



UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DIREITO CONSTITUCIONAL UFF/PPGDC

André de Vasconcelos

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E REGULAÇÃO DA ÁGUA NOS CONFLITOS  
HÍDRICOS DA INDÚSTRIA DO HIDROGÊNIO RENOVÁVEL NO *HUB* DO AÇU/  
RJ: PERSPECTIVAS PARA A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NO ANTROPOCENO.

Campus Niterói/Rio de Janeiro

Março de 2025.

André de Vasconcelos

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E REGULAÇÃO DA ÁGUA NOS CONFLITOS  
HÍDRICOS DA INDÚSTRIA DO HIDROGÊNIO RENOVÁVEL NO *HUB* DO AÇU/  
RJ: PERSPECTIVAS PARA A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NO ANTROPOCENO.

Dissertação de Mestrado no  
PPGDC/UFF, Área de Concentração  
Direito Constitucional, na **Linha de  
Pesquisa 2**: Teoria e História do  
Direito Constitucional e Direito  
Constitucional Internacional e  
Comparado.

Orientador: **Pedro Curvello Saavedra Avzaradel.**

Campus Niterói/RJ, Março de 2025.

André de Vasconcelos

MUDANÇA CLIMÁTICA E REGULAÇÃO DA ÁGUA NOS CONFLITOS  
HÍDRICOS DA INDÚSTRIA DO HIDROGÊNIO RENOVÁVEL NO *HUB* DO AÇU/  
RJ: PERSPECTIVAS PARA A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NO ANTROPOCENO.

Dissertação de mestrado apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em  
Direito Constitucional da Universidade  
Federal Fluminense como requisito parcial  
para a obtenção do título de Mestre em Direito  
Constitucional.

Data de aprovação: \_\_\_\_\_

**Pedro Curvello Saavedra Avzaradel - Orientador**

Universidade Federal Fluminense (UFF)

**Clarissa Maria Beatriz Brandão de Carvalho Kowarski**

Universidade Federal Fluminense (UFF)

**Fernanda Andrade Almeida**

Universidade Federal Fluminense (UFF)

**Priscila Elise Alves Vasconcelos**

Universidade Federal de Roraima

**Carlos Eduardo Peralta Montero**

Universidade da Costa Rica

Ficha catalográfica automática - SDC/BFD  
Gerada com informações fornecidas pelo autor

V331m Vasconcelos, André de  
MUDANÇA CLIMÁTICA E CONFLITOS HÍDRICOS FUTUROS NA INDÚSTRIA  
DE HIDROGÊNIO: : A Regulação Da Água À Luz Do Direito  
Climático / André de Vasconcelos. - 2025.  
156 f.

Orientador: Pedro Curvello Saavedra AVZARADEL.  
Dissertação (mestrado)-Universidade Federal Fluminense,  
Faculdade de Direito, Niterói, 2025.

1. Aquecimento global. 2. Transição energética. 3.  
Regulação jurídica. 4. Direito de água. 5. Produção  
intelectual. I. AVZARADEL, Pedro Curvello Saavedra,  
orientador. II. Universidade Federal Fluminense. Faculdade de  
Direito. III. Título.

CDD - XXX

Bibliotecário responsável: Debora do Nascimento - CRB7/6368

Contato: [vasconcelos@savas.adv.br](mailto:vasconcelos@savas.adv.br)

## RESUMO.

A dissertação examina a Regulação jurídica da água no funcionamento das indústrias de hidrogênio de baixa emissão de carbono no Brasil, considerando as mudanças climáticas, de onde decorreria a necessidade da transição energética no contexto do Antropoceno. A pesquisa destaca a relevância desses empreendimentos na redução das emissões de gases de efeito estufa, essenciais no combate às mudanças climáticas. Analisa-se o impacto socioeconômico dos projetos, de um lado tendo as vantagens econômicas para a “nova industrialização brasileira”, de outro eventuais ônus sociais, com ênfase no impacto na região do *Hub* de Hidrogênio do Porto do Açu, no Estado do Rio de Janeiro, por intermédio da pesquisa documental. O problema central é a necessidade de se considerar a redução da disponibilidade hídrica na viabilidade desses empreendimentos, dado o uso intensivo de água na produção de hidrogênio. Parte-se da hipótese de que a regulação jurídica da água nesses projetos – e em especial no *Hub* do Porto do Açu (RJ) deve incorporar a perspectiva das mudanças climáticas, prevenindo conflitos hídricos futuros e garantindo o direito fundamental de acesso à água. Realizamos análise, fundamentada nos princípios do Direito Climático e na pesquisa documental – inclusive com a ajuda de assistente de inteligência artificial. Como resultado da pesquisa, concluímos que a documentação do projeto levou em conta apenas o cenário atual, não se preocupando com os piores prognósticos de aquecimento global e escassez hídrica para consumo humano, razão pela qual foi confirmada a hipótese ao demonstrar que a gestão desses empreendimentos não antecipou, embora devesse, os cenários de extrema escassez hídrica, resultantes da intensificação dos eventos climáticos extremos, sob risco de comprometer a segurança hídrica das comunidades impactadas.

Palavras-chave: mudanças climáticas; transição energética; hidrogênio; água.

## ABSTRACT

*This dissertation examines the legal regulation of water in the operation of low-carbon hydrogen industries in Brazil, considering climate change and the resulting need for an energy transition within the Anthropocene context. The research highlights the importance of these enterprises in reducing greenhouse gas emissions, which are essential in addressing climate change. It analyzes the socioeconomic impact of such projects, balancing their economic benefits for Brazil's "new industrialization" against potential social burdens, with a particular focus on the Hydrogen Hub at Porto do Açu, Rio de Janeiro, through documentary research. The central issue is the need to consider the reduction in water availability when assessing the feasibility of these enterprises, given their intensive water consumption. The study hypothesizes that water regulation in these projects—especially at the Porto do Açu Hub—should incorporate climate change considerations to prevent future water conflicts and ensure the fundamental right to water access. The analysis is based on Climate Law principles and documentary research, including the use of an artificial intelligence assistant. As a result, the study found that the project's documentation only considered the current scenario, disregarding worst-case projections of global warming and water scarcity for human consumption. This confirms the hypothesis by demonstrating that the management of these enterprises failed to anticipate, as they should have, extreme water scarcity scenarios resulting from increasingly severe climate events, posing a risk to the water security of affected communities.*

Keywords: climate change; energy transition; hydrogen; water.

*Dedico a meus queridos filhos*

*Albérico e Labelle*

*e também a você, mamãe, Isabella.*

*Muitas vezes, mesmo sem compreender*

*a razão de tanta dedicação,*

*principalmente por conta da sua finalização*

*em plenas férias escolares,*

*mas nestas horas cruciais entenderam,*

*de alguma forma,*

*a importância do papai finalizar este trabalho.*

## **Agradecimentos.**

Primeiramente agradeço a Deus por ter me dado forças para ir adiante, quando o caminho ainda parecia muito mais longo do que realmente foi – e até impossível de ser trilhado. Força que se fez necessária já quando, pouco antes de encerrar o penúltimo semestre letivo, recebi a notícia de que minha querida mãe Atanázia Conceição, uma das pessoas mais doces e bondosas que conheci, havia chegado ao fim do estágio paliativo do Alzheimer. Como se tivesse sido pouco o meu tio Américo Vasconcelos, poucos meses após, também se foi. E este, pior, de forma inesperada. Ele que, depois da precoce partida do meu pai, enquanto ainda criança, de bom grado se colocou na condição de um verdadeiro pai. Sem falar que seus livros acerca dos direitos indígenas foram a inspiração original para pesquisar num programa de mestrado. Foi uma década e meia de despedas da Dona Atanázia, cuja passagem foi e está sendo difícil. Mesmo assim parece que a partida do tio-padrinho-pai, em especial – porquanto “sem avisar” – foi ainda mais avassaladora.

Nesse cenário de perda de duas das pessoas mais queridas e essenciais da minha vida, almas iluminadas, sempre disputando em gentileza, bondade e generosidade, reunir forças para seguir adiante se tornou um desafio imenso. Pela primeira vez na vida, senti um desânimo profundo, uma paralisia que me obrigou a fazer uma pausa inesperada.

Diante disso, não poderia deixar de mencionar o papel extraordinário do meu orientador, o Professor Dr. Pedro Curvello Saavedra Avzaradel. Sempre fui um batalhador, lutando com garra pelo espaço de quem teve uma vida muito sofrida, mas esse duplo golpe me fez fraquejar. Pensei em desistir, me afastei, me isolei. E então conheci um lado surpreendentemente humano de Pedro. Não por ser condescendente, mas por saber conduzir a um recomeço. Com paciência e didática, reduziu minha ansiedade e me guiou passo a passo, consciente de que, sem um norte, a imensidão do caminho me paralisaria. Seu talento como orientador está em reconhecer e extrair o melhor de cada discente, incentivando com firmeza, mas com sensibilidade, qualidades que todos docentes precisariam ter.

Então, meu muito obrigado a você, Professor Pedro! Primeiramente por ter aceitado o desafio em me orientar, quando eu por pouco quase desistia até de lhe procurar, mesmo tendo sido a primeira opção de orientação. Pois, já fragilizado emocionalmente com a situação de minha Genitora, imaginei-o muito ocupado, pesquisador, professor e coordenador de nossa Pós *Stricto Sensu*. “É claro que um professor deste nível não teria



tempo de me orientar!” – pensei com meus botões. “Como é que um mestre com uma formação destas, num currículo incrível, vai aceitar ser meu orientador?” completei o pensamento sabotador. Pois bem, encorajado por alguns de seus colegas professores, demais de alunos próximos, tomei coragem e o procurei. Agora noto como foi uma decisão acertadíssima. Como resultado, certamente consegui entregar o melhor que eu poderia produzir, levando em conta todos os percalços pelos quais passei na jornada.

Também não podia deixar de agradecer à oportunidade que o Professor Pedro me possibilitou, de lecionar nas turmas de Direito Empresarial I da Universidade Federal Fluminense, Campus Niterói-RJ, durante o Estágio Docente. Uma indescritível sorte, por sinal, numa disciplina em que tenho uma afeição especial, porquanto é a área onde cursei minha pós lato-sensu, a Especialização da Universidade Gama Filho, no Rio de Janeiro. Além de termos o Direito Corporativo como uma das áreas que coordeno em nosso escritório, desde 2008. Esta experiência prévia foi facilitadora, mas a competência do Professor Pedro em ensinar o árduo ofício do magistério foi essencial para o sucesso ao ministrar aulas naquelas turmas, em pleno inverno fluminense. Sem falar que os discentes destas turmas foram alunos maravilhosos, interessados, estudiosos, aplicados, comportados. Mas a liberdade e encorajamento que Pedro Avzaradel nos deu foram o segredo do sucesso naquele estágio de docência.

Diante de um início onde imaginei que nem conseguiria fazê-lo meu orientador, em face do seu sem-número de funções, até ter conseguido chegar até este penúltimo passo, com o depósito da presente dissertação, preciso te reiterar, Professor Pedro Avzaradel, em definitivo, um muito obrigado! Você me puxou, me ajudou a sair do desânimo, fez tanto ou mais até que um terapeuta. Então literalmente salvou o meu Mestrado, inclusive me ajudando a retomar minha vida normal!

Preciso também agradecer aos docentes que foram verdadeiramente humanos e compreenderam o esforço apesar do momento difícil que estava passando. Em especial aos professores Paulo Corval, Guilherme Peña, Enzo Bello, Gladstone Júnior, Marco Casamasso, Hamilton Ferraz e Andressa Torquato. São Mestres que honram a cátedra, dedicando-se à árdua missão de pesquisar e educar em uma universidade pública, num país que pouco valoriza a cultura, a ciência e o ensino, sem esquecer que antes de tudo estão lidando com pessoas.

Sou igualmente grato aos profissionais que mantêm nossa instituição funcionando,

sejam terceirizados ou efetivos, principalmente de nosso Programa de Pós-Graduação, deixando aqui minha homenagem na pessoa da servidora Luciana Costa, exemplo de dedicação, competência e agilidade, qualidades nem sempre presentes no serviço público. Também aos funcionários das bibliotecas da UFF, principalmente a Biblioteca Central, local onde nos entregamos a centenas de horas de estudos, como também aos colaboradores da Biblioteca do PPGDC. Também agradecendo à biblioteca do Tribunal de Contas do Município do Rio de Janeiro, com um rico acervo em Direito da Regulação da Água, à da Biblioteca Nacional, no Rio.

Um agradecimento especial aos colegas da pós, sempre nos ajudando no que podiam, em especial à Amanda Colchete, à Ana Vasconcelos, à Sarah, a Lucas Castelar e ao grande Lindomar, pelas infindáveis conversas e companhias nos intervalos, em refeições, em caminhadas ou na travessia pela Baía da Guanabara.

Também é essencial agradecer a três verdadeiros mentores que pavimentaram esse retorno à Academia. Primeiramente, à Professora Me. Juliana Fernandes, pesquisadora, professora e advogada de excelência – nossa representante associada em Natal. Sem sua preciosa ajuda, especialmente nas fases finais do projeto, talvez não tivesse conseguido. Nos mesmos momentos decisivos, também foram fundamentais as conversas e o apoio do Professor Dr. Antônio Carlos de Souza Jr., advogado militante em tributário em São Paulo, que conseguiu arrumar tempo para longas conversas acadêmicas decisivas.

Além disso, é indispensável lembrar outro grande responsável por este trabalho: o Professor Dr. Emerson Affonso da Costa Moura. Egresso deste mesmo Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Direito Constitucional da Universidade Federal Fluminense, ele foi essencial para meu retorno à vida acadêmica. Acreditou no potencial de quem, após uma graduação concluída há mais de uma década, havia se dedicado exclusivamente à advocacia pública e privada, tendo apenas uma especialização. Ainda assim, aceitou-me no Centro de Pesquisa em Jurisdição Constitucional (CPJC), do qual é líder, vinculado à Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, onde é Professor Titular. No CPJC, realizamos intensas pesquisas em Grupo de Estudos, culminando na publicação de um artigo apresentado em Congresso em Portugal pelo Instituto Ibero-Americano de Estudos Jurídicos – IBEROJUR.

Tem mais, ao revisitar minhas memórias, percebo que a vontade de dedicar-me à pesquisa, especialmente em nível de mestrado, vem de longe. Era uma ideia latente,

impregnada nas lembranças de uma criança de 7 ou 8 anos que acompanhava as pesquisas de sua segunda mãe, Margarida Alacoque. Ela realizou uma adoção após uma tragédia familiar, um ato de amor e desprendimento ainda maior porquanto acolheu seis irmãos de uma vez. Margarida finalizava um mestrado sanduíche entre a PUC-RJ e a UFPE, levando-me para sua pesquisa de campo, onde eu me encantava com aquele universo da ciência. Talvez por isso eu tenha desejado incluir pesquisa de campo na presente dissertação, plano que adiei, por ora, talvez podendo concretizar caso consiga concluir o presente mestrado e consiga alçar voos maiores na Academia.

Também sou grato aos incentivos de tantas pessoas em diferentes áreas da vida, que acabaram por reverberar nesta jornada acadêmica: ao Marcio Gustavo de Carvalho e ao João Gomes Silva Jr., sócios em Consultorias em São Paulo; à experiente advogada condominial e consumista Amanda Bezerra Mello, sócia em nosso savas.adv.br – em mudança para o Rio; ao casal amigo Fábio Rodrigo e Luziane Santos, esta fundadora do nosso escritório; e à Karla Patrícia Vasconcelos, sempre do meu lado desde os tempos de MPU e hoje como nossa Associada.

Também sou grato aos meus irmãos, que, de alguma forma, contribuíram para que eu concluísse esta jornada. Em especial ao Ambrósio, o Bobó como nossa mãe querida chamava. Mesmo com o apoio de vários cuidadores, sempre se precisou de alguém da família estar à frente dos seus cuidados. E quando os irmãos estavam exaustos, Bobó assumiu os cuidados paliativos, proporcionando-lhe amor, atenção e serenidade em seus últimos dias. À Valéria, que ajudou em vários aspectos, como às vésperas de acabar a inscrição para a seleção, cadastrando a pilha de títulos e certificados para atualizar meu *Lattes* – e ainda pagou a taxa de inscrição, já que não tenho conta no banco indicado em edital da seleção. À Simone, pelo coração generoso, pelo cuidado com os sobrinhos e suas mãos talentosas na cozinha. À Marta, por suas orações e por tentar sempre renovar as energias ao nosso redor. Ao Antonino, por ter ficado à frente dos negócios enquanto eu estava longe. Aos sogros Marcos e Eliane (“sogra é pra sempre”) por também ter ajudado a segurar as pontas com os netos em minhas ausências coincidentes com a da mãe. E a todos os demais parentes e amigos, que me ajudaram nesta empreitada e que, para evitar esquecimentos, não cito nominalmente, mas que estendo a todos a minha eterna gratidão.

Ainda preciso agradecer às bondosas pessoas que me acolheram enquanto procurava um bom local para morar, primeiramente alguns familiares e depois pessoas amigas. Em especial ao meu querido e amado Tio Abel Vasconcelos, acolhendo-me em sua bela

chácara em Friburgo, perdido que estava assim que cheguei ao Estado do Rio de Janeiro para iniciar meus estudos de mestrado, bem como à Tia Rita Nasser, disponibilizando seu imóvel no centro da cidade, quando passei a chegar muito tarde após as aulas noturnas do Prof. Gladstone Júnior.

Finalmente, ainda sou grato aos amigos do Rio que me ajudaram quando, já cansado dos deslocamentos quase diários entre a casa dos familiares na região serrana e a UFF, resolvi procurar um bom local para morar na capital carioca. Por todos, referir-me-ei especialmente ao abade Dom Felipe, Abade-Prior da Abadia de Monserrate do Rio de Janeiro, localizado no maravilhoso refúgio do Morro de São Bento, mais conhecida como Colégio e Mosteiro de São Bento, por acolher este ex-aluno de colégio da família beneditina além de, talvez mais importante, passar palavras de ânimo de modo a ter forças para passar por todos os percalços que quase impediam de finalizar estes estudos de pós-graduação *stricto sensu*.

## SUMÁRIO

### INTRODUÇÃO

- a) O interesse pelo tema.
- b) Contexto e Importância do Tema.
- c) O Problema de Pesquisa.
- d) Hipótese.
- e) Objetivo Geral da Pesquisa. Objetivos Específicos.
- f) Justificativa.

### CAPÍTULO 1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.

- 1.1 Considerações gerais acerca da metodologia. Abordagem e métodos da pesquisa.
- 1.2 A abordagem terá que natureza? A pesquisa será “inter”, “multi”, “pluri” ou “trans” disciplinar?
- 1.3 O referencial teórico.
- 1.4 A essencialidade do procedimento de análise documental.

### CAPÍTULO 2 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SEUS EFEITOS NA CRISE HÍDRICA: A INFLUÊNCIA HUMANA NO AQUECIMENTO GLOBAL, NA ERA DO ANTROPOCENO.

- 2.1 Existiria mesmo o Antropoceno?
- 2.2 Antropoceno ou outros “cenos”?
- 2.3 Conceito e características do antropoceno. Diferenciação em relação ao holoceno.
  - a) Autores pioneiros.
- 2.4 Evidências científicas do antropoceno.
  - 2.4.1 “Guardiões do Tempo” apontam ainda ser cedo para reconhecer o Antropoceno. Para eles, ainda estaríamos no Holoceno.**
- 2.5 Consequência direta das atividades humanas: o Aquecimento Global.
  - 2.5.1 Conceitos e causas do Aquecimento Global.**
  - 2.5.2 Evidências científicas do Aquecimento Global.**

### **2.5.3 Forçantes radiativos e mecanismos de retroalimentação do Aquecimento Global**

2.5.3.1 Forçantes radiativos: naturais e antrópicos.

2.5.3.2 Mecanismos de retroalimentação: a amplificação do Aquecimento Global

2.6 Impactos do aquecimento Global.

#### **2.6.1 Mudanças climática e seus impactos. Transbordamento, secas e outros extremos climáticos como furacões e outras tempestades “tropicais”.**

## **CAPÍTULO 3 DIREITO CONSTITUCIONAL CLIMÁTICO E ULTRAPASSAGEM DOS LIMITES NA EMERGÊNCIA CLIMÁTICA: TRANSIÇÃO ENERGÉTICA COMO SOLUÇÃO?**

3.1 A ultrapassagem dos limites globais planetários (Rockström) e a consequente Crise Climática.

**3.1.1 Primeira publicação resumida da pesquisa sobre os Limites Planetários: “A safe operating space for humanity” (2009).**

**3.1.2 Segunda publicação detalhada sobre os limites planetários: “Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity” (2009).**

**3.1.3 Novas ultrapassagens de limites planetários: pesquisas lideradas por Steffen, publicadas em 2015, e por Richardson, publicadas em 2023.**

3.2 A crise climática e a necessidade de se decretar a emergência climática: o planeta grita por socorro.

**3.2.1 Eventos climáticos típicos da crise climática.**

3.2.1.1 E agora, decretar emergência climática em nível global?

**3.2.2 Efeitos específicos das mudanças climáticas na disponibilidade hídrica e a possibilidade de grandes prejuízos na oferta hídrica nas regiões onde se instalem as indústrias de hidrogênio.**

3.2.2.1 Mudanças na evapotranspiração e no ciclo hidrológico; secas; rebaixamento do lençol freático.

3.2.2.2 Avanço do mar provocado por vários fatores: extinção dos recifes, erosão marinha, intrusão salina, aumento da força dos ventos, aumento do nível do mar dentre outros.

3.2.2.2.1 *Extinção dos recifes de corais.*

3.2.2.2.2 *Erosão marinha.*

3.2.2.2.3 *Intrusão salina*

3.2.2.2.4 *Outras interações que podem afetar fontes de água próximas ao mar.*

3.3 O Direito Climático como instrumento de transformação.

### **3.3.1 Origem e conceituação do Direito Climático.**

3.4. Aquecimento global e possíveis soluções: a transição energética

### **3.4.1 A necessidade e urgência da transição energética**

### **3.4.2 As energias renováveis como principal solução para a transição energética.**

3.4.2.1 Exemplo mais comuns de fontes renováveis: energia solar, eólica, hidrelétrica e biomassa.

3.4.2.2 Algumas outras experiências promissoras em energias renováveis. Usinas hidroelétricas reversíveis e usinas de energia solar concentrada: solução para a intermitência das fontes eólica e solar e a ineficiência das baterias?

3.5 Conclusões parciais.

## **CAPÍTULO 4 REGULAÇÃO DA ÁGUA E DO HIDROGÊNIO. DIREITO FUNDAMENTAL À ÁGUA E MUDANÇAS CLIMÁTICAS. O PORTO DO AÇU.**

4.1 A solução do hidrogênio e suas várias vantagens como resposta aos desafios da transição energética.

4.2 Alguns desafios a superar para a maior disseminação do uso do hidrogênio.

4.3 Regulação do hidrogênio, sua classificação (verde, renovável ou de baixa emissão de carbono), análise do ciclo de vida e processos de produção e geração.

### **4.3.1 Definição de baixa/alta emissão de carbono pelo marco regulatório do hidrogênio**

### **4.3.2 Hidrogênio renovável**

### **4.3.3 Hidrogênio verde**

4.4 Gasto hídrico na indústria do hidrogênio. Direito fundamental à água da população do entorno em face das mudanças climáticas.

**4.4.1 O acesso à água como um direito fundamental.**

- a) Água como direito humano.
- b) Água como direito fundamental implícito na constituição federal de 1988.

**4.4.2. Consumo de água, frente a cada vez menor disponibilidade hídrica causada pelas mudanças climáticas: existe água suficiente para a indústria de hidrogênio?**

**4.4.3 Haveria a necessidade de previsão, nos projetos da indústria de hidrogênio, da diminuição da disponibilidade hídrica causada pelas mudanças climáticas mencionadas pela ciência?**

4.5. *Hub* de Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono do Porto do Açú: análise documental.

**4.5.1 Breve contextualização econômica dos principais projetos de hidrogênio no Brasil (CE, RJ, PE e RS). Importância do *Hub* do Porto do Açú como uma referência nacional.**

**4.5.2 Diretriz DZ-041.R-13.**

**4.5.3 Instrução técnica COOEAM/PRES nº 02/2023 do *Hub* do Porto do Açú.**

**4.5.5 Estudo de impacto ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental do *Hub* do Porto do Açú.**

4.6. Considerações parciais: novo enfrentamento da questão, após realizada a análise documental.

**CONSIDERAÇÕES FINAIS.**

- a) Reflexões sobre a comprovação da relevância do hidrogênio na transição energética sustentável. A confirmação da hipótese.
- b) O alcance dos objetivos, tanto geral quanto específicos, propostos para a presente pesquisa.
- c) Consciência das Limitações da pesquisa. Planos de continuidade em estudos futuros.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**



## INTRODUÇÃO

Neste trabalho pesquisaremos a regulação da água na indústria de hidrogênio de baixa emissão de carbono e em particular a do hidrogênio verde, produzido pela eletrólise da água. Acontece que ao tempo em que este é o “tipo” de hidrogênio com a menor “pegada de carbono” é a espécie que demanda volumes significativos de água para a sua produção.

O referido elemento químico é apontado como a esperança na transição energética do século XXI, como uma promissora alternativa para a redução dos impactos das mudanças climáticas, devido ao seu potencial como fonte de energia limpa e renovável. Contudo, a instalação de tal empreendimento pode intensificar conflitos pelo uso da água, com o agravamento da escassez hídrica em regiões já vulneráveis, ou o surgimento de crise hídrica em região onde antes não havia indício de estresse hídrico, especialmente com o passar do tempo e o aumento dos eventos extremos típicos das mudanças climáticas, como secas, avanço do mar, intrusão marinha, rebaixamento do nível do lençol freático, dentre outros eventos.

Diante dessa dinâmica complexa, este trabalho analisará os efeitos da produção de hidrogênio sobre os recursos hídricos, avaliando suas consequências para a segurança hídrica:

Quanto ao interesse pelo tema, de início resta uma breve explanação quanto aos motivos pelos quais escolhemos trabalhar especificamente com temas ligados à água, às energias renováveis, as razões que levaram o pesquisador a ter uma preocupação ambiental quanto ao uso da água nos empreendimentos de hidrogênio, levando-se em conta a piora da disponibilidade hídrica decorrente dos fenômenos relacionados ao aquecimento global.

Primeiramente quanto à preocupação social do autor com a falta de água. Ela vem verdadeiramente do chamado “lugar de fala”, por ter vivido os desafios hídricos remontando à sua infância, acompanhando a escassez de água seja em Caruaru (PE), apesar desta cidade com mais de 400 mil habitantes ser a 3ª maior economia do interior do Nordeste<sup>1</sup>; seja nas localidades tórridas do Riacho das Almas, em terras de sua família materna, ou em São Domingos, do lado paterno, esta um pouco mais úmida por ser brejo de altitude.

Antes da transposição das águas do Rio São Francisco, toda a região tinha precaríssimas condições de abastecimento de água. Proveniente de uma família humilde, vivenciou de perto o impacto das secas de verão, quando com seus 7 anos já enfrentava filas

---

<sup>1</sup> G1 NOTÍCIAS.. Caruaru ocupa 3ª posição do PIB da região do interior do Nordeste. Pesquisa foi feita pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Portal G1, 08/06/2021. Rio de Janeiro: Globo.com, 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/pe/caruaru-regiao/noticia/2021/06/08/caruaru-ocupa-3a-posicao-do-pib-da-regiao-do-interior-do-nordeste.ghtml> Acesso em: 25 jan. 25.

para obter um pouco de água de caminhões-pipa, ou às vezes ia pedir água na vizinhança para as tarefas domésticas básicas, como cozinhar ou lavar – numa casa com 6 irmãos desta idade para baixo.

Essas experiências moldaram sua percepção sobre a questão hídrica, agravada pelas desigualdades sociais e de gênero, vendo de perto o peso da responsabilidade atribuída às mulheres para que conseguisse água, seja nas filas de carro-pipa, seja pegando água num “barreiro” e levando a lata d’água na cabeça nos interiores em que eventualmente estava visitando a família. Só aos 8 anos, com o falecimento do seu pai, mudou-se para a capital do Estado, Recife, onde teve acesso mais regular a recursos hídricos. Porém, mantendo até os dias atuais a consciência acerca das dificuldades que o sertanejo sofre, marcadas para sempre nas lembranças de sua infância.

Quanto ao assunto energia e hidrogênio, tal gosto por assuntos relacionados às ciências exatas pode ser também explicado. É que, apesar de ter cursado Direito na Universidade Federal de Pernambuco, antes – e nesta mesma universidade – já havia cursado uma formação na área de Exatas, qual seja Ciências da Computação. Também formou-se como Tecnólogo em Eletrônica, em outra conceituada instituição federal de ensino, o Instituto Federal. Por conta deste gosto pelas tecnologias, chegou a trabalhar na área de Eletrônica Industrial (Eletrônica de Potência/Eletrotécnica) em indústrias como a Alcoa-Brasil e a Iberdrola, esta uma distribuidora de energia elétrica de capital espanhol e aquela uma multinacional norte-americana de Alumínio e grande consumidora de energia.

Porém, com a grande desindustrialização provocada pela artificial valorização da moeda nacional, facilitando a importação e quebrando inúmeras indústrias brasileiras nos idos do “Plano Real”, no começo deste século os salários no setor industrial ficaram extremamente defasados, levando o autor a escolher realizar o curso de Direito e trabalhar na área jurídica. Ingressa como servidor efetivo do Ministério Público Estadual, onde é nomeado assessor da Promotoria de Justiça de Defesa do Meio Ambiente da Capital. Durante este trabalho de assessoria na Promotoria de Defesa do Meio Ambiente, ajuda na realização de vários inquéritos relacionados a crimes e ilícitos ambientais que chamaram a sua atenção. Em especial se interessa por dois envolvendo recursos hídricos. Um que tratou da degradação do principal rio da região do Recife, o Rio Capibaribe. O outro sobre a superexploração e subsidência dos aquíferos da região, indiscriminadamente explorados, sem qualquer preocupação quanto à sustentabilidade do meio ambiente, durante uma grave seca que se iniciou no Grande Recife entre os anos de 1998 e 1999 e durou alguns anos. Quase três anos depois, ingressou como servidor efetivo no Ministério Público da União (MPU), tendo sido

lotado em Vitória (ES) e depois no Recife (PE), em quase todo o tempo de atuação tendo sido assessor de procuradores da república, muitas das vezes novamente lidando com ações ou inquéritos relacionados aos recursos hídricos.

Sempre com a latente vontade de estudar mais a fundo os fenômenos relacionados à crise hídrica, o autor voltou a lidar com o tema quando, nomeado procurador em 2007, saiu do MPU e atuou como advogado público sucessivamente em 4 municípios de estados da região. Sendo a prestação de serviços de água e esgoto uma atribuição dos municípios e sendo bastante comum existir várias demandas relacionadas aos recursos hídricos para o procurador municipal atuar, seja no âmbito consultivo seja no contencioso, estes longos anos foram um momento em que o autor naturalmente e por obrigação de ofício foi ficando à frente de vários casos relacionados à temática regulação em água e concessão dos serviços públicos de água e saneamento básico.

Concluindo o seu périplo pela advocacia pública de vários municípios, o pesquisador afinal apresentou à Procuradoria-Geral do Município de Patos a sua exoneração no último cargo de advogado público que sucessivamente exerceu, vindo a morar com parte de sua família localizada na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, quando voltou a exercer em plenitude a atividade da advocacia e consultoria. Tal retorno ao Rio de Janeiro também se deu de forma que conseguisse realizar sua pós-graduação *stricto sensu* em Direito Constitucional, na Universidade Federal Fluminense, com pesquisa na área de Direito Constitucional Econômico, apresentando o presente trabalho em Regulação de Água em face das mudanças climáticas na Indústria do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono.

Ainda em relação ao contexto e à importância do tema, podemos falar acerca do Direito Climático que em tese poder-se-ia dividir em Direito Constitucional Climático e Direito Internacional Climático, embora sem concordância acerca da sua autonomia científica, já nos impõe olhar para questões ambientais saindo da simples observação passiva para uma atitude mais concreta. É que tal área do conhecimento implica no estudo de políticas públicas que possam resolver, ou minimizar, problemas relacionados às mudanças climáticas que afligem toda a humanidade.

Tal área do Direito, sem entrar na polêmica se entenderíamos como autônoma, parece dispor de princípios e regras particulares, de tal forma que com estas políticas se incentive meios de diminuir os efeitos da crise climática, idealmente com a declaração de emergência climática, amenizando as consequências das mudanças climáticas, causadas pelo aquecimento global.

E para entendermos se já estaria acontecendo este aquecimento global, resta essencial o entendimento acerca de se nosso tempo geológico seria o da chamada “Era do Antropoceno”. De tão importante, referido conceito será tratado de forma bastante fundamentada já no capítulo 2. O Antropoceno leva em conta que a principal variável promotora de um possível aquecimento do planeta Terra – para além das natural variabilidade cíclica explicada pelos meteorologistas – é a concentração de gases causadores do chamado efeito estufa.

Este fenômeno é observado quando a radiação solar deixa de ser refletida de volta ao espaço sideral, ficando aprisionada em nosso planeta. Embora o efeito estufa seja vital para a manutenção da vida – caso não existisse provavelmente não teria surgido e mantida a vida dos mamíferos (e portanto a nossa própria existência) – ele passou a ser uma ameaça por conta da indesejada interferência do ser humano no ecossistema natural. Em particular com a liberação de grandes quantidades de metano, junto com o dióxido de carbono, que são os grandes causadores deste problema, basicamente por conta da agropecuária e do uso desenfreado de energia advinda da gasolina, do querosene de aviação, do diesel e de outros combustíveis fósseis.

Comprovando estarmos na era do Antropoceno, onde o ser humano piora ainda mais o aquecimento global com o aumento da concentração de gases, temos outra consequência que seria uma retroalimentação positiva deste fenômeno. Porquanto ao se diminuir as calotas polares, menos raios solares são refletidos de volta ao espaço., por exemplo Ou por conta do aquecimento do oceano e do *permafrost*, fazendo com que estes ecossistemas liberem grandes quantidades de gases causadores do efeito estufa, alimentando tal ciclo e causando ainda mais aquecimento.

Este quadro é tido como tão grave, pela grande maioria da comunidade científica, que restou por ser cunhado o termo emergência climática, ou mesmo crise climática como preferem alguns autores. Significa algo como não haver mais tempo para esperarmos a certeza da ocorrência do Antropoceno, ou que as atividades poluidoras humanas estariam causando um desequilíbrio de tamanha monta, de tal forma apto a afetar de forma grave o equilíbrio do clima para além da chamada resiliência climática, esta capacidade da natureza em resistir às variações climáticas. Ainda mais porquanto talvez até mesmo já se tenha atingido, ou se esteja prestes a atingir, o ponto de não-retorno, momento no qual mesmo se a humanidade parasse de liberar metano e carbono na atmosfera, onde um mecanismo de retroalimentação positiva

do aquecimento global já estaria de tal forma em ação, girando num “círculo vicioso” tão grande, que seria impossível haver uma reversão ao estado anterior, comumente designado de níveis pré-industriais.

Aliás, os seguidos recordes de temperatura média que têm sido registrados em todo o mundo, ou as várias tragédias climáticas em intensidade cada vez maior, como as secas no Amazonas e as enchentes no Rio Grande do Sul e na Espanha, são tidos por especialistas neste assunto como algumas das provas – as quais parecem ser irrefutáveis – de tudo o quanto afirmamos.

Muito embora reconheçamos que há minoritárias vozes em sentido contrário, alegando que apesar de ser inegável o aquecimento global e inobstante haver estudos dando conta de estar acontecendo numa intensidade e velocidade nunca antes vistas, tais recordes de temperatura e tragédias climáticas decorrentes seriam consideradas dentro de uma esperada “variabilidade normal” do clima global.

Considerando a visão menos pessimista, de ainda termos tempo para agir de modo a começar a resolver a emergência/crise climática, afinal resta necessário procurarmos as soluções para o cenário catastrófico que se desenha.

Neste sentido, até o momento parece que a melhor opção seria a humanidade realizar a transição energética, com o uso não só de energias renováveis mas também de combustíveis ditos limpos, contribuindo para o sequestro de carbono ou ao menos a sua diminuição. Neste sentido, deixar de usar combustíveis fósseis, trocando-os por hidrogênio, parece-nos até aqui ser a melhor opção para esta transição energética.

Iremos apontar que, muito embora tenha havido a edição do Marco Regulatório do Hidrogênio, propondo uma simplificação da antiga denominação do hidrogênio por cores, conforme a rota tecnológica escolhida ainda poderemos diferenciar os “tipos” de hidrogênio, anteriormente designados pelas cores, por exemplo, como cinza, azul, turquesa e verde – a depender da maior ou menor quantidade de carbono liberado no processo.

Desta forma, na classificação moderna este combustível é classificado apenas como de alto ou baixo carbono,. Mesmo sabendo que o elemento químico produzido será sempre o mesmo: hidrogênio, apenas sendo denominado de alto ou baixo carbono, sendo que nesta última classificação se incluía o chamado hidrogênio verde, modalidade onde há a menor liberação de carbono em todo o processo – aliás mesmo haveria a absorção de carbono

por conta do uso de energias renováveis.

Segundo o Marco Regulatório, a Indústria de Hidrogênio será considerada de baixo carbono de acordo com a sua baixa pegada de carbono: assim será classificada se tender a absorver carbono, ao invés de liberar. E isto, levando-se em conta todas as operações envolvidas na cadeia industrial, desde o gasto energético para se construir cada um dos componentes das fábricas, escritórios e demais instalações, passando pelo carbono liberado para realizar cada um dos serviços demandados, desde o planejamento até a instalação e operação – e por toda a vida útil do empreendimento.

Iremos apontar que pela análise do ciclo de vida do hidrogênio, o principal processo no qual se obtém hidrogênio de baixo carbono com a menor pegada de carbono se dá no processo chamado de eletrólise da água, onde a água é decomposta em seus dois componentes químicos, oxigênio e hidrogênio, separados por uma corrente elétrica. E se esta é alimentada por fontes de energias renováveis, o hidrogênio produzido é tido como renovável, porquanto produzido sem liberação de carbono na atmosfera, ou mesmo com a sua absorção.

Aqui já vemos que o maior insumo para a produção de hidrogênio por hidrólise, além da própria energia, é a água. E num cenário onde já existem vários conflitos hídricos entre usos diversos, como o consumo humano, a possibilidade de aumento do consumo concomitantemente à diminuição da oferta hídrica, causada pelos efeitos das mudanças climáticas, nos parece que levaria a uma conclusão de que estes efeitos deveriam ser levados em consideração quando da implantação dos empreendimentos de hidrogênio de baixo carbono, como por exemplo do do *Hub* de hidrogênio de baixo carbono do Porto do Açú, no Estado do Rio de Janeiro.

Veremos que a transição energética é urgente e inadiável, de modo a se tentar reverter vários efeitos maléficos causados pelo aquecimento global. E muitos destes efeitos trazem consequências devastadoras na disponibilidade hídrica, como a elevação do nível do mar por conta do derretimento do gelo nos polos do globo terrestre, fenômeno provocador da invasão da água do mar nas fontes de água doce, salinizando-as. Também são atingidas fontes superficiais, como rios (de início em suas foz e posteriormente terra adentro), lagoas e lagos, dentre outras lâminas de água de cidades costeiras como as do Estado do Rio de Janeiro quanto as águas subterrâneas (Nobre, 2015).

Outras consequências do aquecimento são as severas secas, trazendo diminuição da

disponibilidade hídrica das fontes de água, com a perda total ou parcial dos estoques de água, neste último caso também levando à salinização da água de várias das fontes ainda não esgotadas, por conta da diminuição da quantidade de água restante (Ribeiro, 2014), levando a um enorme aumento da concentração de sais conseqüentemente tornando a água virtualmente imprestável.

Se não bastassem tais desastrosas conseqüências do aumento do aquecimento global, a disponibilidade hídrica piora ainda mais com a diminuição da mata nativa ciliar, seja pela morte natural da vegetação causada pelas cada vez mais rigorosas secas, seja pela inadmissível atividade criminosa humana que destrói as florestas que ainda protegem as fontes de água, com o aumento das doenças ou mesmo do risco de morte.

Estas cada vez mais comuns secas, como a que assola o Brasil desde o ano de 2023 – considerada a maior seca em um século – trazem conseqüências terríveis para o abastecimento de água. Temos a previsão de que o Rio Paraíba do Sul, manancial que é a principal fonte de água do Rio de Janeiro, mas também importante fonte de abastecimento dos Estados de São Paulo e Minas, esgotará a sua reserva hídrica até 2030 na “maior guerra por água na América do Sul” (RIBEIRO, 2014).

A crise hídrica causada pela soma desta grave perda da disponibilidade hídrica, com o aumento do consumo, seja pelo natural crescimento populacional, seja pelo aumento da industrialização, já seria preocupante em face do aquecimento global. Porém, tal estresse hídrico pode ser maximizado se forem liberados, sem qualquer preocupação quanto ao aumento de consumo futuro de água – somado à menor disponibilidade hídrica, projetos que sejam grandes consumidores de água.

Abordar os desafios legais decorrentes das mudanças climáticas, como objeto de estudo do direito climático – um campo emergente do direito – envolve a criação e implementação de políticas e regulamentos que buscam mitigar os impactos das mudanças climáticas, promovendo a justiça climática.

Entendemos que a tarefa de fiscalizar se está havendo o cuidado dos empreendimentos em evitar as conseqüências das mudanças climáticas na disponibilidade hídrica é do Estado, a quem cabe atuar, por intermédio das agências reguladoras específicas como a ANA, ANEEL e a ANP, de forma a evitar comprometer disponibilidade hídrica futura para exploração prioritária de grupos econômicos em detrimento de direitos fundamentais das populações,

como o direito de acesso à água e seus direitos fundamentais decorrentes como o direito à saúde e ao meio ambiente equilibrado.

Tal preocupação na garantia de direitos não significa, em hipótese alguma, querer impedir o crescimento econômico nacional, principalmente enquanto se tenta encontrar maneiras de suprir a demanda energética por formas mais sustentáveis de fornecimento energético. Na verdade veremos que estes megaprojetos da indústria do Hidrogênio de Baixo Carbono trazem impactos aparentemente benéficos para a economia, despontando como a esperança de serem atividades por conta das quais se terá a chamada “neo-industrialização” do Brasil, aliando-se à criação duma produção onde a pegada final de carbono seja cada vez menos agressiva ao meio ambiente.

Assim, há a perspectiva de que tais projetos, além de diminuir os estragos que a humanidade tem imposto ao meio ambiente, ainda trarão benefícios econômicos ao ofertar milhares e milhares de novos empregos, diretos e indiretos, grande parte de altíssima qualificação – e portanto altos rendimentos – no que muitos vem chamando o Brasil de “a nova Arábia Saudita”. Porém como em quase toda atividade humana, também há aspectos negativos na instalação e operação da indústria de hidrogênio de baixo carbono (Abreu, 2022), sendo importante analisar os impactos econômico-sociais que tais empreendimentos podem trazer para a população, em especial ao seu entorno, como uma eventual diminuição da disponibilidade hídrica, impactando direitos como o direito fundamental à água.

Ou seja, haveria a obrigação do Estado e das empresas na garantia dos direitos fundamentais relacionados, como o direito de acesso à água, mas respeitando outros direitos também fundamentais como o desenvolvimento econômico e a sustentabilidade ambiental.

Neste sentido, há a necessidade do Estado garantir o respeito aos direitos fundamentais que possam ser violados com uma atividade industrial na área de hidrogênio, que sem fiscalização e regras poderia levar a um uso desenfreado das reservas de água, afrontando o direito fundamental de acesso à água por parte da população como um todo – e dos vulneráveis em particular.

Ao encampar o marco legal do hidrogênio de baixo carbono, o Congresso Nacional demonstra preocupação ambiental. Durante a realização de nosso mestrado, em fins de 2023 a Câmara dos Deputados aprova o marco do hidrogênio verde, que recebeu a denominação PL 2308/2023 aglutinando outras proposições legislativas, sendo que já durante a escrita desta



dissertação o Senado Federal<sup>2</sup> afinal aprova a referida legislação, que traz o arcabouço jurídico de regulação do hidrogênio denominado de baixo carbono – nomenclatura a qual substitui as antigas denominações, como de “hidrogênio verde”, razão pela qual tivemos um bom trabalho para reescrever o trabalho, mas fizemos questão de trazer a novel legislação para que o trabalho ficasse o mais completo e atual possível.

Inicialmente havia a intenção de complementar a presente dissertação com dados colhidos em pesquisa de campo em regiões onde se instalaram tais empreendimentos, como nos Portos de Pecém (Grande Fortaleza, no Estado do Ceará), Porto do Açú (Região da Foz do Rio Paraíba do Sul, no norte do Estado do Rio de Janeiro) e Suape (Município de Ipojuca, no Estado de Pernambuco).

Porém, por questões pragmáticas de tempo, orçamento e complexidade, ademais por valiosas sugestões de docentes que analisaram o projeto durante a sua qualificação, decidimos realizar esta eventual análise em momento futuro, apenas mencionando o *Hub* de hidrogênio de baixo carbono do Porto do Açú como um exemplo prático, apontando algumas especificidades dos respectivos projetos.

Em relação ao Problema de Pesquisa, nota-se que se num primeiro momento estávamos tendo dificuldade em encontrar bibliografia relacionada aos assuntos, após a defesa parcial na banca de qualificação com a absorção das sugestões com a consequente correção de rota, reescrita dos objetivos, problema, hipótese e metodologia, além de um maior recorte temático, afinal conseguimos maior sucesso.

Dentre os principais trabalhos com problemas e perguntas de pesquisa bastante parecidas temos a publicada na Revista *Current Opinion in Chemical Engineering* por pesquisadores do Departamento de Energia Química e Molecular do Centro de Ciência e Tecnologia Catalítica da Universidade de Delaware (Newark-EUA), onde os cientistas (sendo a maioria do grupo de pesquisa formada por brasileiros), formularam uma pergunta científica bem próxima à nossa, lançando a seguinte pergunta: “Existe água suficiente para apoiar uma economia de hidrogênio?” (Oliveira, Beswick e Yan, 2011).

---

<sup>2</sup> PL 2308/23: Institui o marco legal do hidrogênio de baixa emissão de carbono; dispõe sobre a Política Nacional do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono; institui incentivos para a indústria do hidrogênio de baixa emissão de carbono; institui o Regime Especial de Incentivos para a Produção de Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono (Rehidro); cria o Programa de Desenvolvimento do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono (PHBC); e altera as Leis nºs 9.427, de 26 de dezembro de 1996, e 9.478, de 6 de agosto de 1997.

Nota-se a dificuldade em se responder à referida pergunta da Universidade de Delaware liderada pelos pesquisadores brasileiros, que por sinal se constitui numa verdadeira questão científica (Sirimarco, 2022, p. 184). Portanto – e mesmo porquanto a pesquisa ora realizada, apesar de interdisciplinar, é orientada pela ciência do Direito – não nos arvoraremos da presunção de que poderíamos responder a uma tão complexa questão científica, mas ao menos nos arriscaríamos em ao menos tentar ajudar na resolução de tão intrincada questão.

Assim é que lançamos, afinal, a nossa pergunta: “Nos projetos e implantação da indústria de hidrogênio de baixo carbono, em especial no produzido pela eletrólise da água, dever-se-ia levar em conta os efeitos das mudanças climáticas na disponibilidade hídrica futura?”.

Portanto, apenas de forma assemelhada a Oliveira, Beswick e Yan (2011) e à luz dos compromissos internacionais e do marco legal do hidrogênio de baixo carbono é que introduzimos o nosso problema de pesquisa, sem necessariamente nos preocuparmos com a resposta ao problema deles, talvez apenas ajudando na resposta, pelo nível de complexidade envolvendo várias ciências e saberes.

Tal preocupação é importante, de modo que seja antecipada a probabilidade de acontecer disputas hídricas na região onde se instalará o respectivo empreendimento, em especial se o uso industrial da água porventura entrar em choque com o direito fundamental de acesso à água, a exemplo por populações da região do empreendimento.

Chegamos a esta problematização ao se levar em conta que o Direito deve pensar formas de proteger os direitos fundamentais das populações da região em que se instala os empreendimentos de baixo carbono, em especial de vulneráveis, como a exemplo temos na instalação do *Hub* de Hidrogênio do Porto do Açú.

Em consequência, o Direito Climático deve nos fornecer ferramentas para evitar eventuais violações de direitos destas populações, de forma preventiva, descobrindo se o acesso à água potável pela população em torno dos mega projetos de hidrogênio verde restaria comprometido com a implantação desta indústria, intensiva em uso de água, à luz do texto constitucional, inclusive indiretamente significando a necessidade de se observar o princípio constitucional ambiental da precaução – o que não vai ser o foco deste estudo.

Agir de forma passiva, mesmo conforme propugna os princípios da precaução e da prevenção, dois dos princípios fundamentais do Direito Ambiental, parece-nos ser

insuficiente. As consequências das mudanças climáticas estão tão impactantes, que precisamos urgentemente realizar as ações discutidas e impostas pelo Direito Climático. Na instalação de empreendimentos de Hidrogênio, entendemos que tal atitude significaria fiscalizar se a implantação e funcionamento de tais empreendimentos já estariam levando em consideração os efeitos progressivos advindos do aquecimento global. E, caso não esteja sendo observada estes efeitos, o Estado impor a sua observância.

Em relação à Hipótese da pesquisa realizada, propõe-se como hipótese a de que ao ser implantada a indústria de hidrogênio de baixo carbono, bem como quando de seu posterior funcionamento, devem ser observados os possíveis efeitos das mudanças climáticas quanto à provável diminuição da oferta de acesso à água, na respectiva região onde instalado o empreendimento, de modo a se evitar estresse hídrico que venha a violar o direito fundamental de acesso à água pela população local;

Apresentamos agora os Objetivos da pesquisa realizada, sendo divididos em Objetivo Geral da Pesquisa e em Objetivos Específicos.

Considerando-se a problemática, têm-se como objetivo geral a necessidade de analisar se na instalação e operação da indústria do hidrogênio de baixo carbono, com fundamento em princípios de Direito Constitucional Climático, deveriam ser considerados os efeitos do aquecimento global e das mudanças climáticas na disponibilidade hídrica futura para o consumo da água necessária para a produção do hidrogênio.

Quanto aos objetivos específicos, que daquele diretamente decorrem, caberia listar os que entendemos essenciais por parecer imprescindíveis para alcançar o objetivo geral, primeiramente precisaremos tentar descobrir, na região onde se instale empreendimento de hidrogênio de baixo carbono, atualmente sem notícias de disputas hídricas, se num futuro próximo poderia haver conflitos hídricos entre o consumo industrial de água e o direito fundamental de acesso à água pela população.

Teríamos ainda outro objetivo específico, qual seja o de analisar documentos como EIA, RIMA, Diretrizes e Instruções Técnicas, de projetos de hidrogênio de baixo carbono do Porto do Açu (RJ), a fim de descobrir se há a previsão de possível piora na disponibilidade hídrica, com a mitigação de impactos, em decorrência dos efeitos das mudanças climáticas provocadas pelo aquecimento global, potencialmente causadoras de disputas hídricas.

Em relação à Justificativa, entendemos como plenamente justificada a pesquisa, mormente quando temos Estados com aumento na área suscetível à seca, como no Rio de Janeiro em especial em municípios distantes da Capital, como é o caso do município onde se situa o projeto do *Hub* de hidrogênio de baixa emissão de carbono, São João da Barra, afetando a qualidade da água usada pela população em geral e em particular as mais vulneráveis.

No nosso recorte de pesquisa, com o uso intensivo da água pela indústria de hidrogênio de baixo carbono, entendemos haver uma tendência de que vá aumentar a dificuldade de acesso à água potável de povos e grupos sociais que atualmente estão próximos de boas fontes de água ainda disponíveis, povos simples que em geral são povos originários como quilombolas ou outras comunidades vulneráveis – como os indígenas e os ribeirinhos. Porém, inclusive devido ao aquecimento global, provavelmente a estabilidade das suas fontes de água em breve poderá acabar.

Todo este quadro mostra o quanto é relevante esta pesquisa, em face da necessidade de defesa do meio ambiente, dos ecossistemas e, afinal, da água para o abastecimento de povos como os da vizinhança de mega projetos de hidrogênio de baixo carbono. Sem esta preocupação, indiretamente pode-se vetar o acesso à água destas populações de regiões próximas aos empreendimentos.

## **CAPÍTULO 1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.**

A presente investigação foi realizada a partir de um tema recente e pouco explorado na área jurídica, a necessidade de se levar em conta os efeitos das mudanças climáticas do Antropoceno na instalação da indústria de hidrogênio, com base na área que é uma conexão entre o Direito Constitucional e o Direito Ambiental: o Direito Climático. Apesar da pouca bibliografia para o tema específico pesquisado, há bastante material em áreas relacionadas como o Antropoceno, aquecimento global, limites planetários, mudanças climáticas, crise e emergência climática, Direito Climático, descarbonização, hidrogênio verde ou de baixa emissão de carbono, dentre outros temas tratados neste livro. Inserido nesta abundância de referências, ainda que muitas vezes indiretamente relacionadas ao tema, fundamentamos e orientamos a presente pesquisa.

Adiante veremos que na pesquisa emerge a sua natureza interdisciplinar, principalmente porquanto em grande parte há a necessidade de integrar conceitos técnicos, jurídicos e ambientais, exigindo uma abordagem conectando diferentes áreas do saber.

### **1.1 Considerações gerais acerca da metodologia. Abordagem e métodos da pesquisa.**

Cumpramos salientar que de início acreditávamos estar diante de pouca bibliografia disponível. Porém, após a defesa perante a Banca de Qualificação, com os preciosos ajustes e sugestões dos integrantes da banca, para a qual foram chamados o dobro de integrantes que normalmente participam, quatro ao invés de dois membros para compor a Banca, junto com o seu Presidente o Professor Orientador.

Tal situação, ao tempo em que foi um desafio com mais membros sugerindo correções, também foi um privilégio ao enriquecer o debate com a enorme experiência acadêmica que os professores e professoras participantes compartilharam.

A fim de alcançar o objetivo proposto nesta pesquisa, optou-se pela utilização da abordagem qualitativa, do tipo exploratória e dedutiva, valendo-se das técnicas bibliográfica e documental, recorrendo-se à utilização de informações contidas em fontes nacionais e estrangeiras.

Já quanto ao Método principal que seguimos foi o hipotético-dedutivo. Assim,

eleger-se-ão proposições hipotéticas estrategicamente, a fim de aproximá-las ao objeto da pesquisa (Mezzaroba, 2019).

Também se realizou a revisão bibliográfica, como de praxe, além da pesquisa documental, iniciando-se pela análise da legislação pátria aplicável ao tema, como o marco legal do hidrogênio de baixo carbono, lei 14.948/2024, a lei 9.433/1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, dentre outras, para solucionar o problema trazido.

Igualmente se utilizará da pesquisa documental para analisar todos os documentos que forem relacionados aos empreendimentos de hidrogênio de baixo carbono que se possa conseguir, quanto ao empreendimento escolhido como exemplo (*Hub* do Porto do Açu), tais como Atas de Audiências Públicas, Requerimentos, Autorizações, Estudos e Relatórios de Impacto Ambiental, dentre outros.

Neste momento a pesquisa terá natureza descritiva, posto que não deixaremos de olvidar o alerta dos Professores Antônio Henriques e João Bosco Medeiros de que enquanto as pesquisas bibliográficas são “de cunho exploratório, ‘não tendo como objetivo fornecer resposta definitiva ao problema, mas sim ao seu aperfeiçoamento’, por outro lado a pesquisa documental “é em geral ‘descritiva ou explicativa, requerendo, portanto, um problema mais claro, preciso e específico”” (Henriques e Medeiros, 2017).

Na leitura destes documentos procuraremos identificar se houve a preocupação quanto aos efeitos do aquecimento global no consumo de água pelos empreendimentos de hidrogênio de baixo carbono (Queiroz, 2019).

Por fim, ressalte-se que conseguimos diversos documentos referentes ao *Hub* do Porto do Açu, como Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e os Relatórios de Impacto Ambiental (RIMA) referentes ao citado empreendimento do Hub de hidrogênio de baixa emissão de carbono do Porto do Açu. Porém, entramos em contato com integrantes dos órgãos ambientais de modo que outros documentos foram pedidos, mas não conseguidos, como registros de audiências públicas, embora houvesse a expectativa de conseguirmos produção documental inicialmente não acessível ao público em geral, por conta de requerimento realizado aos órgãos encarregados.

## **1.2 A abordagem terá que natureza? A pesquisa será “inter”, “multi”, “pluri” ou**

### **“trans” disciplinar?**

Neste ponto, surge a pergunta acerca de qual seria a abordagem metodológica a se seguir, quanto a trabalhar com conceitos e categorias de várias disciplinas, em especial tendo dúvidas acerca se a melhor abordagem seria de natureza multidisciplinar ou mesmo interdisciplinar.

Pelo escólio de Mario Engler Pinto Junior (2018, p. 27), aparentemente se entenderia que um tema como o aqui enfrentado poderia ter um melhor enfrentamento se houvesse uma abordagem multidisciplinar. Isto porquanto o autor afirmar que na prática jurídica contemporânea o jurista deveria agir pesando as alternativas, além de verificar os limites e possibilidades, analisando “riscos e como podem ser mitigados, qual a melhor prática”. E tendo em conta que enfrentar esses problemas “pressupõe conhecimentos multidisciplinares e domínio da realidade concreta, sem dispensar, no entanto, o raciocínio jurídico de base doutrinária e dogmática”.

Entretanto, parece-nos que nesta dissertação seria melhor aplicável a abordagem interdisciplinar<sup>3</sup> porquanto haja uma enormidade de conceitos e categorias de ciências e disciplinas tão diversas a serem trazidas à pesquisa.

Aqui, diga-se de passagem, entendendo interdisciplinariedade no sentido de interdisciplinaridade científica conforme leciona Lenoir (1998, p. 47) na obra *Didática e Interdisciplinaridade*, porquanto esta abordagem compartilha não uma lógica de interdisciplinariedade diversa (como uma “interdisciplinariedade ‘escolar’” tal como presente nas aulas escolares de ensino fundamental e médio) mas “uma lógica científica” de interdisciplinariedade.

Afinal, o que caracteriza essa tal interdisciplinaridade é como sendo aquela que “tem por finalidade a produção de novos conhecimentos pelo estabelecimento de ligações entre as ramificações da ciência, pela hierarquização (organização das disciplinas científicas) e pela estrutura epistemológica” (Lenoir, 1998, p. 52).

Vale dizer, no presente estudo estabelecer-se-ão ligações entre as ramificações de várias ciências (e disciplinas), mas sendo estudadas em conjunto e sempre orientadas pela

---

<sup>3</sup> Vê-se, portanto, que seguiremos neste trabalho o conceito de Interdisciplinaridade trazido por Naomar de Almeida Filho (1997), Professor da UFBA, no sentido de implicar “uma axiomática comum a um grupo de disciplinas conexas A, B, C e D, cujas relações são definidas a partir de um nível hierárquico superior, ocupado por uma delas (no caso, D). Esta última, geralmente determinada por referência à sua proximidade da temática comum, atua não somente como integradora e mediadora da circulação dos discursos disciplinares mas, principalmente, como coordenadora do campo disciplinar” – em nosso estudo tal disciplina catalisadora seria o Direito. Tal conceito é também revisitado por outros autores, como Lenoir (1998), onde no mesmo sentido há uma ciência ou disciplina que se sobressai, integrando e mediando o entendimento das demais.

Ciência do Direito, de forma interdisciplinar. E, acrescente-se, apresentando os conceitos e categorias unicamente com influência na futura explicação de uma situação jurídica.

Isto acontecerá, por exemplo, ao introduzirmos os fenômenos, decorrentes das mudanças climáticas (por sua vez consequências do aquecimento global), os quais são causadores da diminuição da disponibilidade hídrica. Para apresentar tais fenômenos, necessariamente traremos definições de outros saberes. Haverá o rebaixamento da altura dos lençóis freáticos por conta da superexploração (extremada extração do recurso hídrico subterrâneo) concomitante com a diminuição do carregamento do depósito subterrâneo (causado pela diminuição da precipitação pluviométrica ou de menor vazão de correntes d'água) tudo levando a uma intrusão marinha quando do aumento do nível do mar.

Como consequência deste fenômeno, a água subterrânea terá mudanças de ordem físico-químicas, como conceitos físico-químicos tais como alterações de pH e concentração de sais que no extremo a deixará imprópria para o consumo humano, trazendo afinal consequências jurídicas essenciais para a nossa pesquisa.

A nossa preocupação então seria trazer estas categorias e conceitos da química, da física, da geologia, da climatologia e meteorologia, mas apenas os que sejam estritamente necessários para o entendimento da consequência jurídica que determinado quadro acarretará, no caso exemplificado podendo ser afetado o direito constitucional, embora não explicitado na Constituição de 1988, do acesso à água potável.

Ou seja, apesar de termos uma abordagem metodológica que articula diferentes ciências e disciplinas, o cerne da pesquisa inevitavelmente será a ciência do Direito, que restará por hierarquizar as demais. Tal situação caracteriza a pesquisa como interdisciplinar, porquanto a disciplina jurídica surge norteando e orientando as demais, tal como recentemente foi feito em pesquisa realizada pelo Autor desta dissertação, junto com os pesquisadores Pedro Curvello Saavedra Avzaradel e Nelbe Nesi Santana<sup>4</sup>. “abordagem interdisciplinar a fim de buscar apoio em outras disciplinas de forma a conseguirmos entender com mais profundidade o problema” (Vasconcelos, Avzaradel e Santana, 2024, p. 247-250).

Assim, para o estudo do Antropoceno, parece que precisamos ter em mente uma abordagem interdisciplinar partindo especialmente da Geologia, da Física, da Química, da Meteorologia e da Climatologia, mas sempre sem perder de vista que todas as disciplinas aqui

---

<sup>4</sup> Bacharel em Fisioterapia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2000), Mestrado Acadêmico em Saúde da Criança pelo Instituto Nacional de Saúde da Mulher, da Criança e do Adolescente Fernandes Figueira (IFF/Fiocruz) (2017) e Doutorado Acadêmico em Saúde Coletiva pela Fiocruz (2020). Coordenadora do Programa de Residência Multidisciplinar do Instituto Nacional de Saúde da Mulher, da Criança e do Adolescente Fernandes Figueira da Fundação Oswaldo Cruz, docente da Pós-Graduação da Fiocruz e membro do Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos (CEP/Fiocruz).



apresentadas têm como “nível hierárquico superior” o Direito, em especial o Direito Constitucional e o Direito Climático, este proporcionando ferramentas para a proteção de direitos fundamentais que aquele prevê, como o direito de acesso à água e a garantia do meio ambiente ecologicamente equilibrado.

Aliás é neste mesmo sentido o entendimento de Manuel Arias Maldonado (2018, p. 9), professor da *Universidad de Málaga* (ES), quando baseando-se em outros autores porém com o mesmo direcionamento epistemológico, afirma que o estudo do Antropoceno é “*una materia forzosamente interdisciplinar que exige incursiones en terrenos desacostumbrados para el científico social*”. Ainda aponta Maldonado (op. cit., p.14) a necessidade da pesquisa ser interdisciplinar quando os praticantes colaboram entre si, atentos às descobertas “de sus colegas en las ciencias naturales y viceversa”, ou seja, sem que um saber se sobreponha, nem seja submisso aos demais.

Além disto, com a finalidade de simplificar, não entraremos em meandros de outras disciplinas, por vezes utilizadas nos estudos do Antropoceno, como Paleontologia, Sedimentologia, Estratigrafia, Geoquímica ou Antropologia. Entendemos que tais outras disciplinas ou ciências em geral trazem conceitos úteis para o Antropoceno (ICH, 2024), mas acreditamos não serem algo essencial para o entendimento do nosso tema.

Assim, apenas traremos categorias e conceitos básicos de ciências ou disciplinas importantes para o entendimento do presente estudo sob o ponto de vista do Antropoceno, do Direito Climático com a necessidade de, por conta do aquecimento global e suas advindas mudanças climáticas, termos uma transição energética através da solução do hidrogênio de baixo carbono, de modo a haver a necessária proteção a certos direitos constitucionais fundamentais levando em conta as mesmas mudanças climáticas. Podemos apontar, de antemão, algumas das ciências ou disciplinas que vão ser norteados pelo Direito, como: Química, Física, Biologia, Geologia, Meteorologia, Engenharia, *Compliance* e Regulação.

Dito doutra forma, apesar de sua natureza interdisciplinar – e portanto necessariamente precisando se valer de categorias e conceitos emprestados das mais diversas disciplinas – ainda assim a presente pesquisa é uma dissertação em Direito, aliás, em Direito Constitucional, com foco em Direito Regulatório em Recursos Hídricos, mediada por uma interface com a proteção de direitos fundamentais, como o direito constitucional (implícito) de acesso à água.

Além da pouca bibliografia quanto ao assunto, especificamente na área jurídica, ser umas das razões pela qual a presente pesquisa tem um perfil interdisciplinar, há uma outra

razão que talvez seja tão importante quanto: é a necessidade de se conectar conceitos de áreas assemelhadas ao Direito, ainda dentro das Ciências Sociais ditas puras, como a Antropologia, ou as Ciências Sociais Aplicadas, como a Sociologia. Sem falar que será essencial ora adentrar em conceitos emprestados das ciências naturais como química e física, ora precisando conceituar categorias como das Ciências da Economia e da Administração, dentre outras (Bello, Engelmann, 2015).

Ainda é importante ressaltar que Edgar Morin, um clássico doutrinador nos estudos da complexidade, em especial com o seu “Inteligencia de la Complejidad Epistemología y Pragmática” (2006), defende que se deva ir além da interdisciplinaridade. Numa visão sistêmica, permitir-se-ia mesmo que uma disciplina orientasse as demais. Ele sugere a superação desta colaboração numa espécie de visão holística, onde se conseguiria uma integração tão ampla do conhecimento que este processo se tornaria mesmo uma espécie de fusão<sup>5</sup>.

Mas apesar de nosso conhecimento acerca desta clássica e defensável visão, optamos por uma perspectiva estritamente interdisciplinar, porquanto entendemos haver a necessidade de manter o Direito como o eixo estruturante da pesquisa, organizando e hierarquizando os demais saberes incorporado aos estudos, de forma epistemologicamente coesos, ao contrário da abordagem de Morin (2006, p. 23) tendendo à transdisciplinaridade, onde haveria uma superação das fronteiras disciplinares e sem hierarquização.

Também entendemos por afastar este método de pesquisa interdisciplinar propugnado por Morin, mesmo porquanto ele tende à transdisciplinaridade, ou mesmo já estaria na sua fronteira. Assim, em face da necessidade de respeitarmos os aspectos regimentais acadêmicos de modo que mantivéssemos a aderência do objeto desta pesquisa à área de concentração do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Direito Constitucional, da Universidade Federal Fluminense, parece-nos mais prudente preferir um estudo mais interdisciplinar do que transdisciplinar. Isto porquanto, apesar de nos apoiar em várias disciplinas, ou saberes, teremos o Direito (e em especial o Constitucional) como norte, hierarquizando as demais. Não no sentido de menosprezar as demais áreas, mas apenas orientando a pesquisa interdisciplinar realizada.

---

<sup>5</sup> O autor insiste que para se obter êxito nos estudos complexos se deva voltar para a própria organização do conhecimento, pensando-o epistemologicamente: “Y entonces, ¿qué es la complejidad “generalizada”? Es necesario, insisto, pensarla de nuevo epistemológicamente, centrándose en la organización del conocimiento mismo” (Morin, 2006, p. 23).

Portanto, concluímos que o Direito irá integrar e mediar as demais ciências e/ou disciplinas nesta pesquisa, não de forma multidisciplinar ou até mesmo transdisciplinar, mas nos parece que de modo interdisciplinar, consoante os ensinamentos de Almeida Filho (1997), de Bello e Engelmann (2015), de Maldonado (2018) e mesmo reiterando nosso anterior entendimento consoante discorremos no já citado artigo (Vasconcelos, Santana e Avzaradel, 2024).

E a fim de não pecarmos pela indecisão, havendo a necessidade pragmática de se escolher determinada forma para o desenvolvimento do capítulo referente ao Antropoceno, resolvemos seguir aproximadamente a maneira de enfrentar os problemas das mudanças climáticas conforme trabalhou o IPCC, instituição do sistema ONU (Organização das Nações Unidas) idealizada em 1988, conhecida pela sua sigla em inglês correspondendo às iniciais de *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*<sup>6</sup>.

O IPCC, ao dividir os cientistas representantes de nações de todo o mundo, separa-os em grupos de trabalho,<sup>7</sup> partindo-se de um grupo que estuda as bases conceituais para se entender os fenômenos relacionados ao aquecimento global.

Após, há outro grupo que realiza pesquisas acerca da resiliência do planeta, quanto à vulnerabilidade aos impactos causados pelos fenômenos ocasionadores de consequências conhecidas como mudanças climáticas e as possíveis capacidades de adaptação dos ecossistemas terrestres.

Afinal – com base nesta capacidade de adaptação da natureza – foi criado um último grupo de trabalho onde se estuda possíveis atitudes capazes de mitigar os impactos e, idealmente, suprimir a causa das mudanças climáticas (ONU, 2023).

Pois bem, tal divisão encontrada no IPCC será de certa forma replicada neste trabalho, trazendo primeiramente uma base científica acerca do aquecimento global e das mudanças

---

<sup>6</sup> O Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC) é o principal órgão internacional para a avaliação da mudança do clima. Foi criado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) para fornecer uma avaliação internacional confiável dos aspectos científicos da mudança do clima com base nas mais recentes informações científicas, técnicas e socioeconômicas publicadas ao redor do globo. As avaliações periódicas do IPCC sobre as causas, os impactos e as possíveis estratégias de resposta à mudança do clima são os relatórios mais abrangentes e atualizados disponíveis sobre o assunto e constituem a referência padrão para todos os envolvidos com mudança do clima no meio acadêmico, no governo e no setor em todo o mundo.  
Fonte: Panel on Climate Change. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/>>. Acesso em: 14 nov. 2024

<sup>7</sup> O IPCC tem como função fornecer aos formuladores de políticas avaliações científicas regulares sobre o estado atual do conhecimento sobre as mudanças climáticas, numa função de “avaliar” as ciências relacionadas às mudanças climáticas (IPCC, 2023). Ao ser criado o IPCC, houve como uma das ações iniciais a organização de três grupos de trabalho: Grupo 1 - a base da ciência física; Grupo 2 - impacto, adaptação e vulnerabilidade; Grupo 3 - mitigação da mudança climática (ONU, 2023).  
Fonte: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_SYR\\_LongerReport\\_PO.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_LongerReport_PO.pdf). Acesso em: 19 ago. 2024.

climáticas, apresentando os conceitos teóricos do que seria o Antropoceno, apontando quais seriam as suas principais características.

Na sequência, serão trazidas evidências científicas de que realmente haveria de ser reconhecido uma miríade de fenômenos, comumente admitidos pela doutrina majoritária como sendo denominada de Antropoceno, como uma nova era geológica influenciada por forças de natureza física, biológica e química, causadas pelas ações do ser humano, parecendo comprovar que estas ações atuariam e modificariam o meio ambiente de forma que a biosfera resta vulnerável a estas forças “telúricas”, provocando mudanças climáticas como o aquecimento global.

Ao final, tentar-se-á trazer, da forma mais didática possível, algumas soluções apontadas pela comunidade científica internacional para minimizar as consequências maléficas do aquecimento global, em especial focando na transição energética. Comprovar-se-á a necessidade e urgência desta iniciativa, introduzindo algumas das principais fontes renováveis de energia e explicitando algumas políticas e incentivos para a efetivação desta transição energética.

Dentre estas fontes, concluiremos esta parte do estudo apontando a solução do hidrogênio como a provável melhor solução para a transição energética. Esta estrutura para a apresentação teórica parece ser a mais adequada ainda mais em face da necessidade de se apresentar conceitos e categorias que parecem ter uma melhores apresentação ao se tomar de empréstimo conceitos e categorias de outras áreas do saber.

### **1.3 O referencial teórico.**

A base da pesquisa teve como método a revisão bibliográfica, cumprindo salientar que o referencial teórico básico para os primeiros assuntos, relacionados ao Antropoceno, se baseou majoritariamente em autores de fora do Direito, razão pela qual defendemos a interdisciplinaridade de nosso trabalho.

Assim, fundamentamo-nos especialmente em Crutzen, Steffen e Stoermer, trazendo ainda outros cientistas que os sucederam, ou colaboraram, em suas pesquisas – particularmente no Stockholm Resilience Centre, estudando as causas e consequências do aquecimento global. Passamos ainda por Carlos Peralta e pelo espanhol Maldonado. Em particular quanto à climatologia, nos baseamos nas autoridades brasileiras Nobre e Marengo.

De modo a trazermos uma dialética ao debate, contribuindo com uma antítese para se contrapor à tese dominante, apesar da base de nosso referencial teórico quanto a este ponto ser Stoemer e Crutzen e ainda apresentando outros cientistas com coerência epistemológica com estes, também trouxemos o denominado ambientalista-cético Lomborg, a fim de apresentar a sua crítica ao pensamento majoritário em relação ao tema, como uma voz discordante.

No capítulo seguinte, quanto ao Direito Climático, a pesquisa de fato foi quase que estritamente jurídica, com nossa orientação epistemológica se iniciando ao Sul do Brasil com o clássico Ingo Sarlet e seu conterrâneo Deltan Winter. Depois vamos ao Norte e ao Nordeste nos basear também em Marcelo Bedone, José Irivaldo, Talden Farias e Terence Trennepohl, estes dois pesquisadores da UFPE e os dois primeiros da UFPB.

Também trouxemos a visão crítica quanto ao pensamento dominante do Direito Climático, sendo as mais contundentes as críticas contra a pretensa autonomia do Direito Climático realizadas por J.B. Ruhl e James Salzman, com a proposta jocosa de, aceita a autonomia desta “nova” área jurídica, se criar também o “Direito dos Cavalos”.

No último capítulo, a pesquisa voltou a ser majoritariamente interdisciplinar, com a maioria de autores das engenharias, meteorologistas e mesmo economistas. Não haveria como seguir uma orientação epistemológica muito clara, porquanto foi encontrada pouca referência bibliográfica sem doutrinadores com peso suficiente para orientar a doutrina.

Quanto ao tema do alto gasto hídrico, encontramos alguns trabalhos tratando de temas semelhantes ao que procurávamos, como dos pesquisadores Rebecca R. Beswick, Alexandra M. Oliveira e Yushan Yan. Foi a bibliografia, das que encontramos, a explorar assunto mais próximo possível do tema específico aqui tratado.

Por fim, em relação a direitos humanos e aos direitos fundamentais, nosso referencial foi de Flávia Piovesan e Ingo Sarlet, passando por novos doutrinadores como Emerson Affonso Moura.

#### **1.4 A essencialidade do procedimento de análise documental.**

Igualmente se utilizará da análise documental, primeiramente para se analisar diplomas normativos das mais variadas espécies, como normas ou documentos internacionais

(inclusive não-vinculantes), legislação pátria (lei federal e constituição federal), leis estaduais, leis municipais, além de normas infraconstitucionais como resoluções, instruções, portarias, etc.

Também realizaremos a para analisar os documentos relacionados ao empreendimento escolhido como exemplo (*Hub* do Porto do Açu), que conseguimos: o Estudo de Impacto Ambiental (EIA), o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA).

Neste momento a pesquisa terá natureza descritiva, posto que não deixaremos de olvidar o alerta dos Professores Antônio Henriques e João Bosco Medeiros de que enquanto as pesquisas bibliográficas são “de cunho exploratório, ‘não tendo como objetivo fornecer resposta definitiva ao problema, mas sim ao seu aperfeiçoamento’, por outro lado a pesquisa documental “é em geral ‘descritiva ou explicativa, requerendo, portanto, um problema mais claro, preciso e específico’” (Henriques e Medeiros, 2017).

Portanto, precisamos realizar a leitura destes documentos relacionados ao *Hub* de forma a descobrir se está havendo a preocupação com os efeitos das mudanças climáticas

Por fim, saliente-se que na leitura destes documentos procuraremos identificar se houve a preocupação quanto aos efeitos do aquecimento global no consumo de água pelos empreendimentos de hidrogênio de baixo carbono (QUEIROZ, 2019).

São diversos documentos que conseguimos, referentes ao *Hub* do Porto do Açu, como Estudos de Impacto Ambiental (EIA), Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) e Instrução Técnica, todos referentes ao citado empreendimento. Conforme descreveremos com mais detalhe no tópico específico, lemos integralmente a parte do EIA-RIMA referente às águas e recursos hídricos em geral, quanto ao restante, por se consubstanciar num documento de quase 4.000 páginas, realizamos buscas por termos específicos que adiante indicamos.

Explicando melhor. Diante da ampla quantidade de documentos a serem analisados, além da leitura e exame detalhado das seções relacionadas à água e aos recursos hídricos, no restante destas milhares de páginas primeiramente realizamos buscas textuais, com a ferramenta do leitor de PDF “localizar”, nos utilizando dos principais termos vinculados ao objeto da pesquisa, sem que encontrássemos menção alguma no texto que comprovasse a preocupação com as mudanças climáticas na disponibilidade hídrica deste projeto.

Adicionalmente, ao final empregamos uma ferramenta de Inteligência Artificial

integrada a um dos mais utilizados leitores de arquivos no formato .PDF, o Foxit PDF Reader, em sua versão 2024.4.7.270.683.

Após a indexação do EIA-RIMA, inserimos o seguinte comando no assistente de IA: “No EIA e no RIMA, há trechos que consideram os impactos das mudanças climáticas sobre a disponibilidade hídrica para a população, a médio e longo prazo, em razão do alto consumo de água do projeto do Hub de Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono do Porto do Açú?”

Pois bem, o assistente de IA igualmente não identificou nenhuma referência no documento que demonstrasse preocupação com os impactos das mudanças climáticas na disponibilidade hídrica do projeto.

Posteriormente, analisamos o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), que, por sua própria natureza, sintetiza o conteúdo do EIA, mantendo uma linguagem técnica, porém mais acessível ao público em geral, igualmente sem sucesso.

Por fim, buscamos complementar a análise com o exame da documentação da Audiência Pública, que, em tese, deveria ser o instrumento mais democrático do processo administrativo ambiental, pois garante a participação da sociedade. No entanto, apesar de reiterados pedidos ao longo do último ano da pesquisa, a documentação correspondente não nos foi disponibilizada.

## **CAPÍTULO 2 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SEUS EFEITOS NA CRISE HÍDRICA: A INFLUÊNCIA HUMANA NO AQUECIMENTO GLOBAL, NA ERA DO ANTROPOCENO.**

### **2.1 Existiria mesmo o Antropoceno?**

Idealizamos a apresentação deste capítulo por entender ser necessário definir Antropoceno e suas evidências científicas que apontam a existência do aquecimento global, antes de trazer as consequências das mudanças climáticas na disponibilidade hídrica futura em empreendimentos de hidrogênio de baixo carbono.

De modo a manter certa imparcialidade que entendemos necessária para a pesquisa, também traremos opiniões em sentido contrário, como aquelas dos doutrinadores que insistem em apenas estar havendo uma variabilidade normal no clima terrestre. Ou a recente decisão dos “Guardiões do Tempo” que entendeu ainda ser cedo para definir se há de fato uma nova era geológica influenciada pela ação humana.

Trazermos estas vozes contrárias à noção do Antropoceno, ou mesmo com algumas discordâncias, como aqueles que defendem o conceito de Capitaloceno ou mesmo o Chthuloceno, parece importante para uma perspectiva dialógica, ou dialética, necessária para uma visão verdadeiramente imparcial dos temas aqui tratados, numa atividade científica onde ficaríamos mais pertos de contribuir para o conhecimento acerca do assunto.

A doutrina explicando o conceito de Antropoceno foi iniciada por Stoermer e popularizada por Crutzen, vencedor do Prêmio Nobel, mas também teve vários outros expoentes, inicialmente com seus colegas de pesquisa como Steffen e McNeill. Depois vieram outros estudiosos se juntar a este esforço de pesquisa, como o jurista espanhol Manuel Arias-Maldonado e o brasileiro José Eli da Veiga, professor da Universidade de São Paulo. E, ainda mais recente, há as pesquisas de autores como as dos professores Carlos Peralta, da Universidade de Costa Rica, e Délton Winter Carvalho, da Unisinos (RS).

Em regra estes autores apontam que há uma tamanha influência das atividades humanas perante os ecossistemas de nosso planeta, desde o início da era industrial (e para alguns até em algum momento anterior) de tal forma que estar-se-ia já vivendo uma nova era geológica: o Antropoceno.

Precisamos compreender o assunto relacionado ao Antropoceno porquanto trarão conceitos e categorias importantes para nos trazer a noção do Direito Climático, como uma área do Direito que aponta ferramentas aptas a impor às sociedades poluidoras uma série de



políticas públicas aptas a regular a ação humana em desequilíbrio com o meio ambiente, trazendo-nos a agenda da transição energética.

Neste contexto, o direito climático procura trazer um tratamento jurídico de modo a se tentar reparar as grandes transformações ambientais negativas, como o aumento da temperatura causada pela liberação de grandes quantidades de gases causadores do efeito estufa.

Além de tentar mitigar as consequências das mudanças climáticas, adaptando as sociedades de modo a conviver com os efeitos já inevitáveis do aquecimento global, o Direito Climático pretende assegurar uma justiça intergeracional que se preocupe com a preservação ambiental não só para a presente, mas para as futuras gerações.

Além de indicar como o conceito de Antropoceno é a base para a construção do Direito Climático, o presente capítulo, ao expor o aumento contínuo da emissão de gases do efeito estufa, como uma das principais causas do aquecimento global, pretende comprovar que uma das principais soluções seria a transição energética, sendo a solução do hidrogênio de baixo carbono uma das mais promissoras, assunto do próximo capítulo.

E, por conta da necessidade de realizarmos esta transição energética, chegaremos afinal ao tema do nosso último capítulo, quando trazemos a necessidade dos Estados investigarem as externalidades negativas advindas da operação da indústria do hidrogênio de baixo carbono, como temos o exemplo próximo do *Hub* do Porto do Açu, município de São João da Barra, no norte do Estado do Rio de Janeiro (Brasil, 2016).

Sem desconhecer a enorme importância para o desenvolvimento sustentável e para a renovação industrial, que traz muitos efeitos sócio-econômicos benéficos, também temos que apontar os problemas que porventura venham a ser trazidos pela indústria do hidrogênio. E dentre as externalidades maléficas destes megaempreendimento, nos interessará o alto gasto de água, insumo básico para a produção do hidrogênio de baixo carbono. Por conta deste alto consumo, um estresse hídrico causado pelas consequências danosas das mudanças climáticas poderia eventualmente vir a afrontar direitos constitucionais do cidadão, como o direito de acesso à água, situação que nos parece deva ser antecipada e combatida pelo Poder Público.

Afinal, saliente-se que é motivo de inquietação a escolha de qual seria a melhor forma do pesquisador apresentar os resultados do seu trabalho. Sempre que for escolhida determinada direção, ou prestigiada certa nuance do assunto, haverá críticas no sentido de que se a outra direção fosse a tomada, a pesquisa teria sido mais produtiva ou proveitosa. Portanto, como poderia haver uma certa dificuldade por parte dos juristas em entender os

conceitos adiante tratados, neste capítulo se tentará trazer apenas os conceitos básicos, mas num grau de exatidão suficiente para o entendimento deste e dos próximos capítulos.

## 2.2 Antropoceno ou outros “cenos”?

O termo Antropoceno começou a surgir na década de 1980, em trabalhos e estudos realizados pelo biólogo americano Eugene Stoermer, professor da Escola de Meio Ambiente da Universidade de Michigan (Werrell, Femia, 2018).

Porém, pode-se apontar alguns estudos acerca desta temática das interferências humanas que são precursores, ou ao menos contemporâneos, dos estudos de Stoermer, sendo que seus autores cunharam outros termos para designar o mesmo fenômeno ali tratado como Antropoceno, segundo a escritora Elizabeth Kolbert (2008, p. 174).

Neste sentido, como exemplo, a ganhadora do prêmio norte-americano Pulitzer continua apontando que na década de 1970 o geólogo italiano Antonio Stoppani batizou com um termo bastante similar ao Antropoceno, por ele denominando de era “Antropozóica”, como uma nova era geológica cuja característica seria a grande influência humana.

Também aponta Kolbert (2008, p. 175) que décadas depois, foram publicadas as pesquisas de outro estudioso da geologia (especificamente da geo-química), o russo Vladimir Ivanovich Vernadsky, o qual “sugeriu que a Terra estava entrando numa nova fase, a ‘noosfera’”.

Finaliza a autora afirmando que em comum “os termos criados no passado tinham conotação positiva – “estou ansioso e otimista... Vivemos a transição para a noosfera”, teria escrito um otimista Vernadsky, enquanto a idéia de Antropoceno, lançada mais adiante, vinha inexoravelmente vinculada a uma “nítida mensagem de alerta” Kolbert (2008, p. 175).

Várias outras teorias, mais ou menos divergentes do Antropoceno, foram e têm sido colocadas acerca das mudanças ou desta nova era geológica que estaríamos vivendo. Mas no fim da contas, ao menos para os objetivos deste trabalho o que importa é a constatação quase que unânime, seja quaisquer dos “cenos” que se escolha como a versão “correta”, invariavelmente notamos o comportamento humano, de destruir a biota, de poluir o meio ambiente, ou mesmo de liberar energia como o grande causador das grandes mudanças pelas quais a terra tem passado.

Ou como diria a própria Donna Haraway (2016, p.140), difusora da idéia do Chthuluceno como uma teoria que, apesar da aparente complexidade inicial para a sua correta compreensão, entende o Antropoceno não como uma época mas como um limite

extremamente curto tal como seria “a fronteira K-Pg entre o Cretáceo e o Paleoceno”, no sentido do “Antropoceno marcar descontinuidades graves”.

Poderíamos dizer que a conclusão da Donna Haraway serial algo no sentido de tais mudanças serem algo de tamanha amplitude, a ponto de presenciarmos mudanças tão disruptivas que a humanidade, por mais pesquisas que se faça, por mais previsões, por mais que os cientistas rodem simulações de cenários com engenhosos modelos matemáticos nos mais potentes supercomputadores, ainda não teríamos noção do que pode nos aguardar.

Provavelmente este distópico futuro será algo tão apocalíptico que pode ser resumido numa passagem do leve – e até cômico – “Não dá, eles fazem tudo errado”, artigo de Ailton Krenak muito conhecido por sua contribuição na obra coletiva “Depois do Fim”.

No citado artigo de Krenak (2022, p. 41) o escritor efetiva uma literatura crítica e que se pode entender ter elementos de refinado sarcasmo. Como por exemplo quando afirma ter radicalizado a sua crítica ao denominado “mundo branco” porquanto “eles estão indo pro inferno”, dentre outras passagens onde, numa linguagem extremamente simples, traduz para os leigos todo o complexo de argumentos que muitas vezes passamos anos pesquisando para entender.

Como não confessar que o jornalista e autor indigenista por muitas vezes nos brinda com um aparentemente displicente senso de humor, ao traduzir enfadonhos relatórios e resultados de pesquisas – que em grande parte adiante referenciaremos – asseverando que “mudanças climáticas e todos os relatórios do Painel do Clima sugerem que não vai ter ventilador pra todo mundo no fim do mundo. Então, pensei: ‘Bom, então eu não vou pra lá, vou pegar pra outra quebrada, outro lugar’. Eu estou pensando em ir pro mato’. [...] ‘Corre pro mato!’” (Krenak, 2022, p. 41/42).

A conclusão tão popularmente palatável de todo o trabalho técnico acerca das mudanças climáticas, resumindo na facilmente inteligível expressão “fim do mundo”, parece conectada com a idéia da Donna Haraway. Esta parece não dar importância alguma em nos preocuparmos com tamanha profusão de “tecniquês”, representada pela enormidade de nomenclaturas.

Assim, parece que a Professora de História Donna Haraway envereda por um caminho que no Brasil aparentemente tem como exemplo o já citado Ailton Krenak, ao usar de outra faceta da interdisciplinariedade, que pode se manifestar – porque não – por uma das artes como música, escultura ou cinema.

Ou mesmo pelas letras, como pela literatura com traços de comédia, como no caso dos textos de Krenak, ou com ficções especulativas, onde segundo Luiza Amorim (2023) seria o

caso de Donna Haraway ao debater os temas do Antropoceno e do seu Chthuluceno por meio de seus escritos especulativos onde debate dilemas científicos e ecológicos atuais.

Outro doutrinador que parece ter coerência epistemológica com esta busca pela simplicidade de Donna Haraway ou Ailton Krenak é o pesquisador Manuel Arias Maldonado (2018, p. 9), conclamando para a simplicidade tanto os professores quanto os ensaístas, sendo tal simplicidade consistindo em *“traducir esa literatura a términos inteligibles para el ciudadano; pero también en reprocessar los hallazgos de las ciencias naturales con el fin de hacer posible el debate público acerca de sus significados e implicaciones”*.

Também parecendo uma forma de simplificar, ou ao menos desmistificar, ao mesmo tempo em que popularizou o termo Chthuluoceno a par do Antropoceno, a própria Donna Haraway (2016, p. 141) conclama as feministas a “exercerem liderança também na imaginação”, ressaltando uma outra forma de pensar os impactos das mudanças climáticas.

De certa forma Donna Haraway (2016, p. 144) parece minimizar não só a importância de uma nova nomenclatura que tanto ajudou a difundir, como critica esta por vezes exacerbada preocupação terminológica. Assim, ao invés de ser mais uma a tentar cravar qual seria o termo “correto”, pontua que “O sufixo ‘-ceno’ prolifera! Arrisco esta superabundância porque estou no encaixe dos significados da raiz de ‘-cene/kainos’, a saber, a temporalidade do ‘agora’ espesso, fibroso e irregular, que é antiga, mas não é”.

Completa a professora da Universidade da Califórnia com o quanto parece ser uma das mais pragmáticas conclusões que vimos dentre as várias teorias aqui estudadas. Algo como que conclamando para deixarmos de nos preocupar quanto a quem teria a razão. E sim, de forma a nos atentarmos quanto ao aspecto prático principal de todo este esforço de pesquisa sobre as mudanças climáticas, como sendo algo no sentido de convencer a humanidade de que “a terra está cheia de refugiados, humanos e não humanos, e sem refúgios”. De modo que, enquanto ainda temos algum tempo, procuremos “reconstituir os refúgios” (Haraway, 2016, p. 144).

Devemos reconhecermos uma imensa gama de autores colocando em xeque a perspectiva do Antropoceno, seja por entender variações diante do seu conceito tradicional (trazendo conceitos como o Capitaloceno e o Chthuluceno), seja mesmo por negar qualquer mudança climática – apontando ser apenas uma variabilidade normal da meteorologia (ponto adiante tratado).

Assim, mesmo citando várias destas opiniões, entendemos não haver necessidade de grandes digressões, para os objetivos deste trabalho, senão a de se conhecer as principais teorias acerca do tempo geológico orientado pela influência do ser humano, trazendo os

pontos em que a parte majoritária dos doutrinadores convergem e que nos parece suficiente para os fins deste trabalho.

Mesmo porque, tomando a citada lição da própria Haraway, no sentido de considerar uma “superabundância” de teorias com “o sufixo ‘-ceno’”, o que importa para esta dissertação é apresentar a enormidade de fenômenos trazidos pelas mudanças climáticas potencialmente desencadeadores de estresse hídrico, de modo a conseguir realizar a argumentação jurídica a que nos propusemos.

### **2.3 Conceito e características do antropoceno. Diferenciação em relação ao holoceno.**

#### a) Autores pioneiros.

Apesar do termo Antropoceno ter sido ventilado desde os anos de 1980 nos trabalhos, aulas e palestras de Stoermer, o termo e o assunto se popularizaram apenas a partir do ano 2000, com a continuação dos seus estudos mas desta vez realizados em parceria com o holandês Paul Crutzen, em pesquisas realizadas no Max Plank Institute de Berlim, Alemanha (Nature, 2021).

Crutzen, à época do trabalho realizado em co-autoria com o pioneiro Stoermer, já era muito respeitado e conhecido por conta de suas pesquisas reveladoras de fenômenos atmosféricos causados por poluentes, responsáveis pela destruição da camada de ozônio do planeta Terra, estudos por conta dos quais o holandês venceu o Prêmio Nobel de Química de 1995 (Nature, 2021).

Naquele ano de 2000, Stoermer e Crutzen escreveram o artigo ‘Anthropocene’, obra fundamental sobre o tema, publicado pela *Springer*, revista científica que junto com a *Nature*<sup>8</sup> ainda seriam palco da divulgação de grande parte de seus artigos, escritos em consequência dos rotineiros trabalhos revisionais das teses ali lançadas, lançando as bases para o entendimento acerca do surgimento de uma nova era geológica onde uma das principais forças modificadoras seria a ação humana (Crutzen e Stoermer, 2000).

Apesar de um dos principais e pioneiros líderes destas pesquisas acerca do tema do Antropoceno ter sido Paul Crutzen, paulatinamente houve a participação de outros renomados cientistas interessados pelo assunto, sendo em geral geólogos e demais pesquisadores das

---

<sup>8</sup> Podemos notar que o cientista publicou por algumas das mais prestigiadas editoras científicas do mundo, como MIT Press (Cambridge/EUA), a *J.J. Phys. IV* (Paris/França) e o Max Planck Institute (Munique/Alemanha). Entretanto, a maioria de seus artigos foram publicados por revistas integrantes do grupo editorial Springer Nature, como a *Nature* e a *Springer* (ambas de Londres), além da *Springer-Verlag*, de Berlim (Nature, 2022).

chamadas “Ciências da Terra”, áreas com alto grau de complexidade e grande nível de interdisciplinaridade (ICH, 2024).

No inovador artigo, não à toa cujo título dá nome à própria teoria (portanto podendo-se até propugnar como sendo o trabalho inaugurador desta corrente teórica), o biólogo Eugene Stoermer e o químico Paul Crutzen (2000) explicam o Antropoceno precisando partir de um conceito básico de era geológica<sup>9</sup>.

Quanto a este ponto, a dupla parece ter sido o mais didático possível, sem grandes pretensões de esgotamento da matéria, motivado decerto pela facilitação do entendimento por parte de estudiosos de todas as áreas de interesse no tema, tanto que várias foram as vezes em que Crutzen voltou ao tema (Nature, 2021). Tal facilidade de compreensão, aliada à importância do tema, parece ter sido uma das principais razões para o sucesso do artigo e, após, para o grande aumento de interesse acerca do assunto.

Após este artigo inaugurador dos estudos do Antropoceno, em 2022 Crutzen faz uma espécie de continuação dos temas introduzidos dois anos antes, publicando o seu “The anthropocene: geology of mankind” onde foca mais nos assuntos afetos à geologia, tomando como base para o conceito de Antropoceno a diferenciação com o Holoceno, este que seria a era geológica pós-glacial, ou seja após a última “época do gelo”, iniciada nos últimos 10 ou 12 mil anos e encerrada exatamente com o início do Antropoceno (Crutzen, 2022, p. 23).

Neste novo artigo Crutzen reitera o conceito de Holoceno, nos termos do já citado artigo de 2020, quando segundo os referidos autores o Holoceno seria aquela época durante a qual “mankind’s activities gradually grew into a significant geological, morphological force, as recognised early on by a number of scientists” (Crutzen, 2020) .

Portanto, temos numa tradução livre que no Holoceno o meio ambiente da Terra e seu clima gradualmente começaram a sofrer a influência de atividades que foram se tornando importantes forças morfológicas e geológicas.

Esta força imposta pelos seres humanos, foi batizada de “nova força telúrica” por Stoermer e Crutzen (2000), a par das forças naturais que já interferiam no clima.

---

<sup>9</sup> Os pesquisadores das ciências da Terra utilizam o conceito de eras geológicas, onde precisamos saber que estes cientistas conseguem dividir as eras geológicas da Terra por intermédio do estudo das rochas e das camadas que compõem pedras e alguns solos. As camadas, onde vão se sedimentando poeira e substâncias presentes no ar, ao longo de milhares e até milhões de anos, vão compondo o que se define como “escala ou coluna do tempo geológico”. Por fim, estas “unidades, dependendo de sua duração, são denominadas de éon, era, período e época, e separadas por marcos encontrados em escala global” de sorte que a linha do tempo das eras geológicas pode ser resgatada pelo estudo das rochas, mais especificamente das suas camadas, sedimentadas “desde a formação do nosso planeta até os dias de hoje”. Estas camadas revelam “episódios expressivos que afetaram a Terra e cujas evidências podem ser achadas em diferentes partes do globo” (ICH, 2024).

Tal afirmação parece acertada, inclusive porquanto diuturnamente sentimos os efeitos destas forças. Segundo explica José A. Marengo<sup>10</sup> (2007, p. 7), de meado da década de 1990 até 2004 a humanidade sofreu os 10 anos mais quentes de sua história.

Entretanto, este aumento foi largamente ultrapassado, primeiramente notando que em junho de 2024, ao se iniciar a escrita deste capítulo, já havia sido a 13ª vez em que o mês se encerrava como o mais quente desde o início das medições, há quase dois séculos atrás (ONU, 2024c).

Acontece que, ao se finalizar o capítulo, esta informação já se tornara ultrapassada, pois a última medição, realizada durante o mês de julho de 2024, deu conta de novo recorde, onde o último mês de julho foi o mês mais quente da história da humanidade, ou seja, já estamos no 14º mês seguido de recordes seguidos de alta temperatura (ONU, 2024d). A organização internacional ainda informa acerca de uma constatação da agência climática dos Estados Unidos, ao decretar que “julho deste ano [de 2024] foi o mais quente já registrado desde 1850”, enquanto a Unicef clama quanto ao drama do calor onde “quase meio bilhão de crianças vivem o dobro de dias quentes em comparação com seus avós”.

Voltando aos estudos de Crutzen, o cientista holandês continuou as suas pesquisas, desta vez realizadas em parceria com Will Steffen e com John McNeill, todos autores também pioneiros neste tema, quando em novo aprofundamento acerca do tema foi reafirmado que Antropoceno seria a nossa época atual, caracterizada pela industrialização onde "*humans and our societies have become a global geophysical force. The Anthropocene began around 1800 with the onset of industrialization, the central feature of which was the enormous expansion in the use of fossil fuels.*" (Steffen, Crutzen, McNeill, 2007).

Estes autores, numa tradução livre, novamente asseguram que em determinado momento (ou seja, ao final do período do Holoceno) por volta dos anos 1800, os humanos e suas sociedades se tornam uma “força geofísica global” em especial por conta do uso dos combustíveis fósseis.

No mesmo sentido do que afirmam estes doutrinadores pioneiros, temos outros autores, como José Correa Leite (2015), pesquisador da Fundação Armando Álvares Penteado, apontando alguns exemplos de outras forças naturais que também incidiriam na configuração de uma era geológica, a par das forças telúricas – estas decorrentes da ação humana. Como exemplo destas forças naturais as “forças astronômicas, em especial, os ciclos

---

<sup>10</sup> José Marengo é pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE/CPTEC), climatologista graduado em meteorologia e Mestre em Ingeniería de Recursos de Agua y Tierra, ambos pela Universidad Nacional Agraria (Peru), segundo Sediní (2019). Fez doutorado em meteorologia pela University of Wisconsin-Madison (EUA) e é pós-doutor em modelagem climática pelo programa Nasa/Columbia University (EUA), *Lattes*: <http://lattes.cnpq.br/5719239270509869>

de precessão dos equinócios”, referindo-se às forças que fazem a duração do dia ser maior ou menor. A incidência destas forças explicariam que “as eras glaciais poderiam ser o resultado das mudanças da insolação da Terra em função de oscilações em sua órbita ao redor do Sol”. O autor aponta ainda vários outros exemplos de forças naturais como “mudanças na radiação do Sol; mudanças na posição dos polos; transformações na cobertura vegetal da superfície da Terra; gases expelidos por vulcões (cf. Flemming, 1998; Weart, 2004)” dentre vários causadores de fenômenos que poderiam modificar o clima e, portanto, influir nas características de uma era geológica.

José Correa Leite (2015) ainda aponta o problema do efeito estufa, afirmando que o aumento da quantidade de CO<sub>2</sub> no ar, por conta da “continuidade da utilização de combustíveis fósseis pela humanidade” aumentaria “a temperatura média do planeta entre 2,5 e 4 graus”. Assim, com o crescimento populacional e das atividades desta população, as consequências ecológicas das atividades humanas vão paulatinamente aumentando, começando com a realização de queimadas e desmatamentos, para a agricultura ou para a criação de animais, até se ingressar num vertiginoso aumento das “forças telúricas” com o início do período industrial, chegando-se afinal ao começo deste presente período que denominaram de Antropoceno, onde Leite nos aponta que as interações causadas pela humanidade passaram a ser indubitavelmente tão fortes que deram origem a esta nova era denominada Antropoceno.

Reitere-se que apesar de a estas alturas já nos parece natural concordar com os defensores da existência do Antropoceno, parece ser tal escolha por uma ou outra teoria irrelevante, no sentido do quanto já afirmamos ter sido apontado por José Eli da Veiga (2021), de que tratar do Antropoceno como Era Geológica, ou não, seria uma mera questão de nomenclatura, não influenciando nas conclusões daquele professor de economia, assim como não influirá na nossa.

#### **2.4 Evidências científicas do antropoceno.**

Apenas alguns anos após o contato inicial do pesquisador Paul Crutzen com o tema, este uniu esforços de pesquisa com o professor Will Steffen, realizando pesquisas no Centro de Resiliência de Estocolmo, vinculada à Universidade de Estocolmo, na Suécia (*Stockholm Resilience Centre*, 2023), estudando a resiliência de sistemas socioecológicos em face das agressões ao meio ambiente causadas pela humanidade. Nota-se que uma das principais preocupações dos pesquisadores foi a de trazer evidências científicas quanto ao conceito de Antropoceno.



Parece ser necessário se trazer evidências científicas de que estamos vivendo o Antropoceno, uma vez que a cada dia a população mundial está sentindo na pele cada vez mais os efeitos da mudança climática, com a ocorrência cada vez em maior frequência de ventanias, tornados, furacões, enchentes, ondas de calor<sup>11</sup> e secas, dentre vários fenômenos parecem de uma certa obviedade serem efeitos do aquecimento global, mas parece haver certo ceticismo quanto à existência do aquecimento global e das mudanças climáticas.

Tanto que ao se realizar a revisão bibliográfica acerca do tema, pode-se notar que uma enorme parte dos pesquisadores, desde os pioneiros estrangeiros como Stoermer, Crutzen, Steffen, até outros estudiosos como José A. Marengo e Carlos Nobre, têm como uma de suas maiores preocupações trazer à tona evidências científicas de que estaríamos, de fato, vivendo esta era de mudanças climáticas, por muitos tida como uma nova era climática denominada de Antropoceno.

Estas evidências, se começaram a ser detalhadas com o pioneiro trabalho de Stoermer (Werrell, Femia, 2018), foram divulgadas em especial após a continuação da pesquisa nos trabalhos de Paul Crutzen<sup>12</sup>, os quais por sua vez parecem ter se tornado particularmente famosos após a divulgação do conceito de Antropoceno, somada à repercussão do Nobel pela pesquisa de Crutzen acerca do buraco na camada de ozônio (Crutzen, 2000).

O próprio José A. Marengo, climatologista brasileiro, reconhece a dificuldade em se arrematar evidências científicas definitivas, ao apontar que como há uma certa variação natural do clima, ou seja, causados por fenômenos naturais, e mesmo sabendo de “mudanças no uso da terra (desmatamento e urbanização), aquecimento global, aumento da concentração de gases do efeito estufa e aerossóis na atmosfera” causados por ações humanas, ainda assim “não se comprova por meio destes fenômenos que haja um novo regime de mudança climática, como aqueles projetados pelos modelos globais do IPCC” (Marengo, 2007, p. 25).

O referido pesquisador continua afirmando que a chamada variabilidade natural do clima é devido à Terra desde sempre passar “por ciclos naturais de aquecimento e

---

<sup>11</sup> ONU. Ondas de calor na Europa aumentam mortes e causam impactos generalizados. ONU News, 2024. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2024/04/1830626>. Acesso em 19 ago. 2024.

<sup>12</sup> Embora não tenha sido o pioneiro a definir o termo Antropoceno (mas Stoermer), Crutzen foi quem primeiro o estudou com profundidade (Crutzen, 2000). Mas além deste, vários outros pesquisadores deram contribuições valiosas acerca do tema, em especial seus colegas muito próximos Steffen e McNeill (Crutzen, Steffen, McNeill, 2007).

Para uma revisão bibliográfica da produção acadêmica de Paul Crutzen e principais autores parceiros, podem ser consultados alguns de seus melhores artigos acerca do Antropoceno, na seção “Texts by Paul J. Crutzen and his Close Colleagues and Co-authors on the Anthropocene” obra coletiva (e-book) lançada pouco depois da sua morte que foi editada pela Springer-Nature, editora da maioria de seus escritos, numa parceria entre o Max Planck Institute e a Springer-Nature (Enner, S., Lax, G., Crutzen, P.J., Pöschl, U., Lelieveld, J., Brauch, H.G., 2022).

resfriamento, da mesma forma que períodos de intensa atividade geológica lançaram à superfície quantidades colossais de gases” formadores de um efeito estufa natural.

José A. Marengo (2007, p. 25-26) traz evidências no sentido das mudanças da temperatura global não serem “exclusivamente devido a causas naturais, considerando as grandes incertezas dos registros paleoclimáticos”. Ou seja, inobstante haver a possibilidade desta variabilidade natural, de fato os efeitos da atividade industrial devem estar modificando o clima para além da sua variação natural, arrematando, quanto à concentração de carbono na atmosfera, que:

“a atividade humana é um fator determinante no aquecimento. Desde 1750, nos primórdios da Revolução Industrial, a concentração atmosférica de carbono – o gás que impede que o calor do Sol se dissepe nas camadas mais altas da atmosfera e se perca no espaço – aumentou 31%, e mais da metade desse crescimento ocorreu de cinquenta anos para cá. Durante os primeiros séculos da Revolução Industrial, de 1760 até 1960, os níveis de concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico aumentaram de uma estimativa de 277 partes por milhão (ppm) para 317 ppm, um aumento de 40ppm. Durante as recentes quatro décadas, de 1960 até 2001, as concentrações de CO<sub>2</sub> aumentaram de 317ppm para 371ppm, um acréscimo de 54ppm. Os gases do efeito estufa absorvem parte da energia do Sol, refletida pela superfície do planeta, e a redistribuem em forma de calor através das circulações atmosféricas e oceânicas. Parte da energia é irradiada novamente ao espaço. Qualquer fator que altere esse processo afeta o clima global.

Marengo (2007, p.26) continua trazendo provas quanto a fato de grande parte da mudança no clima ser causada pelo ser humano, citando evidências onde “amostras retiradas das geleiras da Antártida revelam que as concentrações atuais de carbono são as mais altas dos últimos 420.000 anos e, provavelmente, dos últimos 20 milhões de anos” e por isto parece haver razão em se identificar a influência humana na mudança do clima como “um dos principais aspectos analisados pelo IPCC” e que o aumento da temperatura pode ficar maior em até “5.8° C para o ano de 2100”.

Devem ser considerados os modelos climáticos globais analisados pelo IPCC-TAR, os quais estão apontando evidências do aquecimento global verificado no último século, com grande grau de certeza, não serem por conta apenas da “variabilidade interna do clima<sup>13</sup>”. Ao contrário, Marengo (2007, p.27) aponta do aquecimento se dar devido à variabilidade climática externa, ou seja, por conta dos “forçamentos antropogênicos externos”. Arremata o autor que “o aquecimento observado durante os últimos 50 anos deve-se ao aumento na concentração de gases de efeito estufa na atmosfera devido a atividades humanas”.

---

<sup>13</sup> Para entender-se o conceito de “variabilidade interna do clima” há de se definir o conceito de “Variabilidade climática”, que segundo Marengo (2007, p. 159) é o conjunto de “variações no estado médio e outras estatísticas (tais como desvios padrão, a ocorrência de extremos etc.) de um clima nas escalas temporais e espaciais”. Estabelecido este conceito, pode esta variabilidade climática ser dividida em externa ou interna, esta “devido a processos internos naturais dentro do sistema climático”.

Finaliza o climatologista demonstrando a importância de ter trazido os conceitos de variabilidade climática, quando Marengo (2007, p. 27) afirma que ao entendê-los como entremente de dúvidas quanto à sua existência, deixa ainda mais patente a correção dos modelos climáticos prevendo as causas antropogênicas como as mais impactantes para o atual aquecimento climático.

Finalizando a exposição de várias das evidências científicas indicadoras de um indubitável aquecimento global, novamente pedimos emprestado o ensinamento do pesquisador do INPE quando demonstra que o forçamento natural solar e vulcânico foi negativo nas últimas décadas e “talvez nas últimas quatro décadas”, mas – ao invés da temperatura diminuir – ainda assim está havendo um inequívoco aquecimento da Terra e que vem se acelerando desde a última metade do século XX.

#### **2.4.1 “Guardiões do Tempo” apontam ainda ser cedo para reconhecer o Antropoceno. Para eles, ainda estaríamos no Holoceno.**

A fim de manter a coerência e atualidade do texto, resta necessário trazer importante decisão que, embora não negue de todo os fenômenos fundamentais para a conceituação teórica do Antropoceno, parece ao menos com potencial para enfraquecer o discurso dos formuladores de políticas públicas que buscam reverter, ou ao menos amenizar, os efeitos do aquecimento global.

Tal informação que se precisa mencionar é quanto às importantes decisões tomadas no último encontro do grupo formado por algumas das maiores autoridades mundiais em Estratigrafia,<sup>14</sup> Clima e Ciências Geológicas, conhecido como “Guardiões do Tempo”.

Estes Guardiões, como são conhecidos este grupo de cientistas da chamada Comissão Internacional de Estratigrafia (ICS), decidiu que a “proposta de separar a época em que vivemos em uma nova unidade de tempo geológico, denominada Antropoceno, foi rejeitada”. A proposta foi rechaçada por ampla maioria, sendo que um número três vezes maior de especialistas entenderam inexistir o Antropoceno do que a quantidade dos concordantes com a existência da nova era geológica, motivos pelos quais a União Internacional de Ciências

---

<sup>14</sup> A Estratigrafia é um ramo da geologia que estuda, descreve e classifica camadas rochosas (conhecidas como estratos) e as correlacionam espacialmente e temporalmente. Como ferramenta de interpretação dos registros estratigráficos, Nicolau Steno (1638-1686), conhecido também como o pai da estratigrafia, desenvolveu, a partir de muitos estudos e observações, os três princípios básicos da estratigrafia (Os princípios de Steno), usados até hoje. Montoya, Thalia Ariadna do Vale. 13. Estratigrafia. **Repositório da Produção USP** São Paulo: USP, 2021. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/directbitstream/68cb5be1-bd64-4798-9294-6c9042fe638d/3026810.pdf> Acesso em: 19 ago. 2024.

Geológicas (popularmente chamados de “Guardiões do Tempo”) entendeu por bem de rechaçar a proposta (ICH, 2024).

Tal fato não poderia restar ausente deste trabalho, parecendo uma decisão no mínimo polêmica, mesmo sabendo de fundamentadas posições contrárias ao reconhecimento do aquecimento global como sendo um fenômeno com grande influência do ser humano.

Não se desconhece os entendimentos contrários ao aquecimento global. Tanto assim que há mais de 15 anos o professor Pedro Curvello Saavedra Avzaradel (2009) já iniciava o seu artigo para a primeira edição da Revista *Custos Legis*, do Ministério Público Federal, alertando que “mudanças climáticas não gozam de consenso”, isto nem em face de qual seria a sua intensidade nem se realmente ocorrem.

O referido pesquisador afirmou, ainda, que no Brasil há vários cientistas refratários à tese das mudanças climáticas, sendo que um dos expoentes desta corrente o climatologista Alberto Setzer ao afirmar a impossibilidade dos modelos conseguirem prever nem mesmo uma seca, muito menos se estaríamos caminhando para um aquecimento global, sendo que alguns fatores se colocariam como responsáveis por esta imprecisão na detecção do aquecimento global (Agência Senado, 2019). Ainda cita o referido meteorologista do INPE que talvez ocorra tal imprecisão por não levar em conta a influência no clima global causado pelas nuvens, inclusive afirmando que provavelmente em mais alguns anos a terra iria se esfriar.

Ocorre que pesquisas apontam que a terra não esfriou, ao contrário, nos últimos tempos inclusive a temperatura extrapolou todas as medições já realizadas anteriormente, inclusive com recordes de temperatura mês a mês, segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM), organização internacional da ONU sediada em Genebra (Suíça) e que monitora continuamente o clima (OMM, 2024).

Também é importante destacar a opinião do Professor José Eli da Veiga (2023, p. 61) dando conta de que, de qualquer forma, não haveria problema se não houver o reconhecimento do Antropoceno como uma nova “Era” geológica, mas um “Evento” geológico, concluindo que seria apenas uma “troca semântica”.

Então mesmo sabendo da grande divisão que há em torno do tema, com respeitadas cientistas apontando não haver o Antropoceno, vemos que aparentemente pode ter havido até uma decisão com certo viés político para não se reconhecer sua inexistência, no sentido da divisão ideológica propugnado por Latour (2020). Porém, após realizada a presente revisão bibliográfica, parece que a grande maioria dos cientistas conseguiram provar, com fortes

evidências científicas, que há sim uma influência humana a determinar o início de uma nova era geológica.

Com base nesta conclusão, se continuará neste trabalho a usar o termo Antropoceno, tal como já definido, até mesmo porque parece haver grandes chances desta decisão, que por hora negou a existência de Antropoceno – e por consequência das influências humanas causando aquecimento global e mudanças climáticas – ser futuramente revista.

## 2.5 Consequência direta das atividades humanas: o Aquecimento Global.

Conforme apontado, parece haver uma opinião majoritária, um consenso científico no sentido de ser apontada a influência humana no aquecimento global e nas mudanças climáticas, isto muito embora haja diversas opiniões em contrário. A exemplo, Maldonado (2017, p. 321) chama a nossa atenção nos informando que “*antropoceno no es todavía una nueva época geológica ("época" y no "era", por cierto, como los autores la denominan erróneamente), sino la propuesta que hace un colectivo de geólogos a la Comisión Estratigráfica Internacional*”.

À época da edição do artigo, Maldonado (2017, p. 321) alertara que a idéia de reconhecer o Antropoceno era uma “*propuesta que ahora mismo se encuentra a la espera de ser evaluada mientras el Anthropocene Working Group*”. Porém, como já vimos antes, acabou mesmo por ser entendido que o Antropoceno por hora não é tido como uma nova era geológica, segundo decidiram os “Guardiões do Tempo” – e embora em decisão não unânime.

Esta falta de unanimidade ocorre – e é fundamental se compreender isto – por conta do clima ser um sistema extremamente complexo, influenciado por diversos fatores, tanto naturais quanto antropogênicos (ICH, 2024), ademais por conta da sua já apontada variabilidade natural.

Cabe lembrar o embate entre cientistas que entendem estarmos diante do aquecimento global causado pelo ser humano (e portanto vivermos numa nova era geológica – o Antropoceno), tendo em contraposição àqueles defensores da ideia de que, mesmo se estivermos num processo de aquecimento da Terra, provavelmente não haveria influência humana neste fenômeno. Esta situação parece se enquadrar no sentido do que apregoa Latour (2020, p. 10), ao entender ser um melhor termo para as mudanças causadas pelo aquecimento global não Mudanças Climáticas ou assemelhados, mas “Novo Regime Climático”, pois esta denominação daria a real ideia de que o fenômeno é algo grave e duradouro. Latour finaliza apontando uma certa contaminação ideológica nesta discussão, colocando-se em lugares

opostos de um lado os da “esquerda” e do outro os da “direita”, portanto, com grande potencial de ser fonte de infindáveis debates.

### **2.5.1 Conceitos e causas do Aquecimento Global.**

Eugene Stoermer e Paul Crutzen (2000) asseguram que no período nomeado de Holoceno as atividades da humanidade começaram a se tornar paulatinamente uma “força geológica e morfológica significativa”, até um ponto em que passaram a ter condições de, por si só, passar a modificar o clima da Terra, como apontou que G. P. Marsh já alertava ainda no longínquo ano de 1864, se constituindo tais atividades humanas verdadeiramente em uma “new telluric force”.

Segundo José Correa Leite (2015), a humanidade se preocupa com estas forças desde os estudiosos dos povos antigos, como matemáticos e astrônomos, até os mais contemporâneos cientistas. Desta forma, já se levantaram diversas teorias tentando explicar as forças naturais que teriam agido no período do Holoceno, podendo exemplificar dentre elas a “absorção da radiação infravermelha” emitida especialmente pelo Sol, absorvida por gases como “vapor de água, o dióxido de carbono e o metano”.

Algumas das ações dos seres humanos em especial são potencialmente causadoras de aquecimento, como exemplo principal temos que o metano é um gás liberado em grandes quantidades por processos naturais como evaporação, atividade vulcânica ou digestão de animais, todos levando a um aumento de temperatura causando o efeito estufa (UNEP, 2021).

Resta importante salientar que o efeito estufa, não só está longe de ser ruim para os seres vivos, mas é um fenômeno necessário para que haja uma regulação da temperatura da terra de forma que durante o período da noite uma parte do calor recebido durante o dia permaneça na Terra. No dizer do Professor Pedro Avzaradel, é como se fosse um “cobertor, que, em condições normais, mantém a Terra a uma temperatura média que viabiliza a sobrevivência de seres e organismos vivos diversos” (2012, p. 23).

### **2.5.2. Evidências científicas do Aquecimento Global.**

Parece ser uma providência extremamente necessária para a compreensão dos temas desta dissertação trazer algumas evidências científicas que comprovem os conceitos, até porque como bem fala Latour (2020), os assuntos relacionados ao aquecimento global têm sido em grande parte desvirtuados, sendo uma das razões dos embates esquerda x direita que tiram o foco do real problema relacionado às mudanças climáticas.

Além disto, muitos são os impactos das mudanças climáticas provocadas pelo aquecimento global, sendo que apenas vamos tratar, por óbvio, dos impactos mais conhecidos, tentando não entrando em assuntos mais polêmicos, pois acreditamos não ser o escopo do presente estudo adentrar nas tantas divergências acerca destes efeitos ainda não comprovados.

Uma das principais instituições a municiar os cientistas de evidências científicas acerca do aquecimento global é José Correa Leite (2015), autor que entende ser o IPCC o resultado do voluntariado de milhares de pesquisadores e das instituições às quais estão vinculados, tendo uma natureza “híbrida, simultaneamente científica e política, de caráter inédito”.

Nota-se que, embora com o objetivo primordial de sistematizar as pesquisas acerca das mudanças climáticas, a criação do IPCC também foi essencial para disseminar várias das evidências científicas acerca do aquecimento global (IPCC, 2023<sup>a</sup>).

Segundo Leite (2015), a principal tarefa do Painel é “sistematizar periodicamente o conhecimento científico produzido sobre o clima e as mudanças climáticas, tendo publicado até agora cinco relatórios em 1990, 1995, 2001, 2007 e 2014”.

Podemos extrair destes relatórios as evidências de que não só está havendo o aquecimento global, como este aumento da temperatura causa várias mudanças climáticas, entendimento corroborado pelo Copernicus, sistema europeu de monitoramento do clima, cujas medições também evidenciam que já em 2023 chegamos ao patamar limite, estabelecido em acordo mundial, de 1,5° acima dos limites pré-industriais, tendo sido inclusive o ano mais quente já registrado e inclusive com temperatura se acelerando de forma não esperada antecipando as previsões do termo (data) em que se chegaria a tal patamar (Copernicus Climate Change Service, 2023).

Desta forma, tendo em vista inclusive os recordes de temperatura sendo rotineiramente ultrapassados, há de se concordar com afirmações de alguns autores, como José Correa Leite, este quando afirma haver uma quantidade de CO<sub>2</sub> no ar tamanha, por conta da “continuidade da utilização de combustíveis fósseis pela humanidade”, que aumentaria “a temperatura média do planeta entre 2,5 e 4 graus” (Leite, 2015).

Digno de nota a constatação crítica do referido autor, de que há doutrinadores que, mesmo diante deste quadro que entendo apocalíptico, até consideram “benéfico” o aquecimento global.

### **2.5.3. Forçantes radiativos e mecanismos de retroalimentação do Aquecimento Global**

Apontados os conceitos, as causas e as evidências científicas do aquecimento global, passamos a evidenciar os forçantes radiativos e os chamados mecanismos de retroalimentação do aquecimento global.

Passando a apontar os forçantes radiativos, entendo necessário diferenciá-los quanto aos naturais e aos antrópicos, para afinal trazer os mecanismos de retroalimentação, que causam a chamada amplificação do aquecimento global.

#### 2.5.3.1. Forçantes radiativos: naturais e antrópicos.

Segundo José A. Marengo (2007, p.157), o forçamento radiativo (às vezes denominado de forçamento climático) realiza a medida de cada um dos “mecanismos” potenciais de mudança do clima, geralmente trazido em valor médio global e anual, como sendo:

“a perturbação do balanço de energia do sistema Terra-atmosfera (em  $Wm^{-2}$ ) em seguida, por exemplo, a uma mudança da concentração de dióxido de carbono ou uma mudança da radiação do Sol; o sistema climático responde a um forçamento radiativo de modo a restabelecer o balanço de energia.

O autor complementa ensinando que o forçamento radiativo positivo aquece, enquanto o negativo “tende a esfriar a superfície” e traz como exemplo de forçamento radiativo, bastante exemplificado pelo IPCC seus relatórios, “é a perturbação do balanço de energia do sistema superfície-troposfera, após permitir que a estratosfera reajuste-se a um estado de equilíbrio radiativo médio global”.

Houve o chamado Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, onde a instituição de pesquisas COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, estudou a fundo as forçantes radiativas naturais e antrópicas, no chamado Grupo de Trabalho 1, a cujo Relatório faço remissão como sugestão de aprofundamento acerca do tema (PBMC, 2013).

#### 2.5.3.2. Mecanismos de retroalimentação: a amplificação do Aquecimento Global

É importante apontar que há vários mecanismos de retroalimentação e amplificação de efeitos do aquecimento global, tais como o efeito estufa, a chuva ácida, a destruição da camada de ozônio e do *smog* fotoquímico (Goldemberg, 1992, p. 152).

Sem falar da recentíssima descoberta do grupo de pesquisas sobre os efeitos do aquecimento global na Antártida, liderada por Anna Wâhlin, publicada pela Science em 01.08.2024, onde comprovaram que não só a calota polar antártida está sucumbindo, mas há um progressivo processo de erosão do continente gelado que pode levar quantidades



astronômicas de água, sedimentos e rochas aos oceanos podendo levar a um catastrófico e rápido aumento do nível dos oceanos (Science, 2024).

O Professor de Ecologia George Woodwell (1992, p. 109), nos seus pioneiros estudos já apontava que poderiam ocorrer, decorrentes do próprio aquecimento da Terra, alterações nos processos físicos, químicos e bióticos onde “uma retroalimentação negativa reduzirá a gravidade do aquecimento à medida que este se intensifica; uma retroalimentação positiva fará aumentar o aquecimento”.

Woodwell (1992, p.109) continua o raciocínio exemplificando que as retroalimentações poderiam ser exemplificadas como:

“mudanças na cobertura de nuvens ou de neve, capazes de alterar a reflexibilidade da Terra e da energia que chega à superfície. Uma cobertura maior de neve e nuvens fará aumentar a reflexibilidade, reduzindo a energia retida e o aquecimento – retroalimentação negativa. Uma diminuição da reflexibilidade terá o efeito oposto – uma retroalimentação positiva.

Também é possível que alterações nos padrões de circulação dos oceanos façam mudar as taxas de troca de dióxido de carbono atmosférico com o carbono que existe, sob várias formas, na água do mar.

Já estudo da revista científica *Frontiers in Science* divulgado no último mês de julho de 2024, constatou que a taxa de emissão de gás metano (o segundo maior causador do efeito estufa) é a maior de todos os tempos (Shindell, 2024).

Interessante ressaltar ainda a conclusão à qual chegou Ignacio Rubio Carriquiriborde (2021, p.41), na sua obra “Riesgos ambientales e incertidumbres institucionales. Ensayos sobre desastres y política del riesgo”, aliás concordando com a mesma opinião de Steffen (2015), no sentido de entender haver uma espécie de não retorno em se tratando das mudanças climáticas (como o aquecimento global), pois:

“una vez ocurrido un cambio no es posible volver a la situación inicial y tampoco es posible conocer la secuencia de eventos cuando se ha traspasado un cierto umbral, asunto que fundamenta las alertas y demandas de acción frente al calentamiento global: una vez superado cierto nivel de incremento de la temperatura promedio, la posibilidad de predecir lo que pasará desaparece” (Carriquiriborde, 2021, p. 41)

Poderia se entender, portanto, que o autor – de forma que não há como prever se será acertada – empresta ao aquecimento global um efeito no clima que seria uma espécie de analogia ao efeito de uma catraca, onde ao se chegar a determinado ponto não se poderia retornar ao ponto anterior.

Retornando ao estudo sobre o derretimento da super-geleira da Antártida, a pesquisadora Wählin (2024, p. 1) aponta que o fenômeno recém-descoberto na verdade se trata de mais uma mecanismo de retroalimentação do aquecimento global, pois em resumo é um sistema onde correntes marítimas, boa parte delas de forma impressionante (ao menos

para um novel em oceanografia) causadas pela própria rotação da Terra, mas outra grande parte da corrente é consequência do próprio descongelamento da calota polar – portanto tendo aqui a primeira retroalimentação presente neste fenômeno. Estas correntes, por sua vez, escavam as geleiras causando uma rápida diminuição em volume (o que aumenta o nível dos oceanos) e em superfície, sendo que neste caso temos o segundo mecanismo retroalimentador do aquecimento global, pois a camada de gelo é altamente refletora da radiação solar e, portanto, sua diminuição aumenta o fenômeno do aquecimento:

As elevadas taxas de derretimento da plataforma de gelo na Antártida Ocidental foram atribuídas ao transporte de águas profundas circumpolares quentes (CDW) para a plataforma continental por meio de vales batimétricos. Esses influxos são fornecidos por uma corrente de talude subsuperficial para o leste (conhecida como Antarctic Slope Undercurrent) que se opõe à entrada de impulso para o oeste dos ventos e marés locais. (...) É mostrado que a direção batimétrica da corrente inferior em direção à plataforma de gelo é impulsionada pela ressurgência de água derretida dentro da cavidade da plataforma de gelo. O aumento do derretimento basal, portanto, fortalece a corrente e melhora o transporte de RCD em terra, o que indica um feedback positivo que pode acelerar o derretimento futuro das plataformas de gelo, potencialmente desestabilizando ainda mais a camada de gelo da Antártida Ocidental (tradução livre).

Talvez este seja um dos pontos mais complexos de entender em nosso estudo, ante a quantidade de termos técnicos específicos da climatologia e da oceanografia.

Mas em linhas gerais o que a explicação da pesquisadora Wählin aponta é que há um curioso fenômeno que faz as calotas de gelo da Antártida derreterem, mesmo com a temperatura não baixando de modo que fosse suficiente para o derretimento – acaso a água ao redor da geleira permanecesse estática.

Acontece que, de forma impressionante, o próprio movimento de rotação da terra “induz” uma corrente oceânica na região<sup>15</sup>, que tem ocasionado uma erosão na calota, fazendo o gelo derreter mesmo numa temperatura não tão baixa a ponto de normalmente fazer o bloco de gelo descongelar. Como o gelo da calota polar é muito claro, refletindo quase toda a luz solar que incide, a perda da camada de gelo é um dos chamados mecanismos de retroalimentação que está ocasionando um aquecimento ainda maior, que provavelmente não vai parar até derreter todo o gelo tanto da Antártida quanto do Ártico.

## 2.6 Impactos do aquecimento Global.

---

<sup>15</sup> Comportamento da mecânica dos fluidos, observável numa das experiências da disciplina física experimental: faz-se girar recipiente para, colocando corante, observar a formação de correntes na água. Tal experiência pode ser repetida em casa com panela “caçarola” grande cheia de água, em cima duma mesa, pondo-a a rodar. Estudante de Engenharia cursa em disciplina obrigatória tal matéria,. O de Exatas, se foi numa universidade de prestígio com grade curricular mais completa, tem oportunidade de cursar como optativa (ou eletiva nalgumas faculdades).

Ao apresentar o conceito do Antropoceno, foi visto que as forças exercidas pelo ser humano em nosso planeta Terra podem ser consideradas de tal forma influenciadoras do clima que esta nova geológica tem como principal “motor” exatamente estas forças ditas “telúricas”.

Passo a apontar os vários impactos que a humanidade vem sofrendo decorrentes do aquecimento global, em consequência basicamente desta ação do ser humano, em especial como sendo os impactos principais as mudanças climáticas extremas e os seus decorrentes impactos ambientais, sociais e econômicos como as mortes causadas e o deslocamento de populações (ONU, 2023).

Adiante também mencionarei outros impactos bastante importantes para o desenvolvimento desta dissertação, como: o derretimento das calotas polares e geleiras; o aumento do nível do mar trazendo com a intrusão do lençol freático, a erosão de praias e a salinização dos rios - ameaçando a sobrevivência das comunidades em especial as costeiras; a perda de terras agricultáveis; a acidificação dos oceanos; a perda de biodiversidade; problemas de saúde animal e humana.

### **2.6.1. Mudanças climática e seus impactos. Transbordamento, secas e outros extremos climáticos como furacões e outras tempestades “tropicais”.**

Há uma enormidade de termos referentes ao tema ora tratado, sendo mais comum mudança climática e crise climática,, mas também tendo verbetes parecidos como risco climático, emergência (ou urgência) climática ou novo regime climático.

Já adiantando aqui assunto que será mais pormenorizado no capítulo seguinte, qual seja a verdadeira crise climática que se instala por conta desta situação de instabilidade no clima. Podemos falar ser importante apontar neste trabalho a escolha pela nomenclatura usualmente dada aos fenômenos provocados pelo aquecimento global: mudança climática. E assim faremos seja porquanto tal expressão já esteja enormemente consagrada seja pela comunidade científica, seja na mídia, ou mesmo dentre os leigos do assunto (Latour, 2020, p. 10).

Porém, parece prudente trazer a observação de Latour acerca da escolha da nomenclatura usual, não sem significar a adoção de tal termo isento de questionamentos. Embora se admita utilizar a nomenclatura mudança climática, pessoalmente parece coerente o pensamento de Latour (2020, p. 10) em denominar de “novo regime climático” ao invés de outros termos de menor impacto tal como Mudança Climática – e a decorrente Crise Climática – pois usar termos como crise daria uma falsa impressão de que seria algo

passageiro, uma situação em que praticadas algumas providências simples se poderia facilmente contornar a “crise”. Ao apontar uma “emergência climática”, nos parece levar a um entendimento de que seria uma situação na qual se forem tomadas medidas com rapidez o panorama se reverte.

Há alguns principais impactos provocados pelas mudanças climáticas que são importantes para o nosso estudo, os quais apontaremos mais detalhadamente pela relevância, enquanto há outros não tanto. Quanto a estes demais impactos, por ser desnecessário aprofundá-los a fim de atingir os objetivos desta dissertação, neste momento posso apenas mencionar *en passant* que alguns outros graves impactos diretamente decorrentes do aquecimento global trazem grandes transtornos para a sociedade, pelo que neste momento vamos brevemente apontá-los.

Como exemplo de eventos mais importantes para o nosso estudo, teríamos alguns tormentosos extremos climáticos, com aumento na quantidade e intensidade, como furacões, tornados, tempestades tropicais, ciclones e outros eventos atmosféricos. Elizabeth Kolbert (2008, p. 181) afirma que é impressionante o aumento do número de furacões a atingir países como os Estados Unidos, inclusive numa intensidade e em épocas nunca antes vistas.

Continua a relatar a autora que em especial houve “o furacão Wilma – que chegou a atingir a marca de furacão mais intenso já registrado – e varreu a península de Yucatán, logo ao norte da Playa Del Carmen”, sendo que já em 2005 o Centro Nacional de Furacões tesse de usar “todos os nomes possíveis” e acabou tendo de passar a denominar por letras gregas, como a tempestade tropical Zeta, sendo que “27 tempestades foram registradas e batizadas em 2005, um recorde”.

Outro dentre os principais impactos da mudança climática que a humanidade sofrerá – do qual aliás já está padecendo – é a enorme disseminação de doenças por conta do chamado “transbordamento”. Embora este não sendo não tão importante para a pesquisa, podemos mencionar que o Professor Camilo Mora aponta haver uma grande probabilidade da epidemia de COVID-19 ter se originado no fenômeno denominado de transbordamento, enquanto tal situação realmente foi a razão da disseminação de várias doenças antes longe dos seres humanos (HUTTO, 2022).

Menciona o professor havaiano que o contato dos seres humanos se dá quando estes e animais hospedeiros de diversos patógenos passam a conviver no mesmo *habitat*, seja com os humanos vivendo cada vez mais próximo a selvas e outros ambientes naturais, seja os animais frequentando os ambientes urbanizados por conta, por exemplo, das secas ou inundações nos

seus *habitat* naturais, ou mesmo quando ambos, seres humanos e animais, são obrigados a migrarem após alguma tragédia ambiental.

Infelizmente a conta pela degradação ambiental não é democraticamente distribuída, ou seja, sofrendo em maior grau proporcionalmente quem mais tenha poluído. Nem mesmo há uma distribuição equânime, pelo contrário, os países que mais sofrerão as consequências na média são os que menos contribuem para o aquecimento. É que já se sabe que as consequências são maiores para os países situados em regiões que já são hoje em dia naturalmente mais quentes, por serem próximas à linha do equador. Assim se prevê que os países desenvolvidos, em sua maioria (com as exceções digna de nota de Austrália, Israel e Nova Zelândia) vá sofrer menos os efeitos do aquecimento global, tudo conforme pesquisa liderada pelo Professor Dr. Camilo Mora (2013), do Departamento de Geografia e Meio Ambiente da Universidade do Havaí em Mānoa,.

Os resultados desta pesquisa do Professor Mora foram publicados em artigo na revista *Nature*, onde já se apontava que as sociedades mais atingidas pelos impactos do aquecimento global, a exemplo das mudanças climáticas, do aumento do nível do mar e da perda da biodiversidade, seriam aquelas das regiões tropicais. Nestas, em algum momento durante o século XXI, as mudanças climáticas iriam ter uma amplitude tal a ponto de ser maior do que a variabilidade histórica do clima.

Interessante ressaltar o desafiador quadro apontado por Mora (2013), ao vaticinar “first in the tropics, where historical variability is low, and where biodiversity is highest. The new projections suggest that the often economically challenged areas in the tropics will face the highest burden of rapidly adapting to the biological effects of climate change”. Ou seja, em livre tradução, prevê-se que enquanto a maioria dos países desenvolvidos, por estarem situados em regiões frias ou temperadas, pouco sentiriam os piores efeitos das mudanças climáticas, estes se fariam sentir de forma bastante acentuada nos países subdesenvolvidos, ou ainda em vias de desenvolvimento econômico.

Já o relatório mais recente do IPCC (2023), publicado no último ano, indica que haverá, com alto nível de certeza “increases in hot and decreases in cold climatic impact-drivers, such as temperature extremes” – um aumento nos “fatores de impacto climático quente” e diminuição na vertente fria. Além disto, dito relatório acrescenta que “at 1.5°C global warming, heavy precipitation and flooding events are projected to intensify and become more frequent in most regions in Africa, Asia (high confidence)”.

Em suma, o relatório confirmou aquela previsão feita pelo Professor Mora há quase 11 anos, apontando que seriam as regiões tropicais, coincidentemente onde ficam os países mais pobres, aquelas onde os maiores impactos do aquecimento serão mais intensos.

No mesmo sentido é o Relatório Mundial sobre Proteção Social 2024-26 (Proteção Social Universal para a Ação Climática e uma Transição Justa), atualizado estudo conduzido pela Organização Internacional do Trabalho (OIT, 2024), órgão da Organização das Nações Unidas sediado em Genebra (Suíça) que elenca vários problemas decorrentes das mudanças climáticas, apontando possíveis mecanismos mitigadores dos inconvenientes gerados.

O Relatório principal, em seu Sumário Executivo, aponta alguns dos países mais atingidos pelas mudanças climáticas exatamente como aqueles ao longo, ou pouco acima ou abaixo, da Linha do Equador, como Haiti, São Tomé e Príncipe, Maldivas, Timor-Leste, Ilhas Salomão, Ilhas Marshall, Samoa, Tonga, Micronésia, Índia e quase todos os países centrais da África. Neste estudo se conclui que “a atenuação da crise climática e a consecução de uma transição justa exigem que se preste atenção devida à criação de sistemas universais de proteção social baseados nos direitos” (OIT, 2024, p. 09).

Os últimos grandes eventos climáticos ocorridos no Brasil mostram que o alerta feito no artigo do Professor Mora (2013) na *Nature*, há mais de dez anos, já se revelava premonitório, situação reafirmada em estudo realizado pela ONU (“Relatório revela que Brasil teve 12 eventos climáticos extremos em 2023”), onde se vê que a sociedade brasileira vem sofrendo, a um só tempo, as piores secas, precipitações pluviométricas e fortes correntes de ar como ventanias, ciclones e tornados de todos os tempos (ONU, 2024).

Concluindo, notamos que a revisão de literatura à qual procedemos parece apontar o fato de haver uma enormidade de mudanças climáticas causadas pela ação humana, independentemente de denominarmos tal período de Antropoceno ou outro “ceno”. Também pode-se chegar à conclusão de que resta essencial efetivarmos a transição energética. E, neste sentido, o hidrogênio verde, com seu potencial de armazenamento de energia e descarbonização de diversos setores, pode contribuir significativamente para essa meta, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa, todos assuntos que veremos no próximo capítulo.

Também veremos, no capítulo seguinte, alguns detalhes importantes da produção, do ciclo de vida, ou rota tecnológica como o pessoal da engenharia denomina. E que a produção em larga escala do hidrogênio ainda enfrenta desafios como a necessidade de grandes quantidades de energia renovável e de água, problemas dos quais esta dissertação tentará pesquisar formas de regulação que permitam o desenvolvimento de infraestruturas adequadas

ao mercado energético, mas com respeito aos direitos fundamentais – das atuais e futuras gerações.

E, por fim, assunto do último capítulo, veremos que resta essencial o entendimento de que os empreendimentos deste setor de hidrogênio de baixo carbono devem considerar os efeitos das próprias mudanças climáticas que buscam mitigar. A exemplo, devem ser previstos (e já aprontados planos factíveis de contingência) eventos extremos que levem à interrupção no fornecimento de água, ou variações nos padrões climáticos que levem à mesma consequência, ou ao menos diminuam a disponibilidade hídrica, a fim de garantir a resiliência dos sistemas hídricos e a sustentabilidade a longo prazo.

### **CAPÍTULO 3 DIREITO CONSTITUCIONAL CLIMÁTICO E ULTRAPASSAGEM DOS LIMITES NA EMERGÊNCIA CLIMÁTICA: TRANSIÇÃO ENERGÉTICA COMO SOLUÇÃO?**

No capítulo anterior apresentamos o conceito de Antropoceno, tido pela doutrina majoritária, em suma, como uma nova era geológica onde as atividades antrópicas são a principal fonte de graves alterações do clima.

Mostramos também que estudiosos entendem ser necessário realizar este estudo sob o ponto de vista da interdisciplinaridade, quando os saberes se correlacionam apenas nas interfaces que interessam à ciência norteadora da pesquisa, no nosso caso o Direito, especificamente na área de Direito Constitucional. Dentre outros, Eli da Veiga (2022, p. 25-27) defende em artigo este ponto de vista, no livro “O Antropoceno e as Ciências Sociais” quando afirma que a pesquisa deve ser interdisciplinar em especial quando houver a necessidade de fazer uma correlação de conceitos e categorias das ciências naturais com as ciências sociais.

Em seu livro “O Antropoceno e as Humanidades”, Eli da Veiga (2023, p. 91 e 97) reafirma em várias passagens, a essência interdisciplinar da relação da Ciência da Sustentabilidade, da Ciência do “Sistema Terra”, sob uma perspectiva de complexidade, com as Ciências Humanas.

O Professor Eli da Veiga (2023, p. 89) continua a discussão apontando que ela seria mais além do que uma simples idéia de interdisciplinaridade, pois com o advento do Antropoceno se desafiaria “as fronteiras estabelecidas entre ciências naturais e ciências sociais e humanas”.

Seria algo mais profundo do que o apelo à interdisciplinaridade sob o ponto de vista de “objetos híbridos ‘socioecológicos’”, sendo difícil entender a concepção sobre o mundo natural que o Direito e outras ciências sociais se acostumaram, no sentido que seria uma grande “reserva inerte de recursos”, com um “indiferente cenário ao drama das coisas humanas” (José Eli da Veiga, 2023, p. 89).

Da mesma forma pensa Maldonado (2018, p.14), também apontando que seria interdisciplinar este tipo de pesquisa porquanto os praticantes colaboram entre si, onde quem faz ciência social está atento às descobertas “de sus colegas en las ciencias naturales y viceversa”.



Utilizando-nos ainda do referencial teórico capitaneado por Crutzen, além de seu companheiro de pesquisas Steffen, como também de Marengo e Nobre no Brasil seguindo a mesma linha epistemológica, apontamos os nocivos efeitos das mudanças climáticas, indicando alguns terríveis impactos de natureza meteorológica, físico e química do aquecimento global.

Neste mesmo rumo, citamos pontos das pesquisas que entendemos importantes, percorrendo acerca da teoria exposta pelos autores e respectivos exemplos de consequências das mudanças climáticas como o “transbordamento” de doenças, citado pelo Professor Mora, da Universidade do Havaí. Ou quanto ao alerta dado pelo cientista brasileiro Marengo acerca do iminente alagamento de vastas regiões costeiras em todo o mundo. Situação onde, segundo o pesquisador, as localidades que mais sofrerão o fenômeno em nosso país, serão o Recife (local de onde o autor é natural), capital do Estado de Pernambuco, além de seu novo lar – a cidade do Rio, capital do Estado do Rio de Janeiro.

Com uma abordagem interdisciplinar, da mesma forma tal como defendida por Eli da Veiga dentre outros, defendemos que esta verdadeira crise ambiental não é um detalhe que deva ser motivo de preocupação apenas de burocratas ou técnicos do meio jurídico ou das ciências naturais (como a climatologia ou geologia). Ao contrário, deve ser uma preocupação de todos os pesquisadores e profissionais envolvidos, de todas as áreas nas quais haja alguma interface, sem que uma área do saber se sobreponha a qualquer outra – todas devendo trabalhar em harmonia a fim de se tentar descobrir as melhores práticas econômicas e sociais a serem aplicadas na resolução do problema, mesmo porque os nefastos efeitos das mudanças climáticas vitimarão de maneira mais grave principalmente as populações mais vulneráveis, isto em âmbito global como já pontuamos no capítulo anterior como sendo a opinião do Professor Mora, dentre outros.

Reconhecer a emergência climática, na nomenclatura preferida pela doutrina majoritária – ou urgência climática como preferido por Latour (2020) – afinal se conecta com um dos focos do presente capítulo, qual seja descobrir as soluções propugnadas pelo Direito Constitucional Climático de modo a mitigar os efeitos maléficos das mudanças climáticas.

Para atingir tal objetivo, neste capítulo apresentaremos a teoria de Rockström, dando conta dos “limites planetários” para o planeta ser considerado em equilíbrio – tendo sido já ultrapassados vários deles.

Mostraremos que há uma correlação entre a ultrapassagem destes limites planetários e a necessidade e urgência de se agir de modo a mitigar os impactos, trazendo a noção do Direito Climático como uma área de saber que visa à criação de políticas públicas de modo a tentar desacelerar ou mesmo reverter o quadro de destruição destes limites. Seria uma espécie de evolução do Direito Ambiental, como uma especialização do saber também advindo diretamente do Direito Constitucional.

Defenderemos que o Direito Climático está preocupado em soluções eficiente e urgentes para as graves mudanças climáticas que estão ocorrendo, incentivando práticas e tecnologias sustentáveis, surgindo (ou ressurgindo) várias possíveis soluções para se conseguir minimizar o efeito estufa e o consequente aquecimento global. Ou até – o que seria ideal – reverter o aumento de temperatura que parece já acontecer.

Indicaremos que a transição energética é provavelmente a melhor solução até o momento para se tentar reverter a mudança climática, antes dos mecanismos de retroalimentação positiva, citados no capítulo anterior, tornarem eventualmente impossível deter o aquecimento global, causador de várias mudanças climáticas como as secas, mudanças pluviométricas, rebaixamento de lençóis freáticos e aumento do nível do mar, dentre outras.

Também apontaremos a fundamentação do Direito Climático em políticas públicas tendentes a reverter estes fenômenos maléficos, impondo-se a urgência da solução baseada na transição energética. Assim, apontaremos alguns desafios de natureza econômica e dificuldades técnicas envolvidas em algumas soluções que parecem indicar esta necessidade urgente de se realizar a transição energética, onde questionaremos se a transição energética poderia de fato mudar o quadro de emergência climática, ao propiciar o desenvolvimento econômico-social aliado à preservação ambiental.

Ao final do capítulo mostraremos que porquanto tenha fundamento na Constituição, o Direito Climático vai se preocupar com as violações de direitos fundamentais que vêm ocorrendo neste período do Antropoceno onde a poluição causada pelo ser humano é o maior agente influenciador do aquecimento global.

### 3.1. A ultrapassagem dos limites globais planetários (Rockström) e a consequente Crise Climática.

A era do Antropoceno, como já vimos, é caracterizada por uma grande atividade humana geradora de poluição, como a liberação de gases do efeito estufa (GEE) que, por sua vez, amplia o aquecimento global e portanto finda por trazer várias mudanças adversas e provavelmente irreversíveis.

No artigo *Our Blue Planet at the Crossroads. Between the Hobbesian Nightmare and a New Culture of the Commons*, publicado em revista editada pela Editora Nature (UK) e pela Universidade Católica de Lisboa (PT), Viriato Soromenho-Marques e Paulo Magalhães (2023, p. 45) apontam que há um “gap”, um descompasso entre o conhecimento que se produz sobre nosso planeta Terra e os impactos negativos que este sofre, causados pela humanidade como parte ativa do “Sistema Terrestre”, onde as atividades dos seres humanos promovem uma conexão íntima com os ciclos biogeoquímicos. Traremos alguns estudos tendentes a diminuir essa distância entre o conhecimento produzido e os impactos negativos em nosso planeta.

#### 3.1.1 Primeira publicação resumida da pesquisa sobre os Limites Planetários: “A safe operating space for humanity” (2009).

Vimos que os pesquisadores da Católica de Lisboa defendem existir um “gap” entre o conhecimento produzido acerca do “Sistema Terrestre – ou Sistema Terra” e os respectivos impactos negativos. Mas eles não foram os pioneiros neste aspecto.

Uma das primeiras tentativas de diminuir este descompasso foi o resultado dos estudos liderados por Johan Rockström (2009a) no pioneiro artigo “A safe operating space for humanity”<sup>16</sup>, Publicado pela Revista Nature, quando se estabeleceu os chamados limites planetários.

Na citada obra Rockström (2009a, p. 471) apontou a necessidade de se identificar e quantificar os limites planetários que não deveriam ser transgredidos, sendo que o trabalho de

---

<sup>16</sup> Na ótica de (Rockström, (2009a, 471), ficar dentro dos indicados limites seria um espaço de operação, ou atuação, segura para a humanidade, razão pela qual “identificar e quantificar os limites planetários que não devem [deveriam] ser transgredidos, ultrapassados, poderia prevenir atividades humanas causadoras de mudanças ambientais [ou climáticas – na nomenclatura mais usual], afirma Johan Rockström e colegas”. Tal explicação é diretamente obtida dos título e subtítulo completos em inglês, os quais já explicam perfeitamente o objeto da pesquisa apresentada no artigo: “A safe operating space for humanity: Identifying and quantifying planetary boundaries that must not be transgressed could help prevent human activities from causing unacceptable environmental change, argue Johan Rockström and colleagues”.

identificar estes limites, por meio de indicadores precisos<sup>17</sup> seria detalhado meses depois, defendendo que conhecer tais números ajudaria a evitar que as atividades humanas causassem mudanças ambientais inaceitáveis e talvez irreversíveis. Naqueles longínquos idos, Rockström liderou a equipe de pesquisadores, alguns já conhecidos como Crutzen e Steffen, outros pouco menos como Carl Folke, diretor do Stockholm Resilience Centre, ou Hans Joachim Schellnhuber, fundador do Instituto Potsdam para Pesquisa do Impacto Climático da Alemanha, dentre tantos outros.

A dificuldade em identificar a ultrapassagem de alguns destes limites é grande pois muitos deles são interligados. Como aponta Peralta (2022, p. La Tierra está caracterizada por na sutil red de conexiones ocultas. Dentro del engranaje natural, la complejidad ecológica es una significativa marca del metabolismo de la Tierra.

Os pesquisadores coordenados por Rockström (2009a, p. 472) definiram bordas, margens, divisas ou limites planetários (esta a nomenclatura amplamente difundida) que definem o espaço operacional seguro para a humanidade em relação ao sistema terrestre. Tais limites estão associados aos subsistemas ou processos biofísicos do planeta, sendo que o próprio artigo explica tais limites, que têm títulos autoexplicativos:

We have found nine such processes for which we believe it is necessary to define planetary boundaries: climate change; rate of biodiversity loss (terrestrial and marine); interference with the nitrogen and phosphorus cycles; stratospheric ozone depletion; ocean acidification; global freshwater use; change in land use; chemical pollution; and atmospheric aerosol loading.

Tais limites, em livre tradução seriam correspondentes a: mudança climática; taxa de perda de biodiversidade (terrestre e marinha); circulação biogeotérmica (interferência nos ciclos de nitrogênio e fósforo); destruição do ozônio estratosférico; acidificação dos oceanos; uso global de água doce; mudança no uso da terra; poluição química; e carga de aerossóis atmosféricos. Nesta mesma pesquisa, ao tempo em que se apresentou a idéia dos limites planetários, os cientistas apontaram sucintamente três destes como já ultrapassados.

Conclui a publicação afirmando que o equilíbrio da terra não só depende deste “Delicado Balanço” d’os limites, mas eles também estão na maioria das vezes interligados,

---

<sup>17</sup> A exemplo a mudança climática, o primeiro dos limites apresentados e aquele no qual quanto ao qual nos parece haver uma maior possibilidade de percepção ao público leigo, teve como parâmetro objetivo a concentração de dióxido de carbono na atmosfera (Atmospheric carbon dioxide concentration), sendo que o limiar para a ultrapassagem do limite onde tal partícula agressora do meio ambiente foi estipulada em 350 ppm (partes por milhão). Fonte: ROCKSTRÖM, Johan; STEFFEN, Will; et al. A safe operating space for humanity. Nature, London: Springer Nature, 2009, v. 461, n. 7263, p. 472–475, 23 Sept. 2009. Available from: <https://www.nature.com/articles/461472a> Access in: 12 dec. 2024.

sendo apontados especificamente que significativas mudanças no uso de terras da Amazônia pode afetar recursos hídricos em lugares tão distantes como o Tibet (Rockström, 2009a, 473-474).

Junto com estes exemplos de interação trazidos pelos cientistas, pensamos que seria possível apontar outros mais recentes como a brutal seca que notoriamente afetou a América do Sul (e o Brasil em especial) por conta do grande desmatamento da Amazônia (MCTI, 2024).

Ou a maior cheia já vista em décadas no Rio Grande do Sul, causadora de uma das grandes tragédias pela qual o país já passou, cujas primeiras suspeitas de tão grave acontecimento recaem no enorme aumento de aerossóis de queimadas na Floresta Amazônica, levados pelos “rios voadores”, correntes de umidade que descem desde a floresta, fazendo uma curva por conta da Cordilheira dos Andes e descendo até os pampas argentino, uruguaio e gaúcho (Marques, 2024) ambos exemplos já percorridos no capítulo anterior.

### **3.1.2. Segunda publicação detalhada sobre os limites planetários: “Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity” (2009).**

Nesta segunda obra, resultado de estudos igualmente finalizados e publicados em dezembro do mesmo ano, ou seja pouco depois do já referido estudo publicado na Nature, novamente Rockström (2009b) e colegas publicaram sobre o tema dos limites planetários.

Porém, enquanto a primeira publicação foi mais resumida e voltada para a popularização do assunto, este estudo seguinte se diferenciou porquanto foi mais aprofundado, levantando bastantes detalhes técnicos e científicos importantes não só para a reafirmação do conceito de limites planetários, mas com mais fundamentação apta a municiar a comunidade científica de dados<sup>18</sup> de forma a confirmar que vários limites já haviam sido extrapolados, bem como se encontrar formas de tentar estancar e mesmo reverter as consequências danosas (Rockström, 2009b, p. 09-13).

Naquele momento, a equipe liderada por Rockström, que havia lançado meses antes esta idéia dos limites planetários, entendendo que dos nove limites por ela apontados, três já haviam sido ultrapassados, entregou maiores informações e dados a fim de comprovar a conclusão da pesquisa. Apontaram detalhadamente porque teriam sido ultrapassados os

---

<sup>18</sup> Ao final do artigo, a revista ainda disponibilizou um apêndice com ainda mais detalhes dos dados, que podem ser acessados em: <http://www.ecologyandsociety.org/3180/appendix1.pdf>

limites: da mudança climática, por conta do grande aumento da concentração considerada segura de dióxido de carbono na atmosfera levando a um maior aquecimento; da perda da biodiversidade com uma taxa de extinção de espécies muito acima do aceitável; além da quantidade de nitrogênio e fósforo, provocado principalmente pelo uso excessivo de fertilizantes compostos destes elementos causadores de poluição ambiental (Rockström, 2009b, 09-12).

### **3.1.3. Novas ultrapassagens de limites planetários: pesquisas lideradas por Steffen, publicadas em 2015, e por Richardson, publicadas em 2023.**

O grupo de cientistas continuou as suas pesquisas, tendo ocorrido nova publicação, desta feita liderada por Steffen (2015) apresentando nova ultrapassagem de limites: “Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet”, também publicada na Revista Nature.

Também agora houve uma publicação de artigo resumido, chamada de sumário, bem como de artigo completo, porém desta vez foram publicados juntos, na sequência.

Nesta nova publicação houve revisão e atualização do assunto com a indicação de novos dados científicos advindos das pesquisas iniciais lideradas por Rockström, que desta vez momentaneamente, junto com outros cientistas, apenas auxiliou nos estudos, estes tendo sido desta vez liderados por Steffen (2015, p. 736).

O referido grupo de pesquisa se deu conta de que mais um limite havia sido ultrapassado, o “land-system change” – a mudança no uso da terra (Steffen, 2015, p. 08). Também foi retirado “interferência” (Steffen, 2015, p. 05) na denominação anterior do limite circulação biogeotérmica (interferência nos ciclos de nitrogênio e fósforo), ficando apenas circulação biogeotérmica (ciclos de nitrogênio e fósforo), além de “perda de biodiversidade” por “integridade da biosfera” (op. cit., p. 08).

Afinal, já agora recentemente em 2023, novamente com Rockström e Steffen participando junto com outros cientistas, mas desta vez os estudos sendo liderados por Richardson (2023), com a mais recente revisão da pesquisa, agora publicada pela Revista *Science*.

E afinal o “placar” se inverteu. Em 2009 seis dos nove limites não tinham sido transpostos, ou seja, havia somente três limites planetários ultrapassados. Mas agora aconteceu o contrário, com apenas três dos limites não ainda ultrapassados: a acidez dos oceanos, a conservação da camada de ozônio e a carga de aerossóis atmosféricos (Richardson, 2023, p. 05-11).

Diante desta quantidade de estudos em uníssono, é importante ressaltar o pensamento dissonante de Lomborg (2001), professor de Estatística na Dinamarca, a fim de termos uma perspectiva dialética. O autor provavelmente tem sido, desde há mais de duas décadas, o maior crítico não da teoria dos limites planetários, ou do aquecimento global, uma vez que ele se considera inclusive ambientalista – chegando a se confessar preocupado com a situação causada pelas mudanças climáticas. Mas a sua crítica se dirige a supostos exageros no inventário dos problemas, bem como em grande parte das políticas mitigadoras das consequências. Ele afirma concordar com a ciência que aponta a ultrapassagem dos limites planetários, com os cientistas que comprovam as consequências deste desequilíbrio, porém é um dos mais contundentes críticos de aclamadas políticas públicas tidas como soluções para os danos ambientais.

Lomborg (2001, p. 05) aponta, até de forma jocosa, que há uma “constant repetition of the Litany and the often heard environmental exaggerations has serious consequences”. Litany<sup>19</sup> é traduzido como Ladainha<sup>20</sup>, porém aqui obviamente o termo foi colocada por Lomborg não em seu sentido literal, mas em sentido metafórico e mesmo depreciativo, como uma crítica a um discurso supostamente automatizado de que há “exageros ambientais” sendo mecanicamente e “frequentemente ouvidos”, como numa Ladainha, que traria graves consequências.

Lomborg (2001, p. 05) continua afirmando “It makes us scared and it makes us more likely to spend our resources and attention solving phantom problems while ignoring real and pressing (possibly non-environmental) issues”. Ou seja, num tom irônico, o estatístico e ambientalista aponta a situação de tais manipulações criarem “problemas fantasmas”, que assusta e torna a humanidade “mais propensa a gastar nossos recursos e atenção resolvendo

---

<sup>19</sup> Segundo notamos ao consultar o popular dicionário Cambridge Dictionary (Available from: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english-portuguese/litany?q=Litany> Access in: 29 dec. 2024) e do Etymology Dictionary (Available from: <https://www.etymonline.com/word/litany> Access in: 29 dec. 2024), o termo Litany foi incorporado pela língua inglesa herdado do francês antigo, por sua vez vindo do latim medieval e afinal do grego antigo, significando “Ladainha”.

<sup>20</sup> Ladainha é a celebração da Igreja Católica em que o orador vai rezando e recitando frases de determinada liturgia, com os fiéis respondendo mecanicamente, cientes da resposta pronta a declamar, segundo discorre a pesquisadora Steffen Dix (2010).

problemas fantasmas, enquanto ignoramos problemas reais e urgentes (possivelmente não ambientais)."

Os denominados problemas fantasmas, segundo Lomborg (2001, p. 05-06) seriam supostamente problemas, melhor dizendo consequências das mudanças climáticas que seriam sentidas apenas em décadas ou até mesmo um século. Acreditamos que ele nomeou de fantasmas porque seriam pífios, fruto de uma preocupação fantasmagórica, irreal, perto de problemas reais ainda não resolvidos.

Nestes seus estudos iniciais, o professor concorda quanto a estarmos sofrendo nocivos efeitos das mudanças climáticas, mas aponta um certo exagero quanto à magnitude das consequências do aquecimento global. O Estatístico ainda critica uma suposta falta de transparência nos dados, neste sentido afirmando “it is important to know the real state of the world”, ou seja que esta transparência é importante para saber o estado atual e real do mundo. Provavelmente por conta da sua área de estudos, a estatística, uma ciência que lida com uma quantidade gigantesca de dados, Lomborg (2001, p. 05-06) ainda aponta ser “necessário obter os fatos e as melhores informações possíveis para tomar as melhores decisões possíveis “. Ou seja, o autor parece insinuar que as soluções propostas para as mudanças climáticas provavelmente se baseiam em percepções errôneas e não em dados científicos precisos.

Segundo o estatístico, um exemplo do que seria exagero é a “tendência de considerar sempre o pior cenário – o que aconteceria nos próximos 100 anos se o nível dos mares se elevar e ninguém fizer nada. Isso é irreal, porque é óbvio que as pessoas vão mudar, vão construir defesas contra a elevação dos mares” (França, 2009).

A crítica parece-nos até em certos aspectos correta e pragmática, em especial no sentido de ser mais útil as nações resolverem situações urgentes podendo. Por exemplo, salvar a vida de bilhões de seres humanos da fome, em vez de governos gastarem fortunas com os tais “problemas fantasmas” que supostamente poderão ocorrer daqui a décadas ou até um século ou mais (França, 2009).

Entretanto, discordamos da imensa maioria destas afirmações de Lomborg, haja vista a farta produção de pesquisadores bem como os recorrentes relatórios do hidrogênio de baixo carbono dando conta destes vários limites ultrapassados – resultados que já trouxemos no capítulo anterior como os sucessivos recordes de temperatura média mais alta em todo o mundo em todos os tempos, já há mais de 14 (quatorze) meses sendo suplantada (IPCC, 2023, 2024a e 2024b).



Tanto assim – e é essencial salientar – que algum tempo após o início de suas pesquisas, com o lançamento do seu livro de 2001 (traduzido para o português como “O ambientalista Cético”) parece que até o denominado líder do ceticismo ambiental se convenceu da gravidade das consequências do aquecimento global.

Isto porque, na década passada, Lomborg mudou de idéia ao liderar uma equipe de cientistas que analisou quase uma dezena de métodos para a redução do aquecimento global, quando afinal o grupo de pesquisa sugeriu “que seja injetado dinheiro, por exemplo, em energias limpas como vento, ondas e energia solar e nuclear”. Com isto, caiu o principal foco de resistência ao reconhecimento da necessidade de robustas políticas públicas para combater as mudanças climáticas e seus efeitos<sup>21</sup>.

Continuando na explanação destas novas ideias defendidas pela versão “atualizada” do “Líder dos Céticos”, para os fins desta dissertação, nos parece que a principal é que ele aponta de, para o combate aos efeitos danosos das mudanças climáticas, ser necessário realizar uma transição energética para fontes limpas. Que devem ser as mais baratas possíveis, para tanto centenas de bilhões de dólares por ano deveriam ser destinados pelas nações para combater os, antes por ele mesmo denominados, “problemas fantasma”.

Por fim, vale ressaltar importantíssima diferenciação “do ponto de vista conceitual” como explana Carlos Milani (20, p. 404) entre ceticismo e negacionismo. Como bem já afirmamos, inclusive o cientista Lomborg Björk nunca foi negacionista, mas cético quanto aos efeitos, ou a supostos exageros quanto à amplitude das mudanças climáticas.

O professor e pesquisador do IESP/UERJ vai além, apontando as diferenças. Ele afirma que conceitualmente seria importante apontar as definições dos termos, salientando que não são sinônimos: “O ceticismo é uma postura filosófica saudável praticada no mundo científico, mas igualmente por indivíduos que cultivam a dúvida diante das muitas incertezas que nos cercam. Ao tentar explicar as mudanças climáticas não por meio da superstição e de dogmas religiosos” (Carlos Milani, 2022, p. 405). Conclui apontando que o negacionismo climático seria uma espécie de ferramenta política de âmbito nacional, ou mesmo transnacional, que se presta a desmerecer a ciência e as políticas regulatórias.

---

<sup>21</sup> FOLHA DE S.PAULO. Líder dos céticos do clima muda de ideia: Bjorn Lomborg, mais famoso questionador do aquecimento global, agora pede US\$ 100 bi para combatê-lo. Folha de S.Paulo, São Paulo, 1º set. 2010. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/fsp/ciencia/fe0109201001.htm>. Acesso em: 6 jan. 2025.

### 3.2. A crise climática e a necessidade de se decretar a emergência climática: o planeta grita por socorro.

Falamos sobre os estudos teorizando acerca dos limites planetários, tendo já ocorrido a ultrapassagem de quase todos os limites, restando apenas três limites ainda não ultrapassados pela humanidade, o que coloca em risco a estabilidade do Sistema-Terra que existia desde o Holoceno. Agora buscaremos o conceito de crise climática, parecendo-nos ser um dos maiores problemas que a humanidade enfrenta atualmente, com os efeitos das mudanças climáticas impactando todo o mundo, sem respeitar fronteiras, deixando a vida no planeta Terra ainda mais difícil.

Neste sentido, veremos que a definição de Emergência Climática ganha popularidade, sendo tal conceito encampado por governos e sociedade civil, decorrendo dos males provocados pela Crise Climática, por sua vez restando esta comprovada pela ultrapassagem dos limites planetários.

Segundo pesquisa de Jamile Bergamaschine Mata Diz, professora e coordenadora do Centro de Excelência Europeu Jean Monnet da UFMG, e Carolina Mendonça de Siqueira, pesquisadora na ESDHC, as Conferências das Partes (COP) avançaram no sentido de identificar medidas de enfrentamento da crise climática, devendo apenas “superar desafios quanto à cooperação e ao financiamento de estratégias de transferência e gerenciamento de riscos” (Diz e Siqueira, 2021, p. 150).

Tais ações para amenizar os efeitos da crise climática são necessárias porquanto temos provavelmente o principal limite ultrapassado: as mudanças climáticas. Já vimos que desde a primeira publicação sobre os limites planetários, o líder da pesquisa Rockström (2009a, p. 471) já apontava as mudanças climáticas como um dos três limites já desde então ultrapassados, sendo o que nos parece não só como o principal a ser atacado pelos interessados, como aquele que mais influenciaria os objetivos desta pesquisa.

No capítulo anterior já adiantamos a noção de que está havendo um vertiginoso aquecimento global, trazendo mudanças climáticas extremas. Assim, vários dos eventos não esperados para as regiões onde é instalada a indústria de hidrogênio de baixo carbono acabam afetando a captação de água, como quanto às mudanças das precipitações pluviométricas, nas secas extremas em níveis que nunca antes havia ocorrido, além de efeitos decorrentes como a

descida do lençol freático ou o aumento do nível do mar. Neste último caso com avanço do mar em fontes de águas superficiais ou invasão de lençóis freáticos pela água salgada.

Reforçamos que ao se mencionar “crise climática” conforme exemplifica Latour, é comum se imaginar tratar duma crise contornável, sabendo que existe até uma nova atividade voltada ao cuidado com a imagem, com o “gerenciamento de crise” onde, no âmbito governamental ou de grandes empresas, há a instalação de um “gabinete de crise” onde vários profissionais se juntam para traçar estratégias para amenizar, “maquiar” o dano e até reverter suas consequências com o mínimo gasto, se for possível (Reis, 2013). Basta lembrar o notório exemplo dos desmoronamentos das barragens de minérios no Estado de Minas Gerais.

Neste sentido, nota-se que os riscos são produzidos na mesma medida que as riquezas, mas com sutis diferenças: todas as pessoas são alcançadas pelos riscos (e mesmo pela efetivação dos efeitos previstos), são os riscos universais e, concretizadas as ameaças, apresentam efeitos nocivos incalculáveis e imprevisíveis (Beck, 2011, *apud* Silva, Bedone e Sampaio, 2023).

### **3.2.1 Eventos climáticos típicos da crise climática.**

Se o Brasil tem sofrido com o aumento na frequência e intensidade destes eventos pluviométricos e atmosféricos, há pesquisas dando conta de que, em especial no Sudeste do Brasil haverão os maiores aumentos de indicadores como temperatura e chuvas intensas e mal distribuídas. O já referido cientista José A. Marengo (2007, p. 139), baseado nas suas pesquisas, prevê que:

Os dias ficarão mais quentes e os invernos mais curtos. Ainda que a chuva tendesse a aumentar no futuro principalmente na forma de eventos extremos de chuva mais intensos e frequentes, as elevadas temperaturas do ar simuladas pelos modelos poderiam, de alguma forma, comprometer a disponibilidade de água para agricultura, consumo ou geração de energia devido a um acréscimo previsto na evaporação ou evapotranspiração.

#### **3.2.1.1. E agora, decretar Emergência Climática em nível global?**

Como visto, os cenários futuros do clima no Brasil decorrentes das mudanças climáticas não são nada animadores. Inclusive há situações que fogem ao senso comum, por exemplo, se atualmente a temperatura média tende a ser mais alta no Nordeste do Brasil do que no Sudeste, a se permanecer os fatores que atualmente agem nas mudanças climáticas,

poderemos chegar em 2080 com o maior índice de aquecimento incidindo no Sudeste, com até 8°C de aquecimento “no modelo CCRS/NIES” (Marengo, 2007, p. 110).

Exatamente por conta do grande risco de termos as nefastas consequências previstas como resultado do aquecimento global, é que se entende ser extremamente necessária a decretação da chamada “Emergência Climática”. Há várias iniciativas em nível mundial com a finalidade de se decretar Emergência Climática, podendo se registrar a capitaneada pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), instituição do sistema Organização das Nações Unidas que tem liderado estas discussões (ONU, 2021).

A decretação de emergência climática é urgente também pelo fato de pouco sabermos de outros efeitos adversos que ainda poderão advir em consequência do aquecimento global.

Por exemplo, um novo fenômeno relacionado ao aquecimento global foi descoberto pelos pesquisadores Humberto Barbosa, Catarina Buriti e com Lakshmi Kumar, todos estudiosos dos efeitos do aquecimento global<sup>22</sup>.

Os pesquisadores descobriram um novo tipo de seca, no contexto da mudança climática, as secas-relâmpago, conforme (Barbosa, Buriti, Kumar, 2024):

Drought is a water shortage phenomenon caused by an imbalance in long-term water supply and demand. According to a recent study, over 60% of the world's regions are affected by drought disasters annually, and the socio-economic and agricultural productions have been most affected. In recent years, the academic community has shown that extremely high temperatures and rainfall deficits can cause a very rapid onset and evolution of droughts, which have been referred to as flash droughts

Numa tradução livre, as secas-relâmpago, portanto, seriam um extremo climático que embora seja um curto fenômeno causado por um desbalanceamento entre o suprimento e a demanda de água, atingindo em torno de 60% das regiões do mundo, sendo que a produção sócio-econômica e a agricultura são as áreas mais afetadas, numa tradução livre.

Por conta deste grave quadro, seja pelo quanto já sabemos de impactos conhecidos causados pelo aquecimento global, quanto do que possamos ainda nem imaginar, com consequências apocalípticas ainda não conhecidas, no Brasil já há iniciativa semelhante em também se tentar a declaração de emergência climática. Neste sentido, o deputado do Rio de Janeiro Alessandro Molon (PSB-RJ) é autor de proposta com esta finalidade de ser decretada emergência climática no Brasil (Molon, 2023).

---

<sup>22</sup> Humberto Barbosa é pesquisador da Universidade Federal de Alagoas, Catarina Buriti é pesquisadora do Instituto Nacional do Semi-Árido (Campina Grande/PB) e Lakshmi Kumar é pesquisador da *School of Environmental Sciences*, de Nova Deli (Índia), segundo noticiado no sítio eletrônico da CAPES (Brasil/CAPES, 2024).

### **3.2.2 Efeitos específicos das mudanças climáticas na disponibilidade hídrica e a possibilidade de grandes prejuízos na oferta hídrica nas regiões onde se instalem as indústrias de hidrogênio.**

Woodwell (1992, p. 115) aponta que são vários os impactos do aquecimento global e das mudanças climáticas em geral sobre os recursos hídricos, isto em se tratando obviamente apenas dos já conhecidos e comprovados. Trazendo os importantes Rios Negro e Amazonas, no Brasil, e o Rio Colúmbia, nos EUA, para ilustrar alguns impactos que ocorrerão na disponibilidade hídrica, o Professor de Ecologia de Yale nos lembra que há vários exemplos de alterações nos recursos hídricos utilizados nas cidades, além de impactos noutros setores.

Segundo o ecologista, vários impactos se darão em áreas que dependem de fluxos de água doce da Terra, tais como “a energia hidrelétrica, a agricultura irrigada, os vários usos dos cursos d’água, os peixes e a pesca, o transporte, a diluição e o tratamento de esgotos e a circulação das águas costeiras e oceânicas”, afetando ainda “projetos de barragens, irrigação ou outros tipos de abastecimento de água” (Woodwell, 1992, p. 116).

#### **3.2.2.1. Mudanças na evapotranspiração e no ciclo hidrológico; secas; rebaixamento do lençol freático.**

Um importante impacto advindo da Mudança Climática é a desregulação no ciclo de chuvas que rotineiramente se repetia em determinado local, algo que está acontecendo em quase todo o mundo, como foi a gigantesca inundação de até 70% de estados do sul do México, como Tabasco e Chiapas, acompanhado de deslizamentos de terra que soterraram várias comunidades inteiras, na descrição de Carriquiriborde (2021, p.140):

En noviembre de 2007 dos estados del sur de México, Tabasco y Chiapas, vivieron uno de los mayores y más complejos desastres de la historia reciente del país.

Durante al menos dos semanas, el 70% del territorio de Tabasco (incluyendo su capital) fue inundado por el desbordamiento de los ríos Grijalva y Carrizal.

Las aguas cubrieron la frontera entre los dos estados afectando una vasta zona agropecuaria, en tanto un deslizamiento de tierra a 12 km de la presa Peñitas sepultó a una comunidad entera en Chiapas y taponó el curso del río Grijalva, provocando estragos en la parte alta de su cuenca.

Sabe-se que esta mudança no ciclo das chuvas, ocasionando não só grandes precipitações como o seu contrário, as secas, é algo que tem acontecido não só em nível

global, mas em nosso próprio país, neste caso em grande parte por conta das agressões realizadas na Amazônia, sendo muito provável que as mudanças no uso do solo, bem como o desmatamento (Laurence, 1998, *apud* Marengo, 2007, p. 47). Ainda tomando seu magistério, o climatologista mais uma vez cita não se ter certeza total acerca da relação entre mudança no ciclo e as agressões realizadas, embora algumas modelagens matemáticas realizadas estejam prevendo mudanças no ciclo hidrológico em até 30%.

José A. Marengo (2007, p. 47) aponta que já desde o início do milênio há apurados estudos dando conta da grande interação entre o que acontece com a Amazônia e em especial a parte sul do Brasil. O climatologista do INPE resume estudos conduzidos por cientistas como Berbery e Barros (2002) comprovando o quanto imbricadas são as interações entre as parte norte, tropical, e a sul, subtropical, de nosso país:

A interação entre a região tropical e subtropical acontece durante o ano todo. No verão, há incursões de ar tropical úmido da Amazônia para o Sul, enquanto que no inverno o ar seco e frio do Sul pode penetrar na Amazônia Central. Durante o verão, as interações acontecem, principalmente pela ação do Jato de Baixos Níveis na América do Sul (SALLJ) ao leste dos Andes, como sugerido por Berbery e Barros (2002), Marengo e Seluchi (2002) e Marengo *et al.* (2004). A origem dos jatos de baixos níveis está associada aos ventos alísios vindos do Oceano Atlântico, que invadem o território brasileiro pela ponta superior da região Nordeste. Os SALLJ se localizam nas camadas mais baixas da atmosfera, a até três quilômetros de altitude, e viajam com velocidades que podem atingir 50 km/h. (...) Existe uma relação direta entre o SALLJ ao leste dos Andes, e as chuvas que caem na bacia do Prata, pelo chamado jato de baixos níveis que circula ao leste dos Andes, e que transporta umidade e também aerossóis das queimadas da Amazônia para as regiões subtropicais da América do Sul. (...) Os Andes funcionam simultaneamente como um acelerador e uma barreira, já que aumentam a velocidade de circulação dos jatos e os desviam rumo ao Sul.  
(Marengo, 2007, p. 47-48)

Portanto, parece haver uma espécie de circuito de ventos que entram pelo Nordeste, passam pela Amazônia e, já com uma umidade bem maior do que ao ingressar no território brasileiro –por conta da evapotranspiração<sup>23</sup>– descem de forma mais ou menos paralela aos altos relevos da Cordilheira dos Andes. Terminando este caminho, afinal vão espriar a umidade na parte mais ao sul do país, inclusive com interação na Região Sudeste, sendo que bastam encontrar frentes frias, ou mesmo subir para posições mais altas e frias da atmosfera (por conta do relevo) para desaguar bastante precipitação pluviométrica. (Marengo, 2007, p. 47-49).

Estas interações importa para nossa pesquisa pois, ainda segundo o climatologista José A. Marengo (2007, p. 49), os estudos “indicam que a perda da floresta pode mudar os níveis

---

<sup>23</sup> Evapotranspiração é “o processo combinado de perda de água para atmosfera causada pela evaporação a partir da superfície do solo e pela transpiração das plantas” (Marengo, 2007, p.159). Ou seja, em suma seria uma espécie de soma das evaporações dos corpos d’água com a transpiração advinda das folhagens da floresta amazônica.

de precipitação em vastas áreas do território da América do Sul, como o Centro-Sul, Sudeste e Sul do Brasil”.

Ainda de forma mais específica, adiante o mestre Marengo aponta situações preocupantes quanto à disponibilidade hídrica para o Estado do Rio de Janeiro em particular. É que, apesar da incerteza em se antecipar padrões correlacionando mudanças pluviométricas com volumes e as vazões hídricas –aliás como se pode afirmar restar comum em se falando de previsão do clima– é provável que “as variações observadas na hidrologia do rio Paraíba do Sul sejam provocadas pelo gerenciamento regional da água e causas relacionadas à atividade humana”:

“No caso do rio Paraíba do Sul, as vazões e cotas apresentam uma tendência negativa sistemática desde 1920. Isto poderia apresentar um grande impacto na economia do vale do Paraíba do Sul, pois as principais cidades do vale utilizam água deste rio para consumo, irrigação e atividade industrial, qualquer redução devido a alguma mudança de clima seria catastrófica” (Marengo, 2007, p. 50).

Temos então que quanto ao rio mais importante para o Rio de Janeiro, o Paraíba do Sul (Ribeiro, 2014), uma reconhecida autoridade como o climatologista José A. Marengo apontou especificamente que já há aproximadamente um século a disponibilidade hídrica tem diminuído e isto certamente terá impacto para o vale do rio Paraíba do Sul, para a Região do Município de Campos e, portanto, para todo o Estado do Rio de Janeiro. Se não com toda certeza por conta da mudança nos padrões meteorológicos, como parte das mudanças climáticas causadas pelo aquecimento global –até pela impossibilidade de até o presente momento se cravar uma certeza– mas, neste caso com um certo grau de certeza, ao menos por conta de gerenciamento no consumo de água e da atividade humana (Marengo, 2007, p. 50).

3.2.2.2. Avanço do mar provocado por vários fatores: extinção dos recifes, erosão marinha, intrusão salina, aumento da força dos ventos, aumento do nível do mar dentre outros.

Em boa parte de suas mais de 300 obras, o professor de ecologia Woodwell (1992, p. 115) foi um dos primeiros a estudar o avanço (também chamado de elevação) do nível do mar, sendo que em histórica obra coletiva editada pelo *Greenpeace*, um dos primeiros estudos acerca das mudanças climáticas, apontou impactos do avanço do nível do mar para várias zonas costeiras e litorâneas.

No mesmo sentido, o físico José Goldemberg<sup>24</sup> prevê um avanço tão grande do nível do mar que haverá a necessidade de serem erguidos “diques para proteger as áreas costeiras, como vêm fazendo há séculos os Países Baixos para recuperar áreas invadidas pelo mar e convertê-las em terras cultiváveis (Goldemberg, 1992, p. 153).

Por sua vez José A. Marengo (2007, p. 75) nos alerta que 25% da população brasileira será afetada pelo que chama de “elevação do nível do mar”, lembrando que das maiores metrópoles do Brasil cinco ficam na beira-mar (Fortaleza, Recife, Salvador, Rio de Janeiro e Belém). Também chama a atenção para o quanto o IPCC já alertava ainda em 2001, no sentido de que o nível do mar aumentaria até 80 cm por volta dos anos de 2050 ou 2080 e o aumento do nível se daria não só pelo aumento do volume de água nos oceanos, causado pelo degelo das calotas polares, mas por outros fenômenos igualmente causados pelo aquecimento, como a expansão térmica devido ao aquecimento, além das “marés meteorológicas, ocasionadas pelo aumento da intensidade dos ventos”, ou seja, neste caso os ventos a soprar em direção à costa seriam tão intensos que soprariam continuamente imensas “marés” de água para as cidades.

Em todos os cenários, Marengo (2007, p.75) vaticina que as cidades provavelmente mais ameaçadas de todo o Brasil pelos eventos que levam à elevação do nível do mar seriam o Recife e o Rio de Janeiro, chegando a focar nesta última, descrevendo um verdadeiro cenário apocalíptico para a cidade do Rio:

“Variações do nível relativo do mar podem ocorrer também por causa da expansão térmica, provocada pelo aquecimento global, e pelas marés meteorológicas, ocasionadas pelo aumento da intensidade dos ventos. Elas podem provocar um “empilhamento” de até 20cm de água na costa do Rio de Janeiro, e calçadões, casas e bares construídos à beira mar poderão ser destruídos pelas ondas ou pelo aumento de até meio metro do nível médio do mar.”

Ao menos as autoridades destes dois municípios parecem já ter percebido a grande probabilidade de seus territórios sumirem em uma grande parte, pois tanto o município do Rio de Janeiro quanto o do Recife estão dentre primeiras cidades no Brasil a declarar emergência climática (Bedoni *et al*, 2023, p.587-588), embora que todas praticamente copiando o instrumento normativo pioneiro do Recife que o autor entende como não apropriado por ter a possibilidade de ser mais facilmente revogável, não tendo a força de uma lei em sentido estrito.

---

<sup>24</sup> Físico brasileiro renomado internacionalmente, José Goldemberg foi presidente da Companhia de Energia do Estado de São Paulo, presidente da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), ministro de estado do Ministério da Educação, além de catedrático e reitor da Universidade de São Paulo (*id. ib.*).



#### 3.2.2.2.1 *Extinção dos recifes de corais.*

Nas regiões onde tipicamente se instalariam projetos de hidrogênio verde há vários impactos que seriam mais notados a começar antes mesmo da praia.

Um dos grandes exemplos é quanto aos recifes de corais, que iriam sofrer graves impactos. Relatório publicado em 2007 pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, p. 68) já dava conta de que o aumento em apenas um grau celsius acima da temperatura máxima sazonal, somada a uma maior quantidade na concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico reduziria a calcificação de plantas e animais (formadoras dos esqueletos de calcário) de uma forma que o crescimento vertical do recife de coral não conseguiria acompanhar o ritmo da elevação do nível do mar.

E sem os recifes de corais, as praias onde eles atualmente existem irão ter profundas alterações em fenômenos como as marés e as ondas marinhas, fazendo surgir ou agravar o problema da erosão marinha, com a “combinação de pressões da elevação do nível do mar e de desenvolvimento urbano costeiro (resultando no estreitamento da costa)”. Tal situação fará “reduzir a disponibilidade de zonas entre marés, resultando na perda deste habitat”, além das praias e barreiras (falésias) que atualmente estão em erosão venham a sofrer “erosão adicional na medida em que ocorram mudanças no clima e elevação da superfície do mar” (MMA, 2007, p. 68).

#### 3.2.2.2.2 *Erosão marinha.*

Outro grande impacto do aquecimento global é a erosão marinha, que se verifica por conta da perda de terras em face da elevação do nível do mar, da mudança nos ventos, de perda de ecossistemas como mangues e barreiras de corais, de mudanças nas correntes marítimas causadas basicamente em razão de perda de recifes de corais ou em decorrência do aquecimento global, sendo que se destacam, os estados de Pernambuco e do Rio de Janeiro (Marengo, 2007, p.75):

No Brasil, as áreas mais suscetíveis à erosão estão na região Nordeste, pela falta de rios capazes de abastecer o mar com sedimentos. Em Pernambuco, um dos estados mais afetados, cerca de seis em cada dez praias dos 187km de costa cedem terreno para o mar. Uma elevação de 50cm no nível do Atlântico poderia consumir 100m de praia no Norte e no Nordeste. Em Recife, por exemplo, a linha costeira retrocedeu

80m entre 1915 e 1950 e mais de 25m entre 1985 e 1995 (Muehe e Neves, 2005). O Rio de Janeiro é considerada uma das cidades brasileiras mais vulneráveis à elevação do nível do mar”.

Nota-se que quanto à erosão marinha mais uma vez estão juntos num aspecto negativo os estados do Rio de Janeiro e de Pernambuco, particularmente quanto às cidades do Rio e do Recife, suas respectivas capitais, mas também suas demais regiões costeiras. Estes estados, segundo Marengo (2007, p. 74-75) são provavelmente os dois estados mais afetados com a ação dupla da elevação do nível do mar e da erosão marinha, esta fazendo diminuir a faixa de areia de praia, ou propiciando a queda de barreiras (falésias).

Em decorrência tanto deste processo de erosão marinha quanto à elevação do nível do mar, portanto tanto o Rio de Janeiro como o Recife são as cidades no país mais ameaçadas pelos fenômenos decorrentes do aquecimento global, até onde descobriu estas pesquisas levadas a cabo pelo cientista Marengo.

#### *3.2.2.2.3 Intrusão salina*

Há várias causas que contribuem para a chamada intrusão salina, dentre eles alguns já **esmiuçados** foram apontados, como a elevação do nível do mar, a perda de barreiras protetivas dos recifes de corais, a diminuição no volume de sedimentos levados à praia (por conta da diminuição dos volumes da foz dos rios), a extinção de ecossistemas como pântanos e mangues, a pressão da força dos ventos “levantando” o nível do mar para além do seu normal (cisalhamento), dentre vários outros. Na tradução do Relatório Técnico nº 5 do IPCC, editada pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2007, p. 68), se aponta estas e mais alguns outros impactos das mudanças climáticas nas zonas costeiras que podem impactar os recursos hídricos.

Tais projeções poderiam eventualmente afetar recursos hídricos das regiões de influência vizinhas àquelas em que se instalam os grandes empreendimentos de hidrogênio, ocorrendo o fenômeno da intrusão salina, seja pelo aumento do nível do mar, pela extinção das barreiras formadas pelos recifes de corais, dentre outras situações.

#### *3.2.2.2.4 Outras interações que podem afetar fontes de água próximas ao mar.*

Vários outros são os fenômenos que podem impactar as fontes de água próximas ao mar e, com isto, também prejudicar a captação de água no mar.

A concomitância da elevação do nível do mar, com o aquecimento das águas e sua maior acidificação, poderá diminuir a vegetação de ecossistemas costeiros como mangues, ou pântanos, ou mesmo fazer desaparecer estes ambientes ecológicos. As interações entre estes ambientes, diminuídos ou suprimidos, podem acelerar os processos de erosão, ou prejudicar a deposição no mar de sedimentos diminuindo “a habilidade dos recifes costeiros e de barreira, para reduzir os impactos de tempestades e suprir sedimentos”, de forma que tais ecossistemas serão diretamente afetados pela elevação do nível do mar (MMA, 2007, p. 68-69).

Neste ponto, a conclusão do relatório parece ser exatamente o que poderá acontecer com os recursos hídricos de regiões como no Porto do Açu. Em regiões costeiras como esta, se a água for captada de mananciais hídricos superficiais próximos ao mar, ou mesmo se o suprimento de água se der por meio de águas subterrâneas, os aquíferos ficam sujeitos à influência de um ou mais destes fenômenos, mediante os quais “como resultado, haverá intrusão de água salgada em sistemas de água doce” (MMA, 2007, p.68).

### 3.3 O Direito Climático como instrumento de transformação.

Neste subcapítulo trataremos a conceituação e a evolução do Direito Climático, enfatizando o surgimento dessa área jurídica, o seu crescimento nos debates internacionais, o seu papel nas políticas públicas e privadas.

Traremos o Direito Climático como sendo uma área tipicamente interdisciplinar, como uma espécie de evolução do Direito Ambiental, com forte Influência do Direito Constitucional, sendo tal área do saber muitas vezes denominada de constitucionalismo climático, muito embora não haja consenso acerca da autonomia científica do Direito Climático.

Apontaremos alguns dos principais autores que trazem esta visão, como o Délton Winter de Carvalho, o Ingo Wolfgang Sarlet e o Carlos Eduardo Peralta Montero. Para uma perspectiva dialética, também trataremos um dos principais defensores da inexistência de autonomia científica deste ramo do Direito.

Por fim, mostraremos que esta nova ramificação cuida de realizar uma transição do Direito Ambiental com maior foco na parte climática, principalmente depois da ratificação de importantes convenções internacionais, como o Protocolo de Kyoto e o Acordo de Paris, de

modo que o Direito Climático venha a regulamentar ações para mitigar o aquecimento global, numa tentativa de adaptar os países às mudanças climáticas.

### **3.3.1. Origem e conceituação do Direito Climático.**

Antes de tudo, é extremamente importante ressaltar o quanto três referências no Direito Climático já alertam, quando Marcelo Bedone, José Irivaldo e Talden Farias (2022, p. 220), ao tempo em que concordam não haver unanimidade acerca duma possível autonomia científica do direito climático, afirmam que esta discussão acerca da autonomia “pode ser encarada apenas como a ponte do iceberg, pois os debates envolvendo direito e mudanças climáticas não se limitam a esse ponto.

Ao mesmo tempo, os mesmos autores sinalizam que esta discussão importância teórica, uma vez que “pode servir como uma sistematização de teorias deste que seria um ramo do Direito”. Haveria uma corrente advogando que “a mudança climática é um problema que pode ser enfrentado pelas disciplinas jurídicas existentes, principalmente pelo direito ambiental”, enquanto no lado oposto é “crescente a literatura jurídica que advoga a autonomia científica ao direito das mudanças climáticas” (Bedone, Farias e Silva, 2022, p. 220).

Já Deltan Winter de Carvalho (2022, p. 194), parecendo-nos se esquivar de se comprometer em defender uma ou outra corrente, apenas definindo a referida área aduzindo que há uma “consagração do direito ao meio ambiente equilibrado e sadio em diversas tradições constitucionais com o objeto apresentar respostas aos desafios da justiça ambiental, formando-se aquilo que vem sendo denominado Constitucionalismo Ambiental”.

Por sua vez, uma das críticas mais contundentes contra a pretensa autonomia do Direito Climático vem de J.B. Ruhl e James Salzman (2013), com a publicação de "Climate Change Meets the Law of the Horse" onde os autores defendem a impossibilidade do Direito Climático poder ser tratado como um campo autônomo, alegando sarcasticamente que sendo assim seria bom também se criar o novo ramo do ‘Direito dos Cavalos’”.

Sarlet (2023, p. 42) parece se filiar à corrente que prega possibilidade “de se falar de um novo (sub)ramo disciplinar, o assim designado Direito Constitucional Climático”, por conta do desafio causado pela “atual crise climática decorrente do aquecimento global e das mudanças climáticas”.

Continua afirmando que na teoria e prática do Direito Constitucional, bem como dos direitos fundamentais em particular, há uma magnitude e gravidade tão grande na questão

climática que “países têm decretado um “estado de emergência climática”. Ingo Wolfgang Sarlet (2023, p. 42-43) arremata que na União Europeia há pleito de reconhecimento desta emergência e mesmo no Brasil “há pleito nesse sentido, inclusive em demandas submetidas ao Supremo Tribunal Federal – STF) de um estado de emergência climático”.

Rárisson Jardiel Santos Sampaio, na obra “Direito Constitucional Ambiental e Teoria Crítica na América Latina”, cita que caso não fossem ultrapassados os limites planetários defendidos por Rockström, a atividade antrópica atuaria sem desequilibrar os sistemas naturais. Porém, o que aconteceu na história do planeta Terra foi a paulatina ultrapassagem destes limites (Sampaio, 2022, p.100).

Como já vimos, Rockström defende que existem alguns indicadores de limites planetários que, acaso ultrapassados, podem vir a ter um efeito devastador sobre o Sistema Terra, podendo no limite haver um ponto de “não retorno” onde o aquecimento global iria aumentar mais e mais, num círculo vicioso, além da humanidade sofrer cada vez mais os nocivos efeitos das mudanças climáticas.

E desde que a comunidade científica se deu conta de que os limites estavam sendo inexoravelmente ultrapassados, a partir da constatação inicial de Rockström (2009a, 2009b) já dando conta da ultrapassagem de três limites desde seus pioneiros artigos de 2009, houve uma movimentação de doutrinadores dedicados à discussão dos aspectos jurídicos relacionados às mudanças climáticas, de forma a mitigar as atividades antrópicas causadoras destas mudanças. Estes doutrinadores entenderam que deveria haver uma especialização do Direito Ambiental, fazendo com que surgisse o chamado Direito Climático.

Na obra “Environmental Law and Governance for the Anthropocene”, editada pela UN Environment, David Freestone (2016, p. 321) aponta que o surgimento do Direito Climático se deu sob a égide do Direito Internacional Ambiental, com a introdução de fundamentos aptos à cooperação internacional para a tentativa de mitigar as mudanças climáticas e reverter o aquecimento global.

Neste sentido, cronologicamente o Direito Climático é tido como surgido na Conferência do Rio de Janeiro “Rio Earth Summit”, em 1992 (Rio-92), sendo este encontro considerado o marco inicial desta nova área do saber, isto caso se entenda pela sua autonomia científica.

Nesta reunião foram apresentados três acordos internacionais: a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), a Convenção sobre a Diversidade Biológica (CDB) e a Convenção de Combate à Desertificação (CCD).

Parece-nos haver um maior interesse acadêmico para nossa dissertação, em particular quanto à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC 1992), texto no qual Freestone (2016, 321) salienta que restou estabelecido “that parties should act to protect the climate system ‘on the basis of equality and in accordance with their common but differentiated responsibilities and respective capabilities’”.

Neste sentido, ao se diferenciar diferentes capacidades e responsabilidades dos países, o diploma internacional trouxe um dos princípios mais importantes do Direito Climático, prevendo “Responsabilidades Comuns, Porém Diferenciadas, e Respectivas Capacidades” (CBDR-RC) como parâmetro para se construir um regime climático justo e equitativo, considerando as especificidades de cada país Freestone (2016, p. 321).

Segundo Avzaradel (2017, 27-28) outro documento produzido em decorrência da Cúpula da Terra, esta tida como a principal conferência climática já realizada, foi a Convenção de Combate à Desertificação (CCD), cujo Comitê Internacional que negociou tal documento foi instalado por conta das recomendações do capítulo 12 da Agenda 21 da ONU, com atenção especial ao continente africano, sabidamente mais seco.

Freestone (2016, p. 321) lembra de outro evento o qual reforçou ainda mais o surgimento do Direito Climático. Assim, o próximo encontro sobre mudança climática ocorreu alguns anos após a Rio-92, realizado na cidade de Kyoto, no Japão, tendo aquela mesma tônica do encontro Eco-92, de diferenciar as contribuições a serem feitas para tentar reverter as mudanças climáticas de acordo com as capacidades e responsabilidades de cada nação, foi seguida no Protocolo de Kyoto.

Neste documento internacional se estabeleceram “the bases for these distinctions being that developed States are better able to mitigate climate change, and also because of the levels of their contribution to climate change” (Freestone 2016, 321-322), numa livre tradução restou estabelecido exatamente uma diferenciação da contribuição proporcionalmente às responsabilidades pelos prejuízos que a nação provocou ao meio ambiente e mudança do clima.

O mesmo autor ainda aponta que na 21ª COP (Paris-2015) restou pactuada a necessidade dos países desenvolvidos ajudarem os em desenvolvimento, de várias formas:

sustainable development on their own, developed countries are expected to provide financial, technological, and other assistance to help developing countries fulfil their international responsibilities. This aspect of the principle is highlighted by the Paris Agreement drafted at the 21st Conference of the Parties (COP) to the UNFCCC held in Paris in 2015. (Freestone 2016, 322).

Na obra *Climate Change Law: An Introduction*, quanto ao Acordo de Paris, Coplan (2021) aponta que o diploma, no parágrafo 2<sup>a</sup> do artigo 4<sup>a</sup> determina “each Party to prepare, communicate and maintain successive nationally determined contributions (NDCs) that it intends to achieve. Parties shall pursue domestic mitigation measures, with the aim of achieving the objectives of such contributions”.

É importante ainda mencionar que, arrematando todo este emaranhado de tratados, ou mesmo documento “não-vinculativos”, Maldonado (2018, p. 167) já falava na sua obra “Antropoceno – La política em la era humana”, acerca da necessidade do setor público procurar enfrentar os problemas causados pela degradação ambiental.

Maldonado menciona que o diálogo democrático (“La democracia como conversación”) no qual as distintas esferas públicas deveriam ter um relacionamento dialógico de modo a abordar os desafios da nova época. Tal dialeticidade supõe que “ningún aspecto del problema ha de dejarse de lado: desde la discusión sobre sus causas hasta la disputa en torno a las tecnologías sostenibles, el trade-off o equilibrio entre conservación y crecimiento” (Maldonado, 2018, p. 167).

Ou seja, o Autor espanhol acredita que devem ser discutidas as causas dos desafios trazidos pelo Antropoceno até o equilíbrio entre conservação e crescimento. Neste sentido, todos fatores do problema ambiental devem ser considerados, desde as origens até as consequências do fenômeno.

Da lição do Maldonado, nota-se que devem ser analisadas, além das origens dos problemas (i.e. padrão de consumo e sistema econômico), também as soluções de tecnologias sustentáveis, como por exemplo o uso de energia renovável através do processo chamado de transição energética, razão pela qual passaremos a analisar tal conceito.

#### 3.4. Aquecimento global e possíveis soluções: a transição energética

Após demonstrar que o aquecimento global é uma realidade, apontado as suas sérias consequências materializadas nas graves mudanças climáticas, tendo o Direito Constitucional Climático à disposição para fundamentar obrigações de mudanças, precisamos apontar possíveis soluções para num primeiro momento a diminuição – e posteriormente até a reversão – do aquecimento global.

Assim, em especial há de se ter a atenção voltada quanto à transição energética, movimento que tende a fazer a humanidade deixar de ser um sistema fortemente emissor de GEE.

A fim de, no capítulo seguinte, apontarmos a possível solução do hidrogênio, dentre este o hidrogênio renovável, é necessário esclarecer quais seriam as fontes de energia limpa. Assim, precisamos mencionar *em passant* a existência de algumas fontes de energia renovável, desde já avisando que as mais comuns serão abordadas no capítulo seguinte, ao se definir o que seria aquele “tipo” de hidrogênio.

### **3.4.1 A necessidade e urgência da transição energética**

No artigo “Environmental Law in the EU: A Pathway Toward the Green Transition”, publicado pela Springer-Nature, o pesquisador Nicolas de Sadeleer (2023, p. 26) expõe o resultado de suas pesquisas dando conta de um panorama onde restaria urgente a transição energética, política encabeçada mundialmente pela União Europeia – diga-se de passagem sendo a sua opinião não somente por fins altruísticos mas segundo ele a fim de atingir objetivos políticos, econômicos e de segurança.

Consoante o articulista, a União Europeia teria a necessidade urgente de transição verde (e dentro esta a transição energética), segundo o autor primeiramente porque a Europa tradicionalmente buscava promover valores universais, como a democracia, o império da lei e a promoção dos direitos fundamentais<sup>25</sup>:

Primeiramente, a Europa sempre esteve na vanguarda da promoção de valores universais, tais como a democracia, o Estado de Direito e os direitos fundamentais, os quais podem ser abalados pela magnitude da crise climática. Enquanto forte defensora desses valores, a União Europeia deve assumir a liderança global, incentivando países terceiros a perseguirem o mesmo nível de ambição. (Sadeleer, 2023, p. 26).

---

<sup>25</sup> No original: First of all, Europe has always been at the forefront of the promotion of universal values, such as democracy, the rule of law and fundamental rights, which could be shaken by the scale of the climate crisis. As a strong defender of these values, the EU must assume global leadership by encouraging third countries to pursue the same level of ambition.



A transição energética é necessária e urgente, continua o autor, em segundo lugar porque a Europa não tem minerais em abundância, muito menos combustíveis fósseis, razão pela qual a sua autossuficiência tem que ter como foco “renewable energies and promoting a circular economy where everything is recycled”, ou seja, o incentivo a certas práticas típicas da transição verde em particular as energias renováveis e a economia circular (Sadeleer, 2023, p. 26).

Por fim, o autor levanta o terceiro prisma indicador da importância da transição, pois se num primeiro momento isto obrigaria governos e empresas a investir altas somas de capital, por outro lado este pioneirismo forçaria as companhias europeias a investirem em inovação. Sadeleer (2023, p. 26) arremata que esta busca pela inovação tornaria as companhias europeias mais competitivas, enquanto os competidores destas empresas, localizados em outras nações, poderiam falhar vítimas do pobre gerenciamento de recursos naturais por parte das suas respectivas autoridades nacionais, segundo as suas palavras<sup>26</sup>:

Compelidas a inovar, as empresas europeias se tornarão mais competitivas, ao passo que suas concorrentes estrangeiras poderão, eventualmente, ser prejudicadas pela má gestão dos recursos naturais por suas autoridades nacionais.

Em terceiro lugar, em termos de segurança, o continente europeu está cercado por regiões que enfrentam instabilidade recorrente, a qual poderá ser exacerbada pelas mudanças climáticas e pela diminuição dos recursos hídricos. Vítimas de secas e fome, populações inteiras do Sahel e do Oriente Médio poderão buscar refúgio no "Eldorado" europeu e ficarão retidas nas costas da "Fortaleza Europa".

Sendo necessária a providência de troca da matriz energética a fim de amenizar os citados efeitos, também resta inadiável que sejam tomadas várias outras atitudes. Tanto assim que é inquestionável o posicionamento de José A. Marengo (2007, p. 137-138) ao apontar que o Brasil já é o 4º maior emissor de carbono no mundo, isto quando se computar os lançamentos causados pelas queimadas (em especial na Amazônia), razão pela qual o país deve agir urgentemente no sentido de deixar de provocar o aquecimento e a fim de evitar os piores cenários.

Parece-nos que se deva realizar uma transição energética sustentável, com justiça ambiental, conforme propugna Will Steffen (2015), em um de seus mais importantes artigos,

---

<sup>26</sup> Também trazemos aqui o original: Forced to innovate, European companies will become more competitive whereas their foreign competitors will eventually fall victim to the poor management of natural resources by their national authorities. Thirdly, in terms of security, the European continent is surrounded by regions facing recurrent instability that could be exacerbated by climate change and diminishing water resources. Victims of drought and famine, entire populations from the Sahel and the Middle East could seek refuge in the European Eldorado and be stranded on the shores of Fortress Europe .

dos publicados na Revista Nature, numa livre tradução Steffen nos alerta<sup>27</sup> que o período estável de 11.700 anos do Holoceno é o único estado do Sistema Terrestre (Earth System - ES) no qual temos certeza de que as sociedades humanas contemporâneas podem se sustentar. No entanto, evidências crescentes indicam que as atividades humanas estão afetando o ES a tal ponto que sua resiliência está sendo ameaçada. O conceito de Limites Planetários (Planetary Boundaries - PB) baseia-se nos processos críticos que regulam o funcionamento do ES. Esse conceito identifica níveis de interferência humana que, se mantidos abaixo de determinados limites, ainda permitem que o risco de desestabilização do ES permaneça baixo, criando assim um 'espaço operacional seguro' para o desenvolvimento da sociedade global.

Pode-se dizer, em suma, que transição resta necessária mesmo admitindo que, por mais pesquisas e estudos que a comunidade científica venha a fazer, não há como se ter certeza total de que certo resultado advirá – motivo pelo qual veremos no capítulo seguinte a relação entre o gasto intensivo de água nos projetos de hidrogênio *versus* a diminuição da oferta hídrica, motivo pela qual deve haver um cuidado necessário e redobrado com o princípio da precaução, defendendo que o mesmo deve ser observado, mesmo sem a humanidade ter certeza da ocorrência dos piores cenários modelados.

Neste sentido é bastante elucidativa a observação do já referenciado pesquisador da Fundação Armando Álvares Penteado, José C. Leite (2015):

*É em função dessa lógica gradualista que, ainda hoje, mesmo as melhores modelagens do clima futuro da Terra, como aquelas com as quais trabalha o hidrogênio de baixo carbono, têm dificuldades de reproduzir processos não lineares, marcados por mudanças de estado, subestimando sistematicamente a intensidade de certas mudanças. A moderna teoria matemática do caos sustenta que sistemas dinâmicos fluidos como o clima não podem ser objeto de previsões totalmente seguras.*

Continua chamando atenção o pesquisador para o problema apontando que, muito embora nunca se tenha total certeza de que ocorra determinada mudança no clima (mesmo partindo-se dum conjunto de forças radiantes que em tese levariam a tal resultado), há uma alta probabilidade de que as mudanças climáticas não só acontecerão mas serão bruscas, pois “Dansgaard e colaboradores precisaram, inclusive, quão abruptas foram as mudanças

---

<sup>27</sup> No original, o autor nos ensina que “The relatively stable, 11,700-year-long Holocene epoch is the only state of the ES1 that we know for certain can support contemporary human societies. There is increasing evidence that human activities are affecting ES functioning to a degree that threatens the resilience of the ES—its ability to persist in a Holocene-like state in the face of increasing human pressures and shocks. The PB framework is based on critical processes that regulate ES functioning”.

climáticas que marcaram o fim do Dryas recente: elas ocorreram em apenas vinte anos” (Dansgaard et al., 1989, *apud* Leite, 2015).

Importante também salientar, em se tratando de acordos internacionais, acerca dos compromissos internacionais assumidos pelos países de modo a promover políticas públicas incentivadoras da transição energética, assunto pioneiramente estudado no Brasil por Paola Mondardo Sartori.

Em sua tese de doutorado, com orientação a cargo do Professor Ingo Wolfgang Sarlet na PUC-RS, a pesquisadora baseia o senso de urgência na implementação das políticas apontando fenômenos de extrema precipitação “causados pelo aumento da temperatura do planeta” (Sartori, 2023, p. 154), afirmando ainda que as alterações climáticas têm acarretado temperaturas extremas e níveis de precipitação sem precedentes, que causam inundações e deslizamentos de terras responsáveis pela morte de milhares”.

Tal pesquisa é importantíssima, mesmo porque vai ao encontro do quanto afirmado por José A. Marengo (2007) no sentido de que o aquecimento global somado ao desmatamento e queimada da Floresta Amazônica causa, num primeiro momento, um grande aumento da precipitação em especial na região Sul do Brasil e Norte da Argentina, em grande parte por conta do aumento dos aerossóis.

Também resta incontestado que o Rio Grande do Sul tendo sofrido as piores cheias das últimas décadas<sup>28</sup>, em especial agora entre 2023 e 2024 (Marques et al, 2024), entretanto para os fins desta dissertação teremos como foco mudanças climáticas que mais venham a atingir a capacidade hídrica nos empreendimentos de hidrogênio de baixo carbono, como exemplo teríamos a seca.

Mas seja por conta de grandes enchentes, ou mesmo por conta de graves secas, a mudança da regularidade dos ciclos hídricos é um dos fatores mais relevantes para a necessidade de se disseminar fontes de energia renovável que independem do ciclo pluviométrico, como passaremos a abordar.

---

<sup>28</sup> Apesar do grande flagelo que são as enchentes, necessário se ter atenção no sentido de que em grande parte de nosso país tem ocorrido algumas das maiores secas já registradas, em regiões como no Pantanal, na Amazônia e no Nordeste. Inclusive se prevê que até mesmo em nosso extremo sul, a longo prazo há uma maior probabilidade de que, caso se confirme o processo extremo de perda da vegetação na região amazônica, após certo período de dilúvios imemoráveis (causado não só pelo aumento dos aerossóis que podem ajudar na precipitação mas também no próprio aumento da evaporação) para, após algum tempo, a maior mudança climática a atingir o Sul do Brasil, e o Rio Grande do Sul em particular, ser o oposto disto, as secas extremas. Tal cenário apocalíptico se dará pela diminuição ou mesmo extinção do fenômeno que mais leva umidade a toda esta região – os “Rios Voadores” levando água da Amazônia para umidificar o centro-oeste e sul do Brasil, além da Bolívia e do Paraguai (“Chaco”) e do Uruguai e Argentina (NATIONAL GEOGRAPHIC, 2024).

Em obra editada pelo professor Ericson de Paula<sup>29</sup>, se conclui exatamente a necessidade da humanidade, com urgência, realizar a transição energética para energias de baixa pegada de carbono, em especial as renováveis. Há uma necessidade de se investir nesta nova indústria mesmo nossa região da América do Sul ainda não ser considerada economicamente desenvolvida, pois ela apesar de possuir “enormes recursos energéticos tradicionais, no puede cerrar sus ojos frente al desarrollo de nuevas fuentes de energía y tecnologías em los países más desarrollados” (Paula, 2002, p. 403).

Também há de se ressaltar a importância, especificamente para o Brasil, do investimento em uma variedade a maior possível de fontes de energia renováveis, por outro motivo: ter uma maior diversidade de fontes de energia, de modo a não ficarmos muito dependentes da fonte hidroelétrica. É que na virada do último milênio tivemos anos de reiterados “apagões”, como ficaram conhecidos os vários blecautes ocorridos em todo o país, por vezes deixando até a casa da dezena de unidades federativas por horas sem energia. Segundo Norma Valêncio (2017, p. 67) nos lembra, parecia que o problema havia sido superado mas já no fim da primeira década deste milênio o país voltou a sofrer de tal problema quando em 2009 houve queda de energia em 18 unidades federativas.

Há várias fontes de energia renovável e, para cada uma delas, geralmente há mais de uma forma diferente de se conseguir extrair tal energia. Iremos definir e analisar algumas destas rotas tecnológicas no capítulo seguinte. Porém, já entraremos um pouco em um tópico que tem a ver com uma destas espécies de hidrogênio trazidos pela nova legislação: o hidrogênio renovável. Até porque – como veremos – a regulamentação do hidrogênio no Brasil ao estabelecer este hidrogênio renovável como uma das suas espécies, faz com que se afigure essencial a apresentação de alguns dos principais tipos de energias renováveis, o que faremos no próximo subcapítulo.

### **3.4.2. As energias renováveis como principal solução para a transição energética.**

Veremos no capítulo seguinte que o Marco Legal do Hidrogênio estabeleceu apenas expressamente apenas três tipos de hidrogênio de baixa emissão de carbono no Brasil. O próprio “hidrogênio de baixa emissão de carbono”, como se fosse um gênero, dentro do qual se encontraria o “hidrogênio renovável” e, ainda dentro desta espécie, a legislação ainda trouxe a definição de “hidrogênio eletrolítico”.

---

<sup>29</sup> Ericson de Paula é Doutor em Energia pela Universidade de São Paulo, professor e coordenador do Programa de Gestão de Energia da Universidade Mackenzie, tendo trabalhado na Companhia Energética de São Paulo (PAULA, 2002, p. 19).

Assim, entendemos necessário trazer algumas definições de fontes de energia renováveis, para que ao chegarmos no capítulo seguinte, possamos entender o que seria o hidrogênio renovável.

Entretanto, deixaremos de lado algumas fontes que nos parece ou por demais controversas, como a atômica, ou porquanto aparenta ser quase uma ideia distópica advinda direto das obras de ficção científica espacial, como de Isaac Asimov<sup>30</sup>, como exemplificaríamos as quilométricas usinas solares espaciais<sup>31</sup> que a China está implantando para transmitir energia para a terra por “wi-fi”.

#### 3.4.2.1. Exemplo mais comuns de fontes renováveis: energia solar, eólica, hidrelétrica e biomassa.

A transição energética traz a necessidade de se investir em várias fontes renováveis de energia, inclusive a fim de serem pesquisadas numa situação real de produção e consumo de energia. Por isto estão sendo pesquisadas várias fontes de energia renovável, desde mais comuns e disseminadas até outras menos usuais, diríamos até disruptivas, como a energia geotérmica, ou as usinas hidroelétricas reversas e as usinas termais solares, estas últimas onde o próprio sistema de produção de energia se revela como um mecanismo de acumulação de excedentes energéticos para uso em momento no qual a fonte de energia não estivesse disponível.

A própria definição legal determinada pelo Marco Regulatório do Hidrogênio determina que hidrogênio renovável é aquele produzido por energias renováveis. Desta forma, nos parece essencial explicarmos, para entender o conceito, quais e como são as rotas tecnológicas, as formas de produção e geração das principais energias renováveis, em especial aquelas mais utilizadas em nossa nação.

<sup>30</sup> Isaac Asimov foi um dos maiores autores de livros científicos e de ficção-científica, com mais de 500 obras publicadas. Imigrante russo, viveu nos Estados Unidos desde os três anos, indo de uma infância humilde no bairro do Brooklyn até o auge da carreira acadêmica de sua época, graduado e doutor em química pela Universidade de Columbia, tornando-se professor da Universidade de Boston. Fonte: Encyclopædia Britannica. Isaac Asimov - American author. Chicago, Encyclopædia Britannica, 2025. *Available from:* <https://www.britannica.com/biography/Isaac-Asimov> *Access in:* 30 jan. 2025.

<sup>31</sup> A maior fabricante e produtora de energia solar do mundo deve começar neste ano de 2025 a exploração de energia solar no espaço. Estima-se que as placas solares em estação espacial seriam 10 vezes mais eficientes que os painéis fotovoltaicos da Terra, valor que ainda seria aproximadamente dobrado porquanto no espaço não há “noite”. Fonte: CASA VOGUE. China lançará fazenda solar de um quilômetro de largura no espaço. Redação – Casa Vogue. 23/01/2025. Rio de Janeiro: Globo.com, 2025. Disponível em: <https://casavogue.globo.com/um-so-planeta/noticia/2025/01/china-lancara-fazenda-solar-de-um-quilometro-de-largura-no-espaco.ghtml> Acesso em: 30 jan. 2025.

Traremos mais algumas das principais possibilidades em termos de energias renováveis que embora ainda não tão comuns precisam ser utilizadas em campo, de modo a eventualmente serem descobertas novas formas de melhorar processos diminuindo, ou mesmo eliminando, alguns dos inconvenientes ou ineficiências de outra, ou da mesma, fonte de energia.

Como visto, há a necessidade de que a mudança de um padrão energético voltado aos recursos energéticos “tradicionais” para um padrão de uso intensivo em energias renováveis e isto deve ser feito com muita urgência. Além disto, segundo o já citado professor Ericson de Paula (2002), a transição energética deve ser incentivada mesmo nos países pobres ou em desenvolvimento. Acrescentaríamos que mesmo algumas fontes de energia renovável não convencionais devem ser testadas em países menos desenvolvidos, pois pode haver a descoberta de soluções melhores eficiências que não se descobrisse em outras regiões, com outros climas, pressão do ar, regime hidrológico, etc.

O referido pesquisador Ericson de Paula (2002, p. 402) lembra da importância em se investir em “nuevas energías (tales como: solar, eólica, marina, combustibles oxigenados, biomasa, hidrógeno etc)”, apontando que uma das maiores barreiras que ainda impede o desenvolvimento deste mercado é de natureza regulatória.

Trataremos de algumas fontes de energia renovável neste momento, mas deixando para apontar as principais energias renováveis no próximo capítulo. Neste momento mencionaremos apenas algumas que apesar de experimentais possa ter aplicação futura, deixando de citar algumas mais polêmicas como a Energia Atômica, ou energias bastante experimentais, tais como as usinas espaciais solares cuja energia é transmitida para a terra através de uma espécie de “wi-fi” de micro-ondas e praticamente acabaria com o problema da intermitência da energia solar. Mencionaremos, então, apenas fontes produtoras de energia renovável que já estão mais estabelecidas, como as usinas de: energia das ondas; energia das marés; energia solar termal.

Embora cada uma das fontes possa ter uma ou mais vantagens em relação às demais, nem sempre cada uma das fontes adiante indicadas têm possibilidade de ser implementadas, pelos mais diversos motivos seja pela complexidade, pelo custo, por problemas técnicos ainda não resolvido, ou pelo possíveis riscos de danos em caso de acidente, em especial quanto às energias derivadas das reações atômicas.

E começamos aqui apontando a energia hidrelétrica, o tipo que teria, ao menos no Brasil e até o presente, ainda a maior capacidade instalada, sendo uma fonte que mais supre o consumo do tipo residencial. A energia hidrelétrica é considerada como energia renovável e

limpa, embora receba críticas no sentido de se perguntar se seria “limpa para quem?” (Natt e Carrieri, 2017, p. 78-79).

Segundo Natt e Carrieri, a crítica é válida tendo-se em vista os vários malefícios que a instalação dessas mega construções causam, como a remoção forçada de famílias, o alagamento muitas vezes de vastas áreas florestais, dentre outras desvantagens.

No mesmo sentido é a crítica dos professores Roger A. Hinrichs e Merlin Kleinbach (2003, p. 328), onde ao tempo em que exemplifica o mesmo problema de remoção de populações vulneráveis, como na construção da hidrelétrica de Três Gargantas, na China, onde só em termos de deslocamento populacional irá ocasionar a remoção forçada de mais de um milhão e duzentos mil moradores.

Os professores da Universidade de Nova Iorque ainda dão conta de outros problemas ambientais, como a eliminação de *habitat* natural de algumas espécies animais e vegetais, podendo vir a ficarem ameaçadas de extinção. Sem falar na perda do meio ambiente histórico e de paisagens notáveis, como exemplos de patrimônio histórico nacional da China, alguns com centenas de anos, que estão sendo destruídos com a inundação causada pela operação da Três Gargantas (2003, p. 328).

Também é renovável, já com bastante difusão em nosso país, a energia eólica e que, segundo Rárisson Jardiel Santos Sampaio e Fernando Joaquim Ferreira Maia (2022, p.10-11), trata a energia eólica daquela gerada pela força dos ventos. É uma das mais promissoras para o Brasil – particularmente na região nordeste onde, em especial na versão *on shore* (instalada em terra firme) onde se concentra mais de 88% da capacidade instalada do país. Tais autores ainda criticam a apregoada transição energética, apontando haver uma contradição no discurso de sustentabilidade inerente a esta transição “porque este se refere simplesmente à diversificação da matriz elétrica e/ou substituição gradual dos combustíveis fósseis, sem necessariamente endereçar o problema ao ideal de desenvolvimento orientado por um padrão de consumo e produção próprios do modelo capitalista”.

Vale ressaltar que a energia eólica tem várias desvantagens, conforme bem apontado na excelente obra *Energia eólica: contratos, renda da terra e regularização fundiária*, quando dentre outros problemas se aponta a tendência em que ao longo do tempo as empresas tentem se apossar em definitivo dos terrenos ocupados, em especial quando foram imemorialmente ocupados por meio de posse, além da produção de ruídos eternos que prejudicam a sanidade mental da vizinhança, dentre outros malefícios (Sampaio, 2022).

Como um remédio para resolver grande parte destes problemas, já se tem apontado a solução de se empregar largamente as usinas eólicas *offshore*, ou seja, aquelas construídas mar

adentro, copiando-se o que foi praticado com sucesso em diversos outros países (Barbosa, 2019).

Os biocombustíveis também tem sido pensados como uma possível solução para a transição energética. No artigo “Energy Insecurity: The False Promise of Liquid Biofuels”, publicado na revista *Strategic Studies Quarterly*, publicação da Editora Springer-Nature, o Capitão T. A. “Ike” Kiefer (2013, p. 114), Professor da Air University (USA), parecia a um só tempo visionário e polêmico ao decretar como totalmente antieconômica a produção de biocombustíveis. Em livre tradução<sup>32</sup>, o Professor Kiefer afirma que o conteúdo energético dos biocombustíveis, quando comparado à energia necessária para sua produção, revela ser tal opção um investimento muito ruim, especialmente em comparação com outras alternativas. Em muitos casos, há até uma perda líquida de energia, ou seja, no balanço energético há mais saída do que entrada de energia.

Continua “Ike” Kiefer (2013, p. 114) a apontar que se for analisado o ciclo de vida, quantificando a energia necessária desde o cultivo do biocombustível até a sua combustão, os biocombustíveis líquidos cultivados são considerados seriam como uma tentativa moderna de movimento perpétuo – ou seja sarcasticamente ironizou a possibilidade de se ter uma eficiência energética nesta fonte de energia. O Capitão-Professor da Universidade do Ar (EUA) arremata que querer usar grande parte dos biocombustíveis seria algo fadado ao fracasso pelas leis da termodinâmica e por uma dependência fatal de produção deste combustível pela energia proveniente de combustíveis fósseis.

De toda forma, como já vimos o hidrogênio produzido por meio de biomassa não só já é uma realidade como foi supostamente um dos motivos para a aprovação de emenda aumentando o limite de emissão de carbono para 7kg de CO<sub>2</sub> equivalente para cada quilograma de hidrogênio produzido.

Outra energia já em franca ascensão no Brasil é a Energia Solar, baseada no princípio da célula solar fotovoltaica (FV) que foi descoberto em 1887 por Heinrich Hertz, sendo afinal explicado por Albert Einstein apenas em 1905 (Hinrichs e Kleinbach, 2003, p. 310), quando apontou o fenômeno afirmando que “quando a luz atinge determinados metais, elétrons são emitidos” num efeito “conhecido como efeito fotoelétrico”. Explicando de uma forma simples, poder-se-ia resumir tal princípio como sendo um fenômeno contrário ao ocorrido

---

<sup>32</sup> The energy content of the final-product biofuel compared to the energy required to produce it proves to be a very poor investment, especially compared to other alternatives. In many cases, there is net loss of energy. When energy balance (energy output minus energy input) across the full fuel creation and combustion lifecycle is considered, cultivated liquid biofuels are revealed to be a modern-day attempt at perpetual motion that is doomed by the laws of thermo- dynamics and a fatal dependence on fossil fuel energy.



quando aplicamos uma fonte de energia a um dispositivo de luz bastante conhecido, as lâmpadas “led”.

Tal como se apontou para o mercado de energia eólica, os professores Roger Hinrichs e Merlin Kleinbach (2003, p. 310) também lembram que “a desregulação desses serviços públicos conectada à opção do consumidor por ‘energia verde’ também será um fator responsável pelo aumento das contribuições FV”.

Finalizamos o ponto com a publicação dos resultados de estudos das pesquisadoras Ana Tereza Marques Parente e Clarissa Brandão Kowarski (2023, p. 68), quando explicam a importância da geração de energia fotovoltaica, enfatizando que “é uma forma de energia limpa, que não emite gases de efeito estufa durante a operação. Isso contribui diretamente para a redução das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e outros gases poluentes que são responsáveis pelo aquecimento global”.

#### 3.4.2.2. Algumas outras experiências promissoras em energias renováveis. Usinas hidroelétricas reversíveis e usinas de energia solar concentrada: solução para a intermitência das fontes eólica e solar e a ineficiência das baterias?

Agora apresentaremos alguns tipos de energia renovável, inclusive alguns onde a própria usina, por conta de suas tecnologias de produção de energia elétrica, funcionam direta ou indiretamente como forma de armazenar a energia captada. Desta forma, a própria rota tecnológica serviria para corrigir a questão da intermitência. Tal fenômeno é um grande problema da produção de energia elétrica através dos processos eólico e solar, mas também em certo grau acontece nas experiências com a produção de energia através das ondas e das marés, dentre alguns tipos de energia renovável objeto de estudo pelos engenheiros e cientistas.

A primeira espécie de usinas que são projetadas para poder armazenar o máximo de energia possível, para que a produção de energia elétrica continue mesmo quando a fonte de energia original não estiver disponível, são as hidroelétricas reversíveis.

Trazemos o estudo “A Viabilidade das Usinas Reversíveis no Sistema Interligado Nacional”, resultado de pesquisa patrocinada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), sendo a obra organizada pelos pesquisadores Roberto Brandão, Nivalde de Castro e Julian Hunt.

Os referidos cientistas nos explicam que basicamente a usina reversível seria aquela onde parte da energia gerada por parques eólicos ou de energia solar seria usada para acionar turbo-bombas, ou seja, enormes “bombas” de água, motores que giram um mecanismo mecânico e hidráulico que consegue levar enormes quantidades de água para um reservatório que fica em elevadas alturas. Ou seja, este mecanismo transforma a energia elétrica, produzida por uma fonte renovável, em energia potencial. No momento em que a energia renovável esteja indisponível, a água flui em sentido contrário, descendo pela tubulação e fazendo a bomba se transformar em uma turbina de usina hidroelétrica, produzindo energia enquanto não tiver vento, sol, ondas ou movimento de marés (Brandão, Castro e Hunt, 2021).

Na China já há usinas reversíveis instaladas gerando dezenas de GW, sendo que vários países pertencentes à OCDE, como Suíça e Portugal, também estão tentando levar adiante seus projetos quanto a esta solução (Brandão, Castro e Hunt, 2021, p. 181).

Enquanto isto, no Brasil o estudo da ANEEL informa que este complexo de usina e barragens (tanto a abaixo quanto a acima das bomba-turbinas) são uma possível solução para problemas de intermitência na energia renovável, seja porquanto neste tipo de sistema há muito menos agressão à natureza do que os impactos provocados pelo descomissionamento, ou mesmo por eventual acidente, nos sistemas de armazenagem com bateria. Espera-se a instalação destas usinas principalmente na Serra do Mar, na bacia do Rio das Antas, no entorno da Chapada dos Veadeiros, na Chapada da Diamantina e, em menor extensão, em algumas serras nordestinas. Também se pensa em utilizar tais usinas em sistemas hidrográficos com excesso de água sazonal, sendo que o local onde há mais dados é na região do Rio São Francisco, em especial na Bahia. (Brandão, Castro e Hunt, 2021, p. 09).

Já as usinas termais solares são um tipo de usina de energia renovável baseada não no efeito fotoelétrico dos raios do Sol em contato com determinados elementos, mas no calor que estes raios provocam, principalmente sendo potencializado por vários espelhos refletores. Acontece que o próprio sistema de produção de energia, produzida através de turbina com a utilização de fluidos aquecidos, quando em funcionamento e mesmo sem receber energia térmica pela falta de incidência de raios solares, serve como um sistema de estocagem da energia renovável captada, no caso advinda da energia solar (Rinchis e Kleinbach, 2003, p. 330).

A relevância em ao menos apresentar tal tecnologia é que, embora esta indústria atualmente tenha uma baixa eficiência na transformação de energia durante os períodos de incidência da luz solar, mesmo assim tal sistema pode ser a grande solução para a intermitência diária da fonte de energia solar. É que, conforme explicam os professores

Rinchis e Kleinbach (2003, p. 330), a eficiência da armazenagem térmica usada nestas usinas, quando o fluido utilizado for a mistura de diferentes tipos de sal, ao invés da água, atualmente é muito maior do que a eficiência na armazenagem por baterias.

A energia termal solar funciona com uma “fazenda” de espelhos solares apontando para uma torre que superaquece com a concentração dos raios solares em apenas uma relativamente pequena área. Em apertado resumo, Rinchis e Kleinbach nos leciona que estes sistemas “utilizam coletores concentradores para focar diretamente a luz solar para a produção de fluidos de alta temperatura” que chegam a mais de 650°C, por conta da concentração dos raios solares (realizados por calhas ou espelhos parabólicos) num ponto coletor, por onde passa um fluido, geralmente água mas ultimamente passou-se a ser utilizado um sal, ou determinada mistura de sais.

Nesta torre há uma parafernália de encanamentos contendo o fluido, correndo ao redor de suas paredes, onde o calor é tão absurdamente alto que o sal derrete, se transformando em líquido e a depender da tecnologia até em vapor. O elemento aquecido entra numa corrente de convecção a qual afinal fará girar uma turbina de produção de energia elétrica, tal como ocorre numa usina hidroelétrica, onde a diferença é que o giro é produzido pela corrente descendente de água conforme lecionam os pesquisadores Peña Pupo, Urdaneta e Abreu (2018), este professor da *Universidad de Oriente* (Cuba) e aqueles integrantes da *Empresa de Hidroenergía de Cuba*<sup>33</sup>.

Rinchis e Kleinbach (2003, p. 330), ao ressaltar alguns detalhes gerais desta tecnologia, nos leva a crer que a semelhança da tecnologia fotoelétrica com a *solar thermal energy* é apenas o uso do sol como fonte de energia. Na verdade poderíamos concluir esta tecnologia como sendo até mais simples pois o processo através do qual se gera a energia elétrica é diferente, tendo como base uma transformação da energia térmica encontrada na usina, em energia elétrica, ou o aproveitamento do calor em outra aplicação, ou seja, tudo se dando com o envolvimento de outros fenômenos que não o efeito fotovoltaico.

Os professores norte-americanos concluem apontando que, apesar da baixa eficiência e algumas dificuldades técnicas ainda não resolvidas neste impressionante engenho, haveria outras aplicações que já seriam ideais para o fluido vaporizado nestas altíssimas temperaturas. Pois, em suma, tal tecnologia não só pode movimentar turbinas como há várias outras funções para as quais pode ser mais eficiente do que a geração de eletricidade “como exemplo o

---

<sup>33</sup> Os cubanos Peña Pupo, Urdaneta e Abreu, afirmam que a definição do sistema *Concentrated Solar Power* que, na sigla em inglês, é denominado de CSP, é aquele que “capta la radiación solar que es convertida en vapor saturado a través de un intercambiador de calor que a su vez se transforma en electricidad por medio de un grupo turbina generador. La diferencia respecto a otros sistemas es que este está compuesto por un sistema de almacenamiento térmico a través de sales fundidas”.

fornecimento de calor para processos industriais e a produção química e metalúrgica”. Sem falar a extrema eficiência desta tecnologia quando o sol deixa de brilhar, porquanto a energia térmica fica armazenada em recipientes com uma mínima perda de calor ao longo de um dia inteiro (Rinchis e Kleinbach, 2003, p. 330).

Estamos retratando esta tecnologia por conta de ser uma opção eficiente e bastante interessante para certas aplicações, embora estejamos cientes da ineficiência na transformação de energia térmica para a solar, talvez sendo esta a razão para o seu pouco uso, tendo ainda hoje uma utilização insignificante. Aliada a vários outras graves questões técnicas a resolver, segundo Rohwer-Kahlmann (2024) há a necessidade de uma intrincada tecnologia necessária para fazer os heliostatos (os “espelhos”) se moverem continuamente e com perfeita sincronia de modo a focar a máxima quantidade possível de raios solares na torre. Sem falar no grande problema que chega a paralisar o funcionamento da usina, por entupimento de várias das tubulações, canaletas e serpentinas, caso por algum motivo a temperatura traga de volta os sais para o estado sólido, por exemplo uma pane na sincronização dos heliostatos, ou no sistema de canos, que por dias implique na necessidade de paralização da usina.

Também é importante ponderar, não só a eficiência, ou seja, a porcentagem da energia que é devolvida pelo armazenamento, em relação ao total de energia entregue. Mas é importantíssimo ressaltar um ponto que a pesquisadora da UFMG Anne Dalla Vechia Konzen (2020) defende, quanto à necessidade do correto descarte para os materiais usados nas baterias utilizadas como armazenamento nesta indústria. Há uma grande preocupação principalmente quanto ao potencial tóxico do uso de baterias nas usinas de energias renováveis mas intermitentes, principalmente as fotovoltaicas e as eólicas. Neste sentido, haverá uma grande ameaça à sustentabilidade ambiental se houver um descomissionamento incorreto das baterias e outros elementos, não só pelo alto grau de toxicidade dos elementos presentes nas baterias, mas pelo tempo necessário para um correto descarte, sendo realizados todos os procedimentos e reações químicas para neutralizar a toxicidade, podendo contaminar o meio ambiente em caso de erro neste processo de descarte.

Após trazer os pontos de vista dos autores indicados, uns enfatizando mais as benesses da tecnologia enquanto outros apontam vários inconvenientes, podemos finalizar este ponto admitindo que as instalações de energia elétrica termal solar ainda não chegaram a se desenvolver por completo como uma importante opção de energia renovável, porquanto há vários problemas não solucionados na tecnologia. Vimos que a ineficiência na transformação de energia seria um dos motivos para a falta de interesse dos governos e instituições quanto à realização de pesquisas acerca de aplicações e melhorias de processos e eficiência.

Porém, acreditamos que se as pesquisas para a descoberta de formas mais eficientes de armazenamento por baterias não avançarem, a energia termal solar pode passar a ser uma opção. Isto porquanto o armazenamento de sais, fundidos ou vaporizados, em grandes tanques para que a usina continue a funcionar sem a luz solar talvez venha a resolver o problema da intermitência das energias de fonte solar.

A questão do melhor método de armazenamento aparentemente está longe de ser resolvida pelas usinas de armazenamento de baterias porquanto há grandes perdas energéticas ainda não solucionadas neste tipo de armazenamento. Sem falar da vida útil relativamente curta das baterias mais eficientes, que são atualmente as de lítio, ficando cada vez mais ineficientes até chegar ao final de sua vida útil (Fórum das Energias Renováveis de Roraima, 2021).

Há outras fontes de energia renovável onde, sabendo da urgência da transição energética, o professor Ericson de Paula (2002, p. 403) nos informa que são vários exemplos interessantes de energia renovável, com possibilidades se diria até disruptiva, mas que ainda não têm aplicabilidade, seja pelos altos custos de produção, seja por dificuldades técnicas, mas que com a continuidade das pesquisas pode vir a se tornar uma grande possibilidade. Como é exemplo um projeto de pesquisa em que a NASA e instituições japonesas tem pesquisado, no sentido de se construir estações espaciais para “captar y transmitir por micro-ondas la potencia solar a la Tierra”.

Quanto à energia das ondas do mar, sabe-se que a energia obtida a partir das ondas oceânicas tem o potencial de se tornar uma importante contribuição para a produção global de energia brasileira, por conta de sua extensa zona costeira (Estefen, 2006 *apud* D’Aquino, Scharlau e Vecchia, 2019).

Paulo R. Costa, Paula Garcia-Rosa e Segen Stefen, em artigo publicado na revista *Ocean Engineering*, já davam conta de que tal energia é um promissor exemplo de energia renovável. O aproveitamento se dá por meio da transformação da energia das ondas em energia elétrica, ou seja, com a conversão da energia do movimento das ondas em eletricidade, onde geralmente se emprega um corpo flutuante conectado a um sistema hidráulico e uma turbina (ou motor) acoplada a um gerador elétrico ou conectada diretamente a um gerador elétrico (Costa, 2010, p. 1).

Ainda segundo D’Aquino, Scharlau e Vecchia (2019) “the south part of Brazil is characterized by sandy beaches with high energy waves and relatively strong winds. These features represent favorable conditions for using ocean waves as renewable energy resources”.

Numa livre tradução, a parte sul do Brasil é onde se tem mais ondas de alta energia e ventos relativamente fortes, ou seja, é uma área com características que representariam condições favoráveis para o uso das ondas oceânicas como recursos de energia renovável, mas apesar dessas condições favoráveis, o uso das ondas oceânicas como recurso energético tem tido poucas iniciativas no Brasil.

Ainda citam os referidos pesquisadores da Universidade Federal de Santa Catarina, que há um projeto pioneiro no Nordeste, onde a Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), em parceria com a companhia privada Tractebel S.A., instalou a primeira usina experimental de energia das ondas do Brasil no Porto do Pecém, no Ceará (D'Aquino, Scharlau e Vecchia, 2019).

Em artigo publicado no *Journal of Research Technology & Engineering*, foi feita uma revisão das várias formas atualmente sendo pesquisadas de como retirar energia do mar, sendo que as formas mais comuns de retirada de energia do mar são a já citada energia das ondas e a energia das marés. Esta, apesar de ser uma fonte altamente promissora e ambientalmente sustentável dentre os meios de geração de energia renovável, ainda tem um custo relativamente alto. A pesquisa cita como exemplo “tidal energy, wave energy, OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion), salinity gradient energy, and ocean current energy” (Thennakoon *et al*, 2023).

Além das duas principais formas de conseguir energia do mar, a energia das ondas e a das marés, numa tradução livre podemos dizer que estão sendo pesquisadas outras várias formas de gerar eletricidade, por meio de movimentos ou fenômenos dos mares, como: a OTEC (Conversão da energia térmica oceânica) – que tira proveito da energia térmica dos oceanos; a energia por gradiente de salinidade – que consegue retirar energia por conta do gradiente (diferença) de salinidade entre partes do mar; e a energia das correntes marítimas – que transforma a energia das correntes marítimas em energia elétrica, sendo que todas estas fontes têm vantagens e desvantagens, mas sempre tendo um grande potencial, (Thennakoon *et al*, 2023).

Outro tipo de energia tida como renovável é a energia geotérmica, embora com pouca aplicação no nosso país. Os pesquisadores Hinrichs e Kleinbach (2003, p. 463), da Universidade de Nova Iorque, conceituam a energia geotérmica como aquela “produzida a partir do calor originado no interior da Terra”.

É uma energia que não tem uma possibilidade de utilização mais uniforme, como as energias solar e eólica, por conta do sol e vento serem recursos mais ou menos distribuídos ao longo da Terra. Porém, onde a energia geotérmica resta presente, em alguns locais onde é

mais facilmente explorável, onde o calor do interior da terra chega até de forma natural à superfície, ela pode ser uma fonte altamente confiável e livre da sazonalidade. São os exemplos de Budapeste, na Hungria, onde há milhares de anos, desde os tempos do império romano, onde durante todo o ano esta fonte fornece calor. Ou os gêiseres do norte da Califórnia (Hinrichs e Kleinbach, 2003, p. 463-464).

Uma crítica pertinente esta trazida pelos pesquisadores da UFPB, embora não sendo um dos temas desta dissertação, mas parece que poderia ajudar a avançar na diminuição do aquecimento global é no sentido de que o caminho mais fácil para se conseguir alcançar as metas a fim de se evitar os piores cenários das mudanças climáticas, realmente seria modificar seria diminuir o padrão de consumo de nossa sociedade capitalista. Parece-nos que seria uma ideia que se afiguraria como uma conclusão ao reconhecimento da nossa era geológica como sendo Capitaloceno, tal como tratamos no capítulo anterior.

Enquanto a mudança de paradigma nos padrões de consumo parece ser uma utopia, quem sabe nunca atingível, há de se ter em mente a urgência de se substituir o uso de combustíveis fósseis pela energia renovável, sendo pertinente a observação dos referidos pesquisadores quanto à consolidação destas novas tecnologias.

Em geral, grande parte dos processos de transição energética se concentra no aperfeiçoamento da geração de energia elétrica, o que, em tese, permitiria a abertura de novos mercados e a consolidação de outras tecnologias baseadas no consumo de eletricidade para substituição dos combustíveis sólidos (Sampaio e Maia, 2022, p. 11).

Interessante notar que o aspecto regulatório, apontado pelo professor Ericson de Paula como uma das mais importantes possibilidades de incentivo aplicável às várias “indústrias” (espécies) de energia renovável, tem sido uma ferramenta utilizada por vários governos. Um dos pioneiros foi o governo americano onde segundo Roger A. Hinrichs e Merlin Kleinbach (2003, p. 324), professores da Universidade de Nova Iorque em Oswego, “um fator que foi muito útil para este crescimento foi que alguns Estados começaram a exigir que suas concessionárias de energia passassem a comprar uma determinada quantidade de MW de energia renovável por ano”.

Neste sentido, está explicado em parte o grande crescimento da energia eólica, como decorrente do incentivo governamental na forma de incentivos financeiros, fiscais e regulatórios, de forma concomitante ou separada.

### 3.5 Conclusões parciais.

Pode-se concluir o capítulo afirmando que por estamos numa época onde as forças humanas, ao causar o aquecimento global, estão inegavelmente modificando o clima para pior, provocando as nefastas mudanças climáticas, é urgente e necessário ser incentivado a formulação de políticas públicas propugnadas pelo Direito Climático.

Como estas mudanças climáticas são causadas pelo aquecimento global, por sua vez em grande parte resultado do uso de combustíveis fósseis e outros elementos causadores de efeito estufa, também temos de concluir como essencial ser realizada a transição energética para serem utilizados combustíveis cujo ciclo não libere mais carbono na atmosfera.

Tudo o quanto foi visto no anterior capítulo definindo Antropoceno, descrevendo o aquecimento global e demonstrando os seus nefastos efeitos, com sugestões de algumas das ações a serem tomadas para tentar se reverter o apocalíptico cenário (em especial a urgente transição energética), provou a necessidade urgente de implementação de projetos de hidrogênio – e em especial do tipo hidrogênio de baixo carbono como veremos no capítulo seguinte, inegavelmente uma das melhores soluções para se tentar reverter o aquecimento global e as decorrentes mudanças climáticas.

Ocorre que por conta de uma das principais desvantagens, antes apontadas (o altíssimo custo de produção), os projetos de empreendimentos de hidrogênio de baixo carbono precisam ser imensos, com a previsão de produção de cada vez maiores quantidades a fim de diluir o investimento, barateando o custo unitário por conta da escala de produção.

Este gigantismo por si só já parece indicar que a própria indústria de hidrogênio pode ser potencialmente causadora de danos ambientais, se não forem tomadas medidas de cautela e de compensação.

Toda esta atividade modificadora das condições locais, além das possíveis poluição e gasto hídrico que a indústria de hidrogênio de baixo carbono provoca, certamente já traz uma desconfiança de que se deve dar uma grande importância na observação do princípio da precaução, razão pela qual posteriormente lembraremos do referido princípio constitucional e verificar se há a necessidade de se precaver quanto à diminuição da oferta hídrica com as mudanças climáticas.

Desta forma é que chegaremos ao próximo capítulo, onde parece-nos que uma das principais violações de direito que pode ocorrer quando da instalação dos gigantes empreendimentos de hidrogênio é a violação do direito fundamental à água, com o aumento das crises hídricas, principalmente se os projetos desconsiderarem os efeitos das mudanças climáticas quanto às disponibilidades hídricas, principalmente para populações vulneráveis.



Para o que nos importa nesta dissertação, podemos lembrar alguns principais efeitos de mudanças climáticas apontados neste capítulo e importantes para a compreensão do próximo, na verdade poderíamos apontar como a coluna vertebral desta dissertação, porquanto interferem na disponibilidade hídrica, como: a mudança dos ciclos hídricos, o aumento da evaporação de água levando às secas prolongadas e a intrusão marinha das fontes de águas tanto superficiais (rios, lagos, etc) quanto subterrâneas. Esta última causada pelo complexo de fenômenos que levam ao avanço do mar, tendo sido os principais destes fenômenos também já expostos.

Neste sentido, nos afigura topograficamente coerente que no capítulo seguinte analisemos se os projetos precisariam considerar a aceleração dos já indicados fenômenos causados pelas mudanças relacionados com a disponibilidade hídrica, de modo a se antecipar a prováveis disputas hídricas. Isto por conta da enorme necessidade de captação de água para estes empreendimentos de hidrogênio, em especial para o hidrogênio de baixo carbono, conforme também veremos, situação onde sem haver uma preocupação com os efeitos cumulativos das mudanças climáticas, o estresse hídrico potencializado pela captação para o uso industrial poderá vir a afetar direitos fundamentais como o direito de acesso à água.

Em conclusão, neste capítulo mostramos o Direito Constitucional Climático se preocupa com possíveis violações de direitos fundamentais, em especial o direito à água, causadas pelos fenômenos antrópicos típicos do Antropoceno, influenciadores do aquecimento global.

## **CAPÍTULO 4      REGULAÇÃO DA ÁGUA E DO HIDROGÊNIO. DIREITO FUNDAMENTAL À ÁGUA E MUDANÇAS CLIMÁTICAS. O PORTO DO AÇU.**

Chegamos ao último capítulo de nossa dissertação, quando com base nos capítulos anteriores estamos perto de alcançar os objetivos propugnados para este estudo. E já no começo deste capítulo, apresentaremos o combustível que está sendo tida como a grande aposta para a descarbonização da economia: o hidrogênio. Apontaremos a definição de tal elemento, bem como algumas vantagens e desvantagens.

Tendo passado algum tempo desde as primeiras pesquisas acerca da transição energética, veremos que a comunidade científica acabou praticamente em uníssono dando o hidrogênio como uma das principais possibilidades para a necessária transição energética, com base nestes conceitos que, à época do artigo, ainda eram de certa forma ainda incipientes, mas que hoje fazem total sentido, tais quais as definições adiante apontadas como de: balanço energético, “net loss” (em contraste com o atualmente popular conceito net zero), geração e produção e análise do ciclo da vida do hidrogênio.

A legislação de regulação do hidrogênio foi aprovada já durante a escrita de nossa dissertação. Então tivemos um dilema, resolvido no sentido de que valeria à pena reescrever as partes já prontas, indicando a previsão legal. É que muito embora haja inúmeras críticas quanto ao conteúdo da lei, a antiga classificação perdeu sentido ao trazer uma profusão de “cores” do hidrogênio para designar a rota tecnológica, a sua forma de produção, contemplando desde uma emissão praticamente zero de carbono até a produção do elemento a partir de fontes extremamente poluentes.

Portanto, mostraremos que muito embora a doutrina internacional estabeleça uma enormidade de classificações para o hidrogênio, no Marco Regulatório do Hidrogênio o Congresso Nacional preferiu simplificar a classificação definindo em três os “tipos”: hidrogênio verde, hidrogênio renovável e hidrogênio de baixa emissão de carbono.

Explicaremos mais detalhadamente, em especial, acerca do hidrogênio verde, quando apontaremos as principais vantagens, trazendo a informação de que é considerado uma das melhores soluções para a transição energética por conta da sua alta quantidade de energia e do relativamente fácil transporte, seja em gasodutos (inclusive os já existentes) ou por navios, transformado em amônia, bem como porquanto seja fabricado em fábricas alimentadas por energia renovável, a queima do combustível não liberaria carbono para o meio ambiente.

Indicaremos o contexto regulatório apresentando a legislação referente ao tema nos últimos 10 anos – inclusive os documentos internacionais mesmo que não-vinculantes. Abriremos uma exceção, quanto ao recorte temporal, quanto à lei da Política Nacional dos Recursos Hídricos pela sua importância para o tema.

Na sequência, lembraremos algumas desvantagens, bem como desvantagens e críticas quanto à sua fabricação, ou mesmo ao uso do combustível, inclusive afinal aquela que é objeto desta dissertação, qual seja o elevado gasto hídrico, que poderia levar a uma disputa hídrica entre seu consumo industrial nos empreendimentos de hidrogênio de baixo carbono, em face do consumo humano.

Finalizamos com uma sucinta apresentação do Eia e do Rima do Hub de Hidrogênio Verde do Porto do Açu, bem como da Ata de Audiência Pública, apontando a eventual preocupação com os efeitos danosos das mudanças climáticas na captação futura de água.

#### 4.1. A solução do hidrogênio e suas várias vantagens como resposta aos desafios da transição energética.

Apesar de se apontar o hidrogênio apenas no final da sua exemplificação quanto aos principais tipos de energia renovável, o professor Ericson de Paula (2002, p. 403) já parecia prever a importância da indústria do hidrogênio e em particular ressaltou que a Islândia pretendia ser a primeira economia do mundo com sua economia “basada em el hidrógeno”. E de fato, pelo que passamos a discorrer, temos de concordar acerca do estratégico papel deste combustível, como uma das grandes apostas para a descarbonização.

Segundo Vargas, Chiba, Franco e Seo (2006), pesquisadores do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) da Universidade de São Paulo (USP), o hidrogênio (H<sub>2</sub>) é o elemento mais simples e comum do universo, compondo em torno de “75% da sua massa, e 90% de todas as suas moléculas”.

Quanto à classificação do elemento hidrogênio como combustível, não há uma concordância total. Segundo o relatório da IEA<sup>34</sup>, o hidrogênio não seria propriamente uma fonte de energia, mas um vetor energético. Isto é, teria um papel potencial com muitas

---

<sup>34</sup> Hydrogen is not an energy source but an energy carrier, which means that its potential role has similarities with that of electricity. Both hydrogen and electricity can be produced by various energy sources and technologies. Both are versatile and can be used in many different applications. No greenhouse gases, particulates, sulphur oxides or ground level ozone are produced from the use of either hydrogen or electricity. If the hydrogen is used in a fuel cell, it emits nothing but water. However, both hydrogen and electricity can have a high CO<sub>2</sub> intensity upstream if produced from fossil fuels such as coal, oil or natural gas (IEA, 2019, p. 32)..

semelhanças em relação ao papel da eletricidade. É fácil notar tal característica, sabendo que tanto o hidrogênio quanto a eletricidade podem ser produzidos por diversas fontes e tecnologias energéticas, além de ambos vetores serem versáteis e poderem ser utilizados em muitas aplicações diferentes. E em especial, quanto ao maior interesse em nossa pesquisa, é que não são produzidos gases de efeito estufa, ou quaisquer partículas poluentes, óxidos de enxofre ou ozônio troposférico a partir do uso de hidrogênio, tal como da eletricidade. Se o hidrogênio for utilizado em uma célula a combustível, apenas o que ele vai emitir é água. Ou seja, no contexto da transição energética – assunto introduzido no capítulo anterior – o hidrogênio representa um papel estratégico. Há uma corrida global por conta da necessidade de urgente e brutal redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e o hidrogênio, em especial o produzido por eletrólise com fontes de energia renováveis conforme adiante veremos, até o momento se afigura como uma das grandes apostas da humanidade para a descarbonização. (IEA, 2019, p. 32).

O hidrogênio tem várias vantagens, sendo que os citados pesquisadores apontam como um dos mais importantes benefícios do combustível, frente a outros, a maior quantidade de energia, em relação a cada unidade de massa. Ou seja, tem o maior poder calórico, a maior quantidade de energia, mais do que qualquer outro conhecido. É algo “em torno de 52.000 BTU (British Thermal Units - Unidades Térmicas Britânicas) por libra (120,7 kilojoules por grama)”, ou três vezes mais calor por libra que o petróleo (Vargas, Chiba, Franco e Seo, 2006).

Para quem tem mais curiosidade ou interesse por detalhes ainda mais técnicos, também poderíamos trazer as principais vantagens do hidrogênio segundo o Capitão “Ike” Kiefer (2013, p. 116), professor e pesquisador da Universidade da Força Aérea Americana. Em tradução livre, segundo o referido Capitão, poder-se-ia dizer que o hidrogênio é muito reativo na “aceitação e liberação de energia” em suas ligações químicas com outros átomos e é o elemento mais leve, dando-lhe uma “densidade de energia gravimétrica muito alta”<sup>35</sup>.

Aponta ainda o Professor da Força Aérea, Cap. Ike Kiefer (2013, p. 116), acerca de uma das principais vantagens do hidrogênio é tal elemento ser tão versátil e poderoso que dá energia tanto aos micro-organismos quanto a engenhosas turbinas, sem falar que é o elemento mais simples e abundante existente<sup>36</sup>.

<sup>35</sup> Conceituar o que seria a propriedades de “ser muito reativo na ‘aceitação e liberação de energia’” e ter uma “densidade de energia gravimétrica muito alta” seria, por certa complexidade dos conceitos, algo que fugiria do escopo deste trabalho. Mas podemos apontar que, consoante a idéia e o contexto do artigo do Professor “Ike” Kiefer (2013, p. 116), seriam duas propriedades físico-químicas que emprestam, em comparação com outros, um alto poder energético ao hidrogênio enquanto combustível.

<sup>36</sup> No original o Professor Cap. “Ike” Kiefer (2013, p. 116) explica que “Hydrogen is abundant, is very reactive in accepting and releasing energy in its chemical bonds with other atoms, and is the lightest element, giving

Ainda há enormes vantagens para a descarbonização de setores que hoje em dia são extremamente poluentes, segundo relatório da Agência Internacional de Energia (2009), ao apontar que o hidrogênio é uma das principais apostas para reduzir a emissão de gases do efeito estufa, combatendo as mudanças climáticas. Pode ser armazenadas grandes quantidades de energia limpa, utilizando-se em setores atualmente poluentes, assim o hidrogênio é visto como uma solução para tornar essas atividades mais sustentáveis.

#### 4.2 Alguns desafios a superar para a maior disseminação do uso do hidrogênio.

Quanto às desvantagens do hidrogênio, a par das mais diversas possibilidades de uso do hidrogênio, já se sabe de algumas e certamente ainda haver-se-á de serem descobertas mais desvantagens à medida que se aumenta o uso de tal combustível – ou vetor energético como prefere classificar parte da doutrina. Mas há algumas desvantagens óbvias decorrentes de seu próprio estado físico em que pode ser encontrado, ao menos nas faixas de temperatura normalmente encontradas em nosso planeta Terra. Ou seja, o hidrogênio –apesar de ser uma fonte de energia promissora– enfrenta várias desvantagens significativas, podendo apontar em resumo como sendo as principais (Silva, Pereira e Oliveira, 2023):

- a produção, especialmente do hidrogênio de baixo carbono, é cara devido aos processos de eletrólise e à necessidade de energia renovável;
- a infraestrutura necessária para sua produção, armazenamento e distribuição é complexa e dispendiosa;
- o hidrogênio é altamente inflamável, exigindo cuidados especiais no manuseio e armazenamento;
- a produção frequentemente depende de metais nobres como a platina, o que eleva os custos;
- o transporte e a distribuição são desafiadores e caros, pois o hidrogênio precisa ser mantido em alta pressão ou em estado líquido a baixas temperaturas;
- e, por fim, o hidrogênio não está disponível em sua forma pura na natureza, necessitando ser extraído de compostos como água ou hidrocarbonetos, o que envolve processos energéticos e caros.

Já em artigo publicado há alguns meses na revista *Energie*, por um grupo de pesquisadores do *Control and Power Group (Imperial College, Londres)* e do *Clean Energy Systems Solution (Berlim)*, foi trazido ao conhecimento da comunidade científica evidências de mais problemas na solução do hidrogênio.

O trabalho aponta que se a Europa pretende utilizar o hidrogênio como um substituto ao gás ou outros combustíveis para uso em aquecimento, em alguns casos talvez não seja a política energética mais apropriada (Ameli, Strbac, Pudjianto e Ameli, 2024).

---

it a very high gravimetric energy density (joules per kilogram)”.

A pesquisa, liderada por Hossein Amelie, Professor do Imperial College<sup>37</sup> (2024), apontou nas conclusões dos estudos, a sugestão de que o hidrogênio teria menos eficiência e vantagens para o uso como aquecimento se comparado com seu uso na indústria ou na produção de energia. Neste caso, a ineficiência se daria acaso a energia utilizada para a produção do hidrogênio for uma energia renovável, situação que se afigura um grande problema uma vez que é este o grande interesse na solução: a maior intenção no uso do hidrogênio seria como um dos principais baluartes da transição energética, ao ser produzido com fontes renováveis e após utilizá-lo como combustível ou vetor energético.

4.3 Regulação do hidrogênio, sua classificação (verde, renovável ou de baixa emissão de carbono), análise do ciclo de vida e processos de produção e geração.

O Marco Regulatório do Hidrogênio no Brasil foi instituído com a edição da Lei nº. 14.948, de 2 de agosto de 2024, que “Institui o marco legal do hidrogênio de baixa emissão de carbono”.

Além de organizar a Política Nacional do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono, a nova lei instituiu o Regime Especial de Incentivos para a Produção de Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono (Rehidro) e criou o Programa de Desenvolvimento do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono (PHBC), sendo que dentre os principais aspectos a chamar a atenção dentre estes programas, nos parece os vultuosos benefícios fiscais para a execução dos gigantescos projetos da indústria de hidrogênio (Brasil, 2024).

#### **4.3.1 Definição de baixa/alta emissão de carbono pelo marco regulatório do hidrogênio**

Passamos a discorrer brevemente acerca dos três “tipos” de hidrogênio quanto aos quais o legislativo brasileiro resolveu definir o chamado Marco Regulatório do Hidrogênio, antes havendo a necessidade da necessária definição do “ciclo de vida” do hidrogênio.

Chamamos a atenção porquanto, apesar de numa leitura açodada parecer ter se definido apenas três espécies de hidrogênio, entendemos que o marco regulatório teria definido dois – ou quatro – tipos, a depender do entendimento do intérprete.

---

<sup>37</sup> Professor Hossein Amelie, do Imperial College, apontou que “the study suggests hydrogen is less advantageous in heating compared with its use in industry or power production. However, the research has limitations, including a strict focus on a 100% renewable energy system” (Ameli, Strbac, Pudjianto e Ameli, 2024)..

Primeiramente, precisamos tomar emprestado conceitos da teoria dos conjuntos a partir de outra ciência, como ensina o professor de matemática Gil Marques (2014, p. 16), da Universidade de São Paulo (USP). Traremos, portanto, definições como subconjuntos ou conjuntos que contém outro(s), ou está(ão) contido(s) em outro(s).

Nota-se, portanto, que a definição legal de hidrogênio de baixa emissão de carbono, a qual veremos logo adiante, engloba a definição legal de hidrogênio renovável, que por sua vez abarca a definição de hidrogênio verde. Noutras palavras, o verde está contido no renovável e ambos no de baixa emissão.

Por este motivo é que entendemos da discussão acerca do hidrogênio verde, se não acabou, pelo menos ter ficado, numa “canetada”, ultrapassada. A não ser que queira se tratar de detalhes técnicos bastante específicos é que faria sentido ficar mencionando situações genéricas se utilizando dos termos hidrogênio verde ou renovável, bastando usar a definição de hidrogênio de baixo carbono, conjunto que contém aqueles outros subconjuntos.

Doutro lado, o que não estiver dentro da definição do hidrogênio de baixa emissão de carbono há de ser definido, por exclusão, como hidrogênio de alta emissão de carbono. Por isto afirmamos, lá atrás, que dependendo da circunstância poder-se-ia afirmar haver atualmente dois tipos de hidrogênio. Ou quatro, acaso se entenda de descer às minúcias, aos detalhes que diferenciam cada um destas espécies de hidrogênio verde e hidrogênio renovável.

Para entendermos os tipos de hidrogênio, precisamos mencionar o conceito de “ciclo de vida”. Para tanto, nos baseamos em artigo que publicou os resultados de pesquisa realizada num consórcio entre grupos de pesquisa da Paraíba e do Rio de Janeiro, o Grupo de Estudos do Setor Elétrico (GESEL), da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e o Departamento de Engenharia de Energias Renováveis, da Universidade Federal da Paraíba em João Pessoa (UFPB).

Segundo o texto, o “ciclo de vida aborda desde o início até o final da cadeia de valor do elemento estudado. Ou seja, desde a captação da matéria prima até o uso final desejado, analisando cada processo de extração, produção, transporte, distribuição, armazenamento, utilização e reutilização” (Castro, 2021).

Por sua vez o tema também foi objeto de análise no documento “U.S. Department of Energy Clean Hydrogen Production Standard (CHPS) Guidance”, produzido pelo DoE, Departamento de Energia dos EUA – órgão ao menos até 20 de janeiro de 2025, quando da posse do novo presidente norte-americano, é o responsável pelas diretrizes quanto à energia limpa. Aquele órgão regulador de energia indicou como limite para ser classificado como

hidrogênio de baixa emissão, que na análise do ciclo de vida, incluindo a utilização de técnicas de coleta, captura e estocagem de carbono (CCUS) a liberação de carbono deveria ser em valores inferiores a 4 kg de CO<sub>2</sub> equivalente por kg de hidrogênio produzido.

Vale ressaltar que a intenção original da legislação era prever os vários benefícios legais apenas para a indústria do Hidrogênio Verde. Porém, o que foi aprovado foi uma legislação que permite a concessão de enormes benefícios e incentivos na produção de hidrogênio extraído de etanol, metanol, petróleo, biomassa e mesmo com o uso de energia nuclear. Isto foi possível com a introdução de uma série de famosos “jabutis”, as emendas em acréscimo a um projeto de lei introduzindo situações que não era a intenção inicial da proposição legislativa. Talvez a mais impactante das emendas foi a do senador de Alagoas Fernando Farias (MDB) a qual em tese beneficiaria a monocultura sucroalcooleira, força econômica notoriamente onipotente naquele estado do Nordeste do Brasil (Observatório do Clima, 2024).

Já durante a tramitação na Câmara dos Deputados, os parlamentares da casa acabaram cedendo a pressões de setores interessados permitindo que os incentivos e benefícios fossem dados não só para o Hidrogênio Verde, mas para qualquer produção de hidrogênio onde houvesse no máximo a emissão de 4 Kg de CO<sub>2</sub> (quatro quilogramas de dióxido de carbono) durante todo o ciclo de vida, além da previsão de a partir do ano de 2030 ser paulatinamente diminuído este limite.

Parece que em competição de qual casa desfiguraria mais a legislação pensada para o estímulo da descarbonização na economia, já não fosse alta o suficiente o limite de carbono liberado pela Câmara, quando da chegada do projeto ao Senado Federal, por sua vez, a Agência Senado (2024) informa que esta casa foi além e quase duplicou a quantidade de carbono que a indústria de hidrogênio poderia liberar. Assim é que passou a ser permitido 7kg de CO<sub>2</sub> para cada Kg de hidrogênio produzido, além de ter retirado a previsão de paulatina diminuição deste limite a partir de 2030. E segundo o próprio Senado informa, a quantidade de carbono a ser liberada na produção do hidrogênio representa a “emissão de gases do efeito estufa e foi aumentado pelo Senado, atendendo especialmente os fornecedores de etanol”.

Pois bem, consoante a dicção legal, ficou estabelecido no Marco Regulatório do Hidrogênio (Brasil, 2024) “para os fins desta Lei e de sua regulamentação” a definição de:

XII - hidrogênio de baixa emissão de carbono: hidrogênio combustível ou insumo industrial coletado ou obtido a partir de fontes diversas de processo de produção e que possua emissão de GEE, conforme análise do ciclo de vida, com valor inicial menor ou igual a 7 kgCO<sub>2</sub>eq/kgH<sub>2</sub> (sete quilogramas de dióxido de carbono equivalente por quilograma de hidrogênio produzido);



Esta definição legal é deveras importante porquanto inclusive por meio dela se extrai a definição de hidrogênio de alta emissão de carbono. É que, conforme notamos ao ler toda a lei, não há menção alguma quanto ao que seria uma alta emissão. Mas por meio duma simples operação de exclusão lógica, o que não for considerado de baixa será hidrogênio de alta emissão de carbono.

Portanto, aplicando-se tal raciocínio, temos que todo hidrogênio onde, ao ser realizada a análise do ciclo de vida, tenha emissão acima de 7kgCO<sub>2</sub>eq (sete quilogramas de dióxido de carbono equivalente) será considerado como hidrogênio de alta emissão de carbono.

A citada aprovação não se deu sem que houvesse luta da comunidade ambientalista contra o enorme aumento nos limites de emissão de carbono inicialmente pensado. Tendo sido aprovada a legislação com a já aludida emenda do senador alagoano, várias entidades como a Coalizão Energia Limpa, o Instituto Climainfo e o Observatório do Clima (2024) lançaram em 10 de julho de 2024 uma nota técnica crítica aos novos limites aprovados pelo Congresso.

Segundo a citada nota, divulgada pela revista eletrônica Clima e Energia, estudos realizados pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) trazem a comprovação de que a produção de hidrogênio usando-se o processo de extraí-lo a partir “do biocombustível emite 2,27 kg de CO<sub>2</sub>eq por kg de hidrogênio” (Observatório do Clima, 2024).

Ou seja, o que se observou nesta aprovação é que, numa aparentemente açodada tentativa de supostamente favorecer principalmente o secular oligopólio da cana-de-açúcar, dentre outras monoculturas fornecedoras de biocombustível, o Marco Regulatório do Hidrogênio introduziu uma espécie de “cavalo de tróia” que pode obrigar o Estado brasileiro a incentivar a produção de hidrogênio a partir de fontes de energia altamente poluentes. E mesmo se a intenção fosse incentivar apenas a indústria do biocombustível, conforme o citado estudo da UFRJ divulgado pelo Observatório do Clima (2024), não haveria necessidade de se aceitar valores tão altos de emissão de carbono.

Ao contrário, da forma como foi classificada pela lei, o hidrogênio “de baixa emissão de carbono” pode ser fabricado com liberação de carbono em patamar muitas vezes superior aos níveis máximos exigidos em locais como China, Alemanha e Estados Unidos da América, o que pode ao final prejudicar as vendas do hidrogênio brasileiro. Em suma, se tal situação se deveu supostamente para atender aos interesses da indústria de cana-de-açúcar, interessada no uso do etanol, pode ter dado a possibilidade de se utilizar da energia de termelétricas movidas a combustíveis fósseis. Ou pior ainda, aquelas movidas a carvão, um combustível extremamente poluidor (Observatório do Clima, 2024).

São vários problemas decorrentes deste absurdo aumento no nível de emissão de dióxido de carbono pelo Marco Regulatório. Também é de se destacar a problemática da certificação do cumprimento destes limite, principalmente num país como o Brasil, padecendo de notória e endêmica corrupção, levando preocupação quanto à veracidade dos atingimento dos padrões de emissão de carbono emitidos pela planta de hidrogênio. É por isto que a referida nota técnica do Observatório do Clima (2024) se preocupa bastante com este aspecto:

“Ao permitir a participação de combustíveis fósseis na produção de hidrogênio, é fundamental implementar mecanismos de verificação das emissões ao longo da cadeia produtiva, garantindo que o hidrogênio seja genuinamente de baixo carbono e que os limites estabelecidos sejam cumpridos pelos produtores. A flexibilização desses limites, aliada à falta de instrumentos de verificação e fiscalização, cria brechas para a produção de hidrogênio poluente, o que é ainda mais preocupante quando subsidiado com recursos públicos”.

Isto sem falar que, conforme constatamos ao realizar a análise documental do documento legislativo em tela, em momento algum o texto da nova regulação trata do direito fundamental à água, ou mostra preocupação com relação às mudanças climáticas (Brasil, 2024).

Quanto aos processos de produção do hidrogênio de baixo carbono, ou rota tecnológica, levaremos em conta igualmente a nova legislação. Ou seja, trataremos aqui primeiramente quanto à produção de hidrogênio de baixa emissão de carbono, mas excetuando-se o hidrogênio renovável e o hidrogênio verde, os quais veremos também são de baixa emissão conforme o recém-aprovado Marco Regulatório do hidrogênio (Brasil, 2024).

A fim de entendermos as principais questões quanto aos empreendimentos de hidrogênio em desenvolvimento no Brasil, como o Hub de hidrogênio de baixo carbono que está sendo instalado no Porto do Açu, litoral norte do Estado do Rio de Janeiro, iremos realizar a análise do ciclo de vida do hidrogênio, explicando o processo da sua produção que “conhecida como rota tecnológica, é dividida em três principais macroprocessos: térmico, fotolítico e eletrolítico” BRAGA (2021).

A produção de hidrogênio, “conhecida como rota tecnológica, é dividida em três principais macroprocessos: térmico, fotolítico e eletrolítico” BRAGA (2021). Ou seja, a Indústria de Hidrogênio será considerada de baixo carbono acordo com a sua pegada de carbono: assim será classificada se absorver carbono, ao invés de liberar. Isto, levando-se em conta todas as operações envolvidas na cadeia industrial, desde o gasto energético para se construir cada um dos componentes das fábricas, escritórios e demais instalações, passando pelo carbono liberado para realizar cada um dos serviços demandados, desde o planejamento até a instalação e operação – e por toda a vida útil do empreendimento.

Neste sentido, socorremo-nos de estudo realizado pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Nacional (BNDES, 2022, p. 24) apontado o processo tido pelos especialistas como o mais utilizado até os dias atuais é o denominado processo por reforma a vapor do metano.

Neste modo de produção do hidrogênio, ele é extraído a partir de um outro elemento, em geral o gás natural. A “reforma a vapor” é um tipo de produção que geralmente se dá sem a utilização da captura e armazenamento de carbono (CCUS), denominado de hidrogênio cinza. Tal processo é aquele mais utilizado no Brasil e no mundo porque é reconhecido como o mais barato e com melhor eficiência energética (BNDES, 2022, p. 24).

O custo de produção de tal hidrogênio se dá na faixa de US\$ 1/kg (um dólar por quilograma), ainda segundo o estudo do BNDES (2022, p. 24) e, embora o combustível mais usado no processo de reforma a vapor seja o gás natural, podem ser utilizados outros elementos como o propano, a gasolina e o etanol.

#### **4.3.2 Hidrogênio renovável**

O Marco Legal do Hidrogênio também definiu o que seria o hidrogênio renovável (Brasil, 2024). Assim, “para os fins desta Lei e de sua regulamentação”, no inc. XIII do art. 4º temos a definição de:

XIII - hidrogênio renovável: hidrogênio de baixa emissão de carbono, combustível ou insumo industrial coletado como hidrogênio natural ou obtido a partir de fontes renováveis, incluindo o hidrogênio produzido a partir de biomassa, etanol e outros biocombustíveis, bem como hidrogênio eletrolítico, produzido por eletrólise da água, usando energias renováveis, tais como solar, eólica, hidráulica, biomassa, etanol, biogás, biometano, gases de aterro, geotérmica e outras a serem definidas pelo poder público;

Pela literalidade da lei reguladora, o hidrogênio renovável é obtido a partir de fontes renováveis, incluindo o hidrogênio produzido a partir de biomassa, etanol e outros biocombustíveis (Brasil, 2024).

Também é considerado renovável o do tipo eletrolítico, ou seja, cuja rota tecnológica é realizada com a produção “por eletrólise da água usando energias renováveis, tais como solar, eólica, hidráulica, biomassa, etanol, biogás, biometano, gases de aterro, geotérmica e outras a serem definidas pelo poder público” (Brasil, 2024).

Para a correta e completa compreensão desta classificação de hidrogênio renovável, trazida pelo marco regulatório, reportamos à análise das principais fontes de energias renováveis, feita no capítulo antecedente.

Além disto, pelas suas especificidades, analisaremos em separado, no tópico seguinte, o hidrogênio eletrolítico, mais conhecido como hidrogênio verde.

### **4.3.3 Hidrogênio verde**

Como já afirmado, ao menos no Brasil e por hora restou ultrapassado discutir o “Hidrogênio ‘Verde’”, ou hidrogênio de eletrólise, porquanto o Marco Regulatório na prática equiparou este, outrora classificado de verde, ao de baixa emissão de carbono (Brasil, 2024).

Basta voltarmos ao art. 4º do Marco Regulatório do Hidrogênio, para detectarmos ser este o único momento em que se trata do tipo “verde” de hidrogênio, tendo sido assim estabelecido que seria:

XIV - hidrogênio verde: hidrogênio produzido por eletrólise da água, utilizando fontes de energia renováveis, tais como as previstas no inciso XIII deste caput, sem prejuízo de outras que venham a ser reconhecidas como renováveis;

Como também já mencionado, a sociedade civil e ambientalista criticou duramente este desprestígio ao qual foi relegado o hidrogênio verde, o que pode levar o Brasil a perder mercado para o seu hidrogênio, muito mais emissor de carbono, até em torno do dobro que os países com regras mais frouxas, como são os Estados Unidos da América (Observatório do Clima, 2024).

A obra “Hidrogênio Verde: Nasce um Gigante no Setor de Energia”, de autoria de Francisco Diniz Bezerra (2021, p. 04) e editada pelo Banco do Nordeste, dá uma semelhante definição, apontando que o Hidrogênio verde é o “produzido por eletrólise, com eletricidade oriunda de fontes de energia renováveis, tais como solar, eólica, hidráulica, geotérmica, marés, dentre outras”.

E o que é a eletrólise? Hidrólise, segundo Santos Puga e Olortiga Asencios (2023, p. 15) é o processo físico-químico onde se produz uma corrente elétrica na água capaz de quebrar as ligações desta molécula, produzindo de um lado, num eletrodo (contato de onde sai a corrente), o oxigênio e do outro lado, no outro eletrodo, o hidrogênio. Continuam os pesquisadores afirmando que embora haja controvérsia acerca da definição exata de hidrogênio verde, ora também denominado de hidrogênio renovável, em geral o hidrogênio verde é tido como aquele em que, além da fonte de energia utilizada para a realização de todo

o processo industrial ser uma fonte de energia renovável, a rota tecnológica utilizada é a produção por meio desta técnica da hidrólise.

Saliente-se que produzir hidrogênio verde custa aproximadamente o triplo do anteriormente denominado de hidrogênio azul, o extraído pela reforma a vapor do metano e sendo capturado o GEE dióxido de carbono (Puga e Asencios, 2023, p. 15)

Contribuindo para as discussões acerca da importância destas fontes de energia renovável para a produção de hidrogênio – em especial o verde – a fim de descarbonizar a indústria, Robinson e Tennican (2024, p. 12), do *Oxford Institute for Energy Studies*<sup>38</sup> apontam, em livre tradução, que a eletricidade e o hidrogênio verde contribuam juntos para a transição energética, seria fundamental aumentar significativamente a produção de eletricidade renovável.

Neste sentido, continuam os pesquisadores apontando que, em especial, o hidrogênio verde muitas vezes, conta com subsídios para viabilizar sua expansão. Contudo, as metas de geração de energia renovável e os subsídios ao hidrogênio verde levantam dúvidas sobre a capacidade de atender, ao mesmo tempo, à demanda de ambos, razão pela qual as regulamentações da União Europeia buscam assegurar que o hidrogênio verde utilize apenas energia renovável "adicional", ou seja, aquela que não seria destinada à eletrificação de outros usos finais (Robinson e Tennican, 2024, p. 12).

Porém, em face da equiparação forçada que o Marco Regulatório do Hidrogênio promoveu entre o hidrogênio tido como verde, bem como o renovável, colocando todos na mesma régua do hidrogênio “de baixa” emissão de carbono, pouco há de se falar em especial acerca da espécie verde de tal combustível.

#### 4.4 Gasto hídrico na indústria do hidrogênio. Direito fundamental à água da população do entorno em face das mudanças climáticas.

---

<sup>38</sup> For electricity and green H2 both to contribute to the energy transition requires a major increase in the production of renewable electricity. Furthermore, for green hydrogen, subsidies are often available. However, targets for renewable generation and subsidies for green H2 inevitably raise questions about whether there will be sufficient capacity to meet the targets for both green H2 and electrification. This subsection looks briefly at EU regulations whose aim is to ensure that green H2 is using only “additional” renewable energy that would not otherwise be used to electrify end uses. ROBINSON David; TENNICAN, Michael. Electricity, Green Hydrogen, and the Energy Transition Energy Insight, n. 160, Decemer2024. London: Justor/Oxford Institute for Energy Studies. <https://www.jstor.org/stable/resrep65235>

Neste tópico, já tendo descoberto que os recursos hídricos são um dos principais insumos da indústria de hidrogênio, em especial na rota tecnológica do hidrogênio verde, investigaremos se tal consumo de água seria alto ou baixo.

Analisaremos as relações entre o gasto hídrico nas plantas de produção do hidrogênio de “baixa’ emissão de carbono” e o eventual aumento do estresse hídrico nas regiões onde se instalam, ao longo do tempo e à medida que as mudanças climáticas tragam cada vez mais violentos eventos influenciadores da disponibilidade hídrica.

Se o funcionamento deste tipo de indústria puder causar a diminuição da disponibilidade hídrica local, por eventos como secas e avanço do mar, tentaremos apontar se haveria a necessidade da previsão, nos projetos ambientais de instalação e funcionamento da indústria, de mecanismos para mitigar o impacto do aquecimento global no consumo de água.

Caso haja a necessidade de se prever os efeitos das mudanças climáticas na disponibilidade hídrica, com a decorrente imposição da obrigação de mitigar os efeitos danosos, buscaremos a fundamentação para estas obrigações.

Parece ser mais efetivo não nos basear no princípio constitucional da precaução, tese que aparentemente poderia ser aplicável ao caso, mas de demorada comprovação, o que seria impossível para o escopo deste trabalho. Ao invés disto, tentaremos buscar o fundamento deste eventual dever de observância nos já estudados princípios do Direito Climático.

#### **4.4.1 O acesso à água como um direito fundamental.**

Precisamos analisar, se o acesso à água pela população primeiramente poderia ser considerado como um direito humano, que como veremos tem um escopo mais amplo, de natureza universal porquanto seria um direito ínsito à própria condição humana. Após analisada tal direito como humano, analisaremos se o mesmo também pode ser tido como um direito fundamental, porquanto contaria com proteção de índole constitucional.

E sendo, se tal garantia deveria ser observada pelos empreendimentos de produção de hidrogênio, uma vez que se viu no tópico anterior o enorme gasto hídrico que sua fabricação acarreta.

##### **a) Água como direito humano.**

O Autor desta dissertação pesquisou, dentre outros temas, sobre a existência de direito humano, e no caso positivo mesmo do direito fundamental, de acesso à água enquanto fez

parte do Centro de Pesquisa de Jurisdição Constitucional<sup>39</sup> (CPJC), da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, cujas pesquisas são lideradas pelo professor Emerson Affonso da Costa Moura e pela professora Rosalina Corrêa de Araújo.

Como resultado destas pesquisas, foi publicado em 2022 o artigo<sup>40</sup> “A concretização do Direito Humano Fundamental de Acesso à Água como pressuposto para a implementação do Direito à Saúde” na obra “Diálogos dos Direitos Humanos”, lançada em Portugal pelo Instituto Iberoamericano de Estudos Jurídicos (IBEROJUR).

No citado artigo de Moura e Vasconcelos (2022, p. 610), é apontado o longo caminho até o reconhecimento do direito à água, basta notarmos que nem a Declaração Universal dos Direitos Humanos previu a água como um direito humano (apesar do reconhecimento da dignidade inerente ao ser humano), muito menos tal direito restou previsto pelo Pacto Internacional sobre os Direitos Econômicos, Sociais e Culturais, embora aborde a necessidade de proteção de um nível de vida adequado.

Continuamos mencionando, no artigo publicado junto com o Professor Emerson Affonso, que apenas em 1977 a Conferência da ONU sobre a Água “reconheceu pela primeira vez a água como um direito ao declarar que qualquer homem têm direito a ter acesso a água potável em quantidade e qualidade igual às suas necessidades básicas”. Também lembramos de outros diplomas internacionais prevendo tal direito como um dos direitos de pessoas vulneráveis, como foram a “Convenção sobre a Eliminação de Todas as Formas de Discriminação Contra as Mulheres e a Convenção sobre os Direitos da Criança” (Moura e Vasconcelos, 2022, p. 610).

Ainda apontamos vários outros diplomas internacionais que tratam do direito de acesso à água, como na Conferência Internacional sobre a Água e o Desenvolvimento Sustentável:

“na Conferência Internacional sobre a Água e o Desenvolvimento Sustentável protege-se o acesso à água limpa, inclusive, a um preço acessível e na Convenção sobre o Ambiente e o Desenvolvimento o acesso à água potável é reconhecida como uma premissa acordada em comum” (Moura e Vasconcelos, 2022, p. 610).

Em suma, diante de todos os fundamentos trazidos, apontando também os respectivos diplomas internacionais, entende-se como comprovado o direito de acesso à água

---

<sup>39</sup> O Centro de Pesquisa de Jurisdição Constitucional (CPJC) é uma instituição de pesquisas em Direito Constitucional vinculada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.unirio.br/ccjp/escola-de-ciencias-juridicas/projetos-de-pesquisa-direito/grupos-de-pesquisa> Acesso em: 21 jan. 2025.

<sup>40</sup> O artigo foi escrito junto com o professor Emerson Affonso da Costa Moura, Egresso do nosso Programa de Mestrado em Direito Constitucional da Universidade Federal Fluminense (UFF), também Doutor em Direito pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e Professor de Direito na Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (Unirio) e na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ).

primeiramente como um inegável direito humano. Estes direitos seriam aqueles os quais se fundamentam na concepção colocada por Flávia Piovesan (2004) no sentido de que “são precipuamente uma reivindicação moral, de modo que eles nascem quando devem e podem nascer”. Neste sentido, a sucessiva consagração da água limpa e potável como um direito humano comprovam este argumento.

#### b) Água como direito fundamental implícito na constituição federal de 1988.

Antes de discorrer acerca da fundamentalidade do direito à água, precisamos definir o quanto seria um direito fundamental, razão pela qual trazemos a definição de Ingo Sarlet acerca do termo. O doutrinador aponta certa confusão usualmente feita, quando os direitos fundamentais são tidos como sinônimo de “direitos humanos”, ou estes são nomeados de “liberdades fundamentais” ou “direitos humanos fundamentais”, dentre tantas outros sinônimos e ampliando a confusão (SARLET, 2015).

Enfrentamos a questão da água como direito fundamental, assegurado pela Constituição Federal do Brasil, embora não de forma explícita no já referido artigo elaborado junto com os pesquisadores Pedro Curvello Saavedra Avzaradel e Nelbe Nelsi Santana, onde defendemos a tese da fundamentalidade do direito à água, pois:

" a Constituição Federal prevê tal obrigação em várias passagens, como quando:

- em seu art. 21, XX, atribui ao ente político União competência para ‘instituir diretrizes para o desenvolvimento urbano, inclusive habitação, saneamento básico e transportes urbanos’;
- no art. 23, IX, determina ser competência comum da União, Estados, Distrito Federal e Municípios promover programas para a ‘construção de moradias e a melhoria das condições habitacionais e de saneamento’.

Insistimos, neste mesmo sentido, em mais outro artigo nosso, resultado da participação no “III Seminário sobre Democracia, Cidadania e Estado de Direito (III SIDeCiED)”, realizado de 21 a 23 de setembro de 2021 e organizado pela Universidade de Vigo em parceria com a Universidade Federal Fluminense, entre outras instituições nacionais e internacionais. No artigo, que escrevemos junto com a pesquisadora Juliana Bezerra Fernandes<sup>41</sup>, discutimos questões relacionadas ao direito à água como um direito fundamental implícito na CF de 1988, com base na sua dupla fundamentalidade (Vasconcelos e Fernandes, 2021).

No referido artigo apresentado para Grupo de Trabalho (GT) do III SIDeCiED/Vigo (ES), afirmamos que o termo direitos fundamentais é utilizado na CF/88 inspirando-se “na Lei Fundamental da Alemanha e na Constituição portuguesa de 1976”, bem como que os “direitos

---

<sup>41</sup> Advogada e professora, Juliana Bezerra Fernandes é Graduada e Mestre pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).



fundamentais são aqueles reconhecidos e positivados constitucionalmente no ordenamento de um determinado Estado, e sujeitos ao duplo regime de fundamentalidade formal e material” (Vasconcelos e Fernandes, 2021).

Por sua vez, no artigo elaborado junto com o Professor Emerson Affonso, publicado após aquele do III SiIDeCiED, corroborando o mesmo entendimento, do direito à água ser um direito fundamental, acrescentando outros argumentos,. No trabalho trouxemos um entendimento que se molda ao presente ponto, quando afirmamos da água ser, sim um direito fundamental, pois apesar dos dispositivos da constituição brasileira não veicularem expressamente a água como direito fundamental, pode-se extrair o direito fundamental, como no caso à água, “não apenas da cláusula geral da dignidade da pessoa humana, uma vez que corresponde a direito correlato à garantia da existência plena e autônoma do homem” mas também da própria proteção a outro direito fundamental , o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado (Moura e Vasconcelos, 2022, p. 613).

Entendemos portanto, do direito de acesso à água não só ser um direito humano, mas é mesmo um direito fundamental e desta forma o Estado deve dispor de todos os meios possíveis para fazer cumprir e proteger tal direito fundamental.

#### **4.4.2. Consumo de água, frente a cada vez menor disponibilidade hídrica causada pelas mudanças climáticas: existe água suficiente para a indústria de hidrogênio?**

Agora pesquisando acerca do consumo de água na indústria do hidrogênio, veremos que já vem de algum tempo a discussão, nos âmbitos técnico e acadêmico, acerca do gigante consumo de água necessário para manter o funcionamento de tal indústria, sendo tal fato algo largamente conhecido como sendo uma das suas principais questões ainda não resolvidas acerca desta indústria.

Pela importância central para o objeto das pesquisas de nossa dissertação, embora o elevado consumo hídrico seja tido como uma das grandes desvantagens do vetor energético e apesar de já termos mencionado algumas dos principais prós e contras do hidrogênio, entendemos topograficamente de tratar tal assunto neste momento, tendo em vista a sua essencialidade para alcançar os objetivos da pesquisa, adiantando que estamos nos encaminhando para finalização deste trabalho.

Entre as várias pesquisas apontando desvantagens e, quando possível, sugerindo eventuais soluções para os problemas relacionados à solução do hidrogênio, veremos em especial que aquelas tendo como objeto o hidrogênio gerado pela eletrólise da água – fenômeno que já foi explicado quando apresentamos a definição de hidrogênio verde – são as

com a rota tecnológica responsável pelo uso mais intensivo em água do que a produção realizada pela reforma do gás metano, ou a que utiliza etanol ou metanol, dentre outros exemplos.

Waldemar Gehring Junior, pesquisador em Sustentabilidade e Gestão de Recursos Hídrico na USP e na UNESP, ex-professor desta última e atualmente consultor de empresas, já em 2023, numa artigo jornalístico de Serpa Lopes, do Diário do Nordeste, afirmava que na indústria de hidrogênio há um consumo absurdo de água, sendo proporcional ao tamanho da planta e à produção do hidrogênio.

Segundo os cálculos estequiométricos<sup>42</sup> realizados pelo ex-professor da UNESP Waldemar Júnior (2023), a massa de água gasta numa produção industrial de hidrogênio seria em torno de 900% maior que a massa de hidrogênio produzida. De tal forma que mesmo se for usada a água dessalinizada, haverá uma gigantesca poluição causada principalmente pelo sal e outros elementos produzidos causando uma ‘hipertonicidade do meio’.

Tal perspectiva é confirmada pelo próprio Estudo de Impacto Ambiental (EIA) do *Hub* de Hidrogênio do Porto do Açú, quando aponta que “cada 1 GW necessidade 200 m<sup>3</sup>/h de água ultrapura/desmineralizada”. Ou seja, a cada um milhão de toneladas de água – ou seja um bilhão de quilogramas de água – consumidas, somente seriam produzidas cem mil toneladas de água (ultrapura/desmineralizada), que é aquela apta à produção de hidrogênio verde (Rio de Janeiro (Estado), 2023b, p. 192).

Um leigo quanto ao funcionamento da indústria de hidrogênio poderia imaginar que o gasto de água ficaria nestes termos e neste montante. Acontece que, segundo projeção da própria consultoria encarregada de realizar o EIA, o gasto de água para resfriar este tipo de planta industrial seria o dobro do consumo hídrico para a própria extração do hidrogênio. Vemos no documento que o gasto de água para resfriar é estimado de que seja de 400.000 L/h por GW de capacidade do eletrolisador. Ou seja, o gasto de água necessário apenas nestes dois usos da água, para cada GW produzido, já passaria de  $200.000 + 400.000 = 600.000$  L/h (Rio de Janeiro (Estado), 2023b, p. 193).

Mas isto não é tudo. Ainda apenas focando nestes dois tipos de gastos com água, estamos até aqui falando em uma espécie de “saldo líquido” da quantidade de água. Porém, temos de atentar é para o chamado Consumo de Água Bruta para os três tipos de fontes de água bruta que o projeto do *Hub* de Hidrogênio do Porto do Açú prevê: subterrânea, do mar e residual tratada. E a quantidade de água bruta necessária é de 40% a mais, se o projeto

---

<sup>42</sup> Segundo Jesus (2018), o Cálculo Estequiométrico são os cálculos realizados para se descobrir a massa (grandeza cotidiana e erroneamente chamada de “peso”) de cada um dos elementos presentes nas reações químicas, tanto os elementos iniciais quanto o(s) resultante(s), após a respectiva reação química.

utilizar-se de água subterrânea, 50% a mais se for água residual tratada, sendo por fim de 330% a mais se for de água do mar (Rio de Janeiro (Estado), 2023b, p. 195).

Além deste gasto de água, deve-se levar em conta o gasto energético para deixar a água tratada, sendo de 2 kWh para a água subterrânea, de 2,2 kWh para água residual tratada e 7kWh para a água do mar (Estado), 2023b, p. 197).

Vendo que há a situação é ainda pior caso seja usada água doce como fonte da água, porquanto muito provavelmente estaríamos eliminando uma fonte de água no local da produção para que, após o uso do hidrogênio no mercado consumidor, neste outro local venha a surgir como subproduto do processo, a água ou vapor d'água (Serpa, 2023). Ou seja, na análise dos danos ambientais haver-se-ia de considerar que o balanço hídrico no local de produção do hidrogênio é negativo enquanto no local de consumo é positivo.

Mais tal situação não é tão novidade. Alguns anos antes já havia sido realizado um robusto trabalho de pesquisa, conduzido por cientistas liderados por Oliveira, Beswick e Yan (2021) vinculados ao Departamento de Energia Química e Molecular do Centro de Ciência e Tecnologia Catalítica da Universidade de Delaware (Newark-EUA). Contando com a maioria dos pesquisadores de origem brasileira, a questão científica, ou problema, objeto de investigação, parece bastante com aquele tratado nesta dissertação.

Os resultados da pesquisa foram expostos no artigo *Does the Green Hydrogen Economy Have a Water Problem?*, publicados na revista *Current Opinion in Chemical Engineering*, quando Oliveira, Beswick e Yan (2021) lançaram a seguinte questão científica: “Existe água suficiente para apoiar uma economia de hidrogênio?”.

No referido artigo, os pesquisadores defendem que realmente há um enorme consumo de água por parte da indústria de hidrogênio, em especial quando se trata do hidrogênio produzido por meio da eletrólise, quando se introduz uma corrente elétrica num recipiente com água, onde esta molécula irá se decompor nos seus átomos componentes: oxigênio e hidrogênio. Mas também há um grande consumo de água, inclusive como um agente de transferência de calor, no método de produção pela reforma do metano<sup>43</sup>.

Já agora em 2025 também foi publicado, na Revista *Nexus*, o artigo *Water-conscious Green Hydrogen and Methanol Production: A Technoeconomic Review*, onde desde o título já

---

<sup>43</sup> Os autores do artigo *Does the Green Hydrogen Economy Have a Water Problem*, Oliveira, Beswick e Yan (2021), discorrem sobre a preocupação com o intenso uso da água nos processos industriais relacionados aos empreendimentos de hidrogênio: *As renewable electricity prices drop and improvements in electrolyzer efficiency are achieved, some critics have begun to ask a question about the second ingredient: is there enough water to support a hydrogen economy? Some argue that the answer is no, due to perceived significant water demand throughout the entire production process, including the use of water as a feedstock and a cooling agent for thermoelectric methods of producing hydrogen such as steam methane reforming (SMR).*

se nota a preocupação com o grande uso de água na indústria de hidrogênio, em especial a que usa o método que leva ao denominado hidrogênio verde.

O título do artigo inicia-se apontando a palavra *water-conscious*. Para melhor entendermos o artigo, a começar pelo título, procuramos obras que contivessem o termo em repositórios internacionais, como o Justor<sup>44</sup>, sem encontrar artigos sobre este termo. Também buscamos o verbete em importantes dicionários da língua inglesa como Oxford e Cambridge<sup>45</sup>, sem sucesso, pelo que certamente estamos diante de um neologismo, de um novo termo inventado pelos autores do trabalho.

*Water-conscious* parece-nos, assim, ser algo no sentido de se procurar minimizar o consumo de água, otimizando o gasto em todas as etapas do processo produtivo e com uma preocupação com a disponibilidade hídrica local.

Wenzel, Müller, Harzendorf *et al* (2025, p. 02) enfatizam, no referido trabalho científico<sup>46</sup>, que é essencial uma conscientização para a produção ecológica de água, principalmente porquanto em geral, onde há melhores condições para a produção de hidrogênio verde, por conta da alta porcentagem de fornecimento de energia por métodos de energia renováveis, em geral são exatamente as regiões que já sofrem para fornecer água até para as cidades ali localizadas (Wenzel, Müller, Harzendorf *et al*, 2025, p. 02).

Estima-se que em torno de 40% dos projetos por eletrólise anunciados são situados em regiões que já enfrentam um estresse hídrico. Desta forma, os autores Wenzel, Müller, Harzendorf *et al* (2025, p. 02) apontam que seria essencial promover formas de economia de água, ou identificar e implementar alternativas sustentáveis de fornecimento de água a fim de se prevenir cancelamento ou atrasos de projetos.

#### **4.4.3 Haveria a necessidade de previsão, nos projetos da indústria de hidrogênio, da diminuição da disponibilidade hídrica causada pelas mudanças climáticas mencionadas pela ciência?**

<sup>44</sup> Fonte: Repositório Jstor. *Available from:* <https://www.jstor.org/action/doBasicSearch?Query=water-conscious&so=rel> *Access in:* 12 jan. 2025

<sup>45</sup> Buscas também realizadas no Oxford Dictionary (Disponível em: <https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/us/spellcheck/english/?q=water+conscious> Acesso em: 13 jan. 2025 e no Cambridge Dictionary (Disponível em: <https://dictionary.cambridge.org/spellcheck/english-portuguese/?q=water+conscious> Acesso em: 13 jan. 2025)

<sup>46</sup> No original: Besides green production, water-conscious production is crucial. Although the green hydrogen and methanol economy is not expected to face a water problem on a global scale 8, regional disparities will pose challenges. This is particularly relevant as many well-suited regions for hydrogen and methanol production due to high renewable energy potentials coincide with regions suffering from water scarcity. The necessity for water-conscious production pathways is emphasized here, as 40% of the announced electrolysis projects are situated in regions that are experiencing water stress 7. In order to prevent project cancellations or delays, it is therefore imperative to identify and implement sustainable water supply alternatives or water-conscious production methods.

O Direito Climático, na sua subdivisão denominada de Direito Constitucional Climático, por assim dizer a parte doméstica do Direito Climático, como já vimos no capítulo anterior busca seu fundamento nas obrigações que o Estado tem de formular políticas públicas, fazendo o próprio Estado e a sociedade agir ou se omitir de forma a diminuir os problemas ambientais.

Ou seja, num primeiro momento o Direito Climático, na sua vertente constitucional, aponta possíveis soluções para a diminuição – e posteriormente até a reversão – do aquecimento global e as suas graves consequências das mudanças climáticas.

Já o Direito Internacional Climático busca o alinhamento do sistema jurídico pátrio aos compromissos internacionais assumidos, como vários diplomas que já apontamos no capítulo anterior, a Declaração dos Direitos da Água, o Acordo de Paris ou as Obrigações do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, devendo as nações seguirem seus princípios inclusive quanto a documentos não-vinculantes, como cartas de intenções.

E analisando o Relatório Síntese do IPCC (2023, p. 21) sobre Mudança Do Clima, segundo dados ainda de no máximo 2 (dois) anos atrás, metade da população mundial já enfrentava uma grave escassez de água por conta da “combinação de fatores climáticos e não climáticos”.

Sem falar que as mudanças climáticas estão provocando graves impactos nos ecossistemas terrestres e também de água doce, afetando a distribuição física de água, e prejudicando aspectos como o “equilíbrio da água disponível de várias fontes, incluindo água subterrânea, qualidade da água e demanda de água” (IPCC, 2023, p. 23).

Como um argumento complementar, anotamos que já com nossas pesquisas adiantadas e perto da sua finalização, houve a edição da primeira norma de agência reguladora do Brasil, ao menos até onde temos conhecimento foi a primeira orientação técnica regulatória determinando que a observação dos impactos das mudanças climáticas.

Trata-se da Nota Técnica nº 95/2024-STR/ANEEL, a qual determinou que a rede elétrica e os recursos energéticos fossem utilizados de forma eficiente, observando uma transição energética justa, considerando “a) Segurança Energética: capacidade de atender a demanda atual e futura de energia; b) Sustentabilidade Ambiental: capacidade de mitigar e evitar a degradação do meio ambiente e os impactos das mudanças climáticas” (Brasil, 2024, p. 4-5).

Ora, apesar de ter sido emitida pela agência reguladora de outro setor, qual seja a do setor elétrico, parece-nos que apontar tal normativa se reveste de importância para o estudo.

Primeiramente porque a indústria de energia tem vários pontos de conexão com a indústria de hidrogênio. Além disto, também entendemos haver interesse tanto porquanto a energia é um dos principais insumos da indústria de hidrogênio, como porque uma grande parte do destino do hidrogênio é direcionada para a produção de energia, de forma imediata ou mediata.

Notamos que a emissão desta normativa da agência regulatória do setor elétrico vai no mesmo sentido da hipótese aventada nesta dissertação. O cerne de nossa hipótese é a necessidade dos projetos da indústria estudada preverem a diminuição da oferta hídrica ao longo do tempo por conta das mudanças climáticas. Já a normativa da ANEEL vai no mesmo rumo de mitigar e evitar “os impactos das mudanças climáticas” (Brasil, 2024, p. 5).

Notamos que embora a regulação emitida pela ANEEL não trate diretamente da indústria de hidrogênio, sua preocupação com a mudança climática está intimamente relacionada aos desafios também enfrentados pela indústria de hidrogênio, ora objeto de estudo, especialmente quanto à produção de hidrogênio verde, que depende de recursos hídricos em larga escala e, portanto, seria mais suscetível à diminuição da futura da disponibilidade hídrica. Acreditamos que a análise dos impactos das mudanças climáticas na indústria de energia seria de mesmo grau de importância que na indústria do hidrogênio verde, especialmente em relação ao uso da água. A escassez hídrica, que piora bastante ao longo do tempo com as mudanças climáticas, exige uma abordagem regulatória robusta e integrada, que considere tanto os desafios técnicos quanto os riscos ambientais e sociais.

Nesse contexto, a análise de normativas como a Nota Técnica nº 95/2024-STR/ANEEL revela a importância de medidas cautelares e de planejamento sustentável para garantir a viabilidade de empreendimentos energéticos, em especial aqueles relacionados ao hidrogênio de baixo carbono, de forma alinhada a princípios do Direito Constitucional Climático voltados à sustentabilidade e preservação dos recursos naturais.

Portanto, embora não possamos cravar uma resposta certa à questão se há a necessidade de previsão, nos projetos da indústria de hidrogênio, da diminuição da disponibilidade hídrica causada pelas mudanças climáticas mencionadas pela ciência, podemos indicar uma direção no sentido de que deveria haver, sim, esta previsão.

#### 4.5 *Hub* de Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono do Porto do Açú: análise documental.

Passaremos à análise documental referente ao Projeto do *Hub* de e Hidrogênio e Derivados de Baixo Carbono do Porto do Açú, no Município de São João da Barra, Estado do Rio de Janeiro. Seguiremos uma ordem que entendemos mais lógica e de melhor compreensão. Assim é que começaremos analisando a Instrução Técnica referente ao *Hub*,

emitida pela Presidência do órgão ambiental do Estado do Rio de Janeiro, o Instituto Estadual do Ambiente – IENA<sup>47</sup>.

Continuaremos com a análise do Estudo de Impacto Ambiental (EIA), documento que se não for o mais importante é certamente o mais completo em todo o processo administrativo ambiental referente ao licenciamento do *Hub*, com algo em torno de 3.500 páginas de uma linguagem que, embora os técnicos em geral tentem fazer o mais inteligível possível, ainda assim não pode fugir de um linguajar técnico, de um dialeto repleto de tecnicidades.

Saliente-se que, por conta desta grande quantidade de páginas de documento a analisar, além de estudarmos todas as partes dos documentos relacionadas à água e recursos hídricos, ainda realizarmos buscas textuais utilizando dos principais termos relacionados ao objeto da presente pesquisa. E, por fim, usamos a ferramenta de Inteligência Artificial de um dos principais leitores de arquivos do tipo “.PDF” do Foxit PDF Reader, na sua versão 2024.4.7.270.683.

Após carregar o Eia-Rima, produzimos o seguinte “prompt” para o assistente de IA: “No EIA e no RIMA existem passagens levando em conta as mudanças climáticas na disponibilidade hídrica para a população, a médio e longo prazo, por conta do alto consumo de água do projeto do Hub de Hidrogênio de baixa emissão de carbono do Porto do Açu?”.

Como resposta, o assistente de IA não retornou nenhuma ocorrência no documento onde se tivesse havido a preocupação com os efeitos das mudanças climáticas na disponibilidade hídrica do projeto de *Hub* de Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono no Porto do Açu.

---

<sup>47</sup> Até o momento de encerrar a pesquisa, apesar de várias solicitações, não conseguimos acesso à ata e/ou gravação da audiência pública referente ao Projeto. Quanto a todos os demais documentos efetivamente analisados, são de domínio público:

RIO DE JANEIRO (ESTADO). Instituto Estadual do Ambiente - INEA. **Instrução Técnica COOEAM/PRES Nº 02/2023. Instrução Técnica para análise da viabilidade ambiental da Implantação de um HUB de Hidrogênio e Derivados de Baixo Carbono no Complexo Industrial do Porto do Açu, em São João da Barra, Estado do Rio de Janeiro** Processo SEI-070002/002411/2023. Rio de Janeiro: INEA, 2023a. Disponível em: [https://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2023/04/SEI\\_50849282\\_Instrucao\\_Tecnica.pdf](https://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2023/04/SEI_50849282_Instrucao_Tecnica.pdf) Acesso em: 21 jan. 2025.

\_\_\_\_\_. **Processo SEI-070002/002411/2023. Estudo de impacto ambiental (EIA) para análise da viabilidade ambiental da implantação de um hub de hidrogênio e derivados de baixo carbono no complexo industrial do Porto do Açu, em São João da Barra, sob responsabilidade da Porto do Açu Operações S.A.** Rio de Janeiro: INEA, 2023b. Disponível em: [https://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/downloads/EIA-RIMA/Hub\\_H2\\_Derivados\\_Baixo\\_Carbono\\_PDA\\_EIA-RIMA.zip](https://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/downloads/EIA-RIMA/Hub_H2_Derivados_Baixo_Carbono_PDA_EIA-RIMA.zip). Acesso em: 21 jan. 2025.

\_\_\_\_\_. **Processo SEI-070002/002411/2023. Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) do Hub de Hidrogênio.** Rio de Janeiro: INEA, 2023c. Disponível em: [https://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/downloads/EIA-RIMA/RIMA\\_Hub\\_H2\\_Derivados\\_Baixo\\_Carbono\\_PDA.zip](https://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/downloads/EIA-RIMA/RIMA_Hub_H2_Derivados_Baixo_Carbono_PDA.zip) Rio de Janeiro: INEA, 2023c. Acesso em: 21 jan. 2025.

Após, realizaremos o estudo do respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), documento que em geral não traz muita novidade acaso se tenha enfrentado anteriormente o EIA, uma vez que é uma espécie de resumo, com uma linguagem ainda técnica porém bem mais inteligível para a sociedade em geral do que seria o EIA.

Por fim, deveríamos também completar a análise com o escrutínio popular. Ou seja, analisando aquele que, ao menos em tese deveria ser o mais democrático dos documentos em um processo legal administrativo ambiental como este, que seria a documentação da Audiência Pública. A Audiência é onde a sociedade tem o direito à fala e assim deveria ser a documentação mais democrática do processo ambiental. Porém, apesar de reiteradamente solicitado tal documento no transcorrer do último ano de nossa dissertação, nossos pedidos foram solenemente ignorados.

Ainda tentando conseguir o documento relacionado à audiência, reiteramos o pedido de forma mais solene, novamente solicitando informações ao INEA. Explicando a necessidade de acesso ao documento para uma pesquisa científica, comprovamos nossa identidade e a condição de pesquisador, com declaração formal da UFF neste sentido. Demos conta no e-mail de que não encontrávamos os documentos referentes à audiência no *site* institucional, inclusive colocando que o “link” onde deveriam constar as audiências públicas (<https://www.inea.rj.gov.br/audiencias-publicas>) estava “quebrado”, ou seja, não funcionavam, dando erro.

Porém, não foi fornecido um documento escrito, como uma Ata ou transcrição da audiência. Apenas foi enviado o link para o próprio EIA (aliás documento que já havíamos conseguido). Além da sugestão de que tentássemos conseguir os documentos solicitando em outro setor. Recebemos resposta deste outro, que foi no sentido de que realizássemos uma tentativa com outro órgão público.

Ou seja, passou-se a pesquisa e não se conseguiu as notas taquigráficas, ata ou qualquer documento relacionado com a respectiva Audiência Pública. Finalmente se decidiu, diante deste obstáculo, desistir da busca destes importantes documentos relacionados à Audiência Pública, mormente porquanto o prazo para finalizar a dissertação estava se esvaindo.

#### **4.5.1 Breve contextualização econômica dos principais projetos de hidrogênio no Brasil (CE, RJ, PE e RS). Importância do *Hub* do Porto do Açu como uma referência nacional.**



Pesquisa realizada até início de 2024 com a participação da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) e Fundação Bi-nacional Rosa Luxemburgo (Brasil/Paraguai), apontou uma enorme demanda internacional por hidrogênio, principalmente da Europa e em particular da sua maior economia, a Alemanha. Assim, acabaram por serem “criados polos (hubs) de hidrogênio verde, estando os principais projetos localizados nos portos de Pecém (CE), Suape (PE), Açú (RJ) e Rio Grande (RS)” por estarem em regiões com grandes vantagens competitivas e dinamismo econômico (Rosa Luxemburgo, 2024).

Ainda em 2024 o Ministério de Minas e Energia/MME realizou chamada para o incentivo à instalação de *Hubs* de hidrogênio para descarbonização da indústria do Brasil, recebendo 70 propostas de 20 estados em todas as regiões.

Afinal, em dezembro de 2024, ao divulgar o resultado da seleção de projetos de *hubs* de hidrogênio de baixa emissão de carbono, o MME (2024, p. 1) informou que foi aprovado apenas uma dúzia dentre estes projetos.

Desta forma, foram escolhidos os Hub de Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono em três estados da Região Sudeste (RJ, SP e MG), três no Nordeste (BA, PE e CE), apenas um no Sul (PR) e nenhum nas regiões Norte e Centro-Oeste MME (2024, p. 1).

Dentre os aprovados no Estado do Rio de Janeiro está o *Hub* H2 Açú. Escolhemos este empreendimento como exemplo de nossa análise, por óbvio mesmo antes dele ser escolhido como um dos melhores projetos pelo MME.

O principal motivo de nossa escolha em especial por este *Hub* é que havia um genuíno interesse em realizarmos uma pesquisa de campo na região do entorno do referido projeto, mesmo porque boa parte da família do pesquisador reside no norte fluminense, região próxima da localização do empreendimento. Porém, por conta de várias questões adversas, tal pesquisa de campo restou não realizada, talvez sendo afinal completada em futura continuação das pesquisas.

#### **4.5.2. Diretriz DZ-041.R-13.**

No âmbito do Estado do Rio de Janeiro existe uma normativa que determina a elaboração de uma “Instrução Técnica” pelo órgão ambiental, para orientar a apresentação dos documentos ambientais de cada projeto submetido ao processo administrativo de aprovação das licenças ambientais. É a Diretriz DZ-041.R-13, aprovada pela Deliberação CECA/CN nº 3.663, de 28 de agosto de 1997, publicada no Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro

(DOERJ) de 29/08/1997 (Rio de Janeiro (Estado), 1997). Segundo a própria norma, a Diretriz DZ-041.R-13 é necessária para cumprir o disposto na Lei nº 1.356/88 e nas Resoluções CONAMA nº 001/86, 011/86 e 2/96, como parte integrante do Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras – SLAP.

Segundo a Diretriz DZ-041.R-13, cada Instrução Técnica é emitida como um norte para a elaboração dos documentos técnicos de avaliação ambiental a serem entregues pela consultoria contratada pelo empreendimento, como o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), além da Audiência Pública, burocracia necessária e essencial para a concessão das licenças ambientais (Rio de Janeiro (Estado), 1997).

A Diretriz DZ-041.R-13, no subitem 3.11, determina como deve ser elaborada cada Instrução Técnica pela Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente - FEEMA<sup>48</sup>, atualmente IENA, ao determinar “o conteúdo e a profundidade do Estudo de Impacto Ambiental (EIA), especificando os elementos e informações essenciais para a decisão quanto ao licenciamento do projeto” (Rio de Janeiro (Estado), 1997).

Analisando-se ainda a referida normativa direcionadora dos documentos ambientais (Rio de Janeiro (Estado), 1997), entendemos pela existência de conceitos que deveriam orientar a elaboração dos documentos de índole ambiental, porquanto veiculam definições relacionadas com a nossa preocupação acerca dos impactos ambientais advindos das mudanças climáticas, definindo o que seria “Impacto a Médio ou Longo Prazo” no item 3.2.9, quando o impacto se manifesta certo tempo após a ação; e no item 3.2.12 trazendo a definição de “Impacto Cíclico”: quando o efeito se manifesta em intervalos de tempo determinados.

Portanto, já da análise da apresentada Diretriz, orientadora dos pontos que devem constar na obrigatória Instrução Técnica, já poderíamos inferir que os impactos advindos das mudanças climáticas deveriam constar dos documentos ambientais necessários para a aprovação do projeto, como o EIA, o RIMA e mesmo serem objeto de debate na audiência pública. Chegaríamos a este raciocínio porquanto tais impactos seriam de médio ou longo prazo, também podendo ser cíclicos, consistindo na deflagração de uma crise hídrica em face do elevado gasto de água mesmo com a diminuição da oferta hídrica

Também notamos no item 3.25 da Diretriz DZ-041.R-13, que resta importante a análise da Magnitude de um Impacto que é definida como a medição da quantidade do “parâmetro ambiental, em termos quantitativos ou qualitativos, considerando-se, além do grau

---

<sup>48</sup> O FEEMA foi fundido com outros órgãos estaduais que tratavam de matéria ambiental e de recursos hídricos, se transformando no atual IENA (Rio de Janeiro (Estado), 2007).

de intensidade, a periodicidade e a amplitude temporal do impacto” (Rio de Janeiro (Estado), 1997).

Portanto, entendemos que também restaria a necessidade de, nos documentos como EIA e RIMA, se prever o impacto advindo de uma futura crise hídrica, porquanto mesmo diminuindo-se a oferta hídrica pelos efeitos das mudanças climáticas, acaso haja a continuidade da captação de água nos mesmos moldes pelo empreendimento de hidrogênio, provavelmente será ferido de morte o direito fundamental de acesso à água.

#### **4.5.3 Instrução técnica COOEAM/PRES nº 02/2023 do *Hub* do Porto do Açú.**

A instrução técnica que foi editada para orientar a elaboração, pela consultoria contratada pelo empreendimento, para a elaboração dos documentos técnicos necessários para a aprovação do *Hub* de Hidrogênio do Porto do Açú, foi a Instrução Técnica COOEAM/PRES Nº 02/2023.

Passaremos à análise da citada instrução técnica, quanto aos seus eventuais direcionamentos relacionados aos recursos hídricos.

Neste sentido, notamos que em seu item 2.1.5. depreende-se a obrigação de apresentar imagem georreferenciada de todos os corpos hídricos existentes, incluindo nascentes e áreas alagadas, sendo que no item 4.5.4. há a determinação do detalhamento de quaisquer “corpos hídricos” encontrados na região se dar por imagens de satélite ou aéreas (Rio de Janeiro (Estado), 2023a).

Notamos, como entendemos não se esperaria diferente num projeto com altíssimo consumo de água, um grande cuidado com a questão hídrica por parte da Instrução Técnica, como um norte para os documentos seguintes do processo de licenciamento. Percebe-se a preocupação neste sentido, senão basta ver a determinação que:

O relatório referente à implantação do projeto deve ser apresentado com foco nas possíveis intervenções em corpos hídricos e deve conter as seguintes informações: 2.1.16. As coordenadas dos pontos de intervenção”.

[...]

2.1.18. O anteprojeto das obras hidráulicas previstas, como canalização, capeamento, construção de pontes, travessias (incluindo as com furo direcional), entre outros

[...]

2.1.22. Apresentação do Balanço Hídrico de toda a planta industrial prevista no projeto, com a discriminação dos fluxos de entrada e saída das correntes por unidade, incluindo as correntes provenientes de água de reuso.

2.1.23. Descrição do sistema de infraestrutura relacionado ao descarte de água e efluentes, incluindo informações sobre o meio de descarte e sua localização.

[...]

2.1.38. Definição das Faixas Marginais de Proteção (FMP) de todos os corpos hídricos próximos e/ou inseridos na Área de Preservação Permanente (APP), conforme estabelecido no Art. 4º da Lei nº 12.651/2012.

[...]

2.1.41. Investigações geotécnicas preliminares, levantamentos topográficos e cadastrais, bem como um levantamento topobatimétrico dos trechos de intervenção em corpos hídricos de grande porte, se aplicável. O levantamento topobatimétrico deve apresentar três seções: uma a montante, uma a jusante e uma no local onde será realizada a intervenção.

Vemos que o item 2.1.15., a instrução técnica determina que deve ser apresentado “relatório referente à implantação do projeto” focando nas prováveis intervenções em corpos hídricos.

Observa-se também o cuidado com alguns aspectos que se relacionam com eventos que se tornarão mais intensos e frequentes com as mudanças climáticas, a exemplo com as determinações que temos entre o item 3.5.5 até 3.5.8. Tais condicionantes nos parece serem relacionados com possíveis processos erosivos e mesmo de desmoronamento, causado por grandes precipitações pluviométricas, situação que vimos no capítulo 1 tendem a piorar bastante com o aquecimento global e suas decorrentes mudanças climáticas:

3.5.5. Incluir no mapa as taxas de declividade na AID, especialmente próximas aos corpos hídricos e aos talvegues coletores de água de escoamento superficial nas proximidades e que cruzam a faixa de servidão.

3.5.6. Apresentar um mapa de unidades geomorfológicas, um mapa de declividades e um modelo digital de terreno.

3.5.7. Classificar os tipos de solos da ADA de acordo com o Sistema de Classificação de Solos adotado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

3.5.8. Caracterizar os tipos de solo identificados quanto à permeabilidade hídrica e sua propensão a processos erosivos.

[...]

3.5.18. É necessário realizar um levantamento topográfico da Área de Direito de Passagem (ADA) do projeto. Além disso, é importante localizar e caracterizar os recursos hídricos existentes na área, incluindo canais artificiais, áreas brejosas ou encharcadas, processos erosivos, de sedimentação e estabilização dos solos, no local e em seu entorno. Também é necessário caracterizar as águas subterrâneas, incluindo o nível do lençol freático.

Por fim, para além do quanto apontamos de entendermos indiretamente já existir meios de se determinar uma obrigatoriedade do projeto de hidrogênio ter de considerar as mudanças climáticas, como por conta da necessidade de se observar os itens 3.2.9 e 3.2.12 (respectivamente impactos de longo prazo e impactos cíclicos), nota-se que em verdade tal observância foi tornada obrigatória pela Instrução Técnica orientadora do processo de licenciamento do Hub de Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono do Porto do Açú. Neste sentido, o seu item 8 aponta o que deve ser observado na Análise de Impactos Ambientais:

8.1 Deverá ser realizada uma análise detalhada dos impactos ambientais decorrentes do projeto, bem como de suas alternativas, por meio da identificação, previsão da magnitude e interpretação da importância dos prováveis impactos relevantes. Essa análise deve discriminar os impactos positivos e negativos (benéficos e adversos), diretos e indiretos, imediatos e a longo prazo, temporários e permanentes, bem como avaliar seu grau de reversibilidade, suas propriedades cumulativas (descritas na matriz de impacto) e sinérgicas (também descritas na matriz de impacto). Além disso, é importante analisar a distribuição dos ônus e benefícios sociais, com ênfase especial em [sem grifos no original]:

8.1.1 No meio biótico:

[...]

- Nos ciclos biogeoquímicos;

[...]

8.1.2 No meio físico:

[...]

- O regime hidrodinâmico e as variáveis meteoceanográficas (ondas, ventos, correntes, marés, entre outros);

[...]

- **Mudanças climáticas e efeito estufa;**

[...]

- A qualidade ambiental prévia;

Portanto, vemos que na própria normativa que orienta a confecção dos documentos ambientais no processo de licenciamento é expressa a obrigatoriedade de serem observadas as Mudanças climáticas e o efeito estufa. Além disto, estes documentos como os estudos de impacto ambiental, o respectivo relatório de impacto ambiental e a audiência pública, devem detalhar “o regime hidrodinâmico e as variáveis meteoceanográficas (como ondas, ventos, correntes, marés, etc)” previstos durante o tempo previsto de duração do empreendimento.

#### **4.5.5. Estudo de impacto ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental do *Hub* do Porto do Açú.**

Realizada a análise documental da Instrução Técnica do Hub de Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono do Porto do Açú, descobrimos que se não bastasse termos encontrado itens que entendemos como indiretamente, ou implicitamente, implicarem na obrigação de serem observadas as mudanças climáticas, afinal notamos existir normativa, cujos dispositivos vinculantes foram descritos no item 8 do nosso ponto anterior, o 4.5.4, obrigando diretamente a observância das mudanças climáticas.

Passamos agora à análise documental do respectivo EIA tentando apontar os pontos onde teria havido a preocupação em se seguir o quanto determinado na respectiva Instrução Técnica da Presidência do IENA, em particular quanto à influência das mudanças climáticas na água e recursos hídricos em geral existentes nos ecossistemas da região do empreendimento.

De início há a necessidade de esclarecer o procedimento metodológico utilizado para a análise documental do EIA e do RIMA. Saliente-se que precisamos ser claros em admitir acerca da impossibilidade de se realizar uma leitura total, pois só para ficar no EIA/RIMA, de quase 4.000 páginas (3.484 só do EIA) somando os documentos tão abrangentes e de um projeto tão complexo quanto estes do licenciamento do *HUB* de Hidrogênio do Porto do Açu, durante o período de um mestrado.

Desta forma, foi realizada uma leitura parcial do EIA e do RIMA, apenas nas partes que se relacionam com o assunto água ou recursos hídricos.

Quanto à pesquisa textual, saliente-se que o procedimento realizado foi de colocar os termos, em português, relacionados ao objeto da análise. Assim, testamos os termos “água”, “recurso hídrico”, “efeito estufa”, “aquecimento global” e “mudança climática”. Após, também foram utilizados os plurais, quando cabível.

Após a análise realizada na forma apontada, não foi encontrado menção alguma acerca de uma possível preocupação do empreendimento para com as mudanças climáticas que impactam na disponibilidade hídrica. A exceção é uma passagem que diríamos apenas mencionar uma genérica preocupação com as mudanças climáticas, mas sem estimar, ou apontar, possíveis consequências do aquecimento global no âmbito do empreendimento (Rio de Janeiro (Estado), 2023b, p. 110-111):

No Estado do Rio de Janeiro a Lei nº 5690, de 14 de abril de 2010 instituiu a política estadual sobre mudança global do clima e desenvolvimento sustentável, que, em seu artigo 3º, define como objetivos, dentre outros, o de (i) fomentar a participação do uso de fontes renováveis de energia no Estado e (ii) fomentar a competitividade de bens e serviços que contribuam para reduzir as emissões de gases de efeito estufa.

Tal ato foi seguido pelo Decreto nº 43.216/2011 que regulamenta Lei nº 5.690 da política de mudança global do clima. Em 2012 o INEA emitiu as Resoluções nº 064 e 065 que dispõem, respectivamente, sobre o inventário emissões e plano de mitigação de emissões de GEE.

Em 2020 foram emitidos os Decretos nº 46.912, que institui o fórum do Estado do Rio de Janeiro de mudanças climáticas, e nº 47.162, que altera o decreto que institui o Fórum Rio de mudanças climáticas. Já em 2021 foi emitido o Decreto nº 47.638 que instituiu o GTI (Grupo de Trabalho Intersecretarial) para regulamentar o cadastro de emissões e o mercado estadual de carbono.

Vale ressaltar, ainda, o compromisso assumido pelo Estado do Rio de Janeiro com a Rio203011, em que o Estado passa a ser polo de mobilização pelo desenvolvimento sustentável junto aos municípios fluminenses, à sociedade brasileira e à comunidade internacional, elaborando estratégias e políticas públicas para combater os efeitos das mudanças climáticas e neutralizar a emissão de GEE.

Quanto ao Relatório de Impacto Ambiental, como era de se esperar – uma vez ser este uma espécie de resumo objetivo dos extensos dados trazidos pelo Estudo de Impacto Ambiental – e igualmente nos utilizando da metodologia de análise documental já apontada,

encontramos pouca preocupação no sentido de serem apontadas as possíveis consequências em termos de disponibilidade hídrica na região do empreendimento:

A avaliação das reservas do aquífero Emborê sugere que ele possui potencial para atender à demanda de curto a médio prazo.

A análise da qualidade da água marinha demonstrou que a maioria dos parâmetros está em conformidade com a Resolução CONAMA nº 357/2005 para água salina, Classe 1.

Assim, caso o empreendimento não seja implantado, a qualidade das águas marinhas permanecerá semelhante à atual.

O fornecimento de água industrial será alimentado prioritariamente por água de reuso industrial para processo e complementado por água subterrânea do Sistema do T2.

Para resfriamento, está previsto o uso de água do mar.

Com base em estudo hidrogeológico realizado, a estimativa das reservas do Aquífero Emborê indica que há potencial desse manancial subterrâneo para suprir, sustentavelmente, a demanda de até 0,55 m<sup>3</sup>/s ou 1.980 m<sup>3</sup>/hora, sem prejudicar a disponibilidade de água para outros consumidores, refletindo um padrão de uso sustentável.

Portanto, o que podemos notar, é de não ter havido nem no EIA e muito menos no RIMA a indicação genérica de que a disponibilidade hídrica vai ser garantida a curto e médio prazo, sem que se tenha estudos visando se antecipar quanto aos efeitos adversos das mudanças climáticas na disponibilidade hídrica.

Resta uma advertência, que decorre implicitamente do método de análise escolhido mas que nos parece importante explicitar expressamente.

#### 4.6. Considerações parciais: novo enfrentamento da questão, após realizada a análise documental.

Realizada a análise documental e voltando à pergunta científica, nos perguntamos se já poderíamos apresentar uma resposta à questão científica lançada neste trabalho, no sentido se deveria haver a obrigação, relativamente ao gasto hídrico futuro, da indústria de hidrogênio observar as mudanças climáticas que possam diminuir a oferta hídrica, de modo a evitar estresses hídricos que violem o direito fundamental de acesso à água.

Deixaremos para responder a pergunta no último tópico de nossa dissertação, onde a responderemos realizando uma análise com fundamento no Direito Climático somada a uma análise baseada na análise documental realizada.

Porém, uma última observação que parece ser importante ressaltar é que o último relatório técnico relacionado à implantação da indústria de hidrogênio no Brasil em momento algum traz a preocupação no sentido de que os projetos venham a considerar os efeitos das mudanças climáticas.

Trata-se do documento intitulado “Implementação do Marco Regulatório de Hidrogênio de Baixo Carbono – ANP 2024”, produzido pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. O referido relatório presente trazer os principais aspectos relacionados à concretização das diretrizes estabelecidas no Marco Regulatório de Hidrogênio de Baixo Carbono do Brasil, mas conforme podemos notar ao lê-lo, em momento algum o documento traz indício de que tenha havido esta preocupação estabelecida em nosso problema de pesquisa.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS.

Resta fazermos algumas reflexões, em especial acerca da eventual: comprovação da relevância do hidrogênio na transição energética sustentável; alcance dos objetivos; bem como confirmação da hipótese.

Ao “finalizar” a nossa pesquisa, em verdade nos damos conta que o assunto aqui tratado é por demais complexo, porquanto necessitaria de um dispêndio de tempo muito maior para realizar um estudo mais aprofundado – inclusive noutro momento partindo deste estudo interdisciplinar para um estudo mais holístico, com áreas do conhecimento mais fundidas num corpo coeso, se aproximando dos estudos transdisciplinares conforme defendido por Edgar Morin.

De modo que não nos arvoraríamos de decretar uma conclusão, antes apresentamos algumas considerações finais, discutindo os achados e realizando reflexões para os temas em aberto serem analisados mais profundamente em outras oportunidades de pesquisa, quando certamente daremos continuidade ao presente estudo.

Apesar da dificuldade trazida pela complexidade, acreditamos ter conseguido enfrentar alguns desafiantes temas, dando conta da relevância do hidrogênio na transição energética sustentável.

Assim é que não julgamos aqui se tal ou qual projeto de hidrogênio estaria a cumprir com princípios precautórios, razão pela qual nem mesmo enfrentamos o problema sob o ponto de vista do princípio da precaução, embora de início a intenção seria neste sentido. Tal princípio seria uma das bases de nossa pesquisa. Mas acreditamos ter conseguido levantar importantes questionamentos tendo por base os princípios do Direito Constitucional Climático, além dos achados de nossa análise documental.

Voltando à nossa pergunta, pensada quando do início da pesquisa, lembramos que ela trazia a pergunta, ou questão científica, se nos projetos e na implantação da indústria de hidrogênio de baixo carbono, em especial no hidrogênio verde – aquele produzido pela eletrólise da água, deveriam levar em conta os efeitos das mudanças climáticas na disponibilidade hídrica futura. Como seria o caso do projeto do *Hub* de Hidrogênio do Porto do Açú.

Já a correspondente hipótese preliminar era no sentido de que a indústria de hidrogênio de baixo carbono, ao ser implantada, bem como quando de seu posterior funcionamento a longo prazo, deveria sim observar os possíveis efeitos das mudanças

climáticas quanto à provável diminuição da oferta de acesso à água na respectiva região onde instalado o empreendimento.

E pela já apontada razão pragmática, na busca por um caminho menos complexo, se no começo de nossa pesquisa pensávamos em basear a pesquisa no princípio precautório, optamos por analisar a hipótese não com base neste mas nos princípios do Direito Climático. Acreditamos que provavelmente se quiséssemos nos basear no princípio precautório, por exemplo, a maior complexidade exigiria mais tempo e aprofundamento e não se conseguiria responder a tal questionamento, com razoável certeza científica.

Pois bem, após realizarmos nossos estudos, com base em referencial teórico de autores de renome na área, já indicados no capítulo 1 e cujos pensamentos centrais de suas respectivas teorias foram trazidos no decorrer do trabalho, podemos afinal analisar se a hipótese foi satisfeita. E a resposta é que, sim, deve-se levar em consideração os efeitos das mudanças climáticas, apontando nos projetos os efeitos das mudanças climáticas na disponibilidade hídrica, bem como formas de se mitigar a influência deste gasto hídrico em possível crise hídrica que pudesse afetar o direito fundamental de acesso à água pela população da região do empreendimento.

E mais, não só a revisão bibliográfica levaria a tal entendimento, como houve um feliz achado, após a realização da análise documental. Foi quando encontramos na própria Instrução Técnica emitida pela Presidência do IENA referente ao Projeto do *Hub* de Hidrogênio do Porto do Açu, uma das primeiras manifestações estatais no processo administrativo do licenciamento ambiental, a determinação de que os documentos ambientais do empreendimento levasse em conta as mudanças climáticas, tornando-se outro fundamento, não esperado e delineado pelo próprio Estado, de que os projetos deveriam, sim, buscar se antecipar aos desafios trazidos pelas mudanças climáticas no acesso à água.

Quanto ao possível alcance dos objetivos, tanto geral quanto específicos, propostos para a presente pesquisa, iniciamos lembrando que no capítulo onde apresentamos o aquecimento global característico do Antropoceno, também apontamos as consequências para o clima que esta Era, ou Evento Geológico, provoca: as mudanças climáticas.

Mostramos como os eventos cada vez mais extremos das mudanças climáticas em geral diminuem a oferta hídrica. Com isto comprovamos que esta diminuição da disponibilidade de água também deve ser levada em consideração quando dos projetos realizados em indústrias fortemente captadoras de água, como a de hidrogênio, com base em princípios do Direito Constitucional Climático, seja na sua parte do direito interno seja quanto aos diplomas internacionais.

Por conta destes aspectos, acreditamos ter conseguido alcançar o objetivo geral proposto para a nossa pesquisa, no sentido de “Analisar se na instalação e operação da indústria do hidrogênio de baixo carbono, com fundamento em princípios de Direito Constitucional Climático, deveriam ser considerados os efeitos do aquecimento global e das mudanças climáticas na disponibilidade hídrica futura para o consumo de água necessária para a produção do hidrogênio”.

Como já mencionado, descobrimos – com base em princípios de Direito Constitucional Climático – que devem sim ser considerados os efeitos do aquecimento global e das mudanças climáticas na disponibilidade hídrica futura para o consumo de água nestas plantas de H<sub>2</sub>.

Vamos, ainda, analisar se conseguimos atingir o primeiro objetivo específico de “Descobrir, na região onde se instale empreendimento de hidrogênio de baixo carbono, atualmente sem disputas hídricas, se num futuro próximo poderia haver conflitos hídricos entre o consumo industrial de água e o direito fundamental de acesso à água pela população”.

Findada a pesquisa, poderíamos dizer que, a rigor, este objetivo foi apenas em parte atingido.

É que em geral, na maioria dos locais de nosso planeta Terra a água ficará cada vez mais difícil de ser encontrada. Basta rever as previsões por nós trazidas, em especial por conta de pesquisas realizadas por Nobre e Marengo quanto ao Brasil, dando conta de piora na aridez do Nordeste e de transformação do Norte, Centro-Oeste e Sudeste em regiões com enormes extensões de terra desérticas.

Panorama inclusive onde entendemos que o Sudeste será uma das regiões que sofrerá os impactos das mudanças climáticas, pois conforme vimos, terá o maior índice de aumento médio de temperatura, onde enormes regiões atualmente com clima temperado, mesmo em áreas mais altas, terão até mais de 10 graus Celsius de aumento da temperatura média anual, aumentando a frequência de vários aspectos malignos como problemas de saúde, epidemias, além de secas de duração mais longa que atualmente, além de inundações cada vez mais perigosas, dentre inúmeros eventos decorrentes das mudanças climáticas.

E é verdade que em outros locais ocorrerá exatamente o contrário, como no Sul do Brasil onde principalmente no extremo acontecerá cada vez mais e mais inundações causadas por um aumento da umidade levando a precipitações nunca antes vista.

De qualquer forma, também mostramos que estes cenários são o previsto, mas sendo difícil se realizar tais previsões mais certeiras a longo prazo, seja porquanto há alguns fenômenos cíclicos na climatologia que poderiam confundir com uma mudança definitiva de padrões, seja porquanto há variações sazonais no clima que fazem alguns autores, por nós apontados, serem críticos no sentido de não haver perigo de termos aquecimento global. Sem falar que os modelos não dispõem de muita definição, ou seja, em geral não são capazes de prever com certa previsão o que acontecerá num quadrado de dezenas de quilômetros, mas apenas poderem definir, com mais precisão, o que aconteceria, na média, numa região maior com lados calculados em centenas de quilômetros.

Quanto ao último objetivo específico, de “analisar documentos como Eia, Rima e Audiências Públicas, de projetos de hidrogênio de baixo carbono em locais como o Porto do Açu (RJ), para descobrir se há a previsão de possível piora na disponibilidade hídrica, com a mitigação de impactos, em decorrência dos efeitos das mudanças climáticas provocadas pelo aquecimento global, potencialmente causadoras de disputas hídricas”, conseguimos alcançar tal objetivo em sua quase totalidade. Analisamos documentos como EIA, RIMA e mesmo Diretrizes e Instruções Técnicas e descobrimos que na própria Diretriz Técnica emitida para orientar a realização das consultorias para apresentação dos documentos ambientais do empreendimento, há a determinação de que fosse observado pelo empreendimento as mudanças climáticas.

Porém, utilizando-nos do procedimento metodológico por nós indicado, concluímos que não foram encontradas evidências de que o projeto do empreendimento teria se preocupado com os efeitos das mudanças climáticas na disponibilidade hídrica, mesmo dando conta desta obrigatoriedade da análise imposta pela respectiva Instrução Técnica.

Temos, porém, que apontar a consciência das Limitações da pesquisa, desde já lançando planos de continuidade em estudos futuros. Assim, quanto ao último objetivo específico, há de se novamente ressaltar que quando falamos de termos conseguido analisar se o projeto do empreendimento tratou dos efeitos das mudanças climáticas na disponibilidade hídrica ao longo do tempo, nossa análise se deu em face de busca dos termos ali apontados, pela ferramenta de pesquisa encontrada em qualquer leitor de arquivos do tipo “.pdf”.

Ocorre que a certeza absoluta acerca do cumprimento desta que entendemos ser uma obrigação, apenas se daria com a atenta leitura de todos os documentos, afigurando-se uma

tarefa quase impossível para ser realizada no período de um mestrado porquanto significaria a leitura de quase quatro mil páginas de documentos.

Desta forma, com base nos princípios do Direito Climático e mesmo com base na própria Instrução Técnica emitida pela Presidência do IENA, podemos apontar o entendimento de que nos projetos e documentação ambiental necessários para a instalação e funcionamento da indústria de hidrogênio de baixa emissão de carbono, deve ser observada sim a projeção da diminuição da oferta hídrica por conta dos efeitos das mudanças climáticas, ao longo do tempo de vida útil dos empreendimentos.

Esta preocupação se insere na importância de um amplo e cauteloso planejamento hídrico, que apesar de buscar satisfazer interesses comerciais a fim da nação colher os benefícios sócio-econômicos dos empreendimentos de hidrogênio, estes respeitem o direito fundamental à água do qual são titulares os moradores do entorno da indústria.

Este cuidado que se deve ter em mente, a fim de se antecipar eventuais crises hídricas na região de instalação da indústria de hidrogênio de baixo carbono, é necessário de forma a se evitar que, por exemplo, se ajude a resolver os problemas ambientais de regiões como Europa ou Estados Unidos, com o envio de gigantescas cargas de hidrogênio de baixo carbono ou amônia, enquanto a região onde tais produtos são industrializados venha a amargar graves prejuízos socioambientais.

Ainda mais se levando em conta de que exportar hidrogênio pode significar uma superexploração dos recursos hídricos do local onde está instalada a indústria, ao passo em que o mercado consumidor, além de se beneficiar do vetor energético do hidrogênio, usando-o como combustível, ainda vai ficar com o resultado da combustão, que é água pura.

Noutras palavras, se o Estado não conseguir serem observados os efeitos da diminuição hídrica advinda das mudanças climáticas, seria simplesmente como se exportássemos combustível e água, enquanto internalizamos um ecossistema artificial causador de profundo estresse hídrico, que pode levar a graves disputas hídricas entre o consumo industrial e o direito fundamental de acesso à água.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

ADEODATO, João Maurício Leitão. Bases para uma metodologia da pesquisa em direito. **Anuário dos Cursos de Pós-Graduação em Direito**, n. 8. Recife: UFPE, 1997, p. 201-24.

ABREU, Modesto de et al. **Desafios e Oportunidades Para o Mercado De Hidrogênio Verde No Brasil: Uma Análise Swot**. Universidade Federal de Itajubá, 2022. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Thiago-Modesto-De-Abreu/publication/366918854\\_DESAFIOS\\_E\\_OPORTUNIDADES\\_PARA\\_O\\_MERCADO\\_DE\\_HIDROGENIO\\_VERDE\\_NO\\_BRASIL\\_UMA\\_ANALISE\\_SWOT/links/63b83fa1097c7832ca9689b8/DESAFIOS-E-OPORTUNIDADES-PARA-O-MERCADO-DE-HIDROGENIO-VERDE-NO-BRASIL-UMA-ANALISE-SWOT.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Thiago-Modesto-De-Abreu/publication/366918854_DESAFIOS_E_OPORTUNIDADES_PARA_O_MERCADO_DE_HIDROGENIO_VERDE_NO_BRASIL_UMA_ANALISE_SWOT/links/63b83fa1097c7832ca9689b8/DESAFIOS-E-OPORTUNIDADES-PARA-O-MERCADO-DE-HIDROGENIO-VERDE-NO-BRASIL-UMA-ANALISE-SWOT.pdf) Acesso em: 29 nov. 2023.

AGOSTINHO, R. U. de A.; RIBAS, L. C. **Hidrogênio verde e usos múltiplos dos recursos hídricos: análise crítica de (integração de e entre) políticas públicas e legislação ambiental**. In: Revista De Tecnologia & Gestão Sustentável, 2(7), 2023. <https://doi.org/10.17271/rtgs.v2i7.4644>. Disponível em: <https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/rtgs/article/view/4644>. Acesso em: 24 ago. 2024.

ALMEIDA FILHO, N. DE. Transdisciplinaridade e Saúde Coletiva. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 2, n. 1-2, p. 5–20, 1997. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/ZvbpZyt8VYHSQT4jbcWzbHw/#> Acesso em: 20 ago. 2024.

AGÊNCIA SENADO. **Tese do aquecimento global é frágil, afirma meteorologista Luiz Molion**. Redação, Agência Senado. 28/05/2019. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2019/05/28/tese-do-aquecimento-global-e-fragil-afirma-meteorologista-luiz-molion> Acesso em: 29 jul. 2024.

\_\_\_\_\_. **Marco legal do hidrogênio de baixo carbono é sancionado**. Brasília, 05 ago. 2024. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2024/08/05/marco-legal-do-hidrogenio-de-baixo-carbono-e-sancionado> Acesso em: 18 jan. 2025.

AMELI, Hossein; STRBAC, Goran; PUDJIANTO, Danny; and AMELI, Mohammad Taghi. A Review of the Role of Hydrogen in the Heat Decarbonization of Future Energy Systems: Insights and Perspectives. **Energies**, 17, n.º. 7, 1688. Basel (Switzerland): MDPI Headquarters, 2024. <https://doi.org/10.3390/en17071688> Available from: <https://spiral.imperial.ac.uk/handle/10044/1/111041>. Access in: 30 July 2024.

AMORIM, Luiza Dantas Benttenmüller. **Escritas Multiespécies para Habitar o Chthuluceno**. 2023. 143f. Dissertação (Mestrado em Educação) - Programa de Pós-Graduação em Educação, Faculdade de Educação, Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, 2023.

ARAÚJO, Júlio César Holanda; TUPINAMBÁ, Soraya Vanini. **Cenários, desafios e oportunidades para a produção de hidrogênio verde no Brasil: uma análise a partir do estado do Ceará**. Heinrich Böll Stiftung, Rio de Janeiro, 2023. Disponível em:

[https://br.boell.org/sites/default/files/2023-06/hidrogenio\\_cenarios\\_desafios\\_opportunidades\\_boll-26.2023.pdf](https://br.boell.org/sites/default/files/2023-06/hidrogenio_cenarios_desafios_opportunidades_boll-26.2023.pdf) Acesso em 14.01.24.

AVZARADEL, Pedro Curvello Saavedra. **Encostas, extremos climáticos e riscos: um estudo da irresponsabilidade organizada nas ocupações irregulares na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro**. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Direito, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <https://www.btdt.uerj.br:8443/handle/1/9260>. Acesso em: 30 julho 2024.

\_\_\_\_\_. Direito Internacional Ambiental e Florestas no Contexto das Mudanças Climáticas: Primeiras Impressões. *Conpedi Law Review*, v. 3, n. 2, JUL/DEZ. 2017. Braga (PT): Conpedi, 2017, p. 21 – 41.

\_\_\_\_\_. Princípios do direito ambiental e mudanças climáticas. *Revista Eletrônica do Ministério Público Federal*. Ano I, Núm. 1. Rio de Janeiro: Ministério Público da União (MPU), 2009. Disponível em: <https://www.mpf.mp.br/rj/atos-e-publicacoes/revista-custos-legis/revista-custos-legis>. Acesso em 30.07.24

AVZARADEL, Pedro Curvello Saavedra ; CARLI, Ana Alice de. **2º Seminário de Meio Ambiente: Buen Vivir, Direitos da Natureza e dos Animais - Não Humanos na Era Tecnológica Antropocena**. 2018. (Congresso).

AVZARADEL, Pedro Curvello Saavedra. COUTINHO, G. A. M. PAROLA, G.; **CEDAE na Contramão da Remunicipalização da Gestão dos Recursos Hídricos**. In: Ana Alice De Carli, Carlos E. Peralta. (Org.). *ÁGUA, FLORESTA E CLIMA NO SÉCULO XXI: abordagem holística e multidisciplinar*. 1ed.Rio de Janeiro: Multifoco, 2019, v. 1, p. 50.

AVZARADEL, Pedro Curvello Saavedra; LEONEL JÚNIOR, Gladstone; BELLO, Enzo. (org.) **Direito constitucional ambiental e teoria crítica na América Latina** [recurso eletrônico] – Niterói : UFF ; Rio de Janeiro : MC&G , 2022. – 6,58 kb. : il. Dados eletrônicos (pdf).

ASSIS, J. M. O. de, SOBRAL, M. do C. M., SOUZA, W. M. de. **Análise de Detecção de Variabilidades Climáticas com Base na Precipitação nas Bacias Hidrográficas do Sertão de Pernambuco (Analysis of Climate Variability Detection Based on Watershed Precipitation in the Sertão of Pernambuco)**. *Revista Brasileira De Geografia Física*, 5(3), 2012, 630–645. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v5i3.232877>. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/232877>. Acesso em: 26.07.24

BAIRRÃO, D., SOARES, J., ALMEIDA, J., FRANCO, J. F., VALE, Z. **Green hydrogen and energy transition: Current state and prospects in Portugal**. In: *Energies*, 16(1), 2023, p. 551. doi:<https://doi.org/10.3390/en16010551>. Available from: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/1/551> Access in: 04 July 2024.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Hidrogênio de baixo carbono: oportunidades para o protagonismo brasileiro na produção de energia limpa**. Rio de Janeiro: BNDES, 2022. 111 p.

BEZERRA, Francisco Diniz. **Hidrogênio Verde: Nasce um Gigante no Setor de Energia**. *ETENE* Ano 6, Nº 212, Dez. 2021. Fortaleza: Banco do Nordeste, 2021, 13 p.

BARBIERI, J. C.. **Assuntos Ambientais Polêmicos e o Princípio Da Precaução: Discutindo o Aquecimento Global em Sala de Aula.** Administração: Ensino E Pesquisa, 14(3), 2013, p. 519–556. <https://doi.org/10.13058/raep.2013.v14n3.60> Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/5335/533556762005.pdf> Acesso em: 04.07.2024

BARBIER I, C., PRESTES, C., PASQUA, J. S., & IZIDORO, L. G.. Qual o perfil da pesquisa jurídica em mestrados profissionais? **SciELO em Perspectiva: Humanas**, 2018. Disponível em: <https://humanas.blog.scielo.org/blog/2018/07/12/qual-o-perfil-da-pesquisa-juridica-em-mestrados-profissionais> Acesso em: 09 jul. 2024.

BARBOSA, Humberto A.; BURITI, Catarina O.; KUMAR, T. V. Lakshmi. Deep Learning for Flash Drought Detection: A Case Study in Northeastern Brazil. **Atmosphere**, v. 15, n. 7, p. 761, 2024. DOI: 10.3390/atmos15070761. Available from: <https://www.mdpi.com/2073-4433/15/7/761>. Access in: 30 July 2024.

BARBOSA, Robson. **Inserção da energia eólica offshore no Brasil: análise de princípios e experiências regulatórias.** 2019. Tese (Doutorado em Energia) - Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019. doi:10.11606/T.106.2019.tde-10042019-150844. Acesso em: 03 ago. 2024.

BEDONE SOUSA , Marcelo Bruno; FARIAS, Talden. SILVA, José Irivaldo Alves Oliveira. **Emergência climática em Recife: análise jurídica do pioneiro Decreto N° 33.080/2019.** In: CHINI, Alexandre *et al* (Coordenador). Temas relevantes no Direito Ambiental e Climático - Tomo I. Rio de Janeiro: Synergia, 2023. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/34726>. Acesso em 30.07.24.

---

**A balança e o termômetro: finalidades e características de um direito ambiental em tempos de mudança climática.** In: AVZARADEL, Pedro Curvello Saavedra; LEONEL JÚNIOR, Gladstone; BELLO, Enzo (organizadores). Direito Constitucional ambiental e teoria crítica na América Latina. Niterói: UFF ; Rio de Janeiro: MC&G, 2022. p. 215 a 240. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/33512> Acesso em: 28 dez. 2024.

BEDONE, Marcelo Bruno Sousa; SAMPAIO, Rárisson. SILVA, José Irivaldo Alves Oliveira. Constitucionalismo global em tempos de mudanças climáticas e o reconhecimento de um direito fundamental climático no ordenamento constitucional brasileiro. **Revista do Direito**, n. 70, p. 88-108, abr./jun. 2023. Santa Cruz do Sul: Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), 2023. Disponível em: <https://online.unisc.br/seer/index.php/direito/index> Acesso em: 09.08.24

BRAGA, S. LEAL. **Produção, Armazenamento e Transporte de Hidrogênio.** Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 2021.

BRANDÃO, Roberto; CASTRO, Nivalde de; HUNT, Julian. **A viabilidade das usinas reversíveis no sistema interligado nacional** [recurso eletrônico]. 1. ed. - Rio de Janeiro: GESEL/UFRJ e E-Papers, 2021. recurso digital. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/366596566\\_Experiencia\\_Internacional\\_de\\_Usinas\\_Hidreletricas\\_Reversiveis\\_Aspectos\\_Regulatorios\\_Institucionais\\_e\\_Economicos](https://www.researchgate.net/publication/366596566_Experiencia_Internacional_de_Usinas_Hidreletricas_Reversiveis_Aspectos_Regulatorios_Institucionais_e_Economicos) Acesso em: 19 jan. 2025.



BRASIL. ANEEL. **Nota Técnica nº 95/2024 – STR/ANEEL**. In: Tomadas de Subsídios. Brasília (DF): Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 2024. Disponível em: [https://antigo.aneel.gov.br/web/guest/tomadas-de-subsidios?p\\_p\\_id=participacaopublica\\_WAR\\_participacaopublicaportlet&p\\_p\\_lifecycle=2&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_cacheability=cacheLevelPage&p\\_p\\_col\\_id=column-2&p\\_p\\_col\\_count=1&\\_participacaopublica\\_WAR\\_participacaopublicaportlet\\_ideDocumento=53333&\\_participacaopublica\\_WAR\\_participacaopublicaportlet\\_tipoFaseReuniao=fase&\\_participacaopublica\\_WAR\\_participacaopublicaportlet\\_jspPage=%2Fhtml%2Fpp%2Fvisualizar.jsp](https://antigo.aneel.gov.br/web/guest/tomadas-de-subsidios?p_p_id=participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_ideDocumento=53333&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_tipoFaseReuniao=fase&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_jspPage=%2Fhtml%2Fpp%2Fvisualizar.jsp). Acesso em: 23 jan. 2025.

\_\_\_\_\_. ANP. **Implementação do Marco Regulatório de Hidrogênio de Baixo Carbono – ANP 2024**. Brasília (DF): Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), 2024. Disponível em:

<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/relatorios/arquivos/implementacaomarcoregulatoriohidrogenio.pdf> Acesso em: 23 jan 2025.

\_\_\_\_\_. Ministério dos Transportes. **Três terminais são inaugurados no Porto do Açu, no Rio de Janeiro**. Brasília-DF:Ministério dos Transportes, 07/06/2016. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/noticias/ultimas-noticias/tres-terminais-sao-inaugurados-no-porto-do-acu-no-rio-de-janeiro>. Acesso em 30 ago. 2024.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação (CAPES). **Pesquisa pode detectar secas-relâmpago com IA**. Portal Gov.br, 31 jul. 2024. Disponível em:

<https://www.gov.br/capes/pt-br/assuntos/noticias/pesquisa-pode-detectar-secas-relampago-com-ia>. Acesso em: 19 jul. 2024.

\_\_\_\_\_. Ministério de Minas e Energia. Programa Nacional do Hidrogênio. **Resultado da chamada de hubs de hidrogênio para descarbonização da indústria**. Brasília: MME, 20.12.2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/programa-nacional-do-hidrogenio-1/iii-planejamento-energetico/chamada-publica-de-hubs-de-h2>. Acesso em 12 jan. 2025.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento**  
\_\_\_\_\_. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, 16 jul. 2020, p. 1.

BUCKERIDGE, Marcos Silveira (org.). **Biologia & mudanças climáticas no Brasil**. São Carlos: RiMa Editora, 2008. 316 p.

BULOS, Uadi Lammêgo. **Curso de Direito Constitucional**. 8ª edição. São Paulo: Editora Saraiva, 2014.

CARVALHO, Délton Winter de. Constitucionalismo climático como fundamento transnacional aos litígios climáticos. **Revista de Direito Internacional**, Brasília, v. 19, n. 1, p. 192-205, 2022.

CARRIQUIRIBORDE, Ignacio Rubio. **Riesgos ambientales e incertidumbres institucionales. Ensayos sobre desastres y política del riesgo**. 1ª ed. Cidade de México: Hersa Ediciones, 2021. 177 p.

CASA VOGUE. **China lançará fazenda solar de um quilometro de largura no espaço**. Redação – Casa Vogue. 23/01/2025. Rio de Janeiro: Casa Vogue - Globo.com, 2025. Disponível em: <https://casavogue.globo.com/um-so-planeta/noticia/2025/01/china-lancara-fazenda-solar-de-um-quilometro-de-largura-no-espaco.ghtml> Acesso em: 30 jan. 2025.

CASTRO, Nivalde de; ELIZIÁRIO, Sayonara; DANTAS, Marta Célia; FREITAS, José Vinícius S.; OLIVEIRA, Luana. Ciclo de vida e o hidrogênio. **GESEL**, v. 5, n. 2, p. 15-28, out. 2021. Rio de Janeiro (RJ): Gesel/UFRJ, 2021. Disponível em: <https://gesel.ie.ufrj.br/publicacao/ciclo-de-vida-e-o-hidrogenio/>. Acesso em: 15 jan. 2025.

CASTRO, Paula; CARVALHO, Raquel. A Legal Approach to Fostering Green Infrastructure for Improved Water and Energy Efficiency. *In: **Blue Planet Law - The Ecology of our Economic and Technological World***. E-Book, Springer Cham, 2023, p. 215-226 Available from: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-24888-7>. Access in: 04 July 2024.

CRUTZEN, P. J. **The anthropocene: geology of mankind**. *Nature*, 415, p. 23, 2002.

CRUTZEN, P. J.; STOERMER, E.F. The ‘Anthropocene’ (2000). *In: BENNER, S., LAX, G., CRUTZEN, P.J.; PÖSCHL, U.; LELIEVELD, J.; BRAUCH, H.G. (eds) **Paul J. Crutzen and the Anthropocene: A new epoch in Earth’s history***. *Politik Springer*, vol 1. Londres:Springer Nature e Max Planck Institute, 2022. Available from: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-82202-6\\_2#citeas](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-82202-6_2#citeas). Access in: 30 Jul. 2024.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Coalizão Energia Limpa e o Observatório do Clima lançam nota crítica ao texto do PL do Hidrogênio**. Coalizão Energia Limpa. Piracicaba: Observatório do Clima, 2024. Disponível em: <https://coalizaoenergialimpa.org/coalizao-energia-limpa-e-o-observatorio-do-clima-lancam-nota-critica-ao-texto-do-pl-do-hidrogenio-2-308-2023> Acesso em: 12 Jan. 2025.

COPERNICUS CLIMATE CHANGE SERVICE. **Global Climate Highlights 2023: 2023 is the hottest year on record, with global temperatures close to the 1.5°C limit**. Copernicus Climate Change Service. Reading (England):European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), 2023. Available from: <https://climate.copernicus.eu/copernicus-2023-hottest-year-record> Access in: 05 Aug. 2024

COPLAN, Karl S.; GREEN, Shelby D.; KUH, Katrina Fischer; NARULA, Smita; RÁBAGO, Karl R.; VALOVA, Radina (ed.). **Climate Change Law: An Introduction**. Cheltenham (UK): Edward Elgar Publishing, 2021. 232 p.

COSTA, Lucas Pamplona Cardozo. **Análise comparativa entre a produção de hidrogênio verde solar e eólico: aspectos técnicos, econômicos e ambientais**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, 2023. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/72447461-3308-431b-9c5d-f10ebb31c352/content>. Acesso em: 07 ago. 2024.

COSTA, Paulo R.; GARCIA-ROSA, Paula B.; ESTEFEN, Segen F. Phase control strategy for a wave energy hyperbaric converter, **Ocean Engineering**, vol 37, ed. 17/18, 2010, p. 1483-1490 <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2010.07.007>. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002980181000168X> Access in: 30 Jul. 2024.

D’AQUINO, C. DE A.; SCHARLAU, C. C.; VECCHIA, L. C. D.. Evaluation of the energy extraction of a small-scale wave energy converter. **RBRH**, v. 24, p. e13, 2019. Available

from: <https://www.scielo.br/j/rbrh/a/v4QMMwDZgM8LhpbJgcvCBTm/?lang=en#>. Access in: 19 aug. 2024.

DAMACENA, Fernanda Dalla Libera. **Fundamentos Jurídicos Para Redução Da Vulnerabilidade Hídrica**, UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL; Volume: 5; Issue: 1 2015. <http://www.ucs.br/etc/revistas/index.php/direitoambiental/article/download/3841/2313>. Acesso em: 30 jul. 2024

DIX, Steffen. As esferas seculares e religiosas na sociedade portuguesa. **Análise Social**, 45(194). Lisboa: Instituto Ciências Sociais da Universidad de Lisboa, 2010, p. 5-27.

DIZ, Jamille Bergamaschine Mata; SIQUEIRA, Carolina Mendonça de. Princípio da precaução e mudança climática: uma análise de Acordo de Paris e das Conferências das Partes. **Revista de Direito Internacional**, v. 18, n. 3, 2021, p. 150-171. Disponível em: <https://www.publicacoes.uniceub.br/rdi/article/view/8102> Acesso em: 29 dez. 2024.

DOS SANTOS PUGA, M., & Olortiga Asencios, Y. J. (2023). Avanços e limitações da produção, armazenamento e transporte de hidrogênio verde. **Latin American Journal of Energy Research**, 10(2), 74–93. <https://doi.org/10.21712/lajer.2023.v10.n2.p74-93> Available from: <https://periodicos.ufes.br/lajer/article/view/41777> Access in: 04 jul. 2024

DUARTE, Verônica Teixeira; MARSHALL, Carla Izolda Fiuza Costa; GOMES, José Maria Machado. Empresas 4.0 e Incentivos Environmental, Social And Governance No Processo De Descarbonização e a Transição Energética. *In: Revista Brasileira de Direito Empresarial*, v. 9, n. 2, 2023. Disponível em: <https://indexlaw.org/index.php/direitoempresarial/article/view/10191>. Acesso em: 04 jul. 2024

DUARTE, C. G.; FERREIRA, V. H.; SÁNCHEZ, L. E.. Analisando audiências públicas no licenciamento ambiental: quem são e o que dizem os participantes sobre projetos de usinas de cana-de-açúcar. **Saúde e Sociedade**, v. 25, n. 4, p. 1075–1094, out. 2016.

ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA. **Isaac Asimov - American author**. Chicago, Encyclopædia Britannica, 2025. Available from: <https://www.britannica.com/biography/Isaac-Asimov> Access in: 30 jan. 2025.

FOLHA DE S.PAULO. **Líder dos céticos do clima muda de ideia: Bjorn Lomborg, mais famoso questionador do aquecimento global, agora pede US\$ 100 bi para combatê-lo**. Folha de S.Paulo, São Paulo, 1º set. 2010. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/fsp/ciencia/fe0109201001.htm>. Acesso em: 6 jan. 2025.

FÓRUM DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS DE RORAIMA. **Baterias são usadas para armazenamento de energias renováveis e podem reduzir oscilações no sistema**. 16 de março de 2021. Boa Vista (RR), Fórum das Energias Renováveis de Roraima, 2021. Disponível em: <https://energiasroraima.com.br/baterias-sao-usadas-para-armazenamento-de-energias-renovaveis-e-podem-reduzir-oscilacoes-no-sistema> Acesso em: 15 jan. 2025.

FRANÇA, Ronaldo. **Podemos fazer melhor: O principal representante dos céticos diz que o combate ao aquecimento global tem de se basear em tecnologia, e não em mudanças no**

**consumo.** Entrevista com Björn Lomborg, Revista Veja, Edição 2144, 23/12/2009. São Paulo: Editora Abril, 2009.

FREESTONE, David. The Institutional Architecture and Legal Framework of Global Climate Governance: The UNFCCC, Kyoto Protocol, and Beyond. In: **Environmental Law and Governance for the Anthropocene**. KOTZÉ, Louis (ed.). Nairobi, Kenya: UN Environment Programme & Edward Elgar Publishing, 2016. p. 93-122. Available from: <https://www.ajne.org/sites/default/files/resource/publications/7228/new-frontiers-in-environmental-constitutionalism.pdf> Access in: 14 dez. 2024.

G1 NOTÍCIAS. **Caruaru ocupa 3ª posição do PIB da região do interior do Nordeste. Pesquisa foi feita pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** Portal G1, 08/06/2021. Rio de Janeiro: Globo.com, 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/pe/caruaru-regiao/noticia/2021/06/08/caruaru-ocupa-3a-posicao-do-pib-da-regiao-do-interior-do-nordeste.ghtml> Acesso em: 25 jan. 25.

GALLEGOS, Mariana Tejado. “**El Agua y La Producción Del Hidrógeno Desde Una Perspectiva Ambiental.**” GARCÍA, Pachó María Del Pilar (Org.), Derecho de Aguas: Tomo X, 1st ed., Universidad del Externado, 2023, pp. 255–86. JSTOR, <https://doi.org/10.2307/jj.4718113.13>. Available from: [https://www.jstor.org/stable/jj.4718113?turn\\_away=true](https://www.jstor.org/stable/jj.4718113?turn_away=true) Access in: 1 July 2024.

GOLDEMBERG, José. Políticas para enfrentar o aquecimento global. In LEGGETT, Jeremy. (org.) **Aquecimento global: o relatório Greenpeace.** LISSOVSKY, Alexandre (trad.). Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1992, 516 p.

GOMES, Isabela Temístocles. **A Urgência pela descarbonização climática das economias globais e o papel do hidrogênio verde brasileiro.** ÎANDÉ : Ciências e Humanidades, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 2–15, 2023. DOI: 10.36942/iande.v7i1.661. Disponível em: <https://periodicos.ufabc.edu.br/index.php/iande/article/view/661>. Acesso em: 1 jul. 2024.

GONZALEZ, Eric Eduardo Palma. Notas sobre o processo constituinte chileno 2019-2020. In: **Revista Culturas Jurídicas**, n. V. 7, n. 16, 2020. Disponível em <https://periodicos.uff.br/culturasjuridicas/article/view/45397>. Acesso em 19.04.22.

GUIMARÃES, P. B.; MAGALHÃES, A. D. P.; OLIVEIRA, A. F. D.. Do projeto pedagógico à sala de aula: a interdisciplinaridade no contexto do curso BC&T. **Educação em Revista**, v. 39, p. e39599, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/edur/a/tkDpJnHxwk6Tn55s5hyYHGn/#> Acesso em: 12 nov 2024.

HARAWAY, Donna. Antropoceno, Capitaloceno, Plantationoceno, Chthuluceno: Fazendo parentes. **ClimaCom Cultura Científica - pesquisa, jornalismo e arte**. a. 3, n. 5, p. 139 a 146, Abr. 2016. ISSN 2359-4705

HENRIQUES, Antonio; MEDEIROS, João Bosco. **Metodologia científica na pesquisa jurídica**. 9. ed., rev. e reform. – São Paulo : Atlas, 2017.

HINRICHS, Roger; KLEINBACH, Merlin. **Energia e meio ambiente – tradução da 3ª edição norte-americana.** VICHI, Flávio Maron; FREIRE DE MELLO, Leonardo (trad.) São Paulo: Pioneira Thompson Learning, 2003.

HUTTO, Emily. Public Climate Change Is Making Pathogens Worse — 58% of infectious diseases aggravated by climatic hazards at some point, says Camilo Mora. **Health & Policy - Environmental Health**. New York/NY:Medpage Today, 24.ago.2022. *Available from:* <https://www.medpagetoday.com/publichealthpolicy/environmentalhealth/100374>. *Access in:* 05 ago. 2024.

ICH. Antropoceno: ter ou não ter, eis a questão! A União Internacional de Ciências Geológicas acaba de rejeitar a criação dessa nova unidade de tempo geológico, proposta para caracterizar o mundo em que vivemos hoje. **Ciência Hoje – Tempo Geológico**. Rio de Janeiro:Instituto Ciência Hoje (ICH), 2024. Disponível em: <https://cienciahoje.org.br/privado/antropoceno-ter-ou-nao-ter-eis-a-questao>. Acesso em 09 ago. 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global hydrogen review 2021**. Paris: IEA, 2021. *Available from:* <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>. *Access in:* 13 jan. 2025.

IEA. **The future of hydrogen**. Paris: International Energy Agency (IEA), 2019. *Available from:* [https://iea.blob.core.windows.net/assets/9e3a3493-b9a6-4b7d-b499-7ca48e357561/The\\_Future\\_of\\_Hydrogen.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/9e3a3493-b9a6-4b7d-b499-7ca48e357561/The_Future_of_Hydrogen.pdf) *Access in:* 12 jan. 2025.

IPCC. **Synthesis report of the IPCC sixth assessment report (AR6): longer report**. Genebra: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2023. *available from:* <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle>. *Access in:* 28 jul. 2024.

\_\_\_\_\_. **Mudança do clima 2023 - relatório síntese**. Genebra: World Meteorological Organization (WMO). Genebra: 2024a. Disponível em: <https://ifz.org.br/ipcc-mudanca-do-clima-2023-relatorio-sintese> Acesso em: 19 ago. 2024.

\_\_\_\_\_. **Situação atual e tendências 2023. relatório síntese**. Um Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima. Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC), 2024b. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_SYR\\_LongerReport\\_PO.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_LongerReport_PO.pdf) Acesso em: 19 ago. 2024.

JESUS, Edmundo Itamar Nonato de. **As equações químicas sob a ótica de futuros professores: contribuições para a formação inicial**. 2018. 192 f. Tese (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) – Universidade Federal da Bahia, Universidade Estadual de Feira de Santana, Salvador, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/26732/1/As%20equa%C3%A7%C3%B5es%20qu%C3%ADmicas%20sob%20a%20%C3%B3tica%20de%20futuros%20professores%20-%20contribui%C3%A7%C3%B5es%20para%20a%20forma%C3%A7%C3%A3o%20inicial%20-%20JESUS%20-%202018.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2025.

KOLBERT, Elizabeth. **Planeta Terra em perigo: o que está, de fato, acontecendo no mundo**. VELLOSO, Beatriz (trad.). São Paulo: Globo, 2008, 214 p.

KRENAK, Ailton. **Não dá, eles fazem tudo errado**. *In:* Genipapos : diálogos sobre viver [livro eletrônico] / organização Daniel Munduruku...[et al.]. Rio de Janeiro, RJ : Mina Comunicação e Arte, 2022.

LARA, Daniela Mueller de; RICHTER, Marc François. Hidrogênio verde: a fonte de energia do futuro. *In: Novos Cadernos NAEA*, [S.l.], v. 26, n. 1, abr. 2023. ISSN 2179-7536. Disponível em: <https://periodicos.ufpa.br/index.php/ncn/article/view/12746> Acesso em: 01 jul. 2024. doi:<http://dx.doi.org/10.18542/ncn.v26i1.12746>.

LATOURE, Bruno. **Onde aterrar? – Como se orientar politicamente no Antropoceno**. Tradução: Marcela Vieira. 1ª. Edição, Rio de Janeiro: Bazar do Tempo, 2020, 160 p.

LEGGETT, Jeremy. (org.) **Aquecimento global: o relatório Greenpeace**. LISSOVSKY, Alexandre (trad.). Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1992, 516 p.

LEITE, Carlos Henrique Pereira; MOITA NETO, José Machado; BEZERRA, Ana Keuly Luz. Novo Marco Legal Do Saneamento Básico: Alterações e Perspectivas. *In: Eng. Sanit. Ambient.* 27 (5) Set-Out 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220210311>. Acesso em 20.05.24

LEITE, J. C.. **Do mistério das eras do gelo às mudanças climáticas abruptas**. *Scientiae Studia*, v. 13, n. 4, São Paulo: Portal de Revistas da USP, Set. 2015, p. 811–839. Disponível em <https://www.scielo.br/j/ss/a/BhDcWrGnVhDghKYyRzG6pkb/#> Acesso em 30 jul. 2024

LENOIR, Yves. Didática e interdisciplinaridade: uma complementaridade necessária e incontornável *In: FAZENDA, Ivani (Org.). Didática e Interdisciplinaridade*. Campinas, SP: Papirus, 1998. — (Coleção Práxis).

LOMBORG, Bjørn. **The Skeptical Environmentalist: Measuring the Real State of the World**. Cambridge: Cambridge University Press, 2001, 528 p.

MALDONADO, Manuel Arias. *Antropoceno sin Antropoceno. Eunomia. Revista en Cultura de la Legalidad*. n. 13, out. 2017, março 2018, pp. 321-326.

\_\_\_\_\_. **Antropoceno: La política en la era humana**. Barcelona: Taurus Penguin Random House Grupo Editorial, 2018, 256p.

MARENGO, José A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Brasília: MMA, 2007. 212 p.

MARQUES, Guilherme Fernandes; KUELE, Paola Marques; DALCIN, Ana Paula; MAGALHÃES FILHO, Fernando; PACHECO, Giulia; SIGALIS, Ariane; MELO, Ivo; POSSANTTI, Iporã Britto. **A cheia de 2024 no estado do Rio Grande do Sul e as linhas de ação para a resiliência contra eventos extremos**. Nota Técnica. Núcleo de Pesquisa em Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos - GESPLA, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2024. Disponível em: [https://www.ufrgs.br/iph/wp-content/uploads/2024/05/NT-CHEIA-2024-GESPLA\\_VF.pdf](https://www.ufrgs.br/iph/wp-content/uploads/2024/05/NT-CHEIA-2024-GESPLA_VF.pdf). Acesso em: 19 ago. 2024.

MENDES, Gilmar Ferreira; CAVALCANTI FILHO, João Trindade. **Manual didático de direito constitucional**. São Paulo: Saraiva Jur, 2021.

MEZZAROBA, Orides. MONTEIRO, Cláudia Servilha. **Manual de metodologia da pesquisa no direito**. Imprensa: São Paulo, SaraivaJur, 2019.

MCTI. **Monitoramento de secas e impactos no Brasil – Julho/2024** [documento online]. Brasília, DF: Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - Cemaden/MCTI, 06/ago/2024. Disponível em: <https://www.gov.br/cemaden/pt-br/assuntos/monitoramento/monitoramento-de-seca-para-o-brasil/monitoramento-de-secas-e-impactos-no-brasil-2013-julho-2024>. Acesso em: 19 ago. 2024.

MILANI, Carlos. **Negacionismo Climático**. In: SZWAKO, José; RATTON, José Luiz (Org.). *Dicionário dos negacionismos no Brasil*. Recife: CEPE, 2022. 366 p.

MORIN, Edgar; LE MOIGNE, Jean-Louis. “Inteligencia de la Complejidad Epistemología y Pragmática”, Coloqui de Cerisy. Hermosillo(MEX): Associação para o Pensamento Complexo de Paris/Multiversidad Mundo Real Edgar Morin, 2006, 405 p.

MOURA, Emerson Affonso da Costa; VASCONCELOS, André. **A concretização do Direito Humano Fundamental de Acesso à Água como pressuposto para a implementação do Direito à Saúde**. In: *Diálogos dos Direitos Humanos*, Porto (PT): Instituto Iberoamericano de Estudos Jurídicos (IBEROJUR), 2022.

MOURA, G. d. S.; PEREIRA, M. E. F., MOREIRA, A. B. L., DA SILVA, W. N., FREIRE, F. N. A., PRATA, B. d. A. Green Hydrogen Supply Chain: Difficulties And Opportunities In The Brazilian Reality. [Cadeia De Suprimentos Do Hidrogênio Verde: Dificuldades E Oportunidades Na Realidade Brasileira] In: **Revista De Gestão Social e Ambiental**, 18(2), 2024, p. 1-14. doi: <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n2-085>. Available from: <https://rgsa.openaccesspublications.org/rgsa/article/view/5115/1902>. Access in: 30 jul. 2024.

MMA. **Inter-relações entre biodiversidade e mudanças climáticas – recomendações para a integração das considerações sobre biodiversidade na implementação da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima e seu Protocolo de Kyoto**. Tradução: Ana Lúcia Lemos de Sá. Brasília-DF: Ministério do Meio Ambiente (MMA), 2007.

MOLON, Alessandro. Projeto de Lei nº 3961/2020. **Declara estado de emergência climática no Brasil**. Câmara dos Deputados, 29 jul. 2020. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/680583-projeto-reconhece-estado-de-emergencia-climatica-no-brasil/>. Acesso em: 19 ago. 2024.

MONTOYA, Thalia Ariadna do Vale. 13. Estratigrafia. **Repositório da Produção USP**, São Paulo: USP, 2021. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/directbitstream/68cb5be1-bd64-4798-9294-6c9042fe638d/3026810.pdf> Acesso em: 19 ago. 2024.

MORA, Camilo. FRAZIER, A., LONGMAN, R. *et al.* The projected timing of climate departure from recent variability. **Nature**, n.502, Londres: Springer Nature, 2013, p. 183–187. *available from:* <https://www.nature.com/articles/nature12540>. Access in: 07 ago. 2024.

NATIONAL GEOGRAPHIC. Pantanal: como seca, mudanças climáticas e devastação da Amazônia ameaçam esse bioma brasileiro. **National Geographic**, Rio de Janeiro: National Geographic Brasil, 26 jun. 2024. Disponível em: <https://www.nationalgeographicbrasil.com/meio-ambiente/2024/06/pantanal-como-seca-mudancas-climaticas-e-devastacao-da-amazonia-ameacam-esse-bioma-brasileiro>. Acesso em 19 jul. 2024

NATT, Elisângela Domingues Michelatto; CARRIERI, Alexandre de Pádua. Energia Hidrelétrica: a Retórica da Energia Limpa. *In*: SARAIVA, Luiz Alex Silva; RAMPAZO, Adriana Vinholi (org.) **Energia, organizações e sociedade**. Recife: Fundação Joaquim Nabuco, Editora Massangana, 2017, 284 p.

NATURE. Paul J. Crutzen (1933–2021) Ozone Nobel prizewinner who coined the term Anthropocene. Obituary. **Nature**. Londres: Springer Nature, 24.02.21. Available from: <https://www.nature.com/articles/d41586-021-00479-0>. Acesso em 30 July 2024.

OLIVEIRA, Luciano. **Não fale do Código de Hamurábi. A pesquisa sócio-jurídica na pós-graduação em Direito**. *In*: OLIVEIRA, L. (Org.). Sua Excelência, o Comissário, e outros ensaios de Sociologia Jurídica. Rio de Janeiro: Letra Legal, 2004. 137 p.

OLIVEIRA, Luciano; ADEODATO, João Maurício. O estado da arte da pesquisa jurídica e sócio-jurídica no Brasil. **Série Pesquisas do Centro de Estudos Judiciais**, Conselho da Justiça Federal, v. 4. Brasília:1996. Disponível em: <https://www.cjf.jus.br/cjf/corregedoria-da-justica-federal/centro-de-estudos-judiciarios-1/publicacoes-1/pesquisas-do-cej/o-estado-da-arte-da-pesquisa-juridica-e-sociojuridica-no-brasil>. Acesso em: 30 ago. 2024.

OIT. **Proteção Social Universal para a Ação Climática e uma Transição Justa. Relatório Mundial sobre Proteção Social 2024-26**. *In*: Sumário executivo - Relatório principal da OIT. Genebra (Suíça): Organização Internacional do Trabalho (OIT), 2024. Disponível em: [https://aldeiacomum.wordpress.com/wp-content/uploads/2024/09/socpro\\_wspr\\_2024\\_executive\\_summary\\_pt\\_web.pdf](https://aldeiacomum.wordpress.com/wp-content/uploads/2024/09/socpro_wspr_2024_executive_summary_pt_web.pdf). Acesso em: 18 set. 2024.

ONU. **Mudança climática é uma ‘emergência global’, aponta pesquisa sobre clima**. 28 jan. 2021. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/109616-mudanca-climatica-e-uma-emergencia-global-aponta-pesquisa-sobre-clima>. Acesso em: 19 ago. 2024

\_\_\_\_\_. Mudança climática: ONU pede ação urgente para evitar catástrofe. **ONU News**, ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). 13.04.2023. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2023/04/1813222>. Acesso em: 02.08.24.

\_\_\_\_\_. Ondas de calor na Europa aumentam mortes e causam impactos generalizados. **ONU News**, 2024. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2024/04/1830626>. Acesso em 19 ago. 2024.

\_\_\_\_\_. Sequência recorde de temperaturas globais continuou em junho. Genebra: **ONU News**. 8 jul. 2024. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2024/06/1832756>. Acesso em: 06 jul. 2024.

\_\_\_\_\_. Julho estabelece novos recorde de temperatura. **Clima e Meio Ambiente - ONU News**. 4 Agosto 2024 Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2024/08/1836101>. Acesso em 19 ago. 2024.

\_\_\_\_\_. Relatório revela que Brasil teve 12 eventos climáticos extremos em 2023. **ONU News**, Nova Iorque: Organização Das Nações Unidas (ONU), 08.05.2024. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2024/05/1831366>. Acesso em: 12 ago. 2024.



RODRIGUES, Horácio Wanderlei; GRUBBA, Leilane Serratine. **Pesquisa Jurídica Aplicada**. Florianópolis: Habitus Editora, 2023. *E-book*, 448 p.

PAIM, Elisângela Soldateli; FURTADO, Fabrina Pontes. **Em nome do clima: Mapeamento crítico da transição energética e financeirização da natureza**. Resumo executivo, abril de 2024. Rio de Janeiro: UFRRJ e Fundação Rosa Luxemburgo, 2024. Disponível em: [https://rosalux.org.br/wp-content/uploads/2024/05/resumo\\_executivo\\_port\\_v3.pdf](https://rosalux.org.br/wp-content/uploads/2024/05/resumo_executivo_port_v3.pdf) Acesso em: 24 jan. 2025

PAROLA, GIULIA.; RICCI, A. . **A implementação de uma cidadania hídrica no enfrentamento ao water grabbing: o exemplo da guerra da água**. In: Dierle Nunes; Fabrício Veiga Costa (Org.). *Processo coletivo, desenvolvimento sustentável e tutela diferenciada dos direitos fundamentais: volume 2*. 1ed.P.Alegre: Ed. Fi, 2020, v. 2, p. 125. Disponível em: [https://bdjur.stj.jus.br/jspui/bitstream/2011/158297/water\\_rights\\_water\\_parola.pdf](https://bdjur.stj.jus.br/jspui/bitstream/2011/158297/water_rights_water_parola.pdf). Acesso em: 20 jul. 2024.

PARENTE, Ana Tereza Marques e KOWARSKI, Clarissa Brandão. Desafios e oportunidades na geração de resíduos da indústria de energia solar: um olhar sobre o Brasil. (p. 65-74) *In: Temas relevantes no direito ambiental e climático: tomo I*. CHINI, Alexandre; JARCZUNE, Julliana; FROTA, Leandro Mello (coord.). 1. ed. Rio de Janeiro: Synergia, 2023.

PAULA, Ericson de. (org.) **Energía para el desarrollo de América del Sur**. São Paulo: Editora Mackenzie, 2002, 410 p.

PBMC. Forçantes Radiativas Naturais e Antrópicas. *In: PBMC. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 ao Primeiro Relatório de avaliação nacional*. Rio de Janeiro: COPPE, 2013. Disponível em: [http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos\\_publicos/GT1/GT1\\_volume\\_completo\\_cap7.pdf](http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos_publicos/GT1/GT1_volume_completo_cap7.pdf). Acesso em: 07 ago. 2024.

PENA PUPO, Leonardo et al . *Propuesta de Integración de una Central Eléctrica Termosolar al Sistema Eléctrico Cubano*. **Revista de Tecnología Química - RTQ**, Santiago de Cuba , v. 38, n. 3, p. 551-561, dic. 2018 . Disponible en [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-61852018000300010&lng=es&nrm=iso](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852018000300010&lng=es&nrm=iso). *accedido en* 17 dic. 2024.

PNSR. **O saneamento rural nas terras indígenas**. PNSR/DESA/UFMG. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e Programa Nacional de Saneamento Rural, 2018. Disponível em: <https://repositorio.funasa.gov.br/handle/123456789/342> Também em: <https://www.cptnacional.org.br/publicacoes/noticias/conflitos-no-campo/4380-lancamento-do-relatorio-anual-da-cpt-destaca-o-aumento-da-violencia-no-campo-e-dos-conflitos-pela-agua> Acesso em 29 jan. 2025

PERALTA MONTERO, Carlos Eduardo. **El antropoceno en la sociedad de riesgo: entendiendo el contexto del problema ecológico**. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica, Facultad de Derecho, 2022.

PIOVESAN, Flávia. **Direitos Humanos e o Direito Constitucional Internacional**. 12ª Ed. São Paulo: Saraiva, 2004.

QUEIROZ, Rafael Mafei Rabelo, FEFERBAUM, Marina. “**Metodologia da Pesquisa em Direito: Técnicas e Abordagens para Elaboração de Monografias, Dissertações e Teses**”. São Paulo: Saraiva, 2019, 2. ed.

REDDY, V. J., HARIRAM, N. P., MAITY, R., GHAZALI, M. F., & Kumarasamy, S. **Sustainable E-fuels: Green hydrogen, methanol and ammonia for carbon-neutral transportation**. *World Electric Vehicle Journal*, 14(12), 2023, p. 349. doi: <https://doi.org/10.3390/wevj14120349>. Available from: <https://www.mdpi.com/2032-6653/14/12/349>. Access in: 20 jul. 2024.

REIS, C.; ZUCCO, F. D.; DAROLT, E.. Gabinete de Crise versus mídia: implicações para o diálogo com a comunidade. **Intercom: Revista Brasileira de Ciências da Comunicação**, v. 36, n. 2, p. 155–173, jul. 2013.

REY, J., SEGURA, F., ANDÚJAR, J. M. Green hydrogen: Resources consumption, technological maturity, and regulatory framework. In: **Energies**, 16(17), 2023, p. 6222. doi:<https://doi.org/10.3390/en16176222> Available from: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/17/6222>. Access in: 20 jul. 2024.

RIBEIRO, H. C. M., & Correa, R. **Analysis Of The Scientific Production On The Green Hydrogen Theme Published In Scientific Journals Indexed By Ebsco. [Análise Da Produção Científica Do Tema Hidrogênio Verde Publicada Nos Periódicos Científicos Indexados Na Ebsco]** *Revista De Gestão Social e Ambiental*, 17(1), (2023), p. 1-20. doi:<https://doi.org/10.24857/rgsa.v17n1-019> Available from: <https://rgsa.openaccesspublications.org/rgsa/article/view/3165/853>. Access in: 30 July 2024.

RIBEIRO FILHO, J. de R., Tahim, E. F., & Veras, V. M. V. **Perspectivas para o Hidrogênio Verde: uma análise à luz do modelo da Hélice Tríplice**. *Brazilian Journal of Development*, 9(1), (2023), p. 1531–1553. <https://doi.org/10.34117/bjdv9n1-106> Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/56093/41208>. Acesso em: 30 julho 2024.

RIBEIRO, Malu. ONU: **SP, RJ e MG terão a maior guerra por água na América do Sul, Alerta S.O.S Mata Atlântica Brasil**. *Portal Saneamento Básico*, [S.l.], 26 mar. 2014. Disponível em: <https://www.saneamentobasico.com.br/sp-rj-e-mg-terao-a-maior-guerra-por-agua-na-america-do-sul-alerta-s-o-s-mata-atlantica/>. Acesso em: 21 dez. 2020.

RICHARDSON, Katherine; ROCKSTRÖM, Johan; STEFFEN, Will; et al. Earth beyond six of nine planetary boundaries. **Science Advances**, v. 9, n. 36, p. eadd5935, 2023. Available from: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adh2458> Access in: 13 dec. 2024.

ROCKSTRÖM, Johan; STEFFEN, Will; NOONE, Kevin; PERSSON, Asa; CHAPIN, F. Stuart III; LAMBIN, Eric; LENTON, Timothy M.; SCHEFFER, Marten; FOLKE, Carl; SCHELLNHUBER, Hans Joachim; NYKVIST, Björn; DE WIT, Cynthia A.; HUGHES, Terry; VAN DER LEEUW, Sander; RODHE, Henning; SÖRLIN, Sverker; SNYDER, Peter K.; COSTANZA, Robert; SVEDIN, Uno; FALKENMARK, Malin; KARLBERG, Louise; CORELL, Robert W.; FABRY, Victoria J.; HANSEN, James; WALKER, Brian; LIVERMAN, Diana; RICHARDSON, Katherine; CRUTZEN, Paul; FOLEY, Jonathan A. A safe operating space for humanity. **Nature**, London: Springer Nature, 2009, v. 461, n. 7263, p. 472–475, 23 Sept. 2009. Available from: <https://www.nature.com/articles/461472a> Access in: 12 dec. 2024.

RECIFE. **Decreto n. 33.080, de 8 de novembro de 2019. Declara o reconhecimento à emergência climática global.** Diário Oficial do Município, Recife, 8 nov. 2019. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/pe/r/recife/decreto/2019/3308/33080/decreto-n-33080-2019-declara-o-reconhecimento-a-emergencia-climatica-global>. Acesso em: 08 jul 2024.

RIO DE JANEIRO. **Lei nº 7.315, de 26 de abril de 2022. Dispõe sobre o reconhecimento do Estado de Emergência Climática e estabelece a meta de neutralização das emissões de gases de efeito estufa no Rio de Janeiro até 2050.** Diário Oficial do Município do Rio de Janeiro: Poder Executivo, Rio de Janeiro, 27 abr. 2022. Disponível em: <https://aplicnt.camara.rj.gov.br/APL/Legislativos/contlei.nsf/7cb7d306c2b748cb0325796000610ad8/6755256f4d88807e032588300048a1d7?OpenDocument>. Acesso em: 08 jul 2024.

RIO DE JANEIRO (ESTADO). Instituto Estadual do Ambiente - INEA. **Instrução Técnica COOEAM/PRES Nº 02/2023. Instrução Técnica para análise da viabilidade ambiental da Implantação de um HUB de Hidrogênio e Derivados de Baixo Carbono no Complexo Industrial do Porto do Açú, em São João da Barra, Estado do Rio de Janeiro, de Responsabilidade da Empresa Porto do Açú Operações S.A., conforme Processo SEI-070002/002411/2023. Rio de Janeiro: INEA, 2023a.** Disponível em: [https://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2023/04/SEI\\_50849282\\_Instrucao\\_Tecnica.pdf](https://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2023/04/SEI_50849282_Instrucao_Tecnica.pdf) Acesso em: 21 jan. 2025.

**. Processo SEI-070002/002411/2023. Estudo de impacto ambiental (EIA) para análise da viabilidade ambiental da implantação de um hub de hidrogênio e derivados de baixo carbono no complexo industrial do Porto do Açú, em São João da Barra, sob responsabilidade da Porto do Açú Operações S.A.** Rio de Janeiro: INEA, 2023b. Disponível em: [https://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/downloads/EIA-RIMA/Hub\\_H2\\_Derivados\\_Baixo\\_Carbono\\_PDA\\_EIA-RIMA.zip](https://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/downloads/EIA-RIMA/Hub_H2_Derivados_Baixo_Carbono_PDA_EIA-RIMA.zip). Acesso em: 21 jan. 2025.

**. Processo SEI-070002/002411/2023. Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) do Hub de Hidrogênio.** Disponível em: [https://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/downloads/EIA-RIMA/RIMA\\_Hub\\_H2\\_Derivados\\_Baixo\\_Carbono\\_PDA.zip](https://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/downloads/EIA-RIMA/RIMA_Hub_H2_Derivados_Baixo_Carbono_PDA.zip) Rio de Janeiro: INEA, 2023c. Acesso em: 21 jan. 2025.

. Lei nº 5101 de 04 de outubro de 2007. **Dispõe Sobre A Criação Do Instituto Estadual do Ambiente - INEA e Sobre Outras Providências Para Maior Eficiência na Execução das Políticas Estaduais de Meio Ambiente, de Recursos Hídricos e Florestais.** Promulgação: 04/10/2007.

Disponível em:

<http://alerjln1.alerj.rj.gov.br/CONTLEI.NSF/e9589b9aabd9cac8032564fe0065abb4/674aaff783d4df6b8325736e005c4dab?OpenDocument> Acesso em: 22 jan. 2025.

ROCKSTRÖM, Johan; STEFFEN, Will; NOONE, Kevin; PERSSON, Åsa; CHAPIN, F. Stuart; LAMBIN, Eric; LENTON, Timothy M. et al. “Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity.” **Ecology and Society**, 14, no. 2 (2009). Available from: <http://www.jstor.org/stable/26268316> Access in: 17 dec. 2024.

RUHL, J.B; SALZMAN, James. Climate Change Meets the Law of the Horse, **Duke Law Journal** 975-1027 (2013). Available at: <http://scholarship.law.duke.edu/dlj/vol62/iss5/1> Access in: 29 dez. 2024.

SARLET, Ingo Wolfgang; MARINONI, Luiz Guilherme; MITIDIERO, Daniel. **Curso de Direito Constitucional**. São Paulo: Editora Revista dos Tribunais, 2012. p. 270

SADELEER, Nicolas de. Environmental Law in the EU: A Pathway Toward the Green Transition. *In: Blue Planet Law - The Ecology of our Economic and Technological World*. E-Book, London: Springer Cham, 2023, p. 21-34 Available from: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-24888-7>. Access in: 04 July 2024.

SAMPAIO, Rárisson Jardiel Santos. Transição energética e neoextrativismo na América-Latina: contradições do modelo de implantação de parques eólicos no Brasil. p. 97-116. *In: AVZARADEL, Pedro Curvello Saavedra; LEONEL JÚNIOR, Gladstone; BELLO, Enzo. (org.) Direito constitucional ambiental e teoria crítica na América Latina* [recurso eletrônico] – Niterói : UFF ; Rio de Janeiro : MC&G , 2022. – 6,58 kb. : il. Dados eletrônicos (pdf).

SAMPAIO, Rárisson Jardiel Santos; MAIA, Fernando Joaquim Ferreira. A crítica da transição energética no Semiárido a partir de relatos comunitários sobre a percepção dos impactos dos parques eólicos no Seridó Ocidental Paraibano. *In: MAIA, Fernando Joaquim Ferreira et al (Org.). Energia eólica: contratos, renda da terra e regularização fundiária*. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2022, 284 p.

SANTOS PUGA, M. dos; OLORTIGA ASENCIOS, Y. J. **Avanços e limitações da produção, armazenamento e transporte de hidrogênio verde**. *In: Latin American Journal of Energy Research*, 10(2), 2023, p. 74–93. <https://doi.org/10.21712/lajer.2023.v10.n2.p74-93>

SARAIVA, Luiz Alex Silva; RAMPAZO, Adriana Vinholi (org.) **Energia, organizações e sociedade**. Recife: Fundação Joaquim Nabuco, Editora Massangana, 2017, 284 p.

SARLET, Ingo Wolfgang. **A eficácia dos direitos fundamentais: uma teoria geral dos direitos fundamentais na perspectiva constitucional**. 12. ed. rev. atual. e ampliada. Porto Alegre: Livraria do Advogado Editora, 2015.

SARTORI, Paola Mondardo. **Dever estatal de promoção de políticas públicas sobre energias renováveis: limites e desafios na criação de uma política nacional com base no direito comparado e compromissos internacionais assumidos**. 2023. Tese (Doutorado em Direito) - Programa de Pós-Graduação em Direito, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Orientador: SARLET, Ingo Wolfgang. Disponível em: <https://repositorio.pucrs.br/dspace/handle/10923/26045> Acesso em 20.06.24

SEDINI, Sandra. **Pessoas: José Antonio Marengo**. São Paulo: Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo, 2019. Disponível em: [www.iea.usp.br/pessoas/pasta-pessoaj/jose-antonio-marengo](http://www.iea.usp.br/pessoas/pasta-pessoaj/jose-antonio-marengo) Acesso em: 24 dez. 2024.

SHINDELL, Drew; SADAVARTE, Pankaj; ABEN, Ilse; BREDARIOL, Tomás de Oliveira; DREYFUS, Gabrielle; HÖGLUND-ISAKSSON, Lena; POULTER, Benjamin; SAUNOIS, Marielle; SCHMIDT, Gavin A.; SZOPA, Sophie; RENTZ, Kendra; PARSONS, Luke; QU, Zhen; FALUVEGI, Gregory; MAASAKKERS, Joannes D. The methane imperative. **Frontiers in Science**, v. 2, 29 jul. 2024. <https://doi.org/10.3389/fsci.2024.1349770>. Available from: <https://www.frontiersin.org/journals/science/articles/10.3389/fsci.2024.1349770/full> Access in: 7 aug. 2024.

SIRIMARCO, Mauro Toledo; CHEHUEN NETO, José Antonio; MOUTINHO, Bruna Damásio; APOLINÁRIO, Matheus Magalhães. **A estrutura de um artigo científico**. In: CHEHUEN NETO, José Antonio (org.). Metodologia, modelos e estatística aplicados à pesquisa científica na área da saúde. Juiz de Fora: Editora UFJF, 2022. p. 175-199.

SOROMENHO-MARQUES, Viriato; MAGALHÃES, Paulo. Our Blue Planet at the Crossroads. Between the Hobbesian Nightmare and a New Culture of the Commons. p. 34-47 In: GARCIA, Maria da Glória; CORTÊS, António. **Blue Planet Law: The Ecology of our Economic and Technological World**. Cham (Switzerland): Springer Nature / Católica Research Centre For The Future of Law Lisboa. Sustainable Development Goals Series, 2023.

SOUZA, Murilo. **Projeto reconhece estado de emergência climática no Brasil**. Meio Ambiente e Energia. Brasília(DF): Agência Câmara de Notícias, 30/07/2020. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/680583-projeto-reconhece-estado-de-emergencia-climatica-no-brasil>. Acesso em 30.07.24

STEFFEN, Will; CRUTZEN, Paul J.; MCNEILL, John R. The Anthropocene: Are Humans Now Overwhelming the Great Forces of Nature? **Ambio Nature**, Vol. 36, No. 8, Londres:Springer Nature, Dez. 2007 pp. 614-621. Available from: <https://www.jstor.org/stable/25547826>. Access in: 30 July 2024.

STEFFEN, Will; RICHARDSON, Katherine; ROCKSTRÖM, Johan; CORNELL, Sarah E.; FETZER, Ingo; BENNETT, Elena M.; BIGGS, Reinette; CARPENTER, Stephen R.; DE VRIES, Wim; SÖRLIN, Sverker. et al. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. **Science**, Vol. 347, n<sup>o</sup>. 6223, Londres:Springer Nature, 2015. DOI:10.1126/science.1259855 Available from: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1259855>. Access in: 29 July 2024

STOCKHOLM RESILIENCE CENTRE. **Planetary boundaries**. Research - Planetary boundaries. Stockholm University and the Beijer Institute of Ecological Economics at the Royal Swedish Academy of Sciences. Estocolmo/Suécia, Stockholm Resilience Centre, 2023 Available in: <https://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries.html> Access in: 31 July 2024.

THEENAKOON, T. M. T. N. et al. Harnessing the Power of Ocean Energy: A Comprehensive Review of Power Generation Technologies and Future Perspectives. **Journal of Research and Technology Engineering**, v. 4, n. 3, p. 73-102, 2023. Available from: [https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Thennakoon\\_et\\_al\\_2023.pdf](https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Thennakoon_et_al_2023.pdf). Access in: 19 July 2024.

UNEP. As emissões de metano estão impulsionando a mudança climática. Veja como reduzi-las. **Climate Action – UNEP**. Nairóbi, Quênia: Programa da ONU para o Meio Ambiente – UNEP, 20 Aug 2021. Disponível em: <https://www.unep.org/> Acesso em 03.08.24.

VALÊNCIO, Norma. Entre o Planejamento Ufanista e a Crise Imprevista: Armadilhas do Tecnocentrismo Hídrico/Hidrelétrico. In: SARAIVA, Luiz Alex Silva; RAMPAZO, Adriana Vinholli (Org.) **Energia, organizações e sociedade**. Recife: Fundação Joaquim Nabuco – Ed. Massangana, 2017 (pp. 46-76).

SANTOS PUGA, M. dos; OLORTIGA ASENCIOS, Y. J. **Avanços e limitações da produção, armazenamento e transporte de hidrogênio verde**. In: Latin American Journal of Energy Research, 10(2), 2023, p. 74–93. <https://doi.org/10.21712/lajer.2023.v10.n2.p74-93>

SERPA, Egídio. **Hidrogênio: Doutor da Unesp e da USP questiona sustentabilidade do H2V**. Diário do Nordeste, Fortaleza: Verdes Mares, 3 nov. 2023. Disponível em: <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/opiniao/colunistas/egidio-serpa/hidrogenio-doutor-da-unesp-e-da-usp-questiona-sustentabilidade-do-h2v-1.3438545>. Acesso em: 16 Jan. 2025.

SILVA BARBOSA, A. O Hidrogênio Verde Pode Ser Uma Oportunidade Para Consolidar O Brasil Como Protagonista Mundial Na Descarbonização Do Setor Energético. **Revista Interfaces: Saúde, Humanas E Tecnologia**, 11(4), 2024. <https://doi.org/10.16891/2317-434X.v11.e3.a2023.pp3255-3259>. Disponível em: <https://interfaces.unileao.edu.br/index.php/revista-interfaces/article/view/1713>. Acesso em: 30 Jul. 2024.

SOARES, M. C. S.; FERREIRA, M. A. R. **Gestão integrada e adaptativa da água: a governança da bacia do Alto Tietê em face da escassez hídrica**. Cadernos de Campo: Revista de Ciências Sociais, v. 23, n. 23, p. 1-18, 2014.

SOUZA, Natália Faria de. **Conflito federativo e democracia deliberativa: a gestão das águas do Rio Paraíba do Sul**. 2017. 132 f. Dissertação (Mestrado em Direito) – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

VARGAS, R. A.; CHIBA, R.; FRANCO, E. G.; SEO, E. S. M. **Hidrogênio: O Vetor Energético do Futuro?** São Paulo (SP): Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares da Universidade de São Paulo (IPEN-USP), [2006]. Disponível em: <https://repositorio->

api.ipen.br/server/api/core/bitstreams/619ca994-d115-452a-84fa-8f20dd3c6713/content.  
Acesso em: 10 jan. 2025.

VASCONCELOS, André; FERNANDES, Juliana Bezerra. A Fundamentalidade do Direito Fundamental de Acesso à Água e o Direito à Saúde Durante a Pandemia de Covid-19. *In Artículos: III Seminário Internacional sobre Democracia, Ciudadanía y Estado de Derecho*. MONICA, E. F.; HANSEN, G. L.; SUÁREZ BLÁSQUEZ, G. (Orgs.). ISSN 2695-5784. Ourense: Universidade de Vigo, 2021. 1375 p.

SANTANA, Nelbe Nesi; AVZARADEL, Pedro Curvello Saavedra. **Concretização da “Agenda Pendente” dos Direitos Fundamentais à Água e ao Saneamento Básico, Como Pressuposto do Direito à Saúde: Visão Interdisciplinar no Enfrentamento às Pandemias**. p. 245 a 257. *In: Tratado do Agenda Pluridisciplinar Pendente dos Direitos Fundamentais à Água Potável e ao Saneamento Ambiental*. Deilton Ribeiro Brasil (Org.). 1ª edição (3 outubro 2024). Belo Horizonte: Conhecimento Editora, 2024, 676 p.

VEIGA, J. E. da. Antropoceno e Humanidades. *Anthropocena*. **Revista de Estudos do Antropoceno e Ecocrítica**, [S. l.], v. 3, 2022. DOI: 10.21814/anthropocena.4203. Disponível em: <https://revistas.uminho.pt/index.php/anthropocena/article/view/4203>. Acesso em: 2 jan. 2025.

\_\_\_\_\_. **O Antropoceno e as Humanidades**. 1º ed. São Paulo: Editora 34, 2021, 208 p.

VENKATARAMAN, Bhawani. “The Precautionary Principle and Safe Drinking Water.” *In: The Paradox of Water: The Science and Policy of Safe Drinking Water*, 1st ed., Oakland(CA): JSTOR, University of California Press, 2023., <https://doi.org/10.2307/j.ctv33f0zh2.12>. Available from: Access in: 1 July 2024.

VEUGELERS, Reinhilde. Powering the Clean Energy Innovation System. **Peterson Institute for International Economics, JSTOR**, 2024. <http://www.jstor.org/stable/resrep58215>. Acesso em 30 jun 2024.

WÄHLIN, Anna. Swirls and scoops: Ice base melt revealed by multibeam imagery of an Antarctic ice shelf. **Science**, vol. 10, nº. 31. Washington: Science Advances, 31.07.2024. Available from: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adn9188>. Access in: 10 aug. 2024.

WERRELL, Caitlin E.; FEMIA, Francesco. Antropoceno: os desafios essenciais de um debate científico. **Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura**. Paris:UNESCO, 24 de Abril de 2018. Available in: <https://www.unesco.org/pt/articles/antropoceno-os-desafios-essenciais-de-um-debate-cientifico>. Access in: 31 July 2024

WENZEL, H., MÜLLER, G., HARZENDORF, F., SCHÖB, T., KULLMANN, F., WEINAND, J.M., STOLTEN, D., Towards Water-conscious Green Hydrogen and Methanol Production: A Technoeconomic Review, *Nexus*, n. 100054, 6 January 2025, Hong Kong: Elsevier / Hong Kong Polytechnic university, 2025. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ynexus.2025.100054>. <https://www.cell.com/nexus/pdf/S2950->

1601(25)00001-4.pdf?\_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2950160125000014%3Fshowall%3Dtrue

WOODWELL, George. Os efeitos do aquecimento global. *In* LEGGETT, Jeremy. (org.) **Aquecimento global: o relatório Greenpeace**. LISSOVSKY, Alexandre (trad.). Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1992, 516 p.

XAVIER, José Roberto Franco. Algumas notas teóricas sobre a pesquisa empírica em direito. **Research Paper Series – Legal Studies Paper** n. 122. São Paulo: Law School of Fundação Getúlio Vargas – FGV DIREITO SP, June 2015. Disponível em: <https://repositorio.fgv.br/server/api/core/bitstreams/93ce08a6-5d4e-47f6-9ee5-896de7b8e4c4/content>. Acesso em: 29 ago. 2024.

YAN, X., ZHENG, W., WEI, Y., YAN, Z. **Current status and economic analysis of green hydrogen energy industry chain**. *In*: Processes, 12(2), 2024, p. 315. doi: <https://doi.org/10.3390/pr12020315>