

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO
CURSO DE DIREITO**

ISABELLE DE CÁSSIA MENDONÇA

**UM CONTINENTE DE INOVAÇÃO E UM DIREITO EM ILHAS?
TECNOCIÊNCIA NANO E PROTEÇÃO MARINHA:
Como a Ciência Jurídica Navegará e Tutelará o
Ambiente Aquático frente ao *Ocean Nanotech***

São Leopoldo

2021

ISABELLE DE CÁSSIA MENDONÇA

**UM CONTINENTE DE INOVAÇÃO E UM DIREITO EM ILHAS?
TECNOCIÊNCIA NANO E PROTEÇÃO MARINHA:
Como a Ciência Jurídica Navegará e Tutelará o
Ambiente Aquático frente ao *Ocean Nanotech***

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Ciências Jurídicas e Sociais, pelo Curso
de Direito da Universidade do Vale do Rio
dos Sinos (UNISINOS)

Orientadora: Prof.^a Dra. Raquel von Hohendorff

São Leopoldo

2021

Aos meus pais, **Elisandra e Celio**, e ao meu irmão, **Valentino**, porque fizeram esta construção nascer e foram meu suporte constante para que esta obra chegasse ao seu final.

A **todos** que, genuinamente, levam seus barcos ao mar e fazem da sua vida um meio de proteger e de salvar cada água salina que se desfez pelo incerto do inovar.

AGRADECIMENTOS

Há um hino adventista que assim diz: “Se com desalento julgas tudo vão, conta as muitas bênçãos, dize-as de uma vez, hás de ver, surpreso, quanto Deus já fez”. Quantos são os agradecimentos! Há tanto para afagar corações em gratidão, seja por uma oração, seja por um carinho, por uma brisa do mar que acalentou a alma, por um pássaro que na janela cantou, por um sorriso, uma sabedoria, um livro. Provavelmente seriam infinitas as linhas necessárias. Com toda certeza, toda a estrutura, que me ajudou até esta etapa, não será exaustivamente, e devidamente, mencionada e agradecida, mas fica o meu registro - preliminar, para que este não preclua -, da gratidão pelas incontáveis bênçãos, desde meu nascimento até o advento desta monografia - o *marco do ingresso* na vida acadêmica. Dada as preliminares, sigo para o *mérito dos agradecimentos...*

Ao **Criador**, por fazer cada célula que compõe meu indivíduo ser agraciada por Sua assinatura, por Sua misericórdia e por Seu infindável amor. Quantas vezes minha pobre alma clamou e o Senhor ouviu e curou todas as angústias que me assolavam – sem nada, absolutamente nada, eu merecer em troca, por *pura e preciosa graça* de um Cristo inexplicável.

Muitas são, Senhor, Deus meu, as maravilhas que tens operado e os teus pensamentos para conosco; ninguém há que se possa comparar a ti; eu quisera anunciá-los, e manifestá-los, mas são mais do que se podem contar.¹

Aos meus avós, **Maria Gecy** e **Modesto**, por me mostrarem desde meninota o mundo da pesquisa quando permitiam eu explorar as gavetas de seus armários para encontrar algum papel centenário ou alguma relíquia para tentar compreender como eram seus mundos quando jovens. Gratidão, vovó e vovô, por tudo que me ensinaram! Gratidão pelos senhores terem tanta admiração e valorização pelo Curso que escolhi, que me sentia a pessoa mais feliz de Seberi/RS. Eu *não vejo a hora* de nos reencontrarmos. Prosseguir nesta etapa foi parte da preciosa herança de seus ensinamentos.

¹ SALMO 40:5. Portuguese English Bilingual. In: BIBLE The Gospels. King James Version Almeida Recebida. [S. l.]: Lulu Press. 2019. p. 111.

Aos meus amados pais, **Elisandra** e **Celio**, por serem o verdadeiro abraço e retrato do Criador, constante, em minha vida; por serem, incansavelmente, meus braços e, tantas vezes, minhas pernas na caminhada da existência. Gratidão, meus pais, pelos olhares firmes e constantes: *Prossiga! Para trás nem para dar impulso!*; e o famigerado: *Treinamento difícil; combate fácil!* Obrigada pelo amor que vocês transbordam e, principalmente, por semearem que a mais alta honraria de um ser humano é ter e manter vivaz os valores, os deveres e a ética. Com toda certeza, toda a linha que aqui nasceu foi colheita dos frutos que produziram em mim.

Ao meu irmão, **Valentino**. *Meu pinguinho*, você é meu grande, e estupendo, presente do Criador e meu motivador para seguir em frente! Gratidão por todo o seu apoio, pela sua doçura externados em amados sorrisos e abraços, durante todo este início de trajetória acadêmica. Os momentos que não brincamos serão grandemente recompensados. A mana *finalmente* terminou (esta etapa 😊)!

À **Glauceia**, **Márcio** e **Lívia**, porque vocês são a transcrição da amizade descrita pelo Céus, constituída e selada pelos laços do amor e da genuína lealdade! Minha amada segunda família, que me aconselha e que me proporciona sustentação para acreditar e para seguir em passos firmes.

À minha orientadora, *wonderful woman*, professora **Raquel von Hohendorff**, um grande presente do Criador em minha vida e que compõe a extensão da minha família na UNISINOS. Gratidão pela sua sabedoria, pelo seu lindo coração e pela Prof., literalmente, levar-me pela mão nesta aventura extraordinária e encantadora da pesquisa. Gratidão por ser, parafraseando a célebre citação de Augusto Cury, a descrição de um verdadeiro professor fascinante: aquele que ensina para a vida, muito além de ensinar uma profissão. E, claro, gratidão por sugerir e orientar esta monografia. Foi maravilhoso navegar por estes mares!

À família **Geração 148**. Gratidão por cada membro me levar aos caminhos das águas tranquilas e por cada familiar me orientar a ser e a viver Romanos 14:8, fazendo dessa existência uma constante e preciosa missão.

Aos amigos de caminhada e de fé - bem como de café na *Florinda's*, ainda que na promessa ☺ -, que sempre ajudaram, incansavelmente, seja por uma palavra, seja por um sorriso, especialmente: **Eliane Bereta, Giovana Benvenuti, Jade Bittencourt Lima, Júlia Damasceno, Júlia Tomazel Trivilin, Maria Cecília Martinelli Krein e Natália Vitória Adam Guimarães**. Vocês foram e são incríveis!

Ao **JusNano**, a todos que compõem este precioso Grupo de Pesquisa, em especial, gratidão ao professor Wilson Engelmann, fundador do Grupo, que gera em todos os alunos a admiração pelo conhecimento e a valorização, sobretudo, da humanidade e da humildade. Todo meu carinho e agradecimento ao Grupo, uma vez que esta monografia advém e é fundamentada por tudo que aprendi com a ilustre orientação e amizade de vocês!

À professora **Mônia Clarissa Henning Leal**, que, gentilmente e generosamente, explicou-me a importância dos estudos de Claus-Wilhelm Canaris às nanotecnologias, enviando-me, inclusive, uma obra de sua autoria para utilização neste trabalho.

Aos demais **docentes**, desde os tempos dos bancos escolares, que me ensinaram preciosidades e cooperaram ao fim para a construção do castelo do Direito, em especial, aqueles que me deram a honra de chamá-los de amigos - e, diretamente, ou indiretamente, auxiliaram-me a construir o pensamento desta monografia. Gratidão pelos seres humanos extraordinários que são em minha vida!

À **UNISINOS**, gratidão a todos que compõem esta estrutura espetacular e que geram a Escola de Direito. Guardarei sempre, com carinho, os funcionários, o Vicente e sua livraria encantada, a Cultural, a biblioteca e a lindíssima natureza deste *campus*.

A todos aqueles que aqui desejaram navegar. Muito obrigada, amado leitor! É uma grande honra saber que seus olhos perpassaram cada linha aqui redigida, com muito carinho, por uma aprendiz de marinho.

“A vida é um mar. A experiência humana, uma embarcação. Nós, os condutores. No mar, milhões de barcos: uns estão isolados de todos, outros estão em conflitos com outros; uns estão parados, observando os movimentos de outros barcos, outros afundam sem mesmo se aperceberem disto; uns remam com força em diversas direções, outros se deixam levar pelo vento enquanto assobiam melodias de canções familiares.

E a pergunta? Ah, sim...

A pergunta que reverbera nas paredes do coração de cada ser humano desde o primeiro pôr do sol, desde que o primeiro barco deixou o primeiro rastro na areia em direção ao incerto, em direção a territórios não mapeados, é: *Existe algo além do que os nossos olhos hoje podem ver? Existe um lar do outro lado desse mar? Existe mais?*’

- Mais, Os Arrais.

RESUMO

Ao longo da história, a humanidade sofreu reflexos de suas criações. Na veemência de galgar novas tecnologias e revolucionar/facilitar seu cotidiano, o ser humano confeccionou, inclusive, o incognoscível, como a conquista do mundo nanoescalar. Tal inovação, correspondente à bilionésima parte do metro, tem gerado significativas metamorfoses no Brasil e no mundo, tendo em vista seu comportamento disruptivo e seus possíveis riscos para os seres vivos, a destacar, àqueles pertencentes ao ecossistema marinho - objeto de estudo na presente monografia. Entretanto, ainda que diante de um cenário incerto, não há qualquer marco regulatório específico sobre a nano, em *terrae brasilis*, para tutelar a vulnerabilidade marinha frente às nanotecnologias. Insta salientar que a perspectiva metodológica será a sistêmico-construtivista de Niklas Luhmann, uma vez que a complexificação das relações sociais, os diferentes sistemas e subsistemas que compõem a sociedade, desde o Direito até as demais ciências, necessitam relacionar-se. Em principal, ao tratar de nanotecnologias, exige-se um cenário transdisciplinar. Nesse sentido, a complementar, utiliza-se de revisões bibliográficas que não compõem o Direito tradicional, haja vista a utilização de subsistemas diversos da ciência da natureza e suas tecnologias, como parte da transdisciplinariedade. Assim sendo, objetiva-se com o presente estudo: I) apresentar a *nanotech* e as diferentes visões sociológicas sobre as metamorfoses sociais que impactam os sistemas; e, em decorrência, o Direito, necessitando, este, mudar seu *modus operandi* e atentar-se às mudanças provocadas pelas nanotecnologias, principalmente, no ambiente marinho (objeto de análise); II) demonstrar os benefícios e os riscos nano ao mar, aprofundando o que a literatura científica já catalogou como uma maneira de aplicar a devida medida precaucional por parte da Ciência Jurídica; ademais, III) ainda que não haja marcos regulatórios específicos, almeja-se retirar um ideal legalista, de que apenas a legislação pode salvaguardar a biota marinha e, desse modo, partir para o diálogo entre as fontes, tendo como norteador os princípios ambientais, as legislações já existentes no Brasil e os instrumentos internacionais. Para a base principiológica, haverá como norteador os princípios propostos pelo Projeto *NanoAction* promovido pelo *International Center for Technology Assessment* (ICTA). Portanto, a título de considerações finais, na realidade, há um arcabouço regulamentador no Brasil. Isso porque, após a análise das fontes do Direito, verificou-se diversos subsídios de

tutela ambiental-marinha, ainda que não haja, diretamente, o termo *nano* no comando normativo. Entretanto, esta estrutura jurídica precisa ser aplicada, ser plenamente eficaz. Ademais, por fim, salienta-se que, quanto às especificidades do ciclo nanotecnológico, para estes deverá a academia, os juristas, aprofundarem-se em novas formas regulamentadoras, como a hibridização *hard law* e *soft law*, para constituir-se na plenitude de proteção dos mares. Nesse ínterim, será proporcionada a devida salvaguarda oceânica, de forma que haverá tanto a proteção aos seres marinhos quanto aos seres humanos, sendo extensiva por gerações.

Palavras-chave: nanotecnologias; biota marinha; principiologia jurídica; tutela do mar.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - <i>Seascape near Les Saintes-Maries-de-la-Mer</i>	18
Figura 2 - Políticas públicas e de fomento das nanotecnologias no Brasil.....	36
Figura 3 - Ciclo de vida de um nanomaterial.....	40
Figura 4 - Demonstração do funcionamento da espuma, “[...] alternativa ecologicamente correta, econômica e promissora para a limpeza de água” (tradução nossa)	49
Figura 5 - Grandes desastres ambientais com derramamento de óleo nos oceanos desde 1942. No <i>item (a)</i> , há a localização e o ano; no <i>item (b)</i> , contém o volume do óleo derramado, em toneladas, no mar.....	50
Figura 6 - Propagação do óleo no ambiente, processo de intemperismo	51
Figura 7 - Demonstração do percentual de sobrevivência de peixes com a nanovacina. Legenda: coloração azul e verde, respectivamente, realizada imersão/imersão e imersão/oral da vacina; coloração vermelha são os peixes que não efetuaram o tratamento.	53
Figura 8 - Diferentes utilizações nano para a remoção de poluentes de águas residuais (<i>wastewater</i>)	56
Figura 9 - Demonstração da remoção de contaminantes por nanopartículas magnéticas.....	58
Figura 10 - Membrana de grafeno com poros subnanômetro: filtração da água salinizada	62
Figura 11 - Possíveis locais em que as nanopartículas podem percorrer no organismo humano.....	64
Figura 12 - Diferentes formas e composições de nanopartículas projetadas	68
Figura 13 - Interação de nanopartículas - no exemplo, as nanopartículas metálicas (<i>MNPs</i>) - e suas transformações físicas, químicas e biológicas em contato com diferentes ambientes. Destaca-se na figura o contato com a água.....	73
Figura 14 - A indicação dos pontos (1,2,3,4) são os locais em que foram coletadas as amostras. A coloração em vermelho se trata de área de cumulação de plástico no mar, consoante mediação realizada durante 30 anos, nos termos do estudo de Law <i>et al.</i> ..	77
Figura 15 - Exemplo de diferentes fontes em que partículas de tinta podem ser inseridas no ambiente marinho	80

Figura 16 - Demonstração das diferentes vias de propagação de partículas de tinta no ambiente marinho e a listagem de íons prejudiciais no canto inferior esquerdo. .82	
Figura 17 - Pontos de amostragem e espécies de golfinhos estudados84	
Figura 18 - Interação das nanopartículas no ambiente aquático.....88	
Figura 19 - Proposta de cooperação entre órgãos e entidades para a formação de marcos regulatórios para as nanotecnologias.125	

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Concentrações de Ti no fígado e tecido muscular, respectivamente, das espécies *Steno bredanensis* e *Pontoporia blainvillei*.....86

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Diferentes comandos normativos para a regulação das nanos e para a proteção do meio ambiente	123
---	-----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Princípios do Projeto NanoAction e os princípios jurídicos correspondentes no Brasil; bem como a previsão legal no Direito brasileiro 113

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Ag	Prata
Anvisa	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
Au	Ouro
C60	Fulereo
CCJ	Comissão de Constituição, Justiça e Cidadania
CCNANOMAT	Comitê Consultivo de Nanotecnologia e Novos Materiais
CCT	Comissão de Ciência, Tecnologia, Inovação, Comunicação e Informática
CDC	Código de Defesa do Consumidor
CNPEM	Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais
CO ₂	Dióxido de Carbono
CuO	Óxido de cobre
EIA	Estudo prévio de impacto ambiental
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENPs	Engineered nanoparticles Nanopartículas projetadas/engenheiradas
EPA	Environmental Protection Agency Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
FAN	Florações algais nocivas
FDA	Food and Drug Administration
Fe ₃ O ₄	Magnetita
FIB	Felicidade Interna Bruta
Fiocruz	Fundação Oswaldo Cruz
FURG	Universidade Federal do Rio Grande
ICTA	International Center for Technology Assessment
IO	Instituto Oceanográfico
IoT	Internet das coisas
ISO	International Standardization Organization
LA	Inteligência artificial
LINDB	Lei de Introdução às Normas do Direito

LNNano	Laboratório Nacional de Nanotecnologia
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
OIT	Organização Internacional do Trabalhador
OMS	Organização Mundial da Saúde
OR	Osiose reversa
PAA	Poli (ácido acrílico)
PAH	Poli (cloridrato de alilamina)
Pb	Chumbo
PE	Polietileno
PET	Polietileno tereftalato
PIB	Produto Interno Bruto
PLGA	Poli (ácido láctico-co-glicólico)
PS	Poliestireno
PVC	Policloreto de vinila
SisNANO	Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias
Te	Telúrio
Ti	Titânio
TiO ₂	Dióxido de titânio
UFRRJ	Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
UPTC	Universidade Pedagógica e Tecnológica da Colômbia
VHS	Septicemia hemorrágica viral
ZnO	Óxido de zinco

SUMÁRIO

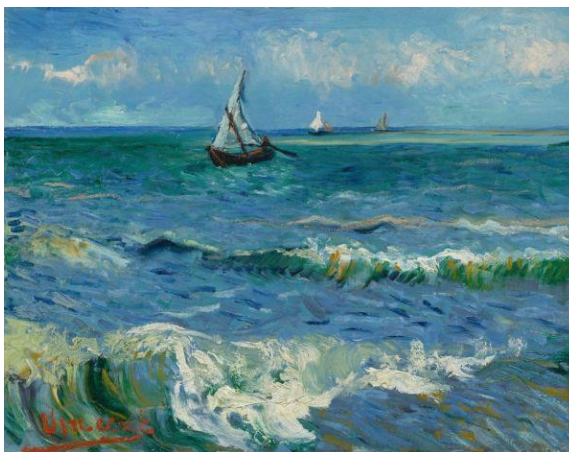
1 CARTA NÁUTICA: UM INTROITO PARA QUEM AQUI DESEJAR NAVEGAR ..	18
2 AO ÁTRIO DO <i>NANOWORLD</i>: UM CENÁRIO E UMA DISRUPÇÃO NA HISTÓRIA DA HUMANIDADE.....	28
2.1 À vista da metamorfose global: sociedade de liquidez e revoluções.....	28
2.2 Tecnologia nanoescalar: do literário futurístico à conquista humana	32
2.3 O prelúdio da complexa casa <i>nanoworld</i> : diferentes terminologias e desafios iniciais.....	37
3 OCEAN NANOTECH: UM ARRAIS NA TUTELA DOS MARES (?) E APORIAS AOS ANIMAIS MARINHOS	43
3.1 Benefícios e possibilidades no oceano das nanotecnologias	46
3.1.1 As rotas nano-marítimas favoráveis à biota marinha: a comunidade científica e os aportes benéficos ao mar	48
3.2 Sobre riscos e toxicidades: a era da nanoecotoxicologia marinha	62
3.2.1 Um pequenino lume sobre o funcionamento nano: a estrutura das nanopartículas projetadas sendo proporcional à toxicidade no ambiente - base de preocupações marinhas e jurídicas	67
3.2.2 Ao mar nanoecotoxicológico, <i>avante!</i> O registro literário científico sobre a atuação das nanopartículas na biota marinha.....	72
3.3 Benefícios e imprevisibilidades nano: aporias e uma resposta <i>phrónesis</i> aristotélica para uma navegação ainda incerta	90
4 O ARQUIPÉLAGO DE UM DIREITO? SOBRE EM QUE ILHA SE PERDEU A SALVAGUARDA AMBIENTAL E COMO A CIÊNCIA JURÍDICA PODERÁ RESGATAR UM CONTINENTE DE INOVAÇÃO E DE PROTEÇÃO MARINHA.....	94
4.1 O pluralismo pós-moderno e o <i>Dialog der Quellen</i> : novas perspectivas para o Direito.....	98
4.2 <i>Risikopflicht</i> - o dever de evitar riscos como comando estatal e extensivo ao social.....	104
4.3 <i>NanoAction</i> : sobre a aplicabilidade da principiologia em <i>terrae brasilis</i> e seus desdobramentos na tutela nano-mar	109
4.3.1 Princípio da precaução.....	114
4.3.2 Princípio sobre a regulamentação mandatária nanoespecífica	120
4.3.3 Princípio de proteção e saúde do público e dos trabalhadores	127

4.3.4 Princípio da sustentabilidade ambiental	130
4.3.5 Princípio da transparência e Princípio da participação do público	132
4.3.6 Princípio sobre a consideração de outros impactos	139
4.3.6 Princípio da responsabilidade do produtor	142
4.4 O resgate do continente de inovação e de proteção marinha, unicamente (?), pelo basilar principiológico: entre ilusões e possibilidades	144
5 A TÍTULO DE CONSIDERAÇÕES FINAIS - QUANDO A ODISSEIA DA ERA NANO ENCONTRA A HISTÓRIA DE HOMERO: ULISSES VAI A ÍTACA, ASSIM COMO O DIREITO ESTÁ A IR AO MAR NANOTECH?	152
5.1 Uma Odisseia Homérica na <i>Era Nano</i>: a travessia do Direito no mar dos encantos nanotecnológicos	152
5.2 O desvio do elo final: o abrir do círculo e a continuidade da navegação ..	154
REFERÊNCIAS.....	160

1 CARTA NÁUTICA²: UM INTROITO PARA QUEM AQUI DESEJAR NAVEGAR

Talvez ao leitor curioso coubesse a pergunta: *Ora, por que uma pintura já na antessala desta monografia? Onde estariam os introitos, as palavras de alumio e de direção para uma monografia?*

Figura 1 - *Seascape near Les Saintes-Maries-de-la-Mer*



Fonte: Gogh³.

A todo bom arrais faz-se necessário conhecer as águas que serão conquistadas. Nada mais adequado, portanto, trazer ao nobre leitor uma arte marinha (figura 1), para, assim, lembrar quão estonteante, belo e enigmático se faz o mar⁴. Não é em vão que Vincent van Gogh entregou-se aos encantos do oceano e deu vida à *Seascape near Les Saintes-Maries-de-la-Mer* - obra que contém muito mais que tintas, mas, inclusive, areia marítima na composição neste belíssimo quadro.

Logo, ao tema que aqui será percorrido, caberá - igualmente à arte que se propôs como um *primeiro parágrafo* deste trabalho - um oceano ambíguo. Isso porque haverá a abordagem de águas que se podem molhar os pés e viajar em barcos; bem como haverá o conhecimento de um oceano de possibilidades, tanto de

² Análoga à carta náutica que está para orientar, guiar o arrais ao mar, a introdução objetiva guiar o leitor à temática que será explorada à frente, nos capítulos subsequentes desta monografia.

³ GOGH, Vincent van. **Seascape near Les Saintes-Maries-de-la-Mer**. [S. l.], 1888. Disponível em: <https://www.vangoghmuseum.nl/en/collection/s0117v1962>. Acesso em: 10 maio 2021.

⁴ Há diferença entre os termos *mar* e *oceano*, consoante a ciência da geografia. No entanto, incumbe salientar que estes serão usados como sinônimos nesta monografia. PROJETO GOLFINHO ROTADOR. **Mares e oceanos, você sabe as diferenças?** Fernando de Noronha, 26 abr. 2021. Disponível em: <https://golfinhorotador.org.br/en/2021/04/26/mares-e-oceanos-voce-sabe-as-diferencas/>. Acesso em: 02 maio 2021.

benefícios quanto de riscos, quando uma inovação, como a nanotecnologia, é levada aos mares (e como o Direito irá reagir frente a esse avanço científico eivado de dicotomias) - tal qual o horizonte infinito da *Saintes-Maries-de-la-Mer*. Ajustadas, portanto, as velas e tendo a carta náutica em mãos, deseja-se uma proveitosa e enriquecedora leitura. Inicia-se, agora, a viagem aos *mares nano*.

Há muito que a humanidade sofre reflexos de suas criações. Na veemência de galgar novas tecnologias e revolucionar/facilitar seu cotidiano, o ser humano confeccionou, inclusive, incognoscibilidade como se verifica na conquista nanoescalar. Há consenso que “[...] os séculos anteriores a este último [...] não enfrentaram nem de longe, a quantidade de problemas novos que as mais recentes tecnologias”⁵. O que será, ao longo do presente trabalho, exemplificado por meio dos termos: *Metamorfose do Mundo*, *Quarta Revolução Industrial* ou também *Modernidade Líquida*⁶.

Nesse ínterim, “[...] a nanotecnologia anuncia mudanças em uma narrativa estruturante para a relação entre sociedade, ciência e tecnologia”⁷. Algo que está dentro do acrônimo *BANI* - sigla em inglês para as palavras *brittle* (frágil), *anxious* (ansioso), *nonlinear* (não linear) e *incomprehensible* (incompreensível). Tal definição é cunhada pelo antropólogo e historiador Jamais Cascio, da Universidade da Califórnia, ao compreender que o cenário temporal apresenta:

Situações em que as condições não são simplesmente instáveis, elas são caóticas. Os resultados não são simplesmente difíceis de prever, eles são completamente imprevisíveis. Ou, para usar a linguagem particular dessas estruturas, situações em que o que acontece não é simplesmente ambíguo, é incompreensível⁸ (tradução nossa).

⁵ VALLS, Álvaro. *Da ética à bioética*. Petrópolis: Vozes, 2004. p. 138.

⁶ Respectivamente, termos cunhados por: BECK, Ulrich. *A metamorfose do mundo: novos conceitos para uma nova realidade*. 1. ed. Rio de Janeiro: Zahar, 2018. *E-book*. SCHWAB, Klaus. *A quarta revolução industrial*. São Paulo: Edipro, 2016. *E-book*. BAUMAN, Zygmunt. *Modernidade Líquida*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2001.

⁷ PYRRHO, Monique; SCHRRAM, Fermin Roland. *Nanotecnociência e humanidade*. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2016. p. 142. *E-book*.

⁸ “Situations in which conditions aren’t simply unstable, they’re chaotic. In which outcomes aren’t simply hard to foresee, they’re completely unpredictable. Or, to use the particular language of these frameworks, situations where what happens isn’t simply ambiguous, it’s incomprehensible”. CASCIO, Jamais. Facing the age of chaos. *Medium*, San Francisco, CA, 29 Apr. 2020. Disponível em: <https://medium.com/@cascio/facing-the-age-of-chaos-b00687b1f51d>. Acesso em: 10 jun. 2021.

Há complexidade e, principalmente, extrema incompreensão do que ocorre. Sabe-se, conforme destacam Mendonça e Fröhlich⁹, que o conhecimento “[...] no meio científico, referente às nanotecnologias, atém-se a pesquisas, em sua totalidade, em ambientes controlados, *in vitro*” (grifo do autor). Assim sendo o comportamento nano inserido no ambiente natural pode ser causador de danos imensuráveis, uma vez que se desconhece seu real funcionamento.

Em contrapartida, não se poderá omitir o quanto o mundo nanoescalar está a conquistar o mercado global, principalmente, pelo benefício que é gerado ao cotidiano humano. Para isso, basta verificar que o crescimento nanotecnológico na economia mundial, estimado em US \$ 42,2 bilhões no ano de 2020, está para atingir o marco de US \$ 70,7 bilhões até 2026 - o que corresponde a uma taxa de crescimento anual de 9,2%¹⁰. Isso porque a utilização desta inovação atinge desde a medicina, atuando na profilaxia, até a utilização ambiental, ao remover poluentes do meio ambiente¹¹. Eis, portanto, o oceano de riscos e de possibilidades.

Logo, é neste cais que o Direito está a partir, avançando neste horizonte marítimo completamente disruptivo. As constatações, assim, movem a embarcação jurídica para a problemática, para a turbulência das marés que se seguirão: e o Direito como irá reagir (ou está reagindo) frente ao cenário metamórfico que se apresenta?

Ah, o Direito... aquele que está para “[...] afirmar o sentido da vida em sociedade”, que detém a tarefa de “[...] ligar os vínculos e demarcar os limites”¹²... O artista “[...] para decidir o fundo de irresolubilidade”¹³. Assim sendo seguiria, portanto, tal Ciência em uma conjuntura rígida de seus clássicos? Seguiria fazendo da sociedade um laboratório para verificar o que a fonte direta e as fontes indiretas

⁹ MENDONÇA, Isabelle de Cássia; FRÖHLICH, Afonso Vinício Kirschner. Uma metamorfose global e a incongruência da perspectiva estrutural do direito na era nano: a necessidade da ciência regulatória na proteção ambiental frente às nanotecnologias. *In*: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DESIGUALDADE, DIREITOS E POLÍTICAS PÚBLICAS: SAÚDE, CORPOS E PODER NA AMÉRICA LATINA, 7., 2020, São Leopoldo. **Anais eletrônicos...** São Leopoldo: Casa Leiria, 2020. p. 1700. Disponível em: <http://www.guaritadigital.com.br/casaleiria/acervo/cienciassociais/viisiddpp/index.html>. Acesso em: 20 abr. 2021.

¹⁰ GLOBAL Nanotechnology Market to Reach \$70.7 Billion by 2026. **PR News Wire**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.prnewswire.com/news-releases/global-nanotechnology-market-to-reach-70-7-billion-by-2026--301296253.html>. Acesso em: 01 jun. 2021.

¹¹ BUZEA, Cristina; PACHECO, Ivan I.; ROBBIE, Kevin. Nanomaterials and nanoparticles: sources and toxicity. **Biointerphases**, [S. l.], v. 2 n. 4, Dec. 2007. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1116/1.2815690.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2021

¹² OST, François. **A natureza à margem da lei**. A ecologia à prova do direito. Lisboa: Instituto Piaget, 1995. p. 21-22.

¹³ OST, François. **A natureza à margem da lei**. A ecologia à prova do direito. Lisboa: Instituto Piaget, 1995. p. 22.

poderão fazer com o *ocean nanotech* (e talvez depois de alguns – ou muitos - danos estruturar uma regulamentação)? Ora, a título de introito, na presente elaboração desta monografia, não há, ao menos, marco regulatório específico para as nanotecnologias em solos brasileiros¹⁴.

Assim sendo, em um primeiro momento, a resposta que se dará, ou as inquietações que se propõem, é de que não se poderá seguir em um

[...] modelo fundado na descrição puramente estrutural do direito vigente, (uma vez que) já não faz mais sentido na sociedade atual, (em que) as fronteiras do conhecimento estão mais amplas e, exatamente por isso, precárias ao se pautarem por formas de produção de conhecimento científico inadequadas à apreensão da multiplicidade dos fenômenos jurídicos.¹⁵

O excerto de Hohendorff sustenta que há, nesse sentido, a necessidade de “[...] uma nova Teoria das Fontes do Direito que tenha condições para regular o futuro, projetando a criação de leis e projetos normativos que sejam mais proativos, dinâmicos e responsivos”, consoante complementa o raciocínio de Engelmann¹⁶. No entanto, não se poderá olvidar que, nos primeiros parágrafos discorridos desta carta náutica, mencionou-se a presença de um oceano tangível, não, apenas, de *instabilidades oceânicas*. Nesse ínterim, o objetivo central desta monografia, o farol desta navegação, estará na relação seres vivos marinhos e nanotecnologias, bem como o enfrentamento do Direito nesta interação (com seus *benefícios* e seus

¹⁴ Projeto de Lei Complementar nº23, 2019: altera a Lei Complementar nº 123, de 14 de dezembro de 2006, que dispõe sobre incentivar a pesquisa e desenvolvimento da Nanotecnologia no Brasil. Projeto de Lei n. 880, de 2019: trata sobre estímulos ao desenvolvimento científico entre outras providências e institui o Marco Legal da Nanotecnologia e Materiais Avançados. Nesse sentido: BRASIL. **Projeto de lei complementar nº 23, 2019**. Altera a Lei Complementar nº 123, de 14 de dezembro de 2006 a fim de incentivar a pesquisa e desenvolvimento da Nanotecnologia no Brasil. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/135203>. 12 maio 2021. BRASIL. **Projeto de lei nº 880, 2019**. Institui o Marco Legal da Nanotecnologia e Materiais Avançados; dispõe sobre estímulos ao desenvolvimento científico, à pesquisa, à capacitação científica e tecnológica e à inovação nanotecnológica; altera as Leis nº 10.973, de 2 de dezembro de 2004, e nº 8.666, de 21 de junho de 1993; e dá outras providências. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/135353>. 12 maio 2021.

¹⁵ HOHENDORFF, Raquel von. A pandemia de covid-19: a necessária transdisciplinaridade e a improbabilidade de comunicação intersistêmica. In: BRAGATO, Fernanda Frizzo; STRECK, Lenio Luiz; ROCHA, Leonel Severo (org.). **Constituição, sistemas sociais e hermenêutica**: anuário do Programa de Pós-Graduação em Direito da UNISINOS: mestrado e doutorado: n. 16. São Leopoldo: Karywa, Unisinos, 2020. p. 144. *E-book*.

¹⁶ ENGELMANN, Wilson. A pandemia global gerada pelo novo coronavírus, nanotecnologias e a “metamorfose do mundo” (Beck). In: BRAGATO, Fernanda Frizzo; STRECK, Lenio Luiz; ROCHA, Leonel Severo (org.). **Constituição, sistemas sociais e hermenêutica**: anuário do Programa de Pós-Graduação em Direito da UNISINOS: mestrado e doutorado: n. 16. São Leopoldo: Karywa, Unisinos, 2020. p. 184. *E-book*.

malefícios). Abordagens que, ao fim, pretendem despertar/hastear pela saudabilidade de um mar - tal qual a obra *Seascape near Les Saintes-Maries-de-la-Mer*.

Portanto, os capítulos que se seguem tratam-se de uma busca incessante de proteção, de tanger uma resposta jurídica para a vulnerabilidade do ambiente marinho. Este que se faz, sim, “[...] uma condição de possibilidade para a (própria) existência humana”¹⁷, considerando o complexo ecossistema. Nesse ínterim, apresenta-se a travessia marítima:

Capítulo 1 – Eis o presente.

Capítulo 2 - *Ao átrio do “nanoworld”: um cenário e uma disrupção na história da humanidade*. Imbuído de dirigir o leitor ao centro da grande casa nanotecnológica. Neste capítulo será verificado como a história humana se desvelou à *Era nano*, os reflexos nos diferentes sistemas da ciência e o que são as nanotecnologias.

Capítulo 3 - *“Ocean nanotech”: um arrais na tutela dos mares (?) e aporias aos animais marinhos*. Em termos náuticos, um arrais é aquele que coordena a embarcação. Nesse ínterim, analogicamente, estaria a nanotecnologia a dirigir o destino da (possível) salvaguarda marinha? A proposta do capítulo é fazer o leitor navegar pela inquietude, refletir se a sociedade (e o Direito na condição de sistema provocado pelos demais sistemas sociais) não estaria a destinar a embarcação da proteção ambiental marinha à nanotecnologia. Pontos positivos e negativos de uma ciência nano aplicada ao mar serão, assim, apresentados e o desfecho ficará, muito mais, para aquele que navegou pelo terceiro capítulo dessa odisséia.

Quanto ao termo *aporias*, incumbe mencionar que foi utilizado para, em termos filosóficos - sem adentrar, propriamente em uma discussão platônica -, embasar “[...] um tipo de compreensão que, em princípio, conduz da perplexidade ao conhecimento”¹⁸ (tradução nossa). Há dificuldades, incertezas, desorientação do reflexo nano ao mar. Portanto, buscará certa clareza nesta contradição (?) entre possibilidades e riscos da nano aos animais marinhos.

¹⁷ Citação adaptada para o enfoque no ambiente marinho, diferentemente do original em que consta *meio ambiente*: “O meio ambiente é condição de possibilidade para a existência humana”. ENGELMANN, Wilson; FLORES, André Stringhi; WEYERMULLER, André Rafael. **Nanotecnologias, marcos regulatórios e direito ambiental**. Curitiba: Honoris Causa, 2010. p. 219.

¹⁸ “[...] thus involves a kind of understanding that in principle leads one out of perplexity to knowledge.” MCCOY, Joe. **Aporia and philosophy**: a commentary on Plato's "Meno". 2001. Dissertation, Boston University, Boston, 2001. Disponível em: <https://philpapers.org/rec/MCCAAP>. Acesso em: 01 jun. 2021.

Capítulo 4 - *O arquipélago de um Direito? Sobre em que ilha se perdeu a salvaguarda ambiental e como a ciência jurídica poderá resgatar um continente de inovação e de proteção marinha.* Na continuidade da terminologia náutica, e adentrando ao cais que se deseja atracar, talvez o Direito esteja – agora, para o cenário que se deseja compor - fragmentado em várias ilhas, cada qual a defender uma perspectiva de tutela ambiental. Em contrapartida, há um continente fortificado de nanotecnologias a atuar na vida marinha. Será, assim, a fonte direta (consoante base do art. 4º da Lei de Introdução às Normas do Direito - LINDB¹⁹), isto é, a legislação, uma maneira de resgate (ou continuidade) de proteção ao mar? Ou serão as fontes indiretas (art. 5º, LINDB²⁰), os costumes, os princípios e a analogia? Há possibilidade de um Direito que se faz *exponencia*²¹ e, assim, se propõe outras perspectivas? Ah, quantas ilhas!

Eis um grande desafio que não se poderá negligenciá-lo. Nesse sentido, buscar-se-á uma resposta jurídica que abarque, inclusive, as *zonas cinzentas* de uma tecnologia extremamente peculiar. Tal objetivo proposto será imprescindível para conquistar o continente de inovação e de proteção ambiental. No entanto, ainda não será, propriamente, um desfecho para esta monografia.

Capítulo 5 – *A título de considerações finais - quando a odisseia da “era nano” encontra a história de Homero: Ulisses vai a Ítaca, assim como o Direito está a ir ao “mar nanotech”?* O universo artístico é como uma estória que o homem desenvolve para contar sua existência de um modo lúdico – não importando se esta criação explora um contexto de comédia ou de drama. Há tanta proximidade e tantos tesouros na interação arte e Ciência Jurídica e Social que se poderá encontrar, inclusive, modos de *claridade* jurídica diante das *metamorfoses* sociais. Ao que se sabe, “o direito e a poesia surgiram juntos, ambos de um mesmo leite” - palavras de

¹⁹ BRASIL. **Decreto-lei nº 4.657, de 4 de setembro de 1942.** Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del4657compilado.htm. Acesso em: 20 abr. 2021.

²⁰ BRASIL. **Decreto-lei nº 4.657, de 4 de setembro de 1942.** Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del4657compilado.htm. Acesso em: 20 abr. 2021.

²¹ Sobre o tema: “O Direito Exponencial pode ser entendido de duas maneiras. Primeiramente, ela se refere às consequências no campo do Direito em razão de um período de mudanças muito intensas na sociedade. [...] A segunda forma de compreender a expressão diz respeito ao fato de observarmos a tecnologia como instrumento de mudança do próprio Direito, como forma de transformação do Estado e, por consequência, da maneira como será sua interferência no mercado e na vida dos indivíduos”. FEIGELSON, Bruno; SILVA, Luiza Caldeira Leite. *Sandbox: um olhar prospectivo sobre o futuro da regulação.* In: MALDONADO, Viviane Nóbrega; FEIGELSON, Bruno (coord.). **Advocacia 4.0.** São Paulo: Thomson Reuters Brasil, 2019. p. 22.

Grimm²², célebre linguista germânico (e que cursou direito!)²³. Mais precisamente, ao capítulo que se propõe, não só a poesia, mas, em uma visão *lato sensu*, “[...] o direito também pode ser contado a partir da literatura [...] (pois) não só (humanizaria) o direito como também (mostraria) que ele não precisa desempenhar sempre o papel de vilão da história”²⁴.

Portanto, o literário daria luz ao breu no oceano profundo proposto e que, talvez, não foi, adequadamente, clarificado nos capítulos anteriores como quando uma história se faz contada. Tal qual ensina a sabedoria milenar disseminada pela Galileia, em que Jesus Cristo, que, ao se utilizar de parábolas, facilitava proclamar o evangelho e auxiliava a humanidade a compreender seu Plano de Salvação²⁵. Assim sendo, o capítulo proposto utilizará a história de Homero e sua Odisseia²⁶, não propriamente todo o enredo, mas lapsos da história de Ulisses e seu retorno a Ítaca pelos mares enfadonhos e repletos de desafios – à semelhança do oceano nanotecnológico para o Direito (o Ulisses de toda a narrativa desta monografia).

Incumbe salientar, ainda, que para o presente capítulo caberá, também, o devido desfecho desta monografia - na realidade, a *perpetuidade das inquietações*, vez que estas se seguirão em cada mente que leu uma tentativa de resposta, por um aprendiz de marinheiro, diante do mar tempestuoso que se apresenta à proteção ambiental marinha. Assim sendo aclarado os capítulos e, juntamente, os objetivos específicos, passa-se ao método de abordagem.

A perspectiva metodológica será de Luhmann, isto é, sistêmico-construtivista. Nesse ínterim, compreendendo a complexificação das relações sociais, os diferentes

²² “Dasz recht und poesie miteinander aus einem bette aufgestanden waren”. Informações sobre o livro, com a editora etc., online: GRIMM, Jacob. Von der Poesie im Recht. **Zeitschrift für geschichtliche Rechtswissenschaft**, [S. l.], ano 2, n. 1, S. 25-99, 1815. Disponível em: http://www.fh-augsburg.de/~harsch/germanica/Chronologie/19Jh/GrimmJacob/grj_pr00.html. Acesso em: 01 maio 2021.

²³ STRECK, Lenio Luiz; TRINDADE, André Karam. Introdução. In: STRECK, Lenio Luiz; TRINDADE, André Karam (org.). **Direito e literatura**: da realidade da ficção à ficção da realidade. São Paulo: Atlas, 2013. *E-book*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788522478538/>. Acesso em: 9 jun. 2021.

²⁴ STRECK, Lenio Luiz; TRINDADE, André Karam. Introdução. In: STRECK, Lenio Luiz; TRINDADE, André Karam (org.). **Direito e literatura**: da realidade da ficção à ficção da realidade. São Paulo: Atlas, 2013. p. 6. *E-book*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788522478538/>. Acesso em: 9 jun. 2021.

²⁵ Conforme Evangelho segundo Mateus (Mt 13,34-35): “Todas estas coisas disse Jesus às multidões por parábolas e sem parábolas nada lhes dizia; para que se cumprisse o que foi dito por intermédio do profeta: Abrirei em parábolas minha boca; publicarei coisas ocultas desde a criação [do mundo]”. EVANGELHO segundo Mateus. In: BÍBLIA. Português. **Bíblia missionária**. Tatuí: Casa Publicadora Brasileira, 2018. p. 948.

²⁶ HOMERO. **Odisseia**. 25. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2015. não paginado. *E-book*.

sistemas e subsistemas que compõem a sociedade, desde o Direito até as demais ciências, necessitam relacionar-se. Isto porque a sociedade pós-modernista exige um cenário transdisciplinar, ou seja, apenas uma ciência não conseguirá atender às demandas complexas que se apresentam aos indivíduos pós-modernos; exige-se, portanto, a comunicação de outros saberes para a melhor eficácia e aplicação do conhecimento.

O autor da Teoria dos Sistemas Sociais exemplifica:

Um sistema social é criado sempre em um contexto de comunicação autopoietico e se delimita um entorno, restringindo a comunicação adequada. Os sistemas sociais não consistem em pessoas, nem em ações, mas sim em comunicação²⁷ (tradução nossa).

A comunicação advertida por Luhmann trata-se de, justamente, embasar a perspectiva de que nenhum sistema pode se manter sozinho e sem sofrer influências. Assim a *autopoiese*, informada pelo autor, significa que um sistema não se comportará de modo totalmente “fechado” ou totalmente “aberto”. Isso porque, quanto ao primeiro, um sistema não poderá valer-se, reproduzir-se, dele mesmo somente. Logo, o Direito não terá como se manter, apenas, de sua estrutura sem se comportar como um observador. Ademais, o Direito não poderá ser completamente aberto, de modo que não haja *limites*, o que poderia descaracterizar o próprio sistema²⁸.

Nessa senda, para o presente trabalho, a comunicação de diferentes fontes faz-se imprescindível. Ao se objetivar a análise da tutela dos ambientes marinhos frente à utilização da nanotecnologia no combate aos desastres aquáticos, apenas a Ciência do Direito, de uma maneira segregada, não poderá salvaguardar eficazmente a implementação e manuseio desta inovação nos oceanos. Logo, faz-se necessária uma análise transdisciplinar, em que se correlacionam diferentes atores científicos, como o conhecimento da ciência biológica, química, médica, social, econômica, poderão atender a proposta da monografia. Isso se verifica,

²⁷ “Ein soziales System kommt zustande, wenn immer ein autopoietischer Kommunikationszusammenhang entsteht und sich durch Einschränkung der geeigneten Kommunikation gegen eine Umwelt abgrenzt. Soziale Systeme bestehen demnach nicht aus Menschen, auch nicht aus Handlungen, sondern aus Kommunikation”. LUHMANN, Niklas. **Ökologische Kommunikation**: Kann die moderne Gesellschaft sich auf ökologische Gefährdungen einstellen? 4. ed. VS Verlag für Sozialwissenschaften/GWV Fachverlage GmbH: Wiesbaden, 2004. p. 269. *E-book*.

²⁸ CLAM, Jean; ROCHA, Leonel Severo; SCHWARTZ, Germano. **Introdução à teoria do sistema autopoietico do direito**. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2013. p. 36.

principalmente, na fala de Hohendorff, ao balizar seus estudos sob a ótica de Luhmann:

Em decorrência da globalização, a noção de Ciência do Direito desloca-se sucessivamente de uma perspectiva estrutural (preocupada com questões normativas do direito) para uma perspectiva funcionalista (voltada para as funções sociais do direito), possibilitando ao Direito o uso de técnicas transdisciplinares²⁹.

Portanto, em observância à realidade global, o Direito, como Ciência que se atenta às mudanças da sociedade para sua atuação, atingirá o progresso humano nesta *abertura epistemológica das ciências*³⁰. Compreende-se que não se pode o Direito ser explicado “[...] segundo os métodos dos tempos romanos e da Idade Média” como alertou Pontes de Miranda³¹.

Ainda, acrescenta-se que os métodos de procedimento se incluem as revisões bibliográficas (livros, legislações, artigos), atendo-se ao material escrito e disponível para análise e aprofundamento do tema sobre nanotecnologias, ambiente marinho, animais aquáticos, desastres marinhos, benefícios/malefícios da utilização nano e ciclo de vida da inovação nos oceanos. Estudos em pesquisas de base que não compõem, necessariamente, o Direito tradicional, isto é, como parte de uma metodologia além do Sistema da Ciência Jurídica e Social, outras bases de conhecimento serão analisadas para a compreensão do impacto, e possível resolução deste, diante de uma inovação disruptiva.

Faz-se necessário, ademais, salientar que a presente monografia é fruto de um percurso literário e de atividades realizadas junto ao Grupo de Pesquisa JusNano³² - credenciado junto ao CNPq e vinculado ao Programa de Pós-graduação (Mestrado e Doutorado) em Direito da UNISINOS. Logo, orientações da Prof.^a Dra.

²⁹ HOHENDORFF, Raquel von. A Pandemia de Covid-19: a necessária transdisciplinaridade e a improbabilidade de comunicação intersistêmica. In: BRAGATO, Fernanda Frizzo; STRECK, Lenio Luiz; ROCHA, Leonel Severo. **Constituição, sistemas sociais e hermenêutica**: anuário do Programa de Pós-Graduação em Direito da UNISINOS: mestrado e doutorado: n. 16. São Leopoldo: Karywa, Unisinos, 2020. p. 144. *E-book*.

³⁰ BARCAROLLO, Felipe. **Inteligência artificial e a gramática ético-jurídica da sociedade (pós)-humana**. 2019. Tese (Doutorado em Direito) – Programa de Pós-Graduação em Direito, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2019. p. 46. Disponível em: <http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/9035>. Acesso em: 05 mar. 2021.

³¹ MIRANDA, Pontes de. **Sistemas da ciência positiva do direito**. 1. ed. Campinas: Bookseller, 2000. t. 1, p. 59.

³² Insta salientar que o JusNano segue a linha de pesquisa de investigar o *nanomundo* e cooperar para marcos regulatórios às nanotecnologias, bem como viabilizar um arcabouço de pesquisas para desfrute da comunidade científica e da população em geral.

Raquel von Hohendorff, integrante do Grupo de Pesquisa, e do Prof. Dr. Wilson Engelmann, líder e fundador do Grupo, foram cruciais para o deslinde deste trabalho.

A carta náutica encontra-se finalizada. O que se seguirá é parte de uma indagação que, ao fim, visa a um bem³³. Almeja-se que toda aquele que desejar embarcar nestas linhas possa sentir as inquietações; possa levar aos mares a realidade de um Direito que harmonize a tecnologia com a proteção marinha. Ou, que esta monografia possa, no dizer infante que acompanha o ser humano que aqui redigiu, *fazer algo que mudou o mundo*, e este mundo poderá ser, inclusive, a mente de quem aqui desejou navegar – haverá, com toda certeza, uma criança feliz. Eis a tentativa...

A minha nave vermelha, tocando pela primeira vez a água salgada, brilhava ao sol. Como a prova metálica de que valeu a pena não desistir. E começar outra vez para não me tornar um barco sem mar. [...] O pior é não começar. Esse é o maior naufrágio³⁴.

A nave vermelha ganhou, *finalmente*, as águas salinas. As rotas marítimas já se encontram à disposição do arrais. A prova metálica da persistência, de superar a bela âncora, que, insistentemente, afirmava ser o solo a grande aventura. Lça-se as velas e apruma-se o barco.

À vista do alto-mar, que comece (propriamente) a navegação!

³³ Conforme Aristóteles: “Toda arte e toda a indagação, assim como toda a ação e todo propósito, visam a algum bem”. ARISTÓTELES. **Ética a Nicômaco**. Brasília, DF: UnB, 1985. p. 1094a.

³⁴ KLINK, Amyr. **Paratii**: entre dois pólos. São Paulo: Companhia das Letras, 1992. p. 14.

2 AO ÁTRIO DO *NANOWORLD*: UM CENÁRIO E UMA DISRUPÇÃO NA HISTÓRIA DA HUMANIDADE

*Quando os gregos poderiam imaginar que o pátio central do desenvolvimento humano iria além dos átomos de Leucipo e Demócrito? Nas últimas décadas, a humanidade reformou, construiu e reconstruiu a recepção do conhecimento – já não se faz, nem ao menos, incognoscível a manipulação molecular*³⁵.

Na fala de Engelmann, Hohendorff e Mendonça fica clarificado o quanto a sociedade passa por consideráveis transformações e que estas provocam mudanças significativas no cotidiano humano. Em especial, o *Império Molecular*³⁶, como denominam, atinge a vida humana e os diferentes campos do conhecimento, principalmente, na Ciência do Direito. A este *Novo Império*, destacam-se as nanotecnologias e estas tornam-se o prelúdio de uma *Nova Era*. Era, esta, em que jamais poderá se valer de estratégias *convencionais* ou *cômodas* para a utilização discricionária da *nanotech*, isto é, dentro de um aporte de controle de desfrute, com minimização ou inoportunidade de riscos.

Assim sendo, faz-se necessário compreender o cenário temporal, as teorizações que se estabelecem frente às análises deste *mundo* que possibilitou o nascimento, o conhecimento e a utilização da nanotecnologia. Em sequência, seguir-se-á para a análise desta inovação em ultrapequena escala. O presente capítulo, portanto, trata-se de um convite ao leitor para o átrio, ao pátio central da discussão desta monografia, para, assim, desenvolver-se às demais mediações da complexa casa *nanoworld* e seus reflexos no ambiente marinho.

2.1 À vista da metamorfose global: sociedade de liquidez e revoluções

Há um impacto sistêmico provocado, principalmente, pelo estado da arte tecnológico, que se diferencia dos períodos antecessores ao pós-modernismo. O que antes poder-se-ia dizer ser tema de literatura futurística, hoje trata-se do

³⁵ ENGELMANN, Wilson; HOHENNDORFF, Raquel von; MENDONÇA, Isabelle de Cássia. O labor nanotech e a necessária metamorfose jurídica: como as atuais sociedades de risco podem se valer de um ambiente regulatório pluralista para a garantia do não retrocesso à dignidade humana do trabalhador. *Revista Direito em Debate*, Ijuí: Editora Unijuí, [2021?]. No prelo.

³⁶ ENGELMANN, Wilson; HOHENNDORFF, Raquel von; MENDONÇA, Isabelle de Cássia. O labor nanotech e a necessária metamorfose jurídica: como as atuais sociedades de risco podem se valer de um ambiente regulatório pluralista para a garantia do não retrocesso à dignidade humana do trabalhador. *Revista Direito em Debate*, Ijuí: Editora Unijuí, [2021?]. No prelo.

cotidiano humano. Logo, diverso de uma conjuntura que gera uma mera alteração, em que haveria certa cognoscibilidade no tratamento de eventuais desafios provocados, o presente tempo se destaca por um processo metamórfico global e que tem a incognoscibilidade como seu *fator preponderante*.

Nota-se, como adverte Beck, autor da terminologia *metamorfose do mundo*, que há “[...] uma janela de limitações fundamentais para a capacidade de a sociedade perceber e governar os riscos”³⁷. Entre estas limitações ao conhecimento, insere-se a nanotecnologia como parte deste *choque fundamental* que desestabiliza certezas e causa disrupções nas ciências³⁸.

(Há) uma sublevação e ruína real da ordem do mundo. Isso não significa, no entanto, que nações e Estados-nação se dissolvem e desaparecem, mas que nações são ‘metamorfoseadas’. Elas precisam encontrar seu lugar no mundo digital em risco, em que fronteiras se tornaram líquidas e flexíveis; precisam se (re)inventar, girando em torno das novas estrelas fixas de ‘mundo’ e ‘humanidade’³⁹.

Este reinvento atinge o Direito que desde seus primórdios, ainda na Roma Antiga, o jurisconsulto Ulpiano alertava sobre as reflexões das mudanças sociais na Ciência Jurídica⁴⁰. Nesse sentido, do excerto acima, poder-se-ia compreender a expressão de Beck ao se utilizar do “encontrar seu lugar no mundo digital em risco” para, adaptando ao estudo proposto, “encontrar seu lugar no *mundo nano* em risco”⁴¹.

Na realidade, tal teoria construída converge com a afirmação da Indústria 4.0, ou, na fala de Schwab, a *Quarta Revolução Industrial*. Sua interpretação está fundamentada na questão de que, diferentemente das revoluções anteriores na história humana, este *quarto momento* traz como características a velocidade -

³⁷ BECK, Ulrich. **A metamorfose do mundo**: novos conceitos para uma nova realidade. 1. ed. Rio de Janeiro: Zahar, 2018. p. 88. *E-book*.

³⁸ BECK, Ulrich. **A metamorfose do mundo**: novos conceitos para uma nova realidade. 1. ed. Rio de Janeiro: Zahar, 2018. p. 11-12. *E-book*.

³⁹ BECK, Ulrich. **A metamorfose do mundo**: novos conceitos para uma nova realidade. 1. ed. Rio de Janeiro: Zahar, 2018. p. 13. *E-book*.

⁴⁰ *Ubi homo ibi societas; ubi societas, ibi jus*. Brocardo jurídico, cuja a tradução significa: “Onde há homem, há sociedade; onde há sociedade, há Direito”. Locução romana, citada no *Corpus Iuris Civilis*, atribuída ao jurisconsulto romano Ulpiano.

⁴¹ Adaptação utilizada pelos autores: MENDONÇA, Isabelle de Cássia; FRÖHLICH, Afonso Vinício Kirschner. Uma metamorfose global e a incongruência da perspectiva estrutural do direito na era nano: a necessidade da ciência regulatória na proteção ambiental frente às nanotecnologias. *In*: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DESIGUALDADE, DIREITOS E POLÍTICAS PÚBLICAS: SAÚDE, CORPOS E PODER NA AMÉRICA LATINA, 7., 2020, São Leopoldo. **Anais eletrônicos...** São Leopoldo: Casa Leiria, 2020. p. 1702. Disponível em: <http://www.guaritadigital.com.br/casaleiria/acervo/cienciassociais/viisiddpp/index.html>. Acesso em: 05 mar. 2021.

exponencial e não linear -, a amplitude e a profundidade – modificando além de *coisas*, atingindo pessoas -, bem como o impacto sistêmico - isto é, sistemas inteiros estão a sofrer transformações⁴². Neste cenário,

Ondas de novas descobertas ocorrem simultaneamente em áreas que vão desde o sequenciamento genético até a nanotecnologia, das energias renováveis à computação quântica. O que torna a quarta revolução industrial fundamentalmente diferente das anteriores é a fusão dessas tecnologias e a interação entre os domínios físicos, digitais e biológicos⁴³.

A nanotecnologia, juntamente com as novidades tecnológicas como inteligência artificial (IA), robótica, internet das coisas (IoT), veículos autônomos, impressão em 3D, biotecnologia, trata-se do ponto de inflexão em que, principalmente, as denominadas *ciências humanas* e *ciências tecnicistas* jamais poderão ser analisadas e utilizadas de modo *autônomo*, o que afastaria de uma retrógrada dicotomia, antes defendida. Nesse sentido, aborda Barcarollo:

É histórica a separação entre os estudos das ciências duras e as ciências do espírito (humanidades). [...] A distinção rígida entre (estas) traduz uma espécie de ditadura da técnica sobre as humanidades, deixando no esquecimento a vital inter-relação entre ambas⁴⁴.

Há necessidade transdisciplinar e horizontal, sem maior ou menor valorização de ambos os conhecimentos. Isso porque, em uma analogia *softwares-humanidade*, Scott Hartley observa: “Encontrar soluções para nossos maiores problemas requer compreensão tanto do contexto humano quanto da programação de *softwares*, tanto da ética quanto da estatística”⁴⁵. Na adaptação ao caso proposto, o contexto humano, externado pela ciência social, também deve estar imbricado ao contexto nanotecnológico. Este movimento de interação atenderá as necessidades da *Quarta Revolução Industrial*.

⁴² SCHWAB, Klaus. **A quarta revolução industrial**. São Paulo: Edipro, 2016. *E-book*.

⁴³ SCHWAB, Klaus. **A quarta revolução industrial**. São Paulo: Edipro, 2016. p. 20. *E-book*.

⁴⁴ BARCAROLLO, Felipe. **Inteligência artificial e a gramática ético-jurídica da sociedade (pós)-humana**. 2019. f. 44. Tese (Doutorado em Direito) – Programa de Pós-Graduação em Direito, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, 2019. Disponível em: <http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/9035>. Acesso em: 05 mar. 2021.

⁴⁵ HARTLEY, Scott. **O fuzzy e o techie**: as ciências humanas vão dominar o mundo digital. São Paulo: BEÍ Comunicação, 2017. p. 10.

Nesse ínterim, em continuidade ao raciocínio, traz-se a denominação, para o presente período histórico, de *modernidade líquida*, como afirmado por Bauman⁴⁶, caracterizando-se a liquidez dos conceitos clássicos. Mais precisamente, no prefácio de sua obra, o sociólogo adverte sobre a analogia do fluído com o período pelo qual a humanidade e a ciência perpassam:

Os fluidos se movem facilmente. Eles ‘fluem’, ‘escorrem’, ‘esvaem-se’, ‘respingam’, ‘transbordam’, ‘vazam’, ‘inundam’, ‘borrifam’, ‘pingam’ são ‘filtrados’, ‘destilados’ diferentemente dos sólidos, não são facilmente contidos — contornam certos obstáculos, dissolvem outros e invadem ou inundam seu caminho. [...] Essas são razões para considerar ‘fluidez’ ou ‘liquidez’ como metáforas adequadas quando queremos captar a natureza da presente fase, nova de muitas maneiras, na história da modernidade⁴⁷.

Nesse ínterim, conforme alerta o excerto de Leite e Belchior⁴⁸, em análise à conceituação do sociólogo: “Tudo que é sólido desvanece no ar. E esta insegurança e incerteza estão se espalhando por todos os ramos de conhecimento, inclusive o Direito”. Assim sendo, estando o Direito nas *ciências humanas*, seu *modus operandi* não poderá se dar como um sistema alheio à conjuntura complexa social.

Logo, como Pounds⁴⁹ abordaria, afastar-se de uma *teoria mecânica do direito*, pautada em simples aplicação cartesiana do jurídico, isto é, uma ciência *fechada* em suas *regras estagnadas* para uma rede viva, “[...] que permit(a) a ‘emergência’ de novas formas jurídicas, a fim de manter a sobrevivência (do) planeta”⁵⁰. Mais precisamente, faz-se necessária uma interface, uma “atenção jurídico-ambiental [...] para a proteção de seres bióticos e abióticos, que detêm o direito de desfrutar da inovação sem riscos ao ecossistema”⁵¹. Tal discussão teórica conquistará aportes concretos no subcapítulo seguinte, ao apresentar a nanotecnologia e seu arcabouço de complexidade.

⁴⁶ BAUMAN, Zygmunt. **Modernidade líquida**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2001.

⁴⁷ BAUMAN, Zygmunt. **Modernidade líquida**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2001. p. 8.

⁴⁸ LEITE, José Rubens Morato; BELCHIOR, Germana Parente Neiva. O Estado de Direito Ambiental e a particularidade de uma hermenêutica jurídica. **Seqüência**, Florianópolis, n. 60, p. 293, jul. 2010.

⁴⁹ POUND, Roscoe. **Mechanical jurisprudence**. Araçatuba, General Books: 2012. Originalmente publicado em *Columbia Law Review* 8, n. 8, dez. 1908.

⁵⁰ CAPRA, Fritjof; MATTEI, Ugo. **A revolução ecojurídica**: o direito sistêmico em sintonia com a natureza e a comunidade. Trad. Jeferson Luiz Camargo. São Paulo: Cultrix, 2018. p. 152.

⁵¹ MENDONÇA, Isabelle de Cássia. A priori natura: sob a égide do “não regresso” ambiental em tempos de era nanotecnológica. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 31., 2019, Porto Alegre. **Anais eletrônicos...** Porto Alegre: UFRGS, 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/209873>. Acesso em: 12 maio 2021.

2.2 Tecnologia nanoescalar: do literário futurístico à conquista humana

Nano corresponde a uma medida, “[...] a habilidade de trabalhar a nível molecular, átomo por átomo, criando estruturas com organizações moleculares diferentes e explorando as novas propriedades exibidas em tal escala”⁵². Portanto, não está a se falar de um objeto, mas de materiais que são constituídos pela bilionésima parte do metro. Nesse ínterim, tratam-se de partículas que correspondem à escala de 1-100 nanômetros (aproximadamente 0,000000001 metros), ou seja, invisíveis ao olho humano⁵³. Isso porque a nanoescala equivaleria, a título de melhor elucidação, a “[...] 100 000 vezes mais pequeno do que a espessura de um cabelo (0,1 mn) e cerca de dez vezes o tamanho de um átomo de hidrogênio (0,1 nm)”⁵⁴.

Há que se mencionar a falta de consenso na literatura⁵⁵, principalmente, com relação à medida que definirá um nanomaterial – ainda que nas linhas anteriores deuse o tamanho equivalente a título de introito. Na realidade, para o presente trabalho, será compreendido o conceito padronizado pela *International Standardization Organization* (ISO), isto é, a Organização Internacional de Padronização, que, em seu comitê técnico, ISO/TC 229⁵⁶, contempla a definição de nanoescala e a conceituação nano:

1. Compreensão e controle da matéria e dos processos em nanoescala, normalmente, mas não exclusivamente, abaixo de 100 nanômetros em

⁵² ENGELMANN, Wilson; CARDOSO, Tatiana de Almeida Freitas Rodrigues. Os novos poderes e a necessidade de uma regulação mundial para as nanotecnologias. **Revista de Estudos Constitucionais, Hermenêutica e Teoria do Direito**, São Leopoldo, v. 2, n. 2, p. 182-183, jul./dez. 2010. Disponível em: <http://revistas.unisinos.br/index.php/RECHTD/article/view/343/2057>. Acesso em: 12 maio 2021.

⁵³ ENGELMANN, Wilson; CARDOSO, Tatiana de Almeida Freitas Rodrigues. Os novos poderes e a necessidade de uma regulação mundial para as nanotecnologias. **Revista de Estudos Constitucionais, Hermenêutica e Teoria do Direito**, São Leopoldo, v. 2, n. 2, p. 182-183, jul./dez. 2010. Disponível em: <http://revistas.unisinos.br/index.php/RECHTD/article/view/343/2057>. Acesso em: 12 maio 2021.

⁵⁴ LABORATÓRIOS VIRTUAIS DE PROCESSOS QUÍMICOS. **Portal**, Coimbra, 2007. Disponível em: http://labvirtual.eq.uc.pt/siteJoomla/index.php?option=com_content&task=view&id=116&Itemid=2. Acesso em: 12 maio 2021.

⁵⁵ Conforme adverte Raquel von Hohendorff. HOHENDORFF, Raquel von. **A contribuição do safe by design na estruturação autorregulatória da gestão dos riscos nanotecnológicos**: lidando com a improbabilidade da comunicação inter-sistêmica entre o direito e a ciência em busca de mecanismos para concretar os objetivos de sustentabilidade do milênio. 2018. f. 40. Tese (Doutorado em Direito) -- Programa de Pós-Graduação em Direito, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2018. Disponível em: <http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/7055>. Acesso em: 15 set. 2021.

⁵⁶ INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO/TC 229 nanotechnologies**. Geneva, 2015. Disponível em: <https://www.iso.org/committee/381983.html>. Acesso em: 15 set. 2021.

uma ou mais dimensões, onde o início de fenômenos dependentes de tamanho geralmente permite novas aplicações;

2. Utilizar as propriedades de materiais em nanoescala que diferem das propriedades de átomos individuais, moléculas e matéria a granel, para criar materiais, dispositivos e sistemas aprimorados que exploram essas novas propriedades⁵⁷ (tradução nossa).

Quanto aos nanomateriais, poder-se-ia imaginar que são novos ou parte de uma descoberta/feitura unicamente laboratorial. No entanto, há a presença destes desde a fundação do mundo, uma vez que estão imbricados na natureza, como no esqueleto de plânctons marinhos e corais, na matriz óssea de animais e de seres humanos. Os denominados, portanto, *nanomateriais naturais* tratam-se “[...] fundamentalmente el resultado de una serie de procesos químicos, fotoquímicos, mecánicos, térmicos y biológicos”⁵⁸.

Aclarada a existência na natureza, incumbe salientar que, como parte de uma manipulação humana do campo nano, esta vem a ocorrer em meados da década de 1950 por Richard Feynman ao propor a manipulação átomo por átomo em palestra no Instituto de Tecnologia da Califórnia, Estados Unidos da América. Entretanto, o termo *nanotecnologia* ocorre vinte décadas após, com Norio Taniguchi, ao atribuir tal nomenclatura para este campo da engenharia em escala submicrométrica⁵⁹.

A partir destes marcos históricos na ciência, passa-se a progredir estudos e aplicações com nanômetros, de modo que são inseridos nos “[...] produtos de consumo (roupas, alimentos, cosméticos), (em) ambiente, (na) energia, (na) electrónica e (na) medicina”. Ademais, “[...] as potenciais aplicações futuras são imensas, desde *nanorobots* que reparam as nossas células a materiais mais leves

⁵⁷ “1. Understanding and control of matter and processes at the nanoscale, typically, but not exclusively, below 100 nanometres in one or more dimensions where the onset of size-dependent phenomena usually enables novel applications; 2. Utilizing the properties of nanoscale materials that differ from the properties of individual atoms, molecules, and bulk matter, to create improved materials, devices, and systems that exploit these new properties”. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO/TC 229 nanotechnologies**. Geneva, 2015. Disponível em: <https://www.iso.org/committee/381983.html>. Acesso em: 15 set. 2021.

⁵⁸ PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE (PNUMA). **Fronteras 2017**. Nuevos temas de interés ambiental. Nairobi: PNUMA, 2017. p. 24.

⁵⁹ VERDI, Roberta; HUPFFER, Haide Maria; JAHNO, Vanusca Dalosto. Desvendando o universo da nanotecnologia: dialogando sobre riscos, benefício e uma nova ética para a civilização tecnológica. *In*: ENGELMANN, Wilson; HUPFFER, Haide Maria. (org.). **Bionanoética: perspectivas jurídicas**. São Leopoldo: Trajetos Editorial, 2017. p. 49.

que o aço mas dez vezes mais resistentes”⁶⁰ (grifo do autor). Percebe-se uma verdadeira *conquista global* no que tange à inovação e uma consequente incorporação nanotecnológica ao cotidiano humano – como resultado de todas as matrizes sociológicas que procuram explicar este impacto na humanidade, consoante analisado em linhas anteriores. Para isso, analisa-se o excerto:

A promessa de grandes avanços na nanotecnologia deflagrou o aparecimento de uma série de ‘nano’ áreas, indicadas por nomes como nanobiotecnologia, nanofísica, nanoquímica, nano-óptica, nanoeletrônica, nanorrobótica, nanomedicina, e que se referem às áreas tradicionais de conhecimento que incorporam materiais e dispositivos manipulados nanometricamente às suas práticas com o objetivo de explorar e se beneficiar de suas novas propriedades. Subsequentemente, surgiram outros neologismos, como nanoeconomia, nanodireito e nanoética, que aludem e tentam antecipar a potencial transformação de práticas, instituições, processos cognitivos e normativos em seus respectivos âmbitos após a incorporação da nanotecnologia em nossa prática cotidiano⁶¹.

Assim sendo a nano vem a ocupar o *macro mundo* de maneira significa, gerando consequências não, somente, nas suas áreas de atuação, como na física, na química, na medicina, mas, como um genuíno impacto social, atinge diversas áreas da estrutura de uma sociedade, como o próprio Direito. Trata-se de uma inovação que surge e é direcionada para encantar e para auxiliar a vida humana.

Quanto ao mercado global e a quantidade de nanotecnologias produzidas, cita-se o *Nanotechnology Products Database*, em que constam registrados 9.408 produtos, que são produzidos por 2.785 empresas, estas distribuídas em 64 países, como Estados Unidos da América, Alemanha e China – países com maior concentração de produtos e de empresas, respectivamente⁶². Importante salientar que o Brasil também está entre os países catalogados, contando com uma significativa produção de produtos à base nano, inclusive, à frente de países considerados *desenvolvidos* como o Canadá e a Austrália, uma vez que está em 12º lugar na listagem das nações. A exemplificar, há 88 empresas e 184 produtos

⁶⁰ LABORATÓRIOS VIRTUAIS DE PROCESSOS QUÍMICOS. **Portal**, Coimbra, 2007. Disponível em: http://labvirtual.eq.uc.pt/siteJoomla/index.php?option=com_content&task=view&id=116&Itemid=2. Acesso em: 12 maio 2021.

⁶¹ PYRRHO, Monique; SCHRRAM, Fermin Roland. **Nanotecnociência e humanidade**. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2016. p. 19. *E-book*.

⁶² Conforme dados coletados em 16 de novembro de 2021. NANOTECHNOLOGY PRODUCTS DATABASE (StatNano). **Introduction**. [S. l.], 2021. Disponível em: <http://product.statnano.com/>. Acesso em: 16 nov. 2021.

brasileiros, e, em sua maioria, voltados à área dos cosméticos, existindo apenas duas manufaturas utilizadas para vidros. Isso porque a indústria cosmética prefere a utilização nanotecnológica “[...] devido a várias vantagens de sua aplicação, especialmente em relação à maior capacidade de penetração de ativos em camadas da pele”⁶³.

Importante salientar que, muito provável, nem todos os produtos brasileiros foram registrados neste site de pesquisa (*StatNano*), visto que se possibilita aos usuários fomentarem a base de dados, isto é, cadastrar as manufaturas nanotecnológicas, conforme estão sendo produzidas no mundo. Portanto, trata-se de uma rede mundial de cooperação que tem muito a catalogar as milhares de inovações, em escala nano, distribuídas ao longo do globo.

Quanto à integração das nanotecnologias em *terrae brasilis*, aponta-se a análise de Pereira e Binsfeld:

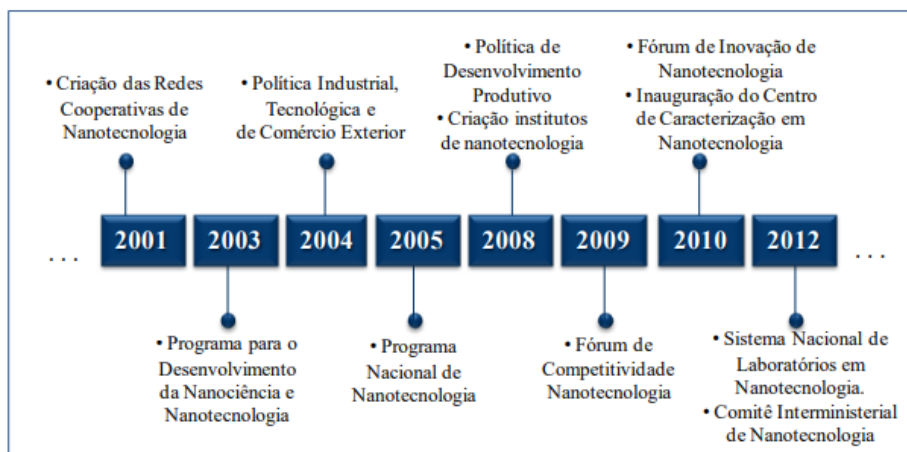
A partir do ano de 2001, com a criação das Redes Cooperativas de Nanotecnologia foi se estruturando a nanotecnologia no Brasil, e desde 2003, ano da implantação do Programa de Nanotecnologia, foram apoiados, via edital, mais de quatrocentos projetos de pesquisa e desenvolvimento⁶⁴.

Nesse ínterim, o excerto e a figura 2 apresentados tratam-se de uma constatação significativa: demonstram que há duas décadas, como um verdadeiro marco, as nanos conquistaram o Brasil – e, ainda que haja um capítulo específico para tal discussão na presente monografia, há que se mencionar: após 20 anos, não houve qualquer regulamentação para as nanotecnologias por parte do Poder Legislativo brasileiro.

⁶³ ENGELMANN, Wilson; HOHENDORFF, Raquel Von; FRÖHLICH, Afonso. Das nanotecnologias aos nanocosméticos: conhecendo as novidades na escala manométrica. *In*: ENGELMANN, Wilson. Nanocosméticos e o Direito à Informação. Erechim: Devian, 2015. p. 43.

⁶⁴ PEREIRA, Isabela Ornelas; BINSFELD, Pedro Canisio. **Nanomedicamentos**: o cenário de regulamentação no Brasil. [S. l.], 2013. Disponível em: <https://silo.tips/download/nanomedicamentos-o-cenario-de-regulamentacao-no-brasil>. Acesso em: 31 out. 2021.

Figura 2 - Políticas públicas e de fomento das nanotecnologias no Brasil



Fonte: Pereira e Binsfeld⁶⁵.

Importa salientar que a figura supra atém-se às políticas públicas e de fomento realizadas no Brasil, no período de 2001 a 2012, uma vez que se trata do lapso de análise dos pesquisadores. Claramente, após 2012, outras iniciativas governamentais, e por parte da sociedade, foram formuladas, lapidadas, como projetos de lei, que serão mencionados com a devida análise no capítulo 4. Bem como, entre as mais recentes iniciativas, a criação, por meio do Decreto 10.095/2019, do Comitê Consultivo de Nanotecnologia e Novos Materiais (CCNANOMAT), que é definido, nos termos do art. 2º e seus incisos, como um

[...] órgão de assessoramento destinado a formular propostas, relacionadas à temática de nanotecnologias e novos materiais, sobre: macroobjetivos; áreas prioritárias; alocação de recursos; e acompanhamento e avaliação de iniciativas, ações, programas e projetos⁶⁶.

Em janeiro de 2021, inclusive, houve a 2ª reunião do Comitê que abordou entre outros, as ações realizadas em 2020. Entre estas, destaca-se a

⁶⁵ PEREIRA, Isabela Ornelas; BINSFELD, Pedro Canisio. **Nanomedicamentos: o cenário de regulamentação no Brasil.** [S. l.], 2013. Disponível em: <https://silo.tips/download/nanomedicamentos-o-cenario-de-regulamentao-no-brasil>. Acesso em: 31 out. 2021. Não paginado.

⁶⁶ BRASIL. **Decreto nº 10.095, de 6 de novembro de 2019.** Dispõe sobre o Comitê Consultivo de Nanotecnologia e Novos Materiais no âmbito do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Brasília, DF: Presidência da República, 2019. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/D10095.htm Acesso em: 15 set. 2021.

[...] Chamada Pública lançada em parceria com o CNPq, de empreendimentos inovadores envolvendo grafeno; além do fomento aos laboratórios do Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias (SisNANO)⁶⁷.

Após a explanação sobre a situação da nano com o Brasil e o mundo, segue-se para a análise, propriamente, da inovação. Há que se salientar que a *nanotecnologia* refere-se a uma ciência *não pura*, tendo como seu basilar a complexidade de uma genuína ciência heterogênea, isto é, transdisciplinar, com a combinação de várias disciplinas⁶⁸. O que, portanto, fará existir, em apenas um produto, “[...] traços de engenharia usando química, física, biologia, matemática, computação e outras novas ciências”⁶⁹.

Logo, esta heterogenia vem a desafiar o modo de estudo, de análise e da própria criação regulatória destinada a esta tecnologia, uma vez que há uma significativa complexidade para a compreensão da matéria e seu real funcionamento. O que gera a seguinte reflexão: ainda que “[...] a técnica é um caminho humanamente construído para lidar com a natureza”⁷⁰, está, indubitavelmente, “[...] sujeita a falhas, dada a impossibilidade de projetar todas as consequências dessa ingerência na natureza”⁷¹. Assim sendo, para análise destas constatações e diferentes terminologias para as nanos, passa-se ao subcapítulo seguinte.

2.3 O prelúdio da complexa casa *nanoworld*: diferentes terminologias e desafios iniciais

Faz-se necessário mencionar os heterogêneos termos para o objeto de estudo: *nanotecnologias*, *nanomateriais*, *nanopartículas*, *nanoproduto*,

⁶⁷ BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. **Com participação de especialistas, MCTI promove 2ª reunião do Comitê Consultivo de Nanotecnologia e Novos Materiais**. Brasília, DF 29 jan. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2021/01/mcti-realiza-a-segunda-reuniao-do-comite-consultivo-de-nanotecnologia-e-novos-materiais-ccnanomat-reunindo-especialistas-e-instituicoes-de-referencia-na-tematica>. Acesso em: 15 set. 2021.

⁶⁸ LIMA, Edilson Gomes de. **Nanotecnologia: biotecnologia e novas ciências**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2014.

⁶⁹ LIMA, Edilson Gomes de. **Nanotecnologia: biotecnologia e novas ciências**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2014. p. 20.

⁷⁰ ENGELMANN, Wilson; FLORES, André Stringhi; WEYERMULLER, André Rafael. **Nanotecnologias, marcos regulatórios e direito ambiental**. Curitiba: Honoris Causa, 2010. p. 22.

⁷¹ ENGELMANN, Wilson; FLORES, André Stringhi; WEYERMULLER, André Rafael. **Nanotecnologias, marcos regulatórios e direito ambiental**. Curitiba: Honoris Causa, 2010. p. 22.

nanotecnociência, entre outras diversas denominações que, muitas vezes, são utilizadas como sinônimos, inclusive, em alguns momentos deste trabalho. No entanto, para cada definição, há uma devida diferença. Assim sendo, como uma espécie de glossário, para nortear o leitor, far-se-á a distinção de cada terminologia.

Nanotecnologias é o termo mais comumente utilizado. No plural, uma vez que “[...] são diversas tecnologias, em diversas áreas, que se utilizam a escala nanométrica”⁷² – ainda que se possa mencionar, também, o termo no singular. Ao tratar de *tecnologia*, pode-se compreender:

[...] um processo mais elaborado, responsável pela criação e pelo desenvolvimento de inúmeros produtos, e no estudo científico que envolve tal processo criatório. Novamente, etimologicamente falando, *tecnología* é o próprio dizer da técnica, ou seja, o modo como ela é organizada, elencada, sistematizada e pensada⁷³ (grifo do autor).

No que se refere aos *nanomateriais*, estes tratam-se dos materiais que, em regra, estão na escala nanométrica (aqui definida conforme a ISO/TC 229) e são aplicados em manufaturas. No entanto, para melhor elucidar, estes materiais *nano* “[...] podem consistir em blocos microscópicos ou macroscópicos de um material que durante seu processo de fabricação sofreu algum tipo de estruturação ou manipulação em nível nanométrica”⁷⁴. Mais precisamente:

[...] os conceitos de nanomateriais, materiais nanoestruturados, materiais nanoengenheirados referem-se todos à maneira de síntese desses materiais. Embora os processos e métodos, a constituição química e o estado físico desses materiais sejam muito diversos, todos eles são resultado da ação humana proposital e controlada, característica do que se chama de nanotecnologia, com todo o seu arsenal teórico e instrumental dedicado à exploração das novas propriedades derivadas da manipulação em nível nanoescalar⁷⁵.

Inclusive, tal termo é utilizado, por vezes, como sinônimo de *nanopartículas*. Entretanto, estas tratam-se da composição, das partículas que estão presentes nos

⁷² WOLFART, Graziela; JUNGES, Márcia. Nanotecnologias, o cuidado com o ser humano e o meio ambiente. **IHU On-Line**, São Paulo, ed. 372, 05 set. 2011. Disponível em: <http://www.ihuonline.unisinos.br/artigo/4058-wilson-engelmann-3>. Acesso em: 16 set. 2021.

⁷³ KUSSLER, Leonardo Marques. Técnica, tecnologia e tecnociência: da filosofia antiga à filosofia contemporânea. **Kínesis**, Marília, v. 7, n. 15, p. 189, dez. 2015. Disponível em: <https://revistas.marilia.unesp.br/index.php/kinesis/article/view/5712/3925>. Acesso em: 16 set. 2021.

⁷⁴ PYRRHO, Monique; SCHRRAM, Fermin Roland. **Nanotecnociência e humanidade**. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2016. p. 20. *E-book*.

⁷⁵ PYRRHO, Monique; SCHRRAM, Fermin Roland. **Nanotecnociência e humanidade**. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2016. p. 20. *E-book*.

produtos, a exemplo, as nanopartículas de dióxido de titânio (TiO₂) presentes em filtros solares (e o filtro solar será um *nanoproduto*, ou seja, um produto à base nano) - consoante se analisará no capítulo 3. Enquanto *nanotecnociência*, pode-se dizer, na interpretação de Kussler sobre os estudos de Galimberti⁷⁶, que a *tecnociência* é a própria ciência, “[...] pois não há como pensar em ciência sem um viés técnico-tecnológico, uma vez que não há perspectiva científica sem tecnologia, nem tecnologia sem técnica”⁷⁷. Portanto, trata-se do estudo, da explicação do funcionamento nano. Ainda, por fim, acrescenta-se a explicação de Giraldo e Takeuchi: “En líneas generales podemos definir nanociencia como el estudio del comportamiento de la materia en la nanoescala, a dimensiones aproximadamente entre 1 y 100 nm y la nanotecnología como las aplicaciones de la nanociencia”⁷⁸.

Estas diferenciações, na realidade, são conceituações formadas pelo autor desta monografia, conforme as literaturas de base do presente estudo. Logo, não se trata de um padrão, mas de uma estrutura constituída, tendo como método revisões de diversos referenciais.

Seguindo na proposta do subcapítulo, como um introito aos desafios iniciais que se apresentará sobre as nanotecnologias, incumbe destacar que o tamanho diminuto desta inovação faz com que esta seja orquestrada por leis físicas diversas, de modo que desafiam as *ciências tecnicistas*, ou, dito de outra forma, desafiam o conhecimento já adquirido pela ciência ao longo dos séculos⁷⁹. Logo, possibilita-se a abertura para um grau de toxicidade elevado, uma vez que pouco se conhece o real funcionamento desta tecnologia⁸⁰. Desse modo, diante de possíveis riscos

⁷⁶ GALIMBERTI, Umberto. Man in the age of technology. **Journal of Analytical Psychology**, [S. l.], v. 54, n. 1, p. 3-17, jan. 2009. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1468-5922.2008.01753.x>. Acesso em: 16 set. 2021.

⁷⁷ KUSSLER, Leonardo Marques. Técnica, tecnologia e tecnociência: da filosofia antiga à filosofia contemporânea. **Kínesis**, Marília, v. 7, n. 15, p. 192, dez. 2015. Disponível em: <https://revistas.marilia.unesp.br/index.php/kinesis/article/view/5712/3925>. Acesso em: 16 set. 2021.

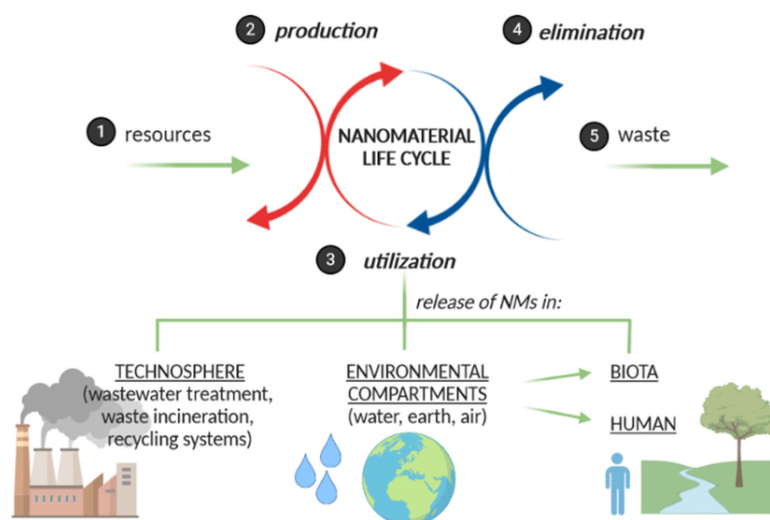
⁷⁸ GIRALDO, Jairo; TAKEUCHI, Noboru. Una introducción general a la nanociencia y nanotecnología. In: SERENA, P. A. et al. **Guía didáctica para la enseñanza de la nanotecnología en educación secundaria**. Madrid, 2014. p. 13. Disponível em: https://www.icmm.csic.es/es/divulgacion/documentos/LIBRO_GUIA_DIDACTICA.pdf. Acesso em: 16 set. 2021.

⁷⁹ HOHENDORFF, Raquel von. **A contribuição do safe by design na estruturação autorregulatória da gestão dos riscos nanotecnológicos**: lidando com a improbabilidade da comunicação inter-sistêmica entre o direito e a ciência em busca de mecanismos para concretar os objetivos de sustentabilidade do milênio. 2018. Tese (Doutorado em Direito) -- Programa de Pós-Graduação em Direito, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2018. Disponível em: <http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/7055>. Acesso em: 15 set. 2021.

⁸⁰ HOHENDORFF, Raquel von; ENGELMANN, Wilson. **Nanotecnologias aplicadas aos agroquímicos no Brasil**: a gestão dos riscos a partir do diálogo entre fontes do direito. Curitiba: Juruá, 2014.

incognoscíveis, necessitará ser realizado uma avaliação criteriosa do comportamento e dos possíveis efeitos dos nanomateriais durante todo o seu *ciclo de vida nano*⁸¹. Isso porque “[...] o problema não são as descobertas em si, mas os seus reflexos na vida das pessoas e na estrutura do planeta”⁸² – para o presente estudo, em especial, os reflexos na vida marinha.

Figura 3 - Ciclo de vida de um nanomaterial



Fonte: Zielińska *et al.*⁸³.

A título de ilustração, para corroborar à análise anterior, a figura 3 demonstra o ciclo de vida de um nanomaterial com as diversas rotas, de uma maneira *macro*, que as nanopartículas podem interagir no ambiente durante sua produção, utilização e eliminação (itens 2,3 e 4 da figura), ou seja, os diversos riscos, devido à interação nano com o local de destino – isto é, a falta de entendimento pleno de como se dará efetivamente esta interação. O que ratifica a fala de Hohendorff:

As Ciências Exatas, dentre as quais se sublinha: a Engenharia, a Química, a Física, a Biologia e outras, ainda não conseguiram calibrar a metodologia para avaliação da segurança dos produtos

⁸¹ HOHENDORFF, Raquel von; ENGELMANN, Wilson. **Nanotecnologias aplicadas aos agroquímicos no Brasil: a gestão dos riscos a partir do diálogo entre fontes do direito**. Curitiba: Juruá, 2014. p. 26-27.

⁸² ENGELMANN, Wilson; FLORES, André Stringhi; WEYERMULLER, André Rafael. **Nanotecnologias, marcos regulatórios e direito ambiental**. Curitiba: Honoris Causa, 2010. p. 18.

⁸³ ZIELIŃSKA, Aleksandra *et al.* Nanotoxicology and Nanosafety: safety-by-design and testing at a glance. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [S. l.], n. 17. p. 2, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/342525853_Nanotoxicology_and_Nanosafety_Safety-By-Design_and_Testing_at_a_Glance. Acesso em: 16 set. 2021.

desenvolvidos à base da nano escala; se desconhece o número de nanopartículas já produzidas pela ação humana⁸⁴.

Há significativas evoluções com a conquista nano, mas há, concomitantemente, significativos questionamentos de como esta técnica irá reagir no ambiente. Assim surgem as inflexões:

O que fazer, então? Interditar toda e qualquer pesquisa (nanotecnológica)? Denunciar as consequências negativas deste imperativo de autoconservação humana e abandoná-lo? Pela relação duplamente constituinte entre indivíduo e comunidade, parece não haver esse espaço externo à interação para o qual se possa fugir⁸⁵.

Ou seja, desvia-se da rota comumente linear, há choques frontais da metamorfose social, consoante analisado em Beck⁸⁶. No entanto, conforme exposto no excerto supra, *não há como fugir*. As pesquisas e as disseminações nanotecnológicas estão em pleno funcionamento, inclusive, em *terrae brasilis* – e não há como *interditar* o desenvolvimento. Ainda, a proteção marítima, que se objetiva aqui apresentar, faz-se de extrema urgência e deve-se encontrar medidas no Direito para manter (ou efetivamente fazer existir) a tutela dos mares.

Assim sendo, em constatações preliminares, para o lançar de inquietudes, o que se pode arguir é que

A manipulação de átomos e moléculas gera desafios aos humanos, abrindo espaços para a inserção do Direito, dada a possibilidade de criação de direitos e deveres inéditos. O retorno à valorização dos Direitos Naturais-Humanos se apresenta como preliminar ética desse desenvolvimento científico, haja vista que os efeitos positivos e negativos serão lançados aos humanos e ao meio ambiente⁸⁷.

⁸⁴ HOHENDORFF, Raquel von. **A contribuição do *safe by design* na estruturação autorregulatória da gestão dos riscos nanotecnológicos**: lidando com a improbabilidade da comunicação inter-sistêmica entre o direito e a ciência em busca de mecanismos para concretar os objetivos de sustentabilidade do milênio. 2018. f. 24-25. Tese (Doutorado em Direito) -- Programa de Pós-Graduação em Direito, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2018. Disponível em: <http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/7055>. Acesso em: 15 set. 2021.

⁸⁵ No original: onde se lê *pesquisa nanotecnológica*, trata-se de *pesquisa biotecnocientífica*. PYRRHO, Monique; SCHRRAM, Fermin Roland. **Nanotecnociência e humanidade**. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2016. p. 13. *E-book*.

⁸⁶ BECK, Ulrich. **A metamorfose do mundo**: novos conceitos para uma nova realidade. 1. ed. Rio de Janeiro: Zahar, 2018. *E-book*.

⁸⁷ ENGELMANN, Wilson. A (re)leitura da teoria do fato jurídico à luz do “diálogo entre as fontes do direito”: abrindo espaços no direito privado constitucionalizado para o ingresso de novos direitos provenientes das nanotecnologias. In: STRECK, Lenio Luiz; MORAIS, José Luis Bolzan de. (org.).

Está apresentado o grande desafio, principalmente, para a Ciência Jurídica. As rotas para a navegação turbulenta foram elucidadas. O nevoeiro já foi dissipado. Eis as nanotecnologias e seus desafios no horizonte. Eis a embarcação da ciência que está, *agora*, a navegar (ou imergir?): a suntuosa nau denominada Direito em direção ao desconhecido.

3 OCEAN NANOTECH: UM ARRAIS NA TUTELA DOS MARES (?) E APORIAS AOS ANIMAIS MARINHOS

Nenhum nanoproduto deve ser desenvolvido tecnologicamente sem que os seus riscos toxicológicos e ambientais sejam avaliados, começando o mais cedo possível. Precisamos saber quais são os riscos ainda nas fases iniciais da pesquisa, porque o desenvolvimento tecnológico envolve grandes gastos⁸⁸.

O que se compreende como *grandes gastos* no desenvolvimento tecnológico? Certamente, pode-se interpretar duas perspectivas da epígrafe introdutória: haverá gastos econômicos e gastos ambientais. Quanto a estes, o ambiente sofrerá com o consumo no que concerne aos riscos de algo ainda desconhecido. Isso porque *nem todo produto fabril faz do fabricante um conhecedor nato do que fabricou* - e tal afirmativa se faz fidedigna ao se observar a atuação das nanotecnologias.

Partindo deste raciocínio, o que se pretende dar *claridade* neste capítulo está distante da arraigada teórica jurídica *pura*. Dito de outro modo, não se encontrará discussões legislativas, principiológicas, ou estritamente doutrinárias, ao longo dos subcapítulos seguintes, mas se buscará trazer o lume das ciências da natureza e suas tecnologias. Portanto, partir-se-á para a genuína transdisciplinariedade, para a admissão de que o Direito é um sistema conexo, influenciado e atento aos demais sistemas. Conforme compreende Luhmann

La sociedad es el sistema social autopoiético por excelencia. Hace comunicación y todo lo que haga comunicación es sociedad. La sociedad constituye las unidades elementares (comunicaciones) de que consta, y todo lo que se forma de esta manera se vuelve sociedad, se transforma em um momento del proceso de su constitución⁸⁹.

Nesse ínterim, o processo de constituição de uma sociedade, e a compreensão desta, requer uma abertura para “[...] além da compartimentalização do saber em disciplinas, ocupando novos espaços, entre as disciplinas e através

⁸⁸ OLIVEIRA, Marcos de. Medidas preventivas. **Pesquisa Fapesp**, São Paulo, ed. 251, jan. 2017. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/medidas-preventivas/?cat=tecnologia/>. Acesso em 02 set. 2021.

⁸⁹ LUHMANN, Niklas. **Sistemas sociales**: lineamientos para una teoria general. México: Anthropos: Universidad Iberoamericana; Santafé de Bogotá: CEJA, Pontificia Universidad Javeriana, 1998. p. 366.

delas, por meio da integração de conhecimentos”⁹⁰. Logo, o progresso social, em harmonia com o ecossistema, jamais se resumirá no entendimento e na aplicação exímia de uma disciplina isolada às demais ciências.

Mais precisamente, utilizando-se da analogia que circunda a estrutura desta monografia: assim como um bom marinheiro não poderá ser um perito apenas em relação ao seu barco e deverá conhecer e estudar os ventos, as marés e outras inúmeras informações necessárias para se conquistar uma navegação bem-sucedida e segura, assim também o Direito, para proporcionar a devida tutela marinha, deverá atentar ao cenário tecnológico que se apresenta. Claramente, compreender o que se faz incerto, uma rota marítima desconhecida, causará um desconforto, uma insegurança; no entanto,

[...] é preciso sair do castelo da certeza, que não possibilita a visualização completa da realidade que se apresenta ao jurista e ao Direito, para um espaço de incerteza, em um cenário novo e desafiador que a criatividade humana está desenhando por meio das nanotecnologias e que precisará ser albergado pelo Direito⁹¹.

Assim sendo tal capítulo é uma tentativa (uma urgente tentativa) de não somente destacar que a Ciência Jurídica e Social é um sistema influenciado, e que deve se ater aos demais sistemas, mas introduzir - preparando a rota para a navegação ao capítulo 4 - que os outros sistemas também estão imbricados com o Direito. Isso porque as ciências tecnicistas tendem a enxergar as ciências sociais como um agente coadjuvante, ou melhor, um mero telespectador, que apenas assiste o resultado final de uma inovação tecnológica. São sistemas, disciplinas, que são influenciadas, mas que, na prática, tendem a afastar a integração destes diferentes conhecimentos. Tal arguição se faz fidedigna com a fala da cientista social Ana Viseu: “Muitos nas ciências físicas e da vida descartam as ciências sociais como tendo um (mero) papel de ‘serviço’, podendo observar o que fazem,

⁹⁰ HOHENDORFF, Raquel von; ENGELMANN, Wilson. **Nanotecnologias aplicadas aos agroquímicos no Brasil: a gestão dos riscos a partir do Diálogo entre Fontes do Direito**. Curitiba: Juruá, 2014. p. 172.

⁹¹ HOHENDORFF, Raquel von; ENGELMANN, Wilson. Iniciando a regulação (não tradicional) para as nanotecnologias: a construção do caminho a partir das possibilidades do framework e da árvore de decisão. *In*: CELLA, José Renato Gaziero; NASCIMENTO, Valéria Ribas do; ROVER, Aires Jose (coord.). **Direito e novas tecnologias**. Florianópolis: CONPEDI, 2015. p. 346. Disponível em: <http://conpedi.daniloir.info/publicacoes/c178h0tg/vwk790q77FZqE4NANXQ7yC96.pdf>. Acesso em: 02 set. 2021.

mas não os perturbar”⁹² (tradução nossa). Ademais, Viseu informa sua própria experiência na *Cornell NanoScale Science and Technology Facility* em *Ithaca*, Nova York, e na *US National Nanotechnology Infrastructure Network*, ao atuar na área das nanotecnologias como cientista social:

Eu era rotineiramente (erroneamente) apresentada como uma especialista em ética e esperava-se que (eu) encontrasse maneiras mínimas e não perturbadoras de lidar com questões sociais e éticas. Este não era um trabalho que eu pudesse fazer nem desejasse fazer. [...] Minha contribuição percebida não foi de experiência, mas sim de uma vontade de ser educado na maneira adequada de pensar sobre nanotecnologia⁹³ (tradução nossa).

À vista do exposto, a contribuição de uma ciência *desconhecida* para o Direito, no presente capítulo, é uma abertura para que o Direito também seja inserido na *ciência que o desconhece*. Ainda, e, sendo o cerne deste capítulo, procura-se instigar o seguinte questionamento ao leitor: *as nanotecnologias estão sendo um arrais, isto é, o comandante na tutela dos mares? Ou melhor, a sociedade (e o Direito na condição de sistema provocado) não estaria a destinar a embarcação da proteção ambiental marinha ao comando da inovação?*

Estas inquietudes serão geradas ao se demonstrar, nas exposições seguintes, os benefícios e os riscos das nanotecnologias, consoante a literatura científica consultada: periódicos CAPES, *Nature*, *Springer*, *Elsevier*, *ACS Publications*, *Google Scholar*. Quanto ao termo filosófico *aporias* da titulação, tal aprofundamento ficará para o desfecho do capítulo; no entanto, o que se pode antecipar é que talvez haja uma “[...] ausência de resposta ao problema proposto para a discussão”⁹⁴, nos termos do raciocínio platônico, há uma grande incógnita sobre como os animais marinhos irão reagir frente a essa revolução tecnocientífica. Após o devido introito, inicia-se, agora, um *ocean nanotech*.

⁹² “Too many in the physical and life sciences dismiss social sciences as having a 'service' role, being allowed to observe what they do but not disturb it”. VISEU, Ana. Integration of social science into research is crucial. **Nature**, [S. l.], v. 525, p. 291, 17 Sept. 2015. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/525291a.pdf>. Acesso em: 16 set. 2021.

⁹³ “I was routinely (wrongly) introduced as an ethicist and was expected to find minimal, non-disruptive ways of dealing with social and ethical issues. This was not a job that I could do nor wanted to do [...] My perceived contribution was not one of expertise, but rather of a willingness to be educated in the proper way of thinking about nanotechnology”. VISEU, Ana. Integration of social science into research is crucial. **Nature**, [S. l.], v. 525, p. 291, 17 Sept. 2015. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/525291a.pdf>. Acesso em: 16 set. 2021.

⁹⁴ FANTICELLI, Luteildo. A questão da aporia em Platão. **Controvérsia**, São Leopoldo, v. 11, n. 2, p. 73, maio/ago. 2015. Disponível em: <http://revistas.unisinos.br/index.php/controversia/article/view/10399>. Acesso em: 02 set. 2021.

3.1 Benefícios e possibilidades no oceano das nanotecnologias

Há um significativo fomento para que as nanotecnologias sejam produzidas, desenvolvidas, uma vez que são caracterizadas por facilitar e melhorar a qualidade de vida humana e ambiental. Basta verificar o quão foi subsidiada no projeto *Horizon 2020*, programa-quadro de pesquisa da União Europeia, que, durante 7 anos (2014-2020), entre outros investimentos, dedicou-se a desenvolver o campo nano e, conjuntamente, a geração de água potável, sendo, respectivamente, investido US \$ 686 milhões em 2014, e US \$ 92 milhões em 2014, “[...] a fim de mesclar água e nanotecnologia, que incluem novos materiais de nanoengenharia e procedimentos de aplicação de água”⁹⁵ (tradução nossa), conforme análise de Khan e colaboradores. Ademais, cita-se, ainda, o Brasil, que, em março de 2021, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, assinou, juntamente com a Universidade Pedagógica e Tecnológica da Colômbia (UPTC), “[...] um Memorando de Entendimento para cooperação em ciência e tecnologia nas áreas de agricultura, pecuária, meio ambiente, recursos naturais, nanociência e biotecnologia”⁹⁶. Destaca-se que o acordo vigorará, inicialmente, até dezembro de 2025, e subsidiará pesquisas com “[...] nanomateriais para aplicá-los em sistemas para sensoriamento e remediação de poluentes de águas, incluindo alguns tipos de metais pesados”⁹⁷, havendo, como projeto inicial, com duração de 3 anos, o investimento de R\$ 255.102,96.

Nesse íterim, o presente subcapítulo visa a trazer a lume as inovações nanométricas que proporcionam grandes avanços para a proteção marinha, seja diretamente, seja indiretamente, como no caso do tratamento de águas residuais.

⁹⁵ “[...] in order to merge water and nanotechnology, which include new nano-engineered material and water applications procedures”. KHAN, Shamshad *et al.* Engineered nanoparticles for removal of pollutants from wastewater: current status and future prospects of nanotechnology for remediation strategies. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, [S. l.], v. 9, n. 5, p.10, Oct. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106160>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343721011374#!>. Acesso em: 02 set. 2021.

⁹⁶ FRAGALLE, Edilson. Nanotecnologia conecta Embrapa e universidade colombiana para detecção de poluentes na água. **Notícias**, Brasília, DF, 10 fev. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/59277470/nanotecnologia-conecta-embrapa-e-universidade-colombiana-para-deteccao-de-poluente-na-agua>. Acesso em: 02 set. 2021.

⁹⁷ FRAGALLE, Edilson. Nanotecnologia conecta Embrapa e universidade colombiana para detecção de poluentes na água. **Notícias**, Brasília, DF, 10 fev. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/59277470/nanotecnologia-conecta-embrapa-e-universidade-colombiana-para-deteccao-de-poluente-na-agua>. Acesso em: 02 set. 2021.

Isso porque deseja-se que o leitor provoque sua própria análise, sem qualquer parcialidade manejada por quem escreve esta monografia: *serão as nanos facilitadoras ou inibidoras de proteção oceânica?*

Portanto, o estudo proposto não está em apenas demonstrar *um lado*, uma *inovação com riscos e toxicidades*, que, posteriormente, serão analisados, mas possibilitar o contraditório e a ampla defesa tão valorizado e arguido como parte da estrutura do Direito, de raiz constitucional; assim sendo, será manifestado aqui que *a nano pode ser benéfica*. Logo, não se deseja, *jamaiz*, juízos solipsistas, isto é, colocar-se como um

[...] sujeito que assujeita o mundo conforme o seu ponto de vista interior. É, pois, o resultado do sujeito da modernidade, concebido no seio desse paradigma que tem na subjetividade do homem o ponto último de fundamentação para todo o conhecimento possível. É como o canário de Machado de Assis, em *Ideias do Canário*, para quem o mundo é somente aquilo que ele privadamente diz que é; o resto é mentira e ilusão⁹⁸ (grifo do autor).

Longe do canário machadiano, a proposta é demonstrar a utilização positiva das nanotecnologias - e, posteriormente, chegar-se ao *negativo* -, conforme aporte literário das ciências tecnicistas. Como afirma Pilarski e colaboradores: “A nanotecnologia é um campo de expansão muito rápido que gera enorme entusiasmo dentro das comunidades científicas especializadas”⁹⁹ (tradução nossa). Este entusiasmo será apresentado com as grandes façanhas e extraordinariedades de um campo tão rico em avanços como a nano.

⁹⁸ STRECK, Lenio Luiz. Notícia de última hora: CNJ autoriza a cura de juiz solipsista! **Consultor Jurídico**, São Paulo, 21 set. 2017. Disponível em: <https://www.conjur.com.br/2017-set-21/senso-incomum-noticia-ultima-hora-cnj-autoriza-cura-juiz-solipsista>. Acesso em: 10 set. 2021.

⁹⁹ “Nanotechnology is a very rapidly expanding field that generates enormous excitement within specialized scientific communities”. PILARSKI, Linda M. *et al.* Microsystems and nanoscience for biomedical applications: a view to the future. *In*: HUNT, Geoffrey; MEHTA, Michael. **Nanotechnology: risks, ethics and law**. London: Eartscan, 2006. p. 34. *E-book*. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=en&lr=&id=HyCxG40hu-IC&oi=fnd&pg=PP2&dq=Nanotechnology+Risk,+Ethics+and+Law&ots=wA7X06cpm5&sig=yQyAlh8aPybaiYAJPgNYOziSYBs#v=onepage&q=Nanotechnology%20Risk%20Ethics%20and%20Law&f=false>. Acesso em: 10 set. 2021.

3.1.1 As rotas nano-marítimas favoráveis à biota marinha: a comunidade científica e os aportes benéficos ao mar

Entre as utilizações *nanoworld*, favoráveis ao ambiente-mar, menciona-se a aplicação nanométrica como despoluidora de substâncias derivadas de derramamentos industriais, entre estes, óleos, combustíveis e solventes. Nesse ínterim, como primeira análise da atuação nanotecnológica *eco-friendly*, ou seja, amiga do ambiente marinho, cita-se a *espuma hidrofóbica feita de borracha látex e nanofibras de celulose*. Trata-se de uma criação de brasileiros, mais precisamente de Rubia Gouveia, pesquisadora no Laboratório Nacional de Nanotecnologia (LNNano), do Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), localizado em Campinas/SP¹⁰⁰.

O projeto laboratorial objetiva trazer ao mercado “[...] um material obtido de fontes naturais, biodegradável e renovável, que pode ser facilmente modificado e combinado para substituir aditivos à base de derivados de petróleo”¹⁰¹. Isso porque, o trabalho, publicado no *journal ACS Appl. Nano Mater*, em outubro de 2020, destaca-se por ser *ecologicamente correto*, na medida que “[...] combina nanocelulose (nanofibras de celulose) e borracha natural, na ausência de qualquer orgânico solvente, caracterizando-se como material verde e sustentável”¹⁰² (tradução nossa).

¹⁰⁰ DUARTE, Marcella. **Rubia Gouveia, a cientista que usa nanocelulose para nos salvar da poluição**. São Paulo, 29 ago. 2021. Disponível em: <https://www.uol.com.br/tilt/noticias/redacao/2021/08/29/rubia-gouveia-cientista-usa-nanocelulose-para-salvar-o-meio-ambiente.htm>. Acesso em: 10 set. 2021.

¹⁰¹ DUARTE, Marcella. **Rubia Gouveia, a cientista que usa nanocelulose para nos salvar da poluição**. São Paulo, 29 ago. 2021. Disponível em: <https://www.uol.com.br/tilt/noticias/redacao/2021/08/29/rubia-gouveia-cientista-usa-nanocelulose-para-salvar-o-meio-ambiente.htm>. Acesso em: 10 set. 2021.

¹⁰² “[...] combines nanocellulose (cellulose nanofibrils-CNFs) and natural rubber (NR) latex in the absence of any organic solvent, in accordance with the concept of green and sustainable materials”. LOREVICE, Marcos V. *et al.* Porous cellulose nanofibril–natural rubber latex composite foams for oil and organic solvent absorption. **ACS Appl. Nano Mater**, [S. l.], v. 3, n. 11, p. 10955, Oct. 14, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsanm.0c02203>. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acsanm.0c02203>. Acesso em: 10 set. 2021.

Figura 4 - Demonstração do funcionamento da espuma, “[...] alternativa ecologicamente correta, econômica e promissora para a limpeza de água”¹⁰³ (tradução nossa)



Fonte: Lorevice *et al.*¹⁰⁴.

Nesse íterim, a espuma de nanocelulose e látex de borracha natural, derivada da árvore brasileira seringueira (figura 4), possibilita que em um breve espaço de tempo, poluidores sejam armazenados nesta estrutura que suporta “[...] até 50 vezes a sua massa”¹⁰⁵. Ainda, a absorção ocorre, apenas, quanto ao material poluidor, vez ser uma espuma hidrofóbica, ou seja, que não vem a reter a água. A proposta, com toda certeza, possibilitará significativos avanços diante de derramamentos de óleo nos oceanos - este que se tornou um problema ambiental grave nas últimas décadas¹⁰⁶. Para ilustrar esta afirmação (e salientar quão

¹⁰³ “[...] standing out as an environmentally friendly, cost-effective, and promising alternative for water cleanup”. LOREVICE, Marcos V. *et al.* Porous cellulose nanofibril–natural rubber latex composite foams for oil and organic solvent absorption. **ACS Appl. Nano Mater**, [S. l.], v. 3, n. 11, p. 10954, Oct. 14, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsanm.0c02203>. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acsanm.0c02203>. Acesso em: 10 set. 2021.

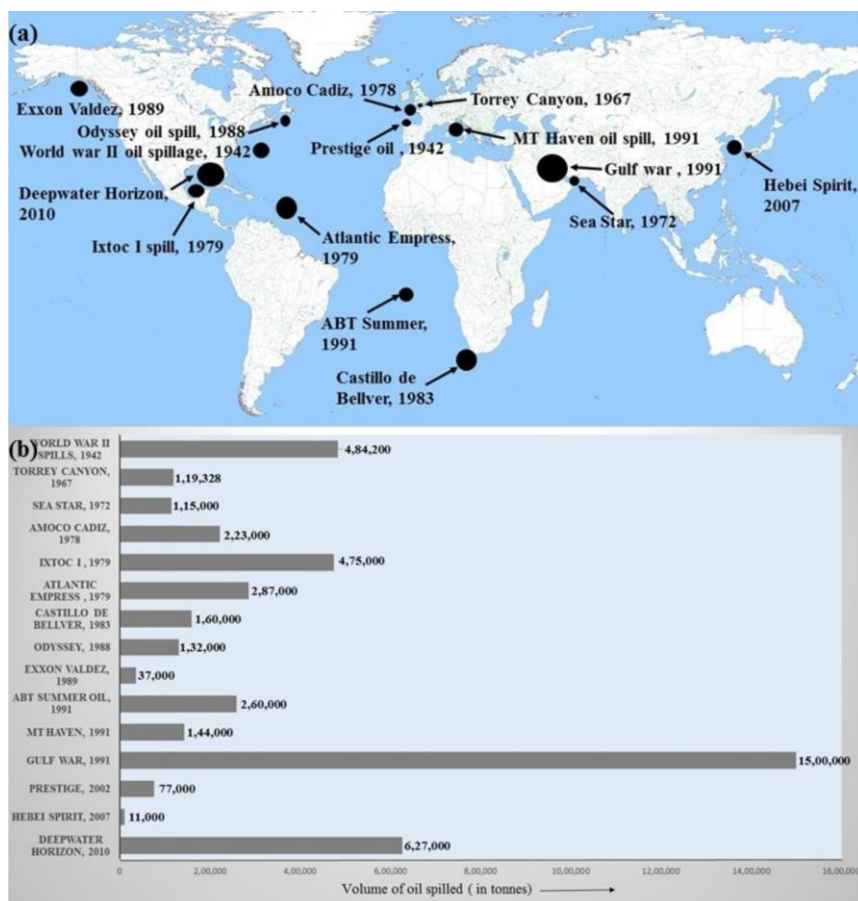
¹⁰⁴ LOREVICE, Marcos V. *et al.* Porous cellulose nanofibril–natural rubber latex composite foams for oil and organic solvent absorption. **ACS Appl. Nano Mater**, [S. l.], v. 3, n. 11, p. 10954, Oct. 14, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsanm.0c02203>. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acsanm.0c02203>. Acesso em: 10 set. 2021.

¹⁰⁵ DUARTE, Marcella. **Rubia Gouveia, a cientista que usa nanocelulose para nos salvar da poluição**. São Paulo, 29 ago. 2021. Disponível em: <https://www.uol.com.br/tilt/noticias/redacao/2021/08/29/rubia-gouveia-cientista-usa-nanocelulose-para-salvar-o-meio-ambiente.htm>. Acesso em: 10 set. 2021.

¹⁰⁶ SINGH, Harpreet *et al.* Environmental impacts of oil spills and their remediation by magnetic nanomaterials. **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management**, [S. l.], v. 14, Dec. 2020. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2215153219302338?token=942F0F207BA2A9000A79D7DAC3CA3609115B624174BD27F6A45557C1764CFBB8BE93B19222FBAB36A9CC8991CAC6D581&originRegion=us-east-1&originCreation=20211101105918>. Acesso em: 10 set. 2021.

necessária é esta tecnologia), a figura 5 demonstra os principais, e grandes, incidentes com derrame de óleo no mar, ao longo dos últimos 70 anos.

Figura 5 - Grandes desastres ambientais com derramamento de óleo nos oceanos desde 1942. No *item (a)*, há a localização e o ano; no *item (b)*, contém o volume do óleo derramado, em toneladas, no mar.



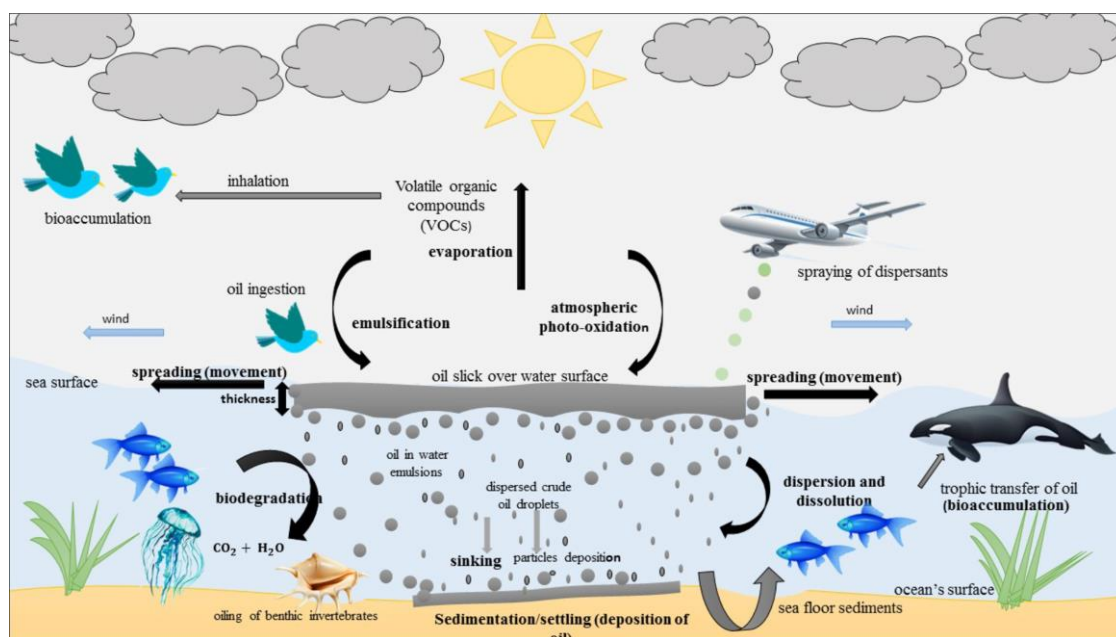
Fonte: Singh *et al.*¹⁰⁷.

Claramente, a *espuma brasileira* protegerá o ambiente marinho na medida que, em principal, diante de derramamentos de petróleo, de óleos no oceano, será uma eficiente e ecológica alternativa para a limpeza e para a preservação das espécies aquáticas. Isso porque: “A propagação do óleo, assim que é derramado nos oceanos, ocorre com deriva e transporte em várias direções na superfície da

¹⁰⁷ SINGH, Harpreet *et al.* Environmental impacts of oil spills and their remediation by magnetic nanomaterials. **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management**, [S. l.], v. 14, p. 5, Dec. 2020. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2215153219302338?token=942F0F207BA2A9000A79D7DAC3CA3609115B624174BD27F6A45557C1764CFBB8BE93B19222FBAB36A9CC8991CAC6D581&originRegion=us-east-1&originCreation=20211101105918>. Acesso em: 10 set. 2021.

água ou próximo a ela”¹⁰⁸ (tradução nossa); logo, ocorre um processo chamado de *intemperismo*, em que processos químicos, físicos e biológicos interferem no modo de distribuição com o ambiente-mar – ou seja, de qualquer modo, haverá uma intoxicação maior ou menor, a depender de como ocorreu o deslocamento e a interação do óleo¹⁰⁹, exemplificado na figura 6. A espuma à base de nanotecnologia, assim, impossibilitaria este intemperismo.

Figura 6 - Propagação do óleo no ambiente, processo de intemperismo



Fonte: Singh *et al.* ¹¹⁰.

¹⁰⁸ “Spreading of the oil as soon as it is spilled into the oceans occurs with drifting and transportation in multiple di-rections at or near the water surface”. SINGH, Harpreet *et al.* Environmental impacts of oil spills and their remediation by magnetic nanomaterials. **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management**, [S. l.], v. 14, p. 4, Dec. 2020. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2215153219302338?token=942F0F207BA2A9000A79D7DAC3CA3609115B624174BD27F6A45557C1764CFBB8BE93B19222FBAB36A9CC8991CAC6D581&originRegion=us-east-1&originCreation=20211101105918>. Acesso em: 10 set. 2021.

¹⁰⁹ SINGH, Harpreet *et al.* Environmental impacts of oil spills and their remediation by magnetic nanomaterials. **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management**, [S. l.], v. 14, Dec. 2020. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2215153219302338?token=942F0F207BA2A9000A79D7DAC3CA3609115B624174BD27F6A45557C1764CFBB8BE93B19222FBAB36A9CC8991CAC6D581&originRegion=us-east-1&originCreation=20211101105918>. Acesso em: 10 set. 2021.

¹¹⁰ SINGH, Harpreet *et al.* Environmental impacts of oil spills and their remediation by magnetic nanomaterials. **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management**, [S. l.], v. 14, p. 4, Dec. 2020. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2215153219302338?token=942F0F207BA2A9000A79D7DAC3CA3609115B624174BD27F6A45557C1764CFBB8BE93B19222FBAB36A9CC8991CAC6D581&originRegion=us-east-1&originCreation=20211101105918>. Acesso em: 10 set. 2021.

Em continuidade à utilização nano benéfica para a vida marinha, cita-se o controle de doenças em peixes - mais elucidativo quando aplicado na aquicultura, ou seja, atividade que reproduz e que cultiva organismos aquáticos em ambientes delimitados, sendo estes o próprio mar (ou, em sendo o caso, as mediações de rios) ou locais que simulam o ambiente natural, objetivando o comércio alimentício destes organismos¹¹¹. A exemplo, a vacina nanotecnológica por imersão/via oral como imunizante ao vírus causador da doença contagiosa septicemia hemorrágica viral (VHS), responsável por “[...] afetar mais de 70 espécies de água doce e peixes marinhos em todo o mundo”¹¹² e levar a óbito estes seres vivos.

Nesse ínterim, conforme o estudo publicado em fevereiro de 2019, os pesquisadores da Universidade Nacional de Jeju, Coréia do Sul, verificaram a eficácia da nanovacina em alevinos, isto é, peixes ainda não adultos, de linguado (nome científico: *paralichthys olivaceus*), espécie natural do mar asiático. O estudo coreano revelou que a vacina, contendo o vírus inativo, que provoca a VHS, demonstra-se nanotecnológica, uma vez que se utiliza da nanoencapsulação do antígeno, substância que causará a imunidade. Tal cápsula é composta por nanopartículas de poli (ácido láctico-co-glicólico) – PLGA:

[...] polímero sintético, [...] amplamente utilizado para aplicação de vacinas em mamíferos e outras pesquisas biomédicas devido à sua excelente compatibilidade com tecidos, biodegradabilidade, natureza não tóxica e sua aprovação *pela Food and Drug Administration (FDA)* para uso seguro em humanos¹¹³ (grifo nosso, tradução nossa).

Assim formou-se nanoesferas do antígeno, encapsuladas em PLGA, que se aplicou nos alevinos por método de imersão e via oral (incorporada na ração dos

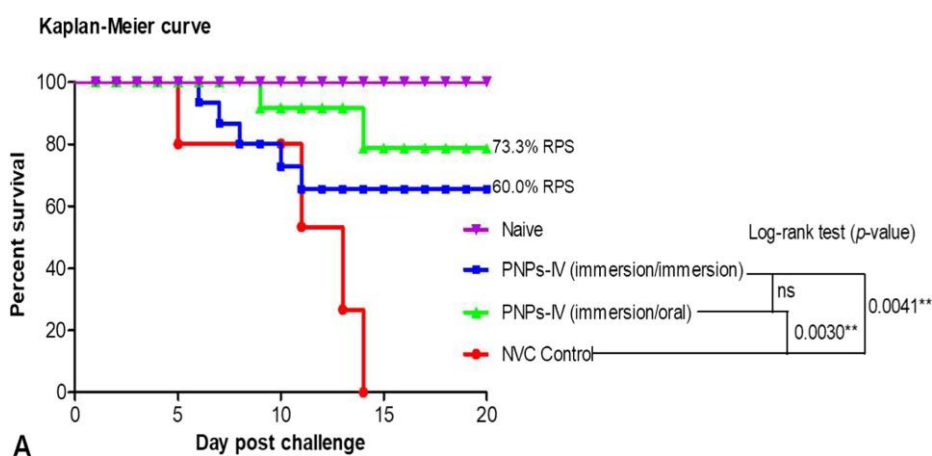
¹¹¹ EQUIPE ECYCLE. **Aquicultura**: o que é e impactos ambientais. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/aquicultura/>. Acesso em: 10 set. 2021.

¹¹² “[...] affects more than 70 species of both freshwater and marine fishes worldwide”. KOLEA, Sajal *et al.* PLGA encapsulated inactivated-viral vaccine: Formulation and evaluation of its protective efficacy against viral haemorrhagic septicaemia virus (VHSV) infection in olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) vaccinated by mucosal delivery routes. **Vaccine**, [S. l.], v. 37, n. 7, p. 973, 8 Feb. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2018.12.063>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264410X19300428?via%3Dihub>. Acesso em: 13 set. 2021.

¹¹³ “[...] synthetic polymer [...] widely used for vaccine delivery in mammals and other biomedical research due to its excellent tissue compatibility, biodegradability, non-toxic nature and its approval by the Food and Drug Administration (FDA) for safe use in human”. KOLEA, Sajal *et al.* PLGA encapsulated inactivated-viral vaccine: Formulation and evaluation of its protective efficacy against viral haemorrhagic septicaemia virus (VHSV) infection in olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) vaccinated by mucosal delivery routes. **Vaccine**, [S. l.], v. 37, n. 7, p. 973, 8 Feb. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2018.12.063>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264410X19300428?via%3Dihub>. Acesso em: 13 set. 2021.

peixes), em ambiente laboratorial, tendo se comprovado que os “Genes imunológicos foram significativamente regulados positivamente em peixes imunizados”¹¹⁴ (tradução nossa), conforme figura 7. Soma-se que, o fato de não haver a injeção, o método se torna menos estressante, trabalhoso e mais adequado para o caso de pequenos alevinos¹¹⁵.

Figura 7 - Demonstração do percentual de sobrevivência de peixes com a nanovacina. Legenda: coloração azul e verde, respectivamente, realizada imersão/imersão e imersão/oral da vacina; coloração vermelha são os peixes que não efetuaram o tratamento.



Fonte: Kolea *et al.* ¹¹⁶.

Ademais, importa salientar que a utilização da nanotecnologia na vacinação proporciona mais eficácia imunizante que as vacinas convencionais. Isso porque “[...] é fácil de entregar, proteger o antígeno (aquele que formará o anticorpo) da degeneração e é considerado eficiente com uma única dose resultante da liberação

¹¹⁴ “Immune genes were significantly upregulated in immunized fish”. KOLEA, Sajal *et al.* PLGA encapsulated inactivated-viral vaccine: Formulation and evaluation of its protective efficacy against viral haemorrhagic septicaemia virus (VHSV) infection in olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) vaccinated by mucosal delivery routes. **Vaccine**, [S. l.], v. 37, n. 7, 8 Feb. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2018.12.063>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264410X19300428?via%3Dihub>. Acesso em: 13 set. 2021.

¹¹⁵ KOLEA, Sajal *et al.* PLGA encapsulated inactivated-viral vaccine: Formulation and evaluation of its protective efficacy against viral haemorrhagic septicaemia virus (VHSV) infection in olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) vaccinated by mucosal delivery routes. **Vaccine**, [S. l.], v. 37, n. 7, 8 Feb. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2018.12.063>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264410X19300428?via%3Dihub>. Acesso em: 13 set. 2021.

¹¹⁶ KOLEA, Sajal *et al.* PLGA encapsulated inactivated-viral vaccine: Formulation and evaluation of its protective efficacy against viral haemorrhagic septicaemia virus (VHSV) infection in olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) vaccinated by mucosal delivery routes. **Vaccine**, [S. l.], v. 37, n. 7, p. 977, 8 Feb. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2018.12.063>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264410X19300428?via%3Dihub>. Acesso em: 13 set. 2021.

lenta do antígeno encapsulado (cápsulas nano)”¹¹⁷ (tradução nossa). Ainda, as vacinas, como um todo, se mostram mais eficazes aos animais, em principal, marinhos, vez que “[...] os antibióticos usados na aquicultura e seus produtos de degradação podem causar efeitos negativos na saúde humana e animal e no ambiente natural”¹¹⁸ (tradução nossa).

A utilização nano-mar também se faz imprescindível no tratamento de águas residuais. Além da espuma, antes analisada, há a utilização, na desinfecção e controle microbiano, ou seja, as águas utilizadas pelo ser humano e destinadas ao mar poderão passar por um tratamento adequado para que a biota marinha não sofra com poluentes. Nesse ínterim, em pesquisa publicada em março de 2016, realizada, principalmente, por brasileiros da Universidade de Caxias do Sul, demonstraram que filmes finos de poli (cloridrato de alilamina) (PAH) e poli (ácido acrílico) (PAA) com nanopartículas de prata (Ag) podem ser utilizados para “[...] potencializar a remoção de bactérias coliformes de águas residuárias industriais”¹¹⁹ (tradução nossa). Isso porque, no estudo laboratorial, verificou-se uma redução de 93% da atividade bacteriana com a aplicação da nanotecnologia.

Importante ressaltar que a utilização de filmes finos de PAH e PAH foi uma estratégia dos cientistas para que a prata não causasse danos ao ecossistema aquático, de modo a gerar riscos ao meio ambiente. Isso porque, sem o suporte destes *filmes finos*, a prata pode ser extremamente tóxica para animais e outros seres vivos aquáticos, consoante a abordagem dos autores. Nesse ínterim, visando a reduzir a mobilidade da nanopartícula e evitar a inserção no meio ambiente,

¹¹⁷ “[...] it is effortless to deliver, protect the antigen from degeneration and is found to be efficient with a single dose re-sulted from slow release of the encapsulated antigen”. KITIYODOM, Sirikorn *et al.* Enhanced efficacy of immersion vaccination in tilapia against columnaris disease by chitosan-coated “pathogen-like” mucoadhesive nanovaccines. **Fish & Shellfish Immunology**, [S. l.], v. 95, p. 217, Dec. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.09.064>. Disponível em: <https://www.science-direct.com/science/article/abs/pii/S1050464819309489?via%3Dihub>. Acesso em: 16 set. 2021.

¹¹⁸ “[...] antibiotics used in aquaculture and their degradation products may cause negative effects on human and animal health and on the natural environment”. VALDERRAMAA, Katherine *et al.* Outer membrane protein FrpA, the siderophore piscibactin receptor of *Photobacterium damsela* subsp. *piscicida*, as a subunit vaccine against photobacteriosis in sole (*Solea senegalensis*). **Fish & Shellfish Immunology**, [S. l.], v. 94, p. 724, Nov. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.09.066>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1050464819309507?via%3Dihub>. Acesso em: 15 set. 2021.

¹¹⁹ “[...] enhancing the removal of coliform bacteria from industrial wastewaters”. ZARPELON, Fabiana *et al.* Removal of coliform bacteria from industrial wastewaters using polyelectrolytes/silver nanoparticles self-assembled thin films. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, [S. l.], v. 4, n. 1, p. 137, Mar. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2015.11.013>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343715300580?via%3Dihub>. Acesso em: 15 set. 2021.

utilizou-se de polímeros para imobilizar a prata; bem como possibilitar o “[...] reaproveitamento (do material) no processo de desinfecção de água”¹²⁰ (tradução nossa).

Destaca-se, ainda, a patente brasileira de nanopapel cerâmico que: “Pode servir de membrana filtrante capaz de remover contaminantes da água, como metais pesados, hormônios e fármacos”¹²¹, e foi desenvolvida por cientistas da Embrapa Instrumentação/SP e da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). A inovação, combinada com uma matriz polimérica e precursores inorgânicos, foi publicada em agosto de 2020, e trata-se, portanto, de uma “[...] membrana capaz de filtrar contaminantes difíceis de serem removidos da água”¹²².

Portanto, há uma significativa utilização nano no tratamento de água, de modo que a literatura já demonstrou que

Nanomateriais têm várias vantagens significativas em relação às tecnologias convencionais de água, uma das quais é a capacidade de integrar várias propriedades. Isso permite que eles sejam usados em sistemas multifuncionais, como nanocompósitos membranas, que podem ser usadas tanto para retenção de partículas quanto para remoção de contaminantes. Além disso, devido às suas propriedades únicas, como uma alta taxa de reação, os nanomateriais permitem uma maior eficiência do processo (tradução nossa)¹²³.

A nano como base de tratamento aquático, em gerar água potável, é, significativamente, estudada e desenvolvida pela comunidade científica, basta verificar

¹²⁰ “[...] reuse in the process involving the disinfection of water”. ZARPELON, Fabiana *et al.* Removal of coliform bacteria from industrial wastewaters using polyelectrolytes/silver nanoparticles self-assembled thin films. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, [S. l.], v. 4, n. 1, p. 137, Mar. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2015.11.013>. Disponível em: <https://www.science-direct.com/science/article/abs/pii/S2213343715300580?via%3Dihub>. Acesso em: 15 set. 2021.

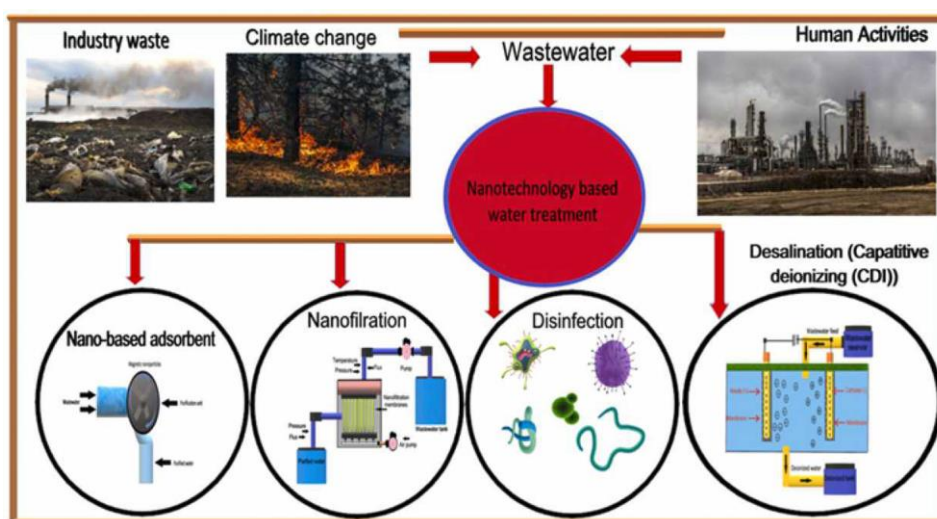
¹²¹ SILVA, Joana. Nanopapel cerâmico é base para remoção de contaminantes da água. **Notícias**, Brasília, DF, 10 ago. 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/54710784/nanopapel-ceramico-e-base-para-remocao-de-contaminantes-da-agua#sol-gel>. Acesso em: 15 set. 2021.

¹²² SILVA, Joana. Nanopapel cerâmico é base para remoção de contaminantes da água. **Notícias**, Brasília, DF, 10 ago. 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/54710784/nanopapel-ceramico-e-base-para-remocao-de-contaminantes-da-agua#sol-gel>. Acesso em: 15 set. 2021.

¹²³ “Nanomaterials have several significant advantages over conventional water technologies, one of which is their ability to integrate multiple properties. This allows them to be used in multi-functional systems such as nanocomposite membranes, which can be used for both particle retention and contaminant removal. Furthermore, due to their unique properties, such as a high reaction rate, nanomaterials enable improved process efficiency”. KHAN, Shamshad *et al.* Engineered nanoparticles for removal of pollutants from wastewater: current status and future prospects of nanotechnology for remediation strategies. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, [S. l.], v. 9, n. 5, p.13, Oct. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106160>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343721011374#!>. Acesso em: 02 set. 2021.

que, em breve pesquisa na plataforma *Elsevier*, editora científica internacional, ao se utilizar dos termos *nanoparticles AND wastewater*, em outubro de 2021, há mais de 44.000 resultados encontrados, sendo que os estudos iniciam no ano de 1998. Nesse ínterim, em revisão promovida por Khan e pesquisadores¹²⁴, publicada em outubro de 2021, os cientistas exemplificam outras significativas inovações nano para remoção de poluentes de águas residuais, além das tecnologias já destacadas, como a capacidade de nanofiltração e a nano atuante no processo de desinfecção, consoante se verifica na figura 8.

Figura 8 - Diferentes utilizações nano para a remoção de poluentes de águas residuais (*wastewater*)



Fonte: Khan *et al.*¹²⁵.

Importa mencionar que a possibilidade de água potável é um beneficiador direto para o ser humano. No entanto, a existência de um tratamento de água doce adequado, consoante elucidado anteriormente, também irá refletir nos oceanos, uma vez que as águas contaminadas, que seriam destinadas ao mar, irão passar por um adequado processo de purificação, de modo a preservar as espécies marinhas. Ou,

¹²⁴ KHAN, Shamshad *et al.* Engineered nanoparticles for removal of pollutants from wastewater: current status and future prospects of nanotechnology for remediation strategies. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, [S. l.], v. 9, n. 5, p. 13, Oct. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106160>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343721011374#!>. Acesso em: 02 set. 2021.

¹²⁵ KHAN, Shamshad *et al.* Engineered nanoparticles for removal of pollutants from wastewater: current status and future prospects of nanotechnology for remediation strategies. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, [S. l.], v. 9, n. 5, p. 13, Oct. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106160>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343721011374#!>. Acesso em: 02 set. 2021.

até mesmo, pode-se equiparar o tratamento na própria água dos oceanos como, igualmente, um meio de despoluição por meio das nanotecnologias.

Conforme demonstrado na figura 8, a nano pode ser aplicada como adsorvente, isto é, ela atua como uma espécie de *substância porosa* que, quando os poluentes passassem por nanopartículas, aqueles ficariam aprisionados nestas. Nesse ínterim, os cientistas destacaram que os nanoadsorventes quando

[...] à base de quitosana e óxido de grafeno são biocompatíveis, não tóxicos, biodegradáveis e acessíveis; eles incluem uma alta concentração de grupos funcionais amino e hidroxila, são facilmente modificados quimicamente e são eficazes na remoção de corantes e elementos tóxicos de água poluída¹²⁶ (tradução nossa).

Ainda, quanto ao comportamento adsorvente, pode-se destacar a *separação magnética* (figura 9), conforme destacam Khan e colaboradores, tratando-se de uma tecnologia “[...] de baixo custo para isolar partículas microscópicas que supera outras tecnologias”¹²⁷ (tradução nossa), como o processo de tratamento denominado centrifugação - que consiste em fazer movimentos para que os corpos mais densos da água se depositem no fundo. Nesse sentido, a exemplificar a atuação das nanopartículas magnéticas, cita-se a magnetita (Fe_3O_4), que remove componentes perigosos presentes nas águas de descarte, como o telúrio (Te), elemento utilizado amplamente em “[...] produtos tecnológicos, principalmente em setores como eletroeletrônica, energias renováveis, computação e medicina”¹²⁸ e considerado tóxico ao ser humano¹²⁹.

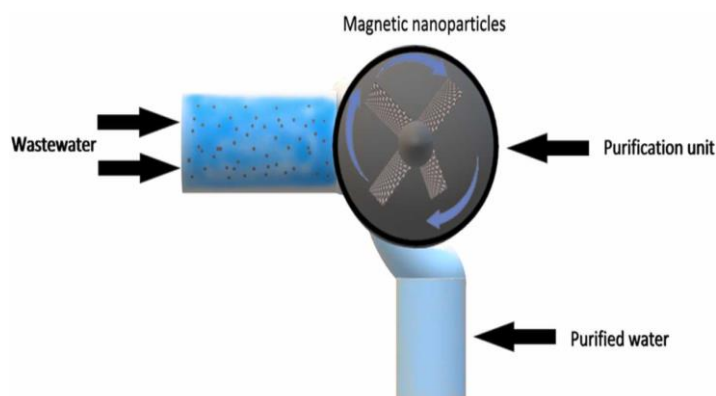
¹²⁶ “Chitosan-based adsorbents and graphene oxide are biocompatible, nontoxic, biodegradable, and affordable; they include a high concentration of amino and hydroxyl functional groups, are easily modified chemically, and are effective at removing dyes and toxic elements from polluted water”. KHAN, Shamshad *et al.* Engineered nanoparticles for removal of pollutants from wastewater: current status and future prospects of nanotechnology for remediation strategies. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, [S. l.], v. 9, n. 5, p.8, Oct. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106160>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343721011374#!>. Acesso em: 02 set. 2021.

¹²⁷ “[...] is a low-cost, promising technology for isolating microscopic particles that outperforms other technologies”. KHAN, Shamshad *et al.* Engineered nanoparticles for removal of pollutants from wastewater: current status and future prospects of nanotechnology for remediation strategies. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, [S. l.], v. 9, n. 5, p.8, Oct. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106160>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343721011374#!>. Acesso em: 02 set. 2021.

¹²⁸ TECPAR apoia estudos pioneiros na área ambiental. **Agência de Notícias do Paraná**, Curitiba, 11 dez. 2019. Disponível em: <https://www.aen.pr.gov.br/modules/noticias/article.php?storyid=105027>. Acesso em: 15 set. 2021.

¹²⁹ PINTO, Fernanda de Rezende *et al.* Presença de metais em água de fontes de abastecimento durante época de chuvas. *In*: CONGRESSO MUNDIAL DE ÁGUA, 14., 2011, Porto de Galinhas.

Figura 9 - Demonstração da remoção de contaminantes por nanopartículas magnéticas



Fonte: Khan *et al.*¹³⁰.

O processo adsorvente, por meio do magnetismo, também foi estudado na aplicação marinha, no que concerne à diminuição de toxinas geradas por florações algais nocivas (FAN), fenômeno natural que ocorre em ecossistemas aquáticos. Nesse ínterim, a FAN trata-se de descrever o aumento

[...] em um curto espaço de tempo da população de microalgas que tenha encontrado condições favoráveis ao seu desenvolvimento. É essencial também destacar que o referido termo é empregado para as mais diferentes classes de microalgas¹³¹.

Ressalta-se que tais florações são responsáveis, entre outras consequências, pela mortalidade em massa de animais marinhos e síndromes de toxinas em frutos do mar, conforme estudo realizado por Hallegraeff e cientistas da Comissão Oceanográfica Intergovernamental da UNESCO, publicado em junho de 2021, pela revista *Nature Communications Earth & Environment*¹³². Nesse ínterim, a atuação da

Anais eletrônicos... Porto de Galinhas, 2011. Disponível em: <https://iwra.org/member/congress/resource/PAP00-4856.pdf>. Acesso em: 02 set. 2021.

¹³⁰ KHAN, Shamshad *et al.* Engineered nanoparticles for removal of pollutants from wastewater: current status and future prospects of nanotechnology for remediation strategies. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, [S. l.], v. 9, n. 5, p.8, Oct. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106160>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343721011374#!>. Acesso em: 02 set. 2021.

¹³¹ CASTRO, Nathália O. de; MOSER, Gleyci A. de Oliveira. Florações de algas nocivas e seus efeitos ambientais. **Oecologia Australis**, [S. l.], v. 16, n. 2, p. 235-264, jun. 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.4257/oeco.2012.1602.05>.

¹³² HALLEGRAEFF, Gustaaf M. *et al.* Perceived global increase in algal blooms is attributable to intensified monitoring and emerging bloom impacts. **Communications Earth & Environment**, [S. l.], v. 2, n. 117, 2021. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s43247-021-00178-8>. Acesso em: 02 set. 2021.

nano, neste controle de toxicidades, possibilita a diminuição significativa das consequências desastrosas deste fenômeno provocado pelas algas.

Conforme testes laboratoriais de cientistas da Universidade de Santiago de Compostela, Espanha, publicado em outubro de 2020, nanopartículas magnéticas de núcleo de carbono podem ser eficientes para reduzir os impactos negativos da FAN, pelo processo adsorvente - tratamento de água altamente eficaz, conforme mencionado nas pesquisas anteriores. Isso porque “[...] 70% das toxinas marinhas que não (possuíam) grupos sulfato em sua estrutura [...] (foram) eliminadas das soluções (nano)”¹³³ (tradução nossa); logo, a utilização no oceano, far-se-á bem-sucedida para controle e preservação da biota marinha. Destaca-se que: “As toxinas marinhas foram adsorvidas nos primeiros 5 minutos de contato”¹³⁴ (tradução nossa) com a solução magnética. Nesse ínterim, o estudo concluiu que:

A separação magnética, que tem um desempenho eficiente com nanoestruturas baseadas em *magnetita multicore*, trata-se de uma tecnologia barata e ecológica que permite a recuperação total dos materiais adsorventes. Além disso, as toxinas podem ser recuperadas de compósitos, o que permitiria um uso adicional como nanoplataformas reutilizáveis para análises químicas¹³⁵ (tradução nossa).

Além da atuação nanotecnológica para tratamento da água, que proporciona o consumo humano e o adequado descarte no ambiente marinho, como a separação magnética analisada, percebe-se, na figura 8, a *nanotech* aplicada também para a dessalinização das águas oceânicas – somando-se mais uma utilização fascinante desta tecnologia nanométrica. Embora tal proposta, em um primeiro momento,

¹³³ “[...] 70% of marine toxins that do not have sulfate groups in their structure [...] can be eliminated from solutions”. GONZÁLEZ-JARTÍN, Jesús M. et al. Magnetic nanostructures for marine and freshwater toxins removal. **Chemosphere**, [S. l.], v. 256, p. 10, Oct. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127019>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653520312121?via%3Dihub>. Acesso em: 15 set. 2021.

¹³⁴ “Marine toxins were adsorbed in the first 5 min of contact”. GONZÁLEZ-JARTÍN, Jesús M. et al. Magnetic nanostructures for marine and freshwater toxins removal. **Chemosphere**, [S. l.], v. 256, p. 1, Oct. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127019>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653520312121?via%3Dihub>. Acesso em: 15 set. 2021.

¹³⁵ “Magnetic separation, which has an efficient performance with multicore magnetite based nanostructures, is a cheap and green technology that allows for the total recovery of the adsorbent materials. Moreover, toxins can be recovered from composites, which would allow and additional use as reusable nanoplatforms for chemical analysis”. GONZÁLEZ-JARTÍN, Jesús M. et al. Magnetic nanostructures for marine and freshwater toxins removal. **Chemosphere**, [S. l.], v. 256, p. 10, Oct. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127019>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653520312121?via%3Dihub>. Acesso em: 15 set. 2021.

tenha por objetivo gerar água potável para a sociedade, por meio da retirada do sal, a biota marinha também se faz beneficiada nesse processo de utilização de nanotecnologias. No entanto, antes, precisa-se compreender como se encontra o cenário ambiental com as tecnologias já disponíveis para dessalinização para, após, demonstrar como a nano atuará em prol do meio marinho. Nesse sentido:

Até agora, a dessalinização da água do mar tem sido realizada principalmente por meio de destilação *flash* de vários estágios e osmose reversa (OR). Principalmente nos países áridos do Golfo Pérsico, as usinas de dessalinização funcionam com base no aquecimento e condensação da água do mar. Esse tipo de dessalinizadora consome grande quantidade de energia térmica e elétrica, emitindo amplamente gases de efeito estufa¹³⁶ (tradução nossa).

A proposta de procedimento nano na dessalinização estaria na sua atuação em conjunto com a utilizadas na tecnologia de OR, visto que esta trata-se da forma mais sustentável, uma *tecnologia do futura*, para gerar água potável – sem utilizar a queima de combustíveis fósseis. A elucidar, o procedimento de osmose reversa atua da seguinte forma: a água salinizada perpassa uma membrana semipermeável, tendo em vista a atuação de uma pressão hidrostática positiva externa, e esta membrana atuaria na *retirada* dos íons de sal¹³⁷. A OR atuaria na redução de gases de efeito estufa (consoante verificado no excerto supra) que são responsáveis, entre outros danos, pela acidificação dos oceanos. Para exemplificar, esta acidificação trata-se de uma consequência da reação química entre os gases emitidos, mais precisamente o dióxido de carbono (CO₂), e a água do mar, o que faz diminuir o pH dos mares, provocando acidez nos oceanos¹³⁸. Nesse ínterim, a exemplo, para animais marinhos que necessitam formar seu exoesqueleto para proteção, ocorre que “[...] quanto mais CO₂ (no mar), mais cálcio é necessário para a neutralização. O

¹³⁶ “So far, seawater desalination has been mainly performed via multistage flash distillation and reverse osmosis (RO). Mostly in the arid Persian Gulf countries, desalination plants perform based on heating and then condensing seawater. This kind of desalination plant consumes large amounts of thermal and electric energy, thus emitting greenhouse gases extensively”. HOMAEIGO HAR; Shahin; ELBAHRI, Mady. Graphene membranes for water desalination. **NPG Asia Materials**, [S. l.], v. 9, p.1, 2017. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/am2017135>. Acesso em: 05 nov. 2021.

¹³⁷ HOMAEIGO HAR; Shahin; ELBAHRI, Mady. Graphene membranes for water desalination. **NPG Asia Materials**, [S. l.], v. 9, 2017. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/am2017135>. Acesso em: 05 nov. 2021.

¹³⁸ MARTINS, Leandra Rajczuk. Acidificação dos oceanos afeta animais marinhos e ameaça equilíbrio trófico. **Agência Universitária de Notícias**, São Paulo, 24 abr. 2017. Disponível em: <http://aun.webhostusp.sti.usp.br/index.php/2017/04/24/acidificacao-dos-oceanos-afeta-animais-marinhos-e-ameaca-equilibrio-trofico/>. Acesso em: 05 nov. 2021.

resultado é que haverá menos cálcio disponível no ambiente para que o organismo forme (o) exoesqueleto”, conforme análise de Wellington Fernandez, pesquisador do Instituto Oceanográfico (IO) da USP¹³⁹.

Assim sendo o procedimento de dessalinização pela nanotecnologia seria efetuado com uma membrana de grafeno com poros subnanômetro. Nesse ínterim, estas seriam, inclusive, melhores que as membranas, convencionalmente, utilizadas em usinas de osmose reversa, como poliamida, que detém pouca permeabilidade¹⁴⁰. Isso porque as membranas *nanotech* têm

[...] ultra alta permeabilidade à água, que se traduz em uma redução notável no investimento de capital inicial e nos custos operacionais das usinas de dessalinização, (tendo em vista) sua espessura atômica. Assim, a criação de poros controlados em termos de tamanho, densidade e funcionalidade em uma estrutura de grafeno promete o desenvolvimento de uma membrana altamente seletiva e, ao mesmo tempo, permeável para a dessalinização da água¹⁴¹ (tradução nossa).

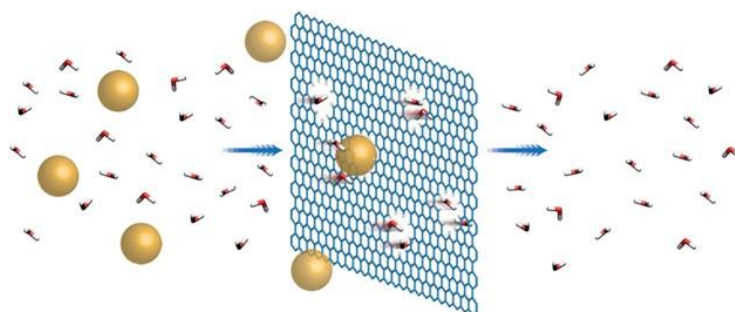
Assim sendo, as membranas atuam como um eficiente filtro para a retirada do sal e se caracterizam por proporcionar maior vazão de água e, ainda, são mais ecológicas, devido à redução nos custos energéticos. Para elucidar, a figura 10 demonstra o funcionamento da membrana de grafeno.

¹³⁹ MARTINS, Leandra Rajczuk. Acidificação dos oceanos afeta animais marinhos e ameaça equilíbrio trófico. **Agência Universitária de Notícias**, São Paulo, 24 abr. 2017. Disponível em: <http://aun.webhostusp.sti.usp.br/index.php/2017/04/24/acidificacao-dos-oceanos-afeta-animais-marinhos-e-ameaca-equilibrio-trofico/>. Acesso em: 05 nov. 2021.

¹⁴⁰ HOMAEIGO HAR; Shahin; ELBAHRI, Mady. Graphene membranes for water desalination. **NPG Asia Materials**, [S. l.], v. 9, p. 1, 2017. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/am2017135>. Acesso em: 05 nov. 2021.

¹⁴¹ “[...] ultrahigh water permeability of graphene, which translates into a notable reduction in the initial capital investment and operating costs of desalination plants, is its atomic thickness. Thus, the creation of controlled pores in terms of size, density and functionality in a graphene structure promises the development of a highly selective and, at the same time, permeable membrane for water desalination”. HOMAEIGO HAR; Shahin; ELBAHRI, Mady. Graphene membranes for water desalination. **NPG Asia Materials**, [S. l.], v. 9, p. 4, 2017. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/am2017135>. Acesso em: 05 nov. 2021.

Figura 10 - Membrana de grafeno com poros subnanômetro: filtração da água salinizada



Fonte: Wang e Karnik¹⁴².

Conforme a figura, verifica-se que as esferas douradas tratam-se do sal e as partículas vermelhas e brancas, tratam-se das moléculas de água. A filtragem ocorre da esquerda para a direita. Logo, percebe-se a efetividade dos poros nano que capturam os íons de sal e permitem, apenas, a passagem da água¹⁴³.

Portanto, o *admirável nano mundo novo*¹⁴⁴ demonstra um estado da arte extremamente promissor para a proteção marinha - conforme projeção deste subcapítulo. São avanços e ofertas de sustentabilidade e tutela ambiental que marcam uma revolução tecnológica e, com base na comunidade científica, tendenciam a sociedade global a compreender as nanotecnologias como um basilar decisivo para a própria sobrevivência - em especial, para o estudo proposto, a sobrevivência do ecossistema marinho.

3.2 Sobre riscos e toxicidades: a era da nanoecotoxicologia marinha

Não se pode esquecer que o principal destinatário dos avanços da ciência é o próprio ser humano, ou melhor, para a presente monografia, a própria biota marinha.

¹⁴² WANG, Evelyn N.; KARNIK, Rohit. Graphene cleans up water. **Nature Nanotechnology**, [S. l.], v. 7, p. 553, 2012. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/am2017135>. Acesso em: 05 nov. 2021.

¹⁴³ WANG, Evelyn N.; KARNIK, Rohit. Graphene cleans up water. **Nature Nanotechnology**, [S. l.], v. 7, 2012. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/am2017135>. Acesso em: 05 nov. 2021.

¹⁴⁴ Expressão utilizada por Raquel von Hohendorff em sua tese de doutorado. HOHENDORFF, Raquel von. **A contribuição do *safe by design* na estruturação autorregulatória da gestão dos riscos nanotecnológicos**: lidando com a improbabilidade da comunicação inter-sistêmica entre o direito e a ciência em busca de mecanismos para concretar os objetivos de sustentabilidade do milênio. 2018. f. 35. Tese (Doutorado em Direito) -- Programa de Pós-Graduação em Direito, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2018. Disponível em: <http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/7055>. Acesso em: 15 set. 2021.

Deve-se equacionar as inovações, em todo o seu ciclo, para benefício daqueles. Esquecer-se deste *telos*, desta finalidade, é viver em um mundo irreal e deixar para a técnica, antes um meio para a melhoria humana/marinha, o controle desmedido do ecossistema¹⁴⁵. Nesse ínterim, não só a parte técnica, de grandes avanços nanotecnológicos será demonstrada, consoante já referido em diversas linhas aqui já redigidas; portanto, inicia-se agora um campo de estudo científico para os impactos tóxicos nano.

A *nanotoxicologia* foi um nicho científico gerado “[...] na medida em que diversificados (materiais nano) são sintetizados, manipulados, e descartados em diferentes ambientes, sejam naturais, urbanos ou industriais”¹⁴⁶ e, ainda, sem o controle e a regulação adequada¹⁴⁷. Assim sendo encontra-se respostas biológicas tóxicas frente a estes nanomateriais lançados (e às partículas que compõem estes). Dessa forma, elenca-se quatro fases principais referentes ao processo de interação tecnologia-indivíduo:

1) introducción de nanomateriales al sistema biológico, pudiéndose producir a través de seis vías: intravenosa, dérmica, subcutánea, inhalación, intraperitoneal y oral, la mayor exposición es mediante la vía inhalatoria seguida por la gastrointestinal; 2) adsorción: tiene lugar cuando el nanomaterial interacciona con componentes biológicos como proteínas y células, ocasionando la formación de una corona proteica que cubre el nanomaterial y le otorga una identidad biológica, o el nanomaterial puede ser opsonizado, es decir, puede ser cubierto por moléculas conocidas como opsoninas que tienen como función facilitar la fagocitosis; 3) biodistribución: consiste en la distribución del nanomaterial a través del torrente sanguíneo a varios órganos del cuerpo en donde pueden ser modificados, metabolizados o acumulados, y, 4) excreción y desecho

¹⁴⁵ Reflexão com base no excerto: “As perspectivas do ‘pós’ (especialmente do pós-humanos) que não acreditam em algumas referências de base ou de justificação estão levando as pessoas e a sociedade a um estágio de ‘desenvolvimento’ onde o humano é substituído pela técnica, a forma, numa total desconsideração do conteúdo (o elemento humano), principal motivador da existência de todo o avanço tecnológico”. ENGELMANN, Wilson; FLORES, André Stringhi; WEYERMULLER, André Rafael. **Nanotecnologias, marcos regulatórios e direito ambiental**. Curitiba: Honoris Causa, 2010. p. 36.

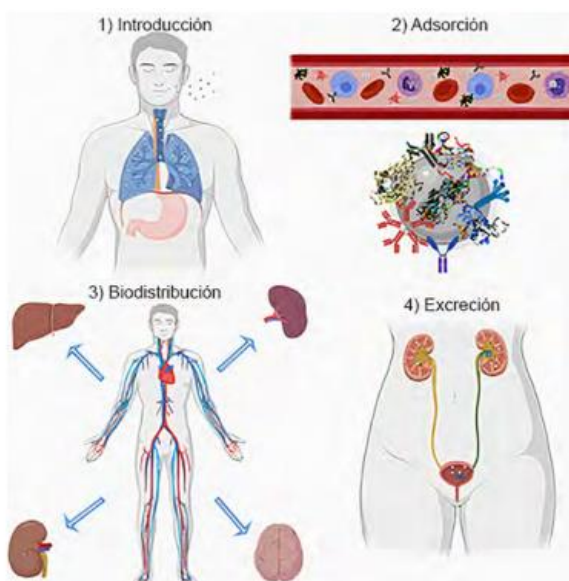
¹⁴⁶ MARTINEZ, Diego Stéfani Teodoro; ALVES, Oswaldo Luiz. Interação de nanomateriais com biosistemas e a nanotoxicologia: na direção de uma regulamentação. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 65, n. 3, jul. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.21800/S0009-67252013000300012>. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252013000300012&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 15 set. 2021.

¹⁴⁷ MARTINEZ, Diego Stéfani Teodoro; ALVES, Oswaldo Luiz. Interação de nanomateriais com biosistemas e a nanotoxicologia: na direção de uma regulamentação. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 65, n. 3, jul. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.21800/S0009-67252013000300012>. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252013000300012&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 15 set. 2021.

de los nanomateriales, en donde pueden participar órganos como el riñón, hígado o conducto biliar¹⁴⁸.

Estas fases, caminhos que uma nanopartícula pode se distribuir no ser vivo e, em consequência, no ambiente, são melhores ilustradas na figura 11, ao utilizar o ser humano como exemplo.

Figura 11 - Possíveis locais em que as nanopartículas podem percorrer no organismo humano



Fonte: Gutiérrez-Araujo; Vázquez-Duhalt e Juárez-Moreno¹⁴⁹.

Insta salientar que a pesquisa em *nanotoxicologia* trata-se de um campo novo da ciência, considerando que seu desenvolvimento ocorreu na década de 1990, conforme análise dos primeiros artigos científicos registrados na *Web of Science of Thomson Scientific*¹⁵⁰. Quanto aos estudos voltados à preocupação ambiental diante da inovação nano, área denominada de *nanoeotoxicologia*, publicações foram

¹⁴⁸ GUTIÉRREZ-ARAUJO, Melissa Isabel; VÁZQUEZ-DUHALT, Rafael; JUÁREZ-MORENO, Karla Oyuki. Respuestas celulares de macrófagos a nanopartículas de óxidos metálicos. **Mundo Nano**, [S. l.], v. 14, n. 27, p.119, Jul./Dic. 2021. DOI: <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2021.27.69661>. Disponível em: <http://mundonano.unam.mx/ojs/index.php/nano/article/view/69661>. Acesso em: 15 set. 2021.

¹⁴⁹ GUTIÉRREZ-ARAUJO, Melissa Isabel; VÁZQUEZ-DUHALT, Rafael; JUÁREZ-MORENO, Karla Oyuki. Respuestas celulares de macrófagos a nanopartículas de óxidos metálicos. **Mundo Nano**, [S. l.], v. 14, n. 27, p.120, Jul./Dic. 2021. DOI: <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2021.27.69661>. Disponível em: <http://mundonano.unam.mx/ojs/index.php/nano/article/view/69661>. Acesso em: 15 set. 2021.

¹⁵⁰ KAHRU, Anne; DUBOURGUIER, Henri-Charles. From ecotoxicology to nanoeotoxicology. **Toxicology**, [S. l.], v. 269, n. 2-3, p. 105-119, 10 Mar. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tox.2009.08.016>. Acesso em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0300483X09004442?via%3Dihub>. Acesso em: 15 set. 2021.

encontradas apenas em 2006, consoante indicadores bibliométricos com as palavras-chave: *nanoparticles AND ecotoxicity*, realizados por Kahru e Dubourguier¹⁵¹. Portanto, há pouco mais de uma década são catalogados na literatura científica os impactos tóxicos das nanotecnologias no ecossistema. Assim sendo, à vista do cenário que se apresenta, quão nova é a observação e o quanto a comunidade científica necessita compreender o impacto desta tecnologia complexa com somente 10⁻⁹ em tamanho.

Ao analisar e dar lume ao termo *nanoecotoxicologia*, faz-se importante mencionar que se trata de um subdisciplina da *ecotoxicologia*¹⁵², esta identificada como: “[...] ramo da toxicologia preocupado com o estudo dos efeitos tóxicos, causados por poluentes naturais ou sintéticos, aos constituintes dos ecossistemas, animais (incluindo humanos), vegetais e microbianos, em um contexto integral”¹⁵³ (tradução nossa). Nesse ínterim, quanto à subdisciplina, ao se observar a nano com o ecossistema, é imprescindível abarcar como se comporta uma nanopartícula, suas especificações químicas, físicas, e como estas características produzem toxicidade. Ademais, é imprescindível que tais pesquisas não considerem o ecossistema como vinculado, apenas, à saúde humana, mas que examinem “[...] idealmente milhões de espécies, com morfologia, fisiologia e condições ecológicas diferentes”¹⁵⁴ (tradução nossa) para a devida avaliação de risco ambiental das nanotecnologias - o que, para o presente estudo, far-se-á o devido recorte no ambiente marinho.

¹⁵¹ KAHRU, Anne; DUBOURGUIER, Henri-Charles. From ecotoxicology to nanoecotoxicology.

Toxicology, [S. l.], v. 269, n. 2–3, p. 105-119, 10 Mar. 2010. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.tox.2009.08.016>. Acesso em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0300483X09004442?via%3Dihub>. Acesso em: 15 set. 2021.

¹⁵² HOHENDORFF, Raquel von. **A contribuição do safe by design na estruturação autorregulatória da gestão dos riscos nanotecnológicos**: lidando com a improbabilidade da comunicação inter-sistêmica entre o direito e a ciência em busca de mecanismos para concretar os objetivos de sustentabilidade do milênio. 2018. f. 143. Tese (Doutorado em Direito) -- Programa de Pós-Graduação em Direito, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2018. Disponível em: <http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/7055>. Acesso em: 15 set. 2021.

¹⁵³ Conforme definição de René Truhaut, criador do termo *ecotoxicologia*: “Ecotoxicology is the branch of Toxicology concerned with the study of toxic effects, caused by natural or synthetic pollutants, to the constituents of ecosystems, animal (including human), vegetable and microbial, in an integral context”. TRUHAUT, René. *Ecotoxicology - A new branch of toxicology: a general survey of its aims, methods, and prospect*. In: MCINTYRE, A. D. MILLS, C. F. (ed.). **Ecological toxicology research effects of heavy metal and organohalogen compounds proceedings of a NATO Science Committee Conference**. [S. l.]: Springer, 1975. p. 4. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-1-4615-8945-7.pdf>. Acesso em: 16 set. 2021.

¹⁵⁴ “[...] ideally consider millions of species, with different morphology, physiology, and ecological conditions”. KAHRU, Anne; DUBOURGUIER, Henri-Charles. From ecotoxicology to nanoecotoxicology. **Toxicology**, [S. l.], v. 269, n. 2–3, p. 110, 10 Mar. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tox.2009.08.016>. Acesso em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0300483X09004442?via%3Dihub>. Acesso em: 15 set. 2021.

Ainda, pode-se destacar, que, em análise ao estudo publicado na *Nature Nanotechnology*, seção *News and Views*¹⁵⁵, Kahru e Dubourgier destacam que a ciência da *nanoecotoxicologia* deve estabelecer norteadores para a avaliação/resolução de toxicidade nano nos próximos anos:

[...] (i) a escolha de nanopartículas para uso em experimentos biológicos, e os testes (análise das propriedades físico-químicas, agregação, sedimentação, etc.) necessários para caracterizá-los antes, durante e após esses experimentos; (ii) a necessidade de examinar a rota de absorção de nanopartículas sintéticas por organismos em diferentes ambientes (importante para o comportamento de nanopartículas sintéticas na cadeia alimentar); (iii) a escolha dos organismos e parâmetros medidos¹⁵⁶ (tradução nossa).

O excerto traz a lume a questão do próprio ciclo de vida nano, isto é, o percurso do nascimento ao estado de *nanowaste*, este que se compreende como “[...] materiais gerados a partir de um processo produtivo cuja ordem é do tamanho de nanômetros. Ou, ainda, os resíduos dos nanoproductos, cuja vida útil tenha chegado ao seu fim e foram descartados”¹⁵⁷. Nesse ínterim, quão necessário se faz observar cada fase e os comportamentos que as nanotecnologias tendem a manifestar, seja pela própria partícula nano, seja pelo ambiente que a inovação é inserida como será verificado nos subcapítulos seguintes. Trata-se de um conhecimento imprescindível para a devida proteção marinha.

¹⁵⁵ BEHRA, R.; KRUG, H. Nanoparticles at large. **Nature Nanotech**, [S. l.], n. 3, p. 253–254, 2008. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nnano.2008.113?foxtrotcallback=true#citeas>. Acesso em: 16 set. 2021.

¹⁵⁶ “[...] (i) the choice of nanoparticles to use in biological experiments, and the tests (analysis of physico-chemical properties, aggregation, sedimentation, etc.) needed to characterize them before, during and after these experiments, need to be determined; (ii) the need to examine the route of uptake of synthetic NPs by organisms in different environments (important for the behavior of synthetic NPs in the food-chain); (iii) the choice of organisms and endpoints measured”. KAHRU, Anne; DUBOURGUIER, Henri-Charles. From ecotoxicology to nanoecotoxicology. **Toxicology**, [S. l.], v. 269, n. 2–3, p. 108, 10 Mar. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tox.2009.08.016>. Acesso em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0300483X09004442?via%3Dihub>. Acesso em: 15 set. 2021.

¹⁵⁷ LEAL, Daniele Weber S.; ENGELMANN, Wilson; HOHENDORFF, Raquel Von. Autorregulação e riscos: desafios e possibilidades jurídicos para a gestão dos resíduos nanoparticulados. **Revista da Faculdade de Direito da UFRGS**, Porto Alegre, n. 39, p. 219, dez. 2018.

3.2.1 Um pequenino lume sobre o funcionamento nano: a estrutura das nanopartículas projetadas sendo proporcional à toxicidade no ambiente - base de preocupações marinhas e jurídicas

Em preliminar, faz-se necessário aclarar que, consoante visto no capítulo 2 desta monografia, nanopartículas não são parte de uma invenção *homo*, mas estão na estrutura e compõem o meio ambiente desde os primórdios da criação do mundo. Para estas partículas, dá-se o nome de *naturais*¹⁵⁸. No entanto, ao falar de toxicidade, de atuação disruptiva, para o campo de análise que aqui se propõe¹⁵⁹, como será verificado nos estudos seguintes, está a se mencionar as nanopartículas manufaturadas em que são “(conferidas) propriedades físico-químicas ou toxicológicas aprimoradas ou novas em comparação com nanopartículas naturais”¹⁶⁰ (tradução nossa). Para estas manufaturadas, há a denominação, no campo da ciência, de nanopartículas projetadas/engenheiradas (figura 12), *engineered nanoparticles* (ENPs)¹⁶¹.

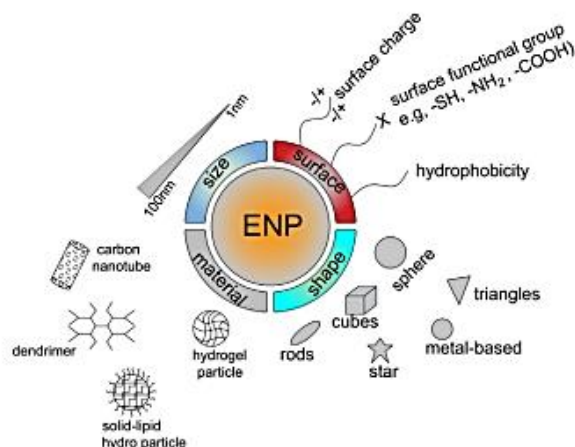
¹⁵⁸ “They might therefore present enhanced or novel physico-chemical or toxicological properties in comparison to natural NPs”. HANDY, Richard D. *et al.* The ecotoxicology and chemistry of manufactured nanoparticles. **Ecotoxicology**, [S. l.], n. 17, p. 288, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10646-008-0199-8>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10646-008-0199-8>. Acesso em: 16 set. 2021.

¹⁵⁹ Isso porque há também a menção de toxicidade de nanopartículas que são liberadas em “processos de ocorrência natural (como vulcânica erupções ou reações atmosféricas)”, o que não será o foco de análise desta monografia. NANOTOXICOLOGY. **Nature**, 2021. Disponível em: <https://www.nature.com/subjects/nanotoxicology>. Acesso em: 16 set. 2021.

¹⁶⁰ TURAN, Nouha Bakaraki *et al.* Nanoparticles in the aquatic environment: Usage, properties, transformation and toxicity: a review. **Process Safety and Environmental Protection**, [S. l.], v. 130, p. 238-249, Oct. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.08.014>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582019311073?via%3Dihub>. Acesso em: 16 set. 2021.

¹⁶¹ HANDY, Richard D. The ecotoxicology and chemistry of manufactured nanoparticles. **Ecotoxicology**, [S. l.], v. 17, n. 4, p. 287-314, May, 2008. DOI: [10.1007/s10646-008-0199-8](https://doi.org/10.1007/s10646-008-0199-8). Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18351458/>. Acesso em: 16 set. 2021.

Figura 12 - Diferentes formas e composições de nanopartículas projetadas



Fonte: Turan *et al.*¹⁶².

Nesse ínterim, a engenharia, a estrutura de uma nanopartícula influencia significativamente no seu modo de interação com o ambiente em que ela se insere. Em síntese, da análise da figura 12, pode-se destacar, seguindo a classificação de Turan e pesquisadores¹⁶³:

- a) *o tamanho da partícula e a área da superfície*: item que se faz significativo no que concerne ao modo de atuação da partícula e sua interação com o ambiente. Quanto menor a escala nanométrica, que varia em 1 a 100 nm, maior a possibilidade da nano adentrar no organismo; bem como, quanto menor a partícula maior a área da superfície – o que influencia, também, no potencial tóxico, isto é, maior se faz a toxicidade -;
- b) *carga superficial e grau de aglomeração*: compreendeu-se que “[...] controla a estabilidade das nanopartículas, que por sua vez, controlam a aglomeração e a toxicidade das nanopartículas”¹⁶⁴ (tradução nossa), conforme revisão baseada nos estudos de Gatoo e pesquisadores¹⁶⁵;

¹⁶² TURAN, Nouha Bakaraki *et al.* Nanoparticles in the aquatic environment: Usage, properties, transformation and toxicity: a review. **Process Safety and Environmental Protection**, [S. l.], v. 130, Oct. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.08.014>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582019311073?via%3Dihub>. Acesso em: 16 set. 2021.

¹⁶³ TURAN, Nouha Bakaraki *et al.* Nanoparticles in the aquatic environment: Usage, properties, transformation and toxicity: a review. **Process Safety and Environmental Protection**, [S. l.], v. 130, Oct. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.08.014>. Disponível em: <https://www.Science direct.com/science/article/abs/pii/S0957582019311073?via%3Dihub>. Acesso em: 16 set. 2021.

¹⁶⁴ “Surface charge controls the stability of nanoparticles, which by turn, control the agglomeration and toxicity of nanoparticles”. TURAN, Nouha Bakaraki *et al.* Nanoparticles in the aquatic environment:

- c) *morfologia da partícula*: as partículas nano, consoante se verifica na figura 9, têm diferentes formas (como é representado pelas ilustrações de estrela, cubo, triângulo), de modo que nanopartículas esféricas são identificadas com menos toxicidade;
- d) *revestimento da superfície*: quanto a este, insta salientar que “[...] pode eliminar ou induzir toxicidade de acordo com a natureza do revestimento”¹⁶⁶ (tradução nossa), afirmação utilizada como base em estudo publicado no *BioMed Research International* em 2014¹⁶⁷;
- e) *composição de partículas e estrutura cristalina*: a composição, ou seja, a estrutura química, a junção de elementos que incorre, fundamentalmente, na toxicidade, exemplo: nanoprata, TiO₂. Quanto à estrutura cristalina, isso se refere à estrutura dos átomos¹⁶⁸ da partícula projetada.

Diante de tal análise, em que se testemunha uma engenharia orquestrada por reações diversas, indubitavelmente, reforça-se o que foi advertido por Lampton na década de 1990: “O que (a nanotecnologia) irá fazer é uma questão, mas, se realizar apenas um décimo do seu potencial, poderia mudar o mundo no qual vivemos muito além do que possamos imaginar”¹⁶⁹. Há uma complexificação de tal modo que a

Usage, properties, transformation and toxicity: a review. **Process Safety and Environmental Protection**, [S. l.], v. 130, p. 241, Oct. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.08.014>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582019311073?via%3Dihub>. Acesso em: 16 set. 2021.

¹⁶⁵ GATOO, Manzoor Ahmad *et al.* Physicochemical properties of nanomaterials: implication in associated toxic manifestations. **Toxicity of Nanomaterials**, [S. l.], 2014. DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/498420>. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/bmri/2014/498420/>. Acesso em: 16 set. 2021.

¹⁶⁶ “[...] surface coating may eliminate or induce toxicity according to the nature of coating used”. TURAN, Nouha Bakaraki *et al.* Nanoparticles in the aquatic environment: Usage, properties, transformation and toxicity: a review. **Process Safety and Environmental Protection**, [S. l.], v. 130, p. 214, Oct. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.08.014>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582019311073?via%3Dihub>. Acesso em: 16 set. 2021.

¹⁶⁷ GATOO, Manzoor Ahmad *et al.* Physicochemical properties of nanomaterials: implication in associated toxic manifestations. **Toxicity of Nanomaterials**, [S. l.], 2014. DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/498420>. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/bmri/2014/498420/>. Acesso em: 16 set. 2021.

¹⁶⁸ ARANTES, Vera L. **Estrutura cristalina**: introdução a engenharia e ciência dos materiais. [S. l.], 2014. Documento em PDF. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/169458/mod_resource/content/1/aula%203%20Estrutura%20cristalina.pdf. Acesso em: 16 set. 2021.

¹⁶⁹ LAMPTOM, Christopher. **Divertindo-se com nanotecnologia**. Rio de Janeiro: Berkeley, 1994. p. 17.

ciência sociológica vem a denominar de *sociologia do risco*, na avaliação luhmanniana¹⁷⁰:

[...] as ciências sociais também descobriram o problema do risco; mas não no seu próprio jardim, por assim dizer, mas porque não é devidamente cuidado e regado no jardim dos vizinhos. Antropólogos culturais, antropólogos sociais, cientistas políticos apontam, e sem dúvida têm razão, que a avaliação do risco, e a disposição para aceitá-lo, não é apenas um problema psicológico, mas, sobretudo, social¹⁷¹ (tradução nossa).

Portanto, o risco desvincula-se da parte psíquica do ser humano para uma questão social, em que as “[...] comunicações da sociedade [...] afetam o comportamento de todos os grupos sociais, variando de acordo com as expectativas”¹⁷². Ademais, Hohendorff, seguidamente, ao apontar as pesquisas de Luhmann sobre o tema em exame, menciona: “Toda a decisão gera algum tipo de risco, em menor ou maior grau”¹⁷³. Logo, implementar uma inovação, tal qual as nanotecnologias, faz com que estas já nasçam com riscos entrelaçados em sua estrutura. Nesse sentido,

O mecanismo de atribuição de risco às decisões funciona de forma circular. As consequências negativas incertas que podem ser atribuídas às decisões são consideradas o risco da decisão. E é por isso, por outro lado, que a complexidade estruturada de gatilhos da sociedade referente às mudanças ambientais - sendo visto, tratado e evitado como um risco -, aplica-se como um conjunto de decisões; e o tomador de decisão não pode ser localizado em tudo; dessa forma,

¹⁷⁰ Ou outras tantas terminologias, para o presente tempo de inovação, que foram exauridas no capítulo 1 desta monografia.

¹⁷¹ “[...] die Sozialwissenschaften das Problem des Risikos entdeckt; aber sozusagen nicht im eigenen Garten, sondern deshalb, weil es im Garten der Nachbarn nicht zureichend gepflegt und begossen wird. Kulturanthropologen, Sozialanthropologen, Politologen weisen, und sie haben ohne Zweifel Recht, darauf hin, daß die Risikoeinschätzung und die Bereitschaft zur Risikoakzeptanz nicht nur ein psychisches, sondern vor allem ein soziales Problem ist”. LUHMANN, Niklas. **Soziologie des risikos**. Berlin: New York: Gruyter, 1991. p. 11.

¹⁷² HOHENDORFF, Raquel von. **A contribuição do safe by design na estruturação autorregulatória da gestão dos riscos nanotecnológicos**: lidando com a improbabilidade da comunicação inter-sistêmica entre o direito e a ciência em busca de mecanismos para concretar os objetivos de sustentabilidade do milênio. 2018. f. 193. Tese (Doutorado em Direito) -- Programa de Pós-Graduação em Direito, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2018. Disponível em: <http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/7055>. Acesso em: 15 set. 2021.

¹⁷³ HOHENDORFF, Raquel von. **A contribuição do safe by design na estruturação autorregulatória da gestão dos riscos nanotecnológicos**: lidando com a improbabilidade da comunicação inter-sistêmica entre o direito e a ciência em busca de mecanismos para concretar os objetivos de sustentabilidade do milênio. 2018. f. 193. Tese (Doutorado em Direito) -- Programa de Pós-Graduação em Direito, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2018. Disponível em: <http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/7055>. Acesso em: 15 set. 2021.

dificulta a possibilidade de tornar este tomador responsável e fazer com que ele seja capaz de aprender¹⁷⁴ (tradução nossa).

Literalmente, com a atuação nano, observa-se que a *natureza não pode estar à margem da Lei*¹⁷⁵, deve-se ater às especificações, às *zonas cinzentas* que, muitas vezes, passam despercebidas pelo jurista - este que está muito mais ao macromundo, à tangibilidade de seu sistema e se torna inábil às microlentes (ou melhor, *nanolentes*) da ciência diversa do Direito. Algo que Ost alerta:

[...] ou o direito do ambiente é obra de juristas e não consegue compreender, de forma útil, um dado decididamente complexo e variável; ou a norma é redigida pelo especialista, e o jurista nega esse filho bastardo, esse 'direito de engenheiro', recheado de números e definições incertas, acompanhando de listas intermináveis e constantemente revistas¹⁷⁶.

Há uma dicotomia real, como se o sistema do Direito fosse alheio aos demais sistemas que envolvem o ambiente¹⁷⁷. Assim sendo, toda a abordagem aqui relatada de cada especificação de uma nanopartícula - e o quanto isso influencia no seu modo tóxico de atuação no ecossistema - trata-se, justamente, de ambientalizar o leitor, trazer a lume quão necessária se faz a discussão transdisciplinar, em se ater ao *modo holístico* da sociedade, uma vez que esta não se desenvolve como uma ciência *stricto sensu*, mas a *devida ciência*¹⁷⁸, que é nascedoura desta sociedade, é reconhecida pelo seu desenvolvimento *lato sensu* – esta que atinge a plenitude e a

¹⁷⁴ “Der Mechanismus der Risikozurechnung auf Entscheidungen arbeitet zirkulär. Die unsicheren nachteiligen Folgen, die man auf Entscheidungen zurechnen kann, gelten als Risiko der Entscheidung. Und deshalb gilt auch umgekehrt das, was die strukturierte Komplexität der Gesellschaft an Umweltveränderungen auslöst und das, was man als Risiko gesehen, behandelt, vermieden wissen will, als Folge von Entscheidungen; und dies selbst dann, wenn man den Entscheider gar nicht ausfindig machen kann und folglich weder eine Möglichkeit besteht, ihn zur Verantwortung zu ziehen, noch für ihn selbst eine Möglichkeit des Lernens”. LUHMANN, Niklas. **Soziologie des risikos**. Berlin: New York: Gruyter, 1991. p. 130.

¹⁷⁵ Uma adaptação do título do livro de François Ost: *A natureza à margem da lei*.

¹⁷⁶ OST, François. **A natureza à margem da lei**: a ecologia à prova do direito. Lisboa: Instituto Piaget, 1995. p. 110-112.

¹⁷⁷ Há que se mencionar que tal discussão, sobre a necessidade do Direito ser aprimorado diante da revolução tecnocientífica que se apresenta, será abordada com maior profundidade no capítulo 4 desta monografia.

¹⁷⁸ O que se projeta como *devida ciência* faz alusão, justamente, àquela ciência avessa à definição do seguinte excerto: “A lógica clássica criou a disciplinaridade, a divisão dos saberes em inúmeros compartimentos, todos isolados, sem relação entre si. Foram formados, deste modo, inúmeros especialistas em quase nada, que tampouco quase nada criam para solucionar os reais problemas da humanidade. Assim, não é mais viável que se siga fazendo ciência desta forma, inclusive em função das atuais necessidades mundiais”. HOHENDORFF, Raquel von; ENGELMANN, Wilson. **Nanotecnologias aplicadas aos agroquímicos no Brasil**: a gestão dos riscos a partir do Diálogo entre Fontes do Direito. Curitiba: Juruá, 2014. p. 171.

eficácia científica do conhecimento. Logo, a obra dos juristas não poderá ser uma negação da extraordinariedade de algo tão pequenino como o *nanoworld*. Consoante observam Hohendorff e Engelmann, há “[...] 10^{-9} em tamanho (e) 10^9 em incertezas (e em complexidade)”¹⁷⁹.

Realizada a reflexão do ponto de vista doutrinário, e o devido norteador para complementar o raciocínio que se propõe ao longo de todo o capítulo, segue-se com as demais constatações que trabalhos científicos da nanociência alertam sobre a atuação nano disruptiva. Em especial, no estudo que se propõe, verificar-se-á a atuação das nanotecnologias, e as suas nanopartículas, no ambiente aquático, mais especificamente, no ambiente marinho.

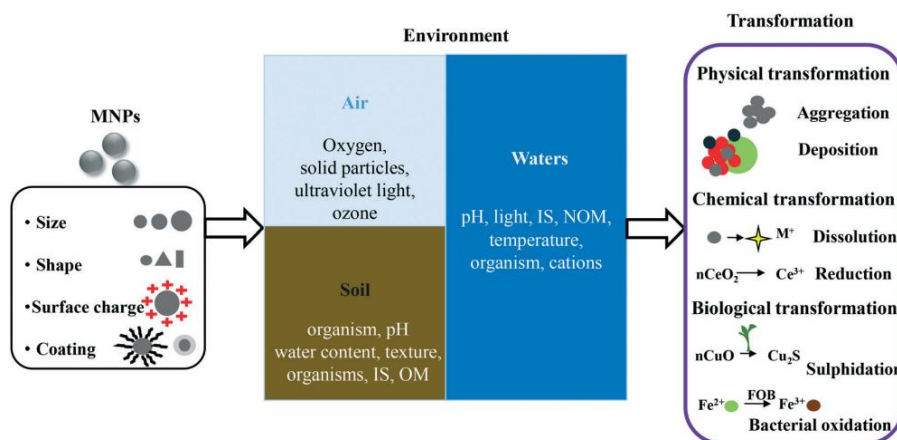
3.2.2 Ao mar nanoecotoxicológico, *avante!* O registro literário científico sobre a atuação das nanopartículas na biota marinha

Além da própria nanopartícula projetada, que contém variações e há influência na toxicidade, soma-se que, em contato com o ambiente marinho, as “[...] condições como química da água, pH, força iônica, bem como a presença de matéria orgânica natural”¹⁸⁰ (tradução nossa), e eventuais poluentes que estejam neste local, farão com que as nanopartículas sofram transformações (figura 13).

¹⁷⁹ HOHENDORFF, Raquel von; ENGELMANN, Wilson. **Nanotecnologias aplicadas aos agroquímicos no Brasil**: a gestão dos riscos a partir do diálogo entre fontes do direito. Curitiba: Juruá, 2014. p. 88.

¹⁸⁰ “[...] conditions such as water chemistry, pH, ionic strength as well as the presence of natural organic matter”. TURAN, Nouha Bakaraki *et al.* Nanoparticles in the aquatic environment: Usage, properties, transformation and toxicity: a review. **Process Safety and Environmental Protection**, [S. l.], v. 130, p. 241, Oct. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.08.014>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582019311073?via%3Dihub>. Acesso em: 16 set. 2021.

Figura 13 - Interação de nanopartículas - no exemplo, as nanopartículas metálicas (MNPs) - e suas transformações físicas, químicas e biológicas em contato com diferentes ambientes. Destaca-se na figura o contato com a água



Fonte: Zhang *et al.*¹⁸¹.

Registra-se que estudos referentes às nanopartículas e a atuação destas com a água salgada - portanto, a interação ambiente-mar -, ainda se faz pouco explorada. No entanto, os pesquisadores que se atêm à busca em estudar a ecotoxicologia aquática registram o comportamento nefasto que tal inovação pode causar na biota marinha. Nesse íterim, cabe destacar a revisão, efetuada em dezembro de 2015, em que cientistas do *Department of Environmental Sciences, Informatics and Statistics, Universidade Ca' Foscari Venice*, ao analisarem “[...] 529 artigos relatando dados originais nanoecotoxicológicos experimentais”¹⁸² (tradução nossa), constataram que, apenas, 126 publicações tratavam sobre os “[...] ambientes de água salgada (coluna de água e sedimentos), incluindo uma grande variedade de espécies [...], seus pontos finais relativos e nanopartículas projetadas (ENPs)”¹⁸³ (grifo nosso; tradução nossa). Os artigos foram buscados nas plataformas: *Google Scholar, PubMed, Scopus e Web of Science*.

¹⁸¹ ZHANG, Jie *et al.* The effects and the potential mechanism of environmental transformation of metal nanoparticles on their toxicity in organisms. **Environmental Science: Nano**, [S. l.], n. 11, p. 2482-2499, 2018.

¹⁸² “[...] 529 papers reporting experimental nanoecotoxicological original data”. MINETTO, D.; GHIRARDINI, A. V.; LIBRALATO, G. Saltwater ecotoxicology of Ag, Au, CuO, TiO₂, ZnO and C60 engineered nanoparticles: an overview. **Environment International**, [S. l.], v. 92–93, p. 189, July/Aug. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412016301180>. Acesso em: 16 set. 2021.

¹⁸³ “[...] saltwater environments (water column and sediment) including a huge variety of species [...], their relative endpoints and engineered nanoparticles (ENPs)”. MINETTO, D.; GHIRARDINI, A. V.; LIBRALATO, G. Saltwater ecotoxicology of Ag, Au, CuO, TiO₂, ZnO and C60 engineered nanoparticles: an overview. **Environment International**, [S. l.], v. 92–93, p. 189, July/Aug. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412016301180>. Acesso em: 16 set. 2021.

A revisão de Minetto, Ghirardini e Libralato, dedicou-se a aprofundar o tema nano e água salgada com enfoque nas nanopartículas de prata (Ag), de ouro (Au), de óxido de cobre (CuO), de dióxido de titânio (TiO₂), de óxido de zinco (ZnO) e de fulereno (C₆₀)¹⁸⁴. Das constatações que se seguiram no artigo, verificou-se diferentes consequências danosas a diferentes grupos marinhos como algas, cnidários, anelídeos, crustáceos e peixes. Em destaque, salienta-se os estudos analisados para o grupo de anelídeos, em que a revisão demonstrou bioacumulação de Ag e comprometimento de escavação; bem como, quanto à mortalidade provocada pela nanopartícula, esta dependia da quantidade, da exposição à nano em que se colocava este grupo¹⁸⁵.

Ademais, destaca-se que os pesquisadores, a partir da revisão da literatura científica, concluíram que:

Testes de toxicidade crônica (nano) de longo prazo em água salgada (mono e multiespécies) são limitados e raramente usados devido ao seu custo, e ausência de protocolos e longo período de observação antes da obtenção dos resultados¹⁸⁶ (tradução nossa).

Ou seja, há a necessidade da comunidade científica aprimorar os estudos sobre o comportamento nocivo da inovação no ambiente marinho; bem como a necessidade dos cientistas serem subsidiados para aprofundar a análise da relação nanotecnologias e toxicidade. Depreende-se, portanto, que a atuação nano ao mar poderá ser ainda mais prejudicial quando verificada, propriamente, *in natura*, isto é, sem a intermediação do ambiente laboratorial. Isso porque, 1) as análises são em locais controlados que, possivelmente, não refletem as concentrações *reais* de partículas nano no ambiente, visto que estas estão evoluindo com o passar dos

¹⁸⁴ MINETTO, D.; GHIRARDINI, A. V.; LIBRALATO, G. Saltwater ecotoxicology of Ag, Au, CuO, TiO₂, ZnO and C₆₀ engineered nanoparticles: an overview. **Environment International**, [S. l.], v. 92–93, p. 189-201, July/Aug. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412016301180>. Acesso em: 16 set. 2021.

¹⁸⁵ MINETTO, D.; GHIRARDINI, A. V.; LIBRALATO, G. Saltwater ecotoxicology of Ag, Au, CuO, TiO₂, ZnO and C₆₀ engineered nanoparticles: an overview. **Environment International**, [S. l.], v. 92–93, p. 189-201, July/Aug. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412016301180>. Acesso em: 16 set. 2021.

¹⁸⁶ “Saltwater chronic long-term toxicity tests (mono- and multi-species) are limited and infrequently used due to their cost, the absence of protocols and long observation period before getting results”. MINETTO, D.; GHIRARDINI, A. V.; LIBRALATO, G. Saltwater ecotoxicology of Ag, Au, CuO, TiO₂, ZnO and C₆₀ engineered nanoparticles: an overview. **Environment International**, [S. l.], v. 92–93, p. 198, July/Aug. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412016301180>. Acesso em: 16 set. 2021.

anos¹⁸⁷; em decorrência 2) a *toxicidade crônica* faz-se uma incógnita, consoante excerto supramencionado; soma-se, por fim, 3) os poucos estudos da relação nano e mar, conforme se verificou no artigo em análise.

Seguindo nas pesquisas da comunidade científica sobre os impactos nanotecnológicos no ecossistema marinho, parte-se, primeiramente, para os denominados *nanoplásticos*. Conforme relatório emitido pela Organização Mundial da Saúde (OMS), há muito que ser estudado neste campo pela comunidade científica, uma vez que nem, ao menos, consegue-se chegar a uma conclusão certa sobre o impacto destes plásticos na água¹⁸⁸. Considerando-se tratar de um tamanho em escala nanométrica, apresenta-se “[...] visualmente menos impactantes do que suas formas a granel ou microplásticos, mas seu tamanho pequeno os torna mais desafiadores para remediar e facilita sua entrada em sistemas biológicos”¹⁸⁹ (tradução nossa). Importante salientar que não há consenso na literatura, em especial, para padronizar o tamanho de micro e nanoplástico, veja-se que há autores que definem a escala de 1 nm a 100 nm¹⁹⁰ e outros que compreendem a

¹⁸⁷ Nesse sentido: “[...] o principal assunto da discussão é sobre o quão ecologicamente relevantes devem ser as concentrações de exposição na nanoecotoxicidade considerando que as nanopartículas manufaturadas comercializadas estão aumentando ano a ano com 0,6, 55, 550 e 3000 t/ano para C60, nAg, nZnO e nTiO₂, respectivamente” (tradução nossa). “We think that the main matter of discussion is about how ecologically relevant should be the exposure concentrations in nanoecotoxicity considering that the marketed ENPs are increasing year-by-year with 0.6, 55, 550, and 3000 t/y for C60, nAg, nZnO, and nTiO₂, respectively”. MINETTO, D.; GHIRARDINI, A. V.; LIBRALATO, G. Saltwater ecotoxicology of Ag, Au, CuO, TiO₂, ZnO and C60 engineered nanoparticles: an overview. **Environment International**, [S. l.], v. 92–93, p. 198, July/Aug. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412016301180>. Acesso em: 16 set. 2021.

¹⁸⁸ WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Department of Public Health, Environmental and Social Determinants of Health. **Microplastics in drinking-water**. Geneva: WHO, 2019. Disponível em: https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/information-sheet190822.pdf. Acesso em: 16 set. 2021.

¹⁸⁹ “[...] visually less impactful than their bulk forms or microplastics, yet, their small size makes them more challenging to remediate and facilitates their entry into biological systems”. KIHARA, Shinji *et al.* Reviewing nanoplastic toxicology: It's an interface problem. **Advances in Colloid and Interface Science**, [S. l.], v. 288, p. 2, Feb. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2020.102337>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0001868620306060?via%3Dihub>. Acesso em: 16 set. 2021.

¹⁹⁰ Conforme definem os seguintes autores: MAHMOUDI, Morteza *et al.* Protein-nanoparticle interactions: opportunities and challenges. **Chem. Rev.**, [S. l.], v. 111, n. 9, p. 5610-5637, 2011. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21688848/>. Acesso em: 16 set. 2021; COLE, Matthew *et al.* The impact of polystyrene microplastics on feeding, function and fecundity in the marine copepod *Calanus helgolandicus*. **Environ Sci Technol**, [S. l.], v. 49, n. 2, p. 1130-1137, 2015. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es504525u>. Acesso em: 16 set. 2021.

escala sendo superior a 1000 nm¹⁹¹ para caracterizar um nanoplástico (o que impacta, também, na verificação de toxicidade).

A poluição destes plásticos ocorre pela “[...] liberação descuidada de produtos residuais (micro/nano plásticos primários), incluindo pigmentos, esfoliantes de limpeza, produtos cosméticos e fibras têxteis em ambientes aquáticos”¹⁹² (tradução nossa) e até mesmo de impressões 3D¹⁹³. A exemplificar, em um único saquinho de chá de plástico (isto é, aqueles sachês que são vendidos e colocados ao consumidor para consumo em água fervente), exposto a uma fervura de 95 °C, pode liberar cerca de 3,1 bilhões de nanoplásticos¹⁹⁴. Importa destacar que os tratamentos convencionais de águas residuais fazem-se inacessíveis para retirar estas plasticidades, atravessando, dessa forma, rios e mares¹⁹⁵.

Referente à detecção, existência empírica de nanoplástico no ambiente *real* marinho, há o estudo de Halle e colaboradores¹⁹⁶ que coletaram diferentes frações de tamanho (como meso, micro e nanoplásticos) de detritos no giro subtropical do Atlântico Norte em junho de 2015 (figura 14).

¹⁹¹ Conforme definem os seguintes autores: ANDRADY, Anthony L. Microplastics in the marine environment. **Mar Pollut Bull**, [S. l.], v. 62, n. 8, p. 1596-1605, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X11003055>. Acesso em: 16 set. 2021. COZAR, Andrés. *et al.* Plastic debris in the open ocean. **Proc Natl Acad Sci**, [S. l.], v. 111, n. 28, p. 10239-10244, 2014. Disponível em: <https://www.pnas.org/content/111/28/10239>. Acesso em: 20 set. 2021.

¹⁹² “[...] careless release of waste products (primary micro/nano plastics), including pigments, cleansing scrubs, cosmetic products, and textile fibres into aquatic environments”. KIHARA, Shinji *et al.* Reviewing nanoplastic toxicology: It's an interface problem. **Advances in Colloid and Interface Science**, [S. l.], v. 288, p. 2, Feb. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2020.102337>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0001868620306060?via%3Dihub>. Acesso em: 16 set. 2021.

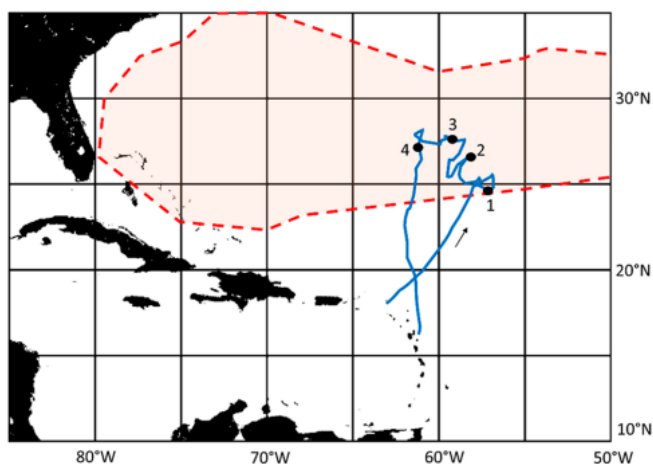
¹⁹³ KIHARA, Shinji *et al.* Reviewing nanoplastic toxicology: It's an interface problem. **Advances in Colloid and Interface Science**, [S. l.], v. 288, Feb. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2020.102337>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0001868620306060?via%3Dihub>. Acesso em: 16 set. 2021.

¹⁹⁴ HERNANDEZ, Laura M. *et al.* Plastic teabags release billions of microparticles and nanoparticles into tea. **Environ. Sci. Technol**, [S. l.], v. 53, n. 21, p. 12300–12310, 2019. DOI: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.9b02540>. Acesso em: 16 set. 2021.

¹⁹⁵ STEPHENS, Brent. Ultrafine particle emissions from desktop 3D printers. **Atmospheric Environment**, [S. l.], v. 79, p. 334-339, Nov. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.06.050>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231013005086?via%3Dihub>. Acesso em: 16 set. 2021.

¹⁹⁶ TER HALLE, Alexandra *et al.* Nanoplastic in the North Atlantic Subtropical Gyre. **Cite this: Environ. Sci. Technol.**, [S. l.], v. 51, n. 23, p. 13689–13697, 21 Nov. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b03667>. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.7b03667>. Acesso em: 16 set. 2021.

Figura 14 - A indicação dos pontos (1,2,3,4) são os locais em que foram coletadas as amostras. A coloração em vermelho se trata de área de acumulação de plástico no mar, consoante mediação realizada durante 30 anos, nos termos do estudo de Law *et al.*¹⁹⁷



Fonte: Ter Halle *et al.*¹⁹⁸.

No estudo, considerando que partículas em nanoescala foram identificadas no oceano, verificou-se, das amostras levadas ao laboratório, haver uma combinação de diferentes plásticos, quais sejam: polietileno (PE), poliestireno (PS), policloreto de vinila (PVC) e polietileno tereftalato (PET). Nesse ínterim, a análise levou os cientistas a refletirem sobre a extensão da degradação e o destino ambiental, de todo ciclo de vida, de um nanoplástico. Bem como qual seria a área geográfica de propagação, uma vez que são partículas extremamente pequenas - e, certamente, poderão ser levadas a lugares mais distantes que os *macroplásticos*, pois estes, devido ao tamanho, tendem a se manter em uma *faixa de depósito*¹⁹⁹. Portanto, com toda certeza, há muito que ser estudado, consoante se verificará o posicionamento da comunidade científica.

Em pesquisa realizada na plataforma *PubMed*, com o termo *nanoplastics*, os pesquisadores Piccardo, Renzi e Terlizzi²⁰⁰ encontraram na literatura científica a

¹⁹⁷ LAW, Kara Lavender *et al.* Plastic accumulation in the North Atlantic Subtropical Gyre. **Science**, [S. l.], n. 329, 2010. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1192321>. Acesso em: 16 set. 2021.

¹⁹⁸ TER HALLE, Alexandra *et al.* Nanoplastic in the North Atlantic Subtropical Gyre. **Cite this: Environ. Sci. Technol.**, [S. l.], v. 51, n. 23, p. 13689–13697, 21 Nov. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b03667>. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.7b03667>. Acesso em: 16 set. 2021.

¹⁹⁹ TER HALLE, Alexandra *et al.* Nanoplastic in the North Atlantic Subtropical Gyre. **Cite this: Environ. Sci. Technol.**, [S. l.], v. 51, n. 23, p. 13689–13697, 21 Nov. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b03667>. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.7b03667>. Acesso em: 16 set. 2021.

²⁰⁰ PICCARDO, Manuela; RENZI, Monia; TERLIZZI, Antonio. Nanoplastics in the oceans: Theory, experimental evidence and real world. **Marine Pollution Bulletin**, [S. l.], v. 157, Aug. 2020.

datação mais antiga no ano de 2012, tendo o maior índice de publicações sobre o assunto em 2019 e, proporcionalmente, um alto índice já nos primeiros meses de fevereiro de 2020 – data da análise. No total, são 224 artigos que foram revisados.

Inicialmente, os cientistas, ao tratarem dos *efeitos biológicos em organismos aquáticos*, destacam:

Dada a falta de protocolos de extração e detecção de nanoplásticos em organismos selvagens, os únicos efeitos possíveis da interação nanoplástica com sistemas biológicos estão confinados a contextos laboratoriais²⁰¹ (tradução nossa).

Logo, não se tem claro, e ainda sendo muito recente, o estudo da atuação de nanoplásticos, principalmente, somando-se ao tamanho peculiar que facilita o *transporte* pelo organismo do ser vivo. Há que se mencionar um *agravante* no que concerne ao ambiente marinho:

[...] (devido às) limitações tecnológicas e do efeito de diluição, hoje em dia, é trabalhoso extrair e quantificar nanoplásticos no ambiente marinho. Apesar do ímpeto nas pesquisas ocorrido nos últimos anos, ainda existem muitas luzes e sombras sobre o assunto²⁰² (tradução nossa).

Importante salientar que, entre as revisões, verificou-se impactos relatados em algas de água doce e marinhas, estas que obtiveram diminuições no conteúdo de clorofila e dano ao DNA²⁰³.

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X20304355>. Acesso em: 17 set. 2021.

²⁰¹ “Given the lack of protocols of extraction and detection of nano-plastics in wild organisms, the only possible effects of nanoplastic in-teraction with biological systems are confined to laboratory contexts”. PICCARDO, Manuela; RENZI, Monia; TERLIZZI, Antonio. Nanoplastics in the oceans: Theory, experimental evidence and real world. **Marine Pollution Bulletin**, [S. l.], v. 157, p. 3, Aug. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X20304355>. Acesso em: 17 set. 2021.

²⁰² “[...] technological limitations and dilution effect, nowadays, it is laborious to extract and quantify nanoplastics in marineenvironment. Despite the impetus in the research which took place inrecent years, there are still many lights and shadows on the subjectwhich, this review aims to highlight”. PICCARDO, Manuela; RENZI, Monia; TERLIZZI, Antonio. Nanoplastics in the oceans: Theory, experimental evidence and real world. **Marine Pollution Bulletin**, [S. l.], v. 157, p. 2, Aug. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X20304355>. Acesso em: 17 set. 2021.

²⁰³ PICCARDO, Manuela; RENZI, Monia; TERLIZZI, Antonio. Nanoplastics in the oceans: Theory, experimental evidence and real world. **Marine Pollution Bulletin**, [S. l.], v. 157, Aug. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X20304355>. Acesso em: 17 set. 2021.

Ainda, há que se considerar a contaminação nano por meio de tintas que são liberadas, de diferentes formas, no ambiente marinho. Para isso, irá se utilizar do estudo realizado por Turner²⁰⁴ sobre partículas de tinta. No entanto, tais partículas estudadas são diversas do tamanho nanométrico, mas, partindo-se do princípio de que microplásticos podem derivar nanoplásticos, a partir da fragmentação daqueles²⁰⁵, compreender-se-á que partículas também podem se tornar nanopartículas. Ademais, o impacto causado pelos segmentos de tintas pode ser semelhante ou até mesmo mais agressivo quando em tamanho nano. Isso porque, na comparação micro-nano:

Nanopartículas são magnitudes menores do que as micropartículas em diâmetro e são muito mais fáceis de passar pelas barreiras biológicas dos animais e translocar entre diferentes tecidos dos animais do que os últimos²⁰⁶ (tradução nossa).

Nesse ínterim, referente ao tema de tinturas, o processo de transporte de partículas de tinta, para o ecossistema marinho, ocorre pelo escoamento ou atmosfera, pelo desgaste/deterioração/danos em estruturas. Bem como pela “[...] degradação por UV do polímero de ligação e (pela) perturbação mecânica intencional ou não intencional do revestimento”²⁰⁷ (tradução nossa).

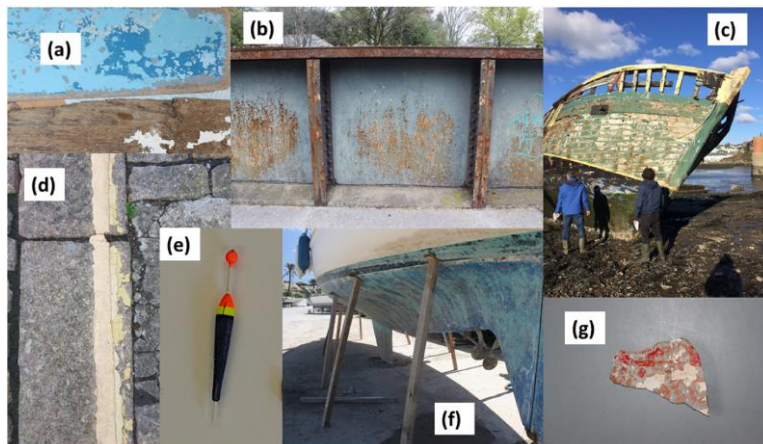
²⁰⁴ TURNER, Andrew. Paint particles in the marine environment: an overlooked component of microplastics. **Water Research X**, [S. l.], v. 12, 1 Aug. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2021.100110>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589914721000232?via%3Dihub>. Acesso em: 19 set. 2021.

²⁰⁵ Conforme revisão da literatura científica sobre o assunto em análise. PENG, Licheng *et al.* Micro- and nano-plastics in marine environment: source, distribution and threats - a review. **Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 698, 1 Jan. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719342378>. Acesso em: 19 set. 2021.

²⁰⁶ “NPs are magnitudes smaller than MPs in diameter and much easierto pass through the biological barriers of animals and translocate be-tween different tissues of animals than the latter”. PENG, Licheng *et al.* Micro- and nano-plastics in marine environment: source, distribution and threats - a review. **Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 698, p. 9, 1 Jan. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719342378>. Acesso em: 19 set. 2021.

²⁰⁷ “[...] UV degradation of the binding polymer and intentional or unintentional mechanical disturbance of the coating”. TURNER, Andrew. Paint particles in the marine environment: An overlooked component of microplastics. **Water Research X**, [S. l.], v. 12, p. 2, 1 Aug. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2021.100110>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589914721000232?via%3Dihub>. Acesso em: 19 set. 2021.

Figura 15 - Exemplo de diferentes fontes em que partículas de tinta podem ser inseridas no ambiente marinho



Fonte: Turner²⁰⁸.

Das imagens na figura 15, pode-se verificar a possibilidade de se propagarem partículas por meio de: objetos abandonados em zonas costeiras, isto, é, tábuas de madeira e fragmento de plástico, todos pintados (itens a, g); pinturas de pontes rodoviárias e de estradas (itens b, d); pinturas de navios, tanto pela deterioração quanto pelo polimento de cascos (itens c, f); e, por fim, por meio de tintura de flutuadores de pesca que ficam encalhados em marinas (item e)²⁰⁹. As diversas possibilidades de propagação auxiliam que pesquisadores encontrem *micro-detritos* destas tintas no trato digestivo de animais marinhos, como peixes, tartarugas e pássaros²¹⁰. No entanto,

Em muitos casos, as partículas de tinta são observadas sem quantificação ou caracterização detalhada ou sistemática e faltam informações críticas sobre abundância, fontes, seletividade, impactos e destino²¹¹ (tradução nossa).

²⁰⁸ TURNER, Andrew. Paint particles in the marine environment: An overlooked component of microplastics. **Water Research X**, [S. l.], v. 12, 1 Aug. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2021.100110>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589914721000232?via%3Dihub>. Acesso em: 19 set. 2021.

²⁰⁹ TURNER, Andrew. Paint particles in the marine environment: an overlooked component of microplastics. **Water Research X**, [S. l.], v. 12, 1 Aug. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2021.100110>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589914721000232?via%3Dihub>. Acesso em: 19 set. 2021.

²¹⁰ TURNER, Andrew. Paint particles in the marine environment: an overlooked component of microplastics. **Water Research X**, [S. l.], v. 12, 1 Aug. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2021.100110>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589914721000232?via%3Dihub>. Acesso em: 19 set. 2021.

²¹¹ "In many cases, paint particles are noted without detailed or systematic quantification or characterisation and critical information on abundance, sources, selectivity, impacts and fate is

Aponta-se que, na costa Nordeste do Brasil, no estuário Goiana, ou seja, local em que o rio encontra o mar, as partículas de tinta foram encontradas em 30% da coleta de microplásticos. Insta salientar que a maior concentração foi verificada em águas mais profundas e durante as estações chuvosas, tendo em vista que há um aumento da atividade pesqueira e, portanto, há maior liberação de plásticos, como também de tintas, por meio de barcos e de outros instrumentos necessários para a pesca²¹².

Referente à ecotoxicidade provocada pela liberação de tinturas, cita-se o envenenamento de aves marinhas ao ingerir partículas de tinta que continham o elemento chumbo (Pb) em sua composição²¹³. Logo, além de se observar os caminhos e as diferentes fontes que irão inserir estes materiais no oceano, e repercutir em todo o ecossistema, deve-se atentar às composições e aos chamados íons: “A maior mobilidade de produtos químicos perigosos em partículas de tinta em relação aos plásticos é evidente a partir das diferenças nas quantidades de íons metálicos tóxicos [...] liberados de cada tipo de partícula”²¹⁴ (tradução nossa).

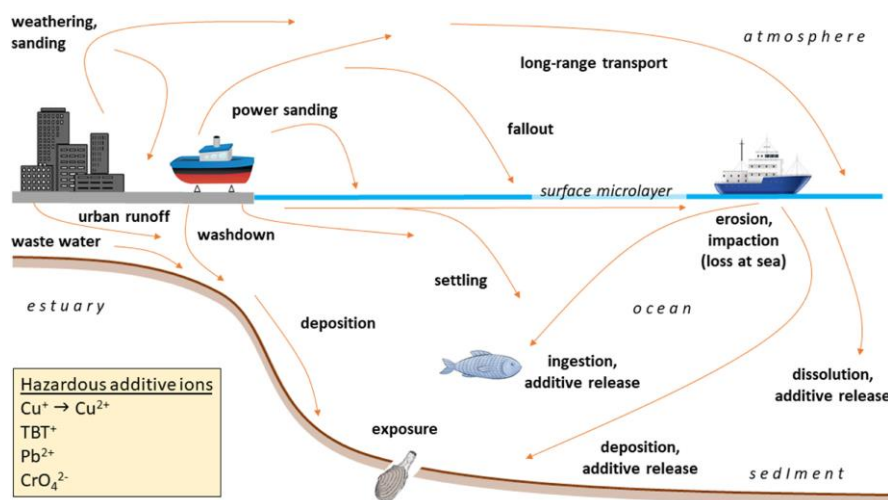
lacking”. TURNER, Andrew. Paint particles in the marine environment: an overlooked component of microplastics. **Water Research X**, [S. l.], v. 12, p. 5, 1 Aug. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2021.100110>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589914721000232?via%3Dihub>. Acesso em: 19 set. 2021.

²¹² Conforme análise de Turner para as pesquisas de Lima, Costa e Barletta. LIMA, A. R. A.; COSTA M. F.; BARLETTA M. Distribution patterns of microplastics within the plankton of a tropical estuary. **Environmental Research**, [S. l.], v. 132, p. 146-155, July 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935114000784#!>. Acesso em: 29 set. 2021.

²¹³ FINKELSTEIN, Myra E.; GWIAZDA, Roberto H.; SMITH, Donald R. Lead Poisoning of Seabirds: Environmental risks from leaded paint at a decommissioned military base. **Environ. Sci. Technol**, [S. l.], v. 37, n. 15, p. 3256–3260, 2003. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es026272e>. Acesso em: 20 set. 2021.

²¹⁴ “The greater mobility of hazardous chemicals in paint particles relative to plastics is evident from differences in the quantities of toxic metal ions [...] released from each particle type”. TURNER, Andrew. Paint particles in the marine environment: an overlooked component of microplastics. **Water Research X**, [S. l.], v. 12, p. 6, 1 Aug. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2021.100110>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589914721000232?via%3Dihub>. Acesso em: 19 set. 2021.

Figura 16 - Demonstração das diferentes vias de propagação de partículas de tinta no ambiente marinho e a listagem de íons prejudiciais no canto inferior esquerdo.



Fonte: Turner²¹⁵.

A partir da figura 16, percebe-se o quanto, novamente, o ecossistema marinho está exposto a diferentes consequências tóxicas. Insta ratificar que a análise realizada pela comunidade científica, no que concerne ao comportamento de tintas no ambiente-mar, foi em partículas, o que difere do tamanho 10^{-9} . No entanto, fez-se necessário mencionar o presente estudo, uma vez que nada impedirá que haja a fragmentação, mutação dos elementos compostos, e a formação de nanopartículas, ou, até mesmo, pode-se considerar a existência de tintas que já se utilizam da *nanotech* e que estariam submersas em mar aberto. Isso porque, a exemplo, já existem tintas para barcos a base de nanotecnologias²¹⁶.

Por fim, das análises de impacto nano no ecossistema marinho, cita-se a atuação da nanopartícula de dióxido de titânio (TiO_2). Este trata-se de um componente utilizado amplamente no mercado global, principalmente, em cosméticos, na área de protetores solares, tendo em vista sua atuação em refletir e dispersar a luz solar²¹⁷. Logo, há uma grande ingestão, inalação, absorção e

²¹⁵ TURNER, Andrew. Paint particles in the marine environment: an overlooked component of microplastics. **Water Research X**, [S. l.], v. 12, 1 Aug. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2021.100110>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589914721000232?via%3Dihub>. Acesso em: 19 set. 2021.

²¹⁶ A exemplo, as chamadas tintas antiincrustantes, para remover limo, ervas daninhas em barcos. HOGAN, Chris. **Anti-fouling - new technologies make it easier**. Oxfordshire: Insure My World, 8th Apr. 2016. Disponível em: <https://www.insuremyworld.co.uk/articleboatNew-anti-fouling-technologies>. Acesso em: 24 set. 2021.

²¹⁷ LUO, Zhen *et al.* Rethinking Nano-TiO₂ safety: overview of toxic effects in humans and aquatic animals. **Nano Micro Small**, [S. l.], v. 16, n. 46, Sept. 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/sml.202002019>. Acesso em: 24 set. 2021.

excreção de tais partículas pelos usuários do dióxido de titânio, repercutindo, indubitavelmente, seus efeitos de toxicidade no ecossistema.

No que concerne ao ambiente aquático, com enfoque nas zonas costeiras, verificou-se que estas áreas recebem uma grande fração de carga ambiental de nano-TiO₂²¹⁸. Isso se agrava no verão, devido a utilização em massa de protetores solares²¹⁹. Basta verificar que pesquisas com filtros solares químicos - estes que não contêm dióxido de titânio em sua composição -, ainda que não chegam a estarem tão expostos, de modo a alojar-se na parte superior da pele como os filtros solares físicos – estes que contêm TiO₂ -²²⁰, em apenas um breve período de submersão, de 20 minutos, 25% dos ingredientes dos filtros solares químicos são liberados na água²²¹. Isso se exemplifica na pesquisa de Botta e colaboradores em que se estimou, em áreas de recife, de 36 a 56 toneladas de TiO₂, devido a liberação por protetores solares²²².

Destaca-se que as pesquisas sobre a nano no *habitat* natural não se fazem apenas ao longo do globo, sem perpassar por *terrae brasilis*. Cientistas brasileiros, inclusive, da Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz)²²³, além de verificarem o impacto de nanopartículas no oceano, constataram que, no ambiente *in natura*, a biota do mar

²¹⁸ LUO, Zhen *et al.* Rethinking Nano-TiO₂ safety: overview of toxic effects in humans and aquatic animals. **Nano Micro Small**, [S. l.], v. 16, n. 46, Sept. 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/sml.202002019>. Acesso em: 24 set. 2021.

²¹⁹ LUO, Zhen *et al.* Rethinking Nano-TiO₂ safety: overview of toxic effects in humans and aquatic animals. **Nano Micro Small**, [S. l.], v. 16, n. 46, Sept. 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/sml.202002019>. Acesso em: 24 set. 2021.

²²⁰ Sobre a diferenciação dos filtros solares e suas composições ver ABUÇAFY, Marina Paiva. **Desenvolvimento e caracterização de formulação cosmética contendo nanopartículas de dióxido de titânio para proteção solar**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Farmácia Bioquímica) -- Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Araraquara, 2013. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/117946/000745781.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 16 set. 2021.

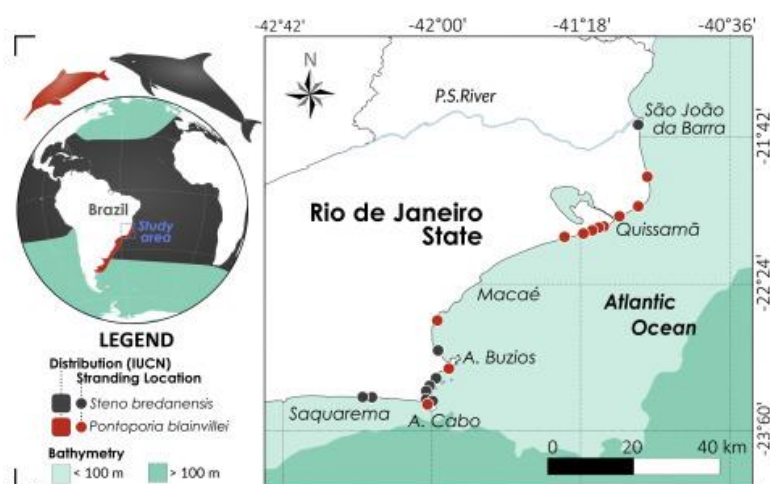
²²¹ CUNNINGHAM, Brittany. Effects of three zinc-containing sunscreens on development of purple sea urchin (*Strongylocentrotus purpuratus*) embryos. **Aquatic Toxicology**, [S. l.], v. 218, Jan. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166445X19306381>. Acesso em: 24 set. 2021.

²²² BOTTA, Céline *et al.* TiO₂-based nanoparticles released in water from commercialized sunscreens in a life-cycle perspective: Structures and quantities. **Environ. Pollut.**, [S. l.], n. 159, p. 1543 -1550, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749111001321?via%3Dihub>. Acesso em: 24 set. 2021.

²²³ O instituto tem como objetivo: “Promover a saúde e o desenvolvimento social, gerar e difundir conhecimento científico e tecnológico, ser um agente da cidadania. Estes são os conceitos que pautam a atuação da Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), vinculada ao Ministério da Saúde, a mais destacada instituição de ciência e tecnologia em saúde da América Latina”. FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ (Fiocruz). **A Fundação**. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://portal.fiocruz.br/fundacao>. Acesso em: 24 set. 2021.

brasileiro já está sofrendo com a interação nano e ambiente marinho, consoante publicação de fevereiro de 2020. Os pesquisadores trouxeram a lume a análise de golfinhos, em sua maioria, adultos, do sudeste do Brasil, das espécies *Pontoporia blainvillei* e *Steno bredanensis* (figura 17), para verificar “[...] a contaminação total e intracelular e, portanto, biodisponível por Ti (titânio)”²²⁴ (tradução nossa). Das análises, detectaram as nanopartículas de Ti, por meio da composição TiO_2 , na carcaça destes animais.

Figura 17 - Pontos de amostragem e espécies de golfinhos estudados



Fonte: Monteiro *et al.* ²²⁵.

É interessante observar, antes de adentrar nos resultados coletados, que esses mamíferos são considerados *sentinelas marinhos*, ou seja,

[...] são barômetros para impactos negativos atuais ou potenciais na saúde animal individual e populacional. [...] (Isso) porque muitas espécies têm vida útil longa, são residentes costeiros de longo prazo, se alimentam em alto nível trófico, e têm estoques de gordura únicos

²²⁴ “[...] in order to assess total and intracellular and, thus, bioavailable Ti contamination”. MONTEIRO, Fernanda *et al.* Total and subcellular Ti distribution and detoxification processes in *Pontoporia blainvillei* and *Steno bredanensis* dolphins from Southeastern Brazil. **Mar Pollut Bull.**, [S. l.], n. 153, p. 2, Apr. 2020. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2020.110975. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32275533/>. Acesso em: 24 set. 2021.

²²⁵ MONTEIRO, Fernanda *et al.* Total and subcellular Ti distribution and detoxification processes in *Pontoporia blainvillei* and *Steno bredanensis* dolphins from Southeastern Brazil. **Mar Pollut Bull.**, [S. l.], n. 153, Apr. 2020. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2020.110975. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32275533/>. Acesso em: 24 set. 2021.

que podem servir como depósitos para toxinas antropogênicas²²⁶ (tradução nossa).

Logo, os golfinhos, conforme exemplificam Monteiro *et al.*, a partir da análise de pesquisas, estão “[...] expostos a poluentes por meio de processos de bioacumulação e biomagnificação da teia alimentar”²²⁷ (tradução nossa). Dito de outro modo, ao analisar os golfinhos da costa brasileira, os cientistas conseguiram refletir o grau de toxicidade nano no ambiente marinho brasileiro - ao menos, da localidade de estudo -; bem como os problemas que seres bióticos e abióticos do oceano estão sofrendo por contaminação. Estas constatações se exemplificam, em principal, devido à longevidade do cetáceo - e conseqüentemente maior período de exposição a toxinas -, à proximidade com as cidades, e aos alimentos que estes mamíferos consomem, que também são alvos de contaminação (alimentação que, muitas vezes, assemelha-se aos alimentos consumidos pelo ser humano).

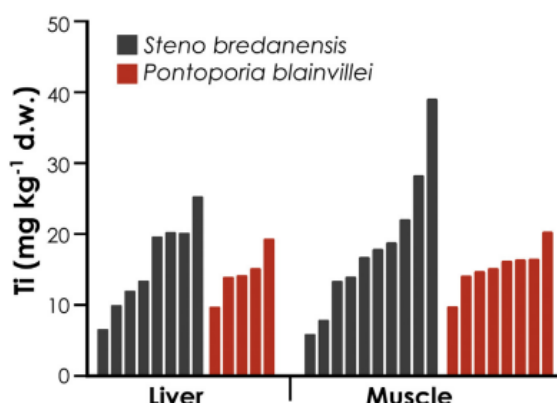
Partindo-se para as análises do artigo, as carcaças de golfinhos estudadas foram encontradas em praias entre 2005 e 2012, ao longo do estado do Rio de Janeiro, e amostras de tecidos foram retiradas destes animais. Analisou-se músculo, fígado e rim - este, para a espécie *Pontoporia blainvillei*. Destaca-se que houve acúmulo de Ti, inclusive, no músculo do mamífero marinho, com níveis semelhantes àqueles que foram encontrados no fígado (gráfico 1). Esta constatação indica “[...] alta exposição ambiental ao Ti, possivelmente esmagando as rotas primárias de desintoxicação e excreção de metal aplicadas por ambos os (golfinhos) no fígado”²²⁸ (tradução nossa). Isso porque o fígado deveria conter maior grau de concentração, uma vez que é o órgão mais exposto a receber e a filtrar toxinas.

²²⁶ “[...] are barometers for current or potential negative impacts on individual- and population-level animal health. [...] because many species have long life spans, are long-term coastal residents, feed at a high trophic level, and have unique fat stores that can serve as depots for anthropogenic toxins”. BOSSART, G. D. Marine mammals as sentinel species for oceans and human health. **Veterinary Pathology**, [S. l.], v. 48, n. 3, p. 676, 2011. DOI: 10.1177/03009858103888. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/03009858103888525>. Acesso em: 24 set. 2021.

²²⁷ “[...] exposed to pollutants through foodweb bioaccumulation and biomagnification processes”. MONTEIRO, Fernanda *et al.* Total and subcellular Ti distribution and detoxification processes in *Pontoporia blainvillei* and *Steno bredanensis* dolphins from Southeastern Brazil. **Mar Pollut Bull.**, [S. l.], n. 153, p. 2, Apr. 2020. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2020.110975. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32275533/>. Acesso em: 24 set. 2021.

²²⁸ “[...] high environmental Ti exposure, possibly overwhelming primary metal detoxification and excretion routes applied by both cetaceans in liver”. MONTEIRO, Fernanda *et al.* Total and subcellular Ti distribution and detoxification processes in *Pontoporia blainvillei* and *Steno bredanensis* dolphins from Southeastern Brazil. **Mar Pollut Bull.**, [S. l.], n. 153, p. 3, Apr. 2020. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2020.110975. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32275533/>. Acesso em: 24 set. 2021.

Gráfico 1 - Concentrações de Ti no fígado e tecido muscular, respectivamente, das espécies *Steno bredanensis* e *Pontoporia blainvillei*



Fonte: Monteiro²²⁹.

Ademais, os pesquisadores detectaram que essa *bioacumulação* ocorre para ambas as espécies estudadas, sem discrepâncias significativas entre *Pontoporia blainvillei* e *Steno bredanensis*. Logo, “[...] diferentes componentes da (cadeia alimentar) [...], como diferentes presas para (ambos os) golfinhos, são expostos e bioacumulam de forma eficiente (nanopartículas de TiO₂, dióxido de titânio)”²³⁰. Nesse ínterim,

[...] os níveis observados [...] são uma ordem de magnitude maiores do que aqueles observados para várias espécies em todo o mundo²³¹[...], indicando contaminação ambiental significativamente elevada por este elemento em ambas as espécies no sudeste do Brasil. Isso provavelmente se deve ao fato de que a produção de TiO₂ aumentou exponencialmente nas últimas décadas e as estações de tratamento de águas residuais atuais não são capazes

²²⁹ MONTEIRO, Fernanda *et al.* Total and subcellular Ti distribution and detoxification processes in *Pontoporia blainvillei* and *Steno bredanensis* dolphins from Southeastern Brazil. **Mar Pollut Bull.**, [S. l.], n. 153, Apr. 2020. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2020.110975. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32275533/>. Acesso em: 24 set. 2021.

²³⁰ “[...] different trophic web components throughout the coast of Rio de Janeiro, such as different prey items for both dolphin species, are exposed to and efficiently bioaccumulate TiO₂NPs”. MONTEIRO, Fernanda *et al.* Total and subcellular Ti distribution and detoxification processes in *Pontoporia blainvillei* and *Steno bredanensis* dolphins from Southeastern Brazil. **Mar Pollut Bull.**, [S. l.], n. 153, p. 3, Apr. 2020. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2020.110975. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32275533/>. Acesso em: 24 set. 2021.

²³¹ Os autores fazem a ressalva: “[...] excluindo comparações com o estudo de Cáceres-Saez e colaboradores, devido aos altos limites de detecção de seu estudo e níveis cutâneos observados para cachalotes, conforme analisamos órgãos internos” (tradução nossa). “[...] excluding comparisons to the study by Cáceres-Saez *et al.* (2013), due to the high limits of detection of their study, and skin levels observed for sperm whales, as we analyzed internal organs”. CÁCERES-SAEZ, Iris *et al.* Heavy metals and essential elements in Commerson’s dolphins (*Cephalorhynchus c. commersonii*) from the southwestern South Atlantic Ocean. **Environ Monit Assess**, [S. l.], v. 185, p. 5375–5386, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2952-y>. Acesso em: 24 set. 2021.

de remover esse contaminante durante o tratamento²³² (tradução nossa).

Ainda, há que se destacar que a análise dos golfinhos foi realizada em carcaças, estas encontradas entre 2005 e 2012; logo, muito provavelmente, os níveis de nano, ou melhor, de nanopoluentes, já sofreram um aumento significativo quando comparados à época de vivência destes mamíferos - basta verificar o quanto o consumo de TiO₂ segue em crescimento²³³. Assim sendo tal estudo propiciou verificar a realidade de que a contaminação por nanopartículas já se faz presente no Brasil e ainda em altos níveis, ao se verificar a região sudeste do país, de modo que influencia não somente na saúde marinha, mas reflete na saúde do ser humano que está exposto a esta composição. Indubitavelmente, há danos que foram/serão gerados. Quanto à toxicidade nano e as suas consequências, o estudo seguinte trará o impacto ambiental marinho com enfoque da atuação das nanopartículas de dióxido de titânio.

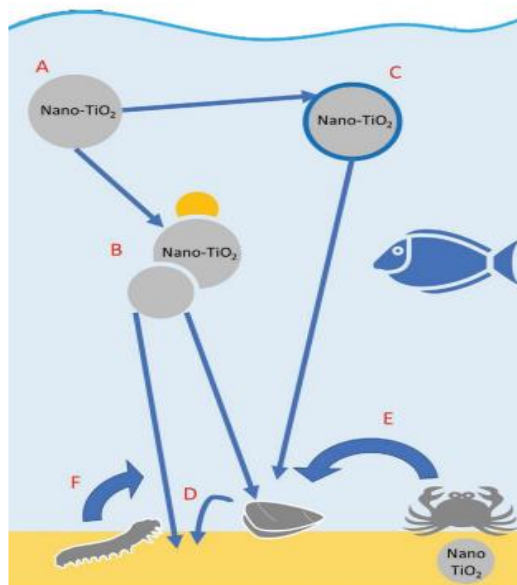
Em estudo publicado em agosto de 2020, Luo e colaboradores²³⁴ destacaram a toxicidade nano de TiO₂, em ambiente aquático, consoante revisão de estudos científicos (figura 18).

²³² “[...] the levels observed [...] are one order of magnitude higher than those noted for several species worldwide [...], indicating significantly high environmental contamination by this element in both species in southeastern Brazil. This is probably due to the fact that TiO₂ production has increased exponentially in the last decades and current wastewater treatment plants are not able to remove this contaminant during treatment”. MONTEIRO, Fernanda *et al.* Total and subcellular Ti distribution and detoxification processes in *Pontoporia blainvillei* and *Steno bredanensis* dolphins from Southeastern Brazil. **Mar Pollut Bull.**, [S. l.], n. 153, p. 4, Apr. 2020. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2020.110975. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32275533/>. Acesso em: 24 set. 2021.

²³³ A exemplo da utilização de TiO₂ como pigmento em tintas: “Avalia-se que o mercado mundial de TiO₂ tenha consumido 6,4 milhões de toneladas em 2019, das quais 55% foram destinadas para a produção de tintas. A China é o maior produtor mundial, com estimados 45% da capacidade mundial de produção. Nos últimos 40 anos, a demanda pelo pigmento apresentou crescimento médio anual de 3%, segundo a consultoria inglesa Artiko”. FAIRBANKS, Marcelo. **Fabricantes globais buscam concentrar negócios – TiO₂**. São Paulo, jun. 2020. Disponível em: <https://www.quimica.com.br/fabricantes-globais-buscam-concentrar-negocios-tio2/>. Acesso em: 24 set. 2021.

²³⁴ LUO, Zhen *et al.* Rethinking Nano-TiO₂ safety: overview of toxic effects in humans and aquatic animals. **Nano Micro Small**, [S. l.], v. 16, n. 46, Sept. 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/sml.202002019>. Acesso em: 24 set. 2021.

Figura 18 - Interação das nanopartículas no ambiente aquático



Fonte: Luo *et al.*²³⁵.

Com a inserção de nano-TiO₂ (representado pela letra a), a partícula inicia seu processo de interação com o ambiente. Assim sendo, passa a se tornar mais biodisponível, isto é, maior absorção pelos organismos vivos. Ademais, havendo bioturbação, como se verifica na letra f, processo de atuação dos seres com os sedimentos, faz com que as partículas nano venham a interagir em uma nova oportunidade com o ambiente²³⁶.

Nesse íterim, destacam, a exemplo, a atuação nano quando em contato com moluscos, incluindo-se bivalves e gastrópodes. Em especial, dar-se-á foco aos bivalves, animais responsáveis por *filtrar* o ambiente marinho e de água doce. Estes atuam como verdadeiros recicladores naturais, o que, conseqüentemente, faz com que tais invertebrados sejam o grande alvo de nanopoluentes²³⁷.

Entre os dados coletados, os cientistas verificaram que há a possibilidade de atingir prejudicialmente o metabolismo energético dos moluscos, isto é, o

²³⁵ LUO, Zhen *et al.* Rethinking Nano-TiO₂ safety: overview of toxic effects in humans and aquatic animals. **Nano Micro Small**, [S. l.], v. 16, n. 46, Sept. 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/sml.202002019>. Acesso em: 24 set. 2021.

²³⁶ LUO, Zhen *et al.* Rethinking Nano-TiO₂ safety: overview of toxic effects in humans and aquatic animals. **Nano Micro Small**, [S. l.], v. 16, n. 46, Sept. 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/sml.202002019>. Acesso em: 24 set. 2021.

²³⁷ LUO, Zhen *et al.* Rethinking Nano-TiO₂ safety: overview of toxic effects in humans and aquatic animals. **Nano Micro Small**, [S. l.], v. 16, n. 46, Sept. 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/sml.202002019>. Acesso em: 24 set. 2021.

desempenho do animal em realizar suas funções vitais²³⁸. Verificou-se que o nano-TiO₂ em contato com a água, em altos níveis (2,5 e 10 mg L⁻¹), pode “[...] (suprimir) a atividade de filtração, eficiência de absorção de alimentos e escopo aeróbio para crescimento (como no caso do) mexilhão (marinho) *M. coruscus*”²³⁹ (tradução nossa). Ou seja, atingirá a vitalidade do animal, de modo a, possivelmente, ocorrer o falecimento do bivalve.

Neste estudo, é interessante notar que os próprios cientistas da ciência marinha destacam a necessidade da criação de um arcabouço regulatório frente aos impactos ambientais nano:

O peso da evidência existente para os efeitos tóxicos do nano-TiO₂ no meio ambiente concentrações de exposição relevantes **requerem uma reavaliação crítica dos critérios atuais para as políticas ambientais e do arcabouço regulatório** para minimizar a liberação do nascimento ao descarte e dos impactos do nano-TiO₂ durante a produção e uso²⁴⁰ (grifo nosso; tradução nossa).

Alerta-se no estudo em lume, que haja estratégias, alternativas ecológicas para que se tenha uma *reciclagem eficiente*²⁴¹. Quais seriam estas estratégias? A estratagem não foi dada como resposta por parte dos cientistas, mas é evidente que os pesquisadores aguardam uma solução daqueles que são responsáveis por “[...] iluminar o mecanismo e mostrar-nos o que pode ser útil, como tais fatores existenciais e como se perde grande parte dos esforços humanos”²⁴², nos termos

²³⁸ MORAES, Paula Louredo. **Metabolismo energético**. [S. l.]: Brasil Escola, 2021. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/biologia/metabolismo-celular.htm>. Acesso em: 06 set. 2021.

²³⁹ “[...] filtration activity, food absorption efficiency and aerobic scope for growth in the mussel *M. coruscus*”. LUO, Zhen *et al.* Rethinking Nano-TiO₂ safety: overview of toxic effects in humans and aquatic animals. **Nano Micro Small**, [S. l.], v. 16, n. 46, p. 11, Sept. 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/sml.202002019>. Acesso em: 24 set. 2021. Conforme destacam Luo e colaboradores, após a revisão do estudo de Hu e cientistas: HU, Menghong *et al.* CO₂-induced pH reduction increases physiological toxicity of nano-TiO₂ in the mussel *Mytilus coruscus*. **Sci Rep**, [S. l.], n. 7, p. 40015, 5 Jan 2017. DOI: 10.1038/srep40015. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28054631/>. Acesso em: 20 set. 2021.

²⁴⁰ “The existing weight-of-evidence for toxic effects of nano-TiO₂ at environmentally relevant exposure concentrations requires critical reappraisal of the current criteria for environmental policies and the regulatory framework for minimizing the cradle-to-grave release and impacts of nano-TiO₂ during production and use”. LUO, Zhen *et al.* Rethinking Nano-TiO₂ safety: overview of toxic effects in humans and aquatic animals. **Nano Micro Small**, [S. l.], v. 16, n. 46, p. 15, Sept. 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/sml.202002019>. Acesso em: 24 set. 2021.

²⁴¹ LUO, Zhen *et al.* Rethinking Nano-TiO₂ safety: overview of toxic effects in humans and aquatic animals. **Nano Micro Small**, [S. l.], v. 16, n. 46, Sept. 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/sml.202002019>. Acesso em: 24 set. 2021.

²⁴² MIRANDA, Pontes de. **Sistemas da ciência positiva do direito**. 1. ed. Campinas: Bookseller, 2000. t. 1, p. 151

das lições de Pontes de Miranda. O desenvolvimento *desenfreado* da inovação nano poderá atingir uma

[...] irresponsabilidade organizada, somada à omissão, à falta de gestão e à ocultação dos riscos abstratos e concretos pelo Poder Público e por terceiros, (exigindo) um repensar do direito para que se evite a perpetuação de um gestor em função simbólica e ineficaz.²⁴³

Se aos avessos ao sistema do Direito há a compreensão da necessidade de uma atuação regulatória, quanto mais aos trabalhadores, às mentes jurídicas há (ou deveria existir) a urgência de se ater e de se preocupar com a situação existente. A revisão da literatura, portanto, demonstra o alerta da comunidade científica em deixar claro quão necessária deverá ser uma resposta jurídica para uma tecnologia eivada de dicotomias.

3.3 Benefícios e imprevisibilidades nano: aporias e uma resposta *phrónesis* aristotélica para uma navegação ainda incerta

Algo pequenino, facilmente adaptável como a nano, pode transparecer simplicidade, mas o comportamento complexo, conforme foi verificado extensivamente no presente estudo, demonstra que a sociedade, o Direito, deve reagir de maneira extraordinária para que o ambiente marinho não sofra com as consequências nefastas do uso deliberado das nanotecnologias, consoante apresentado nos periódicos da comunidade científica. Nesse íterim, complementa-se o raciocínio:

[...] a extrema simplicidade ou complexidade da nanotecnologia são mobilizadas (por parte da literatura) de forma alternada para impressionar. Da forma como os argumentos são arranjados, a contraposição entre simplicidade e complexidade remete a outra controvérsia, aquela entre controle e risco. Isto porque a habilidade, característica da nanotecnologia, de controlar e prever precisamente a conformação dos materiais leva a encarar a nova tecnologia como algo simples de se monitorar. No entanto, justamente por seu

²⁴³ HOHENDORFF, Raquel von; ENGELMANN, Wilson. **Nanotecnologias aplicadas aos agroquímicos no Brasil**: a gestão dos riscos a partir do diálogo entre fontes do direito. Curitiba: Juruá, 2014. p. 98.

comportamento complexo, esta previsão torna-se difícil e os riscos imprevisíveis²⁴⁴.

Há evidentemente dificuldade no monitoramento. Como bem se analisou, as nanopartículas projetadas, e suas interações ao serem expostas no ambiente, podem gerar efeitos adversos. Logo, negligenciar a existência da nanoecotoxicidade marinha poderá ocasionar consequências significativas nas presentes e nas futuras gerações. A sustentação desta afirmativa tem como basilar a fala do pesquisador e professor José Luiz Azevedo, do curso de Oceanologia da Universidade Federal do Rio Grande (FURG):

Está muito claro que os oceanos têm uma grande importância ecológica, econômica, política e sociocultural. Os oceanos são um ponto crítico até para a sobrevivência da espécie humana e de todos os seres vivos no nosso planeta. Os oceanos são fundamentais. Eles regulam o clima, nos proporcionam alimentação. E grande parte da população mundial vive na zona costeira. As grandes cidades do mundo estão todas na costa, em contato direto com o oceano²⁴⁵.

Portanto, ao se utilizar o termo *aporia* como um título, um farol para a navegação que aqui se propôs, foi uma tentativa, consoante a filosofia platônica, de demonstrar um, aparentemente, *caminho sem saída*. Em trazer a lume a “[...] perplexidade característica da compreensão de um problema particular, um problema que se articula em uma questão com dois lados (sejam ou não), tais que existem aparentemente boas razões de ambos os lados”²⁴⁶ (tradução nossa), tal qual se verifica com os benefícios e os riscos das nanotecnologias para os mares, conforme fora exaurido neste capítulo. Portanto, a ideia de *aporias (?) aos animais marinhos*, na titulação, parte deste raciocínio: não se vislumbra uma resposta, um equilíbrio em identificar, *esta tecnologia trata-se de mais ou menos arriscada, ou tóxica, ou benéfica* – dificulta o julgamento, mesmo após as *partes processuais*

²⁴⁴ PYRRHO, Monique; SCHRRAM, Fermin Roland. **Nanotecnociência e humanidade**. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2016. p. 96. *E-book*.

²⁴⁵ PROTEGER os oceanos é fundamental para sobrevivência, diz pesquisador. [S. l.], 8 jun. 2013. Disponível em: <https://www.terra.com.br/noticias/ciencia/sustentabilidade/proteger-os-oceanos-e-fundamental-para-sobrevivencia-diz-pesquisador,62cf198de4e1f310VgnCLD2000000ec6eb0aRCRD.html>. Acesso em: 25 set. 2021.

²⁴⁶ “[...] puzzlement characteristic of the grasp of a particular problem, a problem which is articulated in a question with two sides (whether or not...) such that there are apparently good reasons on both sides”. POLITIS, Vasilis. The place of aporia in Plato’s Charmides. **Phronesis**, Leiden, v. 53, n. 1, p. 1, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1163/156852808X252576>.

passarem pela fase instrutória. Para elucidar tal argumento, utiliza-se o diálogo da obra *Carmides* de Platão:

Vamos, então, fazer um novo começo e considerar, primeiro, se é ou não possível que haja deveria ser algo como isto, isto é, saber o que se sabe e o que se não sabe, que sabe e que não sabe; e mais, se este for perfeitamente possível, que benefício haveria para nós em saber disso²⁴⁷ (tradução nossa).

Os dados disponíveis na literatura científica ainda são muito juvenis para exporem se, talvez, as nanotecnologias deveriam continuar a produção em larga escala ou serem recolhidas do comércio mundial (uma proposta drástica para que mais testes fossem efetuados e averiguassem com mais precisão os riscos), mas o que se pode sustentar, como uma resposta razoável, é a necessidade da devida prudência, a *phrónesis* aristotélica:

[...] é característico de uma pessoa (que tenha *phrónesis*) ser capaz de deliberar bem acerca do que é bom e conveniente para si mesma, não em relação a um aspecto particular [...] e sim acerca das espécies de coisas que nos levam a bem viver de um modo geral²⁴⁸.

Claramente, para o caso em estudo, não está a falar de *uma pessoa*; no entanto, está a mencionar da utilização, do ciclo de vida nano que possa ser sustentado por um *viver bem generalizado*, e que seja coordenado pela tão conhecida precaução da via principiológica do Direito (e tantos outros princípios que serão devidamente analisados no próximo capítulo). Assim sendo, consoante a interpretação de Massini, com base em Aristóteles:

[...] el conocimiento de lo que es bueno moralmente para el hombre y debe por lo tanto ser buscado y de lo que es malo, también moralmente, para él y debe por ello evitarse. Por todo lo dicho, puede afirmarse que la prudencia es, en el pensamiento aristotélico, una virtud intelectual, concretamente del intelecto práctico, que tiene por

²⁴⁷ “Let us, then, make a new start and consider, first, whether or not it is possible that there should be such a thing as this, that is, the knowing of what one knows and of what one does not know, that one knows it and that one does not know it; and further, if this is perfectly possible, what benefit there would be for us of knowing this”. (167B1-4). PLATO. **Meno and other dialogues**: Charmides, Laches, Lysis, Meno. New York: Oxford University Press, 2005. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=uT2xJncwU_IC&pg=PR7&hl=pt-BR&source=gbs_toc_r&cad=4#v=onepage&q&f=false. Acesso em: 25 set. 2021.

²⁴⁸ ARISTÓTELES. **Ética a Nicômaco**. Brasília: UnB, 1985. p. 1140a.

objeto establecer y prescribir lo que es recto en el obrar propiamente humano²⁴⁹.

Estabelecer o que é correto no obrar humano, com toda certeza, não será, em primeiro plano, facilmente identificável diante de toda a construção, até o momento, conquistada, isto é, triunfar um desenvolvimento calcado na segurança ambiental marinha frente ao comportamento disruptivo da nano. Nesse ínterim, com base no raciocínio de Engelmann, como um introito para o capítulo 4:

A ambivalência presente nas nanotecnologias - pelos seus aspectos positivos e negativos - também se encontra na proposta não legislativa para a sua regulação. Portanto, se exigirá a condução deste processo complexo com muito cuidado, onde a *phrónesis* aristotélica parece ser um caminho a ser avaliado²⁵⁰ (grifo do autor).

Logo, o caminho da prudência será a resposta para que a inovação não seja o arrais que controlará a tutela dos mares. Das revisões literárias, não há dados que categoricamente ressaltam que a proteção marinha foi deixada ao cais da irreversibilidade da saúde oceânica mundial - basta recorrer às páginas anteriores e verificar que a nano pode ser utilizada como *eco-friendly*, atuando como protetor ambiental - o que gera a esperança de que o Direito ainda poderá *reverter e retomar* a navegação para salvaguardar a biota marinha diante das inseguranças e das toxicidades comprovadas pela comunidade científica. Assim sendo a prudência caberá à atuação do Direito - esta que será analisada, seguidamente, afastada da estrita codificação comumente utilizada em *terrae brasilis*. Portanto, o estandarte do presente capítulo não está na proibição, em dificultar que ocorra o fomento na pesquisa nano, “[...] mas (sim defender) o seu desenvolvimento, tendo presente os princípios do Direito Natural-Humano, como um horizonte ético-moral capaz de defender a humanidade dos humanos”²⁵¹.

²⁴⁹ MASSINI CORREAS, Carlos Ignacio. **La prudencia jurídica**: introducción a la gnoseología del derecho. 2. ed. Buenos Aires: Abeledo-Perrot, 2006. p. 34.

²⁵⁰ ENGELMANN, Wilson. Estruturando um ambiente regulatório pluralístico a partir da gestão dos riscos nanotecnológicos e da responsabilidade empresarial. *In*: BRAGATO, Fernanda Frizzo; STRECK, Lenio Luiz; ROCHA, Leonel Severo (org.). **Constituição, sistemas sociais e hermenêutica**: Anuário do Programa de Pós-Graduação em Direito da UNISINOS: mestrado e doutorado: n. 15. São Leopoldo: Karywa, Unisinos, 2019. p. 384. *E-book*.

²⁵¹ ENGELMANN, Wilson; FLORES, André Stringhi; WEYERMULLER, André Rafael. **Nanotecnologias, marcos regulatórios e direito ambiental**. Curitiba: Honoris Causa, 2010. p. 39.

4 O ARQUIPÉLAGO DE UM DIREITO? SOBRE EM QUE ILHA SE PERDEU A SALVAGUARDA AMBIENTAL E COMO A CIÊNCIA JURÍDICA PODERÁ RESGATAR UM CONTINENTE DE INOVAÇÃO E DE PROTEÇÃO MARINHA

Uma nova tecnologia fruto da grande revolução tecnológica atual também precisa de um novo modo, meio de regulamentação, diferente do tradicional e letárgico modelo de regulação legal (por meio de leis). O Direito não está todo na lei, da mesma forma que a lei não contém nem todo o Direito e nem tampouco toda a Justiça²⁵².

O movimento nanotecnológico produz grandes impactos desde a sua criação, tanto para aqueles que desenvolvem a inovação quanto para aqueles que a administram na estrutura social – e entre estes *administradores* está o próprio Direito, orquestrando a organização jurídica da sociedade. Portanto, a epígrafe trata-se de externar o abalo que o devido tempo metaforseado provoca nos diversos sistemas sociais. Mais precisamente, nas palavras de Beck:

Para compreender essa metamorfose do mundo é necessário explorar os novos começos, focalizar o que está emergindo a partir do velho e buscar apreender estruturas e normas futuras na confusão do presente²⁵³.

Logo, os *novos começos* tratam-se, justamente, para este estudo, propor um Direito (brasileiro e extensivo para os demais países) diverso do que aquele pensado por Pontes de Miranda em sua Teoria do Fato Jurídico²⁵⁴, isto é, o mundo social não caminha em sintonia com o mundo jurídico – inclusive, este está, muito longe, de ser *infalível*²⁵⁵. Dito de outra forma, as mudanças provocadas pelas nanotecnologias não caminham em sintonia com as legislações, com o encontro de um suporte fático

²⁵² HOHENDORFF, Raquel von; ENGELMANN, Wilson. **Nanotecnologias aplicadas aos agroquímicos no Brasil**: a gestão dos riscos a partir do diálogo entre fontes do direito. Curitiba: Juruá, 2014. p. 137.

²⁵³ BECK, Ulrich. **A metamorfose do mundo**: novos conceitos para uma nova realidade. 1. ed. Rio de Janeiro: Zahar, 2018. p. 15-16. *E-book*.

²⁵⁴ PONTES DE MIRANDA, Francisco Cavalcante. **Tratado de direito privado**. 4. ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 1983. t. 1.

²⁵⁵ Reportando-se ao excerto de Pontes de Miranda sobre a causalidade jurídica: “A causação, que o mundo jurídico prevê, é infalível, *enquanto a regra jurídica existe*: não é possível obstar-se à realização das suas conseqüências; e a aplicação *injusta* da regra jurídica, ou porque se não haja aplicado a regra jurídica, com a interpretação que se esperava, ou porque não se tenha bem classificado o suporte fático, não desfaz aquele determinismo: é o resultado da necessidade prática de se resolverem os litígios, ou as dúvidas, ainda que falivelmente; isto é, da necessidade de se julgarem os desatendimentos à incidência”. (grifo do autor). PONTES DE MIRANDA, Francisco Cavalcante. **Tratado de direito privado**. 4. ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 1983. t. 1, p. 18.

completamente técnico e que preveja, em tempo, as peculiaridades e consequências da *nanotech*²⁵⁶. Isso porque sabe-se que são necessários a causa e o efeito²⁵⁷, ou seja, para tornar-se uma lei, houve um problema anterior, no mundo dos fatos, e que passa por uma juridicização, integrando-se ao mundo jurídico. No entanto, não há como esperar um dano efetivo da nano, ou seja, a *causa*, pois o que existe trata-se mais de pesquisas, testes, catalogados em artigos científicos sobre eventuais prejuízos no ambiente marinho – e, ademais, aguardar por um dano nanotecnológico *real*, com plena certeza científica, poderá gerar um risco irreversível que nem mesmo a lei (o efeito, devido à causa) poderá reverter²⁵⁸.

Ainda que se aguardasse um suporte fático, pois não se tem qualquer marco regulatório produzido no Brasil para orientar o ciclo de vida nano, a legislação não atenderia as especificidades da ciência nano - que são, inclusive, desafiadoras para aqueles que *dominam* a área tecnicista, consoante abordado no capítulo 2 deste trabalho. Veja-se que, para sustentar a *impossibilidade legalista*, analisa-se o seguinte excerto de Pontes de Miranda, ao abordar o tema sobre o suporte fático: “É fácil compreender-se qual a importância que têm a exatidão e a precisão dos conceitos, a boa escolha e a nitidez deles, bem como o rigor na concepção e formulação das regras jurídicas e no raciocinar-se com elas”²⁵⁹. Entretanto, não há qualquer *exatidão* e *precisão* ao tratar da complexa casa *nanoworld*. Nesse sentido, a fala de Pellin externaliza esta constatação: “[...] não tem como regulamentar o movimento da inovação tecnológica em constante dinamismo, mesmo porque, os legisladores não têm condições técnicas suficientes para tal escopo”²⁶⁰.

²⁵⁶ ENGELMANN, Wilson. Os avanços nanotecnológicos e a (necessária) revisão da teoria do fato Jurídico de Pontes de Miranda: compatibilizando “riscos” com o “direito à informação” por meio do alargamento da noção de “suporte fático” In: STRECK, Lenio Luiz; MORAIS, José Luís Bolzan de; ROCHA, Leonel Severo (org.). **Constituição, sistemas sociais e hermenêutica**. Anuário do Programa de Pós-Graduação em Direito da Unisinos: Mestrado e Doutorado, n. 8. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2011.

²⁵⁷ ENGELMANN, Wilson. Os avanços nanotecnológicos e a (necessária) revisão da teoria do fato Jurídico de Pontes de Miranda: compatibilizando “riscos” com o “direito à informação” por meio do alargamento da noção de “suporte fático” In: STRECK, Lenio Luiz; MORAIS, José Luís Bolzan de; ROCHA, Leonel Severo (org.). **Constituição, sistemas sociais e hermenêutica**. Anuário do Programa de Pós-Graduação em Direito da Unisinos: Mestrado e Doutorado, n. 8. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2011.

²⁵⁸ Há que se salientar, não se está a criticar a Teoria do Fato Jurídico e invalidá-la, apenas, tendo em vista o trabalho proposto, deve-se procurar novas formas de regulamentar as nanotecnologias.

²⁵⁹ PONTES DE MIRANDA, Francisco Cavalcante. **Tratado de direito privado**. 4. ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 1983. t. 1, p. XI.

²⁶⁰ PELLIN, Daniela. O sandbox regulatório como fonte de direito no caso de disrupção nanotech. In: CONGR. INTERN. INFORMATION SOCIETY AND LAW, 2., São Paulo, 2019. **Anais...** São Paulo, 2020. p. 657.

A título de conhecimento, em *terrae brasilis*, segue em tramitação, no Senado Federal, dois projetos de lei, visando regular as nanotecnologias, 1) Projeto de Lei Complementar nº 23, 2019 e 2) Projeto de Lei nº 880, 2019 que tratam, respectivamente, 1) “Altera a Lei Complementar nº 123, de 14 de dezembro de 2006 a fim de incentivar a pesquisa e desenvolvimento da Nanotecnologia no Brasil”²⁶¹, e 2)

Institui o Marco Legal da Nanotecnologia e Materiais Avançados; dispõe sobre estímulos ao desenvolvimento científico, à pesquisa, à capacitação científica e tecnológica e à inovação nanotecnológica; altera as Leis nº 10.973, de 2 de dezembro de 2004, e nº 8.666, de 21 de junho de 1993; e dá outras providências²⁶².

Em análise realizada em novembro de 2021, o Projeto de Lei Complementar nº 23 continua na Comissão de Ciência, Tecnologia, Inovação, Comunicação e Informática (CCT) desde 13/03/2019. Quanto ao Projeto de Lei nº 880, este já foi aprovado na Comissão de Constituição, Justiça e Cidadania (CCJ) e está na Comissão de Ciência, Tecnologia, Inovação, Comunicação e Informática (CCT) desde 19/02/2020.

Na realidade, do ponto de vista global, também não se encontra uma regulação, por exemplo, que contemple todo ciclo de vida nano. Pode-se citar legislações sobre o *dever de informar o uso de nanopartículas*, uma vez que para este comando, há os países da Dinamarca, da Bélgica, da França, da Noruega e da Suécia, que detêm o *suporte fático*, conforme análise de Engelmann e Hohendorff²⁶³: “Estes países exigem das empresas a prestação de informação sobre os nanomateriais para seus inventários nacionais”.

Assim sendo a atuação do Poder Legislativo não é comumente usada no mundo quando se trata de nanotecnologias. A exemplificar, nos Estados Unidos da América há: a *Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (Environmental*

²⁶¹ BRASIL. **Projeto de lei complementar nº 23, 2019**. Altera a Lei Complementar nº 123, de 14 de dezembro de 2006 a fim de incentivar a pesquisa e desenvolvimento da Nanotecnologia no Brasil. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/135203>. 12 nov. 2021.

²⁶² BRASIL. **Projeto de lei nº 880, 2019**. Institui o Marco Legal da Nanotecnologia e Materiais Avançados; dispõe sobre estímulos ao desenvolvimento científico, à pesquisa, à capacitação científica e tecnológica e à inovação nanotecnológica; altera as Leis nº 10.973, de 2 de dezembro de 2004, e nº 8.666, de 21 de junho de 1993; e dá outras providências. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/135353>. 12 nov. 2021.

²⁶³ ENGELMANN, Wilson; HOHENDORFF, Raquel von. Modelos regulatórios para as nanotecnologias: entre a hard law e a soft law. In: ANDRADE, Luís Renato Balbão (org.). **Pequeno não quer dizer seguro: nanotecnologias e macroinquietações**. São Paulo: Fundacentro, 2021. p. 224. *E-book*.

Protection Agency, EPA)²⁶⁴; e a *Food and Drug Administration (FDA)*²⁶⁵ que regulam a *nanotech*. Importante salientar que a FDA desempenha o papel equivalente à Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) para os nanoprodutos. No que concerne à União Europeia

[...] embora os nanomateriais sejam definidos e regulamentados pelo Registro, Avaliação, Autorização e Restrição de Produtos Químicos (REACH), os resíduos de nanomateriais não são regulamentados pelo REACH ou qualquer outro grupo e, em vez disso, presume-se que a maioria dos nanomateriais entrará o fluxo de resíduos com o produto habilitado para nano, normalmente terminando em aterros ou incineradores²⁶⁶ (tradução nossa).

Portanto, consoante arguido, não se busca na legislação brasileira aportes para regular as nanotecnologias. Assim sendo a falta de legislação, na realidade, não se trata de um significativo problema. Busca-se, nas diversas fontes do Direito, que haja uma interação, pois há consideráveis norteadores jurídicos para que se possa desenvolver, com segurança, a tecnologia nano (e, ademais, há novas propostas regulamentadoras que partem de iniciativas privadas). Nesse sentido, não se pode aguardar, *em cada mudança social*, respaldo legislativo. Veja-se que se faz necessário um

[...] progresivo abandono de los postulados de la unidad y de la jerarquia normativa en función de lo que se denominan «sistemas de interlegalidad», o sea, de la intersección de sistemas de áreas y niveles jurídicos sobrepuestos e interrelacionados de forma asimétrica y asistemática, a partir de múltiples redes de juridicidade²⁶⁷.

²⁶⁴ UNITED STATES. Environmental Protection Agency. **Control of nanoscale materials under the toxic substances control act**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.epa.gov/reviewing-new-chemicals-under-toxic-substances-control-act-tsca/control-nanoscale-materials-under>. Acesso em: 03 nov. 2021.

²⁶⁵ UNITED STATES. Food & Drug. **Nanotechnology programs at FDA**. [S. l.], 23 Feb. 2021. Disponível em: <https://www.fda.gov/science-research/science-and-research-special-topics/nanotechnology-programs-fda>. Acesso em: 03 nov. 2021.

²⁶⁶ “[...] although nanomaterials are defined and regulated by Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH), nanomaterial waste is not regulated by REACH or any other group, and instead it is assumed that most nanomaterials will enter the waste stream with the nano-enabled product, typically ending up in landfills or incinerators”. FALINSKI, M. M. Doing nano-enabled water treatment right: sustainability considerations from design and research through development and implementation. **Environmental Science: Nano**, [S. l.], n. 11, p. 3271, 2020. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2020/en/d0en00584c>. Acesso em 03 nov. 2021.

²⁶⁷ PÉREZ LUÑO, Antonio-Enrique. Las fuentes del derecho y su problemática actual. In: AVILÉS, María del Carmen Barranco; ANGÓN, Óscar Celador; FERNÁNDEZ, Félix Vacas (coord.). *Perspectivas actuales de las fuentes del derecho*. Madrid, 2011. p. 58-59. Disponível em: <https://e->

Para o presente estudo, buscar-se-á o auxílio da fonte dos princípios, que estas possam interagir, inclusive, com as leis disponíveis e instrumentos internacionais, de maneira que o arcabouço principiológico seja, *imediatamente*, efetivo – uma vez que a nano não espera um regulamento, ela já se desenvolveu e conquistou o Brasil e o mundo. A ideia, portanto, de que a legislação não seja supervalorizada, afastando as raízes do

[...] positivismo legalista (para a) valorização do direito positivo, que significa a expressão das fontes do Direito; no lugar da verticalização do escalonamento piramidal das fontes será instalada uma disposição horizontal de todas elas, potencializando o diálogo e a resposta articulada constitucionalmente²⁶⁸.

Logo, este raciocínio vem a ser a proposta e a análise do presente capítulo. Assim sendo o Direito não deve “[...] ser interpretado em tiras, mas sim [...] no seu todo, marcado [...] pelas suas premissas implícitas”²⁶⁹. Ou seja, o Direito não deve ser fragmentado em ilhas, em suas diversas fontes – conforme titulação deste capítulo. Não se pode admitir uma tutela ambiental perdida ou isolada – ou à mercê de uma única fonte. Há uma interação, um continente que deve ser fortificado e não alvo de divisões provocadas por uma antiga análise, gerando um arquipélago de insegurança jurídica. Para fortificá-lo e transformar em um continente, os princípios terão um papel fundamental e para estes caberá a proposta de regulação para nanotecnologias e mar. Portanto, dá-se início ao resgate, à conquista de uma tecnologia aliada à proteção marinha.

4.1 O pluralismo pós-moderno e o *Dialog der Quellen*: novas perspectivas para o Direito

A proposta da utilização principiológica também reflete valer-se do regramento disponível em *terrae brasiliis* e dos instrumentos internacionais, ainda

archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/20864/perspectivas_barranco_2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em 03 nov. 2021.

²⁶⁸ ENGELMANN, Wilson. A (re)leitura da teoria do fato jurídico à luz do “diálogo entre as fontes do direito”: abrindo espaços no direito privado constitucionalizado para o ingresso de novos direitos provenientes das nanotecnologias. In: STRECK, Lenio Luiz; MORAIS, José Luis Bolzan de. (org.). **Constituição, sistemas sociais e hermenêutica**: Anuário do Programa de Pós-Graduação em Direito da Unisinos: Mestrado e Doutorado, n. 7. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2010. p. 299.

²⁶⁹ GRAU, Eros Roberto. **Ensaio e discurso sobre a interpretação/aplicação do direito**. 5. ed. São Paulo: Malheiros, 2009. p. 101.

estes não sejam voltados, diretamente, às nanotecnologias. Isso porque: “Um modelo exclusivo de princípios aniquilaria a segurança jurídica, pela falta de objetividade e previsibilidade das condutas e, conseqüentemente, de uniformidade nas soluções interpretativas”²⁷⁰.

Da mesma forma: “Pensar que uma regra pode ser interpretada independente dos princípios ou que uma regra pode valer mais do que um princípio é uma concessão ao positivismo ou um retorno ao positivismo”²⁷¹. Nesse ínterim, a utilização da lei não será *banida* neste momento histórico de significativas transformações sociais, e, em reflexo, jurídica. Há que se clarificar que a lei:

[...] continuará tendo um significado importante, mas deverá ser compreendida na análise principiológica das cláusulas gerais, na valorização dos direitos naturais-humanos-fundamentais e no ‘diálogo das fontes do Direito’. [...] (Assim, será afastada) a preocupação com a hierarquia das normas, substituindo-a pela comunicação e conjunção de possibilidades para resolver razoável e adequadamente cada caso concreto²⁷².

Na realidade, antes de adentrar no *diálogo* mencionado, é preciso compreender o *pluralismo das fontes* do Direito. Esta pluralidade está que o Direito não se vale de apenas uma matriz, mas de diversas torrentes de estruturação:

Uma das características da pluralidade de fontes é considerar além da lei no seu sentido mais lato, com ênfase na Constituição da República, os princípios e a jurisprudência – notadamente aquela expressa em Súmulas e, mais recentemente, também as Súmulas Vinculantes, as decisões judiciais projetadas nos acórdãos dos Tribunais – a doutrina, os costumes, os contratos, o poder normativo dos grupos sociais, as decisões oriundas da negociação, mediação e arbitragem, as normas internacionais, como o ‘direito de produção’ e a *Lex mercatoria*, os Tratados e Convenções Internacionais, costumes internacionais e os princípios gerais do Direito Internacional. Esse conjunto é que se deverá considerar como a expressão ‘Fontes do Direito’ e é nele que se deverá potencializar o diálogo²⁷³ (grifo do autor).

²⁷⁰ BARROSO, Luís Roberto. **Curso de direito constitucional contemporâneo**: os conceitos fundamentais e a construção do novo modelo. São Paulo: Saraiva, 2009. p. 209.

²⁷¹ STRECK, Lenio Luiz. O papel da constituição dirigente na batalha contra decisionismos e arbitrariedades interpretativas. *In*: COUTINHO, Jacinto Nelson de Miranda; MORAES, José Luís Bolzan de; STRECK, Lenio Luiz (org.). **Estudos constitucionais**. Rio de Janeiro: Renovar, 2007. p. 186.

²⁷² ENGELMANN, Wilson; FLORES, André Stringhi; WEYERMULLER, André Rafael. **Nanotecnologias, marcos regulatórios e direito ambiental**. Curitiba: Honoris Causa, 2010. p. 207.

²⁷³ ENGELMANN, Wilson. A (re)leitura da teoria do fato jurídico à luz do “diálogo entre as fontes do direito”: abrindo espaços no direito privado constitucionalizado para o ingresso de novos direitos

Havendo diferentes fontes, a aplicação efetiva do Direito dar-se-á a partir do diálogo entre estas, pois, consoante verificado, somente a legislação não concederá aparato para a tutela marinha - até porque não há marcos regulatórios para as nanotecnologias, sendo assim, caso se considere apenas, e unicamente, as leis, não haverá qualquer salvaguarda à nano e ao ecossistema marinho. Nesse ínterim, o entendimento desta interação pode ser melhor compreendido com a fala de Erik Jayme, idealizador do *Dialog der Quellen* (diálogo entre as fontes²⁷⁴), ao analisar Direito e pós-modernismo:

[...] o mundo pós-moderno é caracterizado pela comunicação (*Kommunikation*) e por não ter mais fronteiras. De outra parte, não são apenas os meios tecnológicos que permitem a troca rápida de informação e imagens, mas também a vontade (*Wille*) e o desejo (*Wunsch*) de se comunicar dessas pessoas. Esse desejo emerge como valor comum²⁷⁵ (grifo do autor).

Essa comunicação alcança a Ciência Jurídica e Social, na medida que a hierarquia entre as fontes é *superada* por este *fenômeno novo e impactante*²⁷⁶, isto é, o diálogo, simultâneo, entre estas fontes²⁷⁷. Logo, uma ao lado da outra, estas realizarão um “[...] trabalho conjunto [...], movimentando-se horizontalmente, com caminho de passagem obrigatório pelo centro, no qual estará a Constituição da República”²⁷⁸. Ademais, o mundo pós-moderno repercute no Direito além da

provenientes das nanotecnologias. In: STRECK, Lenio Luiz; MORAIS, José Luis Bolzan de. (org.). **Constituição, sistemas sociais e hermenêutica**: Anuário do Programa de Pós-Graduação em Direito da Unisinos: Mestrado e Doutorado, n. 7. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2010. p. 295-296.

²⁷⁴ Cabe destacar que, quanto à terminologia, faz-se adequado mencionar o diálogo *entre* as fontes e não *das* fontes, nos termos de Engelmann. Isso porque a comunicação *entre* trata-se de uma forma mais abrangente, que remeterá a uma genuína *movimentação de abertura*, de interação de cada fonte, atendendo à proposta para as mudanças significativas das nanotecnologias no Direito. ENGELMANN, Wilson. A (re)leitura da teoria do fato jurídico à luz do “diálogo entre as fontes do direito”: abrindo espaços no direito privado constitucionalizado para o ingresso de novos direitos provenientes das nanotecnologias. In: STRECK, Lenio Luiz; MORAIS, José Luis Bolzan de. (org.). **Constituição, sistemas sociais e hermenêutica**: Anuário do Programa de Pós-Graduação em Direito da Unisinos: Mestrado e Doutorado, n. 7. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2010.

²⁷⁵ JAYME, Erik. Direito internacional privado e cultura pós-moderna. **Cadernos do Programa de Pós-Graduação em Direito PPGDir./UFRGS**, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 114, 2003. DOI: <https://doi.org/10.22456/2317-8558.43487>. Acesso em: 28 set. 2021.

²⁷⁶ Consoante os termos de Erik Jayme: JAYME, Erik. Direito internacional privado e cultura pós-moderna. **Cadernos do Programa de Pós-Graduação em Direito PPGDir./UFRGS**, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 114, 2003. DOI: <https://doi.org/10.22456/2317-8558.43487>. Acesso em: 28 set. 2021.

²⁷⁷ JAYME, Erik. Direito internacional privado e cultura pós-moderna. **Cadernos do Programa de Pós-Graduação em Direito PPGDir./UFRGS**, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 114, 2003. DOI: <https://doi.org/10.22456/2317-8558.43487>. Acesso em: 28 set. 2021.

²⁷⁸ ENGELMANN, Wilson. Os avanços nanotecnológicos e a (necessária) revisão da teoria do fato Jurídico de Pontes de Miranda: compatibilizando “riscos” com o “direito à informação” por meio do

Kommunikation, uma vez que outros três valores culturais, consoante descrito por Jayme, também influenciam a Ciência Jurídica, quais sejam: 1) *pluralismo*, 2) *narração* e 3) *retorno dos sentimentos*. Estes também modificam e ratificam esta *metamorfose* do Direito, seguindo o pensamento de dirupção social de Ulrich Beck²⁷⁹.

Quanto ao primeiro valor cultural, “[...] significa ter à disposição alternativas, opções, possibilidades”, destacando que “[...] a lei não mais conduz, ela administra”²⁸⁰ – ou seja, pode-se compreender como a descrição do pluralismo das fontes, consoante destacado em linhas anteriores. No que concerne ao segundo, a *narração* consiste que: “[...] nas regras de direito, o juiz deve considerar várias normas como, por exemplo, a questão dos três textos das diretivas, para resolver um só caso prático” – nesse sentido, exemplificado pelo autor para os casos de Direito Internacional. Em relação ao terceiro, a *valorização dos sentimentos*, *Rückkehr der Gefühle*, que, segundo análise de Hohendorff e Engelmann referente aos estudos do doutrinador germânico, trata-se do *retorno dos direitos humanos*²⁸¹. Nutre-se uma visão *afetiva*, o olhar ao outro, realmente, como um ser *que é humano* pelas lentes jurídicas, ou seja, reconhece-se o indivíduo como um sujeito de direitos que necessita/deve desfrutar de um aparato protetivo que lhe é inerente - o que advém da própria possibilidade da admissão e da comunicação entre diferentes fontes, *ampliando* o campo da tutela do Direito.

Insta salientar que este diálogo não será necessariamente com apenas duas fontes, mas com quantas forem necessárias para a devida tutela ambiental, valendo-se, propriamente, do pluralismo, conforme adverte Engelmann ao analisar o estudo de Jayme e as nanotecnologias:

[...] a proposta aqui desenhada é mais ampla do que aquela planejada por Erik Jayme [...] (O que se) propõe (é) um efetivo diálogo, que não existe apenas a interlocução de duas (di) fontes,

alargamento da noção de “suporte fático” In: STRECK, Lenio Luiz; MORAIS, José Luís Bolzan de; ROCHA, Leonel Severo (org.). **Constituição, sistemas sociais e hermenêutica**. Anuário do Programa de Pós-Graduação em Direito da Unisinos: Mestrado e Doutorado, n. 8. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2011. p. 352.

²⁷⁹ Consoante abordagem no capítulo 2. BECK, Ulrich. **A metamorfose do mundo**: novos conceitos para uma nova realidade. 1. ed. Rio de Janeiro: Zahar, 2018. *E-book*.

²⁸⁰ JAYME, Erik. Visões para uma teoria pós-moderna do direito comparado. **Revista dos Tribunais**, São Paulo, v. 759, p. 27, Jan. 1999.

²⁸¹ HOHENDORFF, Raquel von; ENGELMANN, Wilson. **Nanotecnologias aplicadas aos agroquímicos no Brasil**: a gestão dos riscos a partir do diálogo entre fontes do direito. Curitiba: Juruá, 2014. p. 142.

mas uma efetiva reordenação das diversas fontes de onde emergem normas jurídicas²⁸².

Portanto, descaracteriza-se a ideia de uma retrógrada Teoria das Fontes do Direito, isto é, na admissão de uma hierarquia, em que a lei é a fonte principal, como se o restante da nascente jurídica estivesse sob a legislação²⁸³ e não, concomitantemente, atuando em igualdade de importância com a lei – ou seja, uma perspectiva piramidal das fontes. Afastar, portanto, uma percepção kelseniana, em que a

[...] ciência jurídica tenha por objeto normas jurídicas e, portanto, os valores jurídicos através delas constituídos, as suas proposições são, no entanto, - tal como as leis naturais da ciência da natureza - uma descrição do seu objeto alheia aos valores (*wertfreie*)²⁸⁴ (grifo do autor).

Logo, a *produção do Direito* se dará por diferentes vias, com “[...] outros *locus* da sociedade nacional e internacional, adequando assim a ciência do Direito às grandes transformações”²⁸⁵ (grifo do autor). Parte-se da concepção de que os produtores das fontes são diversificados e alcançam novas perspectivas, de modo que as normas técnicas, a emergência do *sandbox* regulatório situam novas nascentes jurídicas - que serão melhor elucidadas na finalização deste capítulo.

Importante salientar que o *Dialog der Quellen* ocorrerá com o devido controle de constitucionalidade e de convencionalidade, ou seja, respectivamente, a Constituição será a diretriz, com seu *arcabouço normativo-principiológico-normativo*²⁸⁶, para que não haja máculas de direitos. Quanto à convencionalidade, os

²⁸² ENGELMANN, Wilson. A (re)leitura da teoria do fato jurídico à luz do “diálogo entre as fontes do direito”: abrindo espaços no direito privado constitucionalizado para o ingresso de novos direitos provenientes das nanotecnologias. In: STRECK, Lenio Luiz; MORAIS, José Luis Bolzan de. (org.). **Constituição, sistemas sociais e hermenêutica**: Anuário do Programa de Pós-Graduação em Direito da Unisinos: Mestrado e Doutorado, n. 7. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2010. p. 297.

²⁸³ Nesse sentido, esclarece Hohendorff e Engelmann na nota de rodapé 381: “A doutrina identifica as fontes formais de um sistema de direito, que são aquelas que resultam obrigatoriamente de uma forma de reconhecimento. Possuem este caráter a lei, bem como os princípios gerais do direito, o costume – nos casos reconhecidos pelo ordenamento – e a jurisprudência obrigatória. A lei é a fonte principal do direito objetivo, caracterizada pelo caráter geral e obrigatório”. HOHENDORFF, Raquel von; ENGELMANN, Wilson. **Nanotecnologias aplicadas aos agroquímicos no Brasil: a gestão dos riscos a partir do diálogo entre fontes do direito**. Curitiba: Juruá, 2014. p. 139.

²⁸⁴ KELSEN, Hans. **Teoria pura do direito**. 4. ed. Coimbra: Armenio Amado Editor, 1979. p. 125.

²⁸⁵ HOHENDORFF, Raquel von; ENGELMANN, Wilson. **Nanotecnologias aplicadas aos agroquímicos no Brasil: a gestão dos riscos a partir do diálogo entre fontes do direito**. Curitiba: Juruá, 2014. p. 141.

²⁸⁶ Consoante definição de Engelmann e Hohendorff. HOHENDORFF, Raquel Von; ENGELMANN, Wilson. **Nanotecnologias aplicadas aos agroquímicos no Brasil: a gestão dos riscos a partir do diálogo entre fontes do direito**. Curitiba: Juruá, 2014. p. 146.

magistrados e outras autoridades públicas irão efetuar o controle se o direito interno está adequado com os instrumentos internacionais²⁸⁷. Portanto, compreende-se que

[...] é a partir do diálogo entre as fontes do Direito que podemos buscar uma desregulamentação estatal e uma regulação dialogal, ou seja, o Estado deve fixar princípios a serem observados e os atores envolvidos devem se regular adequadamente, adaptando-se às necessidades emergentes²⁸⁸.

Com a fixação destes princípios ocorrerá a reunião, o juntar de ilhas, da fragmentada distribuição das fontes e, assim, o que antes formava um arquipélago, tornar-se-á um continente fortificado do Direito - consoante analogia dada no título deste capítulo. Logo, a formação deste continente se faz possível, pois o que estava isolado *agora* dialoga, e as fronteiras, tomadas pelo mar revolto nanotecnológico, estarão preenchidas pela pluralidade das fontes. Dito de outro modo, os princípios irão proporcionar/proporcionam “[...] aproximação e relação entre diversas normas jurídicas, formando uma verdadeira amálgama normativa dotada de uniformidade”²⁸⁹. Portanto, a proteção do Direito tornar-se-á efetiva, visto que não se está direcionada, a exemplo, para a legislação, mas para o aparato das fontes, o que faz alcançar uma *devida*, e *sustentável*, salvaguarda marinha; assim sendo a inovação nano não tomará rumos em que a técnica perpassa a saudabilidade ambiental - mais precisamente, a saudabilidade oceânica. Assim sendo, em continuidade aos estudos, o subcapítulo seguinte introduzirá, primeiramente, o comando de *evitar riscos* - que deve permear a atuação jurídica - para, após, adentrar na principiologia jurídica brasileira que deverá sustentar o desenvolvimento das nanotecnologias.

²⁸⁷ HOHENDORFF, Raquel von; ENGELMANN, Wilson. **Nanotecnologias aplicadas aos agroquímicos no Brasil**: a gestão dos riscos a partir do diálogo entre fontes do direito. Curitiba: Juruá, 2014. p. 144.

²⁸⁸ NASCIMENTO, Maria Cândida Simon Azevedo; ENGELMANN, Wilson. Nanotecnologia e direito: da estrutura jurídica tradicional ao diálogo entre as fontes do direito. **Nomos**: Revista do Programa de Pós-Graduação em Direito da UFC, Fortaleza, v. 37.1, p. 202, jan./jun. 2017. Disponível em: <http://www.periodicos.ufc.br/nomos/article/view/3438/30831>. Acesso em: 30 set. 2021.

²⁸⁹ ENGELMANN, Wilson. A (re)leitura da teoria do fato jurídico à luz do “diálogo entre as fontes do direito”: abrindo espaços no direito privado constitucionalizado para o ingresso de novos direitos provenientes das nanotecnologias. *In*: STRECK, Lenio Luiz; MORAIS, José Luis Bolzan de. (org.). **Constituição, sistemas sociais e hermenêutica**: Anuário do Programa de Pós-Graduação em Direito da Unisinos: Mestrado e Doutorado, n. 7. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2010. p. 299.

4.2 *Risikopflicht* - o dever de evitar riscos como comando estatal e extensivo ao social

Antes de iniciar a análise do *dever de evitar riscos*, deve-se principiar pela teoria do *dever de proteção estatal* (*Schutzpflicht*), utilizada por Claus-Wilhelm Canaris²⁹⁰. Este introito se faz necessário, visto que o *Risikopflicht* seria como uma espécie do gênero *Schutzpflicht*. Nesse ínterim, no estudo sobre a teoria, Leal e Maas exemplificam: “[...] ao Estado é atribuída também a tarefa de garantir e proteger os direitos fundamentais dos cidadãos”²⁹¹. Assim sendo este *dever de proteção estatal* vem a atuar “[...] em todos os locais, em todas as dimensões, frente a diferentes direitos fundamentais”²⁹². De modo que o Estado atua como *um amigo* (*Grundrechtsfreundes*) e *um garantidor* (*Grundrechtsgaranten*) destes direitos²⁹³.

Ademais, como “[...] parâmetros de controle desse *dever de proteção estatal*, (há) a *proibição de proteção insuficiente* ou *proibição de insuficiência* (*Untermaßverbot*) e a *proibição de excesso* (*Übermaßverbot*)”²⁹⁴ (grifo do autor) – importa salientar que Canaris foi o responsável por trabalhar/levar este tema à matriz constitucional²⁹⁵. Estas proibições são aquelas que compõem o princípio jurídico brasileiro da proporcionalidade, isto é, atuam como um “[...] controle de constitucionalidade das medidas restritivas de direitos fundamentais”²⁹⁶ no agir estatal - por meio de seus órgãos e de seus agentes.

Insta mencionar que se faz expoente na atualidade o desafio do *dever de proteção* na “[...] política e (no) meio ambiente (*Umweltschutz*) ecológico, (na)

²⁹⁰ CANARIS, Claus-Wilhelm. **Grundrechte und privatrecht - eine Zwischenbilanz**. Berlin; New York: Gruyter, 1999. *E-book*.

²⁹¹ LEAL, Mônia Clarissa Henning; MAAS, Rosana Helena. **“Dever de proteção estatal”, “proibição de proteção insuficiente” e controle jurisdicional de políticas públicas**. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2020. p. 135. *E-book*.

²⁹² LEAL, Mônia Clarissa Henning; MAAS, Rosana Helena. **“Dever de proteção estatal”, “proibição de proteção insuficiente” e controle jurisdicional de políticas públicas**. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2020. p. 88. *E-book*.

²⁹³ LEAL, Mônia Clarissa Henning; MAAS, Rosana Helena. **“Dever de proteção estatal”, “proibição de proteção insuficiente” e controle jurisdicional de políticas públicas**. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2020. p. 81. *E-book*.

²⁹⁴ LEAL, Mônia Clarissa Henning; MAAS, Rosana Helena. **“Dever de proteção estatal”, “proibição de proteção insuficiente” e controle jurisdicional de políticas públicas**. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2020. p. 92. *E-book*.

²⁹⁵ LEAL, Mônia Clarissa Henning; MAAS, Rosana Helena. **“Dever de proteção estatal”, “proibição de proteção insuficiente” e controle jurisdicional de políticas públicas**. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2020. p. 93. *E-book*.

²⁹⁶ SARLET, Ingo Wolfgang. Direitos fundamentais e proporcionalidade: notas a respeito dos limites e possibilidades de aplicação das categorias da proibição de excesso e de insuficiência em matéria criminal. **Revista da Ajuris**, Porto Alegre, v. 35, n. 109, p. 155, mar. 2008.

proteção aos meios de subsistência naturais, (na) vida e (na) integridade física”²⁹⁷ (grifo do autor). Ou seja, em síntese, desafio para a tutelar a própria dignidade humana – e aí se inclui a proteção do ambiente marinho, pois reflete, diretamente, na saúde humana, consoante exposto no capítulo 3.

Ademais, há, no *dever de proteção estatal*, os *Schutzgebote*, isto é, postulados de proteção, quais sejam: 1) *proibição de condutas (Verbotspflicht)*, a exemplificar, a proibição de uso de drogas *versus* saúde; 2) *segurança jurídica (Sicherheitspflicht)*, caracterizada pela adoção de medidas diversas, como a atuação da legislação, exemplo: a criminalização do racismo; 3) *evitar riscos (Risikopflicht)*, ou seja, o Estado atuar na tutela, na prevenção (e, também, acrescenta-se a precaução), em especial, no desenvolvimento técnico ou tecnológico, como forma de atender às demandas protetivas ambientais²⁹⁸. Nesse ínterim, com relação ao tema de análise desta monografia, dar-se-á enfoque ao *dever de evitar riscos*, tendo em vista sua ação frente ao tecnológico, objetivando salvaguardar o ecossistema marinho – o que se faz de suma importância para aplicabilidade às nanotecnologias. Ademais, tal comando de *evitar riscos*, trata-se do

[...] reconhecimento de um direito do cidadão de exigir dos entes públicos a sua proteção contra tais riscos existenciais decorrentes do desenvolvimento e, sobretudo, da manipulação feita pelo ser humano da técnica²⁹⁹.

Importante salientar que este *Risikopflicht*, para o presente trabalho, será equiparado à atuação de um *superprincípio*, isto é, deverá ser atendido por todos os demais princípios que aqui serão analisados, considerando seu comando de preocupação ambiental e social. Assim sendo atuará como um norteador, um compromisso a ser enfrentado, que propiciará a observância das orientações de Schwab e Davis diante dos impactos da *Quarta Revolução Industrial* - incluindo aí, as nanotecnologias -:

²⁹⁷ LEAL, Mônia Clarissa Henning; MAAS, Rosana Helena. “**Dever de proteção estatal**”, “**proibição de proteção insuficiente**” e **controle jurisdicional de políticas públicas**. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2020. p. 87. *E-book*.

²⁹⁸ Conforme explicação, gentilmente, dada pela Prof.^a Dra. Mônia Clarissa Henning Leal, com base nos estudos de Claus-Wilhelm Canaris, após conversa sobre a importância da doutrina do jurista germânico às nanotecnologias.

²⁹⁹ SARLET, Ingo Wolfgang; FENSTERSEIFER, Tiago. **Direito constitucional ecológico: constituição, direitos fundamentais e proteção da natureza**. 6. ed. São Paulo: Thompson Reuters Brasil, 2019. p. 390.

- 1) Nos certificar de que os benefícios da Quarta Revolução Industrial sejam distribuídos de forma justa;
- 2) Gerenciar as externalidades da Quarta Revolução Industrial no que diz respeito aos seus possíveis riscos e danos;
- 3) Garantir que a Quarta Revolução Industrial seja liderada por humanos e esteja centrada na humanidade³⁰⁰.

Claramente, a afirmação de *centrada na humanidade* estará em fazer o bem a todos os envolvidos e este *bem* encontra-se em abalizar - ou findar – os riscos. Considerar, portanto, a possibilidade de um desenvolvimento nanotecnológico sem prejudicar a biota marinha, e, conseqüentemente, os humanos. Ademais, este *dever*, informado por Canaris, não está restrito à doutrina germânica, mas se faz mencionado e aplicado nos julgados do Supremo Tribunal Federal, como se verifica no voto proferido pelo ministro Gilmar Mendes na ADPF 101/DF, ao tratar do caso da importação de pneus usados, enfatizando os dispositivos da Constituição brasileira de tutela ambiental:

As referidas determinações constitucionais de evitar riscos (*Risikopflicht*) são explicitadas no texto da Constituição (art. 196 e art. 225), o que autoriza o Estado a atuar com objetivo de evitar riscos para o cidadão em geral, mediante a adoção de medidas de proteção ou de prevenção da saúde e do meio ambiente, especialmente em relação ao desenvolvimento técnico ou tecnológico [...] ³⁰¹ (grifo do autor).

Veja-se que há, também, a previsão constitucional do *dever de evitar riscos*. Ao observar, em especial, o art. 225 da Constituição Federal, verifica-se uma imposição à coletividade e ao Poder Público “[...] de defender e preservar o meio ambiente para as presentes e futuras gerações, (apresentando) um dever geral de prevenção dos riscos ambientais”³⁰² (sejam estes *acessíveis* ou *inacessíveis*, plenamente, ao conhecimento

³⁰⁰ SCHWAB, Klaus; DAVIS, Nicholas. **Aplicando a Quarta Revolução Industrial**. São Paulo: EDIPRO, 2019. p. 43.

³⁰¹ BRASIL. Supremo Tribunal Federal. **Arguição de descumprimento de preceito fundamental 101 Distrito Federal**. Requerente: Presidente da República. Intimados: Presidente do Supremo Tribunal Federal entre outros. Relator: Cármen Lúcia, Tribunal Pleno. Voto: ministro Gilmar Mendes. Brasília, DF, julgado em 24 de junho de 2009. p. 256. Disponível em: <https://redir.stf.jus.br/paginadorpub/paginador.jsp?docTP=AC&docID=629955>. Acesso em: 30 set. 2021.

³⁰² BRASIL. Supremo Tribunal Federal. **Arguição de descumprimento de preceito fundamental 101 Distrito Federal**. Requerente: Presidente da República. Intimados: Presidente do Supremo Tribunal Federal entre outros. Relator: Cármen Lúcia, Tribunal Pleno. Voto: ministro Gilmar Mendes. Brasília, DF, julgado em 24 de junho de 2009. p. 255. Disponível em: <https://redir.stf.jus.br/paginadorpub/paginador.jsp?docTP=AC&docID=629955>. Acesso em: 30 set. 2021.

científico³⁰³), ou seja, o *Risikopflcht* no suporte fático constitucional brasileiro. Importante salientar que este *dever jurídico*, previsto no artigo 225, constitui-se em um termo que se consubstancia, como salienta Eros Grau,

[...] (à) vinculação ou limitação imposta à vontade de quem (é) por ele alcançado. Definido como tal pelo ordenamento jurídico, o dever há de ser compulsoriamente cumprido, sob pena de sanção jurídica — o seu não atendimento configura comportamento ilícito³⁰⁴.

Ou seja, trata-se de um comando compulsório para cumprimento tanto pelo Estado como pela sociedade de proteger o meio ambiente e, em consequência, o mar e sua rica biota, seu extraordinário ecossistema. Trata-se de, novamente, não aguardar que um projeto de lei sobre nanotecnologias torne-se, um dia, uma lei, de acordo com o tempo desejado do Poder Legislativo para, assim, salvaguardar a vida. Ora, é compulsório, é *dever* de ser realizado algo *agora*. Portanto, as propostas da principiologia jurídica ambiental, que serão analisadas no próximo subcapítulo, tratam-se de efetivar o *Risikopflcht* da Constituição Federal brasileira.

Seguindo na análise, pode-se destacar que este dever de proteção, que incorre em *evitar riscos*, é correlato ao dever de *proibição ao retrocesso ambiental*, princípio considerado geral e de suma importância para a não regressão de direitos e garantias ambientais³⁰⁵. Isso porque a proibição ao retrocesso³⁰⁶ “[...] aninha um princípio sistêmico, que se funda e decorre da leitura conjunta e diálogo multidirecional das normas que compõem a totalidade do vasto mosaico do Direito Ambiental”³⁰⁷.

³⁰³ AYALA, Patryck de Araújo. Direito fundamental ao ambiente e a proibição de regresso nos níveis de proteção ambiental na Constituição brasileira. In: BRASIL. Senado Federal. Comissão de Meio Ambiente, Defesa do Consumidor e Fiscalização e Controle (org.). **Princípio da proibição de retrocesso ambiental**. Brasília, DF: Senado Federal, 2012. p. 207-246. *E-book*. Disponível em: <https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/242559/000940398.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. Acesso em: 17 out. 2021.

³⁰⁴ GRAU, Eros Roberto. Nota sobre a distinção entre obrigação, dever e ônus. **Revista da Faculdade de Direito**, Universidade de São Paulo, São Paulo, n. 77, p. 178, 1982. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rfdusp/article/view/66950177-183>. Acesso em: 17 out. 2021.

³⁰⁵ BENJAMIN, Antonio Herman. Princípio da proibição de retrocesso ambiental. In: BRASIL. Senado Federal. Comissão de Meio Ambiente, Defesa do Consumidor e Fiscalização e Controle (org.). **Princípio da proibição de retrocesso ambiental**. Brasília, DF: Senado Federal, 2012. p. 62. *E-book*. Disponível em: <https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/242559/000940398.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. Acesso em: 17 out. 2021.

³⁰⁶ Quanto à análise com maior profundidade sobre o princípio, esta será efetuada em um subcapítulo seguinte.

³⁰⁷ BENJAMIN, Antonio Herman. Princípio da proibição de retrocesso ambiental. In: BRASIL. Senado Federal. Comissão de Meio Ambiente, Defesa do Consumidor e Fiscalização e Controle (org.). **Princípio da proibição de retrocesso ambiental**. Brasília, DF: Senado Federal, 2012. p. 62-63. *E-book*. Disponível em:

Se existe esta circunstância sistêmica, estará no princípio também o *evitar o risco*, uma vez que se pode considerar naquele um padrão “[...] de proteção ambiental mínima perante riscos existenciais, que, a partir desse mínimo, poderiam ser considerados intoleráveis”³⁰⁸ – ou seja, *combatendo* uma *proteção insuficiente* (*Untermaßverbot*), bem como *sustentando* uma *proibição de excesso* (*Übermaßverbot*), consoante explicitado no início deste subcapítulo. Nesse ínterim, trazer a lume este princípio, trata-se de uma *ilustração* para melhor abordagem e interpretação deste comando, *Risikopflicht*, que advém da doutrina germânica, mas se vê, claramente, sendo utilizado no Brasil, seja diretamente mencionado, como nos Tribunais Superiores, seja presente indiretamente em dispositivos e princípios, com outros termos, em solos brasileiros.

Por fim, incumbe salientar, ainda, ao refletir sobre este não retrocesso, a interessante observação de Prieur:

O exemplo talvez mais claro do princípio de não regressão em nível constitucional e em matéria ambiental está na Constituição do Butão, de 2008, cujo artigo 5-3 proclama que 60% das florestas do país são protegidas ‘pela eternidade’³⁰⁹.

É grandemente fantástico ter esta percepção de cuidado, de proteção, de realmente *evitar riscos*, *evitar danos* para a natureza, consoante o texto constitucional butanês. No entanto, não se pode omitir que a sistemática econômica, a estrutura do Butão é completamente diversa do Brasil (e do mundo), uma vez que, inclusive, aquele detém como indicador econômico a Felicidade Interna Bruta (FIB) e não o Produto Interno Bruto (PIB) como em *terrae brasilis*. Ou seja, o *Reino do*

<https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/242559/000940398.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. Acesso em: 17 out. 2021.

³⁰⁸ Ainda que o autor não conceitue esta frase para o princípio em análise, faz-se necessário mencioná-la, visto que a utiliza para contextualizar no mínimo existencial e seguidamente tratar do princípio do não retrocesso. AYALA, Patryck de Araújo. Direito fundamental ao ambiente e a proibição de regresso nos níveis de proteção ambiental na constituição brasileira. *In*: BRASIL. Senado Federal. Comissão de Meio Ambiente, Defesa do Consumidor e Fiscalização e Controle (org.). **Princípio da proibição de retrocesso ambiental**. Brasília, DF: Senado Federal, 2012. p. 222. *E-book*. Disponível em:

<https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/242559/000940398.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. Acesso em: 17 out. 2021.

³⁰⁹ PRIEUR, Michel. O princípio da proibição de retrocesso ambiental. *In*: BRASIL. Senado Federal. Comissão de Meio Ambiente, Defesa do Consumidor e Fiscalização e Controle (org.). **Princípio da proibição de retrocesso ambiental**. Brasília, DF: Senado Federal, 2012. p. 33. *E-book*. Disponível em:

<https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/242559/000940398.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. Acesso em: 17 out. 2021.

Himalaia mede a *riqueza* do país pelos indicadores de qualidade de vida dos nacionais, diferentemente de apenas avaliar o desenvolvimento econômico – e nessa qualidade está desde o bem-estar psicológico dos cidadãos até a preservação ambiental do país³¹⁰.

Ademais, trata-se de um Reino, de uma nação pequenina com maior possibilidade de controle, de tutelar o meio ambiente. Entretanto, a constituição butanesa pode ser utilizada como um excelente paradigma para evoluir e repensar como o *Risikopflucht* poderá ser efetivado na interação nano e mares. Ora, se um país com poucos recursos como o Butão planeja/consegue estruturar uma rica gestão ecológica *pela eternidade*, outro país, com a *magnitude* do Brasil, também pode aprender a implementar, pelo menos em *caráter emergencial*, para a geração vivente, um modelo sustentável de gestão – pois, com toda a certeza, as futuras gerações herdarão e irão lapidar uma melhor sustentabilidade para o Planeta.

4.3 NanoAction: sobre a aplicabilidade da principiologia em *terrae brasilis* e seus desdobramentos na tutela nano-mar

Eis o ponto crucial da presente trajetória marítima: os princípios, estes que são elencados “[...] como substrato responsável pela sustentação do Direito considerado em sua integralidade”³¹¹. A principiologia como responsável por proporcionar um continente fortificado do Direito – *jamaís* em ilhas. Os princípios como um porto de segurança para o desenvolvimento nanotecnológico que, urgentemente, necessita de um norteador para que haja a evolução da ciência nano harmonizada com o ecossistema marinho.

Quanto à conceituação dos princípios, esta é motivo de diversas interpretações na doutrina³¹². No entanto, no presente trabalho, o objetivo é apresentar uma *única* visão principiológica, de acordo com a proposta que se almeja - até porque já está delineado o que é um princípio quando este é utilizado para as nanotecnologias. Assim sendo pode-se compreender que

³¹⁰ INSTITUTO DE ESTUDOS SOCIOAMBIENTAIS (IESA). O que é FIB? Goiânia, 2009. Disponível em: <https://nupeat.iesa.ufg.br/n/4040-felicidade-interna-bruta-fib>. Acesso em: 03 nov. 2021.

³¹¹ ENGELMANN, Wilson. **Crítica ao positivismo jurídico**: princípios, regras e o conceito de Direito. Porto Alegre: Sergio Antonio Fabris Editor, 2001. p. 95

³¹² Para sustentar tal argumento, exaustivamente, Engelmann trata sobre as diversas definições do princípio jurídico na visão de Ronald Dworkin, de Robert Alexy e entre outros juristas na seguinte obra: ENGELMANN, Wilson. **Crítica ao positivismo jurídico**: princípios, regras e o conceito de Direito. Porto Alegre: Sergio Antonio Fabris Editor, 2001.

Os princípios não carregam uma preocupação individualista, mas um olhar sobre o geral, o coletivo. A concepção dos princípios projeta um espaço onde deverão se encontrar as ciências da natureza (ciências duras) e as ciências do espírito (ciências brandas), a fim de realizarem constantes avaliações sobre cada momento da prometida Revolução Científica fulcrada no fascínio da criatividade³¹³.

Em uma análise ainda mais específica, o princípio faz parte do que se compreende como norma jurídica. Nesse sentido, na norma, há, além dos princípios, as regras e estes geram o dever e a obrigação que devem ser seguidos pela sociedade³¹⁴. No entanto,

A diferença com relação as regras é que, enquanto as regras são rígidas (se aplicam ou não a determinado caso) e específicas a determinadas situações, os princípios são maleáveis e possuem um caráter mais amplo e geral³¹⁵.

Portanto, ao se utilizar de princípios estes detêm o comando de aplicabilidade, de se tornarem efetivos. Nessa esteira, faz-se necessário apresentar, portanto, a proposta, os princípios que são objetivados para uma atuação nano saudável ao mar. Estes, na realidade, serão norteadores propostos pelo Projeto *NanoAction*, promovido pelo *International Center for Technology Assesment* (ICTA)³¹⁶, que foram elaborados, juntamente, com

³¹³ ENGELMANN, Wilson; FLORES, André Stringhi; WEYERMULLER, André Rafael. **Nanotecnologias, marcos regulatórios e direito ambiental**. Curitiba: Honoris Causa, 2010. p. 124.

³¹⁴ FRÖHLICH Afonso Vinício Kirschner; BATTIROLA, Fernando Luis Giroto. O que são princípios? *In*: LEAL, Daniele Weber *et al.* **Orientações jurídicas para o segmento industrial e comercial que trabalha com nanotecnologias**. São Paulo: Karywa, 2020. *E-book*. Disponível em: <https://Editorakarywa.Files.Wordpress.Com/2020/10/Jusnano-Unisinos-Cartilha.Pdf>. Acesso em: 30 ago. 2021.

³¹⁵ FRÖHLICH Afonso Vinício Kirschner; BATTIROLA, Fernando Luis Giroto. O que são princípios? *In*: LEAL, Daniele Weber *et al.* **Orientações jurídicas para o segmento industrial e comercial que trabalha com nanotecnologias**. São Paulo: Karywa, 2020. p. 14. *E-book*. Disponível em: <https://Editorakarywa.Files.Wordpress.Com/2020/10/Jusnano-Unisinos-Cartilha.Pdf>. Acesso em: 30 ago. 2021.

³¹⁶ Trata-se de uma organização bi-partidária, sem fins lucrativos, americana que objetiva, entre outros: “[...] interromper a comercialização da nanotecnologia até que os produtos contendo nanopartículas sejam comprovadamente seguros. O CTA também busca forçar as agências reguladoras federais a adotar uma definição precisa e padronizada de nanotecnologia e regular as nanotecnologias emergentes como fariam com outros materiais cuja segurança não foi determinada”. (tradução nossa). “[...] to halt the commercialization of nanotechnology until products containing nanoparticles have been proven safe. CTA also seeks to force federal regulatory agencies to adopt an accurate and standardized definition of nanotechnology and to regulate emerging nanotechnologies as they would other materials whose safety has not been determined”. INTERNATIONAL CENTER FOR TECHNOLOGY ASSESSMEN (ICTA). **Nanotechnology**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.icta.org/nanotechnology/#>. Acesso em: 17 out. 2021.

[...] a organização *Friends of the Earth* (Amigos da Terra) (que organizaram em conjunto a primeira cúpula estratégica de ONGs sobre nanotecnologia em *Washington, DC*, que atraiu o interesse público e das organizações de trabalhadores, de saúde da mulher, da sociedade civil, de ambientalistas, e de organizações de base formadas por cidadãos da América do Norte para debater e chegar a acordos sobre os princípios fundamentais para a avaliação e supervisão da nanotecnologia³¹⁷ (grifo nosso).

Assim sendo, houve o desenvolvimento de oito princípios que foram compilados e distribuídos para diversos países, entre eles, o Brasil, visando a “[...] proporcionar a base para uma avaliação e supervisão adequadas e eficazes do campo emergente da nanotecnologia”³¹⁸. Este basilar principiológico poderá conquistar, em *terrae brasiliis* (bem como a nível mundial), o comando dado na Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar, ratificada no Brasil por meio do Decreto nº 99.165/90, ao dispor no artigo 192 que “Os Estados têm a obrigação de proteger e preservar o meio marinho”³¹⁹. Nesse ínterim, faz-se uma análise correspondente da base dois oito princípios do *NanoAction* com a base principiológica e as previsões legais do Brasil (tabela 1), a fim de, conforme o próprio Projeto:

a) salvaguardar a saúde e a segurança do público e dos trabalhadores; b) conservar nosso meio ambiente natural; c) assegurar a participação pública e o alcance de metas decididas democraticamente; d) restaurar a confiança pública e apoio a governo e a pesquisa acadêmica; e) permitir a viabilidade comercial de longo prazo³²⁰.

Ou seja, numa atitude precaucional, atender às emergentes necessidades de uma “[...] revolução nanotecnológica (que prevê) mudanças dramáticas e radicais

³¹⁷ INTERNATIONAL CENTER FOR TECHNOLOGY ASSESSMENT (ICTA). **Princípios para a supervisão de nanotecnologias e nanomateriais**. Washington, DC, 2007. Disponível em: https://www.centerforfoodsafety.org/files/120132_icta_portugese_lo-rez_81903_82038.pdf. Acesso em: 30 set. 2021.

³¹⁸ INTERNATIONAL CENTER FOR TECHNOLOGY ASSESSMENT (ICTA). **Princípios para a supervisão de nanotecnologias e nanomateriais**. Washington, DC, 2007. Disponível em: https://www.centerforfoodsafety.org/files/120132_icta_portugese_lo-rez_81903_82038.pdf. Acesso em: 30 set. 2021.

³¹⁹ BRASIL. **Decreto nº 99.165, de 12 de março de 1990**. Promulga a Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1990/decreto-99165-12-marco-1990-328535-publicacaooriginal-1-pe.html>. Acesso em: 30 set. 2021.

³²⁰ INTERNATIONAL CENTER FOR TECHNOLOGY ASSESSMENT (ICTA). **Princípios para a supervisão de nanotecnologias e nanomateriais**. Washington, DC, 2007. Disponível em: https://www.centerforfoodsafety.org/files/120132_icta_portugese_lo-rez_81903_82038.pdf. Acesso em: 30 set. 2021.

em todos os aspectos da vida humana”³²¹. Ademais, sem a necessidade de impedir este desenvolvimento nanotecnológico.

Tabela 1 - Princípios do Projeto *NanoAction* e os princípios jurídicos correspondentes no Brasil; bem como a previsão legal no Direito brasileiro

(continua)

Princípios do Projeto <i>NanoAction</i> ³²²	Princípios jurídicos brasileiros	Previsão legal brasileira ³²³
PRINCÍPIO DA PRECAUÇÃO	PRINCÍPIO DA PRECAUÇÃO	Constituição Federal brasileira: <ul style="list-style-type: none"> • art. 200, incisos I a VII; • art. 225, <i>caput</i>, e incisos V e VII. Leis infraconstitucionais: <ul style="list-style-type: none"> • art. 1º, Lei 11.105/2005 (Lei da Biossegurança).
PRINCÍPIO SOBRE A REGULAMENTAÇÃO MANDATÓRIA NANOESPECÍFICA	PRINCÍPIO DA OBRIGATORIEDADE DE ATUAÇÃO (<i>INTERVENÇÃO</i>) ESTATAL	Constituição Federal brasileira: <ul style="list-style-type: none"> • art. 23, incisos VI e VII; • art. 24, incisos VI e VIII; • art. 225; • art. 174.
PRINCÍPIO DE PROTEÇÃO E SAÚDE DO PÚBLICO E DOS TRABALHADORES	PRINCÍPIO DA DIGNIDADE DA PESSOA HUMANA (<i>DIMENSÃO ECOLÓGICA</i>)	Constituição Federal brasileira: <ul style="list-style-type: none"> • art. 1º, incisos III e IV; • art. 5º, inciso XXXII; • art. 196; • art. 200, inciso VIII; • art. 225. Leis infraconstitucionais: <ul style="list-style-type: none"> • art. 2º, <i>caput</i>, Lei nº 6.938/81 (Lei da Política Nacional do Meio Ambiente); • art. 8º, Lei nº 8.078/90 (Código de Defesa do Consumidor).
PRINCÍPIO DA SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL	PRINCÍPIO DA SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL	Constituição Federal brasileira: <ul style="list-style-type: none"> • art. 170, inciso VI; • art. 200, inciso VIII; • art. 225. Leis infraconstitucionais: <ul style="list-style-type: none"> • art. 10, Lei nº 6.938/81 (Lei da Política Nacional do Meio Ambiente);

³²¹ INTERNATIONAL CENTER FOR TECHNOLOGY ASSESSMENT (ICTA). **Princípios para a supervisão de nanotecnologias e nanomateriais**. Washington, DC, 2007. Disponível em: https://www.centerforfoodsafety.org/files/120132_icta_portugese_lo-rez_81903_82038.pdf. Acesso em: 30 set. 2021.

³²² INTERNATIONAL CENTER FOR TECHNOLOGY ASSESSMENT (ICTA). **Princípios para a supervisão de nanotecnologias e nanomateriais**. Washington, DC, 2007. Disponível em: https://www.centerforfoodsafety.org/files/120132_icta_portugese_lo-rez_81903_82038.pdf. Acesso em: 30 set. 2021.

³²³ Dispositivos legais semelhantes/equivalentes à análise de Engelmann e Hohendorff sobre os princípios do *NanoAction*. ENGELMANN, Wilson; HOHENDORF Raquel von. **Perspectivas regulatória para o Brasil**. In: LEAL, Daniele Weber S. *et al.* **Orientações jurídicas para o segmento industrial e comercial que trabalha com nanotecnologias**. São Paulo: Karywa, 2020. p. 41-42. *E-book*. Disponível em: <https://Editorakarywa.Files.Wordpress.Com/2020/10/Jusnano-Unisinos-Cartilha.Pdf>. Acesso em: 30 ago. 2021.

(conclusão)

Princípios do Projeto <i>NanoAction</i> ³²⁴	Princípios jurídicos brasileiros	Previsão legal brasileira ³²⁵
PRINCÍPIO DA TRANSPARÊNCIA	PRINCÍPIO DA TRANSPARÊNCIA	Constituição Federal brasileira: <ul style="list-style-type: none"> • art. 1º, inciso III; • art. 5º, inciso XIV; • art. 225; Leis infraconstitucionais: <ul style="list-style-type: none"> • art. 9º, incisos VII e XI, Lei nº 6.938/81 (Lei da Política Nacional do Meio Ambiente). • art. 6º, Lei nº 8.078/90 (Código de Defesa do Consumidor); • Lei nº 12.527/2011 (Lei do Acesso à Informação).
PRINCÍPIO DA PARTICIPAÇÃO DO PÚBLICO	PRINCÍPIO DA PARTICIPAÇÃO DO PÚBLICO	Constituição Federal brasileira: <ul style="list-style-type: none"> • art. 1º, parágrafo único; • art. 225; Leis infraconstitucionais: <ul style="list-style-type: none"> • Lei nº 4.717/65 (Lei da Ação Popular); • Lei nº 7.347/85 (Lei da Ação Civil Pública); • Lei nº 10.650/2003 (Lei de Acesso à Informação Ambiental).
PRINCÍPIO SOBRE A CONSIDERAÇÃO DE OUTROS IMPACTOS	PRINCÍPIO DA PROIBIÇÃO DO RETROCESSO ECOLÓGICO	Constituição Federal brasileira: <ul style="list-style-type: none"> • art. 225, §1º. Leis infraconstitucionais: <ul style="list-style-type: none"> • art. 2º, <i>caput</i>, Lei nº 6.938/81 (Lei da Política Nacional do Meio Ambiente).
PRINCÍPIO DA RESPONSABILIDADE DO PRODUTOR	PRINCÍPIO DO POLUIDOR- PAGADOR	Constituição Federal brasileira: <ul style="list-style-type: none"> • art. 225, §3º. Leis infraconstitucionais: <ul style="list-style-type: none"> • Lei nº 9.605/1998 (Lei de Crimes Ambientais); • art. 931, Lei 10.406/2002 (Código Civil).

Fonte: Elaborado pelo autor.

³²⁴ INTERNATIONAL CENTER FOR TECHNOLOGY ASSESSMENT (ICTA). **Princípios para a supervisão de nanotecnologias e nanomateriais**. Washington, DC, 2007. Disponível em: https://www.centerforfoodsafety.org/files/120132_icta_portuguese_lo-rez_81903_82038.pdf. Acesso em: 30 set. 2021.

³²⁵ Dispositivos legais semelhantes/equivalentes à análise de Engelmann e Hohendorff sobre os princípios do *NanoAction*. ENGELMANN, Wilson; HOHENDORF Raquel von. Perspectivas regulatória para o Brasil. In: LEAL, Daniele Weber S. *et al.* **Orientações jurídicas para o segmento industrial e comercial que trabalha com nanotecnologias**. São Paulo: Karywa, 2020. p. 41-42. *E-book*. Disponível em: <https://Editorakarywa.Files.Wordpress.Com/2020/10/Jusnano-Unisinos-Cartilha.Pdf>. Acesso em: 30 ago. 2021.

Conforme elucidam Engelmann e Hohendorff, diante dos princípios do *NanoAction*, e seus correspondentes principiológicos e legais no Direito brasileiro (tabela 1), verifica-se que:

Embora não se encontre expressamente a palavra ‘nanotecnologias’ ou ‘nanomaterial’ ou ‘nanopartículas’, não se poderá aceitar a ideia de ausência regulatória. A regulação existe, a prova são as normas jurídicas acima apresentadas, e deverão orientar o processo de inovação nanotecnológica³²⁶.

A tabela proposta não exaure todos os dispositivos legais disponíveis no Direito brasileiro (bem como os demais princípios correlacionados) para a tutela dos oceanos. Entretanto, demonstra, claramente, que há significativos aportes de proteção já disponíveis para aplicar na atuação das nanotecnologias com o ambiente marinho. Novamente não se faz necessário aguardar uma lei, vez que existe uma expressiva salvaguarda ambiental-marinha disponível para aplicação *imediate* e para que se possa atender ao comando do *Risikopflicht*. Portanto, seguir-se-á na análise do arcabouço principiológico - este disponível no Direito Ambiental brasileiro, vez se trata de objeto de tutela o oceano e sua rica, e complexa, biota marinha -, mencionado na tabela 1, demonstrando como cada princípio poderá ter sua aplicação efetivada no *nanoworld*.

4.3.1 Princípio da precaução

Tal princípio é encontrado na Constituição Federal brasileira, ainda que não tenha, diretamente, o termo *precaução* nos dispositivos constitucionais; bem como há previsão nas leis infraconstitucionais, a saber o artigo 1º da Lei nº 11.105/2005 (Lei da Biossegurança), consoante listado na tabela 1. Ademais, encontra-se, também, previsão em instrumentos internacionais como: a Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, que foi adotada na Cúpula da Terra do Rio de

³²⁶ ENGELMANN, Wilson; HOHENDORF Raquel von. Perspectivas regulatória para o Brasil. *In*: LEAL, Daniele Weber S. *et al.* **Orientações jurídicas para o segmento industrial e comercial que trabalha com nanotecnologias**. São Paulo: Karywa, 2020. p. 43. *E-book*. Disponível em: <https://Editorakarywa.Files.Wordpress.Com/2020/10/Jusnano-Unisinos-Cartilha.Pdf>. Acesso em: 30 ago. 2021.

Janeiro, Conferência do Rio, em junho de 1992³²⁷, no Princípio 15, indicado como *princípio da precaução*:

A fim de proteger o meio ambiente, o enfoque da precaução deve ser amplamente aplicado pelos Estados de acordo com suas capacidades. Onde houver ameaças de danos graves ou irreversíveis, a falta de certeza científica total não deve ser usada como razão para adiar medidas eficazes em função do custo para prevenir a degradação ambiental³²⁸.

Assim sendo verifica-se que a *precaução* se trata de um princípio utilizado diante de um *risco*, de um potencial dano que uma ação/omissão poderá gerar. Ao analisar o princípio de maneira implícita na Constituição, em especial, os incisos V e VII do art. 255, estes utilizam, categoricamente, o termo *risco* em sua redação: “controlar a produção, a comercialização e o emprego de técnicas, métodos e substâncias que comportem *risco* para a vida, a qualidade de vida e o meio ambiente” (grifo nosso) e “proteger a fauna e a flora, vedadas, na forma da lei, as práticas que coloquem em *risco* sua função ecológica, provoquem a extinção de espécies ou submetam os animais a crueldade”³²⁹ (grifo nosso).

Portanto, a precaução está em atuar nos possíveis riscos. Veja-se que não se trata de uma mera visão especulativa, isso porque deverá, ao menos, a base científica embasar estes indícios de quão danosa poderá ser tal inovação nano frente ao ecossistema marinho – o que se verifica, significativamente, na literatura científica explorada no capítulo 3 deste trabalho:

O padrão de prova da precaução não exigirá conclusividade, o que permitirá a adoção de medidas de precaução, havendo provas dotadas de plausibilidade de que um risco pode ser muito severo, caso se concretize em dano, mesmo que não haja prova absoluta.

³²⁷ Sobre o documento internacional: “A Declaração Rio 92 espelha a importância da segunda grande Conferência das Nações Unidas, sobre ‘Meio Ambiente e Desenvolvimento’, também conhecida como Rio 92 ou Eco 92, e por conter princípios éticos pela busca de um futuro sustentável, ela é considerada o equivalente ambiental à Declaração Universal dos Direitos Humanos”. YOSHIDA, Consuelo Yatsuda Moromizato. Prefácio. *In*: CAMPELLO, Livia Gaigher Bósio *et al.* (coord.). **Meio ambiente e desenvolvimento: os 25 anos da Declaração do Rio de 1992**. 1. ed. São Paulo: IDG, 2018. p. 17. Disponível em: https://professorvladmirsilveira.com.br/wp-content/uploads/2021/05/Meio_Ambiente_Desenvolvimento_Declara%C3%83%C2%A7%C3%83%C2%A3o_do_Rio-92.pdf. Acesso em: 17 out. 2021.

³²⁸ CARTA do Rio. 1992. Brasília, DF: Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Iphan), 1995. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20do%20Rio%201992.pdf>. Acesso em: 17 out. 2021.

³²⁹ BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 17 out. 2021.

Este temor e suas dúvidas devem ser descritas cientificamente, de maneira metodológica e não apenas de forma especulativa³³⁰.

Faz-se importante observar que, embora a *ciência* - termo utilizado nesta abordagem como sinônimo de ciência tecnicista - esteja concomitantemente ligada à certeza - uma vez que prioriza o evitar erros -, o âmbito nano, ainda que incerto, é considerado parte daquela³³¹. Para exemplificar, dispondo do suporte filosófico para tal, o conhecimento científico deriva de um arcabouço de dados que, após uma avaliação criteriosa, forma o *corpus científico*, ou seja, “[...] a coleção de todos os pontos de vista científicos dos quais atualmente não temos razão para duvidar”³³² (tradução nossa) e, após, motivam tomadas de decisão frente aos resultados. No entanto, por vezes, as suposições verossímeis, mesmo não sendo partes deste *corpus*, são consideradas e ensejam, diretamente, em políticas de atuação³³³. Ou seja, dá-se relevância científica, mesmo diante da falta de exaurimento, de certeza dos danos nanotecnológicos, pois, dos dados disponíveis, situações irreversíveis poderiam ser geradas.

Nesse ínterim, partindo-se da instrução dada na Declaração do Rio, em seu Princípio 15, “[...] a falta de certeza científica total não deve ser usada como razão para adiar medidas eficazes em função do custo para prevenir a degradação ambiental”³³⁴. Portanto: “A nanotecnologia nos fornece excelentes exemplos tanto de perigos potenciais que têm suporte suficiente para acionar o princípio da precaução quanto de perigos potenciais que carecem de tal suporte”³³⁵ (tradução nossa). Assim

³³⁰ CARVALHO, Déltion Winter. **Gestão jurídica ambiental**. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2017. p. 199.

³³¹ HANSSON, Sven Ove. How extreme is the precautionary principle? **Nanoethics**, [S. l.], n. 14, p. 245–257, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11569-020-00373-5>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11569-020-00373-5#citeas>. Acesso em: 17 out. 2021.

³³² “[...] the collection of all scientific standpoints that we presently have no reason to doubt”. HANSSON, Sven Ove. How extreme is the precautionary principle? **Nanoethics**, [S. l.], n. 14, p. 248, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11569-020-00373-5>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11569-020-00373-5#citeas>. Acesso em: 17 out. 2021.

³³³ HANSSON, Sven Ove. How extreme is the precautionary principle? **Nanoethics**, [S. l.], n. 14, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11569-020-00373-5>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11569-020-00373-5#citeas>. Acesso em: 17 out. 2021.

³³⁴ CARTA do Rio. 1992. Brasília, DF: Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Iphan), 1995. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20do%20Rio%201992.pdf>. Acesso em: 17 out. 2021.

³³⁵ “Nanotechnology provides us with excellent examples both of potential dangers that have sufficient support to trigger the precautionary principle and of potential dangers that lack such support”. HANSSON, Sven Ove. How extreme is the precautionary principle? **Nanoethics**, [S. l.], n. 14, p. 249, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11569-020-00373-5>. Disponível em:

sendo as pesquisas, demonstradas nas literaturas de análise no capítulo anterior, sugerem que a *nanotech* pode causar danos à biota marinha, o que incorre em devida medida precaucional.

Insta salientar que a adoção de tal princípio não se trata de uma moratória para o desenvolvimento, isto é, de um radicalismo em que *por precaução* as nanotecnologias sejam impedidas de progredir/circular no mercado econômico³³⁶. Para sustentar tal argumento, há que se mencionar as duas versões atribuídas à precaução pela doutrina³³⁷ e qual destas seria a perpetuação do *desenvolver*, mas sem o *criar indiscriminado*, desatento ao ambiente marinho.

Nesse sentido, há a denominada aplicação *fraca* e a aplicação *forte* do princípio. Quanto à primeira,

A abordagem fraca é apoiada por uma suposição otimista de que os recursos ambientais não são capazes de se esgotar e, se forem, que substitutos adequados podem ser encontrados. Em tal cenário, o papel da precaução é principalmente como um incentivo à inovação e à adaptação gerencial. Isso é especialmente verdade quando a ameaça de dano irreversível é palpável e os benefícios da intervenção são claros. Essa versão ‘empurra um pouco o ônus da prova para a antecipação de possíveis danos ou prova de danos esperados’³³⁸ (tradução nossa).

<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11569-020-00373-5#citeas>. Acesso em: 17 out. 2021.

³³⁶ HOHENDORFF, Raquel von; ENGELMANN, Wilson. **Nanotecnologias aplicadas aos agroquímicos no Brasil**: a gestão dos riscos a partir do diálogo entre fontes do direito. Curitiba: Juruá, 2014.

³³⁷ Nesse sentido: “[...] há um considerável debate acadêmico sobre se *forte* ou *fraco* aplicam-se as versões do princípio da precaução. Quando visto no contexto de declarações existentes do princípio, é claro que há uma relativamente ampla variedade de aplicações. Os pontos de divisão entre as versões forte e fraca são a natureza da ameaça, o ponto de gatilho para o princípio e a reversão do ônus da prova. Consequentemente, a reivindicação de *status* habitual tem fortemente desafiado pela afirmação de que existem muitas variedades de princípio (a nível nacional, regional e internacional) e as variedades, muitas vezes aponte para diferentes conclusões sobre exatamente o que o princípio é ou não é”. (grifo nosso; tradução nossa). “[...] there is considerable academic debate over whether strong or weak versions of the precautionary principle apply. When viewed in the context of existing statements of the principle, it is clear that there is a relatively wide variety of applications. The dividing points between the strong and weak versions are the nature of the threat, the triggering point for the principle, and the reversal of the burden of proof. Accordingly, the customary status claim has been strongly challenged by the assertion that there are many varieties of the principle (at national, regional and international levels) and the varieties often point to different conclusions on exactly what the principle is, or is not”. GILLESPIE, Alexander. The precautionary principle in the Twenty-First Century: a case study of noise pollution in the ocean. **The International Journal of Marine and Coastal Law**, [S. l.], v. 22, n. 1, p. 71, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1163/157180807781475227>. Disponível em: https://brill.com/view/journals/estu/22/1/article-p61_3.xml. Acesso em: 17 out. 2021.

³³⁸ “The weak approach is supported by an optimistic assumption that environmental resources are not capable of exhaustion, and if they are, that suitable replacements can be found. In such a setting

Portanto, defende-se o desenvolvimento em harmonia com a precaução, não se utilizando de limitadores, de inacessibilidade do progresso – tanto que se trata de defesa do próprio setor de produção. Enquanto a segunda aplicação, a *versão forte* do princípio, trata-se de defesa dos ambientalistas, em que o ônus da prova está para aqueles que *desenvolvem* os riscos - para o presente estudo, os fabricantes das nanotecnologias³³⁹. Nesse íterim, tal versão “[...] engloba uma visão de mundo pessimista, em que a precaução é necessária, porque a ecologia não é considerada robusta e requer uma intervenção muito maior do que foi alcançada no passado”³⁴⁰ (tradução nossa).

Nesse sentido, consoante informam Hohendorff e Engelmann, o caminho da versão forte levaria a uma paralisação de todas as formas de ações tecnológicas; sendo oportuno, portanto, possibilitar a precaução de *modo fraco*, visto que, dessa forma, haveria a melhor aplicação e desenvolvimento das nanos³⁴¹. Inclusive, insta salientar que se trata de aplicação assim realizada nos Estados Unidos, em que “[...] o desconhecido é fomento das investigações”³⁴².

Além do exposto, menciona-se que, caso houvesse uma visão piramidal com todos os princípios elencados pelo *NanoAction*, o princípio da precaução estaria na

the role of precaution is mostly as a spur to innovation and managerial adaptation. This is especially so where the threat of irreversible damage is palpable and the benefits of intervention are clear. This version ‘pushes the burden of proof out a bit, into the anticipation of possible harm or expected proof of harm’”. Conforme exemplificado na nota de rodapé 68, obra de: GILLESPIE, Alexander. The precautionary principle in the Twenty-First Century: a case study of noise pollution in the ocean. **The International Journal of Marine and Coastal Law**, [S. l.], v. 22, n. 1, p. 71, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1163/157180807781475227>. Disponível em: https://brill.com/view/journals/estu/22/1/article-p61_3.xml. Acesso em: 17 out. 2021.

³³⁹ HOHENDORFF, Raquel von; ENGELMANN, Wilson. **Nanotecnologias aplicadas aos agroquímicos no Brasil**: a gestão dos riscos a partir do diálogo entre fontes do direito. Curitiba: Juruá, 2014.

³⁴⁰ “[...] encompasses a pessimistic world view, whereby precaution is necessary because the ecology is not believed to be robust, and requires much greater intervention than has been achieved in the past”. Conforme exemplificado na nota de rodapé 68, GILLESPIE, Alexander. The precautionary principle in the Twenty-First Century: a case study of noise pollution in the ocean. **The International Journal of Marine and Coastal Law**, [S. l.], v. 22, n. 1, p. 71, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1163/157180807781475227>. Disponível em: https://brill.com/view/journals/estu/22/1/article-p61_3.xml. Acesso em: 17 out. 2021.

³⁴¹ HOHENDORFF, Raquel von; ENGELMANN, Wilson. **Nanotecnologias aplicadas aos agroquímicos no Brasil**: a gestão dos riscos a partir do diálogo entre fontes do direito. Curitiba: Juruá, 2014.

³⁴² HOHENDORFF, Raquel von; ENGELMANN, Wilson. **Nanotecnologias aplicadas aos agroquímicos no Brasil**: a gestão dos riscos a partir do diálogo entre fontes do direito. Curitiba: Juruá, 2014. p. 152.

classificação primária, no mais alto nível. Isso porque, sua atuação *in dubium pro ambiente*³⁴³ possibilita

A aplicação da norma ao caso concreto (que) só será válida na medida em que valorizar os direitos naturais-humanos-fundamentais básicos, entendendo-se um exame hermenêutico focado na sustentabilidade do meio ambiente equacionado com desenvolvimento econômico. A tarefa não é das mais fáceis, mas o círculo hermenêutico – onde a pré-compreensão, a interpretação e a aplicação se encontram de modo unificado e não partilhado – deverá orientar-se a partir de um sistema ambiental atribuído pela Constituição da República de 1988³⁴⁴.

Nesse ínterim, de maneira prática o princípio possibilitará que as nanotecnologias possam se desenvolver *discricionariamente*, dentro de uma *zona de segurança*, correspondendo com uma atuação protetiva para o ambiente marinho. Assim sendo, manifesta-se a precaução com

O desenvolvimento de técnicas de monitoramento e diagnóstico de nanomateriais (objetivando ampliar os conhecimentos a área nanotoxicológica e sobre o ciclo de vida destes materiais), bem como para se determinar formas apropriadas, sustentáveis e seguras de produção (incluindo manejo de resíduos), é imprescindível para que se possa desfrutar das benesses das nanotecnologias com segurança³⁴⁵.

Logo, as ações, que influenciarão direta ou indiretamente nos oceanos, devem passar pelo crivo de tal princípio. Quanto mais, com o aprofundar e o desenvolver do Direito, as novas regulamentações deverão observar este comando precaucional³⁴⁶. Importante observar, por fim, que: “[...] a incerteza científica não (pode) dar margem a decisões eivadas de subjetivismo ou de superficialidade”³⁴⁷. Portanto, novamente, não se trata de uma aplicação indiscriminada do princípio e sem objetivar ao fim que, realmente, almeja: *preaver do que remediar*.

³⁴³ ENGELMANN, Wilson; FLORES, André Stringhi; WEYERMULLER, André Rafael. **Nanotecnologias, marcos regulatórios e direito ambiental**. Curitiba: Honoris Causa, 2010. p. 208.

³⁴⁴ ENGELMANN, Wilson; FLORES, André Stringhi; WEYERMULLER, André Rafael. **Nanotecnologias, marcos regulatórios e direito ambiental**. Curitiba: Honoris Causa, 2010. p. 208.

³⁴⁵ HOHENDORFF, Raquel von; ENGELMANN, Wilson. **Nanotecnologias aplicadas aos agroquímicos no Brasil: a gestão dos riscos a partir do diálogo entre fontes do direito**. Curitiba: Juruá, 2014. p.157.

³⁴⁶ Quanto às novas perspectivas de regulamentações, estas serão melhor apresentadas no finalizar deste capítulo.

³⁴⁷ MACHADO, Paulo Affonso Leme. ART. 225, § 1o, V. *In*: CANOTILHO, José Joaquim Gomes. **Comentários à Constituição do Brasil**. 2. São Paulo Saraiva 2018. p. 2189. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788553602377>. Acesso em: 17 out. 2021.

4.3.2 Princípio sobre a regulamentação mandatória nanoespecífica

Ao analisar a principiologia ambiental brasileira, não se encontra princípio semelhante em *terrae brasilis* sobre *regulamentação mandatória*. No entanto, pode-se usar um princípio análogo que remete à atuação do Estado em conduzir a regulação das nanotecnologias, de acordo com o que prevê os estudos do Projeto *NanoAction*, ou seja, na esteira de que se faz “[...] urgente e necessário criar mecanismos de avaliação e regulamentação governamental, levando em conta as propriedades exibidas pelos nanomateriais”³⁴⁸.

Nesse íterim, encontra-se semelhança normativa no *princípio da obrigatoriedade de atuação (intervenção) estatal*, conforme descrito na tabela 1. Isso porque o comando do art. 225 da Constituição Federal também prevê a obrigação, além da coletividade, do Poder Público em defender e preservar o meio ambiente³⁴⁹. Quanto ao artigo 174, também do texto constitucional, verifica-se que o Estado, “[...] como agente normativo e regulador da atividade econômica [...] exercerá [...] as funções de fiscalização, incentivo e planejamento”³⁵⁰. Portanto: “O Poder Público é detentor de efetivos meios para *incentivar* a efetiva preservação do meio ambiente, evitando a concretização do dano ambiental”³⁵¹.

Quanto aos instrumentos internacionais, cita-se a Declaração do Rio de 1992, no seu Princípio 11, que prevê: “Os Estados deverão promulgar leis eficazes sobre o meio ambiente”³⁵². Logo, percebe-se um genuíno comando de regulamentação mandatória, seja na literalidade em aplicar uma legislação, seja em basilar uma devida proteção, um caminho, por meio de princípios, por exemplo, para que haja o desenvolvimento de regulações por outras fontes.

³⁴⁸ INTERNATIONAL CENTER FOR TECHNOLOGY ASSESSMENT (ICTA). **Princípios para a supervisão de nanotecnologias e nanomateriais**. Washington, DC, 2007. Disponível em: https://www.centerforfoodsafety.org/files/120132_icta_portugese_lo-rez_81903_82038.pdf. Acesso em: 30 set. 2021.

³⁴⁹ BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 17 out. 2021.

³⁵⁰ BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 17 out. 2021.

³⁵¹ SILVA, Romeu Faria Thomé da. **Manual de direito ambiental**. Salvador: JusPODIVM, 2019. p. 76.

³⁵² CARTA do Rio. 1992. Brasília, DF: Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Iphan), 1995. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20do%20Rio%201992.pdf>. Acesso em: 17 out. 2021.

Consoante verificado na análise inicial do presente capítulo, o Brasil não tem uma previsão legal, um marco regulatório específico para as nanotecnologias, há apenas projetos de lei. Na realidade, nem mesmo a nível internacional se encontra amparo legislativo no que concerne a todas as etapas do ciclo de vida nano. Isso é exemplificado no próprio *NanoAction*:

A legislação atual prevê uma regulamentação inadequada para os nanomateriais. Um regime regulatório específico, modificado ou *sui generis*, para o caso dos nanomateriais, deve ser parte integral no desenvolvimento das nanotecnologias³⁵³.

Assim sendo, o *sui generis* pode ser demonstrado com a utilização de outras formas de regulação, em que o Estado não seja o único protagonista, mas que esteja a conduzir, por exemplo, outras *espécies* de regulamentos que não são *nascedouras* do Poder Legislativo, ou de órgãos regulamentadores estatais, o que provoca uma visão plural do Direito, um pluralismo jurídico, como será explicado no fim deste capítulo. No entanto, à título de discussões primárias, verifica-se no quadro 1 diferentes *categorias normativas* que podem conquistar a efetividade do princípio em análise:

³⁵³ INTERNATIONAL CENTER FOR TECHNOLOGY ASSESSMENT (ICTA). **Princípios para a supervisão de nanotecnologias e nanomateriais**. Washington, DC, 2007. Disponível em: https://www.centerforfoodsafety.org/files/120132_icta_portugese_lo-rez_81903_82038.pdf. Acesso em: 30 set. 2021.

Quadro 1 - Diferentes comandos normativos para a regulação das nanos e para a proteção do meio ambiente

Nível	Descrição	Categoria	Desafios
Primeiro nível	Regulação estatal-legislativa	<i>Hard law</i>	Acompanhar as rápidas modificações no cenário da pesquisa, da inovação e do desenvolvimento
Segundo nível	Regulação que mescla as perspectivas públicas e privadas (agências reguladoras e organismos normalizadores)	Hibridização entre <i>hard</i> e <i>soft law</i>	Harmonização regulatória; a promoção de sua obrigatoriedade, sem a intervenção legislativa
Terceiro nível	Regulação estabelecida por empresas privadas	<i>Soft law</i>	Arcabouço normativo que atenda exclusivamente à parte empresarial; necessidade da construção de uma ética empresarial.

Fonte: Engelmann e Hohendorff³⁵⁴.

O quadro 1, em seu primeiro nível, compreende “[...] a *hard law* (que) representa a produção normativa própria do Poder Legislativo, no exercício de sua função típica de legislar”³⁵⁵. Ademais, conforme exposto neste capítulo, há um significativo desafio para que haja a implementação desta *hard law*; bem como que esta consiga acompanhar as transformações das nanotecnologias. Nesse ínterim, “[...] estão abertos distintos caminhos de regulação, por outros atores sociais que não o Estado, e mesmo agências reguladoras a ele vinculadas”³⁵⁶.

Neste *caminho aberto*, abre-se espaço para hibridização - segundo nível no quadro 1, isto é, a atuação da *hard law* e da *soft law* - que, nos termos de

³⁵⁴ ENGELMANN, Wilson; HOHENDORFF, Raquel von. Modelos regulatórios para as nanotecnologias: entre a *hard law* e a *soft law*. In: ANDRADE, Luís Renato Balbão (org.). **Pequeno não quer dizer seguro**: nanotecnologias e macroinquietações. São Paulo : Fundacentro, 2021. p. 226. *E-book*.

³⁵⁵ ENGELMANN, Wilson; HOHENDORFF, Raquel von. Modelos regulatórios para as nanotecnologias: entre a *hard law* e a *soft law*. In: ANDRADE, Luís Renato Balbão (org.). **Pequeno não quer dizer seguro**: nanotecnologias e macroinquietações. São Paulo: Fundacentro, 2021. p. 226. *E-book*.

³⁵⁶ ENGELMANN, Wilson; HOHENDORFF, Raquel von. Modelos regulatórios para as nanotecnologias: entre a *hard law* e a *soft law*. In: ANDRADE, Luís Renato Balbão (org.). **Pequeno não quer dizer seguro**: nanotecnologias e macroinquietações. São Paulo: Fundacentro, 2021. p. 228. *E-book*.

Engelmann e Hohendorff, é “[...] representada por recomendações, orientações e guias de boas práticas aplicadas por redes de organizações privadas e agências regulatórias estatais”³⁵⁷. O que poderia ser exemplificado com o trabalho conjunto da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) - uma autarquia que objetiva a proteção da saúde social -, e das normas técnicas ISO - que já edita normas sobre a nano, consoante verificado no capítulo 1 -, representando a atuação privada. Assim ambas auxiliariam na proteção do ambiente marinho frente às nanotecnologias.

É importante salientar que a Anvisa já realizou passos iniciais para criar uma regulação que, ao fim, não prosperou, a exemplificar: o Comitê Interno de Nanotecnologia da Anvisa, instituído em 2015³⁵⁸, que, até o momento, não houve notícias de sua efetividade. Bem como a criação do subtema nº 74.1, processo nº: 25351.506163/2014-74, que visava a tratar do assunto: *Nanotecnologia Relacionada a Produtos e Processos Sujeitos à Vigilância Sanitária*, conforme a *Agenda Regulatória 2015-2016* da Anvisa³⁵⁹. No entanto, este subtema foi arquivado com a seguinte justificativa:

A proposta de obrigatoriedade de informar à Anvisa a composição e as características dos produtos sujeitos à vigilância sanitária que se enquadram como nanomateriais não contempla objetivo específico. O tema de nanotecnologias carece de maior aprofundamento dentro da Agência para que possa haver uma proposta de uma regulamentação estruturada. Além disso, no momento, existe a necessidade da Agência focar em outros subtemas de maior urgência³⁶⁰.

Destaca-se a última frase da justificativa: *há temas de maior urgência*. Diante de significativas pesquisas demonstrando os riscos da *nanotech*, é difícil imaginar que não se enquadre tal inovação como um tema de urgência a ser colocado em

³⁵⁷ ENGELMANN, Wilson; HOHENDORFF, Raquel von. Modelos regulatórios para as nanotecnologias: entre a hard law e a soft law. In: ANDRADE, Luís Renato Balbão (org.). **Pequeno não quer dizer seguro**: nanotecnologias e macroinquietações. São Paulo: Fundacentro, 2021. p. 228. *E-book*.

³⁵⁸ AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (Anvisa). **Instituído Comitê Interno de Nanotecnologia da Anvisa**. Brasília, DF, 26 jun. 2015. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/anos-anteriores/instituido-comite-interno-de-nanotecnologia-da-anvisa>. Acesso em: 30 set. 2021.

³⁵⁹ AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (Anvisa). **ROI 008/2016**. Ata de Reunião. Brasília, DF, 2016. Disponível em: <http://antigo.anvisa.gov.br/documents/33760/2609037/Ata+da+Reuni%C3%A3o+Ordin%C3%A1ria+Interna+n%C2%BA+008%2C+de+24+de+novembro+de+2016/b02458a2-f16d-4801-be15-334d58f7ec29>. Acesso em: 30 set. 2021.

³⁶⁰ AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (Anvisa). **ROI 008/2016**. Ata de Reunião. Brasília, DF, 2016. P. 4-5. Disponível em: <http://antigo.anvisa.gov.br/documents/33760/2609037/Ata+da+Reuni%C3%A3o+Ordin%C3%A1ria+Interna+n%C2%BA+008%2C+de+24+de+novembro+de+2016/b02458a2-f16d-4801-be15-334d58f7ec29>. Acesso em: 30 set. 2021.

pauta. O quanto o Brasil, ao longo desse período de 2016 (publicação do arquivamento) a 2021, já produziu e vendeu produtos nano no país sem qualquer base de uma autarquia fundamental para a devida vigilância sanitária no mercado brasileiro³⁶¹.

No entanto, como já salientado no capítulo 3, não se almeja juízos solipsistas no presente trabalho e, ademais, sempre se valorizará o contraditório e a ampla defesa; logo, deve-se mencionar uma grande esperança: há o prelúdio de reversão para tal quadro de inércia governamental frente às nanotecnologias. Além do Comitê criado pelo Governo Federal, citado no capítulo 2, há a Portaria do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) nº 1.122, de 19 de março de 2020, que definiu como prioridade o setor de Nanotecnologia, no âmbito do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), para a realização de projetos de pesquisa, de desenvolvimento, entre o período 2020 a 2023³⁶². Nesse ínterim, há um plano de ação proposto desde 2019, para que haja, entre outras significativas propostas, a regulamentação das nanotecnologias de uma maneira extremamente inovadora³⁶³, conforme figura 19.

³⁶¹ A exemplificar, o patamar de desenvolvimento de nanotecnologias no Brasil já atingiu e está em plena expansão nas *startups* brasileiras. SERAPHIM, Renato. Brasil já produz startups expoentes em nanotecnologia. **AgTech Garage New**, [S. l.], 13 maio 2021. Disponível em: <https://www.agtechgarage.news/brasil-ja-produz-startups-expoentes-em-nanotecnologia/>. Acesso em: 05 nov. 2021.

³⁶² BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Gabinete do Ministro. Portaria nº 1.122, de 19 de março de 2020. Define as prioridades, no âmbito do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), no que se refere a projetos de pesquisa, de desenvolvimento de tecnologias e inovações, para o período 2020 a 2023. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, ed. 57, Seção: 1, p. 19, 24 mar. 2020. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-1.122-de-19-de-marco-de-2020-249437397>. Acesso em: 05 nov. 2021.

³⁶³ BERTI, Leandro Antunes *et al.* (org.). **Plano de ação de ciência, tecnologia e inovação para tecnologias convergentes e habilitadoras**: nanotecnologia. Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, 2019. Disponível em: https://antigo.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/tecnologia/tecnologiasSetoriais/Plano-de-Acao-em-CTI_Nanotecnologia_FINAL.pdf. Acesso em: 05 nov. 2021.

Figura 19 - Proposta de cooperação entre órgãos e entidades para a formação de marcos regulatórios para as nanotecnologias.



Fonte: Berti *et al.*³⁶⁴.

Tal proposta, elencada na figura, trata-se de estratégia do Programa Nacional de Nanossecurança, delineado no plano de ação do Governo Federal. Veja-se que há uma espécie de hibridização, conforme explicado no quadro 1, em que há o Estado e a iniciativa privada como cooperadores de regulação - inclusive, menciona-se, no próprio documento, a utilização da ISO³⁶⁵. Ademais, percebe-se, até mesmo, a academia como agente cooperador na formação regulatória. Nesse sentido, destaca-se:

Programa será capaz de harmonizar a atuação da academia, da indústria e do poder público em torno do desenvolvimento das Nanotecnologias de forma segura e sustentável social, ambiental e economicamente, dando suporte e subsídios para o estabelecimento e a consolidação da nanotecnologia nacional³⁶⁶.

³⁶⁴ BERTI, Leandro Antunes *et al.* (org.). **Plano de ação de ciência, tecnologia e inovação para tecnologias convergentes e habilitadoras**: nanotecnologia. Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, 2019. p. 44. Disponível em: https://antigo.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/tecnologia/tecnologiasSetoriais/Plano-de-Acao-em-CTI_Nanotecnologia_FINAL.pdf. Acesso em: 05 nov. 2021.

³⁶⁵ BERTI, Leandro Antunes *et al.* (org.). **Plano de ação de ciência, tecnologia e inovação para tecnologias convergentes e habilitadoras**: nanotecnologia. Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, 2019. Disponível em: https://antigo.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/tecnologia/tecnologiasSetoriais/Plano-de-Acao-em-CTI_Nanotecnologia_FINAL.pdf. Acesso em: 05 nov. 2021.

³⁶⁶ BERTI, Leandro Antunes *et al.* (org.). **Plano de ação de ciência, tecnologia e inovação para tecnologias convergentes e habilitadoras**: nanotecnologia. Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, 2019. p. 44. Disponível em: https://antigo.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/tecnologia/tecnologiasSetoriais/Plano-de-Acao-em-CTI_Nanotecnologia_FINAL.pdf. Acesso em: 05 nov. 2021.

Com toda certeza, a efetivação desta proposta, extremamente promissora, que cita, a destacar, a necessidade de avaliar as rotas de exposição de nanopartículas, como dérmica, inalação e ingestão; bem como o *safe by design* (segurança para o projeto), fará o *princípio da regulamentação mandatória nanoespecífica*, em análise, atingir a efetividade – e a utilização das nanotecnologias poderá ser harmonizada, em plena segurança, com o meio ambiente.

Realizada a devida exposição sobre os deslindes atuais do Estado e a *nanotech*, segue-se para a análise do quadro 1, verificando o terceiro nível, *soft law*. Este trata-se de

[...] uma categoria normativa alternativa, por isso inserida no terceiro nível, que surge no espaço não preenchido pela atuação legislativa, ampliando a força privada do chamado pluralismo normativo. Este envolve novas formas de regulação das nanotecnologias geradas por organizações privadas (institutos de pesquisa e empresas)³⁶⁷.

Portanto, a exemplo, as normas técnicas poderiam ser classificadas no terceiro nível. Isso porque se enquadrariam como “[...] códigos internos de condutas nas organizações, nos quais se possam projetar o cumprimento voluntário das normativas que apresentam baixo fator de obrigatoriedade”³⁶⁸. Como referido na tabela, a *ética* seria um grande desafio para este comando normativo, vez que são criados, conduzidos, por aqueles que também desenvolvem a inovação.

Assim sendo estas análises normativas foram necessárias para demonstrar que, se não há uma legislação que possa tornar efetiva a *regulamentação mandatória*, há diferentes comandos para cumprimento desta, sustentados pelos princípios que regem o Direito, em especial, o Ambiental. Por fim, o que se compreende no presente princípio trata-se de, em suma, um *dever de proteção estatal (Schutzpflicht)*, “[...] no sentido de que ao Estado é atribuída também a tarefa de garantir e proteger os direitos fundamentais dos cidadãos”³⁶⁹ - e quão fundamental se faz desfrutar de um meio ambiente ecologicamente equilibrado.

³⁶⁷ ENGELMANN, Wilson; HOHENDORFF, Raquel Von; FRÖHLICH, Afonso. Das nanotecnologias aos nanocosméticos: conhecendo as novidades na escala manométrica. *In*: ENGELMANN, Wilson. **Nanocosméticos e o direito à Informação**. Erechim: Devian, 2015. p. 231.

³⁶⁸ ENGELMANN, Wilson; HOHENDORFF, Raquel Von; FRÖHLICH, Afonso. Das nanotecnologias aos nanocosméticos: conhecendo as novidades na escala manométrica. *In*: ENGELMANN, Wilson. **Nanocosméticos e o direito à Informação**. Erechim: Devian, 2015. p. 232.

³⁶⁹ LEAL, Mônia Clarissa Henning; MAAS, Rosana Helena. **“Dever de proteção estatal”, “proibição de proteção insuficiente” e controle jurisdicional de políticas públicas**. Rio de Janeiro : Lumen Juris, 2020. p. 131. *E-book*.

4.3.3 Princípio de proteção e saúde do público e dos trabalhadores

Faz-se conhecido no Direito do Trabalho brasileiro o princípio da proteção ao trabalhador; no entanto, considerando aqui a abordagem ambiental e que o Projeto *NanoAction*, ao citar tal princípio, almeja tutelar não somente os trabalhadores, mas a sociedade como um todo, isto é, todos os indivíduos expostos ao ciclo de vida nano – e estendendo, também, ao ambiente-mar e seus seres vivos –, analisar-se-á, primeiro, o princípio que seria análogo no Direito Ambiental. Assim sendo, para confirmar tal argumento, cita-se o excerto do *NanoAction*:

As pessoas que pesquisam, desenvolvem, fabricam, embalam, manuseiam, transportam, usam e descartam nanomateriais serão os mais expostos e, conseqüentemente, os mais propensos a sofrer os danos potenciais à sua saúde. [...] Apesar do crescimento da nanomão-de-obra, não existe regulamentação, nem nenhum padrão de saúde, que observe os riscos associados com as nanotecnologias e os nanomateriais, e ainda não há métodos aceitáveis para medir a exposição aos nanomateriais no ambiente de trabalho³⁷⁰.

Diante deste contexto de proteção *macro*, o princípio mais próximo a uma tutela humana (e do ambiente marinho) digna frente às nanotecnologias, seria o *princípio da dignidade da pessoa humana* na sua dimensão ecológica³⁷¹ - ou seja, o princípio voltado a uma salvaguarda de *todos*. Nesse ínterim, esta visão eco materializa-se com a ideia “[...] de um bem-estar ambiental (assim como de um bem-estar individual e social) indispensável a uma vida digna, saudável e segura”³⁷². Trata-se, portanto, de *ampliar* a dignidade da pessoa humana, de não a restringir “[...] a uma dimensão puramente biológica ou física, pois contempla a qualidade de vida como um todo, inclusive do ambiente em que a vida humana (mas também a não-humana) se desenvolve”³⁷³.

³⁷⁰ INTERNATIONAL CENTER FOR TECHNOLOGY ASSESSMENT (ICTA). **Princípios para a supervisão de nanotecnologias e nanomateriais**. Washington, DC, 2007. Disponível em: https://www.centerforfoodsafety.org/files/120132_icta_portuguese_lo-rez_81903_82038.pdf. Acesso em: 30 set. 2021.

³⁷¹ Conforme assim exemplifica o princípio Sarlet e Fensterseifer. SARLET, Ingo Wolfgang; FENSTERSEIFER, Tiago. **Curso de direito ambiental**. Rio de Janeiro: Forense, 2021. *E-book*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786559641161>. Acesso em: 30 set. 2021.

³⁷² SARLET, Ingo Wolfgang; FENSTERSEIFER, Tiago. **Curso de direito ambiental**. Rio de Janeiro: Forense, 2021. p. 235. *E-book*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786559641161>. Acesso em: 30 set. 2021

³⁷³ SARLET, Ingo Wolfgang; FENSTERSEIFER, Tiago. Algumas notas sobre a dimensão ecológica da dignidade da pessoa humana e sobre a dignidade da vida em geral. *In*: MOLINARO, Carlos

No que concerne à previsão legal brasileira, cita-se a Constituição Federal, com o art. 225 da Constituição Federal, ao tratar do direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, que se trata de *bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida*³⁷⁴. Ademais, há, nas leis infraconstitucionais, tal previsão do princípio, como o art. 2º, *caput*, da Lei da Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/81), tabela 1, que estabelece:

A Política Nacional do Meio Ambiente tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana³⁷⁵.

Quanto à previsão nos instrumentos internacionais, traz-se a lume o Princípio 1 da Declaração do Rio de 1992. Este, em seu texto, prevê que os seres humanos: “Têm direito a uma vida saudável e produtiva, em harmonia com a natureza”³⁷⁶.

No entanto, citar-se-á, também, como ramificação da dignidade humana, e de modo a dar lume ao cumprimento desta, 1) a proteção à saúde, 2) a proteção do trabalhador, 3) a proteção do consumidor, 4) bem como a proteção de riscos – este já analisado no item sobre o *princípio da precaução*. Quanto à proteção da saúde, há o art. 196, da Constituição Federal, que prevê que a *saúde é direito de todos e dever do Estado* e, ainda, que deverá haver ações e serviços para que haja a *promoção, a proteção e a recuperação* da saúde³⁷⁷. Portanto, a utilização das nanotecnologias não deve macular a saudabilidade dos mares que refletem na saúde humana.

Albert *et al.* (org.). **A dignidade da vida e os direitos fundamentais para além dos humanos**: uma discussão necessária. Belo Horizonte: Fórum, 2008. p. 180.

³⁷⁴ BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 17 out. 2021.

³⁷⁵ BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 15 set. 2021.

³⁷⁶ CARTA do Rio. 1992. Brasília, DF: Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Iphan), 1995. Disponível em: <http://portal.iphhan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20do%20Rio%201992.pdf>. Acesso em: 17 out. 2021.

³⁷⁷ BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 17 out. 2021.

Quanto à proteção do trabalhador, pode-se citar a Convenção nº 155, art. 4º, da Organização Internacional do Trabalhador (OIT)³⁷⁸, ratificada pelo Brasil, em que se deve manter a segurança e a saúde dos trabalhadores e o meio ambiente de trabalho. Ademais, a previsão constitucional, art. 1º, inciso IV, ao tratar dos valores sociais do trabalho, inclui, intrinsecamente, a dignidade humana do trabalhador em sua definição³⁷⁹. Nesse ínterim, as etapas de feitura nano devem se valer do mínimo de proteção, vez que além da probabilidade de contaminar o trabalhador, que está exposto à tecnologia, um ambiente que não se utiliza de equipamentos de segurança, em consequência, fará com que as nanopartículas se empalhem no ambiente e, em seguida, como *descarte*, estas dirijam-se aos oceanos e impactem todo o ecossistema marinho. No que concerne à proteção do consumidor, que será analisado no *princípio da transparência*, pode-se apontar o art. 5º, inciso XXXII, da Constituição Federal, uma vez que ao consumidor será assegurada a tutela, e esta inclui, a exemplificar, a produção/venda de um produto que não gere riscos ao humano e ao ambiente, nos termos do art. 8º, e seus parágrafos, do Código de Defesa do Consumidor (CDC)³⁸⁰.

Portanto, trata-se de interpretar a dignidade humana em uma dimensão normativa arraigada ao eco, em que: “A qualidade, o equilíbrio e a segurança ambiental passam a integrar o conjunto de condições materiais (novo direito fundamental) indispensáveis a uma vida digna e saudável”³⁸¹, garantindo um *mínimo existencial ecológico*³⁸². Entretanto, como, efetivamente, proteger para proporcionar a completude normativa do princípio? Para esta resposta, há o nascimento de subsídios regulatórios diferenciados, que se propõem a abranger as fases das nanotecnologias, consoante será verificado no subcapítulo 4.4.

³⁷⁸ BRASIL. Decreto nº 1.254, de 29 de setembro de 1994. Promulga a Convenção número 155, da Organização Internacional do Trabalho, sobre Segurança e Saúde dos Trabalhadores e o Meio Ambiente de Trabalho, concluída em Genebra, em 22 de junho de 1981. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1990-1994/d1254.htm Acesso em: 15 set. 2021.

³⁷⁹ BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 17 out. 2021.

³⁸⁰ BRASIL. **Lei nº 8.078, de 11 de setembro de 1990**. Dispõe sobre a proteção do consumidor e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8078compilado.htm. Acesso em: 17 out. 2021.

³⁸¹ SARLET, Ingo Wolfgang; FENSTERSEIFER, Tiago. **Curso de direito ambiental**. Rio de Janeiro: Forense, 2021. p. 237. *E-book*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786559641161>. Acesso em: 17 out. 2021.

³⁸² SARLET, Ingo Wolfgang; FENSTERSEIFER, Tiago. **Curso de direito ambiental**. Rio de Janeiro: Forense, 2021. *E-book*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786559641161>. Acesso em: 17 out. 2021.

4.3.4 Princípio da sustentabilidade ambiental

No que concerne ao princípio em análise, também denominado de *princípio do desenvolvimento sustentável*³⁸³, verifica-se sua previsão no texto constitucional, expressamente, no art. 170, inciso VI, ainda que haja outras previsões em demais artigos da Constituição. Consoante dispositivo, depreende-se: “a *defesa do meio ambiente*, inclusive mediante tratamento diferenciado conforme o impacto ambiental dos produtos e serviços e de seus processos de elaboração e prestação”³⁸⁴ (grifo nosso). Ademais, conforme tabela 1, as leis infraconstitucionais também ratificam o desenvolvimento sustentável, a destacar, o art. 10 da Lei da Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/81)³⁸⁵, ao tratar da necessidade do estudo prévio de impacto ambiental (EIA), isto é, a devida análise exigida “[...] para a instalação de obra ou atividade causadora ou potencialmente causadora de significativa degradação ambiental”³⁸⁶. Quanto aos instrumentos internacionais, destaca-se a Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento de 1992, no seu Princípio 4: “[...] alcançar o desenvolvimento sustentável, a proteção do meio ambiente deverá constituir-se como parte integrante do processo de desenvolvimento e não poderá ser considerada de forma isolada”³⁸⁷.

Nesse íterim, o papel normativo da sustentabilidade ambiental aplica-se às nanotecnologias na medida que visa a orientar o desenvolvimento com a devida segurança ao ambiente-mar. Assim sendo faz-se necessário mencionar a análise do próprio Projeto *NanoAction*:

As medidas utilizadas na legislação vigente, tais como a relação entre massa e exposição, são insuficientes para os nanomateriais.

³⁸³ BOSCO, Carlos Alberto. O princípio constitucional da sustentabilidade: importância, dimensão e referência mundial. **Revista do Tribunal Regional do Trabalho da 15ª Região**, Campinas, n. 53, 2018. Disponível em: https://juslaboris.tst.jus.br/bitstream/handle/20.500.12178/158251/2018_bosco_carlos_principio_constitucional.pdf?sequence=3&isAllowed=y. Acesso em: 17 out. 2021.

³⁸⁴ BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 17 out. 2021.

³⁸⁵ BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 15 set. 2021.

³⁸⁶ SARLET, Ingo Wolfgang; FENSTERSEIFER, Tiago. **Curso de direito ambiental**. Rio de Janeiro: Forense, 2021. p. 263. *E-book*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786559641161>. Acesso em: 17 out. 2021.

³⁸⁷ CARTA do Rio. 1992. Brasília, DF: Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Iphan), 1995. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20do%20Rio%201992.pdf>. Acesso em: 17 out. 2021.

As leis existentes não dispõem de uma análise do ciclo (nano) e não conseguem identificar e regular as lacunas legais. A gestão da sustentabilidade ambiental dos nanomateriais envolve a direção e a correção destas falhas³⁸⁸.

Gerir um desenvolvimento sustentável para corrigir, inclusive, a falta de marcos regulatórios nas especificidades do ciclo de vida nano. O princípio atua, portanto, no direcionamento das legislações vigentes e para a realização *inadiável* de regular as lacunas na fabricação, no transporte, no uso do produto, na reciclagem e na eliminação dos resíduos nanotecnológicos³⁸⁹ - essa regulação não seria, necessariamente, pelo suporte legislativo, mas pelas normas técnicas, como a ISO, pela via de outros recursos de regulamentação, conforme será verificado ao fim deste capítulo. Assim sendo

Os efeitos do ciclo (nanotecnológico) completo sobre o meio ambiente, a saúde e a segurança devem ser avaliados antes da comercialização. Os fundos governamentais para estudos ambientais, de saúde e segurança devem ser aumentados dramaticamente e deve ser delineado um plano estratégico sobre os riscos³⁹⁰.

Neste plano estratégico, existe a visão do Estado Ecológico de Direito em que o Estado “[...] deve ser um regulador da atividade econômica, capaz de dirigi-la e ajustá-la aos valores e princípios constitucionais, objetivando o desenvolvimento humano e social de forma ambientalmente sustentável”³⁹¹. Destarte, faz-se oportuno citar o voto do ministro Og Fernandes do Superior Tribunal de Justiça, no julgado REsp 1.546.415/SC - recurso que tratava sobre as áreas de preservação permanente -, objetivando, por fim, trazer a lume a aplicação do princípio em análise:

³⁸⁸ INTERNATIONAL CENTER FOR TECHNOLOGY ASSESSMENT (ICTA). **Princípios para a supervisão de nanotecnologias e nanomateriais**. Washington, DC, 2007. Disponível em: https://www.centerforfoodsafety.org/files/120132_icta_portugese_lo-rez_81903_82038.pdf. Acesso em: 30 set. 2021.

³⁸⁹ INTERNATIONAL CENTER FOR TECHNOLOGY ASSESSMENT (ICTA). **Princípios para a supervisão de nanotecnologias e nanomateriais**. Washington, DC, 2007. Disponível em: https://www.centerforfoodsafety.org/files/120132_icta_portugese_lo-rez_81903_82038.pdf. Acesso em: 30 set. 2021.

³⁹⁰ INTERNATIONAL CENTER FOR TECHNOLOGY ASSESSMENT (ICTA). **Princípios para a supervisão de nanotecnologias e nanomateriais**. Washington, DC, 2007. Disponível em: https://www.centerforfoodsafety.org/files/120132_icta_portugese_lo-rez_81903_82038.pdf. Acesso em: 30 set. 2021.

³⁹¹ SARLET, Ingo Wolfgang; FENSTERSEIFER, Tiago. **Curso de direito ambiental**. Rio de Janeiro: Forense, 2021. p. 262. *E-book*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786559641161>. Acesso em: 30 set. 2021.

Indubitavelmente o desenvolvimento econômico deve ser obtido com o devido saneamento do planeta e com a administração inteligente dos recursos naturais. Caso contrário, o suposto desenvolvimento obliteraria a possibilidade de sobrevivência da espécie humana. Logo, cuida-se de obter um desenvolvimento sustentável que respeite o ecossistema e proporcione um trato adequado, respeitoso, para com o Planeta Terra. [...] Nesse sentido, compreendo não ser possível qualquer forma de intervenção antrópica que possa representar violação do princípio do meio ambiente ecologicamente equilibrado, uma vez que se trata de direito fundamental da nossa geração e um dever para com as gerações futuras³⁹².

Perpassando uma discussão mais profunda, da análise do excerto, o desenvolver sustentável está ligado a um dever, não somente de evitar riscos - remetendo, aqui, aos estudos de Canaris -, mas um dever para com as futuras gerações, isto é, de proporcionar um ambiente igual ou melhor a este que a geração vivente está a desfrutar³⁹³. Assim sendo é imprescindível desenvolver a nano em consonância com o que Schwab e Davis advertem: que a *Quarta Revolução Industrial* esteja centralizada na humanidade³⁹⁴.

4.3.5 Princípio da transparência e Princípio da participação do público

Optou-se por analisar os dois princípios conjuntamente, uma vez que havendo transparência/informação³⁹⁵, haverá a participação do público. Nesse ínterim, nas palavras de Wedy: “[...] a participação pública na tomada de decisão socioambiental ficaria inviabilizada ou seriamente hesitante e insuficiente, sem

³⁹² BRASIL. Tribunal Superior de Justiça. (2. Turma). **REsp nº 1546415 / SC (2015/0188079-0)**. Recorrente: Ministério Público do Estado de Santa Catarina. Recorridos: Carniel & Guimaraes Comercio de Combustiveis Ltda - EPP; Murilo Carniel Guimaraes; Alexandre Carniel Guimaraes; Amilto da Silva Guimaraes. Interesse: Fundação Ambiental Municipal de Lauro Muller Município de Lauro Müller. Relator: Min. OG Fernandes. 21 de fevereiro de 2019. Disponível em: <https://processo.stj.jus.br/processo/pesquisa/?tipoPesquisa=tipoPesquisaNumeroRegistro&termo=201501880790&totalRegistrosPorPagina=40&aplicacao=processos.ea>. Acesso em: 05 nov. 2021.

³⁹³ SARLET, Ingo Wolfgang; FENSTERSEIFER, Tiago. **Curso de direito ambiental**. Rio de Janeiro: Forense, 2021. p. 262. *E-book*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786559641161>. Acesso em: 30 set. 2021.

³⁹⁴ SCHWAB, Klaus; DAVIS, Nicholas. **Aplicando a Quarta Revolução Industrial**. São Paulo: EDIPRO, 2019. p. 43.

³⁹⁵ Quanto ao *princípio da transparência*, há na doutrina quem não classifique como parte do arcabouço principiológico ambiental, mas compreende a *informação* como um pilar do *princípio da participação*, a exemplificar Ingo Sarlet, que assim conceitua: “[...] constitui componente essencial do exercício pleno da democracia participativa ecológica e, portanto, além de um dos pilares do princípio da participação pública, assume também a condição de direito fundamental”. SARLET, Ingo Wolfgang; FENSTERSEIFER, Tiago. **Curso de direito ambiental**. Rio de Janeiro: Forense, 2021. p. 281. *E-book*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786559641161>. Acesso em: 30 set. 2021.

transparência das informações pertinentes”³⁹⁶. Portanto, um princípio está interligado/dependente do outro.

A começar a análise pelo princípio da transparência ou da informação, verifica-se que há respaldo constitucional, em destaque, o art. 5º, XIV³⁹⁷, que prevê o direito ao acesso à informação e o art. 225, em que consta a participação do público para as questões ambientais³⁹⁸ – e que, claramente, dar-se-á por meio da informação -; bem como o parágrafo 1º, inciso III, do artigo supra, ao tratar da publicação do Estudo de Impacto Ambiental³⁹⁹. Ademais, cita-se o aparato das leis infraconstitucionais exemplificar, o art. 9º da Lei da Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/81), incisos VII e XI, que tratam sobre a necessidade de divulgar/informar sobre as questões ambientais⁴⁰⁰, consoante se depreende da tabela 1. No que concerne à perspectiva internacional, acrescenta-se a previsão na Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento de 1992, no seu Princípio 10, destacando-se o seguinte comando:

No plano nacional, toda pessoa deverá ter acesso adequado à informação sobre o ambiente de que dispõem as autoridades públicas, incluída a informação sobre os materiais e as atividades que oferecem perigo a suas comunidades, assim como a oportunidade de participar dos processos de adoção de decisões. Os Estados deverão facilitar e fomentar a sensibilização e a participação do público, colocando a informação à disposição de todos. Deverá ser proporcionado acesso efetivo aos procedimentos judiciais e administrativos, entre os quais o ressarcimento de danos e recursos pertinentes⁴⁰¹.

³⁹⁶ WEDY, Gabriel. A transparência e a cooperação entre os povos no direito ambiental. **Consultor Jurídico**, São Paulo, 12 set. 2020. Disponível em: <https://www.conjur.com.br/2020-set-12/ambiente-juridico-transparencia-cooperacao-entre-povos-direito-ambiental>. Acesso em: 05 nov. 2021.

³⁹⁷ BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 17 out. 2021.

³⁹⁸ BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 17 out. 2021.

³⁹⁹ BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 17 out. 2021.

⁴⁰⁰ BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 15 set. 2021.

⁴⁰¹ CARTA do Rio. 1992. Brasília, DF: Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Iphan), 1995. Disponível em: <http://portal.iphhan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20do%20Rio%201992.pdf>. Acesso em: 17 out. 2021.

Importante salientar que, principalmente, ao tratar de nanotecnologias, a informação deve, ou melhor, deveria ser um princípio em que não se poderia relativizar sua aplicação na sociedade da *Era Nano*⁴⁰². A tecnologia ainda é juvenil e a população encontra-se abarcada pelo desconhecimento, o que resulta em entusiasmo e temor pela inovação. Para embasar tal argumento, cita-se a pesquisa realizada com 510 pessoas nos municípios de Seropédica/RJ e Rio de Janeiro/RJ, entre 2017 e 2018, por Raphaela Gonçalves, em seu mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), ao tratar de alimentos com a tecnologia nano:

Observa-se ainda certa relutância em comprar alimentos produzidos por nanotecnologia devido, principalmente, à maior percepção de riscos associados às novas tecnologias e a um certo grau de neofobia [aversão às novidades] em relação à tecnologia de alimentos, principalmente de parte das mulheres, idosos e pessoas com baixa escolaridade⁴⁰³.

Ainda que se encontrou os entusiastas da nano, encontrou-se também os avessos à inovação, consoante o excerto. Insta destacar que a pesquisa se baseou, em principal, nos produtos alimentares, mas pode se fazer extensiva aos demais ramos *nanotech*, uma vez a pesquisadora também buscou tratar de outras utilizações da escala nanométrica. Logo, diante desse cenário que se apresenta, faz-se imprescindível reproduzir as palavras de Machado quanto à informação:

A qualidade e a quantidade de informação irão traduzir o tipo e a intensidade da participação na vida social e política. Quem estiver mal informado nem por isso estará impedido de participar, mas a qualidade de sua participação será prejudicada. A ignorância gera apatia ou inércia dos que teriam legitimidade para participar⁴⁰⁴.

Portanto, novamente, sem a informação não haverá a participação. Ainda, mesmo que haja a informação, mas esta for deficitária, incompleta ou

⁴⁰² Há que se fazer a devida ressalva: todo direito deve ser analisado em um contexto, de modo a não ser *sempre* absoluto - o que se aplica, também, para o direito à transparência. A exemplificar, havendo uma informação que comprometa a segurança nacional, ainda que exista o direito à informação, será necessário manter o sigilo; isso porque poderá incorrer em risco de vida aos nacionais, ou seja, em macular o direito à vida - bem jurídico mais importante a ser assegurado.

⁴⁰³ BASTOS, Aline. Pesquisa avalia como as pessoas percebem a nanotecnologia. **Empraba Notícias**, Brasília, DF, 02 out. 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/38106803/pesquisa-avalia-como-as-pessoas-percebem-a-nanotecnologia>. Acesso em: 05 nov. 2021.

⁴⁰⁴ MACHADO, Paulo Affonso Leme. **Direito à informação e meio ambiente**. São Paulo: Malheiros, 2006. p. 34.

incompreensível, haverá igualmente uma mácula na participação do público, uma vez que não existirá a qualidade necessária nas informações que foram compartilhadas sobre, para o caso de análise, as nanotecnologias. Trata-se, apenas, de *mascarar* a transparência. Nesse ínterim, além da vasta informação, esta deverá ser *compreensível* para a sociedade.

Seguindo na análise do princípio, importa aferir que o grande foco da presente pesquisa é trabalhar as questões, os dispositivos ambientais, mas não se pode omitir que as nanopartículas, que chegam aos oceanos, são de procedência de produtos, sejam eles para uso direto nos animais marinhos, sejam eles para uso no ser humano que reflete no ecossistema aquático. Dessa forma, buscar-se-á recorrer ao Direito do Consumidor; até porque se há a compreensão de que se pode ir além das paredes jurídicas, com a transcisciplinariedade - antes informada no capítulo 3 -, quanto mais pode-se admitir a interação dentro do próprio sistema do Direito, entre diferentes áreas desta ciência, a fim de conquistar a completude ao tratar do princípio.

Assim sendo cita-se o art. 6º, inciso III, do CDC (tabela 1), ao prever que são direitos básicos do consumidor: “a informação adequada e clara sobre os diferentes produtos [...] com especificação correta, [...] bem como (informação) sobre os riscos que apresentem”⁴⁰⁵. É preciso informar aos consumidores o que estão levando de tecnologia nano para as suas casas e difundindo para os oceanos. É preciso informar os benefícios e os riscos nanotecnológicos à biota marinha e à população. Ora, há rótulos de identificação *nano*, como aqueles que identificam que determinado alimento é transgênico? Há rótulos que advertem cuidado em determinados (ou todos) produtos *nano*, semelhante àqueles que se encontram para manusear os agrotóxicos? Não, não há. Com toda certeza, do ponto de análise de quem escreve esta monografia, tal princípio é o mais urgente a ser *implementado em terrae brasilis*.

Em continuidade à análise principiológica, faz-se importante salientar o seguinte excerto: “O maior objetivo do princípio da informação no direito ambiental é,

⁴⁰⁵ BRASIL. **Lei nº 8.078, de 11 de setembro de 1990**. Dispõe sobre a proteção do consumidor e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8078compilado.htm. Acesso em: 17 out. 2021.

efetivando o direito à informação, permitir aos indivíduos a participação ativa nas questões relativas ao meio ambiente”⁴⁰⁶. Assim sendo

Para evitar o dano, é preciso que o conhecimento do que e de como se prevenir seja compartilhado da forma mais ampla possível. O incentivo à pesquisa, à publicação dos resultados e a inovações tecnológicas, bem como da disponibilização geral das informações organizadas, assim como à democratização da educação atuam de forma a capacitar pessoas com consciência ambiental, cientes das necessidades do meio ambiente, aumentando a possibilidade de se evitar a degradação ambiental⁴⁰⁷.

Portanto, até por uma questão de evitar o dano, a informação se faz imprescindível. Toda a sociedade, dessa maneira, compreenderá a atuação nanotecnológica no ambiente marinho, bem como no ecossistema.

Após analisada a transparência, pode-se seguir para a participação do público. Quanto a este princípio, verifica-se aporte da Constituição Federal, tanto no art. 1º, parágrafo único, quanto no art. 225, *caput*, do texto constitucional. Ao analisar o primeiro artigo, certifica-se que: “todo o poder emana do povo, que o exerce por meio de representantes eleitos ou diretamente”⁴⁰⁸; dessa maneira, os estudos de Sarlet e Fensterseifer exemplificam que a:

[...] expressão ‘diretamente’ (no parágrafo) [...] agrega a dimensão de uma democracia participativa, abrindo espaço para a intervenção direta dos cidadãos nas decisões políticas no âmbito de todos os poderes republicanos (Legislativo, Executivo e Judiciário)⁴⁰⁹.

⁴⁰⁶ GOMES, Renata Nascimento; SIMIONI, Rafael Lazzarotto. A aplicação do princípio da informação no direito ambiental brasileiro, na forma de confiança e risco em Niklas Luhmann. **Revista Direito Ambiental e Sociedade**, Caxias do Sul, v. 4, n. 2, p. 117-136, 2014. Disponível em: <http://www.uces.br/etc/revistas/index.php/direitoambiental/article/viewFile/3341/2255>. Acesso em: 05 nov. 2021.

⁴⁰⁷ GOMES, Renata Nascimento; SIMIONI, Rafael Lazzarotto. A aplicação do princípio da informação no direito ambiental brasileiro, na forma de confiança e risco em Niklas Luhmann. **Revista Direito Ambiental e Sociedade**, Caxias do Sul, v. 4, n. 2, p. 117-136, 2014. Disponível em: <http://www.uces.br/etc/revistas/index.php/direitoambiental/article/viewFile/3341/2255>. Acesso em: 05 nov. 2021.

⁴⁰⁸ BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 17 out. 2021.

⁴⁰⁹ SARLET, Ingo Wolfgang; FENSTERSEIFER, Tiago. **Curso de direito ambiental**. Rio de Janeiro: Forense, 2021. p. 272. *E-book*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786559641161>. Acesso em: 30 set. 2021.

Quanto ao *caput* do art. 225, em análise à previsão do texto, salienta-se: “[...] o dever dos cidadãos de participarem da construção de um mundo sustentável”⁴¹⁰. Além dos artigos constitucionais, que se encontram previstos na tabela 1, aponta-se as leis infraconstitucionais que preveem a participação do público: Lei da Ação Popular (Lei nº 4.717/65), Lei da Ação Civil Pública (Lei nº 7.347/85) e Lei de Acesso à Informação Ambiental (Lei nº 10.650/2003), estas caracterizadas como “[...] bons exemplos normativos desse paradigma jurídico-participativo ecológico, pois colocam ao acesso do público interessado mecanismos eficientes de controle e participação em temas afetos ao meio ambiente”⁴¹¹.

Quanto aos instrumentos internacionais, consoante anteriormente verificado no Princípio 10 da Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento de 1992, há a previsão da participação do público: “Os Estados deverão facilitar e fomentar a sensibilização e a participação do público, colocando a informação à disposição de todos”⁴¹². Na realidade, importa destacar que o Princípio traz a lume três pilares do princípio da participação, nos termos de Sarlet e Fensterseifer: “a) acesso à informação ambiental; b) participação pública na tomada de decisões; c) acesso à justiça em matéria ambiental”⁴¹³. No entanto, como se daria o desenvolvimento destes pilares, como haveria a aplicação do princípio frente às nanotecnologias? Para esta resposta, o Projeto *NanoAction* exemplifica da seguinte forma:

[...] a participação pública exige procedimentos democráticos, a serem considerados em todos os processos em que as nanotecnologias são desenvolvidas e utilizadas; e é necessário que, em cada fase do desenvolvimento, as preocupações do público e seus valores informem e terminem guiando a regulamentação da nanotecnologia. E, em vez de partir da falsa alegação de que as mudanças tecnológicas são inevitáveis e/ou sempre benéficas, o processo de desenvolvimento das nanotecnologias, seus produtos e sistemas deverão submeter-se às necessidades sociais que devem

⁴¹⁰ SARLET, Ingo Wolfgang; FENSTERSEIFER, Tiago. **Curso de direito ambiental**. Rio de Janeiro: Forense, 2021. p. 273. *E-book*. Disponível em:

<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786559641161>. Acesso em: 30 set. 2021.

⁴¹¹ SARLET, Ingo Wolfgang; FENSTERSEIFER, Tiago. **Curso de direito ambiental**. Rio de Janeiro: Forense, 2021. p. 278. *E-book*. Disponível em:

<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786559641161>. Acesso em: 30 set. 2021.

⁴¹² CARTA do Rio. 1992. Brasília, DF: Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Iphan), 1995. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20do%20Rio%201992.pdf>. Acesso em: 17 out. 2021.

⁴¹³ SARLET, Ingo Wolfgang; FENSTERSEIFER, Tiago. **Curso de direito ambiental**. Rio de Janeiro: Forense, 2021. p. 276. *E-book*. Disponível em:

<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786559641161>. Acesso em: 30 set. 2021.

ser identificadas a partir do debate e dos processos de decisão abertos, nos quais o público interessado participe⁴¹⁴.

Portanto, a sociedade estaria presente em todas as etapas, desde o advento da proposta das nanos no mercado brasileiro, como uma espécie de estudo prévio de impacto ambiental, até o *poder de polícia*, em que a sociedade identifique se há o cumprimento de um determinado controle regulatório - este que perpassa todas as fases do ciclo de vida nano -, e, caso não haja a efetivação da regulação, que a sociedade leve às autoridades competentes esta mácula. Importante observar que esta participação democrática é desenvolvida por meio da parte 1) legislativa, 2) administrativa e 3) judiciária⁴¹⁵.

Quanto à primeira, trata-se da sociedade estar envolvida na criação do Direito Ambiental, o que pode-se citar o plebiscito e a iniciativa popular. Referente à segunda, seria formular e executar as políticas ambientais, como colocar em pauta o estudo prévio de impacto ambiental em audiências públicas, em que a população estará a par e discutirá a situação de impacto ao meio ambiente que se apresenta. No que concerne à terceira, a atuação por meio de processos - e, também, de vias administrativas -, como a ação popular, para efetivar a proteção ambiental, destacando-se, em consequência, a participação do Poder Judiciário e do Ministério Público⁴¹⁶. Importante observar que todos os exemplos são assegurados pela Constituição Federal dada a importância dos direitos expostos. Por fim, a fala de Romeu Thomé sintetiza a importância desta atuação social e, conseqüentemente, o papel crucial deste princípio:

Compete não apenas ao Poder Público a implementação do preceito constitucional do meio ambiente saudável. À coletividade é assegurado o poder-dever de não se omitir do relevante papel de atuação para a melhoria do meio ambiente e de sua própria qualidade de vida⁴¹⁷.

Nesse ínterim, a participação da sociedade civil estaria como um basilar indispensável para o desenvolvimento harmônico das nanotecnologias com a

⁴¹⁴ INTERNATIONAL CENTER FOR TECHNOLOGY ASSESSMENT (ICTA). **Princípios para a supervisão de nanotecnologias e nanomateriais**. Washington, DC, 2007. Disponível em: https://www.centerforfoodsafety.org/files/120132_icta_portugese_lo-rez_81903_82038.pdf. Acesso em: 30 set. 2021.

⁴¹⁵ SILVA, Romeu Faria Thomé da. **Manual de direito ambiental**. Salvador: JusPODIVM, 2019. p. 78.

⁴¹⁶ Conforme exemplifica os três pilares democráticos por Romeu Thomé. SILVA, Romeu Faria Thomé da. **Manual de direito ambiental**. Salvador: JusPODIVM, 2019.

⁴¹⁷ SILVA, Romeu Faria Thomé da. **Manual de direito ambiental**. Salvador: JusPODIVM, 2019. p. 79.

saudabilidade marinha. Na realidade, tal comando normativo, que abarca um dever e um direito⁴¹⁸, trata-se de um princípio geral de matéria ambiental⁴¹⁹. Isso porque a “[...] degradação ambiental em termos locais, regionais e planetários aproxima-se de um quadro-limite e preocupante [...]. (Logo,) não se pode conceber um cidadão apático ou mesmo conformado”⁴²⁰ com os deslindes atuais e futuros do meio ambiente, em principal, com a desinformação e a não participação da sociedade em questões nano e seus reflexos nos oceanos.

4.3.6 Princípio sobre a consideração de outros impactos

O princípio de análise não encontra semelhante no Direito Ambiental brasileiro. Na realidade, trata-se de uma imposição que versa diferentes princípios do arcabouço principiológico. Isso porque, conforme orienta o Projeto *NanoAction*, ao tratar sobre a consideração de outros impactos:

É essencial desenvolver mais pesquisas de impactos sobre o meio ambiente, saúde, segurança e aspectos econômicos das nanotecnologias. Isto deverá incluir a pesquisa de ação comunitária para ajudar os cidadãos a entender os potenciais benefícios e prejuízos dos projetos das nanotecnologias⁴²¹.

Nesse íterim, verifica-se na definição supra que se pode utilizar: I) o *princípio da precaução*, pois se analisará os riscos da inovação, o que ela gerará nos diversos setores de uma sociedade; II) o *princípio da transparência*, para os cidadãos compreenderem, pelas pesquisas, o funcionamento das nanotecnologias; III) o *princípio da participação do público*, pois tendo a informação os indivíduos irão cooperar no auxílio ambiental – e em todos os demais impactos que a tecnologia irá produzir -; e o IV) do *princípio do desenvolvimento sustentável*, pois se há pesquisas

⁴¹⁸ SARLET, Ingo Wolfgang; FENSTERSEIFER, Tiago. **Curso de direito ambiental**. Rio de Janeiro: Forense, 2021. p. 273. *E-book*. Disponível em:

<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786559641161>. Acesso em: 30 set. 2021.

⁴¹⁹ SARLET, Ingo Wolfgang; FENSTERSEIFER, Tiago. **Curso de direito ambiental**. Rio de Janeiro: Forense, 2021. p. 273. *E-book*. Disponível em:

<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786559641161>. Acesso em: 30 set. 2021.

⁴²⁰ SARLET, Ingo Wolfgang; FENSTERSEIFER, Tiago. **Curso de direito ambiental**. Rio de Janeiro: Forense, 2021. p. 275. *E-book*. Disponível em:

<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786559641161>. Acesso em: 30 set. 2021.

⁴²¹ INTERNATIONAL CENTER FOR TECHNOLOGY ASSESSMENT (ICTA). **Princípios para a supervisão de nanotecnologias e nanomateriais**. Washington, DC, 2007. Disponível em: https://www.centerforfoodsafety.org/files/120132_icta_portugese_lo-rez_81903_82038.pdf. Acesso em: 30 set. 2021.

para a compreensão da nano, pode-se conhecer como ela poderá se desenvolver de modo *eco-friendly* para os oceanos. A citar alguns exemplos da principiologia jurídica ambiental, que se pode interpretar, sobre a consideração de outros impactos da *nanotech*.

No entanto, pode-se também filtrar o presente princípio do *NanoAction* e assim defini-lo como análogo ao *princípio da proibição do retrocesso ecológico*. Verificou-se, no raciocínio supra, que ao se analisar os impactos e fazer um estudo sobre a ciência nano e a sua atuação frente à sociedade, os agentes estão a tornar efetivo os dispositivos constitucionais e infraconstitucionais que orientam a defesa do meio ambiente – para, assim, jamais ocorrer o retrocesso de direitos e de garantias ambientais. Nesse sentido, consoante afirmam Sarlet e Fensterseifer, a proibição do retrocesso compreende

[...] que a tutela jurídica ambiental – tanto sob a perspectiva constitucional quanto infraconstitucional – deve operar de modo progressivo tanto no âmbito normativo quanto institucional, a fim de assegurar a ampliação da qualidade de vida existente hoje e atender a padrões cada vez mais rigorosos de tutela da dignidade da pessoa humana, não admitindo redução no seu regime jurídico, em termos normativos e fáticos, a um nível de proteção inferior àquele verificado hoje⁴²².

Portanto, ao analisar os impactos das nanotecnologias para a biota marinha, tal estudo possibilita praticar/assegurar o não retrocesso; a respeitar o comando constitucional de progressividade ambiental, implicitamente, elencado no art. 225, §1º, consoante observa Wedy⁴²³. Ademais, pode-se citar a observância do comando infraconstitucional, conforme tabela 1, art. 2º, *caput*, da Lei da Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/81), que também dispõe, orienta, a preservação, a melhoria e a recuperação ambiental⁴²⁴.

Quanto à previsão internacional, cita-se a Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento de 1992, que em seu Princípio 27 prevê o “[...]”

⁴²² SARLET, Ingo Wolfgang; FENSTERSEIFER, Tiago. **Curso de direito ambiental**. Rio de Janeiro: Forense, 2021. p. 413. *E-book*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786559641161>. Acesso em: 30 set. 2021.

⁴²³ WEDY, Gabriel. O Brasil e a vedação constitucional de retrocessos ambientais. **Consultor Jurídico**, São Paulo, 25 maio 2019. Disponível em: <https://www.conjur.com.br/2019-mai-25/ambiente-juridico-brasil-vedacao-retrocessos-ambientais>. Acesso em: 05 nov. 2021.

⁴²⁴ BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 15 set. 2021.

desenvolvimento progressivo do direito internacional no campo do desenvolvimento sustentável”⁴²⁵. Nesse íterim, referente ao princípio e à Rio 92, incumbe salientar a observação de Prieur:

A não regressão já está reconhecida como indispensável ao desenvolvimento sustentável, como garantia dos direitos das gerações futuras. Ela reforça a efetividade dos princípios gerais do Direito Ambiental, enunciados no Rio de Janeiro em 1992. É um verdadeiro seguro para a sobrevivência da Humanidade, devendo ser reivindicada pelos cidadãos do mundo, impondo-se, assim, aos Estados⁴²⁶.

O comando de proibição ao retrocesso é substancialmente interpretado como aquele que *impede* o advento de legislações regressivas, de legislações que venham a macular as conquistas sustentáveis em leis que já vigoram; bem como as conquistas de todo o aparato jurídico⁴²⁷. Entretanto, não se deve *limitar* a atuação de um princípio de tamanha valia a questões de criação de leis. Pode-se utilizar, também, para a inércia do Estado em tomar providências quanto às nanotecnologias no ambiente marinho.

Estar inerte frente aos riscos também é um retrocesso para as conquistas ambientais do Direito. Não se está aqui a compreender a necessidade de implementar uma lei, da *forma tradicional* - aquela regulada pelo trâmite constitucional -, uma vez que o novo e o desafio da escala nanométrica tratam-se de uma abertura de possibilidades normativas, consoante verificado no *princípio sobre a regulamentação mandatária nanoespecífica*. Assim sendo valer-se destes diferentes comandos de regulação é uma possibilidade de não retrocesso – assim como aplicar os princípios aqui trabalhados. Importante, por fim, destacar que a proibição do regresso “[...] não

⁴²⁵ CARTA do Rio. 1992. Brasília, DF: Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Iphan), 1995. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20do%20Rio%201992.pdf>. Acesso em: 17 out. 2021.

⁴²⁶ PRIEUR, Michel. O princípio da proibição de retrocesso ambiental. In: BRASIL. Senado Federal. Comissão de Meio Ambiente, Defesa do Consumidor e Fiscalização e Controle (org.). **Princípio da proibição de retrocesso ambiental**. Brasília, DF: Senado Federal, 2012. p. 49. *E-book*. Disponível em: <https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/242559/000940398.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. Acesso em: 17 out. 2021.

⁴²⁷ Nesse sentido, Benjamin: “(O princípio do não retrocesso) transformou-se em *princípio geral do Direito Ambiental* a ser invocado na avaliação da legitimidade de iniciativas legislativas destinadas a reduzir o patamar de tutela legal do meio ambiente”. BENJAMIN, Antonio Herman. Princípio da proibição de retrocesso ambiental. In: BRASIL. Senado Federal. Comissão de Meio Ambiente, Defesa do Consumidor e Fiscalização e Controle (org.). **Princípio da proibição de retrocesso ambiental**. Brasília, DF: Senado Federal, 2012. p. 62. *E-book*. Disponível em: <https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/242559/000940398.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. Acesso em: 17 out. 2021.

se trata de uma moratória ao desenvolvimento, ao crescimento tecnológico. [...] Trata-se, apenas, de limites para impedir o [...] desenvolvimento desenfreado sem a devida análise dos danos [...] aos seres vivos”⁴²⁸.

4.3.6 Princípio da responsabilidade do produtor

Quanto a este, no âmbito principiológico brasileiro, pode-se assemelhar ao *princípio do poluidor-pagador*. Isso porque, conforme define o Projeto *NanoAction*:

Qualquer pessoa que comercializa nanoprodutos, incluindo as pessoas que desenvolvem nanomateriais, as que os operam, os seus fabricantes e as pessoas envolvidas em sua venda devem ser responsabilizadas por quaisquer danos causados pelos seus produtos⁴²⁹.

Claramente, tal definição para o princípio é semelhante à proposta do *poluidor-pagador*. Veja-se que este abrange duas interpretações: 1) obriga-se o poluidor a reparar o meio ambiente, assumindo aquele as responsabilidades pelos danos causados; e 2) o princípio, ainda, incentiva, aqueles que desejarem atingir o meio ambiente, a desistirem da prática⁴³⁰.

Quanto à previsão no texto constitucional, o princípio do poluidor-pagador encontra respaldo no art. 225, §3^o⁴³¹. Enquanto nas leis infraconstitucionais, cita-se a Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605/1998)⁴³² e o Código Civil, ao prever no art. 931: “os empresários individuais e as empresas respondem independentemente de culpa pelos danos causados pelos produtos postos em circulação”⁴³³, conforme

⁴²⁸ MENDONÇA, Isabelle de Cássia; GUIMARÃES, Natália Vitória Adam. Princípio do não retrocesso ambiental. In: LEAL, Daniele Weber S. *et al.* **Orientações jurídicas para o segmento industrial e comercial que trabalha com nanotecnologias**. São Paulo: Karywa, 2020. p. 22. *E-book*. Disponível em: <https://Editorakarywa.Files.Wordpress.Com/2020/10/Jusnano-Unisinos-Cartilha.Pdf>. Acesso em: 30 ago. 2021.

⁴²⁹ INTERNATIONAL CENTER FOR TECHNOLOGY ASSESSMENT (ICTA). **Princípios para a supervisão de nanotecnologias e nanomateriais**. Washington, DC, 2007. Disponível em: https://www.centerforfoodsafety.org/files/120132_icta_portuguese_lo-rez_81903_82038.pdf. Acesso em: 30 set. 2021.

⁴³⁰ SILVA, Romeu Faria Thomé da. **Manual de direito ambiental**. Salvador: JusPODIVM, 2019. p. 73 .

⁴³¹ BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 17 out. 2021.

⁴³² BRASIL. **Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998**. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm. Acesso em: 05 nov. 2021.

⁴³³ BRASIL. **Lei nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002**. Institui o Código Civil. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/l10406compilada.htm. Acesso em: 17 out. 2021.

dispositivos exemplificados na tabela 1. Ainda, referente à previsão internacional, verifica-se previsão no Princípio 16 da Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento de 1992:

As autoridades nacionais deveriam procurar fomentar a internalização dos custos ambientais e o uso de instrumentos econômicos, tendo em conta o critério de que o causador da contaminação deveria, por princípio, arcar com os seus respectivos custos de reabilitação, considerando o interesse público, e sem distorcer o comércio e as inversões internacionais⁴³⁴.

Faz-se interessante observar a atuação do poluidor-pagador do ponto de vista da jurisprudência. Para esta análise, Sarlet e Fensterseifer exemplificam:

[...] o princípio do poluidor-pagador tem sido um grande aliado no sentido de reforçar o regime da responsabilidade civil em matéria ambiental, extraindo eficácia normativa do princípio em questão. Não por outra razão, o princípio é comumente empregado como fundamento, sobretudo na jurisprudência do STJ, para justificar, por exemplo, a adoção da teoria do risco integral para a hipótese de dano ambiental e, portanto, rejeição das excludentes de ilicitude, bem como a reparação integral do dano ambiental, admitindo a imposição de obrigações de fazer, não fazer e pagar quantia em dinheiro, além, é claro, da inversão do ônus da prova e da caracterização do dano moral ambiental coletivo⁴³⁵.

Este posicionamento em julgados, por parte dos Tribunais, ratifica quão desastroso se demonstra o dano ambiental e a necessidade de romper com as irresponsabilidades ao meio ambiente, tendo em vista a aplicação do Direito de maneira *implacável* diante de máculas ao ambiente. Ainda se verifica o papel do Estado neste controle de adotar medidas significativas. Nesse íterim,

[...] aqueles que financiam a comercialização e os ativamente envolvidos em nanotecnologia e seus setores devem ser responsáveis pela segurança de seus produtos e por quaisquer danos decorrentes da ausência de medidas de precaução para proteger o público ou o meio ambiente⁴³⁶.

⁴³⁴ CARTA do Rio. 1992. Brasília, DF: Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Iphan), 1995. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20do%20Rio%201992.pdf>. Acesso em: 17 out. 2021.

⁴³⁵ SARLET, Ingo Wolfgang; FENSTERSEIFER, Tiago. **Curso de direito ambiental**. Rio de Janeiro: Forense, 2021. p. 258. *E-book*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786559641161>. Acesso em: 30 set. 2021.

⁴³⁶ INTERNATIONAL CENTER FOR TECHNOLOGY ASSESSMENT (ICTA). **Princípios para a supervisão de nanotecnologias e nanomateriais**. Washington, DC, 2007. Disponível em:

Deve existir uma preocupação por parte dos fabricantes com a saúde do ecossistema. Claramente, o Estado, a população, como visto nos princípios anteriores, necessitam tomar iniciativas de salvaguarda à natureza, à complexidade que a constitui, principalmente, para o caso de estudo, o ambiente marinho. Entretanto, no que concerne à sociedade produtora, aqueles que criam/trabalham diariamente com a tecnologia nano, para estes a responsabilidade se torna ainda maior, pois são a fonte de disseminação de nanopartículas. Portanto, o *dever de evitar riscos* que circunda toda a base principiológica aqui utilizada, novamente, sustenta que se trata de uma colaboração conjunta, do Estado e da sociedade. Até porque o comando do art. 225 da Constituição Federal brasileira traz a compulsoriedade da ação, da tomada de iniciativa para salvaguardar o ambiente marinho⁴³⁷.

Por fim, após a análise deste princípio, e de todos aqueles listados pelo *NanoAction*, verifica-se que “[...] a responsabilidade em relação às gerações futuras e a elaboração de um património natural comum, começa aqui e agora”⁴³⁸. Na realidade, estes “[...] não tem outro advogado de defesa que não o cidadão, o utilizador e o consumidor que nós somos”⁴³⁹.

4.4 O resgate do continente de inovação e de proteção marinha, unicamente (?), pelo basilar principiológico: entre ilusões e possibilidades

Desafios extraordinários necessitam de respostas extraordinárias; logo, indubitavelmente, ao leitor, com o finalizar da análise e da proposta principiológica, talvez, sobrevenha a seguinte questão: *poderá o arcabouço de princípios apresentados ser a resposta categórica para tutelar o ambiente marinho?* E a resposta para este questionamento é um categórico: *não!*

Faz-se certo que estruturar as peculiaridades de uma inovação complexa como as nanotecnologias, apenas, pela base principiológica, e, conjuntamente, o

https://www.centerforfoodsafety.org/files/120132_icta_portugese_lo-rez_81903_82038.pdf. Acesso em: 30 set. 2021.

⁴³⁷ BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 17 out. 2021.

⁴³⁸ OST, François. **A natureza à margem da lei**. A ecologia à prova do direito. Lisboa: Instituto Piaget, 1995. p. 395.

⁴³⁹ OST, François. **A natureza à margem da lei**. A ecologia à prova do direito. Lisboa: Instituto Piaget, 1995. p. 395.

regramento disponível, seria uma utopia, um admitir eivado de ilusões. Não, não se está aqui a se contradizer na própria *tese* levantada nas linhas anteriores; isso porque princípios são fundamentais para auxiliarem e possibilitarem uma segurança jurídica, uma vez que estes são “[...] os alicerces, as fontes de inspiração, a alma do direito”⁴⁴⁰. Todavia, faz-se necessário mencionar a arguição de Pellin ao analisar as nanotecnologias e a atuação do Direito:

Por sua vez, projetar que as fontes indiretas de Direito, tais como, os princípios gerais, a analogia e os costumes (art. 5º, LINDB) podem agasalhar as inovações de qualquer ordem e que os Tribunais podem preencher os espaços vazios em caso de conflitos, é ilusão porque o novo que está sendo experimentado não tem lastro histórico e, portanto, não há como proporcionar situação análoga e de resposta, no mínimo, razoável e coerente que satisfaça o trânsito socioeconômico que está acontecendo na (sociedade da informação) SOCINFO⁴⁴¹.

Logo, definitivamente, os princípios não irão agasalhar, por completo, as inovações de qualquer ordem, como a nano (basta recorrer ao capítulo 3 e verificar quão extraordinária, quão peculiar, é a atuação das nanopartículas projetadas) - até porque, como analisado nos princípios, novas regulamentações são mencionadas como subsídios necessários para a salvaguarda marinha. No entanto, há que se fazer a devida ressalva, utilizando-se da linguagem marítima que lastreia este trabalho: a base principiológica é imprescindível na medida que atua como um farol, um significativo lume para o Direito, para que este siga ao porto da devida tutela ambiental marinha⁴⁴².

Entretanto, no que concerne às peculiaridades da navegação, até chegar a este porto, neste *iter maritimis* - em que se analisa a rota, os ventos -, para o objetivo final, há a necessidade da atuação de um *ambiente regulatório*. Para sustentar tal argumento, utiliza-se a fala de Engelmann, em que adverte o imperativo de “[...] uma pluralidade (de atores) regulatórios – públicos e privados – trabalhando em conjunto e orientados pelos elementos estruturantes da ‘regulação do amanhã’,

⁴⁴⁰ MALTEZ, José Adelino. **Princípios de ciência política**. O problema do direito. Lisboa: Instituto Superior de Ciências Sociais e Políticas, 1998. v. 2, p. 75.

⁴⁴¹ PELLIN, Daniela. O sandbox regulatório como fonte de direito no caso de disrupção nanotech. *In: CONGR. INTERN. INFORMATION SOCIETY AND LAW*, 2., São Paulo, 2019. **Anais...** São Paulo, 2020. p. 658.

⁴⁴² Nas palavras de Barroso: “No plano jurídico, (os princípios) funcionam como referencial geral para o intérprete, como um farol que ilumina os caminhos a serem percorridos”. BARROSO, Luís Roberto. **Curso de direito constitucional contemporâneo: os conceitos fundamentais e a construção do novo modelo**. São Paulo: Saraiva, 2009. p. 209.

ou ‘regulação do futuro’⁴⁴³. São estes que irão adentrar nas especificidades, em acompanhar todo o ciclo de vida *nanotech*. A exemplificar, regular a questão da quantidade de nanopartículas que podem ser manipuladas no processo de produção; quais roupas especiais que trabalhadores devem utilizar na manipulação da nanotecnologia; e qual será o caminho do descarte, o procedimento adequado em cada etapa - a listar algumas das preocupações, de protocolos necessários para a segurança ambiental, e que sustenta o que foi arguido no excerto de Pellin.

Enquanto os princípios, portanto, estarão como preciosos orientadores na criação destes modelos regulatórios⁴⁴⁴. Esta é a importância de salientar, de dedicar todo este capítulo à base principiológica do Direito. Nada adiantará conhecer o clima, a embarcação, a rota e, ao chegar da noite, dos desafios da revolução tecnocientífica, estar à deriva no mar, sem os princípios para dar lume ao breu do desconhecido.

Nesse ínterim, o presente subcapítulo é uma breve inquietação. Almeja-se não um aprofundar na proposta do ambiente regulatório para a presente monografia, mas um admitir que se trata de uma necessária discussão, e que a proposta principiológica trata-se apenas de um introito, na medida que impulsiona a perpetuação do estudo para que os trabalhadores do Direito insiram/nutram a aplicação e a difusão de se utilizarem de atores públicos e privados em conjunto. O que, na realidade, esta pluralidade reflete a *pluralidade de fontes* e o diálogo entre estas, consoante salientado em linhas anteriores. No entanto, acrescenta-se a essa nascente jurídica as fontes informais, ou seja, atores que *fogem* do Direito tradicional – compreendendo aqui, a exemplificar, a doutrina, a Constituição da República, as leis infraconstitucionais, os julgados, o Direito Internacional.

⁴⁴³ ENGELMANN, Wilson. As nanotecnologias e suas aplicações no meio ambiente: entre os riscos e a autorregulação. *In*: TEIXEIRA, Anderson Vichinkeski; STRECK, Lenio Luiz; ROCHA, Leonel Severo (org.). **Constituição, sistemas sociais e hermenêutica**. Anuário do Programa de Pós-Graduação em Direito da UNISINOS, n. 17 Blumenau: Dom Modesto, 2021. cap. 19, p. 383-384. Disponível em: <http://www.dommodesto.com.br/produto/constituicao-sistemas-sociais-e-hermeneutica-n17/>. Acesso em: 30 set. 2021.

⁴⁴⁴ ENGELMANN, Wilson. As nanotecnologias e suas aplicações no meio ambiente: entre os riscos e a autorregulação. *In*: TEIXEIRA, Anderson Vichinkeski; STRECK, Lenio Luiz; ROCHA, Leonel Severo (org.). **Constituição, sistemas sociais e hermenêutica**. Anuário do Programa de Pós-Graduação em Direito da UNISINOS, n. 17 Blumenau: Dom Modesto, 2021. cap. 19, p. 384. Disponível em: <http://www.dommodesto.com.br/produto/constituicao-sistemas-sociais-e-hermeneutica-n17/>. Acesso em: 30 set. 2021.

A participação destes atores privados, que podem se tratar de organizações nacionais e internacionais, agências regulatórias e ONG's⁴⁴⁵, é caracterizada como um meio célere e eficiente, vez que não perpassaria pelo moroso processo legislativo - este que também não acompanharia o comportamento disruptivo nano -, e seria realizada por aqueles que estão inseridos na atuação nanotecnológica, de modo que estes conheceriam as etapas e as necessárias regulamentações para cada processo. Ademais

[...] as 'fontes formais' do Direito balizariam a atuação destas 'fontes informais'. A título de exemplificação, poder-se-ia dizer que, agências regulatórias não poderiam atuar de forma a retroceder em garantias ambientais, uma vez que há o liame protetivo do princípio do não retrocesso ambiental na Constituição Federal brasileira⁴⁴⁶.

Este fenômeno de controle do Estado seria a denominada *autorregulação regulada* em que os entes privados realizam sua própria regulação e estariam subordinados aos fins de interesse público estatal⁴⁴⁷. Assim sendo “[...] o Estado não é a fonte única e exclusiva de juridicidade”⁴⁴⁸, o que advém outro termo dado pela doutrina como *pluralismo jurídico*, diante da atuação de diferentes atores, consoante conceitua e defende Teubner:

⁴⁴⁵ MENDONÇA, Isabelle de Cássia; FRÖHLICH, Afonso Vinício Kirschner. Uma metamorfose global e a incongruência da perspectiva estrutural do direito na Era Nano: a necessidade da ciência regulatória na proteção ambiental frente às nanotecnologias. *In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DESIGUALDADE, DIREITOS E POLÍTICAS PÚBLICAS*. 7, 2020, São Leopoldo. **Saúde, corpos e poder na América Latina**. São Leopoldo: Casa Leiria, 2020. Disponível em: <http://www.guarita.digital.com.br/casaleiria/acervo/cienciassociais/viisiddpp/index.html>. Acesso em: 30 set. 2021.

⁴⁴⁶ MENDONÇA, Isabelle de Cássia; FRÖHLICH, Afonso Vinício Kirschner. Uma metamorfose global e a incongruência da perspectiva estrutural do direito na Era Nano: a necessidade da ciência regulatória na proteção ambiental frente às nanotecnologias. *In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DESIGUALDADE, DIREITOS E POLÍTICAS PÚBLICAS*. 7, 2020, São Leopoldo. **Saúde, corpos e poder na América Latina**. São Leopoldo: Casa Leiria, 2020. p. 1706. Disponível em: <http://www.guarita.digital.com.br/casaleiria/acervo/cienciassociais/viisiddpp/index.html>. Acesso em: 30 set. 2021.

⁴⁴⁷ BREIER, R.; CARRIL, R. Autorregulação impacta direito penal empresarial. **Consultor Jurídico**, São Paulo, 28 set. 2013. Disponível em: <https://www.conjur.com.br/2013-set-28/autorregulacao-produz-impactos-direito-penal-empresarial>. Acesso em: 18 out. 2021.

⁴⁴⁸ ENGELMANN, Wilson; LEAL, Daniele Weber S.; HOENDORFF, Raquel von. Autorregulação e riscos: desafios e possibilidades jurídicos para a gestão dos resíduos nanoparticulados. **Revista da Faculdade de Direito da UFRGS**, Porto Alegre, v. esp., n. 39, p. 211, dez. 2018. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/revfacdir/article/view/84606/51652>. Acesso em: 18 out. 2021.

O direito global só pode ser interpretado adequadamente por meio de uma teoria do pluralismo jurídico e de uma teoria das fontes do direito, correspondentemente concebida em termos pluralistas⁴⁴⁹.

Importante salientar, ademais, conforme estudo de Engelmann, com base na conceituação de Darnaculleta I Gardella⁴⁵⁰, que as organizações e estruturas privadas de autorregulação realizam tarefas *quase-normativas*, *quase-executivas* e *quase-judiciais*, tendo as seguintes características:

a) 'quase-normativas' (códigos éticos, normas de conduta, códigos e manuais de boas práticas, ou procedimentos e protocolos normalizados de trabalho); b) 'quase-executivas' (certificação de cumprimento de normas através de declarações de autorregulação ou autocertificação de conformidade a normas, certificados técnicos emitidos por terceiros, selos, etiquetas ou marcas) e c) 'quase-judiciais' (imposição de sanções disciplinares e resolução extrajudicial de conflitos)⁴⁵¹.

Esta abertura, da utilização destes atores privados, pode ser verificada nos estudos de Engelmann e Martins; bem como de Pellin. Quanto aos primeiros, os autores destacam as normas técnicas da Organização Internacional para Padronização (ISO), reconhecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), salientando que não se trata de uma “[...] solução definitiva e nem para todos os casos, mas uma primeira tentativa de trazer o tema das nanotecnologias e sua regulação para o contexto do Sistema do Direito”⁴⁵². Para isso, fundamentam a arguição do seguinte modo:

[...] há que se observar que se trata de normas de adoção voluntária, todavia, de reconhecimento internacional no âmbito de organizações privadas e instituições ou órgãos de governos, que buscam demonstrar boas práticas de gestão e tornarem-se mais competitivos no mercado interno e externo. Assim, não são postas pelos Estados,

⁴⁴⁹ TEUBNER, Gunter. A Bukowina global sobre a emergência de um pluralismo jurídico transnacional. *Impulso*, Piracicaba, v. 14, n. 33, p. 11, 2003. Disponível em: <http://livrozilla.com/doc/1623775/a-bukowina-global-sobre-a-emerg%C3%Aancia-de-um-pluralismo>. Acesso em: 18 out. 2021.

⁴⁵⁰ DARNACULLETA I GARDELLA, Maria Mercè. La autorregulación regulada en la doctrina anglosajona y continental-europea. In: ARROYO JIMÉNEZ, L.; NIETO MARTIN, A. (dir). **Autorregulación y sanciones**. Navarra: Editorial Aranzadi, 2015.

⁴⁵¹ ENGELMANN, Wilson. Nanotecnologia e direitos humanos. *Cadernos de Direito Actual*, [S. l.], n. 9, p. 474, 2018. Disponível: <http://www.cadernosdedereitoactual.es/ojs/index.php/cadernos/article/view/325>. Acesso em: 18 out. 2021.

⁴⁵² ENGELMANN, Wilson; MARTINS, Patrícia Santos. A ISO, suas normas e estruturação: possíveis interfaces regulatórias. In: ENGELMANN, Wilson; MARTINS, Patrícia Santos (org.). **As normas ISO e as nanotecnologias**: entre a autorregulação e o pluralismo jurídico. São Leopoldo: Karywa, 2017. p. 100. *E-book*.

mas são por eles reconhecidas através das instituições ou órgãos aos quais foram outorgadas competências, no caso brasileiro, a ABNT. De sorte que é viável considerar que integram o ordenamento jurídico, ainda que possuam *status* normativo regulatório técnico⁴⁵³.

A exemplificar, citam, como uma norma cogente, a “[...] ISO 14001, norma de Gestão Ambiental que [...] elenca a necessidade de cumprimento por parte das organizações, das normas legais e outras aplicáveis [...] à atividade específica”⁴⁵⁴. Seguindo na análise de fontes indiretas, os estudos de Pellin salientam o *sandbox regulatório*, a *caixa de areia*, em sua tradução literal, que possibilita aos agentes interessados terem liberdade para verificar, testar e formar uma melhor regulação neste *laboratório de testes jurídicos*:

[...] a aplicação do SANDBOX experimental é uma ferramenta adequada para começar a regular o setor e, conseqüentemente, orientar a tomada de decisão, gerar banco de dados e controlar os riscos, diretamente, pelos múltiplos atores e interesses envolvidos durante o processo regulatório experimental, a saber: laboratórios público e privado; empresas pública e privada; organizações representativas dos interesses ambientais e consumeristas; agências reguladoras complementares; o próprio Governo através do Ministério de Ciência, Tecnologia, Comunicação e Inovação (MCTIC)⁴⁵⁵.

Insta salientar que o sistema do *sandbox* se faz possível sua aplicação em solo brasileiro desde a edição da Lei da Liberdade Econômica, de setembro de 2019, seguindo com a utilização deste experimento regulamentador em *fintechs*. Nesse ínterim, possibilita-se a aplicação nas nanotecnologias por meio da atuação da Anvisa: “[...] responsável pelo controle de produtos e processos destinados ao consumo, cujo objetivo é, justamente proteger a saúde sanitária [...] preocupando-se com todo o ciclo de vida de um produto”⁴⁵⁶. Ademais, tal autarquia teria: “[...] regime

⁴⁵³ ENGELMANN, Wilson; MARTINS, Patrícia Santos. A ISO, suas normas e estruturação: possíveis interfaces regulatórias. In: ENGELMANN, Wilson; MARTINS, Patrícia Santos (org.). **As normas ISO e as nanotecnologias**: entre a autorregulação e o pluralismo jurídico. São Leopoldo: Karywa, 2017. p. 92. *E-book*.

⁴⁵⁴ ENGELMANN, Wilson; MARTINS, Patrícia Santos. A ISO, suas normas e estruturação: possíveis interfaces regulatórias. In: ENGELMANN, Wilson; MARTINS, Patrícia Santos (rg.). **As normas ISO e as nanotecnologias**: entre a autorregulação e o pluralismo jurídico. São Leopoldo: Karywa, 2017. p. 92-93. *E-book*.

⁴⁵⁵ PELLIN, Daniela. O sandbox regulatório como fonte de direito no caso de disrupção nanotech. In: CONGR. INTERN. INFORMATION SOCIETY AND LAW, FMU, 2., São Paulo, 2019. **Anais ...**, São Paulo, 2020. v. 2, p. 664.

⁴⁵⁶ PELLIN, Daniela. O sandbox regulatório como fonte de direito no caso de disrupção nanotech. In: CONGR. INTERN. INFORMATION SOCIETY AND LAW, FMU, 2., São Paulo, 2019. **Anais ...**, São Paulo, 2020. v. 2, p. 665-666.

jurídico adequado para obter acesso a dados armazenados e protegidos por segredo industrial pelos agentes do desenvolvimento, público e ou privado.”⁴⁵⁷. Ou seja, seria uma espécie de hibridização, *hard law* e *soft law*, conforme visto na análise principiológica. Ainda, esta etapa de verificação, de análise, poder-se-ia inserir como parte do próprio processo legislativo, em haver uma etapa inicial destinada para a aplicação do *sandbox*.

Tais possibilidades e novos horizontes para o modelo de regulação são identificados como parte da transdisciplinariedade necessária para o Sistema do Direito, como um agir de

[...] *amicus jus*, diante de uma sociedade com metamorfoses e riscos. Isso, porque, assim como o órgão jurisdicional se vale de um ‘amigo da corte’ para aclarar demandas complexas (que transcende a lide na medida que vai além das partes interessadas), [...] a Ciência Jurídica precisará valer-se de um ‘amigo do Direito’ diante do cenário social complexo que se apresenta – mas, para o presente contexto, este amigo seria, preferencialmente, o auxílio daqueles que não fariam parte desta Ciência, mas sim vinculadas a esta (diretamente ou indiretamente) pelo estado metamórfico da sociedade⁴⁵⁸ (grifo do autor).

Realizadas as devidas explanações, deve-se ratificar que a abordagem deste tema é apenas uma inquietude, uma vez que a proposta da presente monografia é salientar os princípios como um viés protetivo, que está disponível - *preliminarmente* - de maneira efetiva e célere, na medida que pode ser aplicado desde *agora* para a tutelar o ambiente marinho. Portanto, uma discussão mais detalhada e sofisticada sobre o tema de *ambiente regulatório*, e suas ramificações, necessitaria de um estudo complementar, com a devida análise e fundamentação.

Insta destacar que o arbítrio em mencionar outras vias regulamentadoras trata-se, justamente, de enfatizar, de colocar a lume nascedouros de propostas, frente à falta legislativa, e de demonstrar que o cenário propõe uma mudança no “[...] perfil de delimitação da jurisdicização dos fatos sociais: (ou seja) ao invés de ela

⁴⁵⁷ PELLIN, Daniela. O sandbox regulatório como fonte de direito no caso de disrupção nanotech. *In*: CONGR. INTERN. INFORMATION SOCIETY AND LAW, FMU, 2., São Paulo, 2019. **Anais ...**, São Paulo, 2020. v. 2, p. 666.

⁴⁵⁸ MENDONÇA, Isabelle de Cássia; FRÖHLICH, Afonso Vinício Kirschner. Uma metamorfose global e a incongruência da perspectiva estrutural do direito na Era Nano: a necessidade da ciência regulatória na proteção ambiental frente às nanotecnologias. *In*: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DESIGUALDADE, DIREITOS E POLÍTICAS PÚBLICAS. 7, 2020, São Leopoldo. **Saúde, corpos e poder na América Latina**. São Leopoldo: Casa Leiria, 2020. p. 1706. Disponível em: <http://www.guarita.digital.com.br/casaleiria/acervo/cienciassociais/viisiddpp/index.html>. Acesso em: 30 set. 2021.

se dar após os fatos, ela deverá ocorrer concomitantemente a eles”⁴⁵⁹. Ademais, finalizar, *bruscamente*, com a via principiológica este capítulo, seria negar as especificidades da atuação complexa da nano, seria enrijecer o diálogo jurídico de uma inovação revolucionária. Como bem salienta Feigelson e Silva, ao tratar do impacto tecnológico nas ciências jurídicas e sociais:

[...] O Direito também vive seu momento de disrupção. Surge então o ‘Direito Exponencial’ como consequência do impacto de um período de mudanças muito intensas na sociedade [...]. (Este) Direito Exponencial ascende como uma representação da transformação do Estado e, por consequência, da maneira como será sua interferência no mercado e nos indivíduos, devido ao uso de tecnologia como instrumento de mudança do próprio Direito⁴⁶⁰.

Logo, buscou-se gerar, com o desfecho do capítulo - retomando a reflexão proposta na carta náutica -, a certeza de que urge “[...] uma nova Teoria das Fontes do Direito que tenha condições para regular o futuro, projetando a criação de leis e projetos normativos que sejam mais proativos, dinâmicos e responsivos”⁴⁶¹. Ou será que, mesmo diante deste cenário nanotecnológico, a Ciência do Direito deverá manter-se inerte, *fazendo da sociedade um laboratório para verificar o que a fonte direta e as fontes indiretas poderão fazer com o ocean nanotech (e talvez depois de alguns – ou muitos - danos estruturar uma inovadora regulamentação)?* Eis a latente e inconfortável questão.

⁴⁵⁹ ENGELMANN, Wilson; HOHENDORFF, Raquel von. **Os “compliance programs” como uma alternativa à gestão empresarial para lidar com o direito à informação do consumidor e os riscos trazidos pelas nanotecnologias**. [S. l.], 2014. não paginado. Disponível em: <http://www.publicadireito.com.br/artigos/?cod=6eae17727b4e77cf>. Acesso em: 30 set. 2021.

⁴⁶⁰ FEIGELSON, Bruno; SILVA, Luiza Caldeira Leite. Regulação 4.0: sandbox regulatório e o futuro da regulação. *In*: BECKER, Daniel; FERRARI, Isabela (coord.). **Regulação 4.0: novas tecnologias sob a perspectiva regulatória**. São Paulo: Thomson Reuters Brasil, 2019. p. 76.

⁴⁶¹ ENGELMANN, Wilson. A pandemia global gerada pelo novo coronavírus, nanotecnologias e a “metamorfose do mundo” (Beck). *In*: BRAGATO, Fernanda Frizzo; STRECK, Lenio Luiz; ROCHA, Leonel Severo (org.). **Constituição, sistemas sociais e hermenêutica**: anuário do Programa de Pós-Graduação em Direito da UNISINOS: mestrado e doutorado: n. 16. São Leopoldo: Karywa, Unisinos, 2020. p. 184. *E-book*.

5 A TÍTULO DE CONSIDERAÇÕES FINAIS - QUANDO A ODISSEIA DA ERA NANO ENCONTRA A HISTÓRIA DE HOMERO: ULISSES VAI A ÍTACA, ASSIM COMO O DIREITO ESTÁ A IR AO *MAR NANOTECH*?

O presente capítulo resguarda as considerações finais; o capítulo final da aventura marítima. No entanto, faz-se necessário dividi-lo: tratar em um subcapítulo a Odisseia Homérica (que, inclusive, dá título a esta *conclusão*), utilizando-se do literário para dar *luz ao breu no oceano profundo do presente trabalho e que, talvez, não foi, adequadamente, clarificado nos capítulos anteriores como quando uma história se faz contada*. Para a analogia que se propõe, haverá o recorte de Ulisses na travessia para seu retorno à Ítaca e o encontro com as sereias. Em outro subcapítulo, separar o devido desfecho, ou a continuidade das inquietações, conforme relatado na carta náutica desta monografia, com a observação *conclusiva* de cada capítulo. Portanto, a viagem marítima está mais perto da terra firme, mas, ainda, não se encontra terminada.

5.1 Uma Odisseia Homérica na *Era Nano*: a travessia do Direito no mar dos encantos nanotecnológicos⁴⁶²

Após a fatídica Guerra de Tróia, o personagem homérico, Ulisses, retorna à casa com um dos heróis do conflito. A volta para a sua terra, Ítaca, é marcada por um longo período de significativas aventuras e provações inimagináveis, durante anos. Entre as agruras do regresso, há a insólita travessia marítima orquestrada pelo *canto das sereias*. Segundo a literatura grega, aquele que ouvisse os cantos enternecedores jamais retornaria aos seus amados. Para este trajeto, Ulisses almeja ouvi-las, mas pede aos tripulantes para que seja amarrado ao mastro do navio. Ou seja, almeja o deleite dos cantos, mas sabe os perigos que se encontram se as amarras lançar ao mar.

⁴⁶² Importa salientar que o livro Homérico, e a passagem das sereias, foi utilizado, também, como uma analogia aplicada ao Direito, no sentido de: "Do mesmo modo, as Constituições funcionam como as correntes de Ulisses, através das quais o corpo político estabelece algumas restrições para não sucumbir ao despotismo das futuras maiorias (parlamentares ou monocráticas)". STRECK, Lenio Luiz; BARRETTO, Vicente de Paulo; OLIVEIRA, Rafael Tomaz de. Ulisses e o canto das sereias: sobre ativismos judiciais e os perigos da instauração de um "terceiro turno da constituinte". **Revista de Estudos Constitucionais, Hermenêutica e Teoria do Direito (RECHTD)**, São Leopoldo, v. 1, n. 2, p. 76, jul./dez. 2009. DOI: 10.4013/rechtd.2009.12.07. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5007512.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2021.

Primeiramente, hás de ir ter às Sereias [...]. (Encantado) será pela voz das Sereias maviosas. Elas se encontram num prado [...]. Passa de largo, mas tapa os ouvidos de todos os sócios com cera doce amolgada, porque nenhum deles o canto possa escutar. Mas tu próprio, se ouvi-las quiseres, é força que pés e mão no navio ligeiro te amarrem os sócios, em torno ao mastro, de pé, com possantes calabres seguro, para que possas as duas sereias ouvir com deleite⁴⁶³.

Nesse ínterim, o comparativo literário faz-se necessário, ainda que em um recorte da história, pois, assim como Ulisses, o Direito está na travessia marítima das inovações, há cantos e encantos que, constantemente, insistem em retirá-lo da rota, levando-o a imergir. Isso porque, aparentemente, não há danos, há especulações de riscos. Ora, o que pode um mero canto ocasionar prejuízos ao barco ou sucumbir a vida?

O Direito não deve impedir de escutar o concerto das sereias, como Ulisses, ele precisa ouvir, precisa compreender para desfrutar e proporcionar o desfrute para a sociedade das nanotecnologias. Mas precisa atentar-se da maneira correta, ligado às amarras, às fortes amarras da Constituição, das suas fontes que, com muita agrura, foram conquistadas.

Ah, mas se o Direito pedir que as amarras sejam soltas? Eis os juristas, a sociedade, que tem o *dever*, a imposição compulsória prevista no texto constitucional para proteger, para sustentar o ambiente ecologicamente equilibrado, para não permitir que a tutela ambiental seja alijada aos mares. Eis a fala de Ulisses: “Se, por acaso, pedir ou ordenar que as amarras me soltem, mais fortes cordas, em torno do corpo, deveis apertar-me”⁴⁶⁴. É um dever de não retroceder! Cinge-se mais amarras, a travessia precisa continuar.

Depois, ao Direito caberá falar da voz fascinante das sereias, caberá não só falar, mas regular um modo correto de escutá-las. Escutarão a sociedade, o ambiente marinho, da maneira mais segura e de pleno deleite, as nanotecnologias.

Hoje se trata do mar invadido pela *nanotech*, amanhã serão outras sereias. Os mares sempre escondem grandiosos fascínios, uma vez que a sociedade continuará, sempre, na busca pelo desenvolvimento e na criação de outros tantos encantos. Portanto, o Direito também deverá evoluir, pois este é parte, é imbricado à sociedade. Ou a Ciência Jurídica içar-se, mesmo que deva estar a cordas no mastro,

⁴⁶³ HOMERO. **Odisseia**. 25. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2015. não paginado. *E-book*.

⁴⁶⁴ HOMERO. **Odisseia**. 25. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2015. não paginado. *E-book*.

ou imerge ao profundo, ao breu dos mares, em que a técnica passa a reger, orquestrar o mundo.

E, aqui, precisamente, é onde a literatura – com suas narrativas, personagens e representações – e o imaginário social que ela produz (e do qual, ao mesmo tempo, também resulta) podem ser aproveitados para a compreensão do direito⁴⁶⁵.

Eis, portanto, a obra Homérica Jurídica, e seu personagem principal: o Direito. Este que se trata do Ulisses de toda a narrativa desta monografia, que necessita, pela tutela dos seres, amarrar-se ao não retrocesso e ao progresso ambiental.

5.2 O desvio do elo final: o abrir do círculo e a continuidade da navegação

A nau, agora, chega ao porto. No entanto, consoante oportuna passagem de Ost: “Não, não é preciso concluir. É preciso, pelo contrário, abrir o círculo: ei-lo tornado em espiral e turbilhão, circularidade em movimento como a própria vida e as ideias”⁴⁶⁶. Assim sendo sem mencionar uma *conclusão*, mas a continuidade, a *circularidade em movimento* das ideias, observou-se no presente estudo os impactos nanotecnológicos na sociedade e, ao aprofundar da análise, mais precisamente, os impactos na biota marinha. Salientou-se uma tutela efetiva aos mares por meio de uma base principiológica jurídica brasileira, que proporcionará o respeito aos comando de tutela ambiental e ao dever previsto na Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar, “Os Estados têm a obrigação de proteger e preservar o meio marinho”⁴⁶⁷. Entretanto, para especificar e abarcar a construção do pensamento delineado ao longo do trabalho, dividir-se-á os capítulos da monografia, tendo as respectivas análises e conclusões.

Capítulo 1 – O introito das ideias; a carta náutica a dar base para os capítulos que se seguiriam;

⁴⁶⁵ TRINDADE, André Karam. Introdução. In: STRECK, Lenio Luiz; TRINDADE, André Karam (org.). **Os modelos de juiz: ensaios de direito e literatura**. São Paulo: Atlas, 2015. p. 4. *E-book*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788597000207/>. Acesso em: 05 nov. 2021.

⁴⁶⁶ OST, François. **A natureza à margem da lei**. A ecologia à prova do direito. Lisboa: Instituto Piaget, 1995. p. 389.

⁴⁶⁷ BRASIL. **Decreto nº 99.165, de 12 de março de 1990**. Promulga a Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1990/decreto-99165-12-marco-1990-328535-publicacaooriginal-1-pe.html>. Acesso em: 30 set. 2021.

Capítulo 2 - Visando à compreensão da *Era Nanotecnológica*, o presente capítulo analisou diferentes teorias sociais que exemplificam o período atual, em que a inovação disruptiva nasce e impacta diversos sistemas, I) *Metamorfose do Mundo*, II) *Quarta Revolução Industrial* ou também III) *Modernidade Líquida*. Percebeu-se um alinhamento no pensamento dos sociólogos Beck, Schwab e Bauman: *choque fundamental que desestabiliza certezas* (teoria I); *um impacto sistêmico, sistemas inteiros estão a sofrer transformações* (teoria II); *os tempos se fazem fluidos, em que se dissolvem certezas ou se invadem ou inundam outras tantas* (teoria III). Nesse ínterim, novas formas de administrar, de gerir um mundo metaforseado faz-se necessária.

São desafios significativos e a nanotecnologia inclui-se aí, uma vez que esta é cunhada por ser uma ciência heterogênea, regida por leis físicas diversas, devido seu tamanho diminuto, que desafiam a ciência tecnicista, impactando os demais sistemas que interagem entre si, consoante a teoria luhminiana. Verificou-se, nesse ínterim, a necessidade de uma visão transdisciplinar para as mudanças decorrentes da nano, incluindo-se, principalmente, o Direito, como participante das *ciências humanas*, em que seu *modus operandi* não poderá se dar como um sistema alheio à conjuntura complexa social – vez que sofre reflexos deste mundo *BANI*. Para a Ciência Jurídica e Social, que se faz a tradução dos aspectos/necessidades da sociedade, na visão de Ulpiano, deverá dialogar com os demais sistemas para conquistar a devida tutela dos mares. Por fim, também se compreendeu no capítulo a história nano, a definição da escala nanométrica, tendo como base a ISO/TC 229 para padronização; bem como as diferentes terminologias para as nanotecnologias; além da abordagem do desenvolvimento nano significativo no mundo e, em destaque, no Brasil.

Ainda que não haja uma regulamentação específica para as nanos em *terra brasilis*, causa espanto o crescimento considerável de nanoprodutos, que está além de países considerados *desenvolvidos* – estes que se tem como detentores de maior financiamento em inovação. Verificou-se, ademais, uma movimentação governamental desde 2001, ao inserir, propriamente, as nanotecnologias em solos brasileiros, sendo um dos mais recentes incentivos o Comitê Consultivo de Nanotecnologia e Novos Materiais (CCNANOMAT). No entanto, sem uma regulação neste espaço-tempo de duas décadas.

Portanto, de início, os desafios não se fazem simplórios, mas não se pode (e não se deve) impedir o desenvolvimento. O que se faz imperativo é a ação *imediate*, o agir para que o novo esteja em harmonia com a antiga e necessária natureza marinha;

Capítulo 3 – O momento em que se atinge o clímax transdisciplinar no trabalho. *Combateu-se*, veementemente, a *compartimentalização do saber em disciplinas*, conforme alusão às falas de Hohendorff e Engelmann. Tratou-se de uma análise voltada às ciências da natureza e suas tecnologias, mas que dialoga, plenamente, com o Direito, uma vez que este é atingido por aquele e este precisa, também, debruçar-se no entendimento daquele - a evidente *autopoiese*. Logo, o Direito não terá como se manter, apenas, de sua estrutura sem se comportar como um observador.

Seguindo nas considerações proporcionadas pelo capítulo, consoante a literatura científica consultada: periódicos CAPES, *Nature*, *Springer*, *Elsevier*, *ACS Publications*, *Google Scholar*, percebeu-se um vasto arcabouço de pesquisas que demonstraram significativos benefícios das nanotecnologias e, concomitantemente, significativos riscos para a biota marinha - a configuração da sociedade de risco, como denomina Luhmann. Buscou-se conhecer realmente o funcionamento nanotecnológico, como a avaliação das nanopartículas engenheradas, e suas consequências nos oceanos. Portanto, em um preliminar desfecho, a atuação nano está tanto *eco-friendly* quanto *nanoecotoxicológica* para o ambiente marinho. Isso porque há, a rememorar as linhas anteriores, uma *espuma hidrofóbica feita de borracha látex e nanofibras de celulose*, desenvolvida por brasileiros, que retira a poluição por derramamento de óleos nos mares e, ao mesmo tempo, há golfinhos na costa brasileira das espécies *Pontoporia blainvillei* e *Steno bredanensis*, que estão contaminados, de maneira significativa, por nanopartículas de TiO_2 , uma vez que existe um consumo alto de produtos com nano - por exemplo, filtros solares, que se utilizam desta composição. O que se gerou a *aporia* da filosofia platônica, em que há um, aparentemente, *caminho sem saída*. E, realmente, ao chegar ao fim deste trabalho, não se saberá *medir* se há mais benefícios ou riscos do *nanoworld*. No entanto, como um deleite de esperança, pode-se afirmar que as pesquisas não constataram um quadro irreversível de danos à biota marinha, ou seja, o Direito não estará a chegar tardiamente para a salvaguarda oceânica.

Assim sendo, o que se pode ter como conclusão preliminar, é a evidente necessidade de os pesquisadores aprimorarem os estudos sobre o comportamento nocivo da inovação no ambiente marinho; bem como a necessidade de os cientistas serem subsidiados para aprofundar a análise da relação nanotecnologias e toxicidade. Isso porque a nanoecotoxicidade e sua relação com o mar é um campo juvenil que, ainda, há muito para se descobrir. Ademais, há também a necessidade, consoante salientado, da *natureza não estar à margem da Lei*, devendo o jurista atuar em medida precaucional diante das nanos. Ou melhor, há o dever da *phrónesis* aristotélica: a *prudência* que caberá à atuação do Direito, em que este deve proporcionar um *viver bem generalizado*, ainda que diante de uma tecnologia extremamente inovadora como a nano - valendo-se, assim, principalmente, do arcabouço principiológico jurídico brasileiro.

Há que se arguir, novamente, para o espaço das considerações finais, a fala do pesquisador e professor José Luiz Azevedo, do curso de Oceanologia da Universidade Federal do Rio Grande (FURG): “Está muito claro que os oceanos têm uma grande importância [...]. Os oceanos são um ponto crítico até para a sobrevivência da espécie humana e de todos os seres vivos no nosso planeta”;

Capítulo 4 – O ápice do objetivo principal deste trabalho: propor princípios para tutelar a interação nano-mar. Pode-se verificar que pretender/aguardar uma legislação brasileira, trata-se de um almejar infundado e utópico, vez não se configurar celeridade, técnica e abrangência das peculiaridades de uma ciência disruptiva como a nano. O que afastaria a defesa do suporte fático de Pontes de Miranda, que se caracteriza pelo olhar ao passado, bem como pela *exatidão* e pela *precisão*. Buscou-se, portanto, demonstrar que não está na lei, ou na visão piramidal das fontes do Direito as respostas para desafios de um mundo em metamorfose. Deve-se propiciar um *Dialog der Quellen*, diálogo entre as fontes, valorizando-as e proporcionando a interação entre elas, sem escalonamentos, mas com o devido controle de constitucionalidade e de convencionalidade. Assim sendo a fonte dos princípios trata-se de um exemplo de utilização necessária e que estes possam interagir, inclusive, com as leis disponíveis e instrumentos internacionais. Ratificando que o princípio uniria as diversas fontes, vez que se trata de uma “verdadeira amálgama normativa dotada de uniformidade”, rememorando a frase trabalhada de Engelmann.

Ainda, pode-se salientar a necessidade de permear os princípios ambientais, que foram defendidos neste trabalho, do comando *Risikopflicht*, o dever de evitar riscos, correlato ao princípio do não retrocesso ambiental, uma imposição extremamente necessária para o mundo nano. Quanto à proposta principiológica, esta foi pensada, conforme os princípios emitidos pelo Projeto *NanoAction*, para, justamente,

- a) salvaguardar a saúde e a segurança do público e dos trabalhadores;
- b) conservar nosso meio ambiente natural;
- c) assegurar a participação pública e o alcance de metas decididas democraticamente;
- d) restaurar a confiança pública e apoio a governo e a pesquisa acadêmica;
- e) permitir a viabilidade comercial de longo prazo⁴⁶⁸.

Assim sendo apresentou-se os oito princípios do *NanoAction*, *princípio da precaução; princípio sobre a regulamentação mandatória nanoespecífica; princípio de proteção e saúde do público e dos trabalhadores, princípio da sustentabilidade ambiental; princípio da transparência; princípio da participação do público; princípio sobre a consideração de outros impactos; princípio da responsabilidade do produtor*, com seus correlatos no Brasil, com base no Direito Ambiental, bem como as previsões legais, aprofundando, em cada análise, a aplicação do princípio em solos brasileiros. Nesse ínterim, verificou-se o quanto há, na realidade, um verdadeiro arcabouço regulamentador no Brasil, ainda que não haja, diretamente, o termo nano no comando normativo; no entanto, este precisa ser plenamente eficaz.

Importa salientar que, talvez, o subcapítulo 4.4, na visão do leitor, possa ter gerado uma controvérsia significativa para o que se defendeu no início do capítulo 4 e para o que, ao fim, gerou-se como desfecho ao corrente capítulo. No entanto, ainda que haja uma proposta principiológica, com a base de regulações já existentes e comandos internacionais, que são imprescindíveis e eficazes para tutelar o oceano (caso, realmente, sejam observados/aplicados), precisa-se salientar a latente inquietação dos pormenores das nanotecnologias. As minúcias do ciclo de vida nano necessitam, sim, de uma regulação (seja *hard*, seja *soft*, seja a hibridização normativa), *ponto*. E esta inquietude precisa acompanhar quem aqui desejou

⁴⁶⁸ INTERNATIONAL CENTER FOR TECHNOLOGY ASSESSMENT (ICTA). **Princípios para a supervisão de nanotecnologias e nanomateriais**. Washington, DC, 2007. Disponível em: https://www.centerforfoodsafety.org/files/120132_icta_portugese_lo-rez_81903_82038.pdf. Acesso em: 30 set. 2021.

navegar. Como afirma o título deste subcapítulo de considerações finais, deve-se desviar do elo final, de fechar o conhecimento e proclamar, *apenas: basta os princípios e o que o Direito conquistou para tutelar os mares*. Não, não basta!

Ao fim, pede-se licença ao leitor para que haja a mudança da conjugação verbal no terminar destas linhas, para que, desse modo, o autor possa expressar em primeira pessoa o estudo constituído. Todo aprendiz de marinheiro precisa registrar, em seu diário, os seus desafios e as suas aventuras marítimas, para, assim, aquele que ler os registros chegar-se mais perto dos bastidores e se encantar muito mais com a viagem do que com a chegada ao porto.

Diário de bordo

Verão brasileiro, novembro de 2021.

Quando a embarcação ganhou, finalmente, viagem, não foi uma tarefa, nada, simplória. Ao içar das velas e da retirada da âncora, "ah!", a vulnerabilidade alcançou a minha alma. O sair da confortável "terra firme", lidar com a instabilidade oceânica e com os mares tempestuosos, imprevisíveis, fez os meus pés desejarem solo firme inúmeras vezes. Mas o momento do alto-mar foi extraordinário e muito mais encantador do que os percalços marinhos. Muitas vezes, subir à gávea, arrumar a luneta aos olhos e não encontrar "terra à vista" gerou o medo de estar à deriva; no entanto, por mais que o infinito marinho originasse sentimentos avessos em mim, o nascer e o pôr do sol afirmavam que no fim sempre há um recomeço. Enfim, o porto desejado foi avistado e ele acabara de receber minha embarcação, mas descobri que, depois de uma inigualável aventura, é preciso que o barco volte ao mar, pois toda a embarcação, que no porto ficar, vítima da ferrugem ficará. Agora, o barco será dado ao novo tripulante, pois a viagem, na verdade, nunca findará.

O Direito ainda precisará navegar, precisará continuar no infinito azul. As mudanças sociais sempre ocorrem e a Ciência Jurídica, da análise que aqui se fez, necessitará seguir a viagem, ainda que em mares desconhecidos e distribuídos por incontáveis milhas para, assim, tutelar diferentes destinos, em específico, o ecossistema marinho. Há, retomando a pintura que inaugurou esta monografia, um *Seascape near Les Saintes-Maries-de-la-Mer* real a esperar o Direito - a embarcação, portanto, aqui, não poderá atracar.

REFERÊNCIAS

ABUÇAFY, Marina Paiva. **Desenvolvimento e caracterização de formulação cosmética contendo nanopartículas de dióxido de titânio para proteção solar**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Farmácia Bioquímica) -- Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Araraquara, 2013. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/117946/000745781.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 16 set. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (Anvisa). **Instituído Comitê Interno de Nanotecnologia da Anvisa**. Brasília, DF, 26 jun. 2015. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/anos-anteriores/instituido-comite-interno-de-nanotecnologia-da-anvisa>. Acesso em: 30 set. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (Anvisa). **ROI 008/2016**. Ata de Reunião. Brasília, DF, 2016. Disponível em: <http://antigo.anvisa.gov.br/documents/33760/2609037/Ata+da+Reuni%C3%A3o+Ordin%C3%A1ria+Interna+n%C2%BA+008%2C+de+24+de+novembro+de+2016/b02458a2-f16d-4801-be15-334d58f7ec29>. Acesso em: 30 set. 2021.

ANDRADY, Anthony L. Microplastics in the marine environment. **Mar Pollut Bull**, [S. l.], v. 62, n. 8, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X11003055>. Acesso em: 16 set. 2021.

ARANTES, Vera L. **Estrutura cristalina**: introdução a engenharia e ciência dos materiais. [S. l.], 2014. Documento em PDF. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/169458/mod_resource/content/1/aula%203%20Estrutura%20cristalina.pdf. Acesso em: 16 set. 2021.

ARISTÓTELES. **Ética a Nicômaco**. Brasília, DF: UnB, 1985.

AYALA, Patryck de Araújo. Direito fundamental ao ambiente e a proibição de regresso nos níveis de proteção ambiental na Constituição brasileira. *In*: BRASIL. Senado Federal. Comissão de Meio Ambiente, Defesa do Consumidor e Fiscalização e Controle (org.). **Princípio da proibição de retrocesso ambiental**. Brasília, DF: Senado Federal, 2012. *E-book*. Disponível em: <https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/242559/000940398.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. Acesso em: 17 out. 2021.

BARCAROLLO, Felipe. **Inteligência artificial e a gramática ético-jurídica da sociedade (pós)-humana**. 2019. Tese (Doutorado em Direito) – Programa de Pós-Graduação em Direito, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2019. Disponível em: <http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/9035>. Acesso em: 05 mar. 2021.

BARROSO, Luís Roberto. **Curso de direito constitucional contemporâneo**: os conceitos fundamentais e a construção do novo modelo. São Paulo: Saraiva, 2009.

- BASTOS, Aline. Pesquisa avalia como as pessoas percebem a nanotecnologia. **Empraba Notícias**, Brasília, DF, 02 out. 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/38106803/pesquisa-avalia-como-as-pessoas-percebem-a-nanotecnologia>. Acesso em: 05 nov. 2021.
- BAUMAN, Zygmunt. **Modernidade líquida**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2001.
- BECK, Ulrich. **A metamorfose do mundo**: novos conceitos para uma nova realidade. 1. ed. Rio de Janeiro: Zahar, 2018. *E-book*.
- BEHRA, R.; KRUG, H. Nanoparticles at large. **Nature Nanotech**, [S. l.], n. 3, 2008. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nnano.2008.113?foxtrotcallback=true#citeas>. Acesso em: 16 set. 2021.
- BENJAMIN, Antonio Herman. Princípio da proibição de retrocesso ambiental. *In*: BRASIL. Senado Federal. Comissão de Meio Ambiente, Defesa do Consumidor e Fiscalização e Controle (org.). **Princípio da proibição de retrocesso ambiental**. Brasília, DF: Senado Federal, 2012. *E-book*. Disponível em: <https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/242559/000940398.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. Acesso em: 17 out. 2021.
- BERTI, Leandro Antunes *et al.* (org.). **Plano de ação de ciência, tecnologia e inovação para tecnologias convergentes e habilitadoras**: nanotecnologia. Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, 2019. Disponível em: https://antigo.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/tecnologia/tecnologiasSetoriais/Plano-de-Acao-em-CTI_Nanotecnologia_FINAL.pdf. Acesso em: 05 nov. 2021.
- BOSCO, Carlos Alberto. O princípio constitucional da sustentabilidade: importância, dimensão e referência mundial. **Revista do Tribunal Regional do Trabalho da 15ª Região**, Campinas, n. 53, 2018. Disponível em: https://juslaboris.tst.jus.br/bitstream/handle/20.500.12178/158251/2018_bosco_carlos_principio_constitucional.pdf?sequence=3&isAllowed=y. Acesso em: 17 out. 2021.
- BOSSART, G. D. Marine mammals as sentinel species for oceans and human health. **Veterinary Pathology**, [S. l.], v. 48, n. 3, p. 676-690, 2011. DOI: 10.1177/0300985810388. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0300985810388525>. Acesso em: 24 set. 2021.
- BOTTA, Céline *et al.* TiO₂-based nanoparticles released in water from commercialized sunscreens in a life-cycle perspective: Structures and quantities. **Environ. Pollut.**, [S. l.], n. 159, p. 1543 -1550, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749111001321?via%3Dihub>. Acesso em: 24 set. 2021.
- BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 17 out. 2021.
- BRASIL. **Decreto nº 1.254, de 29 de setembro de 1994**. Promulga a Convenção número 155, da Organização Internacional do Trabalho, sobre Segurança e Saúde

dos Trabalhadores e o Meio Ambiente de Trabalho, concluída em Genebra, em 22 de junho de 1981. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1990-1994/d1254.htm Acesso em: 15 set. 2021.

BRASIL. **Decreto nº 10.095, de 6 de novembro de 2019.** Dispõe sobre o Comitê Consultivo de Nanotecnologia e Novos Materiais no âmbito do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Brasília, DF: Presidência da República, 2019. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/D10095.htm Acesso em: 15 set. 2021.

BRASIL. **Decreto nº 99.165, de 12 de março de 1990.** Promulga a Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1990/decreto-99165-12-marco-1990-328535-publicacaooriginal-1-pe.html>. Acesso em: 30 set. 2021.

BRASIL. **Decreto-lei nº 4.657, de 4 de setembro de 1942.** Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del4657compilado.htm. Acesso em: 20 abr. 2021.

BRASIL. **Lei nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002.** Institui o Código Civil. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/l10406compilada.htm. Acesso em: 17 out. 2021.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981.** Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 15 set. 2021.

BRASIL. **Lei nº 8.078, de 11 de setembro de 1990.** Dispõe sobre a proteção do consumidor e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8078compilado.htm. Acesso em: 17 out. 2021.

BRASIL. **Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998.** Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm. Acesso em: 05 nov. 2021.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. **Com participação de especialistas, MCTI promove 2ª reunião do Comitê Consultivo de Nanotecnologia e Novos Materiais.** Brasília, DF 29 jan. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2021/01/mcti-realiza-a-segunda-reuniao-do-comite-consultivo-de-nanotecnologia-e-novos-materiais-ccnanomat-reunindo-especialistas-e-instituicoes-de-referencia-na-tematica>. Acesso em: 15 set. 2021.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Gabinete do Ministro Portaria nº 1.122, de 19 de março de 2020. Define as prioridades, no âmbito do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), no que se refere a projetos de pesquisa, de desenvolvimento de tecnologias e inovações, para o período 2020 a 2023. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, ed. 57, Seção: 1,

24 mar. 2020. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-1.122-de-19-de-marco-de-2020-249437397>. Acesso em: 05 nov. 2021.

BRASIL. **Projeto de lei complementar nº 23, 2019**. Altera a Lei Complementar nº 123, de 14 de dezembro de 2006 a fim de incentivar a pesquisa e desenvolvimento da Nanotecnologia no Brasil. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/135203>. 12 nov. 2021.

BRASIL. **Projeto de lei nº 880, 2019**. Institui o Marco Legal da Nanotecnologia e Materiais Avançados; dispõe sobre estímulos ao desenvolvimento científico, à pesquisa, à capacitação científica e tecnológica e à inovação nanotecnológica; altera as Leis nº 10.973, de 2 de dezembro de 2004, e nº 8.666, de 21 de junho de 1993; e dá outras providências. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/135353>. 12 nov. 2021.

BRASIL. Supremo Tribunal Federal. **Arguição de descumprimento de preceito fundamental 101 Distrito Federal**. Requerente: Presidente da República. Intimados: Presidente do Supremo Tribunal Federal entre outros. Relator: Cármen Lúcia, Tribunal Pleno. Voto: ministro Gilmar Mendes. Brasília, DF, julgado em 24 de junho de 2009. p. 255. Disponível em: <https://redir.stf.jus.br/paginadorpub/paginador.jsp?docTP=AC&docID=629955>. Acesso em: 30 set. 2021.

BRASIL. Tribunal Superior de Justiça. (2. Turma). **REsp nº 1546415 / SC (2015/0188079-0)**. Recorrente: Ministério Público do Estado de Santa Catarina. Recorridos: Carniel & Guimaraes Comercio de Combustiveis Ltda - EPP; Murilo Carniel Guimaraes; Alexandre Carniel Guimaraes; Amilto da Silva Guimaraes. Interesse: Fundação Ambiental Municipal de Lauro Muller Município de Lauro Müller. Relator: Min. OG Fernandes. 21 de fevereiro de 2019. Disponível em: <https://processo.stj.jus.br/processo/pesquisa/?tipoPesquisa=tipoPesquisaNumeroRegistro&termo=201501880790&totalRegistrosPorPagina=40&aplicacao=processos.ea>. Acesso em: 05 nov. 2021.

BREIER, R.; CARRIL, R. Autorregulação impacta direito penal empresarial. **Consultor Jurídico**, São Paulo, 28 set. 2013. Disponível em: <https://www.conjur.com.br/2013-set-28/autorregulacao-produz-impactos-direito-penal-empresarial>. Acesso em: 18 out. 2021.

BUZEA, Cristina; PACHECO, Ivan I.; ROBBIE, Kevin. Nanomaterials and nanoparticles: sources and toxicity. **Biointerphases**, [S. l.], v. 2 n. 4, Dec. 2007. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1116/1.2815690.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2021

CÁCERES-SAEZ, Iris *et al.* Heavy metals and essential elements in Commerson's dolphins (*Cephalorhynchus c. commersonii*) from the southwestern South Atlantic Ocean. **Environ Monit Assess**, [S. l.], v. 185, p. 5375–5386, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2952-y>. Acesso em: 24 set. 2021.

CANARIS, Claus-Wilhelm. **Grundrechte und privatrecht - eine Zwischenbilanz**. Berlin; New York: Gruyter, 1999. *E-book*.

CAPRA, Fritjof; MATTEI, Ugo. **A revolução ecojurídica**: o direito sistêmico em sintonia com a natureza e a comunidade. Trad. Jeferson Luiz Camargo. São Paulo: Cultrix, 2018.

CARTA do Rio. 1992. Brasília, DF: Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Iphan), 1995. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20do%20Rio%201992.pdf>. Acesso em: 17 out. 2021.

CARVALHO, Délton Winter. **Gestão jurídica ambiental**. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2017.

CASCIO, Jamais. Facing the age of chaos. **Medium**, San Francisco, CA, 29 Apr. 2020. Disponível em: <https://medium.com/@cascio/facing-the-age-of-chaos-b00687b1f51d>. Acesso em: 10 jun. 2021.

CASTRO, Nathália O. de; MOSER, Gleyci A. de Oliveira. Florações de algas nocivas e seus efeitos ambientais. **Oecologia Australis**, [S. l.], v. 16, n. 2, p. 235-264, jun. 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.4257/oeco.2012.1602.05>.

CLAM, Jean; ROCHA, Leonel Severo; SCHWARTZ, Germano. **Introdução à teoria do sistema autopoietico do direito**. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2013.

COLE, Matthew *et al.* The impact of polystyrene microplastics on feeding, function and fecundity in the marine copepod *Calanus helgolandicus*. **Environ Sci Technol**, [S. l.], v. 49, n. 2, 2015. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es504525u>. Acesso em: 16 set. 2021.

CÓZAR, Andrés. *et al.* Plastic debris in the open ocean. **Proc Natl Acad Sci**, [S. l.], v. 111, n. 28, 2014. Disponível em: <https://www.pnas.org/content/111/28/10239>. Acesso em: 20 set. 2021.

CUNNINGHAM, Brittany. Effects of three zinc-containing sunscreens on development of purple sea urchin (*Strongylocentrotus purpuratus*) embryos. **Aquatic Toxicology**, [S. l.], v. 218, Jan. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166445X19306381>. Acesso em: 24 set. 2021.

DARNACULLETA I GARDELLA, Maria Mercè. La autorregulación regulada en la doctrina anglosajona y continental-europea. *In*: ARROYO JIMÉNEZ, L.; NIETO MARTIN, A. (dir). **Autorregulación y sanciones**. Navarra: Editorial Aranzadi, 2015.

DUARTE, Marcella. **Rubia Gouveia, a cientista que usa nanocelulose para nos salvar da poluição**. São Paulo, 29 ago. 2021. Disponível em: <https://www.uol.com.br/tilt/noticias/redacao/2021/08/29/rubia-gouveia-cientista-usa-nanocelulose-para-salvar-o-meio-ambiente.htm>. Acesso em: 10 set. 2021.

ENGELMANN, Wilson. A (re)leitura da teoria do fato jurídico à luz do “diálogo entre as fontes do direito”: abrindo espaços no direito privado constitucionalizado para o ingresso de novos direitos provenientes das nanotecnologias. *In*: STRECK, Lenio Luiz; MORAIS, José Luis Bolzan de. (org.). **Constituição, sistemas sociais e hermenêutica**: Anuário do Programa de Pós-Graduação em Direito da Unisinos: Mestrado e Doutorado, n. 7. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2010.

ENGELMANN, Wilson. **Crítica ao positivismo jurídico**: princípios, regras e o conceito de Direito. Porto Alegre: Sergio Antonio Fabris Editor, 2001.

ENGELMANN, Wilson. Estruturando um ambiente regulatório pluralístico a partir da gestão dos riscos nanotecnológicos e da responsabilidade empresarial. *In*: BRAGATO, Fernanda Frizzo; STRECK, Lenio Luiz; ROCHA, Leonel Severo (orgs.). **Constituição, sistemas sociais e hermenêutica**: Anuário do Programa de Pós-Graduação em Direito da UNISINOS: mestrado e doutorados: n. 15. São Leopoldo: Karywa, Unisinos, 2019. *E-book*.

ENGELMANN, Wilson. Nanotecnologia e direitos humanos. **Cadernos de Direito Actual**, [S. l.], n. 9, 2018. Disponível: <http://www.cadernosdedereitoactual.es/ojs/index.php/cadernos/article/view/325>. Acesso em: 18 out. 2021.

ENGELMANN, Wilson. Os avanços nanotecnológicos e a (necessária) revisão da teoria do fato Jurídico de Pontes de Miranda: compatibilizando “riscos” com o “direito à informação” por meio do alargamento da noção de “suporte fático” *In*: STRECK, Lenio Luiz; MORAIS, José Luís Bolzan de; ROCHA, Leonel Severo (org.). **Constituição, sistemas sociais e hermenêutica**. Anuário do Programa de Pós-Graduação em Direito da Unisinos: Mestrado e Doutorado: n. 8. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2011.

ENGELMANN, Wilson; CARDOSO, Tatiana de Almeida Freitas Rodrigues. Os novos poderes e a necessidade de uma regulação mundial para as nanotecnologias. **Revista de Estudos Constitucionais, Hermenêutica e Teoria do Direito**, São Leopoldo, v. 2, n. 2, jul./dez. 2010. Disponível em: <http://revistas.unisinos.br/index.php/RECHTD/article/view/343/2057>. Acesso em: 12 maio 2021.

ENGELMANN, Wilson; FLORES, André Stringhi; WEYERMULLER, André Rafael. **Nanotecnologias, marcos regulatórios e direito ambiental**. Curitiba: Honoris Causa, 2010.

ENGELMANN, Wilson; HOHENDORF Raquel von. Perspectivas regulatória para o Brasil. *In*: LEAL, Daniele Weber S. *et al.* **Orientações jurídicas para o segmento industrial e comercial que trabalha com nanotecnologias**. São Paulo: Karywa, 2020. *E-book*. Disponível em: <https://Editorakarywa.Files.Wordpress.Com/2020/10/Jusnano-Unisinos-Cartilha.Pdf>. Acesso em: 30 ago. 2021.

ENGELMANN, Wilson; HOHENDORFF, Raquel von. Modelos regulatórios para as nanotecnologias: entre a hard law e a soft law. *In*: ANDRADE, Luís Renato Balbão (org.). **Pequeno não quer dizer seguro**: nanotecnologias e macroinquietações. São Paulo: Fundacentro, 2021. *E-book*.

ENGELMANN, Wilson; HOHENDORFF, Raquel von. **Os “compliance programs” como uma alternativa à gestão empresarial para lidar com o direito à informação do consumidor e os riscos trazidos pelas nanotecnologias**. [S. l.], 2014. não paginado. Disponível em: <http://www.publicadireito.com.br/artigos/?cod=6eae17727b4e77cf>. Acesso em: 30 set. 2021.

ENGELMANN, Wilson; HOHENDORFF, Raquel Von; FRÖHLICH, Afonso. Das nanotechnologias aos nanocosméticos: conhecendo as novidades na escala manométrica. *In*: ENGELMANN, Wilson. **Nanocosméticos e o Direito à Informação**. Erechim: Devian, 2015.

ENGELMANN, Wilson; HOHENNDORFF, Raquel von; MENDONÇA, Isabelle de Cássia. O labor nanotech e a necessária metamorfose jurídica: como as atuais sociedades de risco podem se valer de um ambiente regulatório pluralista para a garantia do não retrocesso à dignidade humana do trabalhador. **Revista Direito em Debate**, Ijuí: Editora Unijuí, [2021?]. No prelo.

ENGELMANN, Wilson; LEAL, Daniele Weber S.; HOHENDORFF, Raquel von. Autorregulação e riscos: desafios e possibilidades jurídicos para a gestão dos resíduos nanoparticulados. **Revista da Faculdade de Direito da UFRGS**, Porto Alegre, v. esp., n. 39, dez. 2018. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/revfacdir/article/view/84606/51652>. Acesso em: 18 out. 2021.

ENGELMANN, Wilson; MARTINS, Patrícia Santos. A ISO, suas normas e estruturação: possíveis interfaces regulatórias. *In*: ENGELMANN, Wilson; MARTINS, Patrícia Santos (org.). **As normas ISO e as nanotecnologias**: entre a autorregulação e o pluralismo jurídico. São Leopoldo: Karywa, 2017. *E-book*.

EQUIPE ECYCLE. **Aquicultura**: o que é e impactos ambientais. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/aquicultura/>. Acesso em: 10 set. 2021.

EVANGELHO segundo Mateus. *In*: BÍBLIA. Português. **Bíblia missionária**. Tatuí: Casa Publicadora Brasileira, 2018.

FAIRBANKS, Marcelo. **Fabricantes globais buscam concentrar negócios – TiO2**. São Paulo, jun. 2020. Disponível em: <https://www.quimica.com.br/fabricantes-globais-buscam-concentrar-negocios-tio2/>. Acesso em: 24 set. 2021.

FALINSKI, M. M. Doing nano-enabled water treatment right: sustainability considerations from design and research through development and implementation. **Environmental Science: Nano**, [S. l.], n. 11, 2020. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2020/en/d0en00584c>. Acesso em 03 nov. 2021.

FANTICELLI, Lutecido. A questão da aporia em Platão. **Controvérsia**, São Leopoldo, v. 11, n. 2, maio/ago. 2015. Disponível em: <http://revistas.unisinos.br/index.php/controversia/article/view/10399>. Acesso em: 02 set. 2021.

FEIGELSON, Bruno; SILVA, Luiza Caldeira Leite. Regulação 4.0: sandbox regulatório e o futuro da regulação. *In*: BECKER, Daniel; FERRARI, Isabela (coord.). **Regulação 4.0**: novas tecnologias sob a perspectiva regulatória. São Paulo: Thomson Reuters Brasil, 2019.

FEIGELSON, Bruno; SILVA, Luiza Caldeira Leite. *Sandbox*: um olhar prospectivo sobre o futuro da regulação. *In*: MALDONADO, Viviane Nóbrega; FEIGELSON, Bruno (coord.). **Advocacia 4.0**. São Paulo: Thomson Reuters Brasil, 2019.

FINKELSTEIN, Myra E.; GWIAZDA, Roberto H.; SMITH, Donald R. Lead Poisoning of Seabirds: Environmental risks from leaded paint at a decommissioned military

base. **Environ. Sci. Technol**, [S. l.], v. 37, n. 15, p. 3256–3260, 2003. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es026272e>. Acesso em: 20 set. 2021.

FRAGALLE, Edilson. Nanotecnologia conecta Embrapa e universidade colombiana para detecção de poluentes na água. **Notícias**, Brasília, DF, 10 fev. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/59277470/nanotecnologia-conecta-embrapa-e-universidade-colombiana-para-deteccao-de-poluentes-na-agua>. Acesso em: 02 set. 2021.

FRÖHLICH Afonso Vinício Kirschner; BATTIROLA, Fernando Luis Giroto. O que são princípios? *In*: LEAL, Daniele Weber *et al.* **Orientações jurídicas para o segmento industrial e comercial que trabalha com nanotecnologias**. São Paulo: Karywa, 2020. p. 14. *E-book*. Disponível em: <https://Editorakarywa.Files.Wordpress.Com/2020/10/Jusnano-Unisinos-Cartilha.Pdf>. Acesso em: 30 ago. 2021.

FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ (Fiocruz). **A Fundação**. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://portal.fiocruz.br/fundacao>. Acesso em: 24 set. 2021.

GALIMBERTI, Umberto. Man in the age of technology. **Journal of Analytical Psychology**, [S. l.], v. 54, n. 1, p. 3-17, jan. 2009. Disponível em: <https://online.library.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1468-5922.2008.01753.x>. Acesso em: 16 set. 2021.

GATOO, Manzoor Ahmad *et al.* Physicochemical properties of nanomaterials: implication in associated toxic manifestations. **Toxicity of Nanomaterials**, [S. l.], 2014. DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/498420>. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/bmri/2014/498420/>. Acesso em: 16 set. 2021.

GILLESPIE, Alexander. The precautionary principle in the Twenty-First Century: a case study of noise pollution in the ocean. **The International Journal of Marine and Coastal Law**, [S. l.], v. 22, n. 1, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1163/157180807781475227>. Disponível em: https://brill.com/view/journals/estu/22/1/article-p61_3.xml. Acesso em: 17 out. 2021.

GIRALDO, Jairo; TAKEUCHI, Noboru. Una introducción general a la nanociencia y nanotecnología. *In*: SERENA, P. A. *et al.* **Guía didáctica para la enseñanza de la nanotecnología en educación secundaria**. Madrid, 2014. Disponível em: https://www.icmm.csic.es/es/divulgacion/documentos/LIBRO_GUIA_DIDACTICA.pdf. Acesso em: 16 set. 2021.

GLOBAL Nanotechnology Market to Reach \$70.7 Billion by 2026. **PR News Wire**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.prnewswire.com/news-releases/global-nanotechnology-market-to-reach-70-7-billion-by-2026--301296253.html>. Acesso em: 01 jun. 2021.

GOGH, Vincent van. **Seascape near Les Saintes-Maries-de-la-Mer**. [S. l.], 1888. Disponível em: <https://www.vangoghmuseum.nl/en/collection/s0117v1962>. Acesso em: 10 maio 2021.

GOMES, Renata Nascimento; SIMIONI, Rafael Lazzarotto. A aplicação do princípio da informação no direito ambiental brasileiro, na forma de confiança e risco em

Niklas Luhmann. **Revista Direito Ambiental e Sociedade**, Caxias do Sul, v. 4, n. 2, p. 117-136, 2014. Disponível em: <http://www.ucs.br/etc/revistas/index.php/direitoambiental/article/viewFile/3341/2255>. Acesso em: 05 nov. 2021.

GONZÁLEZ-JARTÍN, Jesús M. et al. Magnetic nanostructures for marine and freshwater toxins removal. **Chemosphere**, [S. l.], v. 256, Oct. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127019>. Disponível em: <https://www.science-direct.com/science/article/pii/S0045653520312121?via%3Dihub>. Acesso em: 15 set. 2021.

GRAU, Eros Roberto. **Ensaio e discurso sobre a interpretação/aplicação do direito**. 5. ed. São Paulo: Malheiros, 2009.

GRAU, Eros Roberto. Nota sobre a distinção entre obrigação, dever e ônus. **Revista da Faculdade de Direito**, Universidade de São Paulo, São Paulo, n. 77, p. 178, 1982. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rfdusp/article/view/66950177-183>. Acesso em: 17 out. 2021.

GRIMM, Jacob. Von der Poesie im Recht. **Zeitschrift für geschichtliche Rechtswissenschaft**, [S. l.], ano 2, n. 1, S. 25-99, 1815. Disponível em: http://www.fh-augsburg.de/~harsch/germanica/Chronologie/19Jh/GrimmJacob/grj_pr00.html. Acesso em: 01 maio 2021.

GUTIÉRREZ-ARAUJO, Melissa Isabel; VÁZQUEZ-DUHALT, Rafael; JUÁREZ-MORENO, Karla Oyuki. Respuestas celulares de macrófagos a nanopartículas de óxidos metálicos. **Mundo Nano**, [S. l.], v. 14, v. 27, Jul./Dic. 2021. DOI: <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2021.27.69661>. Disponível em: <http://mundonano.unam.mx/ojs/index.php/nano/article/view/69661>. Acesso em: 15 set. 2021.

HALLEGRAEFF, Gustaaf M. *et al.* Perceived global increase in algal blooms is attributable to intensified monitoring and emerging bloom impacts. **Communications Earth & Environment**, [S. l.], v. 2, n. 117, 2021. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s43247-021-00178-8>. Acesso em: 02 set. 2021.

HANDY, Richard D. The ecotoxicology and chemistry of manufactured nanoparticles. **Ecotoxicology**, [S. l.], v. 17, n. 4, p. 287-314, May, 2008. DOI: 10.1007/s10646-008-0199-8. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18351458/>. Acesso em: 16 set. 2021.

HANSSON, Sven Ove. How extreme is the precautionary principle? **Nanoethics**, [S. l.], n. 14, p. 248, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11569-020-00373-5>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11569-020-00373-5#citeas>. Acesso em: 17 out. 2021.

HARTLEY, Scott. **O fuzzy e o techie**: as ciências humanas vão dominar o mundo digital. São Paulo: BEÍ Comunicação, 2017.

HERNANDEZ, Laura M. *et al.* Plastic teabags release billions of microparticles and nanoparticles into tea. **Environ. Sci. Technol**, [S. l.], v. 53, n. 21, p. 12300–12310,

2019. DOI: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.9b02540>. Acesso em: 16 set. 2021.

HOGAN, Chris. **Anti-fouling - new technologies make it easier**. Oxfordshire: Insure My World, 8th Apr. 2016. Disponível em: <https://www.insuremyworld.co.uk/articleboatNew-anti-fouling-technologies>. Acesso em: 24 set. 2021.

HOHENDORFF, Raquel von. **A contribuição do *safe by design* na estruturação autorregulatória da gestão dos riscos nanotecnológicos**: lidando com a improbabilidade da comunicação inter-sistêmica entre o direito e a ciência em busca de mecanismos para concretar os objetivos de sustentabilidade do milênio. 2018. Tese (Doutorado em Direito) -- Programa de Pós-Graduação em Direito, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2018. Disponível em: <http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/7055>. Acesso em: 15 set. 2021.

HOHENDORFF, Raquel von. A pandemia de covid-19: a necessária transdisciplinaridade e a improbabilidade de comunicação intersistêmica. *In*: BRAGATO, Fernanda Frizzo; STRECK, Lenio Luiz; ROCHA, Leonel Severo (org.). **Constituição, sistemas sociais e hermenêutica**: anuário do Programa de Pós-Graduação em Direito da UNISINOS: mestrado e doutorado: n. 16. São Leopoldo: Karywa, Unisinos, 2020. *E-book*.

HOHENDORFF, Raquel von; ENGELMANN, Wilson. Iniciando a regulação (não tradicional) para as nanotecnologias: a construção do caminho a partir das possibilidades do framework e da árvore de decisão. *In*: CELLA, José Renato Gaziero; NASCIMENTO, Valéria Ribas do; ROVER, Aires Jose (coord.). **Direito e novas tecnologias**. Florianópolis: CONPEDI, 2015. Disponível em: <http://conpedi.danilolr.info/publicacoes/c178h0tg/vwk790q77FZqE4NANXQ7yC96.pdf>. Acesso em: 02 set. 2021.

HOHENDORFF, Raquel Von; ENGELMANN, Wilson. **Nanotecnologias aplicadas aos agroquímicos no Brasil**: a gestão dos riscos a partir do diálogo entre fontes do direito. Curitiba: Juruá, 2014.

HOMAEIGO HAR; Shahin; ELBAHRI, Mady. Graphene membranes for water desalination. **NPG Asia Materials**, [S. l.], v. 9, 2017. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/am2017135>. Acesso em: 05 nov. 2021.

HOMERO. **Odisseia**. 25. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2015. não paginado. *E-book*.

HU, Menghong et al. CO₂-induced pH reduction increases physiological toxicity of nano-TiO₂ in the mussel *Mytilus coruscus*. **Sci Rep**, [S. l.], n. 7, 5 Jan 2017. DOI: 10.1038/srep40015. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28054631/>. Acesso em: 20 set. 2021.

INSTITUTO DE ESTUDOS SOCIOAMBIENTAIS (IESA). O que é FIB? Goiânia, 2009. Disponível em: <https://nupeat.iesa.ufg.br/n/4040-felicidade-interna-bruta-fib>. Acesso em: 03 nov. 2021.

INTERNATIONAL CENTER FOR TECHNOLOGY ASSESSMENT (ICTA). **Nanotechnology**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.icta.org/nanotechnology/#>. Acesso em: 17 out. 2021.

INTERNATIONAL CENTER FOR TECHNOLOGY ASSESSMENT (ICTA). **Princípios para a supervisão de nanotecnologias e nanomateriais**. Washington, DC, 2007. Disponível em: https://www.centerforfoodsafety.org/files/120132_icta_portuguese_lorez_81903_82038.pdf. Acesso em: 30 set. 2021.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO/TC 229 nanotechnologies**. Geneva, 2015. Disponível em: <https://www.iso.org/committee/381983.html>. Acesso em: 15 set. 2021.

JAYME, Erik. Direito internacional privado e cultura pós-moderna. **Cadernos do Programa de Pós-Graduação em Direito PPGDir./UFRGS**, Porto Alegre, v. 1, n. 1, 2003. DOI: <https://doi.org/10.22456/2317-8558.43487>. Acesso em: 28 set. 2021.

JAYME, Erik. Visões para uma teoria pós-moderna do direito comparado. **Revista dos Tribunais**, São Paulo, v. 759, Jan. 1999.

KAHRU, Anne; DUBOURGUIER, Henri-Charles. From ecotoxicology to nanoecotoxicology. **Toxicology**, [S. l.], v. 269, n. 2–3, p. 105-119, 10 Mar. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tox.2009.08.016>. Acesso em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0300483X09004442?via%3Dihub>. Acesso em: 15 set. 2021.

KELSEN, Hans. **Teoria pura do direito**. 4. ed. Coimbra: Armenio Amado Editor, 1979.

KHAN, Shamshad *et al.* Engineered nanoparticles for removal of pollutants from wastewater: current status and future prospects of nanotechnology for remediation strategies. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, [S. l.], v. 9, n. 5, Oct. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106160>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343721011374#!>. Acesso em: 02 set. 2021.

KIHARA, Shinji *et al.* Reviewing nanoplastic toxicology: It's an interface problem. **Advances in Colloid and Interface Science**, [S. l.], v. 288, Feb. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2020.102337>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0001868620306060?via%3Dihub>. Acesso em: 16 set. 2021.

KITIYODOM, Sirikorn *et al.* Enhanced efficacy of immersion vaccination in tilapia against columnaris disease by chitosan-coated “pathogen-like” mucoadhesive nanovaccines. **Fish & Shellfish Immunology**, [S. l.], v. 95, Dec. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.09.064>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1050464819309489?via%3Dihub>. Acesso em: 16 set. 2021.

KLINK, Amyr. **Paratii: entre dois pólos**. São Paulo: Companhia das Letras, 1992.

KOLEA, Sajal *et al.* PLGA encapsulated inactivated-viral vaccine: Formulation and evaluation of its protective efficacy against viral haemorrhagic septicaemia virus (VHSV) infection in olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) vaccinated by mucosal delivery routes. **Vaccine**, [S. l.], v. 37, n. 7, 8 Feb. 2019. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2018.12.063>. Disponível em: <https://www.science-direct.com/science/article/pii/S0264410X19300428?via%3Dihub>. Acesso em: 13 set. 2021.

KUSSLER, Leonardo Marques. Técnica, tecnologia e tecnociência: da filosofia antiga à filosofia contemporânea. **Kínesis**, Marília, v. 7, n. 15, dez. 2015. Disponível em: <https://revistas.marilia.unesp.br/index.php/kinesis/article/view/5712/3925>. Acesso em: 16 set. 2021.

LABORATÓRIOS VIRTUAIS DE PROCESSOS QUÍMICOS. **Portal**, Coimbra, 2007. Disponível em: http://labvirtual.eq.uc.pt/siteJoomla/index.php?option=com_content&task=view&id=116&Itemid=2. Acesso em: 12 maio 2021.

LAMPTOM, Christopher. **Divertindo-se com nanotecnologia**. Rio de Janeiro: Berkeley, 1994.

LAW, Kara Lavender *et al.* Plastic accumulation in the North Atlantic Subtropical Gyre. **Science**, [S. l.], n. 329, 2010. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1192321>. Acesso em: 16 set. 2021.

LEAL, Daniele Weber S.; ENGELMANN, Wilson; HOHENDORFF, Raquel Von. Autorregulação e riscos: desafios e possibilidades jurídicos para a gestão dos resíduos nanoparticulados. **Revista da Faculdade de Direito da UFRGS**, Porto Alegre, n. 39, dez. 2018.

LEAL, Mônia Clarissa Henning; MAAS, Rosana Helena. “**Dever de proteção estatal**”, “**proibição de proteção insuficiente**” e **controle jurisdicional de políticas públicas**. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2020. *E-book*.

LEITE, José Rubens Morato; BELCHIOR, Germana Parente Neiva. O Estado de Direito Ambiental e a particularidade de uma hermenêutica jurídica. **Seqüência**, Florianópolis, n. 60, jul. 2010.

LIMA, A. R. A.; COSTA M. F.; BARLETTA M. Distribution patterns of microplastics within the plankton of a tropical estuary. **Environmental Research**, [S. l.], v. 132, p. 146-155, July 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935114000784#!>. Acesso em: 29 set. 2021.

LIMA, Edilson Gomes de. **Nanotecnologia**: biotecnologia e novas ciências. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2014.

LOREVICE, Marcos V. *et al.* Porous cellulose nanofibril–natural rubber latex composite foams for oil and organic solvent absorption. **ACS Appl. Nano Mater**, [S. l.], v. 3, n. 11, Oct. 14, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsanm.0c02203>. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acsanm.0c02203>. Acesso em: 10 set. 2021.

LUHMANN, Niklas. **Ökologische Kommunikation**: Kann die moderne Gesellschaft sich auf ökologische Gefährdungen einstellen? 4. ed. VS Verlag für Sozialwissenschaften/GWV Fachverlage GmbH: Wiesbaden, 2004. *E-book*.

LUHMANN, Niklas. **Sistemas sociales**: lineamientos para uma teoria general. México: Anthropos: Universidad Iberoamericana; Santafé de Bogotá: CEJA, Pontificia Universidad Javeriana, 1998.

LUHMANN, Niklas. **Soziologie des risikos**. Berlin: New York: Gruyter, 1991.

LUO, Zhen *et al.* Rethinking Nano-TiO₂ safety: overview of toxic effects in humans and aquatic animals. **Nano Micro Small**, [S. l.], v. 16, n. 46, Sept. 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/sml.202002019>. Acesso em: 24 set. 2021.

MACHADO, Paulo Affonso Leme. ART. 225, § 1o, V. *In*: CANOTILHO, José Joaquim Gomes. **Comentários à Constituição do Brasil**. 2. São Paulo Saraiva 2018.. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788553602377>. Acesso em: 17 out. 2021.

MACHADO, Paulo Affonso Leme. **Direito à informação e meio ambiente**. São Paulo: Malheiros, 2006.

MAHMOUDI, Morteza *et al.* Protein-nanoparticle interactions: opportunities and challenges. **Chem. Rev.**, [S. l.], v. 111, n. 9, 2011. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21688848/>. Acesso em: 16 set. 2021.

MALTEZ, José Adelino. **Princípios de ciência política**. O problema do direito. Lisboa: Instituto Superior de Ciências Sociais e Políticas, 1998. v. 2.

MARTINEZ, Diego Stéfani Teodoro; ALVES, Oswaldo Luiz. Interação de nanomateriais com biosistemas e a nanotoxicologia: na direção de uma regulamentação. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 65, n. 3, jul. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.21800/S0009-67252013000300012>. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252013000300012&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 15 set. 2021.

MARTINS, Leandra Rajczuk. Acidificação dos oceanos afeta animais marinhos e ameaça equilíbrio trófico. **Agência Universitária de Notícias**, São Paulo, 24 abr. 2017. Disponível em: <http://aun.webhostusp.sti.usp.br/index.php/2017/04/24/acidificacao-dos-oceanos-afeta-animais-marinhos-e-ameaca-equilibrio-trofico/>. Acesso em: 05 nov. 2021.

MASSINI CORREAS, Carlos Ignacio. **La prudencia jurídica: introducción a la gnoseología del derecho**. 2. ed. Buenos Aires: Abeledo-Perrot, 2006.

MCCOY, Joe. **Aporia and philosophy**: a commentary on Plato's "Meno". 2001. Dissertation, Boston University, Boston, 2001. Disponível em: <https://philpapers.org/rec/MCCAAP>. Acesso em: 01 jun. 2021.

MENDONÇA, Isabelle de Cássia. *A priori natura*: sob a égide do “não regresso” ambiental em tempos de era nanotecnológica. *In*: SALÃO DE INICIAÇÃO

CIENTÍFICA, 31., 2019, Porto Alegre. **Anais eletrônicos...** Porto Alegre: UFRGS, 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/209873>. Acesso em: 12 maio 2021.

MENDONÇA, Isabelle de Cássia; FRÖHLICH, Afonso Vinício Kirschner. Uma metamorfose global e a incongruência da perspectiva estrutural do direito na era nano: a necessidade da ciência regulatória na proteção ambiental frente às nanotecnologias. *In*: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DESIGUALDADE, DIREITOS E POLÍTICAS PÚBLICAS: SAÚDE, CORPOS E PODER NA AMÉRICA LATINA, 7., 2020, São Leopoldo. **Anais eletrônicos...** São Leopoldo: Casa Leiria, 2020. Disponível em: <http://www.guaritadigital.com.br/casaleiria/acervo/cienciassociais/viisiddpp/index.html>. Acesso em: 20 abr. 2021.

MENDONÇA, Isabelle de Cássia; FRÖHLICH, Afonso Vinício Kirschner. Uma metamorfose global e a incongruência da perspectiva estrutural do direito na Era Nano: a necessidade da ciência regulatória na proteção ambiental frente às nanotecnologias. *In*: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DESIGUALDADE, DIREITOS E POLÍTICAS PÚBLICAS. 7, 2020, São Leopoldo. **Saúde, corpos e poder na América Latina**. São Leopoldo: Casa Leiria, 2020. Disponível em: <http://www.guaritadigital.com.br/casaleiria/acervo/cienciassociais/viisiddpp/index.html>. Acesso em: 30 set. 2021.

MENDONÇA, Isabelle de Cássia; GUIMARÃES, Natália Vitória Adam. Princípio do não retrocesso ambiental. *In*: LEAL, Daniele Weber S. *et al.* **Orientações jurídicas para o segmento industrial e comercial que trabalha com nanotecnologias**. São Paulo: Karywa, 2020. p. 22. *E-book*. Disponível em: <https://Editorakarywa.Files.Wordpress.Com/2020/10/Jusnano-Unisinos-Cartilha.Pdf>. Acesso em: 30 ago. 2021.

MINETTO, D.; GHIRARDINI, A. V.; LIBRALATO, G. Saltwater ecotoxicology of Ag, Au, CuO, TiO₂, ZnO and C₆₀ engineered nanoparticles: an overview. **Environment International**, [S. l.], v. 92–93, p. 189–201, July/Aug. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412016301180>. Acesso em: 16 set. 2021.

MIRANDA, Pontes de. **Sistemas da ciência positiva do direito**. 1. ed. Campinas: Bookseller, 2000. t. 1.

MONTEIRO, Fernanda *et al.* Total and subcellular Ti distribution and detoxification processes in *Pontoporia blainvillei* and *Steno bredanensis* dolphins from Southeastern Brazil. **Mar Pollut Bull.**, [S. l.], n. 153, Apr. 2020. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2020.110975. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32275533/>. Acesso em: 24 set. 2021.

MORAES, Paula Louredo. **Metabolismo energético**. [S. l.]: Brasil Escola, 2021. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/biologia/metabolismo-celular.htm>. Acesso em: 06 set. 2021.

NANOTECHNOLOGY PRODUCTS DATABASE (StatNano). **Introduction**. [S. l.], 2021. Disponível em: <http://product.statnano.com/>. Acesso em: 16 nov. 2021.

NANOTOXICOLOGY. **Nature**, 2021. Disponível em; <https://www.nature.com/subjects/nanotoxicology>. Acesso em: 16 set. 2021.

NASCIMENTO, Maria Cândida Simon Azevedo; ENGELMANN, Wilson. Nanotecnologia e direito: da estrutura jurídica tradicional ao diálogo entre as fontes do direito. **Nomos**: Revista do Programa de Pós-Graduação em Direito da UFC, Fortaleza, v. 37.1, jan./jun. 2017. Disponível em: <http://www.periodicos.ufc.br/nomos/article/view/3438/30831>. Acesso em: 30 set. 2021.

OLIVEIRA, Marcos de. Medidas preventivas. **Pesquisa Fapesp**, São Paulo, ed. 251, jan. 2017. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/medidas-preventivas/?cat=tecnologia/>. Acesso em 02 set. 2021.

OST, François. **A natureza à margem da lei**. A ecologia à prova do direito. Lisboa: Instituto Piaget, 1995.

PELLIN, Daniela. O sandbox regulatório como fonte de direito no caso de disrupção nanotech. *In*: CONGR. INTERN. INFORMATION SOCIETY AND LAW, FMU, 2., São Paulo, 2019. **Anais ...**, São Paulo, 2020. v. 2.

PENG, Licheng *et al.* Micro- and nano-plastics in marine environment: source, distribution and threats - a review. **Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 698, 1 Jan. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719342378>. Acesso em: 19 set. 2021.

PEREIRA, Isabela Ornelas; BINSFELD, Pedro Canisio. **Nanomedicamentos**: o cenário de regulamentação no Brasil. [S. l.], 2013. Disponível em: <https://silo.tips/download/nanomedicamentos-o-cenario-de-regulamentacao-no-brasil>. Acesso em: 31 out. 2021.

PÉREZ LUÑO, Antonio-Enrique. Las fuentes del derecho y su problemática actual. *In*: AVILÉS, María del Carmen Barranco; ANGÓN, Óscar Celador; FERNÁNDEZ, Félix Vacas (coord.). *Perspectivas actuales de las fuentes del derecho*. Madrid, 2011. Disponível em: https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/20864/perspectivas_barranco_2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em 03 nov. 2021.

PICCARDO, Manuela; RENZI, Monia; TERLIZZI, Antonio. Nanoplastics in the oceans: Theory, experimental evidence and real world. **Marine Pollution Bulletin**, [S. l.], v. 157, p. 2, Aug. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X20304355>. Acesso em: 17 set. 2021.

PILARSKI, Linda M. *et al.* Microsystems and nanoscience for biomedical applications: a view to the future. *In*: HUNT, Geoffrey; MEHTA, Michael. **Nanotechnology**: risks, ethics and law. London: Eartscan, 2006. *E-book*. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=en&lr=&id=HyCxG40hu-IC&oi=fnd&pg=PP2&dq=Nanotechnology+Risk,+Ethics+and+Law&ots=wA7X06cpm5&sig=yQyAlh8aPybaiYAJPgNYOziSYBs#v=onepage&q=Nanotechnology%20Risk%2C%20Ethics%20and%20Law&f=false>. Acesso em: 10 set. 2021.

PINTO, Fernanda de Rezende *et al.* Presença de metais em água de fontes de abastecimento durante época de chuvas. *In: CONGRESSO MUNDIAL DE ÁGUA*, 14., 2011, Porto de Galinhas. **Anais eletrônicos...** Porto de Galinhas, 2011. Disponível em: <https://iwra.org/member/congress/resource/PAP00-4856.pdf>. Acesso em: 02 set. 2021.

PLATO. **Meno and other dialogues**: Charmides, Laches, Lysis, Meno. New York: Oxford University Press, 2005. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=uT2xJncwU_IC&pg=PR7&hl=pt-BR&source=gbs_toc_r&cad=4#v=onepage&q&f=false. Acesso em: 25 set. 2021.

POLITIS, Vasilis. The place of aporia in Plato's Charmides. **Phronesis**, Leiden, v. 53, n. 1, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1163/156852808X252576>.

PONTES DE MIRANDA, Francisco Cavalcante. **Tratado de direito privado**. 4. ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 1983. t. 1.

POUND, Roscoe. **Mechanical jurisprudence**. Araçatuba, General Books: 2012. Originalmente publicado em *Columbia Law Review* 8, n. 8, dez. 1908.

PRIEUR, Michel. O princípio da proibição de retrocesso ambiental. *In: BRASIL*. Senado Federal. Comissão de Meio Ambiente, Defesa do Consumidor e Fiscalização e Controle (org.). **Princípio da proibição de retrocesso ambiental**. Brasília, DF: Senado Federal, 2012. *E-book*. Disponível em: <https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/242559/000940398.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. Acesso em: 17 out. 2021.

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE (PNUMA). **Fronteras 2017**. Nuevos temas de interés ambiental. Nairobi: PNUMA, 2017.

PROJETO GOLFINHO ROTADOR. **Mares e oceanos, você sabe as diferenças?** Fernando de Noronha, 26 abr. 2021. Disponível em: <https://golfinhorotador.org.br/en/2021/04/26/mares-e-oceanos-voce-sabe-as-diferencas/>. Acesso em: 02 maio 2021.

PROTEGER os oceanos é fundamental para sobrevivência, diz pesquisador. [S. l.], 8 jun. 2013. Disponível em: <https://www.terra.com.br/noticias/ciencia/sustentabilidade/proteger-os-oceanos-e-fundamental-para-sobrevivencia-diz-pesquisador,62cf198de4e1f310VgnCLD2000000ec6eb0aRCRD.html>. Acesso em: 25 set. 2021.

PYRRHO, Monique; SCHRRAM, Fermin Roland. **Nanotecnociência e humanidade**. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2016. *E-book*.

SALMO 40:5. Portuguese English Bilingual. *In: BIBLE The Gospels*. King James Version Almeida Recebida. [S. l.]: Lulu Press. 2019.

SARLET, Ingo Wolfgang. Direitos fundamentais e proporcionalidade: notas a respeito dos limites e possibilidades de aplicação das categorias da proibição de excesso e de insuficiência em matéria criminal. **Revista da Ajuris**, Porto Alegre, v. 35, n. 109, mar. 2008.

SARLET, Ingo Wolfgang; FENSTERSEIFER, Tiago. Algumas notas sobre a dimensão ecológica da dignidade da pessoa humana e sobre a dignidade da vida em geral. *In*: MOLINARO, Carlos Alberto *et al.*(org.). **A dignidade da vida e os direitos fundamentais para além dos humanos**: uma discussão necessária. Belo Horizonte: Fórum, 2008.

SARLET, Ingo Wolfgang; FENSTERSEIFER, Tiago. **Curso de direito ambiental**. Rio de Janeiro: Forense, 2021. *E-book*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786559641161>. Acesso em: 30 set. 2021.

SARLET, Ingo Wolfgang; FENSTERSEIFER, Tiago. **Direito constitucional ecológico**: constituição, direitos fundamentais e proteção da natureza. 6. ed. São Paulo: Thompson Reuters Brasil, 2019.

SCHWAB, Klaus. **A quarta revolução industrial**. São Paulo: Edipro, 2016. *E-book*.

SCHWAB, Klaus; DAVIS, Nicholas. **Aplicando a Quarta Revolução Industrial**. São Paulo: EDIPRO, 2019.

SERAPHIM, Renato. Brasil já produz startups expoentes em nanotecnologia. **AgTech Garage New**, [S. l.], 13 maio 2021. Disponível em: <https://www.agtechgarage.news/brasil-ja-produz-startups-expoentes-em-nanotecnologia/>. Acesso em: 05 nov. 2021.

SILVA, Joana. Nanopapel cerâmico é base para remoção de contaminantes da água. **Notícias**, Brasília, DF, 10 ago. 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/54710784/nanopapel-ceramico-e-base-para-remocao-de-contaminantes-da-agua#sol-gel>. Acesso em: 15 set. 2021.

SILVA, Romeu Faria Thomé da. **Manual de direito ambiental**. Salvador: JusPODIVM, 2019

SINGH, Harpreet *et al.* Environmental impacts of oil spills and their remediation by magnetic nanomaterials. **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management**, [S. l.], v. 14, Dec. 2020. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2215153219302338?token=942F0F207BA2A9000A79D7DAC3CA3609115B624174BD27F6A45557C1764CFBB8BE93B19222FBAB36A9CC8991CAC6D581&originRegion=us-east-1&originCreation=20211101105918>. Acesso em: 10 set. 2021.

STEPHENS, Brent. Ultrafine particle emissions from desktop 3D printers. **Atmospheric Environment**, [S. l.], v. 79, Nov. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.06.050>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231013005086?via%3Dihub>. Acesso em: 16 set. 2021.

STRECK, Lenio Luiz. Notícia de última hora: CNJ autoriza a cura de juiz solipsista! **Consultor Jurídico**, São Paulo, 21 set. 2017. Disponível em: <https://www.conjur.com.br/2017-set-21/senso-incomum-noticia-ultima-hora-cnj-autoriza-cura-juiz-solipsista>. Acesso em: 10 set. 2021.

STRECK, Lenio Luiz. O papel da constituição dirigente na batalha contra decisionismos e arbitrariedades interpretativas. *In*: COUTINHO, Jacinto Nelson de Miranda; MORAES, José Luís Bolzan de; STRECK, Lenio Luiz (org.). **Estudos constitucionais**. Rio de Janeiro: Renovar, 2007.

STRECK, Lenio Luiz; BARRETTO, Vicente de Paulo; OLIVEIRA, Rafael Tomaz de. Ulisses e o canto das sereias: sobre ativismos judiciais e os perigos da instauração de um “terceiro turno da constituinte”. **Revista de Estudos Constitucionais, Hermenêutica e Teoria do Direito (RECHTD)**, São Leopoldo, v. 1, n. 2, jul./dez. 2009. DOI: 10.4013/rechtd.2009.12.07. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5007512.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2021..

STRECK, Lenio Luiz; TRINDADE, André Karam. Introdução. *In*: STRECK, Lenio Luiz; TRINDADE, André Karam (org.). **Direito e literatura: da realidade da ficção à ficção da realidade**. São Paulo: Atlas, 2013. p. 6. *E-book*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788522478538/>. Acesso em: 9 jun. 2021.

TECPAR apoia estudos pioneiros na área ambiental. **Agência de Notícias do Paraná**, Curitiba, 11 dez. 2019. Disponível em: <https://www.aen.pr.gov.br/modules/noticias/article.php?storyid=105027>. Acesso em: 15 set. 2021.

TER HALLE, Alexandra *et al.* Nanoplastic in the North Atlantic Subtropical Gyre. **Cite this: Environ. Sci. Technol.**, [S. l.], v. 51, n. 23, p. 13689–13697, 21 Nov. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b03667>. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.7b03667>. Acesso em: 15 set. 2021.

TEUBNER, Gunter. A Bukowina global sobre a emergência de um pluralismo jurídico transnacional. **Impulso**, Piracicaba, v. 14, n. 33, 2003. Disponível em: <http://livrozilla.com/doc/1623775/a-bukowina-global-sobre-a-emerg%C3%Aancia-de-um-pluralismo>. Acesso em: 18 out. 2021.

TRINDADE, André Karam. Introdução. *In*: STRECK, Lenio Luiz; TRINDADE, André Karam (org.). **Os modelos de juiz: ensaios de direito e literatura**. São Paulo: Atlas, 2015. *E-book*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788597000207/>. Acesso em: 05 nov. 2021.

TRUHAUT, René. Ecotoxicology - A new branch of toxicology: a general survey of its aims, methods, and prospect. *In*: MCINTYRE, A. D. MILLS, C. F. (ed.). **Ecological toxicology research effects of heavy metal and organohalogen compounds proceedings of a NATO Science Committee Conference**. [S. l.]: Springer, 1975. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-1-4615-8945-7.pdf>. Acesso em: 16 set. 2021.

TURAN, Nouha Bakaraki *et al.* Nanoparticles in the aquatic environment: Usage, properties, transformation and toxicity: a review. **Process Safety and Environmental Protection**, [S. l.], v. 130, Oct. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.08.014>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582019311073?via%3Di> hub. Acesso em: 16 set. 2021.

TURNER, Andrew. Paint particles in the marine environment: An overlooked component of microplastics. **Water Research X**, [S. l.], v. 12, 1 Aug. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2021.100110>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589914721000232?via%3Di>hub. Acesso em: 19 set. 2021.

TURNER, Andrew. Paint particles in the marine environment: an overlooked component of microplastics. **Water Research X**, [S. l.], v. 12, 1 Aug. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2021.100110>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589914721000232?via%3Di>hub. Acesso em: 19 set. 2021.

UNITED STATES. Environmental Protection Agency. **Control of nanoscale materials under the toxic substances control act**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.epa.gov/reviewing-new-chemicals-under-toxic-substances-control-act-tasca/control-nanoscale-materials-under>. Acesso em: 03 nov. 2021.

UNITED STATES. Food & Drug. **Nanotechnology programs at FDA**. [S. l.], 23 Feb. 2021. Disponível em: <https://www.fda.gov/science-research/science-and-research-special-topics/nanotechnology-programs-fda>. Acesso em: 03 nov. 2021.

VALDERRAMAA, Katherine et al. Outer membrane protein FrpA, the siderophore piscibactin receptor of *Photobacterium damsela* subsp. *piscicida*, as a subunit vaccine against photobacteriosis in sole (*Solea senegalensis*). **Fish & Shellfish Immunology**, [S. l.], v. 94, Nov. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.09.066>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1050464819309507?via%3Di>hub. Acesso em: 15 set. 2021.

VALLS, Álvaro. **Da ética à bioética**. Petrópolis: Vozes, 2004.

VERDI, Roberta; HUPFFER, Haide Maria; JAHNO, Vanusca Dalosto. Desvendando o universo da nanotecnologia: dialogando sobre riscos, benefício e uma nova ética para a civilização tecnológica. *In*: ENGELMANN, Wilson; HUPFFER, Haide Maria. (org.). **Bionanoética**: perspectivas jurídicas. São Leopoldo: Trajetos Editorial, 2017.

WISEU, Ana. Integration of social science into research is crucial. **Nature**, [S. l.], v. 525, 17 Sept. 2015. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/525291a.pdf>. Acesso em: 16 set. 2021.

WANG, Evelyn N.; KARNIK, Rohit. Graphene cleans up water. **Nature Nanotechnology**, [S. l.], v. 7, p. 552–554, 2012. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/am2017135>. Acesso em: 05 nov. 2021.

WEDY, Gabriel. A transparência e a cooperação entre os povos no direito ambiental. **Consultor Jurídico**, São Paulo, 12 set. 2020. Disponível em: <https://www.conjur.com.br/2020-set-12/ambiente-juridico-transparencia-cooperacao-entre-povos-direito-ambiental>. Acesso em: 05 nov. 2021.

WEDY, Gabriel. O Brasil e a vedação constitucional de retrocessos ambientais. **Consultor Jurídico**, São Paulo, 25 maio 2019. Disponível em: <https://www.conjur.com.br/2019-mai-25/ambiente-juridico-brasil-vedacao-retrocessos-ambientais>. Acesso em: 05 nov. 2021.

WOLFART, Graziela; JUNGES, Márcia. Nanotecnologias, o cuidado com o ser humano e o meio ambiente. **IHU On-Line**, São Paulo, ed. 372, 05 set. 2011. Disponível em: <http://www.ihuonline.unisinos.br/artigo/4058-wilson-engelmann-3>. Acesso em: 16 set. 2021.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Department of Public Health, Environmental and Social Determinants of Health. **Microplastics in drinking-water**. Geneva: WHO, 2019. Disponível em: https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/information-sheet190822.pdf. Acesso em: 16 set. 2021.

YOSHIDA, Consuelo Yatsuda Moromizato. Prefácio. *In*: CAMPELLO, Livia Gaigher Bósio et al. (coord.). **Meio ambiente e desenvolvimento: os 25 anos da Declaração do Rio de 1992**. 1. ed. São Paulo: IDG, 2018. p. 17. Disponível em: https://professorvladmirsilveira.com.br/wp-content/uploads/2021/05/Meio_Ambiente__Desenvolvimento_Declara%C3%83%C2%A7%C3%83%C2%A3o_do_Rio-92.pdf. Acesso em: 17 out. 2021.

ZARPELON, Fabiana *et al.* Removal of coliform bacteria from industrial wastewaters using polyelectrolytes/silver nanoparticles self-assembled thin films. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, [S. l.], v. 4, n. 1, Mar. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2015.11.013>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343715300580?via%3Dihub>. Acesso em: 15 set. 2021.

ZHANG, Jie *et al.* The effects and the potential mechanism of environmental transformation of metal nanoparticles on their toxicity in organisms. **Environmental Science: Nano**, [S. l.], n. 11, p. 2482-2499, 2018.

ZIELIŃSKA, Aleksandra *et al.* Nanotoxicology and Nanosafety: safety-by-design and testing at a glance. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [S. l.], n. 17. 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/342525853_Nanotoxicology_and_Nanosafety_Safety-By-Design_and_Testing_at_a_Glance. Acesso em: 16 set. 2021.