**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA**

SILVIA ANDREA CUPERTINO

**A RESPONSABILIDADE CIVIL NA ESTOCAGEM DE CARBONO NO
BRASIL**

VERSÃO CORRIGIDA

**SÃO PAULO
2019**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA

SILVIA ANDREA CUPERTINO

A RESPONSABILIDADE CIVIL NA ESTOCAGEM DE CARBONO NO BRASIL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciência da Energia.

Orientação: Prof^a. Dr^a. Hirdan Katarina de Medeiros Costa
Área de concentração: Análise e Planejamento Energético

VERSÃO CORRIGIDA

SÃO PAULO
2019

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES TRABALHOS, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA

Cupertino, Silvia Andrea.

A responsabilidade civil na estocagem de carbono no Brasil. / Silvia Andrea Cupertino; orientadora: Hirdan Katarina de Medeiros Costa. – São Paulo, 2019.

133 f.: il; 30 cm. Elaborado por Maria Penha da Silva Oliveira CRB-8/6961

Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós- Graduação em Energia – Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo.

1. Responsabilidade civil Elaborado por Maria Penha da Silva Oliveira CRB– aspectos ambientais. 2. -8/6961Estocagem . 3.

Gás carbônico. I. Título.

Elaborado por Maria Penha da Silva Oliveira CRB-8/6961

Nome: CUPERTINO, Silvia Andrea

Título: A RESPONSABILIDADE CIVIL NA ESTOCAGEM DE CARBONO NO BRASIL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Aprovada em:

Banca Examinadora

Prof.(a) Dr.(a) Hirdan Katarina de M. Costa Instituição: Universidade de São Paulo -USP

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof.(a) Dr.(a) Clarissa M^a B. B.de C. Kowarski Instituição: Universidade Federal Fluminense

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof.(a) Dr. (a) Carolina Sales Cabral Arlota Instituição: Universidade de Oklahoma

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof.(a) Dr.(a) Maria A. da Costa Instituição: Instituto Bras. de Estudos do Direito de Energia

Julgamento: _____ Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço minha orientadora Prof^ª. Dr^a Hirdan Katarina de Medeiros Costa pelos textos, orientação, incentivo nos momentos difíceis e pelo grande desprendimento em ajudar.

Agradeço também, aos meu pais Elizabeth Rosa de Souza Cupertino e José Francisco Cupertino e aos meus irmãos Caren Vanessa Cupertino, Bruno Rodolfo Cupertino e Carlos Frederico Cupertino, em memória, pelo apoio, amor incondicional e confiança que sempre me dedicaram.

RESUMO

CUPERTINO, Silvia Andrea. A Responsabilidade Civil na Estocagem de Carbono no Brasil. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. Dissertação (Mestrado em Ciência da Energia).

A presente dissertação tem o intuito de contribuir para a compreensão da responsabilidade civil ambiental nas atividades de estocagem de CO₂ desenvolvidas por empreendimentos de Captura de Armazenamento de Carbono- CCUS, de forma a propiciar os meios para a estruturação, o desenvolvimento e a consolidação do setor no Brasil. Inicialmente, analisou-se as tecnologias CCUS, ou seja, captura, utilização e armazenamento de carbono, delimitando e detalhando cada etapa do sequestro geológico. Após, procedeu-se ao estudo da responsabilidade civil de modo amplo, a responsabilidade civil ambiental no Brasil, os meios processuais para a defesa ambiental, o regramento aplicado às atividades que envolviam a estocagem de gás carbônico no país. Após, analisou-se a responsabilidade civil de longo prazo nas atividades de estocagem de dióxido de carbono em países selecionados, a prevenção e controle de acidentes ambientais, envolvendo o gerenciamento social dos riscos e a segurança da atividade de estocagem de carbono. Conclui-se que há necessidade de políticas (normas) no país para regulamentar a tecnologia CCUS.

Palavras-chave: Atividades CCUS, estocagem de CO₂; responsabilidade civil ambiental; regulação.

ABSTRACT

CUPERTINO, Silvia Andrea. **Civil Liability in Carbon Storage in Brazil**. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. Dissertation (Master in Energy Science).

The present dissertation tries to contribute to the understanding of the environmental liability in CO₂ storage activities developed by Carbon Capture Projects, in order to provide the means for the structuring, development and consolidation of the sector in Brazil. Initially, we analyzed the CCUS technologies, ie carbon capture, utilization and storage, delimiting and detailing each step of geological sequestration. After that, we proceeded to study the civil liability in a broad way, the environmental civil liability in Brazil, the procedural means for the environmental defense, the rule applied to the activities involving storage of carbon dioxide in the country. Afterwards, long-term civil liability in carbon dioxide storage activities in selected countries, the prevention and control of environmental accidents, and the social risk management and safety of carbon storage activities were analyzed. It is concluded that there is a need for policies (standards) in the country to regulate CCUS technology.

Keywords: CCUS Activities, Carbon Storage, Environmental Liability, regulation

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução das emissões específicas de CO ₂ no Brasil entre 2005 e 2030	17
Figura 2 – Produção primária de energia no Brasil	18
Figura 3 – Evolução do crescimento populacional e da demanda de energia per capita no Brasil de 1970 a 2030.....	19
Figura 4 – Sistemas de captura de CO ₂	31
Figura 5 – Ciclo do CO ₂	32
Figura 6 – Captura pós-combustão de CO ₂	33
Figura 7 – Grupos de tecnologias de captura de carbono por pós-combustão.	34
Figura 8 – Captura de CO ₂ por pré-combustão.	36
Figura 9 – Captura de CO ₂ por oxidação.....	37
Figura 10 – Sequestro geológico	45
Figura 11 – Armazenamento Geológico de CO ₂	47
Figura 12 – Aquífero	48
Figura 13 – Classificação dos aquíferos de acordo com o tipo de porosidade da rocha	49
Figura 14 – Porosidade e permeabilidade.....	50
Figura 15 – Sistema de produção de petróleo <i>offshore</i>	51
Figura 16 – Opções de estocagem de CO ₂	53
Figura 17 – O processo de formação do carvão	54
Figura 18 – Formação do carvão envolvendo o passar do tempo, aumento de pressão e temperatura	54
Figura 19 – CO ₂ storage site lifecycle and allocation of liable entities.....	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Armazenamento de CO ₂	49
Tabela 2 – Prazos de transferência de responsabilidade de longo prazo.....	104

LISTA DE SIGLAS

ASU	<i>Air separation unit</i> ; Unidade de separação de ar
BEN	Balanco energético nacional
CaO	Óxido de cálcio
CCS	<i>Carbon capture and storage</i> ; Captura e armazenamento de carbono
CCUS	<i>Carbon capture, utilization and storage</i> ; Captura, utilização e armazenamento de carbono
CF/88	Constituição da República Federativa do Brasil de 1988
CLC	<i>Chemical combustion of looping</i>
CO ₂	Dióxido de carbono; Carbono; Gás carbônico
CPU	<i>CO₂ purification unit</i> ; Unidade de purificação de CO ₂
CVN	
EUA	Estados Unidos
EOR	<i>Enhanced Oil Recovery Process</i> ; Processo de recuperação melhorada de óleo
GEE	Gases de efeito estufa
GLP	Gás liquefeito de petróleo
Gt	Gigatonelada
Gton	Gigatonelada
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas; <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
kPa	Quilopascal
m	Metro linear
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico
MEA	Monoetanolamina
MMA	Ministério de Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
MT	Megatonelada
Mtpa	<i>Million tonnes per annum</i> ; Milhões de toneladas por ano
N	Newton

OCC	Oxicombustão de carbono; <i>Oxy-combustion carbon capture</i> .
ONU	Organização das Nações Unidas
Pa	Pascal
PCC	Pós-combustão de carbono; <i>Post-combustion carbon capture</i> .
Ph	Escala ácido-base
PRCC	Pré-combustão de carbono; <i>Pre-combustion carbon capture</i> .
RAP	Recuperação avançada de petróleo
SI	Sistema Internacional de Unidades
UNWCED	<i>World Commission on Environment and Development</i>
WGS	<i>Water Gas Shift</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA.....	21
2.1 Problema	24
2.2 Hipóteses	25
2.3 Objetivos	25
2.3.1 Objetivo Geral.....	25
2.3.2 Objetivos Específicos:	26
2.4 Metodologia e forma de análise dos resultados	26
2.5 Justificativa da escolha e da importância do tema.....	27
2.6 Estrutura do trabalho e contribuição para investigações futuras	28
3 A CAPTURA, TRANSPORTE, UTILIZAÇÃO E ESTOCAGEM DE CARBONO..	29
3.1 A captura de carbono	31
3.2 Tecnologias de captura de carbono.....	33
3.2.1 Captura Pós-Combustão (PCC)	33
3.2.2 Absorção	34
3.2.3 Adsorção	34
3.2.4 Membranas.....	35
3.2.5 Biológica.....	35
3.2.6 Outras.....	36
3.2.7 Captura pré-combustão	36
3.2.8 Captura por Oxidocombustão	37
3.3 Transporte de CO ₂	38
3.4 Utilização de CO ₂	42
3.5 Estocagem de CO ₂	42
3.6 Conclusão do capítulo.....	43
4 ESTOCAGEM DE CARBONO	44
4.1 Estocagem de CO ₂	45
4.1.1 Conceito	46
4.2 Mecanismos de estocagem.....	47
4.3 Meios físicos para estocagem	48
4.3.1. Aquífero salino	48

4.3.2 Reservatórios de óleo e gás.....	51
4.5 Conclusão do capítulo.....	55
5 RESPONSABILIDADE CIVIL	57
5.1 Pressupostos da responsabilidade civil.....	59
5.1.1 Conduta humana	60
5.1.2 Dano.....	60
5.1.3 Nexo de causalidade	61
5.3 Fundamentos da responsabilidade civil	62
5.3.1 Culpa	62
5.3.2 Imperícia.....	63
5.3.3 Imprudência	63
5.3.4 Negligência.....	64
5.4 Responsabilidade contratual e extracontratual.....	64
5.5 Responsabilidade subjetiva e objetiva.....	65
5.2 Excludentes de responsabilidade	66
5.2.1 Estado de necessidade.....	66
5.2.2 Legítima defesa	67
5.2.3 Exercício regular de direito.....	67
5.2.4 Caso fortuito ou força maior.....	67
5.2.5 Culpa exclusiva da vítima	68
5.2.6 Fato de terceiro	68
5.6 Indenização	68
5.7 Conclusão do capítulo	69
6 RESPONSABILIDADE CIVIL AMBIENTAL NO BRASIL.....	71
6.1 Pressupostos da responsabilidade civil ambiental	74
6.1 Conduta.....	75
6.2 Dano ambiental	76
6.3 Nexo de causalidade.....	77
6.4 Meios processuais para a defesa ambiental	78
6.4.1 Da Ação Popular	79
6.4.2 A participação do Ministério Público	79
6.4.3 O Inquérito Civil.....	80
6.4.4 Termo de Ajustamento de Conduta	80
6.4.5 Da Ação Civil Pública	82

6.4.5.1 A condenação pecuniária e o Fundo de Defesa dos Direitos Difusos	83
6.5 Responsabilidade civil ambiental na cadeia de CCUS	83
6.6 Conclusão do capítulo.....	85
7 ASPECTOS RELEVANTES DA RESPONSABILIDADE CIVIL NAS ATIVIDADES ESTOCAGEM DE CARBONO.....	87
7.1 A experiência de países selecionados	87
7.1.1 Austrália	88
7.1.2 Canadá	89
7.1.3 Estados Unidos	91
7.1.4 União Europeia	96
7.1.5 Reino Unido	99
7.1.6 Noruega	101
7.1.7 Japão	102
7.1.8 Nações Unidas	103
7.2 Sumário das responsabilidades em países selecionados	104
7.3 Conclusão do capítulo.....	106
8 PREVENÇÃO E CONTROLE DE ACIDENTES AMBIENTAIS	109
8.1 Gerenciamento social dos riscos.....	109
8.2 Segurança e atividade de estocagem de carbono	111
8.3 Conclusão do capítulo.....	112
9 CONCLUSÃO	114
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	118
APÊNDICES.....	128

1 INTRODUÇÃO

A sociedade brasileira necessita enfrentar aspectos ameaçadores da estabilidade ambiental que emergiriam com a modernidade. Tal estabilidade deve ser resguardada no decorrer do tempo com a utilização de mecanismos de gestão preventiva e instrumentos precaucionais (LEITE; BELCHIOR, 2012). A ordem econômica, fundada na valorização do trabalho humano e na iniciativa privada, consagrada de uma economia de mercado capitalista, deve estar associada ao desenvolvimento social presente e futuro. Logo, as decisões presentes em prol da prosperidade presente não podem limitar a possibilidade de aprimoramento da vida no futuro.

Nessa perspectiva, a Carta Magna prevê os princípios norteadores da ação de defesa ambiental brasileira, almejando a mitigação de riscos e vulnerabilidades promovidos pelos prejuízos oriundos do modo de produção de bens, que causa impactos negativos ao meio ambiente em caráter intergeracional. Os princípios que dão suporte ao sistema de proteção ambiental são os seguintes: o princípio do desenvolvimento sustentável, do poluidor-pagador, da precaução e da capacidade de suporte (SANTOS, 2015).¹

O princípio do desenvolvimento sustentável, advindo da Conferência de Estocolmo realizada em 1972, vislumbra a manutenção das bases vitais da produção e reprodução do ser humano e suas atividades, de modo a garantir uma relação satisfatória entre estes e o meio ambiente, para que as futuras gerações desfrutem dos recursos atualmente existentes (ANTUNES, 2008).

Segundo Santos (2015), o direito ao meio ambiente equilibrado pertence a todos, sendo indivisível e com titulares indeterminados, ligados por circunstâncias de fato, objetivando a proteção jurídica dos direitos da coletividade. Portanto, o desenvolvimento social, a preservação da qualidade do meio ambiente e o equilíbrio ecológico constituem-se objetivos do Estado brasileiro a serem compatibilizados com o desenvolvimento econômico nacional.

Na visão de Milaré (2009), a vida sustentável implica na harmonização das pessoas e da natureza, onde a construção de uma sociedade sustentável funda-se numa estratégia mundial clara para a promoção de respeito e cuidado da comunidade de seres vivos, melhoria da qualidade de vida humana, conservação da vitalidade e diversidade do planeta Terra,

¹ Capacidade de suporte, em resumo, pode ser entendida como o grau de utilização dos recursos ambientais que um sistema ambiental suporta, sem afetar os padrões de qualidade ambiental, a sustentabilidade e manutenção de tais recursos. (MACHADO, Pedro Jose de Oliveira *In*: **Capacidade, Suporte e Sustentabilidade Ambiental**. Presidente Prudente, 1999. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/download/18847/20131>. Acessado em: 16 de julho de 2019).

minimização do esgotamento de recursos não-renováveis, respeito ao limite de capacidade de suporte do planeta, modificação de práticas sociais, empoderamento das comunidades no trato de seu próprio meio ambiente e geração de uma estrutura nacional para a integração do desenvolvimento e conservação.

Os custos para a manutenção desse ambiente favorável, provedor de tais relações vitais, estão presentes na lógica inserida no princípio do pagador-poluidor. O princípio, constante nas Diretivas da União Europeia (EUR-LEX, 2015), prescreve que as pessoas naturais ou jurídicas, sejam regidas pelo direito público ou privado, são obrigadas a arcar com os custos das medidas necessárias para eliminação da contaminação, sua redução aos limites fixados pelos padrões ou medidas equivalentes para proporcionar a qualidade de vida, inclusive os fixados pelo Poder Público competente.

Para Fiorillo (FIORILLO, 2017), tal princípio estipula a incidência e aplicação de alguns aspectos do regime jurídico da responsabilidade civil aos danos ambientais, a prioridade da reparação específica do dano ambiental e a solidariedade para suportar os danos causados ao meio ambiente. Outro aspecto importante é extraído do princípio da precaução, mencionado pela primeira vez na Declaração de Wingspread, elaborada na Alemanha, em 1970; e contido no próprio *caput* do artigo 225 da Constituição Federal (CF/88), onde a precaução demanda a adoção de medidas ambientais que, a princípio, obstem o início de uma atividade lesiva, mesmo que em potencial, ao meio ambiente, assim como atue na ocorrência do dano ambiental concretizado, no sentido de minimizar ou fazer cessar os efeitos danosos (COLOMBO, 2012).

Nesse sentido, uma atividade ameaçadora ao meio ambiente e à saúde humana demanda medidas de precaução, tendo em vista que tratam-se de bens de interesse público que não podem ser negociados ou ameaçados. Dessa forma, a Administração Pública tem a obrigação de estabelecer padrões de qualidade ambiental limitadores de emissões de partículas, de limites aceitáveis de presença de determinados produtos na água, dentre outros. Tal ideia é concretizada pelo princípio da capacidade de suporte (ANTUNES, 2008).

O princípio da capacidade de suporte pode ser entendido como o grau de utilização dos recursos ambientais que um sistema ambiental tolera sem afetar aos padrões de qualidade ambiental, a sustentabilidade e a manutenção de tais recursos. Ou seja, a fim de que se proteja o direito das gerações futuras frente aos impactos negativos gerados pelas atividades desenvolvidas no presente, deve-se criar um plexo de mecanismos para salvaguardar o equilíbrio do meio ambiente com fundamento em um conjunto de padrões de conduta extraídos do ordenamento jurídico.

Portanto, o desenvolvimento da sociedade traz um custo para o meio ambiente, e essas

atividades danosas são reguladas por regras e princípios de proteção. Dentre as diversas ações e agentes causadores de significativos danos ao meio ambiente, destacam-se os gases de efeito estufa (GEE)², elegendo-se neste trabalho o dióxido de carbono (CO₂), também conhecido como gás carbônico, e a atividade de captura como objetos de estudo.

O dióxido de carbono é um gás de efeito estufa bem documentado, e as evidências indicam que ele é um dos principais contribuintes para as alterações climáticas (SZULCZEWSKIA et al., 2012). Critérios e padrões de qualidade ambiental, normas relativas ao uso e manejo de recursos ambientais, ou desenvolvimento de pesquisas e tecnologias nacionais necessitam ser orientadas para o uso racional dos recursos ambientais. A sustentabilidade do desenvolvimento da sociedade influi no bem-estar social e, conseqüentemente, torna-se objeto de interesse público.

Nesse espeque, as futuras gerações não podem herdar déficits ambientais ou de estoque de recursos e benefícios, sendo tal ideia o cerne do desenvolvimento sustentável (NEGÓCIO; CASTILHO, 2008).

Os meios materiais para uma vida confortável devem estar disponíveis para todos os cidadãos, segundo as exigências de natureza física, espiritual e política (SILVA, 2001). Logo, a sociedade deve buscar sua implementação por meio de políticas públicas desenhadas e impostas por intermédio de normas jurídicas, que são resultados de processos políticos. No contexto em estudo, a temática sobre a responsabilidade civil nas atividades de captura é permeada por políticas energéticas e ambientais estabelecidas no Brasil.

Na seara da política energética brasileira, cabe apontar sua missão na utilização racional de fontes de energia, com consciência ambiental, buscando a implementação de estratégias de conservação. Como setor estratégico enfrenta continuamente a mudança climática, é necessário

² Há quatro principais gases de efeito estufa (GEE), além de duas famílias de gases, regulados pelo Protocolo de Quioto:

- a) O dióxido de carbono (CO₂) é o mais abundante dos GEE, sendo emitido como resultado de inúmeras atividades humanas como, por exemplo, por meio do uso de combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás natural) e também com a mudança no uso da terra.
- b) O gás metano (CH₄) é produzido pela decomposição da matéria orgânica, sendo encontrado geralmente em aterros sanitários, lixões e reservatórios de hidrelétricas e também pela criação de gado e cultivo de arroz.
- c) O óxido nitroso (N₂O) cujas emissões resultam, entre outros, do tratamento de dejetos animais, do uso de fertilizantes, da queima de combustíveis fósseis e de alguns processos industriais.
- d) O hexafluoreto de enxofre (SF₆) é utilizado principalmente como isolante térmico e condutor de calor.
- e) O hidrofluorcarbonos (HFCs), utilizados como substitutos dos clorofluorcarbonos (CFCs) em aerossóis e refrigeradores; não agredem a camada de ozônio, mas têm, em geral, alto potencial de aquecimento global.
- f) Os perfluorcarbonos (PFCs) são utilizados como gases refrigerantes, solventes, propulsores, espuma e aerossóis.

Os hidrofluorcarbonos e os perfluorcarbonos pertencem à família dos halocarbonos, todos eles produzidos, principalmente, por atividades antrópicas. *In*: <http://www.mma.gov.br/clima/energia/item/195-efeito-estufa-e-quequecimento-global>. Acesso em: 22 jul. 2019.

buscar meios para solucionar a questão energética sem o comprometimento da preservação do ambiente para as gerações futuras.

Um de seus desafios é harmonizar o crescimento populacional somado ao crescimento da demanda por energéticos, cuja tendência é aumentar o impacto ambiental, incluindo-se a majoração das emissões de CO₂. No período de 2005 a 2030, projeta-se um aumento de emissões, atingindo-se o pico em 2010, e o declínio a partir de 2030, diante da adoção de políticas de implementação de mecanismos de eficiência energética já definidas pelo Governo Federal (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007).

Figura 1 – Evolução das emissões específicas de CO₂ no Brasil entre 2005 e 2030
Em tCO₂/tep, com base na oferta interna de energia

Fonte: TOMALSQUIM, 2007.

É possível observar o crescimento gradual da produção de energia primária no período de 1970 a 2014, onde a demanda por petróleo mantém continuidade enquanto principal fonte energética no Brasil, conforme demonstra a figura 2 (INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO, GÁS E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2019):

Figura 2 – Produção primária de energia no Brasil
Produção primária de energia no Brasil

tep = tonelada equivalente de petróleo
 Atualização – Maio 2019

Fonte: Elaboração IBP com dados da EPE

Fonte: IBP, 2019.

As emissões de GEE do setor de energia estão diretamente relacionadas ao uso de combustíveis fósseis no país. O principal uso em 2018 foi o resultante do setor de transporte (46,3%), seguido pelo setor industrial (18,8%), os setores agropecuário, serviços, energético, elétrico e as emissões fugitivas foram responsáveis por 30,4% das emissões totais, enquanto o setor residencial foi responsável por 4,5% de emissões de CO₂, conforme dados do Balanço Energético Nacional - BEN 2019 (EPE, 2019). Contudo, a demanda per capita de energia no Brasil é muito baixa (figura 3).

Figura 3 – Evolução do crescimento populacional e da demanda de energia per capita no Brasil de 1970 a 2030

Fonte: TOMALSQUIM, 2007, p. 51.

No entanto, há uma tendência de aumento face ao crescimento da renda nacional e sua redistribuição. Assim, o cenário apresentado para 2030 prevê um consumo primário de energia de cerca de 560 milhões de tep para uma população de mais de 238 milhões de habitantes. Frente a esse contexto, exige-se a redução urgente dos impactos das atividades humanas ao meio ambiente, maior eficiência energética, redução do consumo de combustíveis fósseis, aumento da diversificação da matriz energética nacional através de fontes de energia renováveis e substituição de tecnologias obsoletas ou obsolescentes; o que faz, portanto, com que a captura de gás carbônico seja um meio para mitigar emissões, ajudando a combater os efeitos prejudiciais das mudanças climáticas.

Em face da possibilidade de desenvolvimento da atividade de estocagem de gás carbônico como instrumento de mitigação de impactos ambientais, mostra-se necessário o estudo da estrutura regulatória existente e aplicável, a fim de garantir segurança jurídica para o investimento em tal empreendimento, bem como para identificar seus riscos, posto que o componente ambiental influencia nos custos dessa atividade das indústrias mencionadas e está inserido em seu custo de oportunidade. Logo, a necessidade de estudo do dano ecológico e a responsabilidade aplicável emerge de tal contexto.

De acordo com Machado (2006), o conceito de dano ecológico decorre de atividade poluente e funda-se na própria gravidade do acidente, ocorrendo ou não o dano patrimonial. Segundo a Política Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 1981), ao poluidor e ao predador é imposta a obrigação de reparar e/ou indenizar os danos causados ao meio ambiente e aos terceiros afetados por sua atividade, independentemente de culpa.

Ainda há a previsão de responsabilização no Código Civil brasileiro (BRASIL, 2002),

que estabelece a responsabilidade oriunda de ato ilícito como regra geral. A obrigação independente de culpa é exceção e ocorre quando há previsão em lei ou quando a atividade normalmente desenvolvida pelo autor do dano implicar, por sua natureza, risco para os direitos de outrem. Nesse mesmo sentido, a atividade pode causar responsabilização civil. Portanto, a responsabilidade que deve ser atribuída é a objetiva.

Atualmente, diante da falta de previsão específica para a responsabilização no caso de dano oriundo da atividade de estocagem de gás carbônico, não há a mensuração dos limites dos danos ambientais potenciais em caso de acidente. Assim, a depender do potencial lesivo da atividade, a responsabilidade a ser imposta independe da culpabilidade do agente ou da natureza do ato praticado, considera-se apenas a extensão do dano para estabelecimento do pagamento de todo e qualquer prejuízo suportado por terceiro.

Diante do cenário exposto, é de extrema importância a análise da estrutura legal existente quanto à responsabilidade civil ambiental, a fim de se perquirir se o modelo atual é adequado para o desenvolvimento da atividade de estocagem de CO₂ no território nacional, bem como os riscos e inseguranças presentes.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

A sociedade brasileira preocupa-se com um desenvolvimento econômico fundado na sustentabilidade e o prolongamento da existência de seus recursos naturais para o usufruto das gerações futuras. A estocagem de gás carbônico mostra-se uma atividade potencialmente lesiva ao meio ambiente, onde o arcabouço legal é orientado para as atividades geradoras do gás em seu aspecto técnico e modelos de exploração já delineados. Contudo, a regulamentação técnica deve estar em harmonia com as regras de preservação ambiental.

Com o avanço do conhecimento acerca do tema, constata-se a indissociabilidade da salvaguarda do meio ambiente e do desenvolvimento sustentável, como apresenta o Relatório Brundtland (UNWCED/ONU, 1987), onde o atendimento das demandas humanas deve ser norteado por um processo de transformação em que a exploração dos recursos, a orientação do desenvolvimento tecnológico, a direção dos investimentos e a mudança institucional se harmonizam e reforçam o potencial presente e futuro (JÚNIOR et al., 2013).

O Protocolo de Quioto, em dezembro de 1997, definiu metas de redução nas emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera, objetivando a estabilização das concentrações de gases de efeito estufa em um nível que permita limitar os impactos adversos no clima do planeta (BRASIL, 1997). Estabeleceu, em seu artigo 2º, a necessidade de pesquisa, promoção, desenvolvimento e uso crescente de novas formas de energia renováveis, de tecnologias de sequestro de dióxido de carbono e de tecnologias avançadas e inovadoras ambientalmente saudáveis (UNITED NATIONS, 2017).

Na 21ª Conferência das Partes (COP21) da UNFCCC foi adotado o Acordo de Paris, em 2015, com o objetivo de reduzir emissões de gases de efeito estufa (GEE), manter o aumento da temperatura média global em menos de 2°C acima dos níveis pré-industriais e limitar o aumento da temperatura a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais (BRASIL, 2019).

Segundo Costa e Musarra (2019, p. 2):

A construção deontológica de muitos princípios existentes no Direito pátrio advém de Acordos internacionais, tais como a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Humano, de 1972, que trouxe o Princípio da Responsabilidade Ambiental dos Estados; o Princípio 18, cuja base é o desenvolvimento econômico e social conciliado à ciência e à tecnologia em prol do ambiente e do bem comum da humanidade; e, o Princípio 21, que consolida o direito soberano dos Estados Nacionais de explorar seus próprios recursos em aplicação de sua própria política ambiental.

Nessa toada, com o paulatino advento dos Acordos Internacionais relativos à Mudanças Climáticas, por exemplo, o Protocolo de Kyoto e o Acordo de Paris, passa a ser cada vez mais nítida uma acepção de desenvolvimento pautado na proteção ambiental e na reversão dos efeitos das emissões de gases de efeito estufa. Com isso,

tecnologias de captura e estocagem de carbono ganham relevância enquanto instrumentos de mitigação da emissão antropogênica desses gases.

O ano de 2020 marca o início da implementação da NDC, e, no mesmo ano, expira o prazo para o cumprimento das metas inscritas na lei da PNMC, ou Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei 12.187/2009), que determina que o país reduza suas emissões de 36,1% a 38,9% em relação a um cenário tendencial e relatórios mostram que a tendência atual das emissões de gases de efeito estufa do Brasil e da governança climática nacional apontam para a impossibilidade do cumprimento das metas, alertando que a partir de 2013 houve uma reversão de tendências, com subida das emissões motivada pelo aumento do desmatamento na Amazônia e pelo aumento do uso de combustíveis fósseis na matriz energética (SEEG, 2018).

Para alcançar o objetivo do Acordo de Paris, segundo Almeida et al. (2017), o Brasil precisa preparar e adotar tecnologias como a Captura e Armazenamento de Carbono (CCS), que pode representar uma alternativa estratégica para redução de CO₂, especialmente para o setor de energia. Apesar disso, o conhecimento sobre essa tecnologia ainda pouco consolidado no país, bem como a regulação dessas atividades. (COSTA; MUSSARA, 2019)

Conforme Matsuura (2016), o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC)³ estima que o alcance da meta de 2 graus centígrados de aquecimento com a utilização das tecnologias de mitigação de CO₂ custará duas vezes menos.

Irlam (2017) esclarece que o custo da captura do carbono é baixo quando a separação faz parte de uma cadeia produtiva, tal como o processamento de gás natural, fertilizantes e bioetanol, sendo o aumento do custo diretamente proporcional a maior diluição do CO₂, tendo-se como exemplo a geração de energia, produção de ferro, aço e cimento.

Nesse sentido, o estudo do carbono se dá sobre a sua influência no aquecimento terrestre, com consequências devastadoras (MACHADO, 2005). A diminuição das emissões de poluentes na atmosfera terrestre tem como uma das mais eficazes ferramentas a captura do carbono, um processo de remoção de gás carbônico que ocorre principalmente em florestas, oceanos e outros organismos por meio da fotossíntese, onde há captura do carbono e lançamento do oxigênio na atmosfera, prevenindo as emissões e a permanência do gás na atmosfera (GAMA, 2009).

Após a captura, os resíduos remanescentes do processo devem ter uma destinação segura. Assim, o gás carbônico necessita ser armazenado. Uma possibilidade presente é a sua estocagem em águas profundas, ocorrendo o aproveitamento do gás por sua característica solúvel em água marinha e pela absorção e emissão oceânica, naturalmente, em grande quantidade, promovendo um balanço positivo para a absorção e considerando-se a injeção direta em águas profundas com a adição de nutrientes que estimulem o crescimento de fitoplâncton (MACHADO, 2005; CRES; PASCON, 2017).

³ Intergovernmental Panel on Climate Change.

Nas lições de Júnior et al. (2013), conter e reverter o acúmulo de gás carbônico na atmosfera, minorando os efeitos negativos impostos ao meio ambiente, seja através da captura, transporte e armazenamentos geológico do CO₂, é fundamental enquanto técnica mitigatória. Para Rezende et al. (2002), o sequestro geológico de carbono pode ser considerado como a aplicação do dióxido de carbono em poços de petróleo e fundos oceânicos, contudo, tal modalidade pode trazer risco de acidificação do oceano, o que seria desastroso para o meio ambiente (CRES; PASCON, 2017), ponto relevante que demonstra a importância de um trabalho que estude os aspectos da responsabilidade civil.

Segundo Cres e Pascon (2017), a estocagem pode incluir o uso de poços desativados de gás natural ou de petróleo, de formações de folhelho com alto teor de matéria orgânica, de estratos rochosos de carvão e de salinas subterrâneas. Os autores apresentam, contudo, limitações ao processo, pois ao serem utilizados para o aumento de pressão para bombeamento do produto remanescente em poços, a pressão da reserva se mantém inferior à pressão original, não havendo garantia de fonte de CO₂ próxima ao poço desativado.

No âmbito industrial já existem estudos sobre a separação dos gases de exaustão produzidos através de um sistema de filtros coletores do gás carbônico e, quando comprimido, o gás pode ser transportado e injetado em reservatórios geológicos, tais como campos de petróleo maduros (já explorados ou em fase final de exploração), aquíferos salinos (lençóis de água subterrânea com salmoura⁴ não aproveitável) ou camadas de carvão que foram encontradas no solo. (TONON, 2016).

Portanto, entende-se que as tecnologias de CCUS resumem-se em coleta e concentração do dióxido de carbono produzido em fontes industriais e de energia, transporte do gás concentrado e, por fim, estocagem fora da atmosfera por um longo período de tempo, implicando na possibilidade de utilização de combustíveis fósseis com baixas emissões de gases do efeito estufa (IPCC, 2011).

As atividades de estocagem de CO₂, embora envolvam uma tecnologia que se apresenta como salvaguarda do meio ambiente, também possuem um viés negativo, pois no seu desenvolvimento podem ser causados danos ambientais; assim sendo, esta atividade se submete às regras da responsabilidade civil ambiental. A responsabilidade ambiental possui diversas dimensões, podendo ser cível, administrativa e/ou penal. O presente estudo se realizará sob o aspecto da responsabilidade ambiental civil objetiva.

De acordo com a jurisprudência do Supremo Tribunal Federal (STF), ao Estado cabe

⁴ Solução aquosa existente naturalmente em formações rochosas que não são passíveis de qualquer utilização.

implementar políticas públicas fundadas na Constituição Federal, a fim de cumprir seus encargos político-jurídicos de caráter vinculante, cuja omissão pode comprometer a eficácia e a integridade de direitos individuais e/ou coletivos (STF, 2017). A cláusula de proibição de retrocesso em tema social relativo “à interpretação da legislação existente, à determinação de tratamento diferenciado de certas situações em prol da igualdade e à limitação ao Poder Legislativo”, segundo Netto (2010, p. 101), no processo de sua concretização, impede que, uma vez atingido o reconhecimento de tais prerrogativas, sejam reduzidas ou suprimidas, exceto na hipótese em que políticas compensatórias sejam implementadas pelas instâncias governamentais.

Já para Thomé (2014), o Estado está vinculado a deveres de proteção ambiental, tendo a sua liberdade de atuação limitada por medidas administrativas e legislativas relacionadas à utilização de recursos naturais. Deve o Judiciário controlar a atuação dos demais poderes com relação à observância do direito fundamental ao meio ambiente equilibrado. A cláusula de limitação do retrocesso assegura a fruição de direitos fundamentais, impedindo a supressão ou restrição dos níveis de efetividade vigente dos direitos fundamentais, o que previne a redução nos níveis de proteção ambiental já sedimentados no ordenamento jurídico.

Em vista de tal realidade, deve-se buscar meios de mitigação dos impactos ambientais de atividades industriais e extrativistas, a fim de que o desenvolvimento econômico do país seja fundado na utilização de todos os meios tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis para a promoção do bem-estar socioambiental. A redução de emissões de carbono na atmosfera terrestre apresenta-se como um mecanismo de redução de impactos, sendo a estocagem de carbono um dos métodos existentes, após a sua captura, podendo ser efetivado por meio de camadas de carvão, campos de petróleo e aquíferos salinos.

2.1 Problema

Como abordado, as tecnologias CCUS não são novos processos de mercado, sendo, inclusive, elementos consagrados em atividades dos setores de petróleo e gás natural, por exemplo, a prática de recuperação avançada com injeção de CO₂ (EOR – sigla em inglês que significa *enhanced oil recovery*), porém, a partir do reconhecimento de que tais tecnologias podem ser utilizadas como métodos eficazes de mitigação de CO₂, um novo cenário se apresenta, incluindo o estabelecimento de um novo setor de atuação industrial e comercial, o que traz a necessidade da delimitação da responsabilidade civil. Nesse contexto, especialmente

nas atividades de estocagem de carbono, haja vista que são atividades desenvolvidas à longo prazo, o problema de pesquisa que se firma é: qual a conformação da responsabilidade civil, do ponto de vista ambiental, da tecnologia de estocagem de gás carbônico no Brasil?

2.2 Hipóteses

As hipóteses que se apresentam, em resposta ao problema de pesquisa proposto, são as seguintes:

1. O atual sistema jurídico brasileiro não prevê um modelo específico para a responsabilização civil do agente que explora atividades potencialmente emissoras de gás carbônico, o que dificulta a mensuração dos riscos de investimentos em tais atividades; e
2. As tecnologias de estocagem de gás carbônico não têm sua natureza jurídica delimitada, o que dificulta o seu enquadramento em cada nível industrial, e, respectivamente, sua classificação nos níveis de competência da Federação brasileira para fins de delineamento das estruturas jurídicas pertinentes.

2.3 Objetivos

O desenvolvimento de um mercado e/ou cadeia de captura e armazenamento de gás carbônico, bem como suas atividades de uso, depende de uma fórmula regulatória que delimite as estruturas jurídicas pertinentes e adequadas ao incentivo de sua inserção nas políticas públicas desenvolvidas pelo Estado. Desta maneira, os objetivos geral e específico deste trabalho estabelecem-se conforme abaixo:

2.3.1 Objetivo Geral

Determinar quais são os institutos relacionados à responsabilidade civil ambiental na estocagem de gás carbônico e a presença de elementos pertinentes na política energética brasileira.

2.3.2 Objetivos Específicos:

Os objetivos específicos estabelecem-se em:

1. Coletar dados sobre as tecnologias CCUS disponibilizadas em bases de dados científicos consagrados;
2. Analisar os dados obtidos sob a óptica jurídica;
3. Refletir sobre as relações estabelecidas entre as tecnologias CCUS existentes e a responsabilidade civil a elas imputáveis;
4. Estabelecer a responsabilidade civil relativa à utilização das tecnologias CCUS e seus limites;
5. Analisar a experiência internacional de países selecionados e verificar a aplicabilidade à situação brasileira;
6. Verificar mecanismos existentes de prevenção e controle aplicáveis a atividade de CCUS

2.4 Metodologia e forma de análise dos resultados

A metodologia empregada para a estruturação desta dissertação é a de pesquisa de revisão bibliográfica qualitativa, pois buscou-se identificar e examinar rigorosamente as tecnologias CCUS e a responsabilidade civil, a fim de delimitá-la e diferenciá-la de outras categorias similares, por meio de uma compreensão global e inter-relacionada com fatores variados, dentro do contexto analisado. Portanto, este estudo apresenta alto conteúdo descritivo, reinterpretado de acordo com as hipóteses apresentadas a sua natureza jurídica, o alcance e as interpretações possíveis para o fenômeno e suas consequências (MEZZAROBÀ, 2008).

O estudo também assumiu a modalidade de pesquisa teórica porque trabalhou com ferramental bibliográfico, contemplando revisão bibliográfica ampla, estruturada, suficiente e rigorosa para sustentar a abordagem do objeto estudado; assim como descritiva, realizando um diagnóstico do problema aventado (MEZZAROBÀ, 2008).

Buscou-se ainda promover uma revisão sistemática da literatura científica selecionada dentre os conjuntos existentes, por meio da identificação de um padrão comum de definição do fenômeno, para detectar as soluções possíveis para o problema da pesquisa. A revisão fundou-se em evidências e resultou numa síntese das constatações das pesquisas relacionadas ao problema específico desta dissertação de mestrado (BAPTISTA; CAMPOS, 2016). Tais

procedimentos adotaram ainda a realização de busca, seleção e tratamento de dados científicos de reconhecimentos nacional e internacional em fontes de pesquisa primárias e secundárias.

Primeiramente foram desenvolvidas coletas de dados seguidas de análise da conceituação das tecnologias estocagem de carbono e suas relações jurídicas, a fim de determinar o alcance de seus impactos no âmbito da regulamentação. Isso porque o estudo de sua natureza jurídica ajuda a categorizá-las e determinar sua essência, com o objetivo de classificá-las no universo de figuras existentes no Direito.

Em seguida, foram abordados os limites da responsabilidade civil e quais serão os impactos mais prováveis e as possíveis formas de indenização. O delineamento da responsabilidade teve a finalidade de determinar os efeitos oriundos de sua incidência no caso concreto, para que se possa analisar os riscos da infringência de normas jurídicas protetivas e os custos de tal resultado. Para tanto, analisou-se a legislação comparada de países selecionados.

Após, estudou-se a interface entre os órgãos ambientais e outros órgãos da administração pública que regulam as atividades CCUS, apontando o planejamento mais adequado para as possíveis competências, com o escopo de estruturar um modelo regulatório que atenda à necessidade de conferir segurança jurídica ao instituto sugerido.

2.5 Justificativa da escolha e da importância do tema

As atividades de estocagem de carbono são, enquanto técnicas geológicas e de engenharia, já bem conhecidas e estruturadas metodologicamente em seus usos, visto serem elementos eficazes de ação mitigatória das emissões de CO₂. Contudo, não há normas regulatórias que estabeleçam uma situação de segurança social, ambiental ou empresarial nesse sentido, o que faz, portanto, com que a criação de um novo setor econômico se torne intrincada, perante um cenário de riscos e incertezas, o que afasta potenciais investidores.

Há poucos estudos na literatura científica brasileira contemporânea que tratem especificamente sobre a questão das atividades de estocagem de carbono e sua caracterização jurídica nas áreas do Direito, Energia, Ciências Ambientais, Políticas Públicas ou Economia.

Os conhecimentos que se estabelecerão através deste estudo auxiliarão o estabelecimento do setor de CCUS através do reconhecimento da existência de responsabilidade civil nos seus empreendimentos, de forma a proporcionar os meios para a estruturação, o desenvolvimento e a perpetuação deste setor.

2.6 Estrutura do trabalho e contribuição para investigações futuras

A presente dissertação de mestrado apresenta-se estruturada em capítulos.

Inicialmente, na introdução, são apresentadas as diretrizes gerais do trabalho investigativo, a partir da declaração do problema de pesquisa; de suas possíveis hipóteses, dos objetivos (elencados em objetivo geral e objetivos específicos); da metodologia adotada para pesquisa; da forma de análise dos resultados adotada para tratamento dos dados e informações selecionados; e, por fim, através da justificativa sobre a realização desta investigação científica.

O primeiro capítulo aborda a questão das tecnologias CCUS, ou seja, tecnologias de captura, utilização e armazenamento de carbono; delimitando a conceituação e detalhando cada etapa do sequestro geológico.

O segundo capítulo trata especificamente da atividade de estocagem de gás carbônico, tema central deste estudo, detalhando no que consiste o armazenamento de carbono capturado, os mecanismos e meios de estocagem.

O terceiro capítulo examina o instituto da responsabilidade civil de modo amplo: conceituação, pressupostos, excludentes, fundamentos e espécies.

No quarto capítulo são desenvolvidos apontamentos específicos sobre a responsabilidade civil ambiental no Brasil e os meios processuais para a defesa ambiental; especificando o regramento aplicado às atividades que envolvam a estocagem de gás carbônico.

O quinto capítulo aborda a experiência e legislações acerca de CCUS de países selecionados, especificamente a responsabilidade civil de longo prazo nas atividades de estocagem de dióxido de carbono.

O sexto capítulo aborda aspectos relevantes da responsabilidade civil nas atividades estocagem de carbono, quais sejam, a questão da prevenção e controle de acidentes ambientais, que envolve o gerenciamento social dos riscos e a segurança; e a atividade de estocagem de carbono, com o fito de se averiguar há a necessidade de políticas (normas) no Brasil para regulamentar a tecnologia CCUS.

O trabalho é encerrado através de suas considerações finais.

Este estudo objetiva contribuir para a compreensão sobre a responsabilidade civil nas atividades de estocagem de CO₂ nos empreendimentos CCUS, de forma a proporcionar os meios para a estruturação, o desenvolvimento e a perpetuação do nascente setor.

Ressalta-se, neste momento, que o assunto abordado nesta dissertação de mestrado é novo, e como tal, carece de mais trabalhos investigativos que apresentem profundidade e tratem de aspectos aqui não abordados.

3 A CAPTURA, TRANSPORTE, UTILIZAÇÃO E ESTOCAGEM DE CARBONO

O desenvolvimento de uma economia de baixo consumo de carbono vai além do atendimento a critérios de desenvolvimento mundial sustentável, caracterizando-se pelo baixo consumo de materiais e energia, baixa emissão ou poluição, com emissões mínimas de gases de efeitos estufa (GEE). Nesse contexto, as tecnologias de captura, utilização e armazenamento de carbono (CCUS)⁵, em especial, buscam a redução das emissões de GEE oriundas da queima de combustíveis fósseis nos processos industriais e na geração de energia, mitigando o impacto ambiental que tais processos trazem para o meio ambiente.

Atualmente, a limitação proposta como baliza para o aquecimento global a menos de 2°C, apontado como suficiente para evitar mudanças climáticas perigosas, é um dos objetivos da comunidade internacional. Estima-se que a redução de dióxido de carbono (CO₂) entre 60% e 80% até 2050, em comparação com 1990, pelos países industrializados terá como resultado a limitação das mudanças climáticas (KARAYANNIS et al., 2014). Nesse sentido, o aumento ao longo do tempo das emissões cumulativas de CO₂ sugere que a alteração nas temperaturas globais é resultado das emissões de dióxido de carbono.

Muitos países buscam meios para minorar ou alterar a quantidade de CO₂ prejudicial ao meio ambiente. Medidas eficazes para refrear o risco de mudanças climáticas perigosas precisarão restringir as emissões cumulativas de CO₂, ademais, as emissões negativas, que são processos industriais que consomem mais dióxido de carbono do que emitem, serão necessárias no caso das emissões cumulativas de CO₂ ultrapassarem os limites aceitáveis (MOHD et al., 2013).

Para Workman et al. (2011), as emissões totais de dióxido de carbono (CO₂) ao longo de um período prolongado de tempo poderiam ser mais significativas do que as diferenças entre vias particulares de emissão para determinar como o clima global pode mudar em resposta às emissões de CO₂. As tecnologias que afetam as emissões negativas podem também ser utilizadas para compensar as emissões adicionais de novas produções de setores nos quais as emissões de gases com efeito de estufa são difíceis ou impossíveis de se reduzir para além dos limites adequados, ainda relativamente elevados.

Conforme ensinam Chalmers e Gibbins (2011), a captura, uso e armazenamento de carbono apresentam elevado potencial na redução das emissões globais de CO₂, pois possuem

⁵ *Carbon capture, use and storage.*

a característica única de manter o carbono fóssil retido através de armazenamento no solo, permitindo ainda por tempo considerável a utilização de combustíveis fósseis em período de transição para o cenário de sua substituição por combustíveis alternativos que emitam menores quantidades de gás carbônico, através do armazenamento em segurança do CO₂ produzido em uma formação geológica. As versões iniciais das tecnologias-chave estão maduras e podem ser aplicadas na construção de plantas em escala comercial integradas, sendo o seu pleno potencial considerável contribuinte para os esforços globais de mitigação dos riscos de alterações climáticas perigosas (CHALMERS; GIBBINS, 2011).

Ravagnani e Suslick (2008) apontam para a existência de três procedimentos para redução das emissões de carbono antropogênico⁶: (1) promoção da eficiência energética, produzindo menos CO₂ por unidade de emprego de energia na indústria, no transporte e em setores residenciais; (2) descarbonização do fornecimento de energia por meio da utilização de fontes de energia renováveis ou alternativas, e (3) remoção ou captura de CO₂ decorrentes de resíduos para subsequente armazenamento, ou seja, sequestro⁷ de carbono.

Segundo Nor et al. (2016), no processo de CCUS existem basicamente três segmentos principais, a captura, o transporte, o uso e o armazenamento. O processo de captura é composto pela captura, secagem e compactação do CO₂ de fontes de descargas estacionárias. Em processos de queima de combustíveis, o CO₂ pode ser capturado após a ignição ou descarbonização dos combustíveis antes de suas queimas. Na etapa de transporte, há necessidade de navios, carbidutos ou barcos, tendo em vista a distância entre os locais de captura e armazenamento. Além do armazenamento no mar, investiga-se a possibilidade de carbonação mineral e armazenamento geológico a fim de se obter a viabilidade econômica.

A CCUS pode ser implementada por meio de diferentes abordagens, tais como a captura por pós-combustão⁸ (PCC) de carbono, a captura por pré-combustão⁹ (PRCC) de carbono e a captura por oxicomustão¹⁰ (OCC) de carbono, onde diferentes processos para separar o CO₂ das misturas de gases são empregados, como absorção química, absorção física, adsorção, separação por membrana, e *loop* químico, principalmente através do *loop* de cálcio, que utiliza como base o óxido de cálcio (CaO) (ROMEIRO-CONTURBIA, 2014). Implementar uma atividade CCUS através de PCC com base na absorção química oferece alguns benefícios em

⁶ Originado através de ações humanas.

⁷ Para este estudo, os termos sequestro de carbono e captura de carbono são utilizados como sinônimos.

⁸ Em inglês *post-combustion carbon capture*.

⁹ Em inglês *pre-combustion carbon capture* ou *afterburner*.

¹⁰ Em inglês *oxy-combustion carbon capture*.

comparação com outros processos, como a dependência de tecnologias estabelecidas e capacidade para ser adaptada às usinas existentes e plantas industriais com modificações mínimas. Muitos projetos de CCUS de primeira geração devem ser implementados através do PCC (OKO et al., 2017).

Figura 4 – Sistemas de captura de CO₂

Fonte: IPCC, 2005, p. 108.

Os processos acima elencados serão detalhados a seguir na seção “A Captura de Carbono”.

3.1 A captura de carbono

A captura de carbono é uma tecnologia na qual ocorre transladação do carbono disperso ou em vias de ser espalhado da atmosfera para a biosfera, hidrosfera ou litosfera, com o escopo de retroceder o impacto ambiental causado pelo efeito estufa provocado pelo acúmulo de CO₂ na atmosfera e o aumento da temperatura global, o que a longo prazo inviabilizaria a vida na Terra (JÚNIOR et al., 2013).

O processo de captura pode ocorrer de modo indireto ou direto. No modo indireto de captura de carbono, o processo se estabelece de maneira natural, na qual o CO₂ é filtrado do ar atmosférico através da vegetação, utilizando-se dos processos naturais de respiração e fotossíntese dos vegetais; enquanto a captura direta de carbono se dá através da utilização de

técnicas de captura e filtragem do gás carbônico originado de diversas fontes antes de sua emissão para o ambiente, evitando, assim, a mistura do CO₂ à massa atmosférica.

Figura 5 – Ciclo do CO₂

Fonte: ROBERT, 2001, p. 18.

A captura de CO₂ que se encontra dissolvido na atmosfera envolve a separação de um gás que se encontre parcialmente sobre baixa pressão, de uma mistura entre gases inertes e não tão inertes, podendo ser conduzida por meio de algumas técnicas, dentre as quais a separação por membrana, condensação seletiva e abrasão química. Em razão da baixa pressão parcial do ambiente onde se encontra o CO₂ atmosférico, os métodos a serem utilizados dependem do cumprimento dos requisitos exigidos para pressurização em grandes quantidades, o que acaba por tornar o processo inviável economicamente. Como resultado, deve-se perquirir pela metodologia viável de captura de ar e, direta ou indiretamente, os métodos de captura de ar que dependam de algum tipo de depuração química (WORKMAN et al., 2011).

O atual cenário de emissões de CO₂ inviabiliza a dependência exclusiva da captura indireta, o que faz, portanto, com que sejam primordiais a ampla utilização das tecnologias diretas de captura e o investimento em constante melhora de uso e aplicações.

3.2 Tecnologias de captura de carbono

O processo de retirada do dióxido de carbono da atmosfera pode ser realizado de modo direto ou indireto, ou seja, por meio de bombardeamento ou de forma natural (REZENDE et al., 2002). Ele é direto quando há captura e armazenamento do carbono através da utilização de tecnologias desenvolvidas ou adaptadas para este fim, e indireto por meio da fixação do CO₂ atmosférico através da vegetação. Assim, o processo compreende as etapas de captura, transporte e armazenamento.

Atualmente, existem três tecnologias desenvolvidas e disponíveis para a captura de CO₂: a captura pós-combustão; a captura pré-combustão e a captura por oxidação.

3.2.1 Captura Pós-Combustão (PCC)

A captura por pós-combustão apreende o dióxido de carbono gerado após a queima dos combustíveis fósseis, que é resíduo dos processos industriais, sendo o modelo de captura mais aplicado nas fontes estacionárias emissoras do gás (ROCKETT, 2011).

O processo típico de absorção pós-combustão (Figura 6) pode ser ainda melhorado através de reconfigurações dos atuais processos empregados e/ou da integração efetiva de calor residual com a usina de energia (cogeração), sendo a tecnologia de captura de CO₂ atualmente mais madura, promovendo a separação de CO₂ através da utilização de solventes à base de amina, tecnologia plenamente desenvolvida e dominada, portanto, madura em algumas indústrias quando ocorreu a publicação do IPCC *Special Report*, em 2005 (IPCC, 2005).

Figura 6 – Captura pós-combustão de CO₂

Fonte: IPCC, 2005.

A tecnologia de pós-combustão de captura do carbono é dividida em cinco grupos: (1) absorção; (2) adsorção; (3) membranas; (4) biológico, e (5) outros, conforme a Figura 7.

Figura 7 – Grupos de tecnologias de captura de carbono por pós-combustão.

Fonte: EPRI, 2009.

3.2.2 Absorção

A absorção pode ser conceituada como um processo em que há a concentração de uma substância líquida em um solvente também líquido, sendo o CO₂ retido por este solvente, ou seja, é um fenômeno de solubilização puramente físico estabelecido a partir da reação entre o componente e o solvente, onde ocorre uma reação de pluralidade dos constituintes do solvente (LICKS, 2008). O processo de absorção inclui um sistema de arrefecimento absorvente de vários estágios para melhorar a cinética da absorção e integra o calor liberado durante o processo com o calor necessário para sua regeneração, com temperatura de 95°C o consumo energético de regeneração de 2,3 GJ / t de CO₂ (GLOBAL CCS INSTITUTE, 2014).

3.2.3 Adsorção

A adsorção é fenômeno no qual as moléculas presentes em um fluido concentram-se na superfície de um sólido, onde as moléculas são atraídas para a zona interfacial diante da existência de forças atrativas não compensadas em sua superfície (RATHMANN, 2017). A temperatura, a natureza e a concentração da substância adsorvida (o adsorvato), a natureza e o estado de agregação do sólido (o adsorvente), bem como o fluido em contato com o adsorvente (o adsorativo), influenciam na tensão superficial das soluções/misturas e na intensidade do fenômeno, havendo duas modalidades de adsorção: a química e a física (DANTAS et al., 2009).

Na adsorção química ocorre a ligação química entre as valências¹¹ livres do sólido e do adsorvato, havendo um rearranjo de forças restrito à camada superficial do adsorvente, sendo uma adsorção usualmente irreversível (DANTAS et al., 2009).

Na adsorção física há interação molecular, envolvendo dipolos¹² permanentes e dipolos induzidos, assemelhando-se ao fenômeno de condensação. Ela não apresenta alteração em sua natureza, sendo um fenômeno de caráter não-específico e não localizado, pois as moléculas adsorvidas não estão localizadas em posições específicas na superfície do sólido. É considerada um fenômeno espontâneo (DANTAS et al., 2009).

No sequestro de dióxido de carbono baseado em adsorção, ocorre, na primeira etapa, uma separação eficiente do CO₂ dos demais gases presentes na mistura gasosa corrente (DANTAS, 2009).

3.2.4 Membranas

A concentração do CO₂ a ser separado passa por finas barreiras, onde ocorre o processo de separação através da utilização de uma membrana, que pode ser de material biológico ou de material sintético (podendo este material sintético ser de origem orgânica, chamado então polimérico, ou de origem inorgânica), consistindo na permeabilidade seletiva de certos gases em materiais poliméricos, que funcionam como finas barreiras (PEIXOTO, 2015). As membranas podem ter constituição porosa ou semiporosa, ocorrendo a separação por intermédio de interações físicas ou químicas entre o gás e a membrana, onde alguns componentes do gás atravessam a membrana mais rapidamente que outros (LICKS, 2008).

3.2.5 Biológica

A captura biológica é realizada naturalmente pelo ambiente através da vegetação e seus sumidouros, principalmente através de algas, microalgas e das cianobactérias. Há também outros modos de captura de carbono, contudo, não são tão viáveis economicamente, tais como a mineralização e a separação do carvão.

¹¹ Capacidade apresentada pelos átomos dos elementos químicos se combinarem entre si para estabelecerem ligações químicas e formarem substâncias.

¹² Molécula que apresenta campo elétrico decorrente de diferença de eletronegatividade entre seus polos.

3.2.6 Outras

Os processos de captura de carbono por pós-combustão são o foco dos projetos da nova geração e concentram-se na redução de custos através do desenvolvimento de tecnologia em três áreas gerais: materiais, processos e equipamentos. Os solventes avançados baseados em amina em testes em escala piloto mostraram melhorias de desempenho consideráveis em relação aos solventes a base de monoetanolamina (MEA), promovendo-se a redução da penalidade de energia em até 25%. Assim, uma série de conceitos diversos para sistemas baseados em solvente, utilizando mecanismos de pressão de temperatura ou pressão de atmosfera, estão progredindo. (GLOBAL CCS INSTITUTE, 2014).

3.2.7 Captura pré-combustão

A captura por pré-combustão apreende o dióxido de carbono gerado em momento anterior à queima dos combustíveis aplicados aos processos industriais, sendo o segundo modelo de captura mais aplicado nas fontes estacionárias emissoras do gás (Figura 8).

Fonte: IPCC, 2005.

A maioria das tecnologias de pré-combustão são aplicadas a combustíveis sólidos, podendo ser aplicadas também ao gás natural. O principal foco de seu uso é a melhoria do desempenho de solventes absorventes físicos e químicos, bem como a mistura dos dois, agregando várias novas tecnologias que incluem os processos de utilização de carbonato de amônio e bicarbonato de amônio (GLOBAL CCS INSTITUTE, 2014).

Outro processo estabelecido para pré-combustão é a integração do processo de captura com a reação *Water Gas Shift* (WGS), que elimina o número de componentes e minimiza o consumo de vapor no processo geral, visando a redução dos custos. Ademais, as membranas e os solventes de sólidos estão sendo desenvolvidos para a pré-combustão utilizando os mesmos conceitos e materiais similares aos aplicados na pós-combustão, adaptados às altas temperaturas e à composição de gás de tratamento (GLOBAL CCS INSTITUTE, 2014).

Já as tecnologias criogênicas de separação de CO₂ ainda estão em fase de desenvolvimento, tornando-as imaturas para aplicações de pré-combustão (GLOBAL CCS INSTITUTE, 2014).

3.2.8 Captura por Oxicombustão

A captura por oxicombustão processa o combustível a ser utilizado no processo industrial junto com oxigênio (O₂), ou seja, o ar atmosférico normalmente presente na queima combustível é extraído e em seu lugar injetado apenas O₂. Esse processo resulta principalmente em vapor d'água e CO₂, que podem ser facilmente separados, além de haver maior produção de gás carbônico. Esse modelo de captura é o menos aplicado nas fontes estacionárias, pois requer separação prévia de O₂ do ar atmosférico, o que exige tecnologia diferenciada e de valor econômico mais elevado.

A oxicombustão envolve uma série de componentes adicionais e mudanças na configuração da planta industrial com relação às instalações de caldeiras, demandando integração e otimização de processos. A oxigenação avançada concentra-se em reduzir o custo e o poder da unidade de separação de ar (ASU)¹³ ou unidade de geração de oxigênio, reduzir a quantidade de CO₂ reciclável e otimizar a unidade de purificação de CO₂ (CPU)¹⁴. Aponta-se que as membranas de transporte para a separação de oxigênio podem reduzir custos quando comparadas à separação criogênica, contudo, estas ainda estão em fase inicial de desenvolvimento (GLOBAL CCS INSTITUTE, 2014) (Figura 9).

Fonte: IPCC, 2005.

O processo de oxicombustão pressurizada apresenta maior eficiência de desempenho, compacidade de equipamentos e redução do poder de compressão de CO₂ em relação às caldeiras convencionais de pressão atmosférica, tendo sido testado em pequena escala para

¹³ Air separation unit.

¹⁴ CO₂ purification unit.

combustíveis de carvão e resíduos, enquanto a combustão química de *looping* (CLC)¹⁵ abrange um redesenho total da caldeira a vapor, com o potencial de vantagens significativas para futuras usinas de energia (GLOBAL CCS INSTITUTE, 2014).

3.3 Transporte de CO₂

O transporte de CO₂, após a compressão, pode ser efetivado por navios, caminhões, com o compartilhamento global de *design* de *pipeline*, construção e experiência de operação através de diretrizes de melhores práticas da indústria e padrões internacionais. O método mais comum de transporte de grandes quantidades de CO₂ envolvendo projetos CCUS é por meio de carodutos. Nos Estados Unidos (EUA), existem cerca de 6.500 km de dutos terrestres para transporte de CO₂, representando mais de 50 diferentes redes de dutos, transportando cerca de 68 milhões de toneladas por ano (Mtpa)¹⁶ de CO₂, principalmente para fins de recuperação avançada de óleo (EOR)¹⁷, sendo que esta prática se efetiva desde o início da década de 1970 (GLOBAL CCS INSTITUTE, 2014).

A concepção e operação de um duto de CO₂ é mais complexa do que dos dutos para o transporte de hidrocarbonetos, devido às propriedades termodinâmicas altamente não lineares do CO₂, o que normalmente é feito com o fluido em sua fase densa. Assim, o CO₂ captado em estações de energia de combustíveis fósseis pode conter diferentes proporções e/ou tipos de impurezas daquelas encontradas nas fontes de CO₂ natural ou antropogênico transportadas em condutos de CO₂ existentes. Ressalte-se que, no projeto de um duto de CO₂, o controle de propagação de fratura deve ser mais minucioso, tendo-se em vista a sua maior suscetibilidade a fraturas dúcteis de longa duração do que em gasodutos de hidrocarbonetos, já que o controle de propagação de fratura tem implicações a partir do diâmetro, da espessura da parede e do grau da temperatura da tubulação, além da energia de impacto aferida através do teste Charpy V-notch¹⁸ do aço do caroduto (CVN), o que determina o design dos dutos de CO₂ (COSHAM; EIBER, 2008).

¹⁵ *Chemical combustion of looping.*

¹⁶ *Million tonnes per annum.*

¹⁷ *Enhanced Oil Recovery Process.*

¹⁸ O teste Charpy V-notch mensura a a energia de impacto, em joules, de um material. Este teste de impacto, em geral, é utilizado para a determinação da transição dúctil-frágil que um material sofre a partir do decréscimo de temperatura.

Segundo Seevam et al. (2008), os projetos de CCUS concentram-se em fontes antropogênicas de grandes poluidores, como as usinas de energia de combustíveis fósseis, envolvendo uma necessária e apurada infraestrutura de transporte de CO₂, tubulações *onshore* e *offshore* de longas distâncias. As usinas de energia produzem nos processos de combustão dos fósseis diferentes combinações de impurezas, dependendo da tecnologia de captura utilizada. Portanto, as tubulações de CO₂ devem ser projetadas para as condições específicas de cada projeto, pois a presença de impurezas impacta significativamente as propriedades físicas do CO₂ transportado, afetando o projeto da tubulação, a potência do compressor/bomba, a distância de repressurização e a capacidade do caroduto. Essas impurezas também podem ter implicações no controle da fratura do encanamento.

Na visão de Zhang et al. (2006), o transporte de CO₂ por intermédio de carodutos é realizado na forma de um fluido supercrítico¹⁹ ou no estado líquido sub-resfriado. Os resultados demonstram que subarrefecimento do líquido maximiza a eficiência energética no transporte e minimiza os custos logísticos do CO₂ em longas distâncias sob condições isotérmicas²⁰ e adiabáticas²¹ (BECK; SCHÖGL, 1995). O transporte em tais condições pode ser ideal em áreas de clima frio ou em situação de enterramento e isolamento da tubulação. Em climas muito quentes, a refrigeração periódica para arrefecer o CO₂ abaixo do seu ponto crítico de 31,1°C pode ser econômica.

De acordo com PARFOMAK et al. (2013), o transporte de CO₂ a longa distância pode ser considerado como o método mais comum, operando-se a temperatura ambiente e alta pressão, com estações de compressoras primárias e compressores de reforço localizados ao longo do caroduto. Geralmente, os gasodutos de CO₂ são semelhantes ao de gás natural, exigindo a mesma atenção para projetar, monitorar vazamentos e proteção contra sobrepressão, especialmente em áreas povoadas. O transporte de dióxido de carbono de captura para armazenamento é um aspecto vital de qualquer atividade CCUS, logo, operações seguras devem minorar a corrosão interna das tubulações e não devem estar sujeitas à corrosão interna,

¹⁹ Toda substância que se encontra em temperatura e pressão acima de seu ponto crítico, não existindo mais distinção entre suas fases líquida e gasosa. Um fluido supercrítico é efusivo através de sólidos, apresentando comportamento de gás, mas também apresenta comportamento de dissolução, característica de líquido (BECK; SCHÖGL, 1995). Ponto crítico corresponde a maior temperatura que uma substância pura é capaz de atingir mantendo a coexistência das fases líquida e gasosa (BECK; SCHÖGL, 1995).

²⁰ Modificação de volume e pressão sob temperatura constante (BECK; SCHÖGL, 1995).

²¹ Processo em que, em um sistema fechado, não há transferência de calor, ou seja, não há nem ganho e nem perda de calor para o ambiente (BECK; SCHÖGL, 1995).

devendo estas operações e suas tubulações serem submetidas a regulamentos rigorosos com relação à água e aos níveis de contaminantes na corrente de CO₂ (COLE et al., 2011).

O estudo de Skovolt (1993) indica que o transporte CO₂ em grandes distâncias tem um custo unitário razoável, onde o custo de transporte para um duto de grande diâmetro totalmente utilizado em extensão superior a 1.500 km é estimado em aproximadamente \$6 por tonelada, enquanto o transporte através de um duto de 16 polegadas, correspondente ao CO₂ de uma única estação de energia de 1.000 MW de gás, sobre a mesma distância, é de aproximadamente \$42 por tonelada. Nesse sentido, o estabelecimento de um sistema integrado de transporte de CO₂ em grande escala através de fronteiras de países e continentes é uma possibilidade, mas a perspectiva é a longo prazo.

O sistema de transporte de CO₂ deve ser flexível e econômico, face à incerteza do crescimento de tal mercado. Apresentando-se o transporte de navios como uma alternativa ao transporte de dutos, incluem-se elementos da cadeia de transporte, a saber, liquefação, armazenamento intermediário, sistema de carregamento, navio semi-pressurizado e sistema de descarga *offshore* (ASPELUND et al., 2006). Em várias regiões do mundo, o transporte de navios pode ser uma alternativa, especialmente onde locais de armazenamento em terra e perto da costa não estão disponíveis.

Para Aspelund et al. (2006), o transporte em grande escala, para ser econômico, depende da utilização de embarcações semi-pressurizadas de cerca de 20.000 m³ a pressões perto do ponto triplo²² (5,17 bar e -56,6°C), o que proporciona a maior densidade no estado líquido e reduz o custo da unidade de transporte. O sistema de descarga *offshore* transportará o CO₂ líquido do navio dedicado para a cabeça do poço na plataforma à temperatura e pressão necessárias. Na fase de descarga, o navio se conecta a um sistema de carregamento de torres submersas (STL). Nas linhas de transferência, bombeia-se o CO₂ a uma pressão alta o suficiente para evitar a transição de fase nas linhas de transferência. O CO₂ é trazido por meio de um tubo flexível suspenso flexível, uma tubagem submarina e uma tubulação isolada no eixo da plataforma do local de descarga para a parte superior da plataforma. Por fim, é bombeado para

²² Na termodinâmica o ponto triplo de uma substância é um estado particular, determinado por valores de temperatura e pressão nos quais as três fases da matéria: sólido, líquido e gasoso, coexistem em equilíbrio. No caso específico do CO₂ o ponto triplo encontra-se na temperatura de 216,55 °K e à pressão de 517 kPa (BECK; SCHÖGL, 1995). No Sistema Internacional de Unidades (SI) o Pascal (Pa) é a unidade padrão de pressão e tensão e equivale à força de 1 Newton (N) aplicada uniformemente sobre uma superfície de 1 m² (BECK; SCHÖGL, 1995).

a pressão de injeção e aquecido, a fim de se evitar problemas operacionais, antes de ser injetado no reservatório para EOR usando poços convencionais de injeção de água.

No entendimento de Lee et al. (2012), o transporte em navios de longa distância tem como processo essencial a liquefação de CO₂, no qual emprega-se um refrigerante externo ou expansão de líquido, seguido de compressão em vários estágios para obter CO₂ liquefeito à baixa pressão, consumindo-se quantidades consideráveis de energia, o que representa um obstáculo à comercialização, já que este processo acaba por elevar os custos finais. Assim, o processo de liquefação de CO₂ precisa ser cuidadosamente pesquisado e projetado para reduzir a energia operacional. Nesse sentido, o transporte de larga escala por navios, feito em embarcações semi-pressurizadas a pressões perto do ponto triplo (5,17 bar e -56,6°C), proporciona a maior densidade do produto no estado líquido, o que reduz o custo unitário de transporte, havendo necessidade de construção comercial de terminais operadores de CO₂, armazenamento intermediário e uma rede de carbodutos curtos (GAO et al., 2011).

Já para Yoo et al. (2013), a introdução do transporte do CO₂ por navio é uma opção secundária para distâncias longas e quantidades pequenas, em razão de ser mais econômico o transporte por gasodutos. O transporte de CO₂ por navio deve ser seriamente reconsiderado como um método de transporte eficaz para projetos de CCUS comercializados, bem como de projetos de demonstração precoce. Para os autores, o recolhimento de CO₂ por várias fontes e o transporte em grande volume têm o papel de reduzir o preço de mercado do produto e os processos de liquefação de CO₂ em vários estágios são desenvolvidos para reduzir o custo total de compressão e transporte de CO₂, sendo que os resultados da avaliação econômica do transporte de CO₂ mostram que o transporte de CO₂ é economicamente competitivo para dutos de CO₂, mesmo na distância de 200 a 300 km para uma grande quantidade de transporte de CO₂, como 10 Mt CO₂/ano ou 20 Mt CO₂/ano.

Observe-se, como exemplo, o caso da Europa, onde o transporte em pequena escala ocorre por meio de navios. Já, o transporte em larga escala é comumente efetivado junto com o embarque de gás liquefeito de petróleo (GLP), uma área que se desenvolveu em uma escala global nas últimas décadas (GLOBAL CCS INSTITUTE, 2014).

3.4 Utilização de CO₂

O dióxido de carbono pode ser utilizado como matéria-prima em diversos produtos com valor no mercado, por exemplo, combustíveis, produtos químicos, processamento de alimentos, fabricação de bebidas carbonatadas, recuperação avançada de óleo, materiais de construção e a conversão de eletricidade renovável em hidrocarbonetos; além de seu valor na minoração de emissões de GEE e, via de consequência, da mudança climática.

A utilização do CO₂, na cadeia de atividades CCUS gera, inclusive, “emissões negativas”; pois, ao fazer uso do gás carbônico capturado originado na atmosfera ou a partir de biomassa produzida de forma sustentável e ao ser armazenado, por exemplo, em um material carbonatado, removerá CO₂ da atmosfera.

Em razão disso, nos últimos 10 (dez) anos, principalmente na América do Norte e na Europa, houve um aumento acentuado na quantidade de gastos públicos e privados em programas e projetos de P & D (pesquisa e desenvolvimento) usando o CO₂ para fabricar produtos valiosos, segundo informações da Agência Internacional de Energia (IEA, 2019).

3.5 Estocagem de CO₂

O sequestro de CO₂ refere-se à captura e estocagem do gás em longo prazo, a fim de limitar sua emissão na atmosfera. Uma das modalidades de armazenamento possíveis para o gás captado é o armazenamento geológico, que se dá através da injeção do CO₂ em formações geológicas pré-determinadas e identificadas enquanto formações-alvo específicas para este fim, incluindo reservatórios de petróleo e gás empobrecidos, depósitos de carvão inexploráveis e aquíferos salinos profundos.

A estocagem de CO₂ em formações geológicas é efetivada através da aplicação de métodos de trapeamento, que podem ser, conforme orientações do IPCC (2007), corroborado por Benson (2005), de três tipos: físico, geoquímico e mineral.

Por ser a estocagem geológica de CO₂ o ponto principal desta dissertação de mestrado, ela será tratada mais detalhadamente no capítulo a seguir.

3.6 Conclusão do capítulo

Em meio às mudanças climáticas e à necessidade mundial de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e estabelecer políticas de desenvolvimento mais justas e equitativas, surgem novas tecnologias a fim de alavancar o desenvolvimento sustentável aliado à manutenção dos recursos naturais e do equilíbrio ambiental (MONTEIRO JÚNIOR, 2015).

Nesse contexto, apresentam-se as tecnologias de captura, utilização e armazenamento de carbono (CCUS)²³, que, em especial, buscam a redução das emissões globais de CO₂, ao capturar o dióxido de carbono e mantê-lo retido através de armazenamento em formações geológicas, ou seja, refreia-se o lançamento de CO₂ para a atmosfera, permitindo, assim, ainda por tempo considerável, a utilização de combustíveis fósseis, até que seja realizada a sua substituição por fontes alternativas de combustíveis que emitam menores quantidades de gás carbônico.

O sequestro geológico de carbono é realizado por etapas que compreendem a captura, transporte e armazenamento geológico. A captura pode ser realizada por pós-combustão²⁴ (PCC) de carbono, por pré-combustão²⁵ (PRCC) de carbono e por oxidação²⁶ (OCC) de carbono, onde diferentes processos para separar o CO₂ das misturas de gases são empregados, como absorção química, absorção física, adsorção, separação por membrana, e *loop* químico, principalmente através do *loop* de cálcio, que utiliza como base o óxido de cálcio (CaO).

O transporte do CO₂ pode ser efetivado de diversos modos, após a compressão, por navios, caminhões e carbidutos (tubulações *onshore* e *offshore*); atualmente, o método mais comum e econômico de transporte de grandes quantidades de CO₂ envolvendo CCUS é por meio de carbidutos. A estocagem de carbono em formações geológicas é realizada por métodos de trapeamento físico, geoquímico e mineral.

A tecnologia CCUS apresenta-se como uma ferramenta que auxiliará na redução da emissão de GEE e, em consequência, na defesa do meio ambiente ecologicamente equilibrado e sadio. Todavia, em todas as etapas de implementação da referida tecnologia deve ser realizado o monitoramento do gás carbônico, em especial na fase de estocagem (atividade de armazenagem por longo prazo), a fim de minimizar os riscos de danos ambientais pelo vazamento do CO₂. A atividade de estocagem e as suas peculiaridades, por serem o tema central deste trabalho, serão detalhados no próximo capítulo.

²³ *Carbon capture, use and storage*

²⁴ Em inglês *post-combustion carbon capture*.

²⁵ Em inglês *pre-combustion carbon capture* ou *afterburner*.

²⁶ Em inglês *oxy-combustion carbon capture*.

4 ESTOCAGEM DE CARBONO

A sustentabilidade é tema recorrente nos debates sobre os modos de desenvolvimento a serem traçados pela sociedade moderna, onde há um elevado incentivo ao consumo, o que gera a busca por novos modos de produção que disponibilizem menos excedentes. Tal situação impacta o planeta na medida em que há mais uso de matérias primas, com consequente aumento do impacto no meio ambiente, por isso, observa-se a procura por meios alternativos substitutos que considerem a diminuição da emissão de carbono para atender às necessidades geradoras de bem-estar aos indivíduos em geral. No entanto, como posto no capítulo anterior, o desenvolvimento de uma economia de baixo consumo de carbono vai além do atendimento aos critérios para o desenvolvimento mundial sustentável, caracterizando-se pelo baixo consumo de materiais e energia, baixa emissão/poluição, com emissões mínimas de gases de efeitos estufa (GEE), assim como pela adoção de tecnologias de CCUS.

As tecnologias CCUS representam um conjunto altamente eficaz para controle das emissões de CO₂ na atmosfera, auxiliando nas metas de mitigação exemplificada por Karayannis et al (2014), que estimam reduções até 2050, estabelecidas entre 60% e 80% do CO₂ emitido²⁷.

Sendo o acúmulo de CO₂ na atmosfera ao longo do tempo um dos principais responsáveis pelas alterações climáticas, consoante o IPCC (2005), o que representa um problema global, cabe a busca por modos eficazes que reprimam e restrinjam as emissões antrópicas que elevam significativamente tais alterações.

Nesse contexto, as tecnologias CCUS representam um dos grandes potenciais para mitigar as emissões de CO₂ e dar-lhes destino seguro a longo prazo, o que se efetiva através de processos de estocagem. Há diversos processos de estocagem de CO₂ capturado, porém, este estudo foca na estocagem geológica, que é a forma capaz de armazenar o gás no subsolo, contido em formações geológicas, que, segundo Chalmers e Gibbins (2011), é o método capaz de contê-lo por tempo considerável, até que se desenvolvam combustíveis alternativos aos atuais.

²⁷ Em comparação com dados de 1990 relatados pelo autor.

4.1 Estocagem de CO₂

A quantidade de dióxido de carbono projetada para armazenamento no século XXI poderá atingir até 2.200 gigatoneladas (Gton), dependendo dos cenários utilizados para a estabilização de concentração de gases de efeito estufa (IPCC, 2005). Por conseguinte, a produção de gás carbônico por processos industriais preocupa a sociedade por trazer substanciais prejuízos à qualidade de vida humana no decorrer do tempo, inserindo na agenda ambiental a preocupação para com a redução de sua emissão na atmosfera. No entanto, a captura do composto não é suficiente para o saneamento do problema ambiental, pois ainda há a questão da destinação final do resíduo oriundo de tais processos industriais.

Nesse cenário, a estocagem do gás carbônico insere-se no âmbito de sequestro de CO₂ a longo prazo, com o objetivo de limitar suas emissões na atmosfera, o que faz com que a destinação final do CO₂ torne-se ponto relevante de debates, não apenas na academia, mas pela sociedade em geral. Algumas soluções tecnológicas têm ganhado força como opção para o destino do CO₂, dentre elas, o armazenamento em reservatórios geológicos. O desenvolvimento de tecnologias que previnam a poluição pelo sistema produtivo compatibiliza o crescimento econômico e a proteção ambiental (CÂMARA et al., 2011). A figura 10 demonstra uma planta de sequestro geológico em atividades petrolíferas:

Figura 10 – Sequestro geológico

Devolvendo o carbono (CO₂) ao subsolo.

Fonte: SILVA, 2013.

Nesse sentido, o Painel Intergovernamental de Mudança do Clima (IPCC, 2005) aborda os métodos de armazenamento técnico potenciais, que são: armazenamento geológico (em formações geológicas (como campos de petróleo e gás, iminentes leitos de carvão e formações salinas profundas); armazenamento oceânico (diretamente liberado na coluna da água do oceano ou no fundo do mar) e fixação industrial de CO₂ em carbonatos inorgânicos. De acordo com Ravagnani e Suslick (2008), o armazenamento de CO₂ em formações geológicas inclui aquíferos salinos profundos, reservatórios de óleo e gás exauridos ou não, e as camadas de carvão. O espaço poroso da rocha é preenchido pelos fluidos em subsuperfície, como ocorre com a água, o óleo, o gás natural e o dióxido de carbono, entre outros²⁸.

A estocagem do carbono capturado através da utilização das tecnologias CCUS pode ser efetivada de diversos modos, sendo os mais representativos o aprisionamento hidrodinâmico, o aprisionamento por solubilidade e o aprisionamento mineral. A escolha pelo modo de estocagem mais adequado deve considerar em seu processo decisório diversos fatores, dentre eles a segurança do reservatório geológico e sua viabilidade econômica.

4.1.1 Conceito

A estocagem de CO₂ consiste no ato de armazenar ou conservar algo em depósito, tendo relevância jurídica quando há a presença de bem jurídico a ser protegido. Conforme ensina Rodrigues (2003, p. 115), bem jurídico significa “aquelas coisas que, sendo úteis aos homens, provocam a sua cupidez e, por conseguinte, são objetos de apropriação privada.”

A estocagem em substrato geológico é uma modalidade de estocagem que ocorre por intermédio da injeção do CO₂ em formações geológicas pré-determinadas e identificadas enquanto formações-alvo específicas para este fim, incluindo reservatórios de petróleo e gás empobrecidos, depósitos de carvão inexploráveis e aquíferos salinos profundos, consoante demonstra a Figura 11.

²⁸ “Large point sources of CO₂ include large fossil fuel or biomass energy facilities, major CO₂-emitting industries, natural gas production, synthetic fuel plants and fossil fuel-based hydrogen production plants (see Table SPM.1). Potential technical storage methods are: geological storage (in geological formations, such as oil and gas fields, unminable coal beds and deep saline formations), ocean storage (direct release into the ocean water column or onto the deep seafloor) and industrial fixation of CO₂ into inorganic carbonates.”

Figura 11 – Armazenamento Geológico de CO₂

Fonte: IPCC, 2005.

4.2 Mecanismos de estocagem

Para o efetivo armazenamento de CO₂ em formações geológicas são necessários alguns mecanismos:

(1) Trapeamento físico: no sistema geológico, a trapa ou armadilha pode ser do tipo estrutural, estratigráfica ou hidrodinâmica. Uma armadilha estrutural consiste em configurações geométricas de estruturas de rochas que acumulam o petróleo, não permitindo sua fuga. Podem ser domossalinos, flancos de homoclinais ou ainda, diversos tipos de superposição de dobras e falhas. A maior parte dos reservatórios descobertos pertencem a essa classe de trapa (IPCC, 2007; BENSON, 2005).

(1.a) Estrutural: consiste no armazenamento de CO₂ em reservatórios que sejam cobertos por rochas de capeamento, que são rochas de baixa permeabilidade, por exemplo, evaporitos e argilitos. Bacias de rochas sedimentares são as mais promissoras para o armazenamento, já que normalmente os reservatórios de óleo e gás e aquíferos salinos encontram-se nesse tipo de formação (IPCC, 2007; BENSON, 2005).

(1.b) Estratigráfica: as trapas estratigráficas decorrem do acunhamento da camada transportadora, ou ainda, pela existência de uma barreira impermeável ou diagenética, causando a retenção do petróleo e do gás (IPCC, 2007; BENSON, 2005).

(1.c) Hidrodinâmico: pode ocorrer em aquíferos salinos em que os fluidos migram com baixa velocidade, mas atingem longas distâncias. Ao ser injetado, o CO_2 tende a deslocar parte do fluido presente no reservatório, porém, permanece no topo, já que possui uma densidade menor do que a da água. Em longo prazo, o CO_2 é dissolvido e, então, passa a migrar com a água subterrânea na qual foi dissolvido (IPCC, 2007; BENSON, 2005).

(2) Trapeamento geoquímico: consiste em processos onde há uma reação do CO_2 injetado com a água presente no reservatório e com a rocha, com a sua dissolução na água sendo comumente empregada na recuperação avançada de petróleo (RAP).

(3) Trapeamento mineral: este processo envolve reação do CO_2 com minerais presentes nas formações geológicas para formar compostos sólidos estáveis, tais como carbonatos de cálcio, magnésio e ferro.

4.3 Meios físicos para estocagem

4.3.1. Aquífero salino

Aquíferos salinos profundos são rochas porosas que contêm água extremamente salgada e maior capacidade de armazenamento de CO_2 , consoante demonstram a Figura 12 e a Tabela 1.

Figura 12 – Aquífero
Fonte: MIDÔES, s.d.

Tabela 1 – Armazenamento de CO₂

Capacidade Estimada de Armazenamento de CO ₂ (Gt)		
Tipo de reservatório	Baixo	Alto
Campos de Petróleo e Gás	675	900
Minas de carvão inexploráveis	3-15	200
Formações salinas profundas	1.000	Incerto (possível 10 ⁴)

Fonte: IPCC, 2005.

Conforme o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2007), os aquíferos podem ser classificados quanto aos tipos de espaços vazios, ou seja, sem água, como poroso ou granular, fissural e cárstico, consoante demonstra a Figura 13.

Figura 13 – Classificação dos aquíferos de acordo com o tipo de porosidade da rocha

Fonte: IRITANI et al., 2012.

No tipo poroso, a água fica armazenada nos espaços entre grãos criados durante a formação da rocha; no fissural, a água circula pelas fissuras decorridas do faturamento das rochas relativamente impermeáveis (MMA, 2007); consoante observa-se na Figura 14.

Figura 14 – Porosidade e permeabilidade

Fonte: LNEG, 2011.

Quanto aos aquíferos classificados como cársticos, estes são formados em rochas carbonáticas, onde as fraturas podem ser grandes devido à dissolução do carbonato pela água, criando-se rios subterrâneos.

Segundo Juanes (2006), o primeiro candidato para utilização de estocagem em formação geológica é o aquífero salino, porque o aprisionamento capilar da fase de gás seco ocorre durante a inundação da água, quando a saturação do gás está diminuindo e a saturação de água aumenta à medida que invade o espaço do poro.

Dentro de um reservatório geológico os trajetos verticais do fluxo de CO_2 são criados enquanto a fase do gás migra lateralmente, longe dos poços de injeção e da parte superior do aquífero, devido às forças de fluatibilidade a ele inerentes. Durante a injeção do CO_2 na formação geológica, a saturação do gás aumenta no processo de drenagem, criando-se caminhos para os fluxos de gás na medida da mudança de sua saturação, enquanto na borda de arrasto de água desloca o gás em um processo de encharcamento (aumento das saturações de água). A presença de tal caminho leva à saída do gás e, subsequentemente, à sua captura. Um rastro de CO_2 residual imóvel é deixado para trás na pluma²⁹, uma vez que migra para cima (JUANES, 2006).

²⁹ Na hidrodinâmica pluma é uma coluna de fluido que se move no interior ou ao redor de outro fluido (BECK; SCHÖGL, 1995).

4.3.2 Reservatórios de óleo e gás

Segundo a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 1997), o campo de petróleo e gás natural é denominado como área produtora de petróleo ou gás natural, a partir de um reservatório contínuo ou de mais de um reservatório, a profundidades variáveis, abrangendo instalações e equipamentos destinados à produção, onde o poço é: (1) orifício perfurado no solo, através do qual se obtém ou se intenciona obter petróleo ou gás natural; e (2) orifício perfurado no solo para a introdução de uma camada subterrânea de água ou gás sob pressão. Veja a Figura 15 que demonstra o sistema de produção de petróleo *offshore*:

Figura 15 – Sistema de produção de petróleo *offshore*

Fonte: MORAIS, 2013.

Conforme a Resolução ANP nº 27, de 18 de outubro de 2006, que aprovou o regulamento técnico que define os procedimentos a serem adotados na desativação de instalações e especifica condições para devolução de áreas de concessão na fase de produção, o abandono do poço ocorrerá com a restauração do isolamento entre os diversos intervalos permeáveis, de modo permanente ou temporário, sendo ato intrínseco ao processo de desativação de instalações de produção onde há a retirada definitiva de operação e a remoção de instalações de produção, com destinação final adequada, e a recuperação ambiental das áreas em que estas instalações se situam (ANP, 2006).

Já a Resolução ANP n.º 46, de 01 de novembro de 2016, que aprovou o Regime de Segurança Operacional para Integridade de Poços de Petróleo e Gás Natural, dispõe que (ANP, 2016):

- 1) O abandono permanente acontece quando se estabelecem Conjuntos Solidários de Barreiras Permanentes, conjunto de um ou mais elementos com o objetivo de impedir o fluxo não intencional de fluidos da formação para o meio externo e entre intervalos no poço, considerando todos os caminhos possíveis, não existindo interesse de reentrada futura; e
- 2) O abandono temporário ocorre com o estabelecimento dos Conjuntos Solidários de Barreiras Permanentes em um poço, existindo interesse de reentrada futura. Em tal situação, os poços produtores (injetores) já equipados (completados) que estejam aguardando o início da produção (injeção) e os poços já em produção que, por algum motivo, encontram-se fechados, podem ser ou não monitorados.

O ciclo de vida do poço compreende as etapas de:

- 1) Desenvolvimento dos projetos e/ou programas do poço, nos quais são desenvolvidos a perfuração, completação, avaliação;
- 2) O esgotamento do poço, etapa que sucede o abandono; e
- 3) Abandono, dividido em temporário ou permanente, que consiste na garantia de isolamento dos intervalos que apresentam potencial de fluxo, atual e futuro.

Logo, a utilização do poço para estocagem de dióxido de carbono não é prevista pela regulação atual; mas é uma opção viável e recomendável, sendo as opções de estocagem de CO₂ exemplificadas na Figura 16.

Figura 16 – Opções de estocagem de CO₂

Opções para estocagem de CO₂

Fonte: SILVA, 2013.

4.4 Camadas de Carvão

De acordo com a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM)³⁰, o carvão é espécie de rocha sedimentar passível de uso como combustível, composta por material heterogêneo originado de restos vegetais depositados em águas rasas, protegidos da ação do oxigênio do ar, que sofreram parcial decomposição e ação de bactérias, seguindo-se a influência da pressão exercida pelo peso do material que é continuamente depositado (pressão litostática) e do calor (CPRM, 2014), conforme se observa nas Figuras 17 e 18.

³⁰ Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), que é uma empresa governamental vinculada ao Ministério de Minas e Energia cuja atribuição é de Serviço Geológico do Brasil.

Figura 17 – O processo de formação do carvão

O processo de formação do carvão

Fonte: GROTZINGER et al., 2006, p. 558.

Figura 18 – Formação do carvão envolvendo o passar do tempo, aumento de pressão e temperatura

Fonte: PET (s.d.).

Conforme o World Coal Institute (WCI ou Instituto Mundial do Carvão, em português), 60% da oferta mundial de carvão mineral é obtida através da extração por meio da mineração subterrânea (WCI, 2017). No Brasil, a maior parte é explorada a céu aberto, sendo que as

reservas brasileiras são compostas por carvão de dois tipos: linhito e sub-betuminoso. As maiores jazidas brasileiras situam-se nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, enquanto as menores encontram-se no Paraná e em São Paulo. As reservas brasileiras ocupam o 10º lugar no ranking mundial, mas totalizam 7 bilhões de toneladas, correspondendo a menos de 1% das reservas totais (ANEEL, 2008).

O carvão contém fissuras, o que faz com que o CO₂ gasoso injetado flua por essas fissuras e seja absorvido pelo carvão, liberando os gases nele aprisionados, principalmente o metano. Emissões de metano natural sobre áreas de minas de carvão fissurado são bem documentadas. Injetar CO₂ em veios de carvão poderia aumentar a quantidade de metano lançada na atmosfera, o que causa controvérsias, já que o metano tem um potencial de aquecimento mais alto do que dióxido de carbono.

4.5 Conclusão do capítulo

Diante da necessidade premente de se alcançar o desenvolvimento sustentável, tem sido grande o debate acerca das atividades que envolvem CCUS, seja no meio acadêmico, seja no próprio seio da sociedade. É relevante a difusão de tais tecnologias em razão do seu potencial de auxiliar nos esforços globais de mitigação de emissões de CO₂ e minorar alterações climáticas perigosas, ao conseguir dar destino seguro a longo prazo ao carbono capturado, através de processos de estocagem geológica.

Existem diversos processos de estocagem de CO₂ capturado: armazenamento geológico, armazenamento oceânico e fixação industrial de CO₂ em carbonatos inorgânicos (IPCC, 2005), todavia, este estudo se foca na estocagem geológica, como já salientado anteriormente.

A estocagem em substrato geológico é uma modalidade de estocagem que ocorre por intermédio da injeção do CO₂ em formações geológicas pré-determinadas e específicas para este fim, por exemplo, reservatórios de petróleo e gás empobrecidos, depósitos de carvão inexploráveis e aquíferos salinos profundos; sendo necessários alguns mecanismos de armazenamento, como o trapeamento físico estrutural, estratigráfico ou hidrodinâmico; o trapeamento geoquímico ou o trapeamento mineral.

Sendo certo que há versões iniciais das tecnologias-chave de CCUS já maduras e aptas a serem aplicadas na construção de plantas em escala comercial (CHALMERS; GIBBINS, 2011), é necessário difundi-las em larga escala. Deve-se, dentre as atividades de CCUS que

envolvem a captura, transporte, utilização e estocagem de CO₂, reservar especial atenção à atividade de estocagem ou armazenamento.

Afinal, “o sucesso nas práticas e técnicas utilizadas em sequestro geológico de carbono pode ser garantido quando o CO₂ é armazenado de modo estável, por um longo período de tempo, de forma economicamente viável”, consoante as lições de Monteiro Júnior (2015).

A estocagem de gás carbônico é etapa primordial e extremamente sensível na cadeia CCUS, haja vista que essa atividade é desenvolvida a longo prazo; e durante o período de armazenagem, caso não seja garantida a segurança necessária, podem ocorrer vazamentos que causarão danos, com a consequente responsabilização civil do agente poluidor e, a depender do caso, do Estado. Por tais motivos, ao se propor difundir a tecnologia no Brasil, faz-se mister estudar a responsabilidade civil aplicada a tais atividades, uma vez que os custos podem servir de desestímulo à sua implantação, o que será detalhado nos próximos capítulos.

5 RESPONSABILIDADE CIVIL

Com o aumento da complexidade das relações jurídicas na sociedade, surgem novos direitos e obrigações a serem regulados e assegurados. As obrigações oriundas do ordenamento jurídico demandam, para a sua efetivação, a imposição de responsabilidades geradoras de efeitos patrimoniais que pretendam recompor o status quo. Para o Direito, os bens jurídicos protegidos devem ter relevância econômica para serem considerados como tais, e o descumprimento da proteção destes bens gera efeitos patrimoniais. Consoante Gonçalves(2012), a palavra “responsabilidade” em origem do latim *re-spondere* compreende a ideia de segurança ou garantia de restituição ou compensação do bem sacrificado, tendo o significado de recomposição, de obrigação de restituir ou ressarcir.

Para Cavalieri Filho (2014), a responsabilidade civil opera a partir do ato ilícito, com o nascimento da obrigação de indenizar, que tem por finalidade tornar o lesado indemne, colocar a vítima na situação em que estaria sem a ocorrência do fato danoso. Assim, a ordem jurídica se empenha em tutelar a atividade do homem que se comporta de acordo com o Direito, reprime a conduta daquele que o contraria, onde a conduta humana que viola dever jurídico originário, causando dano a outrem é fonte geradora de responsabilidade civil.

Ela exprime a obrigação de se responder por algo, seja por obrigação contratual, seja por determinação legal, a fim de satisfazer ou executar ato oriundo de obrigação jurídica. A responsabilidade civil designa a obrigação de reparar um dano ou de ressarcir-lo, encontrando-se regulada em princípios gerais e em alguns tópicos especiais no Código Civil, podendo ser abrangida em outros diplomas legais diante da evolução da vida, do progresso e pelas formas de condutas novas que surgem com o decorrer do tempo (RIZZARDO, 2007).

De acordo com Dower (2007), a responsabilidade surge quando há prejuízo causado por alguém, tendo agido com dolo ou culpa, estando este obrigado a indenizar. A violação do direito subjetivo de alguém funda-se na ação ou omissão voluntária (dolo); na imprudência, imperícia ou negligência (culpa). Nas atividades de risco, causadoras de graves danos, há presunção de culpa diante da dificuldade da prova da culpabilidade. Assim, em regra, a culpa é a base da responsabilidade.

Em conformidade com Diniz (2012), a responsabilidade civil é gerada pelo interesse em restabelecer o equilíbrio jurídico alterado ou desfeito pela lesão, recompondo o status quo ou ressarcindo o montante equivalente, a fim de que a vítima possa ter reparado o prejuízo causado. Tal responsabilidade resulta na aplicação de medidas de reparação do dano moral ou

patrimonial causado a terceiro em razão de ato próprio, ilícito (responsabilidade subjetiva) ou cujo risco é inerente (responsabilidade sem culpa ou objetiva).

Nesse mesmo sentido, Coelho (2012) aponta que a obrigação de alguém repor os prejuízos causados a outrem é pressuposto da convivência em sociedade, onde externalidades negativas devem ser internalizadas por meio de normas de responsabilidade civil, entendendo-se externalidade negativa como inexistência de compensação entre pessoas sujeitas a uma situação piorada pela ação alheia. Logo, “as interferências positivas ou negativas que cada um de nós sofre e cria para as outras pessoas com quem convivemos em sociedade são ‘externalidades’ quando não são compensadas”

Na compreensão do autor, as internalidades, interferências compensadas, promovem a internalização de proveitos por meio de regras jurídicas repressoras do enriquecimento sem causa, sendo a função da responsabilidade civil a compensação. Assim,

A principal função da responsabilidade civil é compensar os danos sofridos pelo sujeito ativo. Se forem eles exclusivamente patrimoniais, a indenização terá equivalência ao valor dos danos, e o credor não se enriquece com o pagamento. Se forem extrapatrimoniais, não há esta equivalência e o credor enriquece com o cumprimento da obrigação de indenizar. (COELHO, 2012, p. 546-547)

Atualmente, segundo Pereira (2016), a teoria da responsabilidade civil assumiu caráter novo, observando-se a tendência crescente em aumentar as garantias oferecidas à vítima. No novel sistema, a proteção à pessoa humana tem papel central, deslocando o foco da responsabilidade civil para a vítima do dano injusto, alterando-se os critérios de reparação. Logo, a reparabilidade abstrata do dano em relação ao sujeito passivo da relação jurídica forma é intrínseca à responsabilidade civil, onde a responsabilidade é binômio composto pela reparação e pelo sujeito passivo da relação, enunciando-se o princípio subordinador do causador do dano à reparação (PEREIRA, 2016)

Portanto, a responsabilidade civil que decorre da ação humana e tem como pressupostos a existência de uma conduta voluntária, o dano injusto sofrido pela vítima, que pode ser patrimonial ou extrapatrimonial; a relação de causalidade entre o dano e a ação do agente; o fator de atribuição da responsabilidade pelo dano ao agente, de natureza subjetiva (culpa ou dolo) ou objetiva (risco, equidade). “A responsabilidade pelo ato ilícito tem fundamento moral, porque se supõe para a imputação, que o homem tenha que agir como ser que tem de adaptar-se à vida social e há de concorrer para crescente adaptação” (MIRANDA, 2012, p. 277).

5.1 Pressupostos da responsabilidade civil

Nas lições de Silva (2016), pressuposto define-se como elemento necessário que deve ocorrer antes ou que deve ser verificado como antecedente. Logo, para a constatação da responsabilidade civil, certos requisitos devem ser verificados a fim de que ocorra o dever de indenizar. Para Dower (2007), o dever de indenizar advindo de ato ilícito deve conter os seguintes pressupostos: (1) a existência de culpa *lato sensu*, que abrange a culpa *stricto sensu* e o dolo; (2) existência de dano causado a outrem; e (3) ocorrência de uma relação de causalidade entre o dano causado e o fato imputável.

Conforme o autor, trata-se, portanto, da aplicação da teoria da responsabilidade subjetiva, que pressupõe a existência de culpa. Com a prática de um comportamento positivo (ação) ou negativo (omissão) que desrespeite a ordem jurídica, causando prejuízo a outrem, o agente deve suportar as consequências, devendo reparar o dano. Logo, tal responsabilidade consiste na obrigação de uma pessoa indenizar o prejuízo causado a outrem com a prática de ato ilícito.

Para Gagliano e Pamplona Filho (2010), os elementos ou pressupostos gerais da responsabilidade civil são: (1) conduta humana (positiva ou negativa); (2) dano ou prejuízo; e (3) o nexo de causalidade. Entendem os autores que a culpa não é elemento essencial, apenas accidental; bem como a imputabilidade é elemento autônomo, devendo primeiro perquirir a respeito da efetiva ocorrência da responsabilidade, inserindo-se na delimitação da necessidade de culpa.

No entendimento de Diniz (2012), a caracterização dos pressupostos necessários é difícil em face da imprecisão doutrinária a respeito. A autora entende que os pressupostos se dividem em: (1) existência de uma ação, comissiva ou omissiva, qualificada juridicamente; (2) ocorrência de um dano moral e/ou patrimonial causado; (3) o nexo de causalidade entre o dano e a ação; e (4) inexistência de causa excludente de responsabilidade. Reconhece a autora que a regra básica da obrigação de indenizar pela prática de atos ilícitos origina-se na culpa, onde ato ilícito é a ação contrária ao dever geral previsto no ornamento jurídico, de natureza extracontratual e contratual. Nesse sentido, os pressupostos são a conduta humana, o dano e o nexo causal, que serão analisados a seguir.

5.1.1 Conduta humana

O primeiro elemento constitutivo da responsabilidade civil define-se como um ato humano, por exemplo, um movimento físico qualquer, desencadeando necessariamente eventos, conscientes ou inconscientes, geradores de responsabilidade civil subjetiva, devendo ser voluntário. A omissão gera a responsabilidade se presentes o dever de praticar o ato omissivo e razoável expectativa de que a prática do ato impediria o dano (COELHO, 2012).

‘A ação, elemento constitutivo da responsabilidade, vem a ser o ato humano, comissivo ou omissivo, ilícito ou lícito, voluntário e objetivamente imputável do próprio agente ou de terceiro, ou o fato de animal ou coisa inanimada, que cause dano a outrem, gerando o dever de satisfazer os direitos do lesado.’ (DINIZ, 2012, p.56).

Apontam Gagliano e Pamplona Filho (2010) que o núcleo fundamental da conduta humana é a voluntariedade, que é resultado da liberdade de escolha do agente imputável e consciente de seus atos. Não se pode reconhecer tal elemento quando ausente o elemento volitivo, isto é, a consciência daquilo que se está fazendo. A conduta humana divide-se em positiva, originada de comportamento ativo; e negativa, resultante de atuação omissiva.

5.1.2 Dano

A responsabilidade resulta em obrigação de ressarcir, sendo imprescindível a prova real e concreta da lesão, posto que a responsabilidade civil constitui uma sanção, ou seja, um misto de pena e de compensação (DINIZ, 2012). De acordo com o Enunciado 455 do Conselho de Justiça Federal: “A expressão “dano” no art. 944 abrange não só danos individuais, materiais ou imateriais, mas também danos sociais, difusos, coletivos e individuais homogêneos a serem reclamados pelos legitimados para propor ações coletivas” (BRASIL, 2011).

O dano caracteriza-se como prejuízo, lesão a um interesse jurídico, patrimonial ou não, causado pela ação ou omissão de sujeito infrator, envolvendo uma diminuição patrimonial ou a vulnerabilidade de direitos inatos à condição de homem, sem expressão pecuniária essencial. Como centro do sistema jurídico, a pessoa deve aceder a maiores possibilidades de obter tutela em sua dimensão coexistencial (COELHO, 2012, p. 78-79).

‘A expressão ‘dano’, como “prejuízo”, tem dois sentidos: um largo, que abrange quaisquer ofensas e a perda; outro, estrito, que não compreende a perda. Terceiro sentido é o que atenda ao sujeito ofensor e só se refere ao dano que alguém, culpado, causa. Tal sentido não merece empregar-se, porque há danos sem culpa, dos quais, no entanto, resulta, com ou sem ilicitude do fato, a responsabilidade. (...) A pretensão de indenização é, *sempre*, infração de dever.’ (MIRANDA, 2012, p 84).

Segundo Gagliano e Pamplona Filho (2010), o dano indenizável deve atender aos seguintes requisitos: (1) violação de um interesse jurídico patrimonial ou extrapatrimonial de uma pessoa física ou jurídica, ou seja, pressupõe uma agressão a um bem tutelado, de natureza material ou não; (2) certeza do dano; e (3) subsistência do dano, ou seja, o dano deve existir no momento de sua exigibilidade em juízo, não ter sido reparado.

Como ensina Rizzardo (2007, p. 16):

A norma jurídica regula as ações humanas não no seu sentido individualista, mas de modo geral, impondo-se a todos. Daí, o seu caráter social. O direito tem por fim uma utilidade comum. Estende seu conteúdo a todos os seres humanos. Em contrapartida, não exclui a proteção dos interesses individuais. Mas estes interesses, quando conformados com a norma, realizam o interesse comum. O ideal dos sistemas jurídicos está aí. O interesse, assim entendido, é o objeto da tutela da lei. E o que fere o interesse em si é o dano. Por meio dele, se impede a possibilidade de que o bem satisfaça uma necessidade humana, ou se retira a aptidão geral para satisfazer um valor almejado e procurado pelo homem.

Portanto, o dano é pressuposto de prova real e concreta da lesão a um interesse jurídico, envolvendo uma diminuição patrimonial ou equivalente quantificável, com o objetivo de evitar o enriquecimento injusto de outrem.

5.1.3 Nexo de causalidade

O vínculo entre o prejuízo e a ação denomina-se nexos causal, a fim de que o fato lesivo se origine de ação, sendo relação necessária entre o evento danoso e a ação produtora (DINIZ, 2012). Versa sobre o elo etiológico, do liame unificador da conduta do agente, positiva ou negativa, ao dano (GAGLIANO; PAMPLONA FILHO, 2010). Para Braga Neto et al (2018), o nexos causal desenvolve duas funções: 1. conferência da obrigação de indenizar aquele cujo comportamento foi a causa eficiente para a produção do dano; e 2. Determinação da extensão do dano, a medida de sua reparação.

A teoria da causalidade adequada, prevalente na responsabilidade civil, estabelece que o conceito de causa é apenas a condição adequada à produção de determinado resultado, formulada abstratamente, demonstrando a melhor aptidão ou idoneidade para a causação do resultado lesivo. O nexos de causalidade é a ligação entre o fato, a lesão e o causador ou autor que faz surgir uma relação de causalidade ou vínculo causal (RIZZARDO, 2007).

Como ensina Tepedino (2002), no Supremo Tribunal Federal persiste a teoria da causalidade direta ou imediata, ou ainda, teoria da interrupção do nexos causal, que só admite o

nexo de causalidade quando o dano é efeito necessário de uma causa, incorporando o dano direto e imediato sempre, e em algumas oportunidades, o dano indireto e remoto, quando não haja concausa sucessiva. Nesse sentido, o dano deve ser consequência necessária da inexecução da obrigação.

5.3 Fundamentos da responsabilidade civil

O fundamento da responsabilização civil origina-se na noção da vontade como fonte da obrigação, onde a exigibilidade de conduta diversa pressupõe pelo menos duas alternativas abertas à vontade (consciente ou inconsciente) do sujeito, este, contudo, age diversamente do que é exigido pela lei, seja por ação, omissão, negligência, imperícia ou dolo (COELHO, 2012).

‘A responsabilidade decorrente de ato ilícito baseia-se na ideia de culpa, e a responsabilidade sem culpa funda-se no risco, que se vem impondo na atualidade, principalmente ante a insuficiência da culpa para solucionar todos os danos. O comportamento do agente poderá ser uma comissão ou uma omissão. A comissão vem a ser a prática de um ato que não se deveria efetivar, e a omissão, a não observância de um dever de agir ou da prática de certo ato que deveria realizar-se. A omissão é, em regra, mais frequente no âmbito da inexecução das obrigações contratuais (RT, 452:245). Deverá ser voluntária no sentido de ser controlável pela vontade à qual se imputa o fato’ (DINIZ, 2012, p.56).

No caso da responsabilidade objetiva, o fundamento da imputação da obrigação de indenizar os danos é a socialização de custos, assim, somente a apreciação da aptidão econômica para socializar os custos da atividade entre os beneficiários dela é considerada para a responsabilização (COELHO, 2012). Isso abstrai qualquer juízo de valor sobre a imputação da obrigação, sendo a culpa irrelevante.

5.3.1 Culpa

Conforme ensina Braga Netto et al (2018), a culpa pode ser considerada como elemento central da responsabilidade civil, pois é a sua constatação que torna possível que o ilícito tenha eficácia reparatória. A culpa em sentido amplo insere-se na voluntariedade do ato, pois consiste na ação ou omissão formadora de um descumprimento intencional ou não de obrigação contratual, prescrição legal ou dever de diligência e lealdade (RIZZARDO, 2007).

Por conseguinte, a voluntariedade é pedra de toque da noção de conduta humana e ação voluntária, traduzindo-se na consciência daquilo que se está fazendo, na livre capacidade de autodeterminação, como consciência dos atos materiais que se está praticando, não sendo

obrigatoriamente a consciência subjetiva da ilicitude do ato (GAGLIANO; PAMPLONA FILHO, 2010).

‘O fundamento maior da responsabilidade civil está na *culpa*. É o fato comprovado que se mostrou insuficiente para cobrir toda a gama dos danos ressarcíveis; mas é fato igualmente comprovado que, na sua grande maioria atos lesivos são causados pela conduta antijurídica do agente, por negligência ou imprudência. Aceitando, embora, que a responsabilidade civil se construiu tradicionalmente sobre o conceito de culpa, o jurista moderno convenceu-se de que esta não satisfaz. Deixado à vítima o ônus da prova de que o ofensor procedeu antijuridicamente, a deficiência de meios, a desigualdade de fortuna, a própria organização social acaba por deixar larga cópia de danos descobertos e sem indenização. A evolução da responsabilidade civil gravita em torno da necessidade de *socorrer a vítima*, o que tem levado a doutrina e jurisprudência a marchar adiante dos códigos, cujos princípios constritores entravam o desenvolvimento e a aplicação da boa justiça. Foi preciso recorrer a outros meios técnicos, e aceitar, vencendo para isto resistências quotidianas, que em muitos casos o dano reparável é sem o fundamento da culpa.’ (PEREIRA, 2011, p. 520).

Nessa perspectiva, como violação a um dever jurídico, a culpa é imputável a alguém em virtude de fato intencional ou de omissão de diligência ou cautela, compreendendo o dolo e a culpa em sentido estrito. O dolo significa uma violação intencional do dever jurídico. Já a culpa em sentido estrito, sem a violação de um dever, caracteriza-se: (1) pela imperícia, falta de habilidade ou inaptidão para praticar certo ato; (2) imprudência, precipitação ou (3) negligência, inobservância de normas de agir com atenção, capacidade, solicitude e discernimento (DINIZ, 2012).

5.3.2 Imperícia

A imperícia caracteriza-se pela falta de prática ou ausência de conhecimento necessário para que se leve a bom termo ou se execute com eficiência o encargo ou serviço atribuído (SILVA, 2016). Nesse sentido, demanda “falta de habilidade exigível em determinado momento, e observável no desenrolar dos acontecimentos” (RIZZARDO, 2007, p. 4).

5.3.3 Imprudência

É resultado da imprevisão do agente ou pessoa face às consequências de seus atos ou ações, em situação que podia e devia prever o resultado, fundando-se na desatenção culpável que resultou em um mal, em uma ofensa a direito alheio de prejuízo material (SILVA, 2016, p. 716). Portanto, ela se revela ‘na precipitação de uma atitude, no comportamento inconsiderado,

na insensatez e no desprezo das cautelas necessárias em certos momentos' (RIZZARDO, 2007, p. 4).

5.3.4 Negligência

Revela-se pela falta resultante da omissão ou inobservância do dever de diligência com a execução do ato (SILVA, 2016). Consiste na falta de prevenção e do cuidado necessário às normas regedoras da conduta humana (RIZZARDO, 2007).

5.4 Responsabilidade contratual e extracontratual

Apesar das regras legais que lhes atribuem diferentes consequências, a distinção está sendo abandonada pela moderna doutrina, que nela não vê maior utilidade, fazendo residir o fundamento único da responsabilidade civil no contato social (COUTO E SILVA, s.d.). Entretanto, a doutrina tradicional ainda subdivide a responsabilidade em contratual ou aquiliana e extracontratual. Segundo Aguiar Júnior (2000), a doutrina comumente distingue a responsabilidade contratual decorrente de violação de obrigação derivada de um negócio jurídico, no qual o descumprimento caracterizaria o fato ilícito civil gerador do dano; e a responsabilidade delitual, extracontratual ou aquiliana, que dispensa a existência de um contrato previamente celebrado, decorrendo de um ato ilícito absoluto, violador das regras de convivência social e causador de um dano injusto.

De acordo com Dower (2007), o dever de indenizar pode ser legal ou contratual, com regimes distintos de responsabilidade extracontratual e contratual. Quando ocorre violação de um dever jurídico geral, a responsabilidade é extracontratual; e no caso de transgressão a uma obrigação contratual, a responsabilidade é contratual. Na ocorrência de ato ilícito, infração ao dever jurídico oriundo de culpa ou de dolo que causa prejuízo a outrem, é extracontratual a responsabilidade.

A responsabilidade encontra seu fundamento no artigo nº 1.056 do Código Civil: “Não cumprindo a obrigação ou deixando de cumpri-la pelo modo e no tempo devidos, responde o devedor por perdas e danos” (BRASIL, 2002).

A responsabilidade extracontratual encontra-se nos artigos 186 e 927 do Código Civil:

Art. 186. Aquele que, por ação ou omissão voluntária, negligência ou imprudência, violar direito e causar dano a outrem, ainda que exclusivamente moral, comete ato ilícito (BRASIL, 2002).

Art. 927. Aquele que, por ato ilícito (arts. 186 e 187), causar dano a outrem, fica obrigado a repará-lo.

Parágrafo único. Haverá obrigação de reparar o dano, independentemente de culpa, nos casos especificados em lei, ou quando a atividade normalmente desenvolvida pelo autor do dano implicar, por sua natureza, risco para os direitos de outrem (BRASIL, 2002)

Portanto, como ensina Aguiar Júnior (2000), a diferença fundamental entre essas duas modalidades de responsabilidade está na carga da prova atribuída às partes. Na responsabilidade contratual, deve-se provar a existência do contrato, o fato do inadimplemento e o dano, com o nexo de causalidade, onde o réu deve demonstrar causa estranha a ele. Já na responsabilidade extracontratual ou delitual, deve-se provar, ainda, a imprudência, negligência ou imperícia do causador do dano (culpa).

5.5 Responsabilidade subjetiva e objetiva

A responsabilidade civil subjetiva é regra geral, porque somente o culpado responde pelos danos causados a outrem. Contudo, ela é objetiva quando expressamente prevista em lei ou se o sujeito passivo ocupa posição econômica que lhe permite socializar os custos de sua atividade (COELHO, 2012).

No entendimento de Pereira (2011, p. 525), a ordem jurídica fixa dois tipos de responsabilidade civil: a fundada na culpa, caracterizando-se como “um erro de conduta ou transgressão de uma regra predeterminada, seja de natureza contratual, seja extracontratual”; e a objetiva, onde ocorre a abstração da ideia de culpa, e a lei positiva a autoria de um comportamento, incidindo a obrigação de reparação do dano. Assim:

‘Na responsabilidade subjetiva, fundamentada na culpa, é preciso demonstrar o modo de atuação do agente, sua intenção dolosa, isto é, a vontade do lesante de causar o dano, ou o seu comportamento negligente, imprudente ou imperito (...)

A responsabilidade objetiva é fundamentada no risco. Aqui não importa se houve dolo, se houve negligência, ou imprudência, ou imperícia. Importa apenas a existência da ação e do dano. Diante de ação lesiva e da relação de causalidade entre a ação e o dano surge a responsabilidade civil. Em suma, não se cogita da subjetividade do agente. A vítima somente precisa demonstrar a ação ligada ao dano, para que surja o dever do lesante de repará-lo.’ (MONTEIRO, 2010, p. 559)

Conforme explica Diniz (2012), na responsabilidade objetiva, a obrigação de indenizar impõe-se pela lei, independentemente da ocorrência de ato ilícito. Considera-se o risco especial criado por determinadas atividades, como o risco integral, o risco proveito e o risco criado. No primeiro, qualquer fato deve obrigar o agente a reparar o dano, bastando a existência de dano ligado a um fato para que surja o direito à indenização. No risco proveito, há a ideia de quem tira proveito ou vantagem de uma atividade e causa dano a outrem tem o dever de repará-lo. No risco criado, o dever de reparar o dano surge da atividade normalmente exercida pelo agente que cria risco a direitos ou interesses alheios (MONTEIRO, 2010).

5.2 Excludentes de responsabilidade

As causas excludentes de responsabilidade são circunstâncias fulminadoras da pretensão indenizatória por atacar um dos elementos ou pressupostos gerais da responsabilidade civil, o que rompe o nexo causal (GAGLIANO; PAMPLONA FILHO, 2010). Pode-se afirmar que afastam a responsabilidade do agente por descaracterizar a culpa, romper o nexo de causalidade, excluir a autoria, afastar o dolo ou tornar o dano não comprovável.

Elas dividem-se em: estado de necessidade, legítima defesa, exercício regular de direito, caso fortuito ou força maior, culpa exclusiva da vítima ou fato de terceiro. Veja-se a seguir cada uma delas.

5.2.1 Estado de necessidade

O estado de necessidade é previsto pelo art. 188 do Código Civil:

Não constituem atos ilícitos:

I – os praticados em legítima defesa ou no exercício regular de um direito reconhecido;
II - deterioração ou destruição de coisa alheia, a lesão a pessoa a fim de remover perigo iminente.

Parágrafo único. No caso do inciso II, o ato será legítimo somente quando as circunstâncias o tornarem absolutamente necessário, não excedendo os limites do indispensável para a remoção do perigo (BRASIL, 2002).

Conforme o inciso II do artigo 188 do Código Civil, significa uma ofensa a direito alheio, com o intuito de remover o perigo iminente, justificada pela imposição das circunstâncias de fato. O agente em estado de necessidade não é isento do dever de atuação

dentro dos limites do aceitável para a remoção do perigo (GAGLIANO; PAMPLONA FILHO, 2010).

5.2.2 Legítima defesa

Na legítima defesa o indivíduo vê-se em situação atual e iminente de injusta agressão, dirigida contra si ou a terceiro, que não é obrigado suportar (GAGLIANO; PAMPLONA FILHO, 2010).

5.2.3 Exercício regular de direito

Trata-se do exercício de direito que se executa segundo prescrições legais ou regulamentares. Assim, o direito pode ser exercido, desde que dentro dos parâmetros legais, ainda que cause danos. A inobservância desses parâmetros enseja reparação.

5.2.4 Caso fortuito ou força maior

Considera-se fortuito todo evento não originado pela culpa de alguém, como fatos da natureza ou humanos, cuja característica fundamental é a inevitabilidade. Assim, o caso fortuito é excludente de responsabilidade civil subjetiva por descaracterizar a relação de causalidade entre o dano do credor e a conduta culposa do devedor. Caso a responsabilidade seja objetiva, somente o fortuito natural pode descaracterizar a relação de causalidade (COELHO, 2012).

De acordo com o Enunciado nº 442 da V Jornada de Direito Civil, “o caso fortuito e a força maior serão considerados como excludentes de responsabilidade civil que o fato gerador do dano não for conexo à atividade desenvolvida” (BRASIL, 2011). Caracterizam-se pela inevitabilidade do evento (requisito objetivo) e ausência de culpa na produção do acontecimento (DINIZ, 2012).

A força maior, como *act of god*, é um fato da natureza de causas conhecidas, considerando-se previamente o estado do sujeito e as circunstâncias espaciotemporais para se impor a força liberatória da responsabilidade civil. Já no caso fortuito, a causa é desconhecida ou origina-se de fato de terceiro (DINIZ, 2012).

5.2.5 Culpa exclusiva da vítima

A culpa exclusiva da vítima elide qualquer responsabilidade de terceiros pelos prejuízos advindos do dano. Nessa hipótese, a vítima contribuiu para a ocorrência do fato que deu origem ao seu prejuízo, não podendo ser transmitido a outrem fato causado única e exclusivamente pelo sujeito do dano, posto que é sujeito-causador do fato gerador da responsabilidade.

Nesta situação, não há relação de causalidade entre o dano e o ato ou atividade do demandado, porque a própria vítima foi causadora do dano, inexistindo justificativas para a imputação a quem quer que seja da responsabilidade pela indenização dos prejuízos. Portanto, a vítima deve suportá-lo, não sendo suficiente que o demandado tenha se envolvido direta ou indiretamente com o dano, mas que seus atos ou atividades tenham sido a causa do prejuízo (COELHO, 2012).

5.2.6 Fato de terceiro

Quando o evento danoso é causado por culpa de terceiro, a relação de causa e efeito entre o prejuízo da vítima e o ato ou atividade do demandado é desconstituída (COELHO, 2012). Segundo Diniz (2012), o fato de terceiro somente exonerará quando ligar-se ao dano por uma relação de causa e efeito, excluindo o liame causal entre o aparente responsável e o prejuízo causado à vítima, que não foi provocado por aquele; sendo o fato de terceiro lícito, mas que seja normalmente imprevisível e inevitável, embora não seja necessária a prova de sua absoluta irresistibilidade e imprevisibilidade.

5.6 Indenização

Conforme expõe Miranda (2012), o ser humano exposto a um dano deve ser protegido a fim de ter direito à pretensão e ação contra o ofensor. A indenização tem por objetivo tornar restabelecer o que foi danificado, podendo ser danos ao corpo e à psique. Nesse sentido, o ser humano que impôs um dano a outrem deve indenizar.

De acordo como o princípio da responsabilidade civil, via de regra, a reparação do dano consiste na reconstituição específica do bem jurídico lesado, ou seja, na recomposição *in integrum*, para que a vítima venha a encontrar-se numa situação tal como se o fato danoso não tivesse acontecido. Diante da impossibilidade de retorno à situação originária em razão de

onerosidade excessiva ou insuscetibilidade de sua realização, deve-se ofertar seu equivalente pecuniário, acrescendo-se o lucro cessante, limitado ao que razoavelmente se deixou de ganhar, e os juros (PEREIRA, 2011).

Nessa perspectiva, o critério de cálculo está fixado pelo art. 402 do Código Civil: “Salvo as exceções expressamente previstas em lei, as perdas e danos devidos ao credor abrangem, além do que ele efetivamente perdeu, o que razoavelmente deixou de lucrar (BRASIL, 2002).

Como o evento danoso interrompe a sucessão normal dos fatos, o novo estado de coisas deve ser o mais próximo possível da situação original, devendo a reparação dar suporte, porque, em caráter abstrato, a situação inicial seria a existente se não tivesse ocorrido o dano. Logo, o critério da extensão do dano aplica-se perfeitamente à reparação do dano material, pois tem caráter ressarcitório (MONTEIRO, 2010).

Portanto, a extensão do dano é a medida da indenização, sendo este o critério geral para a fixação do valor devido com o fim de ressarcir os danos patrimoniais, quantificando-se o valor da redução experimentada pelo patrimônio do credor, em todos os seus aspectos. Sobre ele incidem juros, correção monetária e honorários de advogado, nas condições examinadas para as obrigações em geral (COELHO, 2012).

5.7 Conclusão do capítulo

A responsabilidade civil apresenta-se como um aspecto da realidade, trata de um fato social que surge em razão de situações de dano oriundas do descumprimento de contratos, obrigações ou atos ilícitos, e que acarretam a necessidade de reparação patrimonial ou extrapatrimonial a fim de restaurar o *status quo ante*.

Ante a gama de atividades humanas e a maior diversidade e complexidade das relações sociais e/ou jurídicas, exsurtem também variadas espécies de responsabilidade.

Por conseguinte, toda conduta humana que viole os direitos de outrem e cause prejuízos dá azo à responsabilidade civil, ou seja, ao dever de reparar os danos e recompor o estado original. A responsabilidade civil, em regra, é subjetiva, pressupondo a existência de dolo ou culpa (imprudência, negligência e imperícia).

Entretanto, em razão das atividades de risco e da necessidade da proteção de determinados bens coletivos, há a responsabilidade objetiva, que traz a responsabilização do causador do dano independentemente de dolo ou culpa. Direito e Cavalieri Filho (2004), ensinam que a responsabilidade se origina da atividade produzir, estocar, distribuir e comercializar produtos ou executar determinados serviços, senão o fornecedor o garantidor

dos produtos e serviços disponíveis no mercado, devendo responder por eventuais vícios ou defeitos. Logo, o dever de obediência às normas técnicas e de segurança é imanente à responsabilidade, assim como aos critérios de lealdade.

Nessa senda, nota-se que a responsabilidade civil é tema que permeia todas as atividades e/ou condutas humanas; sendo de extrema relevância o seu estudo em atividades de risco, como a estocagem de carbono, que envolve a possibilidade de danos ao meio ambiente. Deve-se destacar que a responsabilidade ambiental, além de ser objetiva, possui outras peculiaridades decorrentes do conceito de dano ecológico, que é aquele causado por atividade poluente, de acordo com a sua gravidade, ocorre ou não o dano patrimonial (MACHADO, 2006).

Assim sendo, diante da possibilidade de desenvolvimento da atividade de estocagem de gás carbônico como instrumento de mitigação de impactos ambientais, o que seria o estabelecimento de um novo setor de atuação industrial e comercial; e da ausência de regulação específica para a atividade no Brasil, mostra-se necessário delimitar a responsabilidade civil aplicável, a fim de que se aponte os riscos, pois esse componente tem influência nos custos globais das atividades CCUS e acabam por determinar a oportunidade de implantá-las ou não.

Logo, visto que o dano ambiental não está inserto no regramento geral de responsabilidade civil e que não há regulação específica sobre as atividades de estocagem de carbono, faz-se mister estudar as peculiaridades do regramento de responsabilização por dano ecológico no país e, em estudo comparado, verificar como está sendo aplicada a responsabilidade civil em decorrência de danos oriundos da atividade de armazenamento de CO₂ em países selecionados.

Após tais levantamentos será possível apontar como é atualmente o regramento de responsabilidade civil aplicável às atividades de estocagem de carbono no Brasil e se há a necessidade de implementar mudanças e/ou melhorias para que se possa difundir a tecnologia e atividades de CCUS em larga escala, ou seja, para que tais atividades se tornem economicamente viáveis no mercado, temáticas estas que serão detalhadas nos próximos capítulos.

6 RESPONSABILIDADE CIVIL AMBIENTAL NO BRASIL

Hodiernamente, a necessidade de adaptação das regras e dos institutos jurídicos às peculiaridades do direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado configura-se como indispensável à proteção do meio ambiente em razão do aumento da incidência de danos ambientais e riscos advindos do desenvolvimento presente na sociedade atual (BAHIA, 2016). Nesse contexto, a fim de resguardar situações e/ou lesões que não seriam alvo de reparação, na sistemática da responsabilidade civil subjetiva — que gravita em torno da existência de culpa — no ordenamento pátrio, a responsabilidade civil ambiental é objetiva.

Segundo Amado (2017, p.9),

A responsabilidade objetiva, em caso de dano, implica o dever de reparação por aquele que, por sua atividade, cria um risco de dano para terceiros, ainda que isento de culpa. A responsabilidade subjetiva, nesse caso, refere-se ao dever de reparar o dano por parte de todos os que, por ação ou omissão voluntária, negligência ou imprudência, violarem direito ou causarem prejuízo a outrem. A responsabilidade objetiva, apesar de ser exceção no Direito Civil, vem crescendo em importância nos casos de indenização por acidente de trabalho e de dano ambiental.

Conforme preleciona Colombo (2006), o legislador brasileiro optou pela teoria objetiva no sistema de prevenção e repressão de danos ambientais, que não seriam alcançados pelo critério tradicional da culpa (teoria subjetiva). Aponta que as normas tradicionais eram insuficientes, o que forçou na década de 80 do século passado o desenvolvimento de um sistema brasileiro de responsabilidade civil por danos ambientais, fundado na indisponibilidade e inviolabilidade do bem ambiental inserido na Carta Magna como bem difuso, pertencente à coletividade indeterminada.

Para Mukai (2002), não há que se falar em eventual poluidor, o poluidor é obrigado a indenizar ou reparar os danos causados ao meio ambiente e a terceiros afetado pela atividade, devendo ocorrer o nexo causal entre o dano ambiental, terceiros e o poluidor pela sua atividade, para o Estado. No Direito positivo pátrio, segundo o autor, é o da modalidade do risco criado, onde se admite as excludentes de culpa da vítima ou terceiros, da força maior e do caso fortuito, nos exatos e expressos termos do § 1º do art. 14 da Lei nº 6.938/81. Assim, configura-se a responsabilidade por danos ambientais após a comprovação a ação efetiva (atividade) desse alguém, direta ou indiretamente na causação do dano.

A responsabilidade civil ambiental é constitucionalmente prevista no §3º, do art. 225, que determina que “as condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar os danos causados” (BRASIL, 1988). Ainda, a

adoção da responsabilidade civil objetiva está expressa no art. 14, §1º da Lei 6.938/81, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 1981), nos seguintes termos: “sem obstar a aplicação das penalidades previstas neste artigo, é o poluidor obrigado, independentemente da existência de culpa, a indenizar ou reparar os danos causados ao meio ambiente e a terceiros, afetados por sua atividade”.

Nesse sentido, a teoria objetiva prescinde de verificação da culpa, para a responsabilização do agente é necessária apenas a comprovação do dano e do nexo causal. Logo, a responsabilidade objetiva é focada na proteção daqueles que sofrem as consequências do evento danoso. Constitui-se em mecanismo processual garantidor de proteção dos direitos da vítima: a coletividade, ou seja, aquele que desempenha atividade potencialmente poluidora ou com risco a alguém, arca com a responsabilidade pelos danos oriundos do risco criado (Colombo, 2006).

De acordo com os ensinamentos de Machado (2006), o binômio dano/reparação deve estar presente a fim de que surja o dever jurídico de reparar, ou seja, a responsabilidade sem culpa incide nessa modalidade de indenização ou reparação de danos causados ao meio ambiente, conforme exposto no artigo 14, parágrafo 1º da Lei n. 6.938/81; logo, procura-se quem foi atingido, e em sendo o meio ambiente e o homem, dá-se início ao processo lógico-jurídico da imputação civil objetiva ambiental.

Outro ponto importante a se destacar na responsabilidade civil objetiva ambiental é se haveria de uma indenização fixada consoante a teoria do risco proveito ou a do risco integral. A teoria do risco proveito condiciona o dever de indenizar a um proveito obtido pelo poluidor. Tal teoria admite como causas de excludentes da responsabilidade o caso fortuito, a força maior, a intervenção de terceiros e, até mesmo, a licitude da atividade poluidora, em determinados casos. Já a teoria do risco integral não admite qualquer excludente de responsabilidade. O dever de indenizar surge desde que provado a causalidade entre a atividade exercida e o dano causado (COLOMBO, 2006).

Há divergência doutrinária quanto a qual teoria deveria ser adotada. Todavia, a maior parte da doutrina e dos Tribunais pátrios têm adotado a teoria do risco integral na aplicação da responsabilidade civil ambiental, a fim de resguardar a reparação do dano ambiental em sua integralidade, sem admitir a possibilidade de excludentes. Nesse sentido, toma-se como exemplo o seguinte trecho de julgado do Superior Tribunal de Justiça:

‘A responsabilidade por dano ambiental é objetiva, informada pela teoria do risco integral, sendo o nexo de causalidade o fator aglutinante que permite que o risco se integre na unidade do ato, sendo descabida a invocação, pela empresa responsável

pelo dano ambiental, de excludentes de responsabilidade civil para afastar a sua obrigação de indenizar.’ (BRASIL. SUPERIOR TRIBUNAL DE JUSTIÇA (2ª Seção), REsp 1354536 / SE, Rel. Ministro Luis Felipe Salomão, julgado em 26/3/2014, DJe 05/05/2014, Recurso Repetitivo).

Na mesma linha, verificam-se os posicionamentos esposados nos seguintes arestos:

PROCESSUAL CIVIL. AGRAVO REGIMENTAL NO AGRAVO EM RECURSO ESPECIAL. RESPONSABILIDADE CIVIL. DANO AMBIENTAL. BAÍA DE GUANABARA. LEGITIMIDADE ATIVA E PROVA SUPLEMENTAR. AUSÊNCIA DE PREQUESTIONAMENTO. INCIDÊNCIA DAS SÚMULAS N. 282 E 356 DO STF. ÔNUS PROBATÓRIO. INVERSÃO. PRECEDENTE. DESCONSTITUIÇÃO DA PROVA EMPRESTADA E NECESSIDADE DE PRODUÇÃO DE PROVA SUPLEMENTAR. ANÁLISE. ÓBICE DA SÚMULA N. 7/STJ. DECISÃO MANTIDA.1. A simples indicação dos dispositivos legais tidos por violados, sem que o tema tenha sido enfrentado pelo acórdão recorrido, obsta o conhecimento do recurso especial, por falta de prequestionamento, a teor das Súmulas n. 282 e 356 do STF. 2. *Tratando-se de ação indenizatória por dano ambiental, a responsabilidade pelos danos causados é objetiva, pois fundada na teoria do risco integral. Assim, cabível a inversão do ônus da prova.* Precedente.3. O recurso especial não comporta o exame de questões que impliquem revolvimento do contexto fático-probatório dos autos, a teor do que dispõe a Súmula n. 7 do STJ.4. Agravo regimental a que se nega provimento. (BRASIL. SUPERIOR TRIBUNAL DE JUSTIÇA (4ª Turma). AgRg no AREsp nº 533.786/RJ, Rel. Ministro Antonio Carlos Ferreira, julgado em 22/9/2015, DJe de 29/9/2015, grifou-se).

RECURSO ESPECIAL. RESPONSABILIDADE CIVIL. DANO AMBIENTAL PRIVADO. RESÍDUO INDUSTRIAL. QUEIMADURAS EM ADOLESCENTE. REPARAÇÃO DOS DANOS MATERIAIS E MORAIS.1 - Demanda indenizatória movida por jovem que sofreu graves queimaduras nas pernas ao manter contato com resíduo industrial depositado em área rural.2 - *A responsabilidade civil por danos ambientais, seja por lesão ao meio ambiente propriamente dito (dano ambiental público), seja por ofensa a direitos individuais (dano ambiental privado), é objetiva, fundada na teoria do risco integral*, em face do disposto no art. 14, § 10º, da Lei n. 6.938/81.3 - A colocação de placas no local indicando a presença de material orgânico não é suficiente para excluir a responsabilidade civil.4 - Irrelevância da eventual culpa exclusiva ou concorrente da vítima.5 - Quantum indenizatório arbitrado com razoabilidade pelas instâncias de origem. Súmula 07/STJ.6 - Alteração do termo inicial da correção monetária (Súmula 362/STJ).7 - RECURSO ESPECIAL PARCIALMENTE PROVIDO. (BRASIL. SUPERIOR TRIBUNAL DE JUSTIÇA (3ª Turma). REsp nº 1.373.788/SP, Rel. Ministro Paulo de Tarso Sanseverino, julgado em 6/5/2014, DJe de 20/5/2014, grifou-se).

Outro aspecto importante que também deve ser destacado quanto à responsabilidade civil ambiental no Brasil é o caráter imprescritível da reparação ambiental, ou seja, a reparação do meio ambiente degradado é imprescritível e irrestrita, ele deve retornar ao seu *status quo ante*. Esta característica decorre do próprio dano ecológico que, na maioria das vezes, é continuado. Todavia, não há que se confundir o caráter imprescritível da reparação ambiental por dano continuado com a pretensão meramente patrimonial, sujeita à prescrição quinquenal. A propósito, confira-se o julgado do Egrégio Tribunal de Justiça:

AGRAVO INTERNO NO RECURSO ESPECIAL. AÇÃO REPARATÓRIA DE DANOS MATERIAIS E MORAIS. USINA HIDRELÉTRICA DE ESTREITO. PRESCRIÇÃO. TERMO INICIAL. TEORIA DA ACTIO NATA. ACÓRDÃO NO MESMO SENTIDO DA JURISPRUDÊNCIA DESTA CORTE SUPERIOR. INCIDÊNCIA DA SÚMULA 83/STJ. AGRAVO NÃO PROVIDO. 1. **O entendimento adotado pelo Tribunal de origem está em harmonia com a orientação desta Corte, segundo o qual, o curso do prazo prescricional do direito de reclamar inicia-se somente quando o titular do direito subjetivo violado passa a conhecer o fato e a extensão de suas consequências, conforme o princípio da actio nata. Precedentes.** 2. No presente caso, o Tribunal de origem concluiu que **o termo inicial da prescrição se deu no momento em que houve o represamento das águas, uma vez que, nesse momento,** ocorreu o conhecimento inequívoco do dano pelo autor/apelante. Incidência da Súmula 83 do STJ. 3. Agravo não provido (BRASIL. SUPERIOR TRIBUNAL DE JUSTIÇA. AgInt no REsp. 1.740.239/MA, Rel. Min. Luis Felipe Salomão, DJe 28.8.2018)

Com efeito, tem-se que a responsabilidade civil ambiental, no Brasil, observa alguns critérios específicos com o objetivo de coibir ações de degradação e impor o dever de reparação ao poluidor. A responsabilidade civil como meio de defesa ambiental teve que se adaptar para conseguir fazer frente à elasticidade dos danos ambientais e às novas tecnologias e demandas nessa área, sob pena de tornar-se inócua (BENJAMIN, 1998).

A atividade de estocagem de CO₂ está inclusa nessas novas tecnologias que, em razão da possibilidade de gerarem danos ambientais futuros, ficam vinculadas ao sistema de responsabilização ambiental, assim, ela deve ater-se aos pressupostos da responsabilidade civil por dano ecológico e pode ocasionar sanções em decorrência dos variados mecanismos de defesa ambiental pela via judicial, consoante exposto a seguir.

6.1 Pressupostos da responsabilidade civil ambiental

Como pontua Silva (2016), pressuposto é o elemento que deve ser verificado para a constatação da responsabilidade civil, a fim de que ocorra o dever de indenizar. Na responsabilidade civil objetiva, não se avalia a existência de culpa do agente poluidor, para a sua caracterização é suficiente a existência do dano e o nexo de causalidade com a fonte poluidora.

Lanfredi (1997) aponta três pressupostos para a responsabilidade civil: a) a ação lesiva, entendida como a interferência na esfera de valores de outrem, decorrente de ação ou omissão; b) o dano; e c) o nexo causal, ou relação de causa e efeito entre o dano e a ação do agente.

Nos ensinamentos de Custódio (1997 apud FERNANDES, 2017), o dano decorrente de atividade poluente, para fins de reparação, tem como pressuposto básico a própria gravidade do

acidente, que ocasiona ou não a outrem prejuízos de ordem patrimonial ou extrapatrimonial, independentemente de se tratar de risco permanente, periódico, ocasional ou relativo.

Assim sendo, com relação aos danos ambientais, a aplicação da teoria do risco integral traz o caráter objetivo da responsabilidade — com expressa previsão constitucional (art. 225, § 3º, da CF) e legal (art.14, § 1º, da Lei n. 6.938/1981), e, por conseguinte, não comporta excludentes, bastando para a sua incidência o resultado prejudicial ao ser humano e ao ambiente, advindo de uma ação ou omissão do responsável.

Nessa mesma linha se posiciona Fernandes (2017). Para o autor, o regime de responsabilidade objetiva aplica-se a ação reparatória de danosidade ambiental, coletiva ou individual, prescindindo da culpabilidade do agente, apenas a ocorrência do dano e a prova da causalidade no desenvolvimento da atividade ou com fundamento na sua existência. Por conseguinte, tem-se que os pressupostos da responsabilidade civil ambiental são a comprovação de dano ambiental, da conduta lesiva comissiva ou omissiva e do nexo causal entre estes.

6.1 Conduta

Um dos pressupostos para a imputação da responsabilidade civil ambiental é a existência de uma ação lesiva capaz de gerar danos. De acordo com Lanfredi (1997), “a ação lesiva para se configurar a responsabilidade, preciso é, primeiramente, a interferência, o impulso lesivo de alguém na esfera de valores de outrem”. Ou seja, deve haver uma ação (comportamento positivo) ou omissão (comportamento negativo) que gere prejuízo e/ou degradação.

Nas lições de Steigleder (2011 apud BEDRAN; MAYER, 2013), o pressuposto da aplicação da responsabilidade objetiva ambiental seria a “existência de uma atividade que implica riscos para a saúde e o meio ambiente, impondo-se ao empreendedor a obrigação de prevenir riscos (princípio da prevenção) e de internalizá-los em seu processo produtivo (princípio poluidor-pagador)”.

Com efeito, qualquer pessoa que direta ou indiretamente contribuir para causar degradação ambiental em decorrência de sua atividade ou do produto dela advindo deverá arcar com os danos que provocar. Segundo já se manifestou o Egrégio Superior Tribunal de Justiça no Recurso Especial nº 650.728: “para o fim de apuração do nexo de causalidade no dano ambiental, equiparam-se quem faz, quem não faz quando deveria fazer, quem não se importa que façam, quem financia para que façam, e quem se beneficia quando outros fazem” (BRASIL.

SUPERIOR TRIBUNAL DE JUSTIÇA. REsp nº 650.728/SC, Rel. Min. Herman Benjamin, Data de Julgamento 23/10/2007).

6.2 Dano ambiental

Outro pressuposto para a imputação da responsabilidade civil ambiental é o dano. Sabe-se que, para a caracterização da obrigação de indenizar, é preciso, além da conduta, dano ao bem jurídico tutelado que ocasione, efetivamente, prejuízo patrimonial ou extrapatrimonial (RIZZARDO, 2011). Nas lições Lanfredi (1997), “dano é qualquer lesão injusta a valores protegidos pelo Direito, incluído o de caráter moral”.

Na esfera ambiental, o dano é de difícil conceituação. De modo geral, dano ambiental pode ser entendido como toda ação ou omissão que atente contra o meio ambiente ecologicamente equilibrado, trazendo prejuízos à natureza e à coletividade (BIOEN, 2017). Milaré (2009) conceitua dano ambiental como “a lesão aos recursos ambientais, com consequente degradação – alteração adversa ou *in pejus* – do equilíbrio ecológico e da qualidade de vida”.

A incerteza do dano ambiental e a sua admissibilidade futura são grandes preocupações das próximas gerações (BIOEN, 2017), a atividade de estocagem de CO₂, por exemplo, por ser uma atividade que se prorroga no tempo e que possui efeito potencial lesivo, gera a responsabilidade civil, exatamente pelo risco de danos ambientais futuros.

Logo, para se garantir a integralidade da reparação aos danos ambientais, a responsabilidade civil ambiental, no Brasil, é verificada pela existência de dano atual ou futuro, independentemente da existência de culpa (COLOMBO, 2006)

A legislação ambiental, mais especificamente a Política Nacional do Meio Ambiente, Lei n.º 6.938 (Brasil, 1981), no artigo 3º, inciso II, exprime que a degradação da qualidade ambiental refere-se às alterações nas características do meio ambiente. Além disso, o inciso III do supracitado dispositivo legal conceitua “poluição” como a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente: (1) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; (2) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; (3) afetem desfavoravelmente a biota; d) afetem às condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; e (4) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.

Assim, depreende-se, que o conceito de dano ambiental, segundo a legislação, seria o resultado de uma atividade lesiva que gerou degradação e/ou qualquer modificação maléfica ao

meio ambiente. Sendo ele ecologicamente equilibrado, bem coletivo juridicamente tutelado, indisponível e fundamental, deve-se reparar integralmente os danos porventura impingidos.

6.3 Nexo de causalidade

O nexo causal é o liame, a relação de causa e efeito entre o dano e a ação lesiva. Quanto aos danos ambientais, eles têm especificidades, sendo muitas vezes abrandado em razão da dificuldade de prova e da reparação do dano ecológico. Como assevera Colombo (2006), o dano ambiental possui especificidades que dificultam a reparação, tendo como característica os efeitos irreversíveis, cumulativos, sendo danos coletivos e difusos em sua manifestação e no estabelecimento do nexo de causalidade, com repercussão direta nos direitos coletivos e indiretamente nos individuais. No exame do liame da causalidade entre a causa e efeito dano, utiliza-se o critério da verossimilhança, onde o abrandamento do nexo de causalidade surge da sua indivisibilidade, do seu caráter fronteiriço e da pluralidade de poluidores.

Para Milaré (2009) a determinação do nexo causal nos danos ambientais tem alto grau de dificuldade, caracterizado pela longa distância entre a fonte emissora e o resultado lesivo, além de tantos outros fatores', pois os fatos de poluição podem permanecer camuflados em razão de sua complexidade. Benjamin (1998) reafirma tal posicionamento, apontado o nexo causal como calcanhar de Aquiles da responsabilidade civil pelo dano ambiental por ser impregnado por componentes de uma estrutura quadrangular, sendo a degradação fruto de comportamentos cumulativos que operam ao longo do tempo. Em vista da dificuldade imposta pelo tempo, o nexo causal é enfraquecido pela ocorrência do fato gerador em intervalo de tempo muito distante da constatação do dano ambiental.:

Entretanto, o citado autor acentua que a complexidade do nexo causal e do dano ecológico não torna menor o dever do poluidor de reparar os danos causados, pois, “a exclusividade, a linearidade, a proximidade temporal ou física, o concerto prévio, a unicidade de condutas e de resultados, nada disso é pressuposto para o reconhecimento do nexo causal no sistema especial da danosidade contra o meio ambiente”.

Logo, em que pese as peculiaridades do dano ecológico e a responsabilidade por dano ambiental ser objetiva (e lastreada na teoria do risco integral), faz-se imprescindível, para a configuração do dever de indenizar, a demonstração do nexo causal a vincular o resultado lesivo à conduta efetivamente perpetrada por seu suposto causador.

6.4 Meios processuais para a defesa ambiental

O direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, essencial à qualidade de vida de todos, é alçado ao patamar de direito fundamental com a Constituição Federal de 1988 (ROSSI; GOMES, 2016). A Constituição Federal trouxe em seu texto dispositivos que tratam especificamente do meio ambiente, bem como mecanismos jurídicos para a proteção deste.

Dentre os mecanismos capazes de assegurar a defesa do meio ambiente no ordenamento jurídico pátrio, destacam-se as seguintes ações judiciais: a Ação Civil Pública; a Ação Popular; o Mandado de Injunção; as tutelas específicas do Código de Processo Civil (tutela inibitória e tutela de remoção do ilícito); bem como as ações de controle de constitucionalidade (MEDEIROS; ALBUQUERQUE, 2012).

Por conseguinte, pode-se dizer que a presença do Judiciário na resolução de conflitos ambientais é uma conquista social importante, segundo aponta Machado (2006). É de suma relevância o papel reservado ao Poder Judiciário na tutela ambiental, já que terá de se posicionar quanto às ameaças e lesões ao direito de cidadania ambiental submetidas a sua apreciação (COSTA, 2007).

Assim, dentre os principais instrumentos jurisdicionais de proteção ambiental citados, para fins de melhor abordagem no presente trabalho, a análise se deterá na Ação Popular e Ação Civil Pública, perpassando, ainda, a realização de Inquérito Civil, TAC (Termo de Ajustamento de Conduta) e do Fundo de Defesa dos Direitos Difusos. Destaca-se que a defesa ambiental no país e a imputação da responsabilidade civil ambiental são discutidas e efetivadas, na maioria das vezes, após a manifestação dos órgãos jurisdicionados, haja vista que até o próprio Estado (que deveria velar pela defesa do meio ambiente, sendo o responsável pelas fiscalizações e delimitação de padrões aceitáveis de poluição) é responsável pela degradação ambiental. Por essas razões, torna-se relevante conhecer os principais mecanismos de proteção ambiental.

6.4.1 Da Ação Popular

Um dos mecanismos de proteção ambiental é a ação popular ambiental. A conceituação legal da referida ação e sua previsão legal encontram-se insculpidas no art. 5º, LXXIII da Constituição Federal, *in verbis*:

LXXIII - qualquer cidadão é parte legítima para propor ação popular que vise a anular ato lesivo ao patrimônio público ou de entidade de que o Estado participe, à moralidade administrativa, ao meio ambiente e ao patrimônio histórico e cultural, ficando o autor, salvo comprovada má-fé, isento de custas judiciais e do ônus da sucumbência. (BRASIL, 1988)

Portanto, são pressupostos essenciais da ação popular: a condição de cidadão e a lesividade, conforme gravado no art. 5º do texto constitucional. A legitimidade passiva é ampla abrange as entidades citadas no art. 1º Lei nº 4.717/1965, bem como as autoridades, os funcionários ou os administradores que autorizaram, aprovaram, ratificaram ou praticaram o ato impugnado, ou que, por omissão, tiverem dado oportunidade à lesão; além dos beneficiários diretos do ato lesivo, consoante o art. 6º da referida lei.

Neste contexto, nota-se que a Ação Popular alargou as hipóteses de participação do cidadão, pois ele passou a poder lutar individualmente por um direito que pertence à coletividade, o direito ao meio ambiente saudável. Por conseguinte, a Ação Popular surge, de forma inovadora, como instrumento processual altamente democrático (COSTA, 2007).

6.4.2 A participação do Ministério Público

O Ministério Público tem papel preponderante na defesa do meio ambiente e é o principal legitimado na propositura dos mecanismos processuais de defesa ambiental. A Constituição de 1988, ao descrever o *Parquet*, destacou que este seria “uma instituição permanente de funções essenciais ao bom desenvolvimento da justiça, o qual deverá defender os interesses sociais indisponíveis, bem como manter a ordem jurídica e zelar pela ordem do regime democrático”. (VASCONCELLOS, 2007).

A Ação Civil Pública é o principal instrumento de defesa ambiental utilizado pelo Ministério Público. Todavia, o órgão ministerial conta com outros instrumentos importantes que irão reforçar a sua atuação em defesa do meio ambiente e, conseqüentemente, auxiliar na propositura de eventual ação de tutela coletiva. Entre os instrumentos que irão reforçar essa tutela da qualidade ambiental colocados à disposição do MP, temos o inquérito civil público e

o compromisso de ajustamento de conduta, que passamos a examinar. (MEDEIROS; ALBUQUERQUE, 2012).

6.4.3 O Inquérito Civil

De acordo com Medeiros e Albuquerque (2012), o inquérito civil tem como escopo a produção da prova para eventual propositura da Ação Civil Pública (ACP), sendo um procedimento administrativo privativo do Ministério Público, seja federa ou estadual. Pode-se conceitua o inquérito civil como processo investigatório prévio, com a finalidade de dar suporte à propositura da ACP e formar a convicção do órgão ministerial a respeito da ocorrência de dano ambiental. (VASCONCELLOS, 2007).

O inquérito civil compreende as seguintes fases: instauração, instrução e conclusão. A instauração dá-se por meio de portaria ou despacho em requerimento ou representação; a instrução consiste na coleta de provas; e a conclusão, no relatório final, com promoção de arquivamento, ou, em caso contrário, à propositura da ACP. Em caso de rejeição do arquivamento, outro membro do MP será designado para ajuizar a ação. O arquivamento do inquérito civil ou seu andamento não são causas que impedem a propositura da ACP pelos demais legitimados, haja vista a indisponibilidade dos direitos ambientais tutelados (MEDEIROS; ALBUQUERQUE, 2012).

A promoção de Inquérito Civil está entre as funções institucionais do Ministério Público, consoante art. 129, inciso III, da Constituição Federal (BRASIL, 1988) e art. 25 da Lei Orgânica Nacional do Ministério Público, Lei nº 8.625 (BRASIL, 1993); e os arts. 8º e 9º da Lei da Ação Civil Pública, Lei nº 7.347 (BRASIL, 1985). Apesar de ser peça dispensável para a propositura de ACP, tem-se que a maior parte dessas ações se inicia com Inquérito Civil.

6.4.4 Termo de Ajustamento de Conduta

O Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) é o “ato pelo qual o ofensor do bem jurídico tutelado “entende”, subjetivamente, a irregularidade de sua conduta, e compromete-se, junto ao órgão legitimado, a ajustar seu comportamento na forma da lei, em prazo previamente fixado, estando sujeito a cominações previstas em caso de descumprimento” (VASCONCELLOS, 2007).

Melhor explicando, “o compromisso de ajustamento de conduta é um título executivo extrajudicial, por meio do qual um órgão público legitimado toma do causador do dano o

compromisso de adequar sua conduta às exigências da lei”, segundo os ensinamentos de Medeiros e Albuquerque (2012).

O TAC é um instrumento previsto no art. 5º, §6º da Lei n.º 7347/85 (Lei de Ação Civil Pública – LACP) que diz: “Os órgãos públicos legitimados poderão tomar dos interessados compromisso de ajustamento de sua conduta às exigências legais, mediante cominações, que terá eficácia de título executivo extrajudicial” (BRASIL, 1985).

Logo, tem-se que, diante da existência de um dano ou de uma ameaça de dano ao bem ambiental, é possível que os órgãos legitimados (art. 5º, da LACP), de modo convencional, acordem com o causador as obrigações necessárias (obrigações de fazer ou não fazer) para o restabelecimento da paz ambiental (ajustamento às exigências legais), por via administrativa, de modo extrajudicial (ROSSI; GOMES, 2016).

Para Milaré (2009), o compromisso de ajustamento deve observar obrigatoriamente os requisitos de validade exigidos em um ajuste extrajudicial, são eles: a) a determinação de reparação do dano, em razão da indisponibilidade do direito violado; b) o esclarecimento dos fatos, identificando as obrigações que serão estipuladas; c) a determinação das cominações na hipótese de inadimplemento; e, d) a anuência do Ministério Público, nas ocasiões em que não for o órgão autor do TAC.

Verifica-se que o Termo de Ajustamento de Conduta é um instrumento à disposição das partes interessadas que agiliza a proteção do meio ambiente, ao evitar a propositura de uma demanda judicial. (MEDEIROS; ALBUQUERQUE, 2012). Ao propor o TAC, apenas buscase, por via mais célere, a pactuação de obrigação de fazer ou não fazer que adeque as condutas às normas ambientais, de modo a prevenir um possível dano ou a reparar àqueles anteriormente perpetrados (ROSSI; GOMES, 2016). No entanto, caso este não venha a ser efetivado, resta a possibilidade da execução judicial ou a propositura de Ação Civil Pública.

Como ensina Machado (2006.), o TAC pode ser firmado sem intervenção judicial, não transitando em julgado face a ausência de homologação judicial, ficando sobrestada a possibilidade de outro legitimado intervir no acordo ou propor a ação civil pública, sem a presença de novas provas. Em suma, o TAC aborda obrigações mínimas de reparação, e enquanto ato administrativo, pode ser modificado e suas obrigações serem revistas com o fito de melhor atenderem à proteção do meio ambiente. Contudo, se este instrumento for levado à homologação judicial, passará a ter status de título executivo judicial, não sendo mais possível discutir as obrigações avençadas (ROSSI; GOMES, 2016).

6.4.5 Da Ação Civil Pública

A Ação Civil Pública é hoje um dos meios processuais mais importantes na defesa do meio ambiente, sendo o mais utilizado (MEDEIROS; ALBUQUERQUE, 2012). É disciplinada pela Lei n.º 7.347/85, a qual, em seu artigo 1º, visa tutelar interesses difusos e coletivos, assegurando a propositura de ACP em defesa do meio ambiente, do consumidor, e de bens e direitos de valor artístico, estético, histórico, turístico e paisagístico.

Os interesses difusos, coletivos e individuais homogêneos que são objeto de tutela da Lei de Ação Civil Pública são definidos no Código de Defesa do Consumidor (Lei n.º 8.078/90), que, no art. 81, parágrafo único, dispõe:

Art. 81. A defesa dos interesses e direitos dos consumidores e das vítimas poderá ser exercida em juízo individualmente, ou a título coletivo. Parágrafo único. A defesa coletiva será exercida quando se tratar de:

I - interesses ou direitos difusos, assim entendidos, para efeitos deste código, os transindividuais, de natureza indivisível, de que sejam titulares pessoas indeterminadas e ligadas por circunstâncias de fato; II - interesses ou direitos coletivos, assim entendidos, para efeitos deste código, os transindividuais, de natureza indivisível de que seja titular grupo, categoria ou classe de pessoas ligadas entre si ou com a parte contrária por uma relação jurídica base;

III - interesses ou direitos individuais homogêneos, assim entendidos os decorrentes de origem comum (BRASIL, 1990)

Assim, segundo Mazzilli (2014), o meio ambiente ecologicamente equilibrado é um direito transindividual, ou seja, o interesse a ser resguardado ultrapassa a esfera individual, atinge uma coletividade de pessoas indetermináveis, não havendo titularidade definida; também é indivisível, ou seja, “não pode ser quantificado ou dividido entre os membros da coletividade”; e indeterminável, ligado às pessoas por uma circunstância de fato, qual seja, o compartilhamento do mesmo interesse difuso.

Logo, resta cristalino que a defesa do direito ambiental ameaçado ou lesado deve sempre ater-se à melhor técnica processual, pois não se trata de tutelar interesses indisponíveis, transindividuais, presentes e futuros. Nesse contexto, surge a Ação Civil Pública como meio de garantir o direito fundamental constitucionalmente assegurado de ter um meio ambiente ecologicamente equilibrado para as presentes e futuras gerações.

O art. 5º da LACP traz um rol de legitimados à propositura da ação, quais sejam: Ministério Público; Defensoria Pública; União, Estados, Distrito Federal e Municípios; autarquia, empresa pública, fundação ou sociedade de economia mista e associação. Todos esses legitimados assumem importante papel social na busca pela proteção ambiental (ROSSI;

GOMES, 2016). Embora, atualmente, o Ministério Público, venha assumindo o protagonismo desse papel, haja vista que quando não atuar como proponente da ação será chamado a intervir como fiscal da lei.

6.4.5.1 A condenação pecuniária e o Fundo de Defesa dos Direitos Difusos

Outra inovação trazida pela Lei de Ação Civil Pública diz respeito ao destino da indenização ou das multas processuais, que não irão para as vítimas diretas ou indiretas do prejuízo, mas para Fundo de Defesa dos Interesses Difusos e Coletivos (MACHADO, 2006). Ele está previsto no art. 13 da LACP, que diz: “Havendo condenação em dinheiro, a indenização pelo dano causado reverterá a um fundo gerido por um Conselho Federal ou por Conselhos Estaduais de que participarão necessariamente o Ministério Público e representantes da comunidade, sendo seus recursos destinados à reconstituição dos bens lesados” (BRASIL, 1985).

O Fundo de Defesa dos Interesses Difusos e Coletivos foi criado para evitar que o dinheiro arrecado nas condenações ficasse disperso nos diversos órgãos públicos e que tivesse uma destinação desconexa com o dano causado. Assim, o próprio bem lesado deve ser o objeto da reparação. Caso não seja possível a reparação direta do bem lesado, o dinheiro da condenação poderá ser utilizado para preservar ou restaurar outros bens pertinentes (MEDEIROS; ALBUQUERQUE, 2012).

Salienta-se que, embora o objetivo inicial do fundo estabelecido no art. 13 da LACP consista na reconstituição dos bens lesados, ele foi ampliado em razão do art. 6º do Decreto nº 1.306/94 (BRASIL, 1994), que regulamenta o Fundo de Defesa de Direitos, de forma que hoje pode ser usado para recuperação de bens, promoção de eventos educativos e científicos, edição de material informativo e modernização administrativa dos órgãos públicos responsáveis pela execução de políticas públicas.

6.5 Responsabilidade civil ambiental na cadeia de CCUS

As atividades que envolvem CCUS podem vir a acarretar danos ao meio ambiente passíveis de responsabilização. Esses danos podem ocorrer nas diversas etapas de implementação dessas tecnologias, mas, especialmente, na estocagem de gás carbônico, haja vista ser uma atividade de longo prazo que protraí a questão da responsabilidade.

Por essas razões, a maior parte dos países desenvolvidos que possuem projetos de CCUS têm em seus regramentos a transferência de responsabilidade a longo prazo, após a contenção permanente do CO₂, que para se efetivar leva em consideração a estabilidade do armazenamento, o encerramento das atividades de injeção e o monitoramento; como bem exemplifica a Figura 19:

Figura 19 – CO₂ storage site lifecycle and allocation of liable entities – host state

Fonte: WARREN, 2011.

Nesse sentido, Romerio-Conturbia (2015, p. 59) preleciona que é um desafio projetar as regras de responsabilidade de longo prazo, pois:

Como a captura e o armazenamento de carbono ainda representam uma recente tecnologia de mitigação, atualmente não há casos reais de conflitos com responsabilidade de longo prazo e, portanto, elaboradores de políticas e cientistas são desafiados a antecipar questões sobre a extensão dos possíveis danos e o tipo de responsabilidade que as partes terão de abranger e cumprir. Conforme analisado, a abordagem mais comum para tratar a responsabilidade em várias jurisdições abrange a transferência de responsabilidade dos operadores para o país anfitrião (a autoridade relevante), uma vez que se demonstre que o CO₂ se comporta conforme o esperado para ser armazenado em uma projeção de estabilização a longo prazo (WARREN, 2011).

Muitos países desenvolvidos, como Austrália, Canadá e Estados Unidos, têm experiência em abordar a maioria dos problemas regulatórios do CCS. Atualmente, os países em desenvolvimento estão enfrentando o estabelecimento de suas próprias regulamentações, e é importante analisar seus esforços para compartilhar suas experiências regulatórias de CCS. Como a falta de definição das responsabilidades a longo prazo e as implicações associadas podem aumentar os riscos e custos para um projeto de CCS, este tópico avalia as principais estruturas legais e regulatórias do CCS em todo o mundo com um foco especial nas regras relativas à transferência de responsabilidade a longo prazo cada jurisdição.

No Brasil, como não há legislação e/ou norma específica que trate da atividade CCUS, aplica-se o regramento geral de responsabilidade civil ambiental. A legislação ambiental prevê que a responsabilidade civil ambiental é objetiva e orientada pela teoria do risco integral, ou seja, o causador do dano responde integralmente pelo seu ressarcimento, sem excludentes de responsabilidades e independentemente de prazos. Tem-se, ainda, que além do agente explorador da atividade CCUS responder pelos danos causados, o próprio Município, Estado, Distrito Federal ou União podem vir a ser condenados pelos danos, em razão da falha no dever fiscalizatório.

6.6 Conclusão do capítulo

No Brasil, a responsabilidade civil ambiental observa alguns critérios que a diferenciam de outros tipos de responsabilidades. Essas peculiaridades são importantes, pois trazem maior segurança jurídica, ao assegurar que o poluidor é responsável por assumir todo o risco que sua atividade produz; ou seja, é assegurado o dever de indenizar (COLOMBO, 2006).

De acordo com Bedran e Mayer (2013), a responsabilidade civil por danos ambientais tem por objetivo coibir ações de degradação e impor ao causador de dano o dever de repará-lo. Os danos ambientais são coibidos pela responsabilidade civil na modalidade objetiva, independentemente de aferição de culpa, e consoante a teoria do risco integral, sem qualquer excludente; ou seja, havendo dano ambiental, e a prova de que ele advém de determinada fonte e/ou atividade poluidora, haverá o dever de reparar.

A reparação ambiental não é simples, pois nem sempre será possível retornar ao *status quo ante* e tampouco a indenização pecuniária será sempre o suficiente para minorar os efeitos de degradação ambiental. Nesse sentido, a reparação pelo dano ambiental não tem a capacidade de reconstituir o meio ambiente a sua integridade ambiental ou a qualidade do meio antes de ter sido afetado, por isso indenizações e compensações serão sempre simbólicas; logo, a reparação no dano ambiental é difícil. A prevenção é a melhor solução (Antunes 2008.).

Assim, “em termos econômicos, a responsabilidade civil é vista como uma das técnicas de incorporação das chamadas externalidades ambientais ou custos sociais ambientais decorrentes da atividade produtiva” (BENJAMIN, 1998).

A fim de assegurar a preservação do direito fundamental ao meio ambiente ecologicamente equilibrado para as presentes e futuras gerações, como determina o art. 225 da Carta Maior, foram criados mecanismos processuais de defesa do dever de preservação ambiental a serem manejados pelo Poder Público e pela coletividade. Assim, a tutela ambiental

configura-se não somente um direito, mas principalmente um dever das esferas públicas (Poderes Legislativo, Executivo e Judiciário) e da sociedade civil (Associações, Fundações, ONGs, OSCIPs, dentre outros) (COSTA, 2007).

Dentre os mecanismos capazes de assegurar a defesa do meio ambiente, no ordenamento jurídico pátrio, destacam-se as seguintes ações e/ou medidas: a Ação Civil Pública; a Ação Popular; o Termo de Ajustamento de Conduta; o Inquérito Civil e o Fundo de Defesa dos Interesses Difusos e Coletivos. Esses mecanismos denotam a relevância do papel reservado ao Poder Judiciário na tutela ambiental, que deve se posicionar quanto às ameaças e lesões ao direito de cidadania ambiental submetidas a sua apreciação; bem como o papel pujante conferido ao Ministério Público na guarda e defesa da ordem ambiental.

Por conseguinte, nota-se que a temática ambiental aparece como um dos assuntos mais importantes da atualidade, “na medida em que se torna mais evidente que o crescimento econômico, a garantia da qualidade de vida às futuras gerações e, sobretudo, a sobrevivência da espécie humana não pode ser pensada sem a perspectiva de um meio ambiente equilibrado” (COSTA, 2007).

A necessidade de proteger o meio ambiente surge com o desequilíbrio ecológico gerado pela constante modificação da natureza para que o ser humano tenha a seu favor um maior conforto (VASCONCELLOS, 2007). Diante da necessidade de continuar o desenvolvimento, preservando o meio ambiente de seus efeitos nocivos, têm surgido novas tecnologias de desenvolvimento limpo, como a captura e estocagem de carbono. Contudo, mesmo essas tecnologias podem causar danos ao meio ambiente, ao passo que a atividade de armazenamento geológico é prolongada, e ao longo do tempo pode gerar acidentes ambientais, tais como, vazamentos de gás e contaminação de recursos hídricos.

Diante da existência de dano, como foi detalhado, haverá o dever de indenizar daquele que o causou (o poluidor), independentemente de culpa e sem excludente de responsabilidade; para que a reparação ocorra, é possível utilizar, em âmbito coletivo, os mecanismos processuais de defesa ambiental supracitados.

Por conseguinte, conclui-se que a responsabilidade civil ambiental, no Brasil, é objetiva e orientada pela teoria do risco integral, podendo ser imputada por diversos mecanismos processuais de defesa do meio ambiente. Tais características acabam por ser um desestímulo às atividades de estocagem de carbono, haja vista que encarecem os custos pela socialização dos riscos; diferentemente de outros países, nos quais a responsabilidade pela atividade é do agente por um período específico de tempo e posteriormente é repassada integralmente ao Poder Público, conforme se observará no próximo capítulo.

7 ASPECTOS RELEVANTES DA RESPONSABILIDADE CIVIL NAS ATIVIDADES ESTOCAGEM DE CARBONO

As pressões sociais quanto às questões ambientais, os danos e mudanças provenientes das ações antrópicas impulsionam a necessidade de ações do setor público e privado. Nessa seara, surgem as *Environmentally Sound Technologies* (ESTs — tecnologias ambientalmente amigáveis) com o fito de equacionar os problemas ambientais (CÂMARA, 2012).

As atividades de CCUS representam uma tecnologia ambientalmente amigável, uma vez que vem em resposta à necessidade de diminuição de emissão de gases de efeito estufa. Contudo, essa tecnologia também possui um viés ambiental de risco, razão pela qual deve ser regulada e implementada visando a sua responsabilidade socioambiental.

Há dois aspectos relevantes que devem ser observados pelo Brasil no desenvolvimento e criação de seu sistema de regulação para as atividades de estocagem de carbono, especialmente no que tange à responsabilidade civil por eventuais danos, quais sejam: primeiro, a experiência e legislações de outros países nos quais o sequestro e armazenamento geológico de carbono já estão amplamente difundidos, pois essas normatizações podem servir de parâmetro para a regulação brasileira; e segundo, a necessidade de prever nesses regramentos mecanismos de prevenção de acidentes ambientais, lastreados no gerenciamento social de riscos e segurança das atividades de estocagem de CO₂, temas que serão abordados neste e no próximo capítulo.

7.1 A experiência de países selecionados

Segundo Monteiro Júnior (2015), os países desenvolvidos já reconheceram a importância jurídica e econômica da regulação do mecanismo de CCUS (sequestro geológico de carbono). A regulação desse mecanismo se baliza na busca do desenvolvimento sustentável, através da minimização dos impactos ambientais e da garantia de um meio ambiente equilibrado para as gerações futuras.

Países em desenvolvimento, como Brasil, precisam regular os mecanismos de CCUS em face da possibilidade de danos ambientais e da responsabilidade civil decorrentes dessa atividade. Atendo-se à necessidade de regulação específica do setor e da responsabilidade civil subjacente à atividade de risco de sequestro geológico de carbono, serão apresentadas experiências de regulação em países selecionados, sendo eles Austrália, Canadá, Estados Unidos, países pertencentes à União Europeia, Reino Unido, Noruega e Japão.

7.1.1 Austrália

A Austrália possui um sistema de regulação de CCUS em constante evolução. Consoante Cook (2009), um fator-chave para essa situação é o fato de a Austrália ser um dos maiores emissores de GEE per capita do mundo, apesar de ser responsável por apenas 1,5% das emissões globais, em razão de sua alta dependência de energia advinda de combustíveis fósseis.

Diante dessa situação, a Austrália preocupou-se em regular a implantação da tecnologia CCUS. O país possui regulação específica sobre o mecanismo de sequestro geológico de carbono, detalhando diversos critérios importantes como competência, jurisdição, limites de emissões, incentivos fiscais, responsabilização (MONTEIRO JÚNIOR, 2015).

Na Austrália há legislação nos níveis federal, estadual e territorial sobre o CCUS³¹. O Greenhouse Gas Storage Act 2009 prevê que as licenças de exploração e estocagem de carbono, para serem concedidas e/ou renovadas, dependem de avaliação de autoridade ambiental (40, 96, 118 e 130); e que se nas atividades a serem desenvolvidas houver a implicação de possíveis problemas e/ou poluição hídrica, deve haver também aprovação prévia do Ministro responsável pela administração da Water Act 2000 (seções 54, 57, 144, 147 e 165) (COSTA; MUSSARA, MIRANDA, 2018).

Em razão das disposições da Seção 111 do Petroleum and Geothermal Energy Act 2000, os exploradores de CCUS são obrigados a pagar ao estado a compensação de reabilitação ambiental como resultado de potencial ameaça ou ocorrência de sérios danos ambientais. Os responsáveis pela concessão das licenças também podem adotar medidas de prevenção ou minimização dos danos ambientais e reabilitação da terra (COSTA; MUSSARA, MIRANDA, 2018).

No Greenhouse Gas Geological Sequestration Act 2008 (Victorian Onshore Act) há determinação de que a estocagem de CO₂ não pode ser realizada quando representar risco para a saúde humana ou para o meio ambiente (seções 40 e 96) (COSTA; MUSSARA; MIRANDA, 2018).

Por sua vez, o Offshore Petroleum and Greenhouse Gas Storage Act 2010 (Victorian Offshore Act) traz mecanismos de proteção ambiental ligados principalmente ao fechamento

³¹ Destacam-se os seguintes regramentos australianos que tem implicação na responsabilidade civil decorrente das atividades de captura e estocagem de carbono: Greenhouse Gas Storage Act 2009 (Qld GHG Storage Act); Petroleum and Geothermal Energy Act 2000 (South Australia P&GE Act); Greenhouse Gas Geological Sequestration Act 2008 (Victorian Onshore Act) e Offshore Petroleum and Greenhouse Gas Storage Act 2010 (Victorian Offshore Act).

do local e remediação após o término da injeção de CO₂ (seção 371) (COSTA; MUSSARA; MIRANDA, 2018).

Na Austrália, a transferência da responsabilidade de longo prazo nas atividades de estocagem de carbono dá-se transcorrido ao menos 15 (quinze) anos do fechamento do local de armazenamento e desde que demonstrada a estabilidade do local, que não há riscos significativos de escapes de gás e haja o oferecimento de uma garantia que cubra as despesas com monitoramento, como explica Romeiro-Conturbia (2014, p. 60):

O Governo da Austrália estabeleceu em 2008 uma regulamentação offshore para armazenamento de CO₂ com base na legislação existente sobre petróleo, através de uma emenda da Lei de Petróleo Offshore de 2006, atualmente renomeada como Offshore Petroleum and GHG Storage Act.

2006. A alteração também inclui que a transferência da responsabilidade de longo prazo do operador para o Governo será feita no final do período pós-encerramento. De acordo com a Lei, a Autoridade Relevante pode declarar o período de garantia de fechamento para um projeto de seqüestro de CO₂ se (a) o certificado de fechamento do local estiver em vigor em relação a uma formação de armazenamento de GEE identificada;

(c) no dia da decisão que é pelo menos 15 anos após a emissão do certificado de fechamento do local, o Ministro da Commonwealth responsável está convencido de que:

(i) o GHG injetado na formação está se comportando como previsto na Parte A do plano local aprovado para a formação; e

(ii) não há risco significativo de que uma substância de gás de efeito estufa injetada na formação tenha um impacto adverso significativo na integridade geotécnica do todo ou de parte de uma formação geológica ou estrutura geológica (...) (Austrália, 2006). Além disso, a seção 391 da Lei exige que um aviso de pré-certificado relacionado a um certificado de fechamento do local calcule o total de custos e despesas do programa de monitoramento de longo prazo e que o valor da garantia seja igual a esses custos estimados.

Apesar da regulação do setor na Austrália, ainda falta normatização clara e detalhada quanto aos riscos de longo prazo, e, em especial, assunção de riscos e responsabilidade pelo governo (COOK, 2009). Isso deve-se ao fato da legislação de CCUS ainda não ter sido muito aplicada, uma vez que as atividades envolvendo estas tecnologias no país ainda estarem no início (ROMEIRO-CONTURBIA, 2014, p. 60).

7.1.2 Canadá

Em todas as esferas de governo canadense há legislações reguladoras do impacto das atividades poluidoras no meio ambiente. A proteção ambiental não está expressa na Constituição do Canadá, assim, a competência de legislar é concorrente, apresentando uma

regulamentação ambiental complexa e que, em muitos casos, torna-se vaga, o que propicia uma flexibilização na aplicação das leis (MESQUITA; REZENDE, 2017).

Apesar disso, o Canadá tem décadas de experiência no setor de petróleo e gás, sendo que os marcos regulatórios em vigor para este setor no país formam uma base sólida para as atividades que envolvem CCUS (MITROVIĆ; MALONE, 2011).

As províncias canadenses têm se destacado na regulamentação das atividades de captura e armazenamento geológico de carbono, esse posicionamento pode ser evidenciado pela criação e/ou adequação das legislações promovidas pelos governos de Alberta, British Columbia, Nova Scotia e Saskatchewan (COSTA; MUSSARA; MIRANDA, 2018).

A província de Alberta possui legislações específicas quanto às atividades de captura e estocagem de CO₂. A *Mines and Minerals Act*, R.S.A. 2000, estabelece a proibição de injeção de CO₂ capturado em reservatório de subsuperfície sem autorização e/ou licença (seção 54 e 117). O *Carbon Sequestration Tenure Regulation* elenca regras específicas para os contratos de concessão de exploração e armazenamento de CO₂, tais como: prazo de concessão e renovação de contrato de atividade CCUS (regulamentos 10 e 11); a área máxima a ser abarcada por um contrato de sequestro de carbono (regulamento 12); a permissão para perfurar poços e injetar CO₂ em reservatórios subterrâneos profundos (regulamento 9); a vedação do direito de ganhar, trabalhar ou recuperar quaisquer minerais encontrados dentro da terra coberta pela concessão de sequestro de carbono, dentre outras (COSTA; MUSSARA; MIRANDA; 2018).

Nesse sentido, corrobora Romeiro-Conturbia (2014) que as alterações ao Estatuto de Captura de Carbono e Armazenamento de Alberta (ALBERTA, 2010) e a Lei de Posse de Sequência de Carbono (AR68/2011) trouxeram disposições importantes ao regramento de CCUS em Alberta, quais sejam, concedeu ao governo a propriedade do espaço poroso e a sua competência para conceder licenças e locações para armazenamento de CO₂; e criou requisitos para obtenção de direitos de posse de espaço poroso para armazenamento de CO₂, como licenças de avaliação, arrendamentos e direitos de perfuração de poços, respectivamente.

Quanto à responsabilidade de longo prazo, na regulamentação de Alberta sobre CCUS há previsão de transferência de todas as responsabilidades para o governo, contudo, não há um prazo mínimo específico para a aludida transferência. No entanto, há recomendação de só se conceder um certificado de encerramento após no mínimo 10 (dez) anos depois do início do período de retirada das estruturas e cessamento de injeções, e desde que demonstrada a conformidade com os critérios de desempenho requeridos para o encerramento. Assim explica Romeiro-Conturbia (2014, p. 60):

No que diz respeito à responsabilidade a longo prazo, a propriedade do CO₂ armazenado é conferida ao governo mediante a emissão de um certificado de encerramento do Ministro. Com isso, o Governo de Alberta assume todas as responsabilidades resultantes de atividades previamente acordadas com a operadora. Embora a Lei de Alterações do Estatuto do CCS de Alberta (2010) não especifique o período mínimo de fechamento, a Avaliação do Marco Regulatório CCS de Alberta (Alberta Energy, 2013) fornece alguma recomendação sobre responsabilidade de longo prazo, incluindo que um período de fechamento mínimo é necessário antes de aceitar a responsabilidade para o local do operador.

Como a definição do período de tempo mínimo pode ser difícil, o mesmo varia amplamente entre países e jurisdições. Por conseguinte, o quadro regulamentar de de avaliação de Alberta recomenda que:

O Governo de Alberta só deve conceder um certificado de encerramento após um período não inferior a 10 anos após o início do período de encerramento e quando o locatário tiver demonstrado a conformidade constante com os critérios de desempenho requeridos para o encerramento. À medida que mais experiência é adquirida no CCS, o governo de Alberta deve reavaliar a adequação dos critérios de desempenho para o fechamento e o período mínimo de fechamento (ALBERTA, 2013).

Há, ainda, nas alterações ao Estatuto do CCS de Alberta de 2010 previsão de um fundo de gestão pós-encerramento que se destina a cobrir o monitoramento do CO₂ armazenado, remediação de instalações e demais responsabilidades remanescentes assumidas pelo governo, consoante o acordado entre o operador e o Governo de Alberta (ROMEIRO-CONTURBIA, 2014).

Assim, observa-se que no Canadá, assim como em outros países, a regulação de CCUS é um processo que envolve diversos setores sociais, devendo ser debatida e construída com efetiva participação de todos os interessados, a fim de que se estabeleça uma normatização eficiente e sólida.

7.1.3 Estados Unidos

Nos Estados Unidos, como preleciona Monteiro Júnior (2015), as atividades de injeção de substâncias e resíduos no subsolo e em formações geológicas já são realizadas há mais de 40 (quarenta) anos por intermédio de Recuperação Avançada de Petróleo (RAP). Em razão das atividades de RAP acentuadas, os Estados Unidos possuem diversas regulações que são também aplicáveis às atividades específicas de Armazenamento Geológico de CO₂.

Nos Estados Unidos, a regulação das atividades que envolvem a captura, transporte, uso e armazenamento de CO₂ – CCUS revelam critérios sociais e ambientais focados na segurança e responsabilidade socioambiental. A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) estabeleceu exigências (requisitos para permissões, caracterização do local, responsabilidade financeira, etc) no nível federal para operadores que visam estocar CO₂ em

formações geológicas. Vários estados federados, por sua vez já criaram suas regulações do setor.

Há ampla regulamentação para o setor nos Estados Unidos, quanto à responsabilidade civil por estocagem de carbono e mecanismos de prevenção de riscos, ressaltam-se os seguintes regulamentos e leis (COSTA; MUSSARA; MIRANDA; 2018):

- a) *Chapter 43-05 Geologic Storage of Carbon Dioxide (North Dakota Storage Administration Statute)*: exige que os operadores implementem o plano de resposta às emergências e segurança pública e o plano de segurança do trabalhador proposto na respectiva solicitação de permissão (Seção 43). O Estatuto diz que os pedidos de licenças para operar instalações de armazenamento devem incluir, entre outras coisas: 1) um mapa do local do reservatório de armazenamento e avaliação técnica da instalação de armazenamento; 2) um plano de detecção e monitoramento de vazamentos para poços e instalações de superfície; 3) um plano de detecção e monitoramento de vazamentos utilizando poços subsuperficiais para monitorar o movimento de CO₂ fora do reservatório; 4) uma garantia de desempenho para fornecer à Comissão Industrial da Dakota do Norte fundos suficientes para satisfazer qualquer obrigação regulatória que o operador não cumpra; e 5) um plano de fechamento (sob a seção 43-05-01-05).
- b) *North Dakota Century Code Chapter 38-22 Carbon Dioxide Underground Storage (North Dakota CO₂ Storage Statute)*: o Estatuto exige que, antes que a Comissão Industrial de Dakota do Norte emita uma licença de armazenamento de CO₂, deve estar satisfeito que, entre outras coisas (Seção 38-22-08): 1) a instalação de armazenamento proposta é adequada para injeção de CO₂ e armazenamento; 2) a instalação de armazenamento proposta não afetará adversamente as águas superficiais ou a água doce; 3) O CO₂ não escapará do reservatório de armazenamento; 4) o reservatório de armazenamento não será contaminado por substâncias que possam comprometer sua integridade; 5) a instalação de armazenamento não colocará em perigo a saúde humana nem colocará em perigo o meio ambiente; e 6) que a instalação de armazenamento é de interesse público.
- c) *Chapter 3: Oklahoma Carbon Capture and Geologic Sequestration Act (Oklahoma CCS Act)*: a Lei de CCS de Oklahoma exige que os operadores de instalações de sequestro de CO₂ obtenham uma licença antes de operar a instalação (§27A-3-5-104 (B)). Antes de obter tal autorização: 1) o órgão relevante (conforme determinado de acordo com 27A) -3-5-103) deve ser solicitado para realizar uma

audiência; e 2) o operador deve fornecer aviso da audiência a várias partes interessadas de acordo com §27A-3-5-104 (D). A propósito, eles têm o programa federal de controle de injeção subterrânea de Oklahoma (§27A-3-5-104 (B)).

- d) *Title 2: Water Administration, Subtitle D: Water Quality Control, Chapter 27: Injection Wells (Texas Injection Wells Act)*: a Lei diz que pode conceder um pedido de permissão para injetar CO₂ para armazenamento geológico, no todo ou em parte, e emitir a licença pertinente, se achar que, entre outras coisas: 1) CO₂ a injeção e o armazenamento não põem em perigo ou prejudicam a saúde e a segurança humanas; e 2) o reservatório no qual o CO₂ é injetado é ou pode se tornar adequado para proteção contra a fuga ou migração de CO₂ (Sob a seção 27.051 (b-1)). Deve incluir termos e condições razoavelmente necessários para proteger a água doce da poluição, como o revestimento necessário.
- e) *Title 16: Economic Regulation, Part 1: Texas Railroad Commission, Chapter 5: Carbon Dioxide (Texas CO₂ Code)*: o Código de CO₂ do Texas prevê que uma licença de instalação de CO₂ pode ser emitida se o requerente tiver demonstrado, entre outras coisas, que: 1) com salvaguardas apropriadas, água potável subterrânea e fontes de água de superfície podem ser adequadamente protegidas da migração de CO₂ ou fluidos de formação deslocados ; 2) a injeção de CO₂ não colocará em risco ou prejudicará a saúde e a segurança humana; e 3) o reservatório no qual o CO₂ deve ser injetado é ou pode se tornar adequado para a proteção contra a fuga ou migração de CO₂. (§5.206 (a))
- f) *Texas Health and Safety Code, Title 5: Sanitation And Environmental Quality, Subtitle C: Air Quality, Chapter 382: Clean Air Act, Subchapter K: Offshore Geologic Storage of Carbon Dioxide (Texas Offshore Storage Act)*: a lei autoriza que a Comissão de Conservação de Recursos Naturais do Texas adote padrões para, entre outras coisas, a localização de um repositório de CO₂. Prevê também que, caso sejam emitidos requisitos federais de captura de CO₂, a Comissão deve assegurar que a localização do repositório de CO₂ cumpre esses requisitos (artigo 382.502).
- g) *Title 54: Public Utilities, Chapter 17: Energy Resource Procurement Act, Section 701: Rules for Carbon Capture and Geological Storage (Utah CCS Rules Statute)*, - requer Sob a seção 54-17-701 (6): 1) assegurar que padrões adequados de saúde e segurança sejam cumpridos; minimizar o risco de vazamento inaceitável de CO₂; e

2) supervisão regulatória adequada e informação pública sobre captura e sequestro de carbono.

- h) *Title 35: Public Health and Safety, Chapter 11: Environmental Quality, Article 3: Water Quality (Wyoming Sequestration Permitting Statute)*: o Estatuto de Permissão de Sequestro de Wyoming requer que questões específicas sejam tratadas pelas recomendações, que incluem, entre outros: 1) o conteúdo requerido para pedidos de permissão, que deve incluir uma avaliação dos impactos esperados em recursos fluidos, estruturas subterrâneas e superfícies, medidas para mitigar tais impactos e planos de vigilância ambiental e detecção de excursões, programas de prevenção e controle; e 2) requisitos de ligação e garantia financeira para instalações e locais de sequestro de CO₂ (seção 35-11-313).
- i) *Code of Federal Regulations, Title 40: Protection of Environment, Parts 144 (Underground Injection Control Program), 145 (State UIC Program Requirements) and 146 (Underground Injection Control Program: Criteria and Standards) (USA Underground Injection Rules)*: as Regras de Injeção Subterrânea dos EUA proíbem qualquer atividade de injeção, incluindo aquelas que usam poços Classe VI em operações de armazenamento de CO₂, que permitem a circulação de fluido contendo qualquer contaminante em fontes subterrâneas de água potável, se a presença do contaminante puder causar violação dos regulamentos de água potável ou de outra forma afetar adversamente a saúde humana (§ 144.12).
- j) *Title 30: Minerals, Oil, and Gas and Environmental Quality, Chapter 11: Louisiana Geologic Sequestration of Carbon Dioxide Act (Louisiana CO₂ Sequestration Act)*: a Lei diz que a autoridade competente pode editar regras, regulamentos e ordens para, entre outras coisas: impedir a poluição de água doce por petróleo, gás, água salgada ou CO₂; e exigir a remoção de equipamentos, estruturas e lixo, e de outra forma exigir limpeza geral do local (§ 1104 (A)). O § 1104 (C) diz que antes de qualquer reservatório ser usado para armazenamento de CO₂, a Comissão de Conservação deve ter encontrado, após uma audiência pública, que: 1) tal uso do reservatório é adequado e viável; e 2) que o armazenamento proposto não ponha em perigo vidas humanas nem cause risco à propriedade.
- k) *Title 30: Minerals, Oil, and Gas and Environmental Quality, Chapter 3: Exploration and Prospecting (Louisiana MOGEQ Act)*: a Lei prevê que o Conselho Estadual de Minerais e Energia celebre contratos operacionais nos quais o Estado recebe uma parte das receitas provenientes do armazenamento de CO₂, entre outras

coisas, e assume todo ou parte do risco do custo dessa atividade, nas situações em que a Diretoria determinar que isso seria do melhor interesse do Estado, por razões de equidade ou de promoção da conservação (§ 209).

- 1) *Title 82: Mineral, Oil and Gas, Chapter 11: Oil and Gas Conservation, Part 1: Regulation by Board of Oil and Gas Regulation (Montana Oil and Gas Statute)*: o Estatuto diz que o Conselho de Conservação de Petróleo e Gás tem poderes para, entre outras coisas, exigir que os operadores tomem medidas para evitar a contaminação ou danos a terras circunvizinhas ou estratos subterrâneos causados por operações de perfuração. Esse poder inclui a regulação da injeção de CO₂ (Seção 82-11-111 (2)). A norma proíbe, entre outras coisas: poluição de quaisquer águas do estado; e colocar ou fazer com que seja colocada qualquer substância líquida, gasosa, sólida ou outra em um local onde ela possa causar poluição de quaisquer águas do estado (seção 82-11-127). Diz ainda que o sistema de permissão de injeção de CO₂, nos termos do Estatuto, deve incluir, entre outras coisas, a mitigação, capacidade de interromper e impactos de vazamentos de CO₂ (Seção 82-11-123).

Os Estados Unidos, ao regular as atividades que envolvem a estocagem de CO₂, na maioria das legislações supracitadas, limitou a expedição de licenças e/ou autorizações à inexistência de riscos ao meio ambiente, especialmente contaminação da água e segurança para os seres humanos. Também se observa que a questão da responsabilidade civil por eventuais danos é amplamente abordada.

Segundo Romeiro-Conturbia (2014), como Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) considera que a CCS é uma opção dentro das estratégias de mitigação para reduzir as emissões de GEE no país, estabeleceu exigências, por meio de estrutura legal e regulatória, no nível federal para operadores que objetivam realizar armazenamento geológico de CO₂ (para permissões, caracterização do local, responsabilidade financeira, etc), com o fito de proteger as fontes subterrâneas de água potável que possam vir a ser contaminadas por eventuais vazamentos do fluido de carbono injetado.

No que tange à transferência de responsabilidade de longo prazo pós-encerramento das atividades para o ente estatal, há um prazo mínimo de 50 (cinquenta) anos a ser observado, veja-se os apontamentos de Romeiro-Conturbia (2014, p. 67):

‘No que diz respeito à responsabilidade de longo prazo e ao gerenciamento de projetos de CCS sob a Regra da Classe VI, a EPA tem sido recomendada por muitas partes interessadas para transferir a responsabilidade para o governo estadual ou federal ou até mesmo para uma entidade financiada. A Lei de Água Potável Segura (SDWA) estabelece apenas que o operador deve provar que o armazenamento de CO₂ não implica em nenhum risco para a água potável e que o operador precisa atender a uma série de requisitos regulatórios. Embora a EPA reconheça a relevância de tais comentários sobre responsabilidade de longo prazo recomendada pelas partes interessadas, a Agência não tem autoridade, sob o SDWA, para impor a transferência de responsabilidade do operador. No entanto, em termos da monitorização do local pós-injeção, a EPA UIC

O Regulamento de Classe VI estabelece que:

A regra proposta identificou um período de tempo padrão do PISC de 50 anos após a suspensão da injeção. Esse cronograma foi baseado em uma revisão de pesquisas, relatórios do setor e programas ambientais existentes. (EPA, 2010)’.

Logo, durante os primeiros 50 (cinquenta) anos após o fechamento dos locais de injeção de CO₂, os operadores têm a responsabilidade de monitorar os locais de estocagem e verificar o comportamento e a migração do dióxido de carbono, garantindo que não haja vazamentos que causem riscos à água. O referido prazo pode ser adequado, diminuído ou ampliado, consoante as demonstrações de segurança e potenciais riscos apresentados pelo operador após o término da injeção de CO₂ (ROMEIRO-CONTURBIA, 2014).

7.1.4 União Europeia

O instrumento que criou a União Europeia³² – o Tratado de Roma de 1957, não dispunha sobre o tema meio ambiente no rol de políticas públicas do bloco regional; apesar disso, desenvolveu-se um conjunto de regras envolvendo o meio ambiente, principalmente a partir da década de 1970, na forma de diretivas e regulamentos, abarcando todas as áreas da proteção ambiental (QUEIROZ, 2005).

Atualmente, a proteção do meio ambiente ocupa um espaço central na agenda de discussões do processo comunitário da União Europeia. As questões ambientais inserem-se no campo das competências compartilhadas, assim sendo, tanto a União Europeia quanto os Estados-membros podem legislar sobre política de meio-ambiente.

Essa flexibilização quanto à possibilidade de adoção de medidas ambientais unilaterais por parte dos países membros gera um novo problema, qual seja, a necessidade da

³² A União Europeia (UE) – união econômica e monetária criada na década de 50 – é uma comunidade de países que compartilham objetivos e valores comuns, que adota um sistema normativo, jurídico e institucional próprio, onde o processo de tomada de decisões realiza-se por instituições supranacionais (MATA DIZ; GOULART, 2014) MATA DIZ, Jamile Bergamaschine; e GOULART, Rayelle Campos Caldas. A Aplicação do Princípio da Integração Ambiental nas Políticas Setoriais Europeia, in: MEZZAROBBA et al. (orgs.) *Revista Direito e sustentabilidade Coleção Conpedi/Unicuritiba*. V. 13. 1ª ed. Curitiba – PR: Clássica Editora, 2014. p. 46-73.

harmonização das legislações ambientais entre as legislações domésticas e a política ambiental comunitária (QUEIROZ, 2005). Sendo certo que na busca de compatibilização desses ordenamentos, a Justiça tem papel relevante na área ambiental, exercendo papel regulador na discricção dos Estados membros na seara ambiental, afastando medidas protecionistas que tem a capacidade de distorcer o comércio (Thorstensen, 1998). Há vários regramentos quanto à proteção ambiental, como citado acima.

Dentre o universo de legislações ambientais da UE, destaca-se a que³³ diz que os estados membros devem garantir que nenhuma exploração de carbono ocorra sem uma licença de exploração (artigo 5); e ainda que as licenças de exploração devem ser concedidas: (1) com base em critérios objetivos, publicados e não discriminatórios, através de procedimentos abertos a todas as entidades detentoras das capacidades necessárias; (2) em relação a uma área de volume limitado; (3) perdurar apenas pelo tempo necessário para levar a cabo as atividades de exploração relevantes; (4) conferindo ao titular da licença o direito exclusivo de explorar o complexo de armazenamento relevante. Os estados membros devem assegurar ainda que no caso de qualquer vazamento ou irregularidade significativa, o operador: (1) notifique imediatamente a autoridade competente; e (2) tome as medidas corretivas necessárias, no mínimo, de acordo com o plano de medidas corretivas aprovado (conforme o artigo 16) (COSTA; MUSSARA; MIRANDA; 2018).

A Diretiva da União Européia 2009/29/EC foi estabelecida em 2009, trata sobre o armazenamento geológico de CO₂ e faz parte do Pacote sobre Mudanças Climáticas da União Europeia, elenca o compromisso do bloco econômico de limitar as alterações climáticas globais a dois graus Celsius (2 °C), reduzindo 30% das emissões de GEE nos países desenvolvidos até 2020, e 60% a 80% até 2050, levando em conta que todas as tecnologias de mitigação devem ser consideradas. Sendo o principal objetivo de tal diretiva proteger e garantir a segurança do ambiente e da saúde pública relativa a eventuais riscos para as atividades de armazenamento de CO₂ (ROMEIRO-CONTURBIA, 2014).

A referida Diretiva aborda a transferência da responsabilidade de longo prazo no art. 18º (UNIÃO EUROPEIA, 2009), determinando que quando todos os elementos de prova disponíveis indicarem que o CO₂ armazenado está completa e permanentemente contido, que ocorreu a selagem do local e a remoção das instalações de injeção, poder-se-á transferir para a

³³ Directive 2009/31/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the geological storage of carbon dioxide and amending Council Directive 85/337/EEC, European Parliament and Council Directives 2000/60/EC, 2001/80/EC, 2004/35/EC, 2006/12/EC, 2008/1/EC and Regulation (EC) No 1013/2006 (EU CO₂ Storage Directive), European Union

autoridade competente a responsabilidade pelo local de armazenamento geológico, desde que transcorrido pelo menos 20 anos:

Artigo 18.º

Transferência de responsabilidade

1. Se o local de armazenamento for encerrado por força das alíneas a) ou b) do n.º 1 do artigo 17.º, todas as obrigações legais relacionadas com a monitorização e as medidas correctivas previstas na presente directiva, com a devolução das licenças de emissão em caso de fuga prevista na Directiva 2003/87/CE e com as acções de prevenção e reparação previstas no n.º 1 do artigo 5.º e no n.º 1 do artigo 6.º da Directiva 2004/35/CE são transferidas para a autoridade competente, por iniciativa desta ou a pedido do operador, se estiverem preenchidas as seguintes condições:

- a) Todos os elementos de prova disponíveis indicarem que o CO₂ armazenado será completa e permanentemente confinado;
- b) Ter decorrido um período mínimo a determinar pela autoridade competente. Esse período mínimo não deve ser inferior a 20 anos, a não ser que a autoridade competente esteja convencida de que o critério referido na alínea a) será preenchido antes do fim do referido período;
- c) Terem sido cumpridas as obrigações financeiras a que se refere o artigo 20.º;
- d) Terem-se verificado a selagem do local e a remoção das instalações de injeção.

2. Para o efeito, o operador deve elaborar um relatório que ateste o cumprimento da condição referida na alínea a) do n.º 1 e apresentá-lo à autoridade competente a fim de que esta aprove a transferência de responsabilidade. Esse relatório deve demonstrar, pelo menos:

- a) A conformidade do comportamento real do CO₂ injectado com o seu comportamento no modelo utilizado;
- b) A ausência de qualquer fuga detectável;
- c) A evolução do local de armazenamento para uma situação de estabilidade a longo prazo.

A Comissão pode emitir directrizes sobre a avaliação dos elementos referidos nas alíneas a), b) e c) do primeiro parágrafo, nas quais deve salientar as eventuais implicações para os critérios técnicos aplicáveis à determinação dos períodos mínimos a que se refere a alínea b) do n.º 1.

3. Quando a autoridade competente verificar que estão reunidas as condições a que se referem as alíneas a) e b) do n.º 1, redige um projecto de decisão de aprovação da transferência de responsabilidade. O projecto de decisão deve especificar o método para determinar que se encontram preenchidas as condições a que se refere a alínea d) do n.º 1, bem como os eventuais requisitos actualizados aplicáveis à selagem do local de armazenamento e à remoção das instalações de injeção.

Se a autoridade competente considerar que não estão preenchidas as condições a que se referem as alíneas a) e b) do n.º 1, informa o operador das suas razões.

4. Os Estados-Membros colocam os relatórios referidos no n.º 2 à disposição da Comissão no prazo de um mês a contar da respectiva recepção. Colocam igualmente à disposição todo o material relacionado que deva ser tido em conta pela autoridade competente na preparação do projecto de decisão de aprovação da transferência de responsabilidade. Os Estados-Membros comunicam à Comissão os projectos de decisões de aprovação elaborados pela autoridade competente nos termos do n.º 3 e qualquer outro material tido em conta na formulação da sua conclusão. A Comissão pode emitir um parecer não vinculativo sobre o projecto de decisão de aprovação no prazo de quatro meses a contar da respectiva recepção. Se a Comissão decidir não emitir parecer, deve informar do facto o Estado-Membro no prazo de um mês a contar da apresentação do projecto de decisão de aprovação e fundamentar a sua decisão.

5. Quando a autoridade competente verificar que estão reunidas as condições a que se referem as alíneas a) a d) do n.º 1, aprova a decisão final e notifica o operador. A autoridade competente notifica igualmente a decisão final à Comissão, expondo as razões de qualquer eventual divergência em relação ao parecer desta última.

6. Após a transferência da responsabilidade, cessam as inspecções ordinárias previstas no n.º 3 do artigo 15.º e a monitorização pode ser reduzida a um nível que permita a detecção de fugas ou de anomalias significativas. Se forem detectadas anomalias significativas ou fugas, a monitorização deve ser intensificada para avaliar a escala do problema e a eficácia das medidas correctivas.
7. Caso tenha havido comportamento faltoso do operador, nomeadamente nos casos de fornecimento de dados deficientes, ocultação de informações relevantes, negligência, fraude intencional ou imprudência, a autoridade competente cobra ao antigo operador os custos suportados após a transferência de responsabilidade. Sem prejuízo do artigo 20.º, não são cobrados quaisquer outros custos após a transferência da responsabilidade.
8. Se um local de armazenamento for encerrado por força da alínea c) do n.º 1 do artigo 17.º, considera-se que a transferência de responsabilidade tem lugar se e quando todos os elementos de prova disponíveis indicarem que o CO₂ armazenado será completa e permanentemente contido e após a selagem do local e a remoção das instalações de injeção.

A Diretiva UE 2009/29/EC ainda traz em seu bojo a previsão de um fundo de reserva que deve ser garantido quando houver a transferência de responsabilidade de longo prazo, para as responsabilidades vindouras e custos de monitoramento, no art. 20º (UNIÃO EUROPEIA, 2009):

Artigo 20.º

Fundo de reserva

1. Antes de ser efectuada a transferência de responsabilidade nos termos do artigo 18.º, os Estados-Membros asseguram que o operador ponha à disposição da autoridade competente uma contribuição financeira, na forma a decidir pelos Estados-Membros. A contribuição do operador deve ter em conta os critérios referidos no anexo I e os elementos relativos ao histórico do armazenamento de CO₂ que sejam pertinentes para determinar as obrigações pós-transferência e cobrir pelo menos o custo previsto da monitorização durante um período de 30 anos. Esta contribuição pode ser utilizada para cobrir os custos suportados pela autoridade competente após a transferência de responsabilidade para garantir que o CO₂ fique completa e permanentemente confinado a locais de armazenamento geológico após a transferência de responsabilidade.
2. A Comissão pode emitir directrizes para o cálculo dos custos a que se refere o n.º 1, a elaborar em consulta com os Estados-Membros, a fim de assegurar a transparência e a previsibilidade para os operadores.

7.1.5 Reino Unido

De acordo com Câmara (2012), no Reino Unido as questões envolvendo CCUS se vinculam às energéticas. Essa situação decorre do fato de a principal fonte de emissão de gases do efeito estufa do Reino Unido ser a produção de energia a partir de combustíveis fósseis.

Toledo Filho (2014.), quanto à política do clima no Reino Unido, explica que a política do clima é conformada por diversos instrumentos voltados à internalização dos custos da emissões de gases de efeito estufa em diferentes setores da economia, tal como o uso de

instrumentos econômicos de comércio de cotas de emissões ou taxas de carbono; bem como estimula o desenvolvimento de energia limpa e melhoria da eficiência energética. Assim, desse complexo de instrumentos vigentes no Reino Unido, destacam-se os seguintes, com implicações para as tecnologias CCUS:

- a) *Energy Act 2008*, que fornece um quadro regulamentar para o licenciamento de armazenamento de dióxido de carbono *offshore* (UNITED KINGDOM CCS LEGISLATION; GLOBAL CCS INSTITUTE, 2019).
- b) *Energy Act 2010*, lei de incentivos financeiros, na forma de taxas para os fornecedores de eletricidade, com o objetivo de financiar projetos de CCS no Reino Unido (CÂMARA, 2012).
- c) *Energy Act 2008 (Consequential Modifications) (Offshore Environmental Protection) Order 2010*, altera uma série de regulamentos relativos à proteção do ambiente *offshore* para que eles se apliquem às atividades relacionadas ao armazenamento permanente de CO₂ (capítulo 3 do ato energético) (UNITED KINGDOM CCS LEGISLATION; GLOBAL CCS INSTITUTE, 2019).
- d) *The Storage of Carbon Dioxide (Licensing etc.) Regulations 2010*. Os regulamentos abrangem: as condições de concessão de licenças e autorizações de exploração; as obrigações do operador de armazenagem; o encerramento do local de armazenagem; período pós-encerramento; e a segurança financeira. Também alteram os regulamentos de danos ambientais (prevenção e remediação) que implementam a diretiva de responsabilidade ambiental. A operação de armazenagem é adicionada à lista de atividades causadoras de danos (UNITED KINGDOM CCS LEGISLATION; GLOBAL CCS INSTITUTE, 2019).

Logo, pode-se observar que o Reino Unido tem mantido um papel de liderança na discussão e promoção de políticas de mitigação da mudança do clima. Segundo Toledo Filho (2014) o país “foi o primeiro, e durante muitos anos também o único, país com metas obrigatórias de longo prazo para a redução de emissões inscrita em sua legislação nacional.”

Para Romeiro-Conturbia (2014), o Reino Unido instituiu requisitos para a regulamentação do armazenamento de longo prazo do CO₂ no mar, em seu território, por intermédio da Diretiva EU CCS sobre armazenamento geológico de dióxido de carbono, introduzindo a exigência de licença pela autoridade competente, podendo conter exigências sobre o fechamento do local de armazenamento de carbono:

Em 2010, o Parlamento do Reino Unido introduziu um regime de autorização para atividades de CCS offshore e essa regulamentação satisfaz parcialmente o compromisso do Reino Unido de transpor a Diretiva da UE sobre a CCS para o direito interno do Reino Unido. Essa lei regula, inter alia, a concessão de licenças, os períodos de encerramento e pós-encerramento. No que diz respeito à responsabilidade, o operador mantém todas as responsabilidades durante a fase pós-encerramento durante pelo menos 20 anos até à transferência da responsabilidade para a autoridade relevante, de acordo com os requisitos da Diretiva da UE sobre a CCS.

Logo, o desenvolvedor da atividade fica responsável pela integridade da instalação de armazenamento pelo período de 20 anos, sendo que após esse período ocorre a transferência da responsabilidade para a autoridade relevante.

7.1.6 Noruega

O governo norueguês atribui grande importância ao CCUS. O armazenamento geológico de CO₂ na Noruega vem sendo realizado em escala comercial, como é o caso do Projeto Sleipner, iniciado em 1996. Espera-se que da implantação ao encerramento do projeto sejam armazenados em torno de 20 milhões de toneladas do CO₂, a um custo total de 80 (oitenta) milhões de dólares; bem menor do que aquele que a empresa teria se o CO₂ estivesse sendo liberado na atmosfera, próximo a 50 (cinquenta) milhões de dólares a cada ano, levando-se em consideração as emissões entre 1996 e 1999 e as taxas por emissão impostas pelo governo Norueguês (HOPPE, 2009); e do projeto nos campos de Snøhvit (em operação desde 2007).

Embora a Noruega não possua um quadro jurídico e regulamentar específico de CCS, tem trabalhado em novos regulamentos que cobririam o transporte e armazenamento de CO₂ em reservatórios geológicos na plataforma continental norueguesa, de acordo com a legislação de petróleo existente, bem como ratificou mecanismos internacionais de regulação de exploração e estocagem de CO₂, tendo como ponto central das atividades de CCUS a avaliação do impacto não só sob o aspecto econômico, mas também ambiental, visando a mitigação de danos, segundo Romeiro-Conturbia (2014).

A Noruega ratificou a emenda de exportação de CO₂ para a 36ª reunião da Convenção de Londres e a 9ª reunião do Protocolo de Londres, de 3 a 7 de novembro de 2015. Regulamentos relativos à exploração de reservatórios submarinos na plataforma continental para armazenamento de CO₂ e relacionados ao transporte de CO₂ na plataforma continental foram estabelecidos por Decreto Real em 5 de dezembro de 2014, de acordo com a Seção 3 da Lei n. 12, de 21 de junho de 1963, relativa à pesquisa científica e exploração de recursos naturais submarinos que não os recursos petrolíferos. Uma regra importante nessas regulações é a que

aponta que o plano de desenvolvimento e operação de reservatório submarino para injeção e armazenamento de CO₂ deve incluir medidas preventivas e de mitigação de impactos ambientais (COSTA, MUSSARA; MIRANDA; 2018).

Quanto à responsabilidade de longo prazo, o país, seguindo a diretiva da União Europeia, indicou a intenção de aderir ao prazo mínimo de 20 (vinte) anos pós-fechamento do local de estocagem para transferir a responsabilidade à autoridade competente. É importante destacar, também, que na Noruega há uma lei que impõe um imposto sobre as emissões de CO₂, o que incentiva a implantação de projetos CCUS. Veja-se os apontamentos de Romeiro-Conturbia (2014) descrevem que o principal motor da legislação norueguesa sobre CO₂ como Parte no Acordo sobre o Espaço Econômico Europeu é a obrigação de implementação da Diretiva sobre CCS da EU (2009), onde há indicação de implementação da diretiva no prazo de 20 anos (Global CCS Institute, 2013).

Aduz, ainda, a intenção do governo de transpor a Diretiva CCS para o direito nacional a fim de permitir a inserção do Esquema de Comércio de Emissões da União Europeia (ETS) com projetos de CCS; constatando que desde a adoção da Diretiva apenas dois projetos de CCS estavam em operação, 1996 e 2001, e , respectivamente regulados pela Lei do Petróleo; e aponta que o governo federal limita a emissões de CO₂ através do Imposto sobre a Quitação de CO₂ no Petróleo (Lei do Imposto CO₂ nº 72 de 1990).

7.1.7 Japão

O Japão tem por meta ser um país neutro em carbono até 2050 (OBAYASHI, 2019). O país tem se comprometido a comercializar tecnologia de captura e utilização de carbono (CCU) até 2023 e captura e armazenamento de carbono (CCS) usados na geração de energia a carvão até 2030.

No Japão, as atividades que envolvem a tecnologia CCUS também estão passando por discussões e o implemento de marcos regulatórios, dentre estes, destacam-se: emendas na Lei de Prevenção da Poluição Marinha de 2007, para refletir o protocolo de Londres 1996; participação na *International Convention for the Prevention of Pollution From Ships* (MARPOL); estabelecimento da *Law Concerning the Promotion of Measures to Cope with Global Warming*; o desenvolvimento do *Kyoto Protocol Target Achievement Plan* e do *Action Plan for Building a Low Carbon Society*. (CÂMARA, 2012).

O Japão tem investido pesado em tecnologia, mas não tem apresentado quaisquer planos para enfrentar sua dependência do carvão. Assim, tem-se que o país lançou uma estratégia climática de longo prazo (SAUER, 2019).

7.1.8 Nações Unidas

As Nações Unidas aceitaram as atividades de CCUS como MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo que pode gerar créditos de carbono a serem negociados no mercado. O MDL tem o escopo de auxiliar países no cumprimento de sua obrigação, incentivar o setor privado e contribuir com esforços na redução de GEE por países em desenvolvimento, sendo um instrumento projetado para atingir reduções de emissões de GEE e promover o desenvolvimento sustentável em países em desenvolvimento (LAZARO e GREMALD, 2017).

O artigo 12 do Protocolo de Kioto (PK) estabeleceu a redução de emissões por intermédio de projetos certificados por uma entidade operacional com fundamento em benefícios reais, mensuráveis e de longo prazo relacionados com a mitigação da mudança do clima, e reduções de emissões que sejam adicionais as que ocorreriam na ausência da atividade certificada de projeto. Portanto, é mecanismo importante para se assegurar o crédito de carbono. No entanto, Lazaro e Gremauld (2017) apontam diversas críticas no Mecanismo, tais como a falta de incentivos financeiros face a dificuldade de monetizar o desenvolvimento sustentável e a tendência de priorizar as reduções certificadas de emissões.

Conforme explicita Romeiro-Conturbia (2014), a atividade foi caracterizada como um projeto válido no MDL, em 2010, no decorrer da COP-16, com estrutura regulatória prevista em “Modalidades e Procedimento para CCS em formação geológica como Atividades de Projeto de MDL” e aprovada em 2011, no decurso da COP-17. Segundo essa estrutura, o acolhimento de um projeto de CCS sob o MDL só poderá ocorrer diante da existência de legislação específica para regular a atividade, mediante a apresentação de acordo ao Secretariado da UNFCCC, e existência de regulamentação específica.

Para que seja gerador de crédito, a atividade deve ter sua responsabilização regulamentada, com previsão para o vazamento potencial de dióxido de carbono armazenado ou qualquer outro dano potencial. Nesse sentido, há a alocação da responsabilidade no país desenvolvedor da atividade com a sua transferência para o participante do projeto. Deve, ainda, haver o monitoramento adequado do local de estocagem e encerramento definitivo da atividade.

De acordo com o entendimento da autora, o MDL concentra-se no fornecimento de ferramentas para o fechamento do “pós-site” e orientação sobre o asseguramento de provisões

para a responsabilidade de longo prazo. Assim, a responsabilidade por potencial vazamento de dióxido de carbono ou qualquer outro dano potencial apresenta como maior desafio a garantia da responsabilização pelo risco de problemas futuros. Uma das tarefas desafiadoras é assegurar os projetos de aprovação somente quando a gestão de responsabilidade apropriada existir, tendo em vista que a geração do crédito se vincula à existência de uma gestão apropriada da responsabilidade.

Portanto, aponta o que segue:

O monitoramento do local de armazenamento geológico não deve ser terminado antes de 20 anos após o término do último período de obtenção de créditos da atividade de projeto do MDL ou após a cessação da emissão de RCEs, o que ocorrer primeiro. (UNFCCC, 2011b).

A transferência de responsabilidade pode ocorrer somente se nenhuma infiltração ocorrer nos últimos 10 anos e sob as circunstâncias que evidenciam o monitoramento de que o armazenamento de CO₂ será sequestrado permanentemente da atmosfera a longo prazo. Particular atenção tem sido focada em possíveis estruturas para lidar com vazamentos (“não-permanência”). O documento estabelece que 5% (cinco por cento) da Redução Certificada de Emissões (RCEs) resultante do projeto de MDL precisam ser mantidos em uma conta de reserva e obrigar os participantes do projeto a usar essa reserva para compensar qualquer reversão líquida de armazenamento (ROMEIRO-CONTURBIA, 2014, p. 69-70)

Diante desse entendimento, há a responsabilidade pelo acompanhamento e fiscalização do local de estocagem pelo período de 20 anos, contados da percepção do último crédito de MDL ou da cessação da emissão de RCEs. No entanto, não há resposta para a responsabilização após tal período. Nesse sentido, deve haver normatização para responder a este vácuo legal.

7.2 Sumário das responsabilidades em países selecionados

Nas legislações dos países selecionados há requisitos e prazos mínimos para a transferência da responsabilidade de longo prazo do explorador para o Estado nas atividades de estocagem de gás carbônico que vão de 10 (dez) anos a 50 (cinquenta) anos. A Tabela 2 apresenta um resumo dos prazos de transferência em cada um desses países e o fundamento normativo:

Tabela 2 – Prazos de transferência de responsabilidade de longo prazo

País	Quadro Jurídico e Regulamentar do CCS	Adoção	Período mínimo para transferência de responsabilidade a longo prazo
Austrália	Lei de Petróleo Offshore e Armazenamento de GEE	2006	Pelo menos 15 anos após a emissão do certificado de fechamento do local.
Reino Unido	Lei sobre a energia 2008 e a Diretiva CCS da UE	2008	Não menos do que 20 anos
União Europeia	Diretiva CCS da EU	2009	Não menos do que 20 anos
Noruega	Diretiva CCS da EU	2009	Não menos do que 20 anos
Canadá – Alberta	Lei das Alterações dos Estatutos da CCS	2010	Não menos do que 10 anos
Estados Unidos	Regulamento EPA UIC Classe VI	2010	50 anos após o término da injeção
Nações Unidas	Modalidades e procedimentos de MDL para CCS	2011	Não inferior a 20 anos ou após o término da emissão de RCEs

Fonte: ROMEIRO-CONTURBIA, 2014.

Conforme abordado, os países selecionados para o estudo neste capítulo têm criado ou alterado seus ordenamentos para aplicação nas atividades de CCUS, detalhando cada uma das suas etapas, especialmente o período pós-fechamento que engloba o monitoramento do local, a prevenção de riscos e a transferência de responsabilidades.

Importante frisar que a maior parte dos países verificados, a exemplo da Austrália e dos países pertencentes à União Europeia, estabeleceram mecanismos de financiamento para o período pós-fechamento – fundos para garantir os custos de monitoramento e de possíveis responsabilizações por eventuais danos.

As normas e regulamentos de direito comparado estudadas podem trazer diretrizes e informações importantes para o Brasil, no estabelecimento do seu próprio marco regulatório do CCUS, levantando indagações e aperfeiçoando um modelo a ser implementado a partir das experiências de tais países.

No Brasil, atualmente, com base na legislação ambiental vigente, não seria possível adotar essa mesma sistemática com relação à transferência de responsabilidade de longo prazo para o Estado após determinado período; para tanto, seriam necessárias alterações legislativas e/ou a criação de uma regulação específica para o setor.

Aliás, ao analisar as legislações e/ou regulação das atividades CCUS de países selecionados, pode-se perceber que é importante criar regulações específicas abordando as atividades de CCUS ou implementar modificações nas legislações já existentes que possam ser aplicadas a essas atividades. É também crucial que todos os setores envolvidos participem da elaboração desses normativos; que as responsabilidades em cada fase da operação sejam claramente definidas; e que os órgãos reguladores estejam presentes, apontando requisitos de

operação e/ou encerramento de cada fase das atividades CCUS e realizando a fiscalização e/ou monitoramento.

Como lições a serem apreendidas pelo Brasil, Romeiro-Conturbia (2014, p. 71-72) aponta que há dificuldades em definir um período de transferência de responsabilidade e os seus critérios:

Com relação ao passivo de longo prazo, os governos geralmente exigem um prazo mínimo após o término da injeção de CO₂ para prosseguir com a transferência de responsabilidade. Um grau razoável de semelhanças em relação às questões de responsabilidade na fase operacional e na fase pós-fechamento foi identificado na maioria dos regulamentos analisados, uma vez que eles fornecem uma distinção clara sobre a responsabilidade entre as diferentes fases do armazenamento de CO₂ e a pessoa projetada ou entidade seja responsável por qualquer dano. Tal período difere significativamente entre as jurisdições, variando de 10 anos (como no caso de Alberta, no Canadá) a 50 anos (como o caso dos Estados Unidos).

A responsabilidade de supervisionar um reservatório geológico com CO₂ armazenado deve ser transferida do operador para uma autoridade competente após um determinado período. Como parte de um plano para a administração pós-fechamento, o prazo e as condições para tal transferência devem ser claramente definidos em um regulamento apropriado.

Dada a atual falta de experiência em cessação de reservatórios de armazenamento de CO₂, a imposição de um prazo mínimo para a transferência de responsabilidade de longo prazo pode ser arbitrária neste momento (IEA, 2011). Além disso, a transferência de responsabilidade pode nunca ser completamente claramente definida e quase sempre incompleta de alguma forma (Macrory, 2011), e muitos aspectos relacionados ao armazenamento a longo prazo de CO₂ são específicos do local (como a adequação das ferramentas de monitoramento é em grande parte com base nas condições específicas do local (WRI, 2008), e que tal período pode ser ajustado (reduzido ou aumentado) dependendo das características específicas de um projeto de CCS e do critério das respectivas autoridades relevantes de cada jurisdição.

Mesmo com as dificuldades apontadas pela autora supracitada, tem-se que para o país implementar as atividades CCUS em larga escala será necessária regulamentação específica com previsão de transferência de responsabilidade, a fim de que a atividade se torne economicamente viável e atrativa aos investidores do setor, revertendo em ganhos ao meio ambiente, com a redução da emissão de GEE.

7.3 Conclusão do capítulo

O país, diante da importância da utilização de atividades de captura, transporte, uso e estocagem de carbono (CCUS), e a possibilidade de utilização dessas tecnologias como mecanismos de desenvolvimento limpo (MDL), geradores de crédito de carbono negociáveis, deve regular o setor criando um quadro normativo próprio, que aborde as responsabilidades ambientais por danos em cada etapa da cadeia, especialmente na atividade de estocagem a longo

prazo e a possibilidade de alocação dessa responsabilidade civil no Estado após um período de pós-encerramento da armazenagem.

É relevante, pois estes atos normativos podem servir de espelho para uma regulação própria, e já trazem em seu bojo elementos essenciais à regulação do setor, como: os requisitos relativos ao licenciamento, o monitoramento, as inspeções, medidas de prevenção e corretivas de danos, o encerramento das atividades, as obrigações e/ou responsabilidades por danos, a segurança das atividades.

Ao se analisar a legislação comparada aplicável às atividades CCUS, verificou-se a importância do delineamento da responsabilidade de longo prazo no Brasil, tendo em vista que a sua legislação ambiental não traz claramente o responsável pelo dano ambiental, havendo uma amplitude conceitual da responsabilidade, onde vislumbra-se mecanismos de indenização ilimitados e sem critérios normativos. Portanto, há a necessidade de estabelecimento claro dos limites da responsabilização. Vê-se que na legislação dos países estudados há previsão de transferência de todas as responsabilidades para o Estado após um determinado período de tempo após o fechamento do local de armazenamento e desde que demonstrada a estabilidade do local, com o estabelecimento de um prazo de responsabilização do responsável pelo empreendimento.

De acordo com a lei n.º 6.398, de 31 de agosto de 1981, em seu artigo 14 estabelece que é o poluidor obrigado, independentemente da existência de culpa, a indenizar ou reparar os danos causados ao meio ambiente e a terceiros, afetados por sua atividade. A delimitação de responsabilização do empreendedor pode ser tratada no regramento do licenciamento ambiental, com previsão de medidas e cautelas a serem empregadas pelo responsável pelo empreendimento, inclusive a necessidade de contratação de seguro de responsabilidade civil. Nesse sentido, é interessante a aplicação de limitadores tais como aplicados pela legislação alienígena. Segundo Polido (2005), os mercados de seguros têm buscado aprimorar mecanismos de proteção securitária dos riscos ambientais face questões de segurabilidade dos riscos de tal natureza serem altamente complexo onde os ‘danos ecológicos puros’ não apresentam perfeita sintonia entre o risco e a cobertura do seguro. Ainda, ensina que a efetividade do seguro é ferramenta de socialização de prejuízos, sendo reflexo de desenvolvimento na medida em que gera garantia patrimonial e garantia coletiva, onde o segurado fica obrigado a reparar o dano que a sociedade sofreu de forma difusa.

Para Seibt (2008), apesar de operar por mais de vinte anos, o mercado brasileiro de seguros de riscos ambientais é bastante incipiente, com poucas iniciativas verificadas e onde seus conceitos apontam para a necessidade de revisão e atualização. Entende que o seguro

ambiental deve ter caráter facultativo quanto à sua contratação, pois este jamais terá o condão de resolver integralmente os problemas inerentes à área ambiental, no Brasil e no mundo, urgindo a participação ativa de todos e em especial dos Empresários de Seguros. Logo há a necessidade de estudo a respeito das limitações do emprego do instituo diante da inexistência de critérios para a limitação da responsabilidade o que seria necessário para o estabelecimento da cobertura e delimitação do prêmio.

Conhecer a experiência regulatória de países desenvolvidos e os desafios que têm sido levantados com a aplicação de tais quadros regulamentares traz à tona muitos desafios que também serão apresentados no cenário nacional e que precisarão ser equacionados para que as atividades CCUS se difundam no país e sejam economicamente viáveis na realidade brasileira. Além de observar a experiência e legislações de outros países nos quais o sequestro e armazenamento geológico de carbono já estão amplamente difundidos.

Outro ponto importante na regulação do setor no país é a necessidade de prever nesses regramentos mecanismos de prevenção de acidentes ambientais, lastreados no gerenciamento social de riscos e segurança das atividades de estocagem de CO₂, tema que será melhor abordado no próximo capítulo.

8 PREVENÇÃO E CONTROLE DE ACIDENTES AMBIENTAIS

Nardocci (2002, p. 2 e 116) ensina-nos que o desenvolvimento tecnológico, a mudança de estilo de vida, o aumento da sensibilidade para os perigos à saúde e segurança tem como consequência um incremento na preocupação com a qualidade e riscos ambientais. Assim,

‘Para o gerenciamento efetivo dos problemas relacionados ao risco, contudo, este deve ser considerado não apenas como um conceito técnico, mas também como uma grandeza socialmente construída. Sendo assim, o gerenciamento de riscos deve ser entendido como o conjunto de regras e procedimentos que devam ser seguidos após a avaliação com o objetivo de controlar os riscos estimados, mas deve incluir todas as atividades técnicas e legais, bem como o conjunto de todas as decisões e escolhas sociais, políticas e culturais que se relacionam direta e indiretamente com as questões de riscos para a sociedade’.

Acidentes ambientais, além de atingirem o meio ambiente, por corolário, também afetam a saúde humana, o que fez surgir a necessidade de prevenção e controle. Nesse sentido, preleciona Cunha (2005.), que o desastre ecológico causa consequências ao homem, podendo levá-lo a morte, pobreza e pela busca de melhores condições socioeconômicas, sendo relevante o seu estudo. Para a autora portuguesa Aragão (2012), há três níveis de cumprimento do dever de proteção ambiental.: (1). promoção ativa da melhoria do estado do ambiente por intermédio de ações de aperfeiçoamento ambiental e investimento em reabilitação de habitats e ecossistemas; (2). evitar a degradação progressiva e gradual de ecossistemas, habitats e recursos naturais; e (3). prevenção e precaução para ocorrência de acidentes ambientais graves com consequências irreversíveis e importantes, que resultem em riscos ambientais.

A utilização de novas tecnologias de sequestro e armazenamento geológico de carbono atendem ao dever de diminuição de degradação ambiental ante a diminuição de emissão de gases de efeito estufa – GEE. Em contrapartida, as atividades de estocagem de carbono em formações geológicas a longo prazo podem vir a causar acidentes e/ou danos ambientais que impliquem em responsabilidade civil. Dessa feita, é premente discutir o controle e prevenção de acidentes nessas atividades, em especial, o gerenciamento social de riscos e a segurança das atividades de armazenamento de CO₂.

8.1 Gerenciamento social dos riscos

A necessidade do gerenciamento social dos riscos exsurge do reflexo paradoxal dos avanços tecnológicos, como é o caso das atividades envolvendo CCUS. Para Carvalho (2007) tais avanços tem a capacidade de gerar riscos potencialmente nocivos à saúde e ao meio

ambiente, devendo haver estruturas de tomadas de decisão em contexto de risco construídas por uma nova forma social pós-industrial como reação de instâncias de comunicação, tais como o Direito, a Economia e a Política. Assim, a Teoria do Risco necessita instrumentalizar os processos de decisão jurídica relacionadas às incertezas científicas de possíveis consequências nocivas oriundas da utilização de novas tecnologias,

Segundo Nardocci (2002) a tomada de decisões e definição de critérios quanto aos riscos é um processo muito complexo, que envolve a sua definição, avaliação de dados subjetivos e incertezas, aceitabilidade social, gerenciamento com lastro na distribuição de risco e benefícios, dentre outros aspectos. Aponta que o gerenciamento de riscos tem origem no julgamento da aceitabilidade dos níveis de riscos calculado, sendo importante a etapa de entendimento do problema e gerenciamento de ações

Para Luhmann (1989), o risco tem a função de determinar indeterminações com fundamento no binômio probabilidade/improbabilidade, sendo uma modalidade com relação estreita com o futuro. Nesse sentido, a autorização e/ou implementação de novas tecnologias e o desenvolvimento devem considerar questões econômico-sociais, haja vista que pessoas menos afortunadas tem a tendência de sofrerem as consequências imediatas(Cunha, 2005). Assim, o gerenciamento social de riscos, dentre suas análises, deve sopesar a justiça social no momento de definir a aceitabilidade dos riscos e as medidas de prevenção e controle a serem adotadas.

Sobre o assunto Cutter (2006 apud Aragão, 2012) destaca a necessidade de políticas públicas voltadas para a prevenção do risco e focadas na eficácia de ações preventivas que não ofusquem a justiça social inerente a medidas preventivas, já que há proximidade entre os risco a e as populações mais vulneráveis. A fim de dar efetividade ao direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, diante da instalação de atividade potencialmente poluidora e/ou insegura, deve-se realizar o estudo prévio de impacto ambiental. (CUNHA, 2005).

Segundo a Resolução CONAMA 001 (1986, impacto ambiental) é:

‘qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que direta ou indiretamente, afetam: I - a saúde, a segurança e o bem estar da população; II - as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e V - a qualidade dos recursos ambientais.’

No Brasil, a Lei Federal n.º 6.938 (BRASIL, 1981) estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente, e traz a exigência de que para receber licenças, as atividades e/ou obras potencialmente causadoras de degradação procedam o estudo de impacto ambiental (EIA),

detalhando, em resumo: identificação dos impactos ambientais, efeitos negativos e a definição de ações e meios para mitigação dos danos.

8.2 Segurança e atividade de estocagem de carbono

A atividade de estocagem de carbono, em razão de ser potencialmente poluidora face à possibilidade de vazamento do gás dos reservatórios geológicos, deve, obrigatoriamente, ser estruturada de forma estável e com parâmetros de contenção, a fim de ser um empreendimento ambientalmente seguro e aceitável, pois, conforme já salientado alhures, a estocagem de CO₂ deve ser menos prejudicial ao ambiente do que a contínua emissão do gás não capturado (RAVAGNANI; SUSLICK, 2008).

Nesse contexto, tem-se que o controle e a apuração dos riscos nas atividades de estocagem de carbono são guiados por três critérios específicos, quais sejam: a) a quantidade de CO₂ a ser injetada no reservatório subterrâneo; b) a densidade em que se mantém o gás quando sequestrado, que é inferior à densidade das camadas superiores de contenção; e c) a capacidade de armazenamento do depósito selado após injeção por centenas de anos. Variações em qualquer dos elementos supracitados devem ser objeto de constante análise e contenção por parte das instituições que desempenham as atividades CCUS e as autoridades públicas estatais competentes, a fim de evitar o maior dos efeitos danosos da técnica: o vazamento de carbono (CARVALHO, 2010). O cuidado necessário com a segurança pode minimizar a ocorrência de danos, bem como os problemas ocasionados por eventual acidente (CUNHA, 2005).

A natureza e o tipo dos mecanismos de captura e armazenamento variam dentro e durante a vida de um local e dependem das condições geológicas para um armazenamento de CO₂ confiável e eficaz. Locais de armazenamento geológico adequadamente selecionados armazenarão com segurança o CO₂ injetado permanentemente, o que é definido como mais de mil anos, segundo informações da Agência Internacional de Energia (IEA, 2019).

O monitoramento de reservatórios de armazenamento deve avaliar os mecanismos que controlam o comportamento do CO₂ injetado no subsolo, permitindo a observação contínua do desempenho do armazenamento e a detecção precoce de sinais de alerta de comportamento inesperado. O monitoramento é essencial não apenas na observação do comportamento do CO₂, mas também na calibração e validação de modelos preditivos (ou seja, modelos utilizados no gerenciamento de riscos com previsões testáveis).

A parte da segurança da estocagem também reflete no sistema de imputação de responsabilidade nas atividades envolvendo armazenagem de carbono. Conforme já salientado

anteriormente, pela legislação brasileira atual, o responsável por danos oriundos de vazamentos nos locais de armazenagem de CO₂ ao longo do tempo seria a empresa e/ou ente que realizou as injeções de gás carbônico, mesmo depois de encerradas as atividades de injeção. Caso tais vazamentos ocorram em períodos muito longos após o fechamento do local de estocagem, e se a empresa que realizou as injeções de gás não tiver condições de arcar com o ressarcimento, tiver falido ou encerrado as suas atividades, o próprio Estado poderá ser responsabilizado em razão da falha do seu dever fiscalizatório.

8.3 Conclusão do capítulo

O Brasil, diante da importância da utilização de atividades de captura e estocagem de carbono, a possibilidade de danos ambientais a longo prazo e a responsabilidade civil do Estado e de particulares, precisa regular a área.

Vários países desenvolvidos já criaram mecanismo e regulação para o desenvolvimento e utilização de sequestro e armazenamento geológico de CO₂, reconhecendo a importância dessa tecnologia para a proteção do meio ambiente e o desenvolvimento sustentável. Muito se tem avançado na regulação das tecnologias CCUS, detalhando requisitos relativos ao licenciamento, à composição do fluxo de CO₂, ao monitoramento, às inspeções, medidas de prevenção e corretivas de danos, o encerramento das atividades, as obrigações e/ou responsabilidades por danos, a segurança das atividades etc.

Nas atividades de estocagem de carbono, os riscos de acidentes ambientais são reais e o alcance dos resultados negativos é grande. Vários fatores podem desencadeá-los, por exemplo, a falta de plano emergencial e a desatenção à prevenção (CUNHA, 2005). Assim, mostra-se primordial que essas atividades, antes de instaladas, passem por estudo de impacto ambiental.

Nesse contexto, é importante controlar e prevenir acidentes ambientais, utilizando do gerenciamento social de riscos, haja vista que, como bem destaca Nardocci (2002, p.85):

‘Na organização atual da nossa sociedade, os riscos e custos são quase sempre sociabilizados enquanto os maiores benefícios são privados. As pessoas que estão expostas aos níveis mais altos de risco, em geral, não são as que recebem os maiores benefícios.’

As medidas que implementam segurança nas atividades de estocagem de CO₂ são de suma importância, pois os riscos — embora bastante remotos, dada a precisão no manejo do carbono junto aos depósitos — variam de asfixia a seres humanos a danos em plantações,

contaminação de recursos hídricos e até instabilidades do solo (abalos sísmicos) (CARVALHO, 2010).

Logo, para as atividades de estocagem de carbono se difundirem em larga escala no Brasil, é preciso equacionar as questões de segurança e o gerenciamento social de riscos, com o fito de minimizar os danos e repensar a responsabilidade civil ambiental dos agentes poluidores que operacionalizarem as atividades CCUS, a fim de tornar a implementação dessa tecnologia mais atrativa, economicamente viável, podendo-se utilizar como parâmetros para criação de um sistema de regulação nacional específica as regulações já existentes em outros países.

Na normatização da estocagem de gás carbônico desenvolvida no Brasil seria interessante desenvolver um modelo semelhante aos dos países estudados, no qual a responsabilidade de longo prazo é transferida para o Estado mediante a comprovação da estabilidade do local de armazenamento, das adequações de segurança do local, da baixa previsão de riscos e de compensações pecuniárias para essa assunção de responsabilidade.

9 CONCLUSÃO

Ao longo do presente trabalho, procurou-se analisar a responsabilidade civil na atividade de estocagem de gás carbônico no Brasil. Durante o desenvolvimento, abordou-se a conceituação, métodos de execução e a utilização das tecnologias CCUS como meios eficazes de mitigação de CO₂. Apontou-se, ainda, o estabelecimento dessas tecnologias como um novo setor de atuação industrial e comercial. Nesse contexto, prosseguiu-se com o intuito de demonstrar a necessidade da delimitação das responsabilidades e dos riscos da atividade, posto que esses componentes têm influência nos custos globais das atividades CCUS e acabam por determinar a sua oportunidade de implantação. À medida em que se avançou no estudo, foram apresentadas as experiências de países selecionados (Austrália, Canadá, Estados Unidos, União Europeia, Reino Unido, Noruega e Japão), além da prevenção e controle de acidentes ambientais pelo gerenciamento social de riscos e segurança na atividade de estocagem de carbono, a fim de demonstrar, através do direito comparado e das peculiaridades das atividades CCUS, que deve haver a criação de regulação específica para a atividade no Brasil.

Considerando-se, as hipóteses de estudo aventadas inicialmente, convém-se ratificar o posicionamento já explanado em diversas partes do presente estudo, qual seja, que o desenvolvimento de um mercado e/ou cadeia de captura e armazenamento de gás carbônico brasileiro, bem como suas atividades de uso, depende de uma fórmula regulatória que delimite as estruturas jurídicas pertinentes e adequadas ao incentivo de sua inserção nas políticas públicas desenvolvidas pelo Estado, especialmente a fixação do regramento de responsabilização civil por danos.

Com efeito, repisa-se que as atividades de estocagem de carbono são, enquanto técnicas geológicas e de engenharia, já bem conhecidas e estruturadas metodologicamente em seus usos. Todavia, a sua utilização e difusão como elemento de ação mitigatória das emissões de CO₂ estabeleceu-se numa situação de desamparo legal na qual não há contemplação regulatória específica, o que causa insegurança social, ambiental e empresarial, e faz, portanto, com que o estabelecimento desse novo setor econômico se torne intrincado, já que a falta de clareza estabelece um cenário de riscos e incertezas, afastando, deste modo, potenciais investidores.

Diante da necessidade premente da sociedade brasileira de alcançar o desenvolvimento econômico fundado na sustentabilidade e da preocupação com o prolongamento da existência de recursos naturais para o usufruto das gerações presentes e futuras, tornou-se ponto crucial o debate acerca das atividades que envolvem CCUS. Nesse sentido, a difusão dessas tecnologias se dá sob a influência que exercem no refreamento das alterações climáticas e do aquecimento

terrestre, em razão da diminuição das emissões de gases poluentes na atmosfera, mostrando-se como uma das mais eficazes ferramentas de captura do carbono.

As tecnologias de captura, utilização e armazenamento de carbono (CCUS), ou seja, de sequestro geológico de carbono, consubstanciam-se em técnicas de captura e manutenção do dióxido de carbono retido através de armazenamento em formações geológicas, ou seja, o lançamento de CO₂ para a atmosfera é diminuído consideravelmente; permitindo-se assim, a utilização de combustíveis fósseis até que seja realizada a sua substituição por fontes de combustíveis menos poluentes.

O sequestro geológico de carbono, como bem delimitado no estudo, é realizado por etapas que compreendem a captura, transporte e armazenamento geológico. A captura pode ser realizada por pós-combustão, por pré-combustão e por oxicombustão de carbono; onde diferentes processos para separar o CO₂ das misturas de gases são empregados. O transporte do CO₂ capturado, separado e comprimido pode ser realizado por navios, caminhões e carbidutos (tubulações *onshore* e *offshore*). Existem diversos processos de estocagem de CO₂ capturado: armazenamento geológico, armazenamento oceânico e fixação industrial de CO₂ em carbonatos inorgânicos, todavia, este estudo restringiu-se à estocagem geológica, como já salientado.

A estocagem em substrato geológico é uma modalidade de estocagem que ocorre por intermédio da injeção do CO₂ em formações geológicas pré-determinadas e específicas para este fim, utilizando mecanismos de armazenamento como o trapeamento físico estrutural, estratigráfico ou hidrodinâmico; o trapeamento geoquímico ou o trapeamento mineral. Dentre as atividades CCUS, escolheu-se delimitar a responsabilidade civil quanto à atividade de estocagem ou armazenamento, haja vista que essa atividade é desenvolvida por longo prazo, e durante todo o período de estocagem, caso não haja o monitoramento e a segurança necessária, podem ocorrer vazamentos que causarão danos ambientais e, consequentemente, a responsabilização do agente poluidor e, também, do Estado, a depender do caso.

Ante a gama de atividades humanas, a diversidade e a complexidade das relações sociais e/ou jurídicas, exsurtem também variadas espécies de responsabilidade. A responsabilidade civil é um aspecto da realidade social que nasce em razão de situações de dano oriundas do descumprimento de contratos, obrigações, atos ilícitos, poluição, enfim, toda conduta humana que viole os direitos de outrem e cause prejuízos acarreta a necessidade de reparação patrimonial ou extrapatrimonial, a fim de restaurar o equilíbrio, harmonia, ou seja, reestabelecer o *status quo ante*, recompor o estado original.

A responsabilidade civil, geralmente, pressupõe a existência de dolo ou culpa, nas modalidades de imprudência, negligência e imperícia, ou seja, é subjetiva. Todavia, em razão de atividades de risco e da necessidade da proteção de determinados bens coletivos, surge o instituto da responsabilidade objetiva, que traz a imputação do dever de reparar o dano ao seu agente causador independentemente de dolo ou culpa, sendo o caso da responsabilidade civil ambiental.

Nessa linha, tem-se que a responsabilidade civil ambiental no Brasil é objetiva, e ainda possui algumas peculiaridades no intuito de coibir ações de degradação e impor o dever de reparação ao poluidor, o que nem sempre é tarefa fácil nos casos de danos ambientais. Assim, reafirma-se que a responsabilidade civil ambiental se adaptou para conseguir fazer frente à elasticidade e variedade dos danos e tecnologias ambientais. A atividade de estocagem de CO₂ está inclusa nessas novas tecnologias que, em razão da possibilidade de gerar danos ambientais futuros, ficam vinculadas ao sistema de responsabilização ambiental, devendo ater-se aos pressupostos da responsabilidade civil por dano ecológico.

A responsabilidade civil ambiental é constitucionalmente assegurada no §3º, do art. 225, e no art. 14, §1º da Lei 6.938/81, sendo objetiva, orientada pela teoria do risco integral, sem a previsão de excludentes de responsabilidade — tais como, caso fortuito, força maior, intervenção de terceiros e, até mesmo, a licitude da atividade poluidora, em determinados casos —; para a responsabilização basta a prova da causalidade entre a atividade exercida e o dano experimentado.

A reparação civil do dano ambiental assumiu grande amplitude no Brasil, com profundas implicações quanto à responsabilidade do degradador, inclusive, a reparação do meio ambiente é imprescritível e irrestrita, por se tratar de um direito fundamental. Há o dever de reparar o meio ambiente a fim de que este retorne ao seu *status quo ante*, tal característica decorre do próprio dano ecológico que, na maioria das vezes, é continuado.

Assim sendo, o regramento de responsabilidade ambiental, tal qual encontra-se delineado em nosso país, atualmente, não estimula a difusão da estocagem de gás carbônico, pois encarece os custos dessas atividades face à imputação de responsabilidade civil por prazos não delimitados. Nessa senda é que se faz necessário criar regulações específicas que atendam às necessidades do setor, sendo uma destas mitigar a responsabilidade do operador da tecnologia, a fim de que a atividade se torne economicamente viável. Tal situação já é implementada no direito comparado, no qual a responsabilidade é do agente por um período de tempo determinado legalmente no pós-fechamento do local — geralmente varia de 10 (dez) a 50 (cinquenta) —, após, é transferida exclusivamente ao Estado.

Em anexo ao trabalho, propôs-se minuta de projeto de lei para alteração da Lei n.º 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, com o objetivo de alterar o prazo prescricional da responsabilidade civil, delimitando-a a dez anos, a partir da data de encerramento da atividade pelo explorador da atividade, na forma de regulamento. Tal proposição se funda na necessidade de haver prazos mais curtos nos moldes do Novo Código Civil, que diminuiu prazos prescricionais, com base na alteração rápida da sociedade e da necessidade do Direito acompanhar tais alterações. Assim, entende-se que o prazo prescricional mais longo previsto é o da regra geral do art. 205 do Código Civil. Logo, entende-se que este prazo deve se o aplicado ao caso de dano oriundo de acidente ambiental em tal atividade.

Repisa-se que o assunto abordado nesta dissertação de mestrado é assunto novo, e como tal, carece de mais trabalhos investigativos que apresentem profundidade e abranjam os aspectos aqui não tratados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR JÚNIOR, R. R. **Responsabilidade civil do médico**. In: TEIXEIRA, S. F. (Coord.). *Direito & medicina: Aspectos jurídicos da medicina*. Belo Horizonte: Del Rey, 2000.

AMADO, Frederico. **Direito Ambiental**. 1ª Edição. Editora Juspodium:2016. Disponível em <https://www.editorajuspodivm.com.br/cdn/arquivos/5d68a0374696f0d1661500f35a8abc71.pdf>. Acesso em 10 dez 2017.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil - Parte III - Fontes Não Renováveis**. 3ª edição. Brasília: ANEEL, 2008. Disponível em: www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas3ed.pdf. Acesso em 17 dez. 2017.

ANP, Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Resolução ANP nº 46 de 01 de novembro de 2016**. Aprova o Regime de Segurança Operacional para Integridade de Poços de Petróleo e Gás Natural. Disponível em: http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2016/novembro/ranp%2046%20-%202016.xml?f=templates&fn=document-frameset.htm. Acesso em 10 dez. 2017.

ANP, Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Resolução ANP nº 27 de 18 de outubro de 2006**. Aprova o Regulamento Técnico de Desativação de Instalações e especifica condições para devolução de áreas de concessão na fase de produção. Disponível em: http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2006/outubro/ranp%2027%20-%202006.xml?f=templates&fn=document-frame.htm. Acesso em 10 dez. 2017.

ANP, Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Glossário do Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**. Rio de Janeiro: ANP, 1997. Disponível em: www.anp.gov.br/wwwanp/?dw=82255. Acesso em 10 dez. 2017.

ANTUNES, P. B. **Direito ambiental**. 11ª edição. Rio de Janeiro: Lumen Júris, 2008.

ARAGÃO, Alexandra. **A prevenção de Riscos em Estados de Direito Ambiental na União Europeia**. Coimbra, 2012. Disponível em: <https://estudogeral.sib.uc.pt/handle/10316/20155?mode=full> Acesso em 11 de junho de 2019.

ASPELUND, A.; MØLNVIK, M.J.; KOEIJER, G. D. **Ship Transport of CO₂: Technical Solutions and Analysis of Costs, Energy Utilization, Exergy Efficiency and CO₂ Emissions**. Chemical Engineering Research and Design, Volume 84, Issue 9, September. Amsterdam: Elsevier, 2006. p. 847-855.

BAPTISTA, M. N.; CAMPOS, D. C. de. **Metodologias de Pesquisa em Ciências**. 2ª Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

BENSON, S.M. **Lessons Learned from Natural and Industrial Analogues: Carbon Dioxide Capture for Storage in Deep Geologic Formations—Results from the CO₂ Capture Project**, Vol. 2. London: Elsevier Publishing, 2005.

BRAGA NETO, Felipe Peixoto; DE FARIAS, Cristiano Chaves; ROSENVALD, Nelson. **Novo Tratado de Responsabilidade Civil**. 3ª edição. São Paulo: Saraiva Educação, 2018.

BRASIL. Conselho da Justiça Federal. **Enunciado 442 do Conselho de Justiça Federal**. Brasília: CJF, 2011. Disponível em: <http://www.cjf.jus.br/enunciados/enunciado/352>. Acesso em 02 jan. 2018.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília: Casa Civil, 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em 30 nov. 2017.

BRASIL. **Enunciado 455 do Conselho de Justiça Federal**. Brasília: CJF, 2011. Disponível em: <http://www.cjf.jus.br/enunciados/enunciado/401>. Acesso em 02 jan. de 2018.

BRASIL. **Lei Federal n.º 10.406, de 10 de janeiro de 2002**. Institui o Código Civil. Brasília: Casa Civil, 2002. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/L10406.htm. Acesso em 30 nov. 2017.

BRASIL. **Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília: Casa Civil, 1981. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm. Acesso em 29 nov. 2017.

BRASIL. **Protocolo de Quioto**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília: MMA, 1997. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/protocolo-de-quioto>. Acesso em 16 dez. 2017.

BRASIL. SUPERIOR TRIBUNAL DE JUSTIÇA (2ª Seção), REsp 1354536 / SE, Rel. Ministro Luis Felipe Salomão, julgado em 26/3/2014, DJe 05/05/2014, Recurso Repetitivo

BRASIL. SUPERIOR TRIBUNAL DE JUSTIÇA (4ª Turma). AgRg no AREsp nº 533.786/RJ, Rel. Ministro Antonio Carlos Ferreira, julgado em 22/9/2015, DJe de 29/9/2015.

BRASIL. SUPERIOR TRIBUNAL DE JUSTIÇA (3ª Turma). REsp nº 1.373.788/SP, Rel. Ministro Paulo de Tarso Sanseverino, julgado em 6/5/2014, DJe de 20/5/2014.

BRASIL. SUPERIOR TRIBUNAL DE JUSTIÇA. AgInt no REsp. 1.740.239/MA, Rel. Min. Luis Felipe Salomão, DJe 28.8.2018

BRASIL. SUPERIOR TRIBUNAL DE JUSTIÇA. REsp nº 650.728/SC, Rel. Min. Herman Benjamin, Data de Julgamento 23/10/2007

BRUNDTLAND, G. H. **Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future**. United Nations World Commission on Environment and Development. Oslo: UNWCED/ONU, 1987.

CÂMARA, G.; SILVA JÚNIOR, A.; ROCHAC, 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: CSW, 2011.

CÂMARA, George Augusto Batista. **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**. Tese de Doutorado. Faculdade Politécnica, Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2012. Disponível em: <http://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/14059>. Acesso em 12 jun. 2019.

CARVALHO, Délton Winter de. **O Direito e o Gerenciamento dos Riscos Ambientais** Revista Gestão e Desenvolvimento, v. 4, n. 1, 2007. Disponível em: <https://periodicos.feevale.br/seer/index.php/revistagestaoedesenvolvimento/article/view/866>. Acesso em: 12 jun. 2019.

CARVALHO, Lucas de Lima. **The Risks of Carbon Capture for the Environment and the Civil Liability in Brazil**. A Responsabilidade Civil do Estado Brasileiro perante os Riscos do Sequestro Geológico de Carbono para o Meio-Ambiente. LAWINTER REVIEW, Vol. I – n.º 02- Abril de 2010. New York, United States of America

CAVALIERI FILHO, Sergio. **Programa de Responsabilidade Civil**. 11 ed. – São Paulo: Atlas, 2014.

CHALMERS, H.; GIBBINS, J. **Carbon capture and storage: The ten year challenge**. Sage Journal, Vol 224, Issue 3. California: Sage Journal, 2011.

COELHO, F. U. **Curso de Direito Civil: Obrigações e Responsabilidade Civil**. 5ª edição, São Paulo: Saraiva, 2012.

COLE, I. S.; CORRIGAN, P.; SAMSON, S.; BIRBILIS, N. **Corrosion of pipelines used for CO2 transport in CCS: Is it a real problem?** International Journal of Greenhouse Gas Control, Volume 5, Issue 4, jul. Amsterdam: Elsevier, 2011. p. 749-756.

COLOMBO, S. **O princípio da precaução no Direito ambiental**. REMEA - Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental, [S.l.], v. 14, set. 2012. Disponível em: <https://www.seer.furg.br/remea/article/view/2889>. Acesso em: 10 dez. 2017.

COOK, Peter J. **Demonstration and Deployment of Carbon Dioxide Capture and Storage in Australia**. Energy Procedia, Volume 1, Issue 1, feb. 2009, p. 3859-3866. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610209008315>. Acesso em: 31 de maio de 2019.

COSHAM, A; EIBER R. **Fracture propagation in CO2 pipelines**. Journal of Pipeline Engineering. Melbourne: MPC, 2008.

COSTA, Hirdan Katarina de Medeiros; MUSSARA, Raíssa Moreira Lima Mendes; MIRANDA, M.F.. **The main environmental permitting requirements on CCS activities in Brazil: Sustainability and Development Conference**, 2018, Ann Arbor, MI, USA. Sustainability and Development Conference Proceedings. Ann Arbor, MI, USA: Michigan University, 2018. v. 01. P.01-23.

Costa, HKM; Musarra, R. **Princípios gerais do Direito: aplicabilidade nas atividades CCS**. In: Aspectos Jurídicos de CCS. Mimeo. 2019

COUTO E SILVA, C. **Principes fondamentaux de la responsabilité civile en droit brésilien et comparé**, p. 9. s.d.

CPRM, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Carvão Mineral**. Brasília: MME, 2014. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Canal-Escola/Carvao-Mineral-2558.html>. Acesso em 12 dez. 2017.

CRES, F. C.; PASCON, P. E. **A vez da captura e reciclagem de carbono**. Campinas: Processos, 2017. Disponível em: <http://www.processos.eng.br/Portugues/PDFs/A%20Vez%20da%20Captura%20e%20Reciclagem%20de%20Carbono.pdf>. Acesso em 09 dez. 2017.

CRQV. Conselho Regional de Química da 5ª Região. **Sequestro geológico de carbono pela preservação do meio ambiente**. s.d.. Disponível em: www.crvq.org.br/index/link/sub/id/pagina7. Acesso em 28 nov. de 2017.

CUNHA, Belinda Pereira da. **Desenvolvimento sustentável e dignidade**: considerações sobre os acidentes ambientais no Brasil. VERBA JURIS - Anuário da Pós-Graduação em Direito, v. 4, n. 4, 2005. Disponível em: <http://www.periodicos.ufpb.br/ojs2/index.php/vj/article/view/14821>>. Acesso em: 12 jun. 2019

DANTAS, T. L. P. et al. **Separação de dióxido de carbono por adsorção a partir de misturas sintéticas do tipo gás de exaustão**. Tese de Doutorado em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

DINIZ, M. H. **Curso de Direito Civil Brasileiro: Responsabilidade Civil**. Volume 7. 26ª edição. São Paulo: Editora Saraiva, 2012.

DIREITO, Carlos Alberto Menezes; CAVALIERI FILHO, Sérgio. **Comentários ao novo código civil**. Volume XIII. Rio de Janeiro: Forense, 2004. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=LEGISSUM%3A114527>. Acesso em 16 dez. 2017.

DOWER, N. G. B. **Curso Moderno de Direito Civil**. 3ª edição. Editora Nelpa; São Paulo, 2007.

EPA, United States Environmental Protection Agency. **Carbon Dioxide Capture and Sequestration**. Washington: EPA, 2016. Disponível em: <https://www.epa.gov>. Acesso em 03 dez. 2017.

EPE. **Balanço Energético Nacional 2016**: Ano base 2015. Rio de Janeiro: EPE, 2016.

EPE. **Balanço Energético Nacional 2013**: Ano base 2012. Rio de Janeiro: EPE, 2013.

EPE. **Balanço Energético Nacional 2014**: Ano base 2013. Rio de Janeiro: EPE, 2014.

EPE. **Balanço Energético Nacional 2015**: Ano base 2014. Rio de Janeiro: EPE, 2015.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **Balanço Energético Nacional 2017**: Ano base 2016. Rio de Janeiro: EPE, 2017.

EUR-LEX, EU legislation. **European Union Directives**. Bruxelas: EUR-Lex, 2015

FIORILLO, C. A. P. **Curso de Direito Ambiental**. 17ª edição. São Paulo: Editora Saraiva, 2017.

GAGLIANO, P. S.; PAMPLONA FILHO, R. **Novo Curso de Direito Civil: Responsabilidade Civil – Volume III**. 8ª edição. São Paulo: Saraiva, 2010.

GAMA, I. F. da. **O protocolo de Kyoto, o sequestro de carbono e o uso da tributação como instrumento de proteção ambiental**. Monografia de Pós-Graduação Lato Sensu da União Educacional do Planalto Central. Brasília: UNIPLAC, 2009.

GAO, L.; FANG, M.; LIB, H.; HETLAND, J. Cost Analysis of CO₂ Transportation: Case Study in China. **Energy Procedia**. Amsterdam: Elsevier, 2011.

GLOBAL CARBON CAPTURE AND STORAGE INSTITUTE. **The Global Status of CCS**. Melbourne: Global CCS Institute, 2014.

GONÇALVES, Carlos Roberto. **Responsabilidade Civil**. 14ª edição. São Paulo: Saraiva, 2012.

HOPPE, Letícia. **Geração de Energia Limpa e Diversificação da Matriz Energética: a viabilidade da produção de gás natural a partir do armazenamento geológico de CO₂ na jazida de Charqueadas**. Tese (Mestrado) - PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL. Porto Alegre, 2009.

IBP, Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis. **Produção primária de energia no Brasil**. 2018. Disponível em: <https://www.ibp.org.br/observatorio-do-setor/producao-primaria-de-energia-no-brasil/>. Acesso em 23 dez. 2018.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007: Synthesis Report**. Disponível em: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm. Acesso em 30 nov. 2017.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **IPCC Special Report: Carbon Dioxide Capture and Storage**. Geneve: IPCC, 2005. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/srccs>. Acesso em 30 nov. 2017.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **The IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation**. New York: IPCC, 2011. Disponível em: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm. Acesso em 30 nov. 2017.

IRLAM, L. **Global Costs of Carbon Capture and Storage 2017 Update**. Melbourne: Global CCS Institute, 2017. Disponível em: <http://hub.globalccsinstitute.com/sites/default/files/publications/201688/global-ccs-cost-updatev4.pdf>. Acesso em 28 nov. de 2017.

JUANES, R.; SPITERI, E. J.; ORR JR, F. M.; BLUNT, M. J. **Impact of relative permeability hysteresis on geological CO₂ Storage**. Water Resources, vol 42. Indianapolis: John Wiley & Sons, 2006.

JÚNIOR, J. V. M.; XAVIER, Y. M. de A.; ALVES, F. G. **A Regulação do Sequestro de Carbono no Brasil como instrumento de proteção do meio ambiente**. Revista Direito e Energia, Ano 5, volume 8, ago/dez. Natal: UFRN, 2013.

KARAYANNIS, V.; CHARALAMPIDES, G.; LAKIOTI, E. **Socio-economic aspects of CCS technologies**. Department of Environmental Engineering, Technological Education Institute of Western Macedonia. Kozani (Greece): TEIWM, 2014.

LAZARO, Lira Luz Benites; GREMAUD, Amaury Patrick. **Contribuição para o Desenvolvimento Sustentável dos Projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo na América Latina**. Organ. Soc., Salvador, v. 24, n. 80, p. 53-72, Mar. 2017. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1984-92302017000100053&lng=en&nrm=iso>. access on 16 Jan. 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/1984-9230803>.

LEE, U.; YANG, S.; JEONG, Y. S.; LIM, Y.; LEE, C. S.; HAN, C.. **Carbon Dioxide Liquefaction Process for Ship Transportation**. Washington: Industrial & Engineering Chemistry Research, 2012.

LEITE et al. **Ambiental na Sociedade de Risco**. São Paulo: Editora Saraiva, 2012.

LICKS, L. A. dos S. **Avaliação do processo de captura de dióxido de carbono por absorção química, visando a aplicação em termelétricas a carvão no Brasil**. Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: PUCRS, 2008.

LNEG, Laboratório Nacional de Energia e Geologia. **Água Subterrânea: Conhecer para Proteger e Preservar**. 2011. Disponível em: http://www.lneg.pt/CienciaParaTodos/edicoes_online/diversos/agua_subterranea/texto. Acesso em: 28 nov. 2017.

MACHADO, P. A. L. **Direito Ambiental Brasileiro**. 14ª Edição. São Paulo: Malheiros, 2006.

MACHADO, P. L. O. de A. **Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global**. Química Nova, v. 28, nº 2, p. 329-334, Mar. São Paulo: Sociedade Brasileira de Química, 2005. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422005000200026&lng=en&nrm=iso. Acesso em 29 nov. 2017.

MATSUURA, S. **Captura de carbono se dissemina como opção para frear aquecimento. MEIO ambiente e sustentabilidade: crescimento responsável**. Época, n. 536, 25 ago. 2008. Encarte tecnológico. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/sociedade/sustentabilidade/captura-de-carbono-se-dissemina-como-opcao-para-frear-aquecimento-19681125#ixzz4jE9tlihG>. Acessado em 29 nov. 2017.

MESQUITA, Cláudia Helena Alves; REZENDE Elcio Nacur. **A responsabilidade Civil Ambiental no Canadá: retrocesso ambiental?** Revista Argumentum - Argumentum Journal of Law. v. 18, n. 1 (2017), p. 163-169. Disponível em: ojs.unimar.br/index.php/revistaargumentum/article/view/171. Acesso em: 22 de abril de 2019.

MEZZARROBA, O.; MONTEIRO, C. S. **Manual de Metodologia da Pesquisa do Direito**. 4ª edição. São Paulo: Saraiva, 2008.

MILARÉ, E. **Direito do Meio ambiente: a gestão ambiental em foco**. 6ª edição. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2009.

MIRANDA, P. de. **Direito das obrigações: direito de obrigações, fatos ilícitos absolutos**. São Paulo: Editora Revista dos Tribunais, 2012.

MITROVIĆ, Milenka; MALONE, Alexandra. **Carbon capture and storage (CCS) demonstration projects in Canada**. Energy Procedia. Volume 4, 2011, p. 5685-5691.

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610211008411>. Acesso em: 19 de janeiro de 2019.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Águas subterrâneas: Um recurso a ser conhecido e protegido**. Brasília: MMA, 2007.

MMA, Ministério do Meio Ambient. **Resolução CONAMA 001**, de 23.01.1986

MOHD et al. Review: Carbon Dioxide Capture: Biomass-Derived-Biochar and Its Applications. **Journal of Dispersion Science and Technology**, Vol. 34. Londres: Taylor & Francis, 2012.

MONTEIRO JÚNIOR, José Vieira. **A regulação do sequestro geológico de carbono como instrumento de fomento ao desenvolvimento na indústria do petróleo brasileira**. Natal, 2015. Disponível em:

https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/21999/1/Regula%c3%a7%c3%a3oSequestroGeol%c3%b3gico_MonteiroJunior_2015.pdf. Acesso em: 12 março de 2019.

MONTEIRO, W. B. **Curso de Direito Civil: Direito das Obrigações**. 37ª edição. São Paulo: Saraiva, 2010.

MUKAI, Toshio. **Responsabilidade Civil Objetiva por Dano Ambiental com base no Risco Criado**. Revista de Direito Administrativo. Rio de Janeiro. 229: 253-257, jul/set. 2002. Disponível em www.fgv.br. Acessado em 30 jul 2019.

NARDOCCI, Adelaide Cássia. **Gerenciamento Social de Riscos**. Revista de Direito Sanitário, vol. 3, n. 1, março de 2002. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6134/tde-22082014-155818/publico/DR_409_Nardocci_1999.pdf. Acesso em: 12 jun. 2019.

NEGÓCIO, C. D.; CASTILHO, E. W. V. de. **Meio Ambiente e Desenvolvimento: uma interface necessária**. In: THERODORO, S. H.; BATISTA, R. C.; ZANETTI, I. (Coordenadores). **Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável**. Rio de Janeiro: Lumens Juris, 2008, p. 49-64.

NETTO, Luísa Cristina Pinto e. **O princípio de proibição de retrocesso social**. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2010.

NOR, N. H. M. et al. **Dissolution Behaviour of Hazardous Materials from Steel Slag with Wet Grinding Method**. Philadelphia: Journal of Physics, 2016.

OBAYASHI, Yuka. **Government panel urges Japan to be carbon-neutral soon after 2050**. Reuters, 2 abr. 2019. Disponível em: <https://www.reuters.com/article/us-japan-environment-idUSKCN1RE1B3>. Acesso em: 13 jun. 2019.

OKO, E.; MEIHONG, W.; JOEL, A. S. **Current status and future development of solvent-based carbon capture**. Switzerland: Springer International Publishing, 2017.

PARFOMAK, P. W.; FOLGER, P.; VANN, A. **Carbon dioxide (CO2) pipelines for carbon sequestration: Emerging policy issues**. 2013. Disponível em: <https://www.amazon.com/Carbon-Dioxide-CO2-Pipelines-Sequestration/dp/1288669305>. Acesso em 19 nov. 2017.

PEIXOTO, H. R. **Modelagem da separação de CO₂ em processos de pós-combustão por PSA**. Tese de Doutorado em Engenharia Química da Universidade Federal do Ceará, 2015.

PEREIRA, Caio Mario Silva. **Instituições de Direito Civil: Volume III – Contratos**. 15ª edição. Rio de Janeiro: Forense, 2011.

_____. **Responsabilidade Civil**. Atualizado por Gustavo Tepedino.- 11 ed. rev. atual. – Rio de Janeiro: Forense: 2016.

PET, Programa de Educação Tutorial em Biologia da Universidade Federal de Santa Catarina. **Carvão**. Disponível em: <http://www.sporum.com.br/2017/06>. Acesso em 17 dez. 2017.

POLIDO, W. **Seguros para riscos ambientais**. São Paulo: Editora Revista dos Tribunais, 2005.

_____. Contrato de seguro: a efetividade do seguro ambiental na composição de danos que afetam direitos difusos. Revista de Direito Ambiental, São Paulo, ano, 2007 - ibds.com.br

RAVAGNANI, A. T. F. S. G.; SUSLICK, S. B. **Modelo dinâmico de sequestro geológico de CO₂ em reservatórios de petróleo**. Revista Brasileira de Geociências 38(1 - Suplemento): 39-60. São Paulo: Instituto de Geociências/USP, 2008.

REZENDE, D. **Sequestro de carbono: uma experiência concreta**. 2ª edição. Palmas: Instituto Ecológico, 2002.

RIZZARDO, A. **Responsabilidade Civil**. 3ª Edição. Rio de Janeiro: Forense, 2007.

ROBERT, M. Soil. **Carbon sequestration for improved land management**. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome: FAOUN, 2001.

SANT'ANNA, L. T. et al. **Mercado de carbono: oportunidades com o sequestro de carbono florestal e aterro sanitário no Brasil e União Europeia**. Revista de Direito Ambiental, v. 14, n. 56, p. 167-186, out. /dez. 2009. Disponível em: <http://bdjur.stj.jus.br/dspace/handle/2011/82883>. Texto integral (PDF) na BDJur/ Superior Tribunal de Justiça. Disponível apenas para servidores do STJ. Acesso em 01 dez. 2017.

SANTOS, L. D. dos. **Relação de Consumo Sustentável: A geração dos resíduos sólidos sob a ótica da proteção jurídica do consumidor**. São Paulo: Letras Jurídicas, 2015.

SAUER, Natalie. **Japan sets carbon neutral goal with focus on capturing emissions**. Climate Home News. 12 jun. 2019. Disponível em: <https://www.climatechangenews.com/2019/06/12/japan-says-will-carbon-neutral-fails-set-timeline>. Acesso em: 13 jun. 2019.

SEEVAM, P. N.; RACE, J. M.; DOWNIE, M. J.; HOPKINS, P. **Transporting the Next Generation of CO₂ for Carbon, Capture and Storage: The Impact of Impurities on Supercritical CO₂ Pipelines**. 7th International Pipeline Conference, Volume 1. Calgary, Alberta, Canada, September 29–October 3. Calgary: IPC, 2008.

SEIBT, A.C; SEIBT., T. A. **O seguro ambiental no Brasil e a sua implementação dentro de um contexto de responsabilidade civil**. Engenharia Ambiental – Espírito Santo do Pinhal, v. 5, n.1, p.007-027, jan/abr 2008

SILVA, D. P. **Vocabulário Jurídico**. 32ª edição. Rio de Janeiro: Forense, 2016.

Silva, Danny Monteiro da. **Dano ambiental e sua reparação**. Disponível em <https://core.ac.uk/download/pdf/79060028.pdf>. Acesso em 29 nov. 2019.

SILVA, J. A. da. **Curso de Direito Constitucional Positivo**. 19ª Edição. São Paulo: Editora Malheiros, 2001.

SILVA, Juarez Ramos da. **O armazenamento geológico de carbono**. Revista Macae Offshore. Disponível em: <http://www.macaeeoffshore.com.br/Materias.aspx?id=5628>. Acesso em 29 nov. 2017.

SKOVOLT, O. **CO₂ transportation system**. Energy Convers Management. v. 34. nº 9. London: Statoil, 1993. p. 1095-1103.

STEINBERG, D. et al. **Electrification & Decarbonization: Exploring U.S. Energy Use and Greenhouse Gas Emissions in Scenarios with Widespread Electrification and Power Sector Decarbonization**. Electric Power Research Institute. National Renewable Energy Laboratory. California: EPRI, 2009.

STF, Supremo Tribunal Federal. Disponível em: <http://portal.stf.jus.br>. Acesso em 02 nov. 2017.

SZULCZEWSKIA M. L.; MACMINNB, C. W.; HERZOGC H. J.; JUANES, R. **Lifetime of carbon capture and storage as a climate-change mitigation technology. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)**. Washington: PNAS, 2011. Disponível em: <http://www.pnas.org/content/109/14/5185.abstract>. Acesso em 29 nov. de 2017.

TEPEDINO, G. Notas sobre o nexso de causalidade. **Revista Trimestral de Direito Civil**, Rio de Janeiro, v. 6, p. 3-19, abr./jun. 2001.

THERODORO, S. H.; BATISTA, R. C.; ZANETTI, I. (coord.). **Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável**. Rio de Janeiro: Lumens Juris, 2008.

THOMÉ, R. **O princípio da vedação do retrocesso socioambiental**. Bahia: Juspodium, 2014.

THORSTENSEN, Vera. **A OMC - Organização Mundial do Comércio e as negociações sobre comércio, meio ambiente e padrões sociais**. Rev. bras. polít. int., Brasília, v. 41, n. 2, p. 29-58, Dec. 1998. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-73291998000200003&lng=en&nrm=iso>. access on 12 June 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-73291998000200003>.

TOLEDO FILHO, DEMÉTRIO FLORENTINO. **Integração da política climática: segurança energética e proteção climática, lições das experiências da Alemanha e do Reino Unido**. Tese de Doutorado – Universidade de Brasília. Centro de Desenvolvimento Sustentável. Brasília, 2014.

TOLMASQUIM, M. T., GUERREIRO, A., RICARDO, G. **Matriz energética brasileira: uma prospectiva**. Novos Estudos, n.79. São Paulo: CEBRAP, 2007.

TONON., R. **O que é sequestro de Carbono**. Superinteressante. São Paulo: Abril, 2016. Disponível em: <http://super.abril.com.br/ideias/o-que-e-sequestro-de-carbono/>. Acesso em 29 nov. 2017.

UNITED KINGDOM CCS LEGISLATION; GLOBAL CCS INSTITUTE. Disponível em: <https://hub.globalccsinstitute.com/publications/dedicated-ccs-legislation-current-and-proposed/united-kingdom-ccs-legislation>. Acesso em: 13 jun. 2019.

WCI, World Coal Institute. Disponível em: <https://www.worldcoal.org>. Acesso em 12 dez. 2017.

WORKMAN, M.; MCGLASHAN, N.; CHALMERS, H.; SHAH, N. **An assessment of options for CO₂ removal from the atmosphere**. Energy Procedia, Volume 4. Amsterdam: Elsevier, 2011.

YOOA. B. Y.; CHOIA, D. K.; HUBN, C.; KANGB, S. G.; KIMC, I. S. **A feasibility study on CO₂ marine transport in South Korea**. Energy Procedia 37, Pusan: Elsevier, 2013. p. 3199–3211.

YU, C. M. **Sequestro Florestal de Carbono no Brasil**. São Paulo: Annablumme, 2004.

ZHANG, Z. X.; WANG, G. X.; MASSAROTTO, P.; RUDOLPH, V. **Optimization of pipeline transport for CO₂ sequestration**. Energy Conversion and Management, Volume 47, Issue 6, April. Amsterdam: Elsevier, 2006. p. 702-715.

ROMEIRO-CONTURBIA, Viviane Roberto da Silva. **Marco legal e regulatório da captura e armazenamento de carbono em países em desenvolvimento: propostas para o Brasil. 2014**. Tese (Doutorado) –Programa de Pós Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

RIZZARDO, Arnaldo. **Responsabilidade civil**. 5 ed. Rio de Janeiro: Forense, 2011.

APÊNDICES

PROJETO DE LEI Nº , DE 2019

Altera a Lei n.º 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. e dá outras providências.

O Congresso Nacional decreta:

Art. 1º. A Lei nº 6.938, de 1981, passa a vigorar acrescida do artigo 14-A:

Art. 14- A. O prazo prescricional para a responsabilidade oriunda de atividade de captura de carbono será de 10 anos, a contar da data de encerramento da atividade pelo explorador da atividade, na forma de regulamento.

§1º. Fica o Poder Público competente responsável pela criação de fundo intergeracional para o pagamento de danos oriundos de estocagem de gás carbônico ocorridos após o prazo estabelecido pelo caput do presente artigo.

Art.2º. Esta Lei entre em vigor na data de sua publicação.

JUSTIFICATIVA

A sustentabilidade é objetivo a ser buscado pela Sociedade brasileira, devendo haver incentivos e ferramentas disponíveis para minorar os impactos ao meio ambiente causadas pelas atividades industriais desenvolvidas pelo homem. Na busca por tal escopo social, mostra-se importante a busca por meios alternativos substitutos que considerem a diminuição da emissão de carbono para atender as necessidades geradoras de bem-estar aos indivíduos em geral com desenvolvimento de uma economia de baixo consumo de carbono. Assim, a adoção de

tecnologias de CCUS insere-se nesse contexto de atendimento aos critérios para o desenvolvimento mundial sustentável caracterizando-se pelo baixo consumo de materiais e energia, baixa emissão/poluição, com emissões mínimas de gases de efeitos estufa (GEE), assim como pela.

Neste contexto as tecnologias de captura de carbono representam um dos grandes potenciais para mitigar as emissões de CO₂ e dar-lhes destino seguro a longo prazo, o que se efetiva através de processos de estocagem. No entanto, a atividade não tem regulamentação específica, sendo empregada a atividade regras gerais de direito civil ou regras oriundas de legislação ambiental.

Verifica-se que a responsabilidade civil ambiental no Brasil é objetiva e orientada pela teoria do risco integral, podendo ser imputada por diversos mecanismos processuais de defesa do meio ambiente. Tais características acabam por ser um desestímulo a atividades de estocagem de carbono, haja vista que encarecem os custos de tais atividades pela socialização dos riscos.

Vários países desenvolvidos já criaram mecanismo e regulação para o desenvolvimento e utilização de sequestro e armazenamento geológico de CO₂, reconhecendo a importância dessa tecnologia para a proteção do meio ambiente e o desenvolvimento sustentável. E muito tem avançado na regulação das tecnologias CCUS, detalhando requisitos relativos ao licenciamento, à composição do fluxo de CO₂, o monitoramento, as inspeções, medidas de prevenção e corretivas de danos, o encerramento das atividades, as obrigações e/ou responsabilidades por danos, a segurança das atividades, etc.

Assim sendo, o regramento de responsabilidade ambiental, tal qual encontra-se delineado em nosso país, atualmente, não estimula a difusão da estocagem de gás carbônico, pois encarece os custos destas atividades, face à imputação de responsabilidade civil por prazos não delimitados. Nesse sentimento é que se faz necessário criar regulações específicas que atendam às necessidades do setor, sendo uma destas mitigar a responsabilidade do operador da tecnologia, a fim de que esta torne-se economicamente viável.

Há apenas previsão de que responsabilidade civil ambiental é objetiva e orientada pela teoria do risco integral, ou seja, o causador do dano responde integralmente pelo seu ressarcimento, sem excludentes de responsabilidades e independentemente de prazos. E ainda, tem-se que além do agente explorador da atividade CCUS responder pelos danos causados, o próprio Município, Estado, Distrito Federal ou União podem vir a serem condenados por tais danos, em razão, da falha no dever fiscalizatório.

Tal situação já é implementada no direito comparado, no qual a responsabilidade é do agente por um período de tempo determinado legalmente no pós-fechamento do local – período que varia de 10 (dez) a 50 (cinquenta), após, transfere-se tal responsabilidade exclusivamente ao Estado.

Diante de todo o exposto, verifica-se a necessidade de limitação da responsabilidade civil do desenvolvedor do empreendimento para o prazo de 10 anos, seguindo-se a regra geral do art. 205 do Código Civil, onde em não havendo prazo específico deve-se empregar esse prazo, e os prejuízos advindos após tal prazo fossem de responsabilidade da sociedade, sendo dividido o ônus pela sociedade. Tal restrição se mostra possível tendo-se em vista o aspecto patrimonial oriundo do possível dano.