARA, 2012).

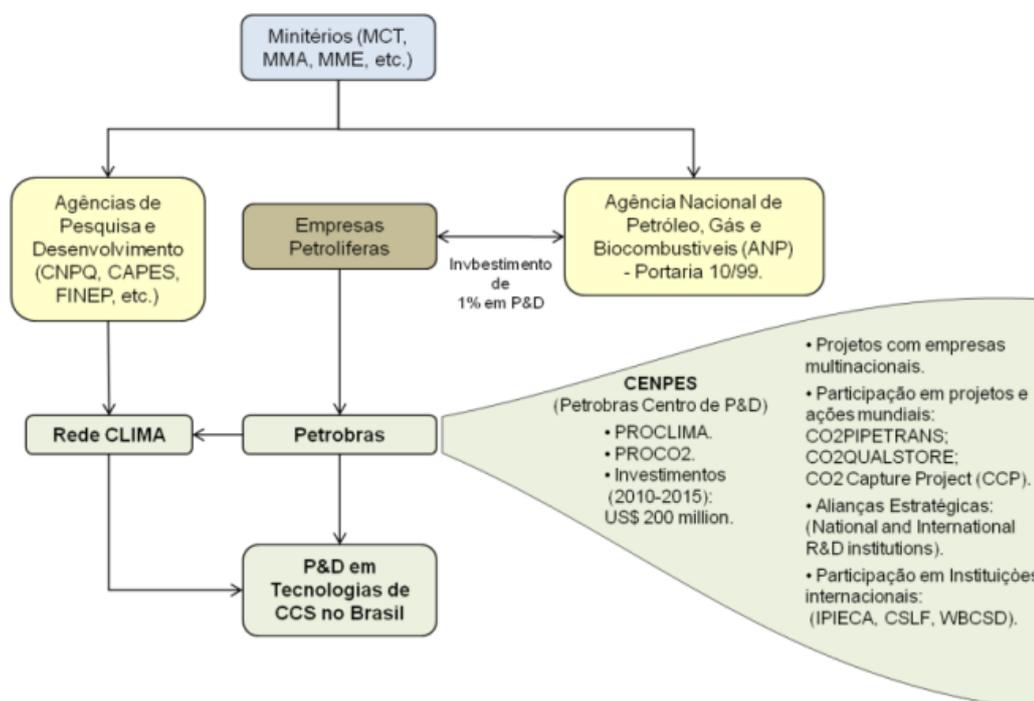


Figura 7. Relação entre as principais atividades de P&D em tecnologia de CCS no Brasil (Fonte: CÂMARA, 2012).

De acordo com Câmara (2012) a partir da portaria 10/99 da ANP (Agência Nacional do Petróleo), as indústrias do setor privado receberam incentivos que fomentaram o setor, sobretudo no seguimento de petróleo e exploração de carvão natural, alavancando alguns poucos projetos de CCS. Ainda assim podemos perceber que a Petrobras concentrou a maior parte dos investimentos (figura 7).

Duas instituições se destacam na pesquisa e desenvolvimento das tecnologias de CCS são elas o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Melo/Petrobras (CENPES) e o Centro de Excelência em Pesquisa sobre Armazenamento de Carbono/PUC-RS (CEPAC). No que tange à captura do CO₂, emitido por fontes estacionárias, vale destacar também as atividades de pesquisas realizadas pela Universidade de Salvador (UNIFACS). Ao todo, o Brasil conta com 22 centros de estudo e pesquisa para as tecnologias de CCS (Cunha *et al.*, 2009). Somente a Petrobras conta em sua rede de pesquisa com a parceria de 13 instituições, são elas a UFC, UFBA, UFMG, UFRJ, PUC Rio, USP, INPE, IPEN, UNICAMP, UFPR, PUC RS, UFRGS e FURG (Hatimondi *et al.*, 2011). Outras instituições que apoiam a pesquisa e o desenvolvimento das tecnologias de CCS no Brasil merecem destaque, são elas: a Associação Brasileira do Carvão Mineral, a Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina, COPELMI Minerações Ltda, Rede Carvão, Instituto Ecoar, Instituto EcoClima, dentre outras (CÂMARA, 2012. P.75).

Sobre os segmentos industriais relacionados com o aumento de emissão de GEE, e que demonstram um papel omissor perante os projetos na área de Captura e Armazenamento de Carbono, se sobressai à indústria de produção de cimento, e a indústria petroquímica, especialmente por ter uma relação de maior proximidade com os setores petrolíferos e carboníferos.

Devido à relação das tecnologias de armazenamento geológico de CO₂ com a indústria de energia, mais especificamente a indústria petrolífera e carbonífera, outros setores, como o petroquímico e o de produção de cimento, não despertaram para o uso dessas tecnologias como uma ação de mitigação dos GEE emitidos. Isso seria de grande importância para o domínio e difusão das mesmas no país. Numa perspectiva mais abrangente dos diversos temas correlatos, destacam-se como principais centros nacionais de pesquisas os seguintes: 76 - Mudanças Climáticas: o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE); - MDL e Governança Ambiental Global: grupo de pesquisa do Laboratório de Análise Política Mundial (LABMUNDO) criado em 2007 no Núcleo de Pós-Graduação em Administração (NPGA) da Universidade Federal da Bahia (UFBA). Dentre as instituições privadas, destaca-se o CEBDS (Centro Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável), especificamente a Câmara Temática de Energia e Mudança do Clima. No âmbito público, tem-se como principal ator institucional o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) já que é o responsável por conduzir as ações para a obtenção de créditos de carbono dos projetos realizados por organizações brasileiras junto à UNFCCC (CÂMARA, 2012. P.75).

Assim sendo, diante das necessidades de investimentos em relação à mitigação do excesso de CO₂ na atmosfera, é possível mensurar, instituições governamentais, acadêmico-científicas, bem como o setor privado voltados para a criação e desenvolvimento de projetos envolvendo a captura, sequestro e armazenamento de CO₂, apontados na tabela 6.

Tabela 6. Projetos de Pesquisas e Desenvolvimento de Tecnologias de CCS no Brasil.

01	Centro de Pesquisa e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Melo/ Petrobras (CENPES);
02	Centro de Excelência em Pesquisa sobre Armazenamento de CO ₂ /PUC-RS (CEPAC);
03	Universidade de Salvador (UNIFACS), com 22 centros de estudos e pesquisas para tecnologias de CCS;
04	Petrobras – mantém uma rede de pesquisas com 13 instituições como parcerias: UFC, UFBA, UFMG, UFRJ, PUC-RJ, USP, INPE, IPEN, UNICAMP, UFPR, PUC-RS, UFRGS, UFRG;
05	Associação Brasileira de Carvão Mineral;
06	Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina;
07	Instituto Ecoar;
08	Instituto Ecoclima;
09	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE);
10	MDI e Governança Ambiental Global: grupo de pesquisa de laboratório de Análise Política Mundial (LABMUNDO)
11	Instituições Privadas: CEBDS (Centro Empresarial Brasileiro Para Desenvolvimento Sustentável);
12	Câmara Temática de Energia e Mudança de Clima;
13	Setor Público: Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), conjuntamente com organizações brasileiras junto à UNFCCC.

Fonte: Câmara, 2012.

4.1 Potencialidades de Armazenamento no Brasil

Com relação ao fator armazenamento de CO₂, o território brasileiro possui condições positivas e seguras para os processos de injeção do gás.

O país apresenta uma grande área recoberta por bacias sedimentares, tanto em território continental quanto na área oceânica. A maioria das fontes emissoras estacionárias, especialmente na região Sudeste, está localizada na proximidade destas bacias. Segundo dados do Atlas brasileiro de captura e armazenamento geológico de CO₂, a capacidade para armazenamento de CO₂ em áreas geológicas depende de fatores de grande relevância, equivalente às necessárias condições de segurança para injeção do gás (...). Formações adequadas e valores representativos ou médios para porosidade, permeabilidade, espessura de formação, profundidade, densidade do petróleo, volume de petróleo original e total de reservas remanescentes. (KETZER, 2016).

Câmara *et al.* (2011), atentam para a importância do processo de injeção em armazenamento geológico do CO₂ com a finalidade de recuperação de óleo

ou gás em reservatórios de rochas sedimentares de grande profundidade (figura 8).

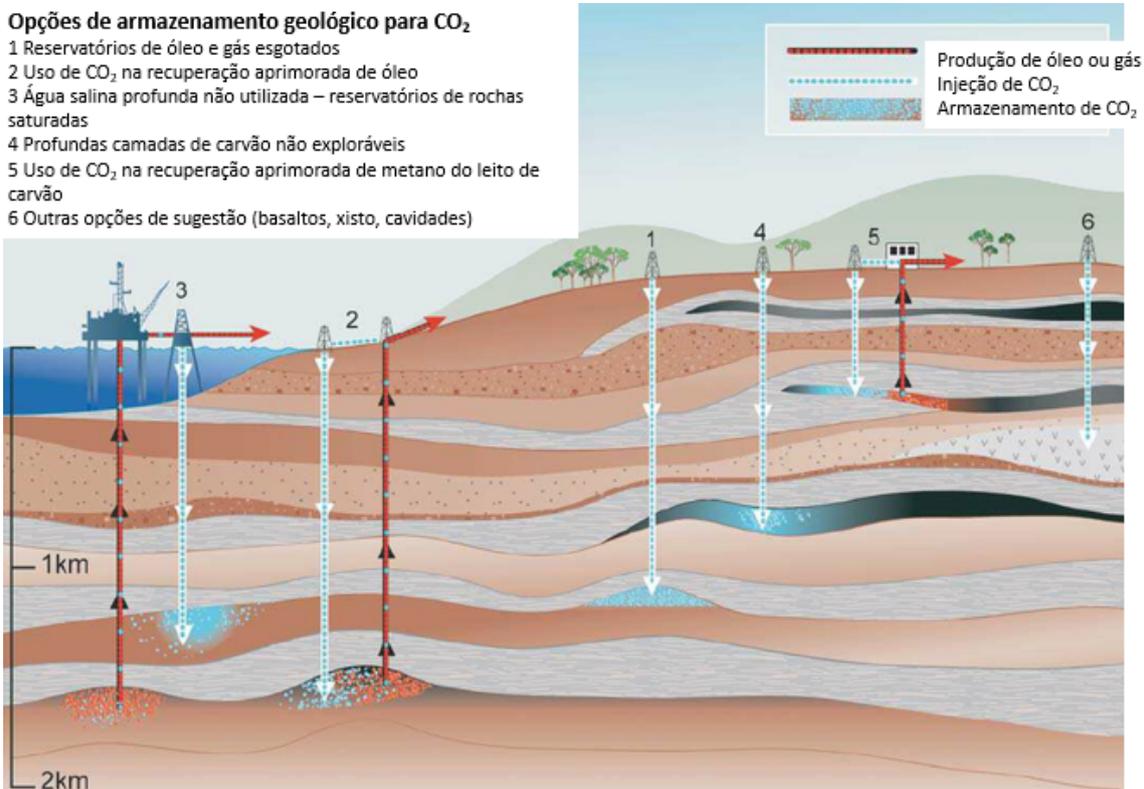


Figura 8. Condições de armazenamento de CO₂ em áreas geológicas (Fonte: Atlas brasileiro de captura e armazenamento geológico de CO₂, 2016).

Outra forma de armazenamento de CO₂ destacada por Ketzer (2016) são os aquíferos salinos – figura 9 – profundos que possuem alta capacidade de armazenamento.

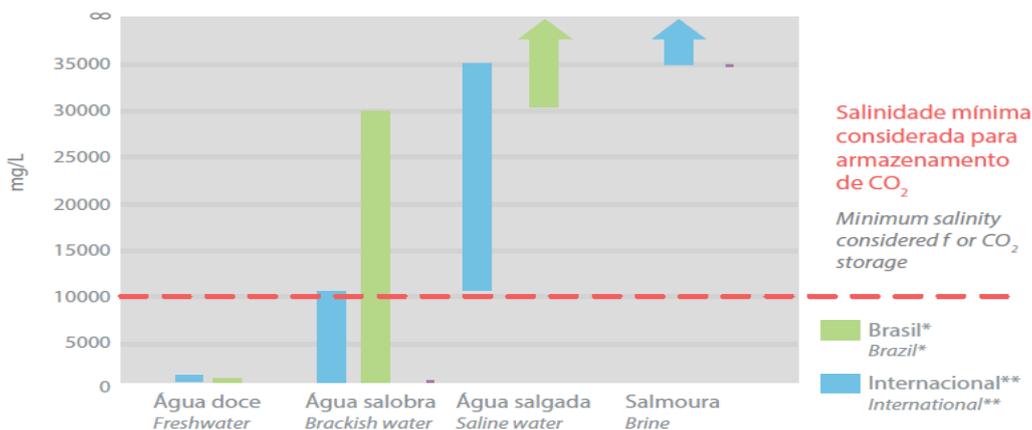


Figura 9. Salinidade da água adequada ao armazenamento de CO₂ (Fonte: Atlas brasileiro de captura e armazenamento geológico de CO₂, 2016).

Uma terceira opção de armazenamento, ainda segundo Ketzer (2016), refere-se ao armazenamento em camadas de carvão, servindo como canal de aprisionamento de gás carbônico (CO₂), vale destacar a particularidade do processo de injeção, cuja profundidade está entre 300 e 900 metros, com capacidade de absorção entre 154 e 200 bilhões de toneladas de CO₂.

A quarta forma está relacionada ao armazenamento oceânico por meio de injeção de CO₂ no fundo do mar. Neste processo, o gás permanecerá canalizado por milhões de anos, mantendo-se isolado da atmosfera. Contudo, essa opção de armazenamento, conforme IPCC (2013), ainda pode apresentar riscos por se tratar de uma técnica pouco explorada.

Devido à complexidade dos sistemas marinhos, é necessário entender o comportamento do meio ambiente, espécies e ecossistemas quando expostos ao CO₂ e às substâncias associadas derivadas do material de origem e dos processos de captura, transporte e armazenamento utilizados (CONVENÇÃO DE OSPAR, 2007; PROTOCOLO DE LONDRES, 2007). De acordo com Del Valls *et al.* (1998), a aplicação de um sistema integrado no monitoramento em ambientes marinhos poderia ser mais eficaz e capaz de detectar possíveis problemas menores de vazamentos difusos de CO₂ e avaliar seus efeitos no meio ambiente.

A aplicação deste método integrado pode fornecer informações úteis sobre o comportamento e as possíveis fugas de CO₂ e de substâncias encontradas acidentalmente nas correntes no meio marinho e no meio ambiente a curto e longo prazo (DEL VALLS, 2007).

4.2.1 Estudo de Caso: Projeto Ressacada e Projeto CO₂ MOVE

O Projeto Ressacada constitui o primeiro projeto de monitoramento, medição e verificação de CO₂ (MMV) no Brasil, realizado na cidade de Florianópolis (SC), obteve o apoio da Petrobras e instituições acadêmicas representadas pelas UNESP e PUC-RS. O projeto foi realizado entre os anos de 2011 e 2015, onde ocorreram três experimentos controlados de liberação de CO₂ utilizando poços verticais, que tinha por finalidade simular vazamentos de

subsolo superficiais, atingindo sedimentos de solos saturados, insaturados e a atmosfera (KETZER *et al.*, 2016).

O Projeto CO₂ MOVE pode ser considerado como uma extensão do Projeto Ressacada, pois foi realizado pelos mesmos idealizadores, Petrobras e instituições acadêmicas, originado dentro do Campus da PUC-RS no município de Viamão (RS) em 2015. Segundo Melo e colaboradores (2017), o projeto foi motivado por um subsolo predominantemente argiloso e pela localização privilegiada do local em termos de facilidade de logística e segurança, e da mesma forma que o Projeto Ressacada, este experimento se baseia em medições do fluxo de CO₂ do solo com câmaras de acumulação, fluxos turbulentos de CO₂, monitoramento de gases subterrâneos e águas subterrâneas e medições de resistividade.



Figura 10. Área de Estudo – TECNOPUC – Viamão (RS); (Fonte: Mello *et al.* 2017).

4.2.2 Estudo de Caso: Projeto de Captura de CO₂ em São Mateus do Sul (PR)

A região da bacia sedimentar do Paraná possui um alto potencial para o armazenamento de carbono, sobretudo devido as camadas de carvão e aquíferos salinos presentes na região (COSTA, 2009).

Especificamente a região do município de São Mateus do Sul, localizado ao sul do Estado do Paraná, dispõe de uma extensa produção de xisto. Entre os anos de 2011 e 2012, diante da realização de um consórcio internacional entre empresas do setor de energia como BP, Chevron, Eni, Petrobras, Shell, Suncor e braços governamentais dos EUA, União Europeia e Noruega, promoveram um projeto nomeado CO₂ Capture Project (CCP), que tinha por finalidade mensurar a partir da tecnologia de oxidação em uma unidade de craqueamento catalítico fluidizado a captura de carbono. (MELLO *et al.*, 2013).

De acordo com Costa (2009), os estudos realizados comprovam a viabilidade técnica e econômica do projeto, principalmente devido ao fato de a oxidação se mostrar uma tecnologia de custo menor, cerca de 50% mais viável economicamente frente as formas tradicionais de captura, pré combustão e pós combustão. Já a viabilidade técnica se prova a partir da oxidação possuir o potencial de promover redução de até 37% de emissões quando aplicadas em refinarias de petróleo.

4.2.3 Estudo de Caso: Programa de Recuperação de Campos com Alto Potencial de Exploração (RECAGE)

O RECAGE, Programa de Recuperação de Campos com Alto Potencial de Exploração teve financiamento da Petrobras, e atuou na recuperação de dutos para transporte de gás na região nordeste do país utilizando técnicas de injeção de água e CO₂ para maior extração de petróleo, sobretudo no Estado da Bahia.

A partir da recuperação de campos maduros terrestres e marítimos o programa alcançou as cifras de U\$ 3,8 bilhões – figura 11 – (AGÊNCIA PETROBRAS, 2008).

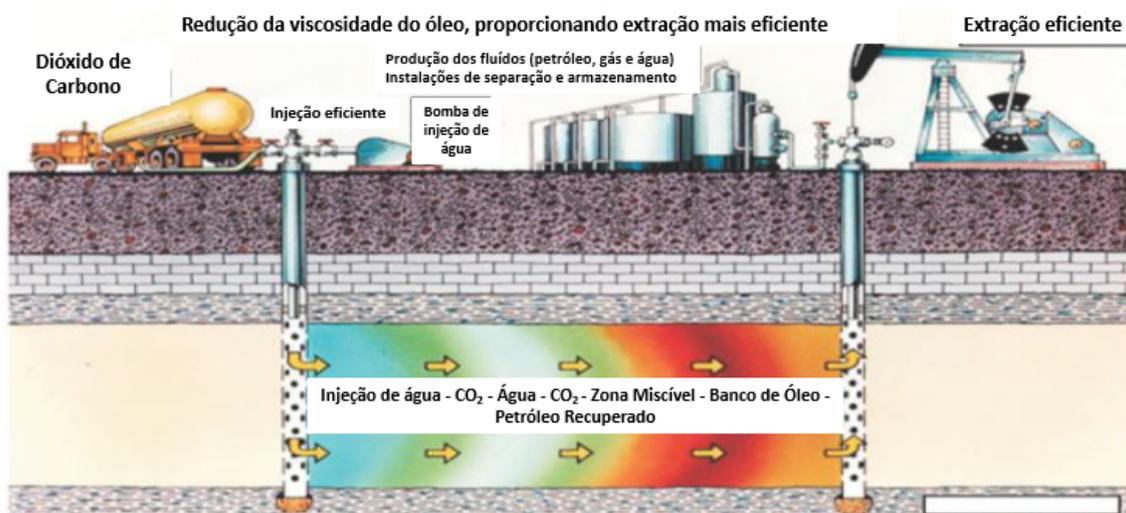


Figura 11. Esquema de recuperação de campos avançados de Petróleo, injeção de água e CO₂ (Fonte: Krause, 2010).

A técnica de recuperação se baseia na injeção de água e CO₂ de forma intermitente, alterando a viscosidade do óleo e facilitando a extração de petróleo de melhor qualidade (KRAUSE, 2010).

O RECAGE impactou a região da Refinaria Landulpho Alves-Mataripe (RLAM) da Petrobras, levando benefícios inclusive para as indústrias que compõem o circuito espacial produtivo da região, caso da Fábrica de Fertilizantes (FAFEN) e da Petroquímica (OXITENO) que foram beneficiadas com a destinação do CO₂ antropogênico emitido em suas fábricas para injeção no campo de Buracica (Figuras 12, e 13), permitindo a quantidade de injeção de até cem toneladas de CO₂ por dia (KETZER *et al.*, 2016).

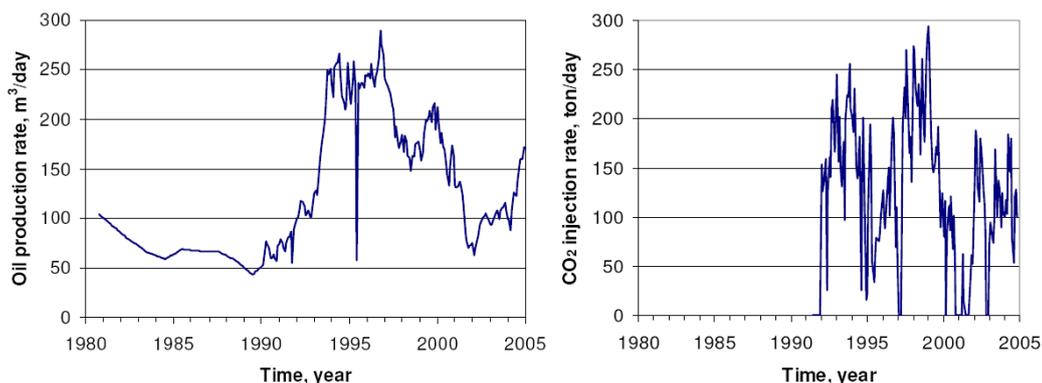


Figura 12. Produção de Petróleo e Injeção de CO₂ no Campo de Buracica (Fonte: Krause, 2010).

Observando a imagem, é possível estabelecer uma relação coincidente à produção de petróleo com o início da injeção de CO₂ do programa RECAGE, demonstrando a efetividade da técnica. Porém, por se tratar de um campo maduro o Campo de Buracica vem registrando declínio de produção desde a década de 1970, tendo sido inserido no plano de privatizações de campos terrestres durante a gestão Pedro Parente (FUP, 2017).

Ainda de acordo com a Agência Petrobras (2009), no ano de 2009 houve a realização de um projeto piloto no campo de Miranga na Bahia após o sucesso das ações em Buracica. O projeto piloto de Miranga estimou para o ano de 2012, ao qual seria o período de pico de injeção, a quantidade 370 toneladas/dia de CO₂ da atmosfera.

Também preocupada com os problemas causados pelo efeito estufa, a Companhia possui um projeto-piloto, no campo de Miranga, na Bahia, que prevê a injeção de dióxido de carbono (CO₂), produzido em alguma unidade industrial, nos poços. Neste projeto há o ganho de produtividade, pois o CO₂ é injetado para aumentar a pressão e produção do poço e o retorno ambiental, já que utiliza um gás que deixa de poluir a atmosfera. Para se ter uma ideia do sucesso deste sistema, o fator de recuperação, ou seja, a quantidade de óleo capaz de ser retirada de um reservatório, saltará de 38% para 62% (AGÊNCIA PETROBRAS, 2009).

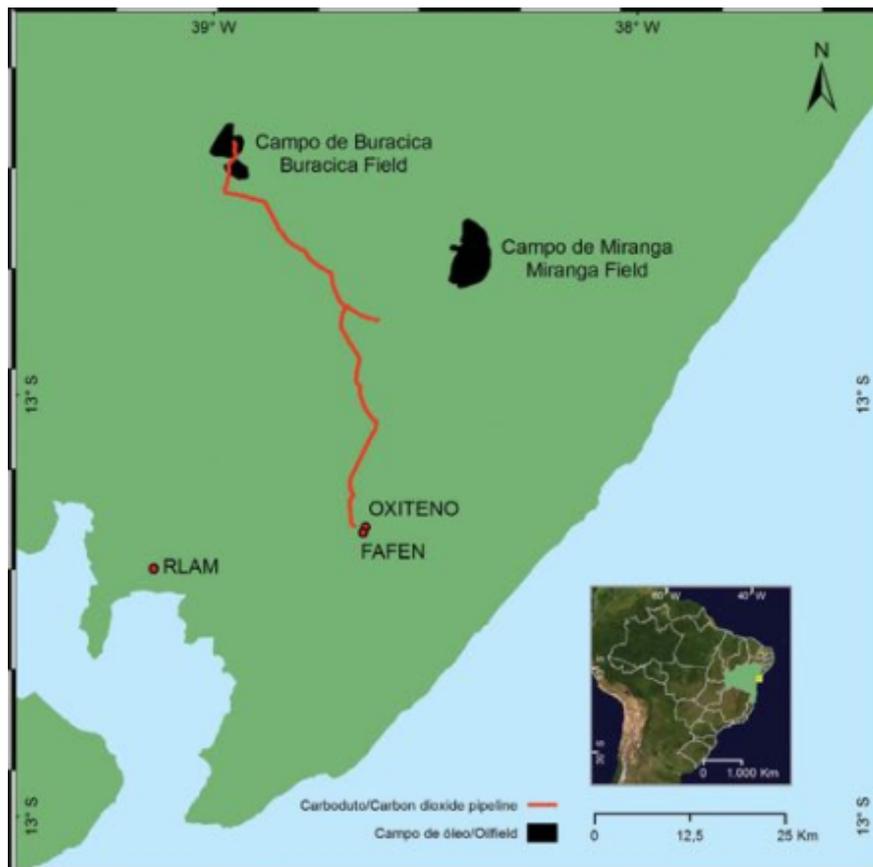


Figura 13. Dutos de CO₂ na região do Recôncavo Baiano.
 Fonte: Atlas Brasileiro de Captura e Armazenamento Geológico de CO₂

O projeto no campo de Miranga foi elaborado como plano piloto de injeção de CO₂ em alta pressão para o desenvolvimento do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos. Contudo, o projeto foi diretamente abalado, diante da conjuntura política e econômica do Brasil a partir de 2010, sendo inclusive um dos campos de Petróleo envolvidos no Projeto de Desinvestimento da gestão Pedro Parente (EPBR, 2017).

4.2.4 Estudo de Caso: Bacia de Campos

Diante do alto potencial de armazenamento de carbono, outra região que se destaca no Brasil é o sudeste brasileiro, devido a presença da Bacia de Santos e da Bacia de Campos, especialmente a Bacia de Campos que apresenta extensos reservatórios de Arenito. Segundo Ketzer (2016), existe uma restrição perante as informações dos campos de petróleo da Bacia de

Campos, inclusive os que apresentam potencial para armazenamento de CO₂ por se tratar de uma área estratégica do país.

Entretanto, estima-se que a capacidade teórica da Bacia de Campos (figura 14), seja de 950 MtCO₂, concentrados nos Campos de Roncador, Marlim, Albacora, e Barracuda, o equivalente a 75% do potencial de toda a bacia. A capacidade estimada de todo o armazenamento de carbono da Bacia de Campos correspondendo a 3,5 anos do total das fontes de emissões estacionárias do Brasil (ROCKETT, 2013).

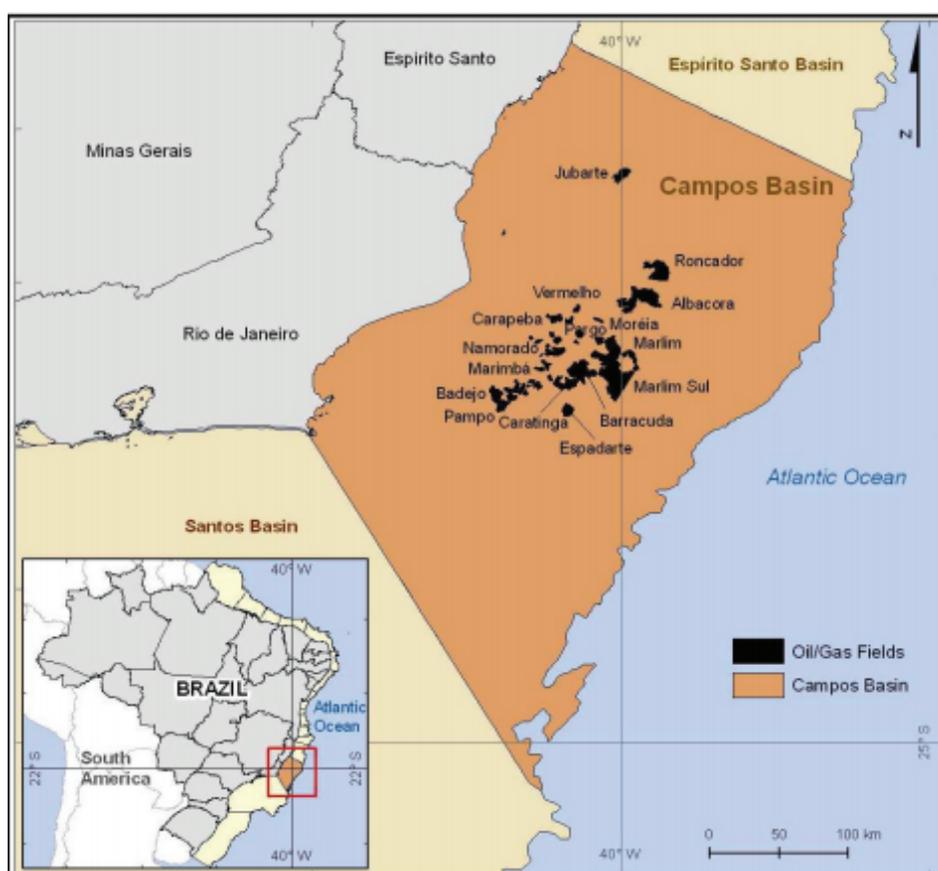


Figura 14. Localização da Bacia de Campos (Fonte: Rockett, 2013).

4.2.5 Estudo de Caso: Rochas Vulcânicas na Bacia Sedimentar do Paraná

Como já explorado no caso de São Mateus do Sul (PR), a área de ocorrência do derramamento de basalto que originou a Bacia Sedimentar do Paraná, demonstrada na figura 15, apresenta potencial de armazenamento de carbono. Ainda relacionado ao grande evento geológico durante o Cretáceo, podemos associar a formação da Serra Geral, uma extensa área na região sul-

sudeste do Brasil dotada de diversas fontes de emissões estacionárias (KETZER *et al.*, 2016).

A proximidade entre fontes emissoras estacionárias e a concentração de basalto viabiliza economicamente o armazenamento de carbono, sobretudo devido a carbonatação indireta que se mostra eficiente com alta taxa de íons lixiviados em carbonatos, possibilitando a injeção de 270 Mt/ano (CARNEIRO *et al.*, 2013).

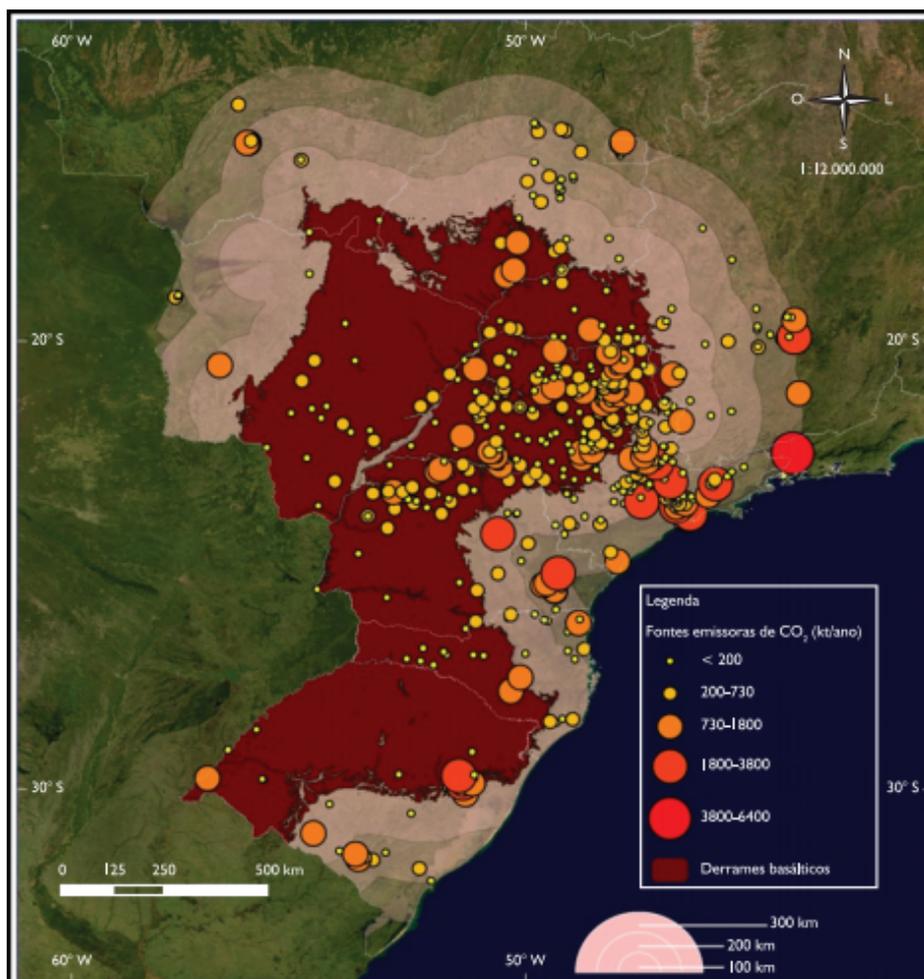


Figura 15. Presença de basalto na Bacia Sedimentar do Paraná e fontes emissoras de CO₂.
Fonte: Silva, 2009.

4.2.6 Estudo de Caso: *Research Center for Gas Inovation – USP*

Em 2017 a USP através do Centro de Pesquisa Brasileiro em gás anunciou a criação de um programa com 14 projetos de pesquisa e 2 projetos

de infraestrutura na área de CCS, o programa conta com financiamento da Fapesp e Shell (Poli-Usp, 2020).

Os estudos realizados pelo RCGI – figura 16 – atuam na prospecção de estocagem na região do pré-sal, desenvolvendo avaliação de riscos e impactos ambientais na estocagem de carbono no Brasil. O projeto representa um marco, sobretudo por levar em consideração especificamente o potencial que a bacia do pré-sal representa em nível de armazenamento de carbono. Segundo Costa *et al.* (2019), um estudo de viabilidade técnica considerando a mecânica de rochas em cavernas de sal ultra profundas, com 450 metros de altura por 150 metros de diâmetro, mostrou que uma caverna pode armazenar 7,2 milhões de toneladas de CO₂.

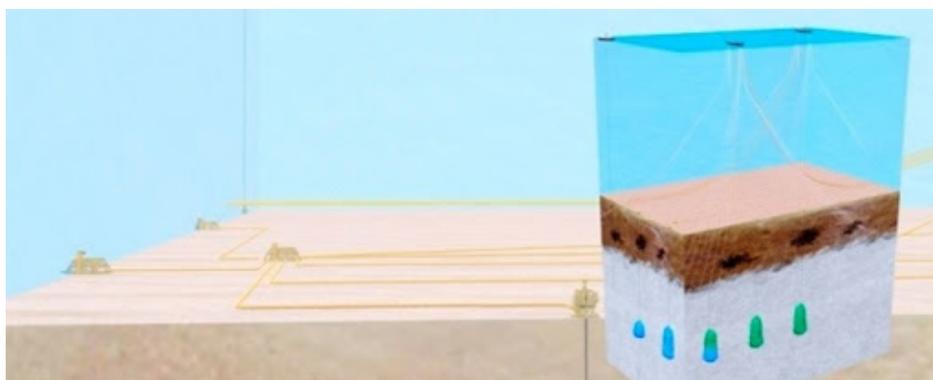


Figura 16. Cavernas de sal profundas (Fonte: FAPESP, 2020).

5. Regulação da captura e armazenamento de CO₂ no Brasil em análise comparativa com as condições de regulação de captura no exterior.

A ausência de regulação federal para a técnica de captura e armazenamento de CO₂ no Brasil consiste em um obstáculo para o adequado desenvolvimento da tecnologia no país, visto que a existência de estruturas legais e regulamentares é fundamental para a segurança jurídica e técnica do armazenamento geológico de CO₂ (MENDES e COSTA, 2019).

Em geral, as experiências obtidas no Brasil se resumem na atuação da Petrobrás em conjunto com entidades privadas e acadêmicas permeando pesquisas diante da captura, transporte, e armazenamento de CO₂ e casos de injeção de carbono para fins de ampliação de extrações de petróleo. Nota-se a

ausência de dois importantes componentes na consolidação da técnica; mitigação de emissão antropogênica de CO₂ e participação popular.

O Brasil assinou em 2016 o processo de ratificação do Acordo de *Paris* se comprometendo a reduzir a emissão de gases do efeito estufa em 43% até 2030 (COSTA *et al.*, 2009). A técnica de CCS se mostra um importante ativo para atingir esse objetivo, pois é uma tecnologia orientada para a proteção de danos ambientais, quando tipicamente regulada, e com a finalidade de mitigar a emissão de CO₂ antropogênica.

Dentre as regulamentações necessárias ao desenvolvimento da técnica no Brasil, está a obrigatoriedade da utilização de um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente – Lei 6938/98, art. 9 – qual seja, o prévio estudo de impacto ambiental para a instalação de um projeto de CCS: “(...) por se tratar de atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, nos termos do inciso IV do artigo 225 da CF – 1988, (MENDES e COSTA, 2019 p. 95).

Outro importante componente para a consolidação da técnica no Brasil é a participação popular, elemento indispensável na governança ambiental. Portanto, a participação popular se mostra necessária na elaboração da regulação específica sobre a captura e armazenamento de carbono, inclusive quando comparado com as normas reguladoras sobre CCS existente nos demais países do mundo (MENDES e COSTA, 2019).

A gestão ambiental brasileira dispõe de tradição na disposição de mecanismos de incentivo à participação popular durante o processo de governança ambiental. Quanto mais eficiente se mostrarem os processos participativos, maior será o contexto democrático na solução dos conflitos ambientais. A Política Nacional do Meio Ambiente, criada em 1981 o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) estrutura político-administrativa eminentemente governamental, que prevê e estimula a participação da sociedade civil na gestão ambiental, na forma de conselhos de meio ambiente e outros colegiados ambientais, instituídos nas esferas federal, estaduais e municipais (JACOBI e BARBI, 2007).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA é o órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente - SISNAMA, que tem

entre seus conselheiros, representantes da sociedade civil. Foi instituído pela Lei 6.938/81, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, regulamentada pelo Decreto 99.274/90.

Entretanto, a falta de participação integral dos movimentos populares nos atos ambientais decisórios ainda prevalece no Brasil.

5.1 Direitos de Propriedade no Brasil e no Mundo.

Outro elemento indispensável na construção regulatória para a prática de CCS, está relacionado ao direito de propriedade. Isso porque no Brasil, o princípio da propriedade segue uma diretriz particular quando comparado ao direito privado clássico. Segundo Barroso (2006), a Constituição, em conjunto com o Código de Mineração (Decreto-Lei 227/67), entende que a jazida é um bem imóvel separado do solo, não abrangendo a propriedade a quem o constitui, reservando para a União os recursos minerais, constituindo *res communis* – conjunto de bens pertencente à união – exaltando os conceitos de nacionalidade e soberania.

Já no direito privado clássico o proprietário possui tudo o que está acima deste até os céus, e tudo o que está abaixo até o inferno (*usque ad inferos e usque ad coelos*) Costa *et al.* (2009).

Austrália e países membros da União Europeia em estágio de maturidade normativa sobre o CCS, adotam o princípio clássico do direito privado, salvo os casos de países onde coexistem legislação específica em unidades federativas, como Canadá e Estados Unidos, que adotam jurisprudência semelhante, consagrando a regra da *common law*.

Portanto, de acordo com o entendimento de Romeiro-Conturbia (2014), a Constituição Brasileira não define explicitamente sobre injetar ou armazenar carbono no subsolo, salvo algumas normas que definem sobre o Estado e os recursos minerais nos artigos 177 e 20 da Constituição Federal de 1988, que discorrem sobre pesquisas e atividades relativas a minérios nucleares e seus derivados, e a competência da União diante dos recursos minerais, petróleo e os potenciais de energia hidráulica, respectivamente (SCAFF, 2014).

Desta forma, entende-se que no Brasil não existe determinação regulamentar diante da extensão e definição sobre a propriedade do carbono no subsolo, causando uma vacância de responsabilidade e regulação frente a injeção e armazenamento de carbono.

5.2 Licenciamento Ambiental e a Captura de Carbono

O caráter reparador da técnica de CCS reside na eficiência da tecnologia capaz de contribuir com as metas estipuladas pelos acordos internacionais para redução de emissão de CO₂. A legislação brasileira determina a realização do licenciamento ambiental, para a avaliação de impacto ambiental (AIA), em atividades potencialmente geradora de impactos como é o caso da captura e armazenamento de carbono.

A Política Nacional do Meio Ambiente – Lei 6.938/81 estabelece os primeiros mecanismos de formulação e aplicação da política de licenciamento ambiental, concentrando sua contribuição acerca da preservação e recuperação ambiental, inclusive a aplicação do princípio poluidor-pagador. Em seguida pode se apontar a Constituição Federal de 1988 no artigo 225 que dispõe sobre a responsabilização das atitudes prejudiciais ao meio ambiente que estarão sujeitas a sanções penais, administrativas e civis independente da obrigação de reparar o dano.

O art. 13 da lei complementar 140/11 atribui a uma entidade federal competente o estabelecimento de licença ambiental, representada pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA).

A despeito da inexistência de legislação federal sobre CCS, temos plataformas em operação no Brasil. Entretanto, nos termos do art. 140 do Código de Processo Civil, o juiz não pode se eximir de julgar um conflito em razão de inexistência de lei expressa, alegando lacuna ou obscuridade do ordenamento jurídico. Nesse sentido, considerando a relação de similaridade entre a captura e armazenamento de carbono e a indústria petrolífera, podemos considerar a analogia, a qual consiste em um *método* de interpretação jurídica utilizado quando, diante da ausência de previsão

específica em lei, aplica-se uma disposição legal que regula casos idênticos, semelhantes, ao da controvérsia.

Assim, o licenciamento ambiental da atividade de CCS poderia ser definido a partir do Decreto Federal 8.437/15 que regula a indústria petrolífera.

(...) o Decreto Federal 8.437 / 2015 (Brasil, 2017e), que estabelece a competência do IBAMA para o licenciamento ambiental de "exploração e produção de petróleo, gás natural e outros hidrocarbonetos fluidos nos seguintes casos: (A) exploração e avaliação de reservatórios, incluindo atividades de aquisição sísmica, coleta de dados do fundo (núcleo do pistão), perfuração de poços e testes de longo prazo quando realizados no ambiente marinho e na zona de transição offshore; (B) produção, incluindo atividades de perfuração de poços, sistemas de produção e sistemas de drenagem, quando realizados no ambiente marinho (offshore) e na zona de transição offshore; e (C) produção, no que diz respeito a recursos não convencionais de petróleo e gás natural, em ambiente marinho e em zona transfronteiriça no mar ou em terra (COSTA *et al.*, 2018. P.169).

Segundo Costa *et al.* (2018), é possível a ocorrência de conflito de interesses entre órgãos ambientais estaduais e federais acerca da emissão de licenciamento em áreas costeiras, porém, é de fundamental importância a garantia da participação de ambas as agências no procedimento de licenciamento ambiental afim do aproveitamento da experiência técnica de todos os órgãos envolvidos.

Cabe ao CONAMA propor de acordo com o IBAMA as regras e normas para implantação e supervisão da licença ambiental emitida, sendo a resolução 237/97 a responsável pela descrição dos procedimentos necessários para a devida avaliação, principalmente em casos de atividade que utilize recursos ambientais e possa emitir potencial poluente. É importante ressaltar que todo o processo de realização do EIA-RIMA (Estudo de Impacto Ambiental – Relatório de Impacto Ambiental) é de fundamental importância para a concessão das primeiras licenças, assim como a necessidade de sua publicação para a sociedade civil e aos órgãos competentes.

A Figura 17 demonstra as licenças emitidas durante o processo de licenciamento ambiental, abrangendo três das principais fases: Licença Prévia (LP), Licença de Instalação (LI), e Licença de Operação (LO).



Figura 17. Etapas do Licenciamento Ambiental (Fonte: Ambiens, 2020).

No caso de instalações emissoras de GEE e que já possuem autorização de operação, é possível solicitar adequação ao órgão ambiental competente para iniciar a captura de carbono, assim como o transporte e o armazenamento geológico.

Nas palavras de Romeiro-Conturbia (2014), para a captura de CO₂, pode-se supor que uma instalação que já tenha sido licenciada (uma usina a carvão em operação, por exemplo), precisaria solicitar aprovação do órgão regulador ambiental competente para incluir uma atividade de captura de CO₂ como parte do licenciamento ambiental. O autor observa que a exceção seria nos casos em que o licenciamento ambiental de uma instalação antecipasse a inclusão de tecnologias de CO₂, como é o caso do licenciamento ambiental do Campo Petrolífero do Pré-Sal Lula, que já inclui a captura (...). Para o transporte de CO₂, Romeiro-Conturbia (2014) afirma que a instalação de um gasoduto de CO₂ e a modificação de gasodutos em gasodutos seriam sujeitas à aprovação do órgão regulador ambiental competente (...). E, para o armazenamento de CO₂, a perfuração de novos poços ou a modificação de poços de petróleo para armazenar CO₂ estaria sujeita à aprovação do órgão regulador ambiental competente (COSTA *et al.*, 2018. P.177).

Portanto, é possível se basear nos processos de licenciamento ambiental já empregado para as atividades relacionadas à exploração de

carvão, petróleo e gás no Brasil, viabilizando a execução da captura de carbono.

5.3 Regulação de CCS no Exterior

A partir da análise das normas sobre a captura de carbono no exterior, é possível estabelecer um importante paliativo acerca do ordenamento nos países analisados que possuem regulação específica, caso dos Estados Unidos, Austrália, Canadá, Coreia do Sul, e Reino Unido. Podemos inserir também a China, que vem apresentando comprometimento discreto diante do risco ambiental sobre o armazenamento geológico de CO₂ por meio do estabelecimento de diretrizes para regulamentação da atividade, ao invés de ordenamentos legais (IEA, 2020). O pretexto comum analisado se baseia na participação pública como elemento essencial para a efetiva governança ambiental, definida pela atuação simultânea entre o poder público, a iniciativa privada, e a sociedade civil organizada.

Segundo Jacobi e Sinisgalli (2012), a governança ambiental envolve todos e cada um nas decisões sobre o meio ambiente, por meio das organizações civis e governamentais, a fim de obter ampla e irrestrita adesão ao projeto de manter a integridade do planeta.

Desta forma, é viável que no caso brasileiro haja fidelidade ao conceito de governança no momento de elaboração do marco regulatório sobre as técnicas de captura e armazenamento de carbono, assim como é garantida a participação popular e o direito a divulgação das etapas do licenciamento ambiental.

Contudo é notório que o modelo de governança brasileiro adotado na prática, foge inclusive dos pressupostos que ampara o regime climático global, o conflito de interesses entre os atores promoveu um esvaziamento do sentido político das lutas ambientais, expresso inclusive na eficácia das ferramentas de segurança ambiental.

(...) este modelo de governança global coloca em questão os problemas concernentes à democracia. Com o enfraquecimento do Estado nacional, verifica-se uma perda da democracia parlamentar a

ela historicamente relacionada. As iniciativas de regulação pelo mercado, representadas pelos diversos esquemas de certificação e o "comércio de carbono" no âmbito do Protocolo de Quioto, por exemplo, contribuem para minimizar as responsabilidades do Estado e o controle que os cidadãos poderiam, em tese, exercer sobre ele. A tentativa de resolução do problema da democracia posto por este modelo de governança global apresenta-se, então, pela abertura da assim chamada sociedade civil, incluindo nesta categoria as empresas ou simplesmente os movimentos sociais. Contudo, as autoras consideram pouco plausível na prática a separação entre sociedade civil e Estado como dois *loci* distintos de exercício de poder, visto que nem Estado, nem sociedade civil são entidades monolíticas. Assim, os arranjos societários, as redes de poder que se constituem nos processos sociais muitas vezes misturam essas instâncias, deslegitimando as representações estanques ou sincrônicas referentes a Estado, mercado e sociedade civil (ZHOURI, 2008. P.99).

Diante das leis na Coréia do Sul, é possível contemplar para efeitos de análise, um importante avanço diante dos elementos que garantem a participação pública. Segundo Koh *et al.* (2018), as políticas de entendimento público compõem importantes intervenções regulatórias, e funcionam como base para o processo legislativo – o entendimento público é tão importante quanto o desenvolvimento tecnológico.

Na Austrália a construção normativa sobre captura de carbono está expressa entre normas que disponibilizam acesso somente aos interessados como a Lei de Armazenamento de GEE – 2019 que não garante acesso universal, enquanto em área de jurisdição da União Europeia a norma garante o acesso público – caso da Diretiva 2009/31 CE. Já no território do Reino Unido, emancipado da União Europeia (BUENO, 2016), apresenta normas mais restritas como a Lei de Energia do Reino Unido de 2008 e a Lei de Proteção Ambiental.

O caso norte americano apresenta uma similaridade perante as normas Estadunidenses e do Canadá, ambos os países apresentam entraves ao acesso público geral. Vale ressaltar que os Estados Unidos por se tratar de uma confederação têm o entendimento das leis de cada ente federativo e as leis federais, onde é possível perceber maior divulgação ao público geral nas leis que regem todo o território nacional, caso do Código de Regulamentos Federais.

O papel das leis sobre a captura de carbono responde a previsão de participação popular nos casos analisados (tabela 7).

Tabela 7. Resumo de Participação Pública

Continua

Código	Jurisdição	Participação Pública
Lei de Armazenamento de GEE – 2009.	Queensland – Austrália	Envolvimento com proprietários e ocupantes de terras, sem contemplar o público num amplo sentido.
Lei do Petróleo e Energia Geotérmica – 2000	Austrália do Sul – Austrália	Documentos disponíveis para inspeção somente por pessoas autorizadas pelo Ministro ou por alguém interessado na licença ou negociação.
Lei do sequestro Geológico de GEE – 2008	Victoria – Austrália	Detalhes sobre a consulta e procedimentos de audição.
Lei de Armazenamento Offshore de Petróleo e GEE – 2010	Victoria – Austrália	O padrão é apenas mecânico para publicar e acessar registros, em vez de eficaz participação pública.
Atividades de Petróleo e Gás Lei [SBC 2008]	Colúmbia Britânica – Canadá	Apenas contempla publicidade através de cadastro.
Lei de Petróleo e Gás Natural [RSBC 1996]	Colúmbia Britânica – Canadá	Confidencial.
Diretiva 2009/31 / CE da União Europeia e suas emendas.	União Europeia	O padrão permite consulta pública e participação resoluta dos cidadãos, deixando claro o direito de anunciar informações sobre armazenamento.
Lei de Energia do Reino Unido – 2008	Reino Unido (Irlanda do Norte, Escócia, País de Gales)	A divulgação das informações seria contrária aos interesses das autoridades nacionais por questão de segurança.
Proteção Ambiental: Armazenamento de Regulamentos de Dióxido de Carbono (Licenciamento etc.) 2010 No. 2221	Reino Unido (País de Gales, Irlanda do Norte, Inglaterra)	Permite apenas o acesso aos registros.
Armazenamento de North Dakota Administração Estatuto	Dakota do Norte – Estados Unidos	A consulta é restrita apenas em caso de interesse.
Estatuto de armazenamento de CO₂ em Dakota do Norte	Dakota do Norte – EUA	A audiência deve ser publicada por duas semanas consecutivas.

Tabela 7. Resumo de Participação Pública

Conclusão

Código CO₂ do Texas	Estados Unidos, Texas	Permite aprovações e audiências públicas.
Estatuto de Regras de CSS de Utah	Utah – Estados Unidos	Supervisão regulatória e pública em formação.
Estatuto de permissão de sequestro de Carbono de Wyoming	Wyoming – Estados Unidos	Nenhuma especificação de consulta pública. Procedimentos prevê em que tais recomendações só possam ser feitas após recebimento de comentários públicos.
Código de Regulamentos Federais. Títulos 40, 145, 146	Estados Unidos	Audiência, incluindo oficinas, períodos para comentários, audiências e consulta com grupos específicos de partes interessadas.
Lei de sequestro de CO₂ da Louisiana	Louisiana – Estados Unidos	É necessário audição e um comissário para manter um livro de regras aberto.
Lei de Avaliação de Impacto Ambiental	Seul – Coréia do Sul	Esta lei exige a coleta da opinião dos residentes na área afetada e a inclusão de uma avaliação do impacto no relatório de avaliação de impacto ambiental. Os dados gravados e coletados são acessíveis ao público.
Lei – Tabela de Política Ambiental	Seul – Coréia do Sul	Esta lei exige a implementação local de políticas nacionais no contexto local. Também obriga a realizar um exame prévio das condições ambientais por órgãos administrativos. O exame incluirá a opinião dos moradores, especialistas na área, organizações ambientais e outras ONGs. Esta lei concede o direito de renunciar ao processo de exame quando o público assumir uma posição adversária.

Fonte: Mendes e Costa, 2019; e ajustado pelo autor.

O panorama brasileiro consiste na ausência de um marco regulatório específico. A premissa ambiental do Brasil diante da participação pública se encontra no ordenamento a respeito do licenciamento ambiental, atualmente imerso em intensa discussão na sociedade civil para aprovação da Lei Geral de Licenciamento Ambiental – PL 3.729/04 (BRASIL, 2020). É necessário que a atenção para as pautas emergentes não desvirtue importantes conquistas participativas diante do processo regulatório, e que as estratégias adotadas obedecem a preceitos democráticos e fundamentais para garantia de construir um ordenamento jurídico que salvasse os princípios da justiça ambiental.

6. Considerações Finais

O território brasileiro concentra características viáveis para o desenvolvimento de instalações de CCS, principalmente, quando relacionado à proximidade entre as áreas de emissões de carbono e os depósitos sedimentares capazes de armazenar o carbono da atmosfera. O aproveitamento da infraestrutura de atividades petrolíferas soma-se à vocação local, devido à aplicação da tecnologia, das tubulações, do regime jurídico consolidado, e do potencial da região do pré-sal para a armazenagem do CO₂.

A infraestrutura logística consiste nas instalações já utilizadas pelas indústrias petrolíferas, que compõem um importante indutor para a captura de carbono devido ao fato de possibilitar o aproveitamento das tubulações para o armazenamento, visto que no Brasil, se utiliza técnicas como EOR para recuperação dos campos petrolíferos, entre outras formas de potencializar a extração do óleo.

O potencial geológico do território brasileiro se confirma diante da análise principalmente das bacias sedimentares do Paraná, que além de estar em uma área de intensa emissão de CO₂ tem a capacidade de armazenamento de 270 Mt/ano, da bacia de Campos, região que já provou seu valor diante da exploração de petróleo e que hoje concentra extensa viabilidade para técnica de CCS por possuir uma capacidade de armazenamento de 950 Mt de CO₂, o que consiste em toda a emissão de fontes estacionárias do país por 3,5 anos, e a região do pré-sal que concentra extensa expectativa diante da estocagem de

carbono, visto que os estudos prévios já apontam a viabilidade do armazenamento para as áreas de cavernas de sal profundas.

Desta forma, a partir do desenvolvimento da técnica de CCS no Brasil, o desafio de reduzir as emissões até o final do século, compromisso acordado no Acordo de Paris, se torna mais factível, por se tratar de uma técnica com eficácia na proteção dos danos ambientais cometidos pela sociedade desde o início da revolução industrial. A problemática do clima atualmente incide na vontade dos gestores em promover uma transição entre o modelo econômico atual e um modelo menos carbonizado.

A grande questão para o desenvolvimento da técnica de CCS no Brasil consiste na segurança, seja na perspectiva ambiental, dado que foi evidenciando no presente estudo a partir da gama de projetos empenhados em comprovar e reafirmar a segurança da técnica, ou na perspectiva jurídica, onde reside o maior empecilho.

A ausência de uma regulação própria para a captura e armazenamento de carbono depõe contra a aproximação de investidores, do que se conclui pela necessidade da elaboração de um marco regulatório determinando responsabilidades, obrigações e deveres para com a implantação da tecnologia.

É possível e se mostra pertinente, o aproveitamento de pressupostos jurídicos expressos na regulamentação da exploração de Petróleo no Brasil, como expostos na Constituição Federal de 1988 e principalmente nas leis 9.478/97, 12.304/10, e 12.351/10, que contribuem para a elaboração das normas que preveem e regulam a atividade de captura de carbono.

A experiência de países que concentram larga vivência diante do armazenamento de carbono nos mostra que a elaboração do regime jurídico necessita da representação de todos os atores sociais, instituições públicas, privadas e sociedade civil. Para desta forma, garantir a participação popular e transparência durante os processos de regulamentação da atividade, de inegável contribuição para a coletividade brasileira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA PETROBRAS 2008 – Disponível em:

<https://www.agenciapetrobras.com.br/Materia/ExibirMateria?p_materia=5473>

Acesso em 1 abr. 2020.

AGÊNCIA PETROBRAS 2009 – Disponível

em:<https://www.agenciapetrobras.com.br/Materia/ExibirMateria?p_materia=7341> Acesso em 1 abr. 2020.

AMBIENS 2020 – Disponível em: <http://www.ambiens.com.br/licenciamento-ambiental> Acesso em 17 ago. 2020.

ANDRADE, J. C. S.; COSTA, P. Mudança Climática, Protocolo de Kyoto e Mercado de Créditos de Carbono: Desafios à governança ambiental global. **O&S** – v.15. n.45 – abr/jun, 2008.

BARROSO, L. A. **Propriedade dos recursos minerais e propriedade do solo e do subsolo no ordenamento jurídico brasileiro**. Aduaneiras. São Paulo, 2006.

BEGO, M. A. **Ciências da natureza: química**. 2.ed. São Paulo. Cultura Acadêmica, 2016 – UNESP, p. 236-239.

BHANDARI, P. **Historical perspective on negotiations**. In: Climate change: Post-Kyoto Perspectives from the South. New Delhi: Tata Energy ReserchInstitute, 1998.

BRASIL. **Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, Senado Federal. Centro Gráfico, 1988.

BRASIL. **Câmara dos Deputados do Brasil**. Disponível em:

<https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=257161> Acesso. 2 Set. 2020

BRASIL. **Presidência da República do Brasil**. Lei Complementar 140/2011.

Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp140.htm. Acesso. 10 Ago. 2020.

BRASIL. **Presidência da República do Brasil**. Decreto Federal 8.437/2015.

Disponível em: Http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato20152018/2015/decreto/d8437.htm Acesso. 10 Ago. 2020.

BUENO, C. Brexit e novo momento para a Europa. **Cienc. Cult.** vol.68 no.4 São Paulo Oct./Dec. 2016.

CAMARA, G. **Fatores condicionantes para o uso em larga escala das tecnologias de captura e armazenamento geológico de dióxido de carbono no Brasil e sua aplicação no estado da Bahia.** 240 f. Tese. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial – PEI, Faculdade Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012.

CAMARA, G.; SILVA JUNIOR, A.; ROCHA, P., ANDRADE, C. **Armazenamento de Dióxido de Carbono em Reservatórios Geológicos: Tecnologia mais limpa?** *Cleaner Production Initiatives and Challenges for a Sustainable World.* São Paulo, mai. 2011.

CARNEIRO, P.; DULLIUS, J.; LIGABUE, R.; MACHADO, C. X.; KETZER, J. M.; EINFLOFT, S. Carbonatação do basalto e seu potencial uso no armazenamento de CO². **Tecnol Metal Mater: Miner.** São Paulo, v.10, n.1, p. 43-49, jan-mar. 2013

CCS – **Carbon Capture and Storage Association.** Relatório. Disponível em: <http://www.ccsassociation.org/files/4615/6386/6542/CCUS_Advisory_Group_Final_Report_22_July_2019.pdf> Acesso em 27, fev 2020.

CEBDS – **Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável.** Relatório: COP21. Disponível em: <<http://cebds.org/cop21/iniciativas-empresariais/>> Acesso em 19, mar 2020.

CHEN, C.; RUBIN, E.S. CO₂ control technology effects on IGCC plant performance and cost. **Energy Policy**, 2008. P. 915–924.

Ciclo biogeoquímico do carbono. Disponível em: <www.ib.usp.br/~delitti/projeto/rhavena/Index.htm.> Acesso em 28, nov. 2019.

COLOMBO, S. Aspectos Conceituais do Princípio do Poluidor-Pagador. **Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental.** FURG. Vol. 13. jul-dez, 2004.

Conama. Resolução 237 de 1997. Disponível em: [Http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html](http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html).

Conama. Resolução 001 de 1986. Disponível em: [Www.ibama.gov](http://www.ibama.gov).

CONVENÇÃO OSPAR - **Guidelines for Risk Assessment and Management of Storage of Carbon Dioxide Streams in Sub-seabed Geological Formations.** OSPAR Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic. 2007.

COSTA, H. K. M.; MIRANDA, M. F.; MENDES, R. M. L. M.; SANTOS, E. M. Licença Ambiental para captura e armazenamento de carbono: Projetos de (CCS) no Brasil. **Macrothink Institute.** vol. 8, n.3, 2018.

COSTA, H. K. M.; MUSSARA, R. M. L. M.; MACHADO E SILVA, I. M.; NUNES, R. C.; ARAÚJO, I. L.; CUPERTINO, S. A. Aspectos Jurídicos do CCS Offshore: Estudo de caso sobre caverna de sal para armazenamento geológico de dióxido de carbono na região do pré-sal. **5º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás**. UFSC, Florianópolis, 2019.

COSTA, I. V. L. **Análise do Potencial Técnico do sequestro geológico de CO² no setor do petróleo no Brasil**. Dissertação. Programa de Planejamento Energético. Pós-Graduação de Engenharia (COPPE/UFRJ), Rio de Janeiro, 2009.

COSTA, A., V. M, P.; UDEBHULU, O.; CABRAL AZEVEDO, R.; EBECKEN, F. F.; MIRANDA, C.O.; ESTON, M.; TOMI, G. R.; MENEGHINI, J.; NISHIMOTO, K.; RUGGIERE, F.; MALTA, E.; FERNANDES, E. F.; BRANDÃO, C.; BREDAS, A. Potencial de armazenamento de gás com alto teor de CO² em cavernas de sal construídas em águas ultraprofundas no Brasil. **Green house Gas-Sci-Technol**, 79-94, 2019.

DALLA VECHIA, F. **Degradação da interface aço-pasta de cimento de poços de injeção de CO² para armazenamento geológico em aquífero salino da Bacia do Paraná**. Doutorado em Engenharia e Tecnologia de Materiais. PUCRS. Porto Alegre, 2012.

DINO, R.; GALLO, Y LE. CCS Project in Recôncavo Basin. **Energy Procedia**, v. 1, n. 1, p. 2005-2011, fev. 2009.

DELVALLS, A.; FORJA, J.; GONZÁLEZ-MAZO.; GÓMEZ-PARRA, A. *Determining contamination sources in marine sediments using multivariate analysis.* **Trends Ana Chem.**, 17: 181-192. 1998.

DELVALLS, A. **Diseño y aplicación de modelos integrados de evaluación de la contaminación y sus efectos sobre los sistemas marinos y litorales y la salud humana**. Ministerio de la Presidencia. Centro para la Prevención y Lucha contra la Contaminación Marítima y Litoral (CEPRECO). Serie Investigación, Madrid. 2007.

DUARTE, F. **A arquitetura e tecnologias de informação: Da revolução industrial à revolução digital**. Annablume. São Paulo 1999.

EPBR - Disponível em: <<https://epbr.com.br/ate-8-novos-operadores-no-pais-com-venda-de-campos-da-petrobras/>> Acesso em 2 abr. 2020.

FAPESP – Disponível em: <http://pesquisaparinovacao.fapesp.br/subsalt_caverns_can_store_cosub2_sua/876> Acesso em 23 jun. 2020.

FUP – Federação Única dos Petroleiros – Disponível em: <<https://www.fup.org.br/ultimas-noticias/item/21627-petrobras-coloca-a-venda-50-areas-de-producao-terrestre-e-petroleiros-reagem>> Acesso em 1 ago. 2020.

GASPAR, H. A. **Captura e Armazenamento de CO₂**. 178 f. Mestrado em Energia e Bioenergia. Faculdade de Ciências e Tecnologia de Lisboa, 2014.

GONÇALVES, A. Regimes Internacionais como ações de governança global. **Meridiano 47**, vol 12, n. 125, mai-jun. 2011. p.40-45.

IPCC - PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS 2013. Grupo de Trabalho I. 5º Relatório.

JACOBI, P. R.; BARBI, F. Democracia e participação na gestão em recursos hídricos no Brasil. **Ver. Katal**. Florianópolis, 10 (2). 237-244, 2007.

JACOBI, P. R.; SINISGALLI, P. A. A. Governança Ambiental e Economia Verde. **Ciência e Saúde Coletiva**. vol 17. n.6. 2012.

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

KOH, M.; JU, B.; SEO, W. Uma revisão sobre a compreensão pública da captura e armazenamento de dióxido de carbono (CCS) na Coreia do Sul. **Energy Procedia**. vol. 159. 315-320. 2019

KRASNER, S. D. *Structural causes and regimes consequences: regimes as intervening variables*. In KRASNER org. **International Regimes**. Ithaca: Cornell University Press, 1983. P, 1-21.

KRAUSE, F. B. **Estudo de alternativa de transporte de CO₂ em dutos**. Dissertação. Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica. PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2010.

KRUSCIEL DE MORAES, M. **Influência da temperatura no processo de degradação da pasta de cimento Classe G quando submetida às condições de armazenamento geológico de carbono**. Dissertação. Programa de Pós Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais. PUC-RS, Porto Alegre, 2012.

MCTI – Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação. Arquivo: clima. Disponível em: <www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/protocolo-de-quioto.html> Acesso em 1 dez.2019.

MELLO, L.; GOBBO, R.; MOURE, G.; MIRACCA, I. Oxycombustion Technology Development for Fluid Catalytic Crackers (FCC) – Large Pilot Scale Demonstration. **Energy Procedia**, v. 37, 2013, pp. 7815-7824.

MELLO, L.; MOREIRA, A.; GODINHO, F.; BRESSAN, L.; CONSTANTE, M.; OLIVA, A.; CHANG, H.; NAKAEMA, W.; VINTER, D.; KETZER, J.; ROSÁRIO, F.; MUSSE, A. *CO² MOVE Project: The New Brazilian Field Lab Fully Dedicated to CO² MMV Experiments*. **Energy Procedia**, v. 114, 2017, pp. 3699-3715.

MELO, M. A. Boletim Jurídico. Disponível em: <www.boletimjuridico.com.br/doutrina/artigo/2459/o-desenvolvimento-industrial-impacto-meio-ambiente>. Acesso em 07 nov. 2019.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Disponível em: <<https://mma.gov.br/component/k2/item/11678-mecanismo-de-desenvolvimento-limpo-mdl>> Acesso em 01 fev. 2020.

MENDES, R. M. L. M.; COSTA, H. K. M. Direito Internacional Comparado: O escopo e gestão dos direitos de participação pública relacionados a atividade de CCS. **Macrothink Institute**. vol. 9, n.2, 2019.

MOREIRA, R. Sociabilidade e espaço: as formas de organização geográfica das sociedades na era da terceira revolução industrial: Um estudo de tendências. **Agrária** (São Paulo. Online), (2), 93-108. 2005.

Nações Unidas. Disponível em: <www.nacoesunidas.org/acao/mudanca-clima> Acesso em 07 nov. 2019.

NEVADO, P. P. Popper e a Investigação: A Metodologia Hipotética-Dedutiva. **ADVANCE – Centro de Investigação Avançada do ISEIG**. n.8 Lisboa, 2008.

PETROBRAS. Disponível em: <<https://petrobras.com.br/fatos-e-dados/entenda-como-e-definida-a-quantidade-de-petroleo-processada-em-nossas-refinarias.htm>> Acesso em 24 mar. 2020

PROTOCOLO DE LONDRES. *Specific Guidelines for the Assessment of Carbon Dioxide Streams for Disposal into Sub-seabed Geological Formations*. **London Protocol on the prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter**. 2007.

REI, F. C. F.; GONÇALVES, A. F.; SOUZA, L. P. Acordo de Paris: Reflexões e Desafios para o Regime Internacional de Mudanças Climáticas. **Varedas de Direito** – v.14, n. 29. p.81-99. Mai/Ago, 2017.

REGUERA, D. F.; ANTÓN, R.; RIBA, I.; DELVALLS, A. T. Sedimen Quality Assessments in Carbon Dioxide Capture and Storage in Marine Areas: Na Overview. **UNISANTA Bioscience**. n 1. vol. 2. 2013

Revolução Industrial. Disponível em: <www.culturabrasil.org/revolucaoindustrial.htm> Acesso em 03 dez. 2019.

ROCKETT, G. C. et al. *CO² Storage Capacity of Campos Basin's Oil Fields, Brazil*. **Energy Procedia**, v. 00, p.1-10, 2013

ROMEIRO-CONTURBIA, V. R. S. **Carbon Capture and Storage Legal and Regulatory Framework in Developing Countries: Proposals for Brazil**. Tese. Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo, 2014.

SANTOS, M.; SILVEIRA, M. L. **O BRASIL: Território e sociedade no início do século XXI**. p. 31. 9ª edição. Editora Record. Rio de Janeiro/São Paulo, 2006.

SANTOS, M. **A natureza do espaço: Técnica e tempo**. Razão e emoção. São Paulo: Hucitec, 1996.

SANTOS, M. **Geo Textos**, vol. 1, n.1, 2005. Disponível em: <https://portalseer.ufba.br> Acesso em 04 nov. 2019.

SCAFF, F. F. Royalties de Petróleo, Minério e Energia: Aspectos Constitucionais financeiros e tributários. **Revista dos Tribunais**, São Paulo, 2014.

SILVA, P. C. **Carbonatação de Basalto para armazenamento de Carbono**. Dissertação. Programa de Engenharia e Tecnologia de Materiais. PUCRS. Porto Alegre, 2009.

Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. (IPCC / 2005). Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srccs_wholereport-1.pdf> Acesso em 6 nov 2019.

STELLA, O.; SMID, B. J.; AZEVEDO, A. STABILE, M. Compilação dos Principais Resultados da COP-17 sobre o novo Protocolo de Kyoto, Salvaguardas de REDD+, Níveis de Referência, Fundo Verde para o clima e LULUCF. **Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM)**, 2011.

SUESS, E.; BOHRMAN, G.; GREINERT, J.; LAUSCH, E. Flammable Ice. **Scientif American**, 281 (5): 761-83. 1999.

ZHOURI, A. Justiça Ambiental, Diversidade e Cultura e Accountability: Desafios para a Governança Ambiental. **RBCS**. vol. 23. n. 68. out. de 2008.

ANEXO A – Comprovante de Submissão

11/02/2021

Yahoo Mail - [DMA] Agradecimento pela submissão

[DMA] Agradecimento pela submissão

De: revistas_ojs@ufpr.br

Para: lucasiqueira94@yahoo.com.br

Data: quinta-feira, 11 de fevereiro de 2021 16:35 BRT

Sr. Lucas Oliveira da Cruz Siqueira,

Agradecemos a submissão do trabalho "A crise climática global e o potencial brasileiro no armazenamento geológico de carbono – CCS." para a revista Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Acompanhe o progresso da sua submissão por meio da interface de administração do sistema, disponível em:

URL da submissão: <https://revistas.ufpr.br/made/author/submission/79367>

Login: lucasiqueira94

Em caso de dúvidas, entre em contato via e-mail.

Agradecemos mais uma vez considerar nossa revista como meio de compartilhar seu trabalho.

José Milton Andriquetto Filho
Desenvolvimento e Meio Ambiente

Desenvolvimento e Meio

Ambiente

<https://revistas.ufpr.br/made>