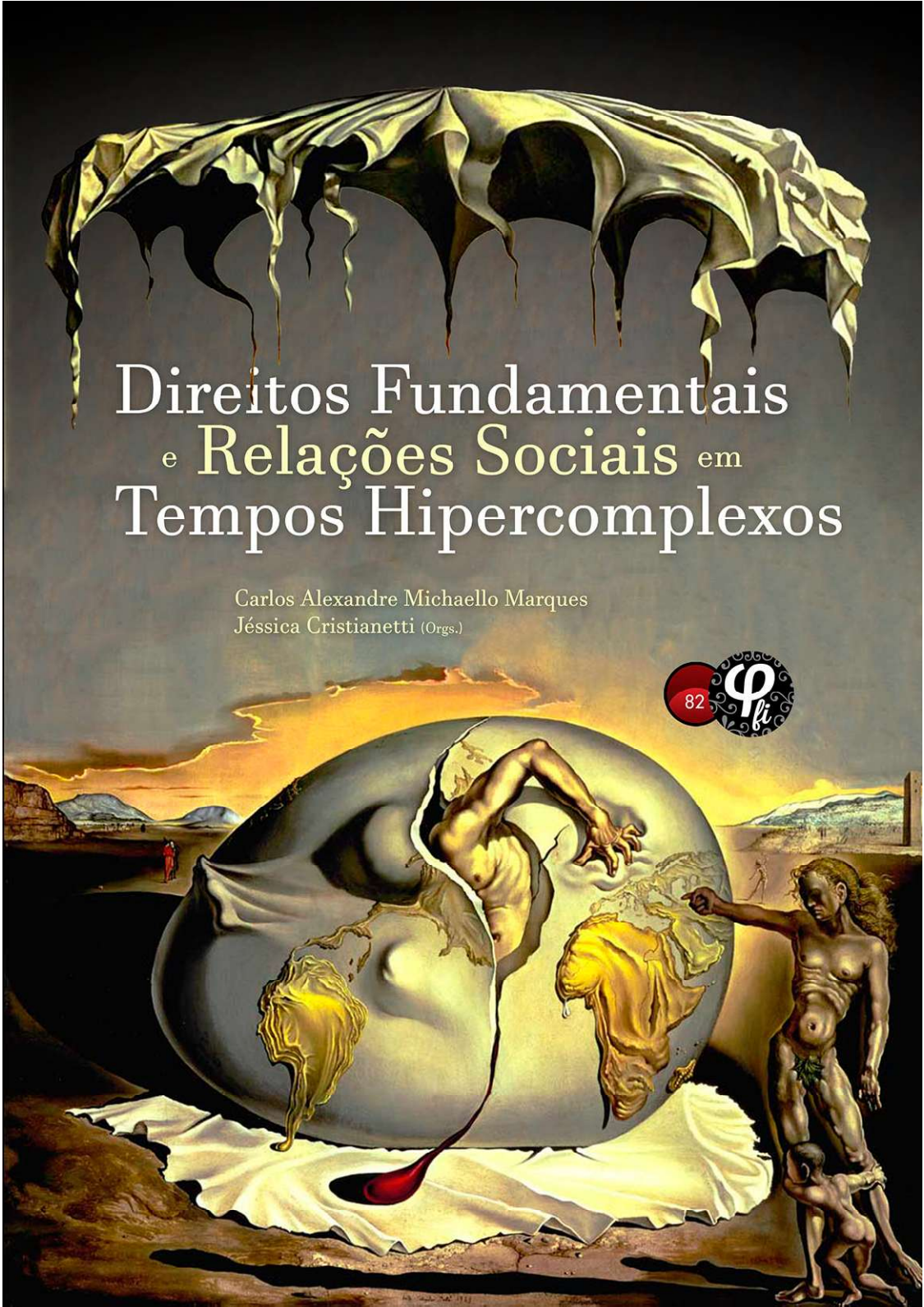
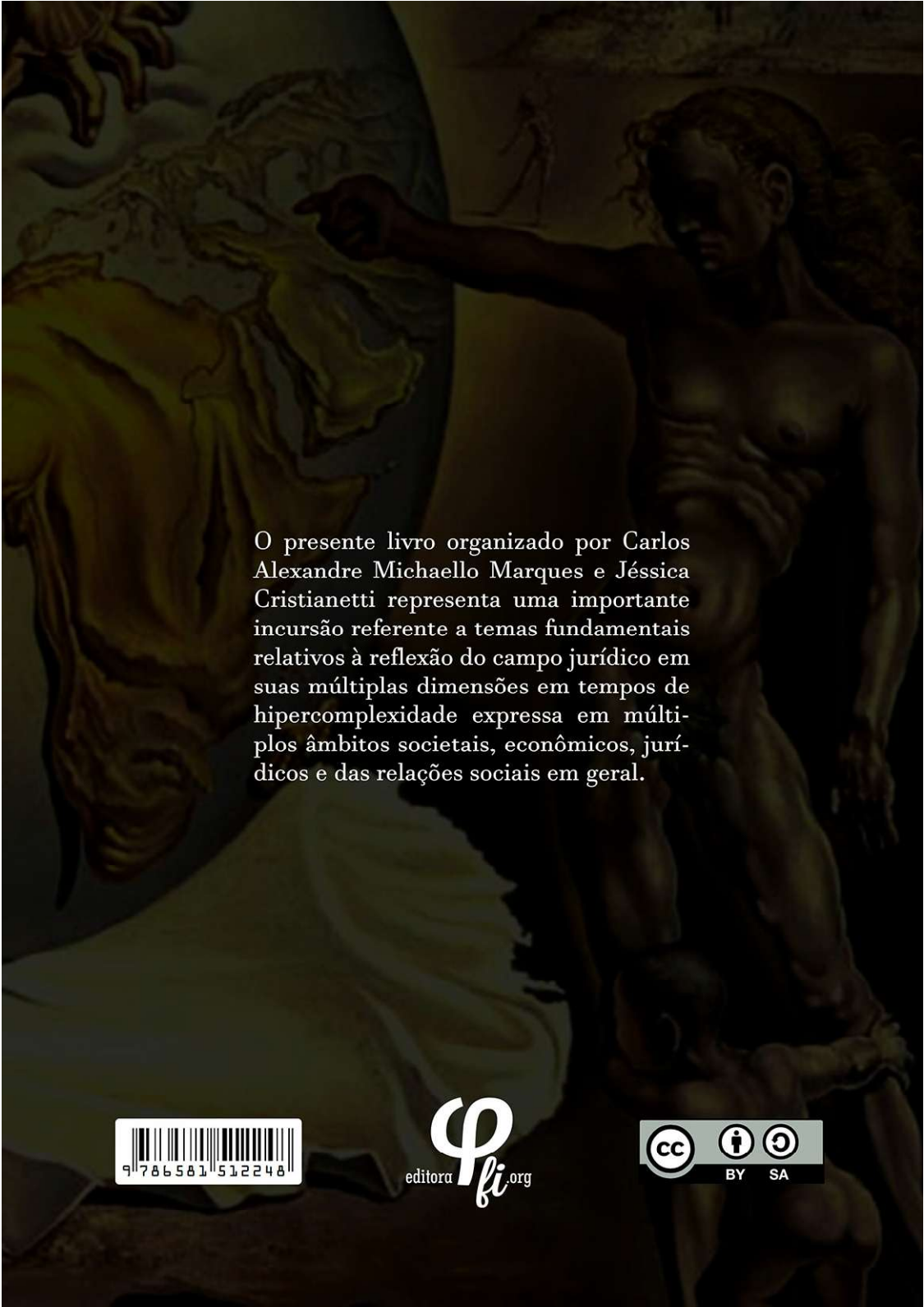


The background of the cover is Salvador Dalí's painting 'The Great Masturbator'. It depicts a large, pale, egg-shaped object with a face and a large, muscular arm reaching out to masturbate. To the right, a man in a suit points at the egg, while a small, cowering figure stands below him. The scene is set in a desolate, rocky landscape under a dramatic, orange-hued sky. A large, draped cloth hangs from the top of the image, framing the title.

Direitos Fundamentais e Relações Sociais em Tempos Hipercomplexos

Carlos Alexandre Michaello Marques
Jéssica Cristianetti (Orgs.)

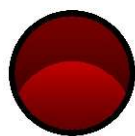




O presente livro organizado por Carlos Alexandre Michaello Marques e Jéssica Cristianetti representa uma importante incursão referente a temas fundamentais relativos à reflexão do campo jurídico em suas múltiplas dimensões em tempos de hipercomplexidade expressa em múltiplos âmbitos societais, econômicos, jurídicos e das relações sociais em geral.



**Direitos Fundamentais e
Relações Sociais em
Tempos Hipercomplexos**



Série
Ciências Jurídicas & Sociais

Comitê Editorial

Prof.^a Dr.^a Liane Tabarelli

PUCRS, Brasil

Prof.^a Dr.^a Marcia Andrea Bühring

PUCRS, Brasil

Prof. Dr. Orci Paulino Bretanha Teixeira

Ministério Público do Estado do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Voltaire de Lima Moraes

PUCRS, Brasil

Prof. Dr. Thadeu Weber

PUCRS, Brasil

Prof.^a Dr.^a Fernanda Medeiros

PUCRS, Brasil

Direitos Fundamentais e Relações Sociais em Tempos Hipercomplexos

Organizadores:

Carlos Alexandre Michaello Marques
Jéssica Cristianetti



A aplicação empírica do princípio da precaução aos riscos nanocnológicos*

Juliane Altmann Berwig ♦

Wilson Engelmann ♦♦

Introdução

O presente trabalho inicia abordando a origem, evolução e as facetas dos riscos das nanotecnologias.¹ Diante desse enfoque, serão demonstrados alguns estudos que apontam os sérios riscos que acompanham as nanotecnologias e assim a necessária proteção do meio ambiente, sendo

* O conteúdo do presente capítulo foi apresentado no XXVII Congresso Nacional do CONPEDI Porto Alegre – RS

♦ Doutora em Direito pela UNISINOS. Mestre em Direito pela UNISINOS. Especialista em Direito Ambiental Nacional e Internacional pela Universidade Federal do Estado do Rio Grande do Sul (UFRGS). Graduada em Direito pela Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC). Professora no curso de Direito da FEEVALE e Pesquisadora com o projeto “Os impactos humano-ambientais gerados pelas nanotecnologias: redesenhando os elementos estruturantes do direito ambiental”. Presidente da Associação Gaúcha dos Advogados de Direito Ambiental Empresarial – AGAAE. Autora do livro *Direito dos Desastres na Exploração offshore do petróleo*. Sócia-proprietária do escritório Berwig Advocacia. E-mail: julianeberwig@feevale.br

♦♦ Pós-doutorado en los Retos Actuales del Derecho Público pelo Centro de Estudios de Seguridad de la Universidad de Santiago de Compostela (CESEG/USC). Doutorado e mestrado em Direito Público pela UNISINOS. Graduação em Direito pela UNISINOS. Coordenador Executivo do Mestrado Profissional em Direito da Empresa e dos Negócios da Unisinos. Professor e pesquisador do Programa de Pós-Graduação em Direito da UNISINOS. Professor visitante da Universidad Católica del Uruguay, colaborador de pesquisa do Latin American Nanotechnology & Society Network, pesquisador associado – Portugalense Institute for Legal Research, pesquisador associado do Centro de I&D sobre Direito e Sociedade. e-mail: wengelmann@unisinos.br

¹ As nanotecnologias podem ser compreendidas primeiramente pela acepção da palavra, o prefixo “nano” vem do grego “nânos”, que significa anão, muito pequeno.¹ Assim, a “área do conhecimento que estuda os princípios fundamentais de moléculas e estruturas, nas quais pelo menos uma das dimensões está compreendida entre cerca de 1 e 100 nanômetros são as nanotecnologias. O nanômetro, representado pela abreviação “nm” é a bilionésima parte do metro, ou seja: 10^{-9} do metro. Também pode ser explicado dividindo o número $1/1.000.000.000$, ou, $0,000000001$ m, ou que o nanômetro é nove ordens de grandeza menor que o metro. Logo, as nanotecnologias são a aplicação destas nanoestruturas em dispositivos nanoescalares utilizáveis. In: ALVES, 2004.

esta a justificativa do presente estudo. O problema da pesquisa decorre justamente dos inúmeros riscos nanotecnológicos ao meio ambiente apresentados pelos estudos. Estes riscos são hoje presentes uma vez que já existe uma gama de produtos disponíveis no mercado, sobre os quais seus efeitos ainda são desconhecidos e não há conhecimento do sistema jurídico para a gestão dos mesmos.

Para tanto, este artigo objetiva, utilizando-se da pesquisa bibliográfica e matriz sistêmico-construtivista como metodologia, justificar a necessidade de observação pelo Direito dos riscos nanotecnológicos mediante a aplicação do Princípio da Precaução. Como hipótese de solução do problema se partirá para uma abordagem de compreensão da definição do Princípio da Precaução de acordo com o Art.15 da Declaração Rio 1992 em seus três elementos: risco, incerteza científica e medidas economicamente viáveis. A partir da compreensão destes pressupostos a pesquisa será conduzida com o objetivo de mostrar um possível caminho de aplicação do Princípio da Precaução às nanotecnologias visando a gestão dos riscos ambientais.

1 Os riscos ambientais nanotecnológicos, suas potencialidades e magnitudes

Como verificado, existem muitos produtos que contem a tecnologia nano que já estão no mercado (SHEARER, 2016). Aproximadamente 8.832 produtos que incorporam as nanotecnologias já estão sendo comercializados (NPD, 2019). Este número pode ser ainda maior, tendo em conta que as nanotecnologias ainda não possuem regulamentação em nível internacional e também nacional (BERWIG; ENGELMANN, 2017, p.39-74). Sobre os nanomateriais, embora muitos estejam sendo desenvolvidos, há um risco sério de que não se sabe o suficiente sobre os efeitos a longo prazo desses materiais na saúde humana e ao meio ambiente (FRONTERAS, 2017). Ademais, os riscos dos nanomateriais “não são completamente conhecidos, uma vez que não são conhecidas suas extensões e capacidade para gerar danos”, bem como estão presentes desde a sua fabricação até a

sua utilização como produto, ou seja, em todo o ciclo de vida do produto (MORISSO; JAHNO, 2017, p. 13-37).

Por isso, a avaliação completa do risco da segurança na saúde humana e no impacto ambiental deve ocorrer em todas as fases das nanotecnologias. Zhang e demais pesquisadores dos riscos ambientais das nanotecnologias apontam que o principal problema é o método de análise de nanopartículas. Novos nanomateriais são gradualmente desenvolvidos, no entanto, estes variam de acordo com a forma e o tamanho, fatores importantes na determinação da sua toxicidade. A falta de informação e métodos de caracterização dos nanomateriais torna extremamente difícil detectar as nanopartículas no ar para proteção ambiental. Além disso, a informação da estrutura química é um fator crítico para determinar quão tóxico o nanomaterial é, sendo que pequenas alterações do grupo de funções químicas pode mudar drasticamente suas propriedades (ZHANG, 2011).

Ao mesmo tempo, a preocupação dos riscos das nanotecnologias é severa, haja vista que, em escala nano os efeitos ambientais dos materiais podem ser diferentes, seja em razão dos nanomateriais possuírem uma área superficial relativamente maior quando comparada à massa de material produzido em escala tradicional, seja pela possibilidade de torná-los quimicamente reativos quando na forma macro são inertes. Além disso, os efeitos quânticos podem dominar o comportamento da matéria em nanoescala afetando a comportamento óptico, elétrico e magnético dos materiais (ROYAL SOCIETY, 2004). Este efeito pode ser observado com o ouro, material praticamente inerte, todavia, em formato de nanopartículas é altamente reativo (PASCHOALINO, 2010, p. 421-430).

Pesquisas apontam que os nanomateriais podem ter uma permeabilidade através da pele, mucosas e membranas celulares, causando um efeito tóxico. Uma das características que devem ser observadas é o tamanho das nanopartículas, pois “partículas aéreas maiores que 2,5 micrometros de qualquer natureza tendem a ficarem retidas no nariz e na garganta, enquanto partículas menores tendem a seguir para vias aéreas mais internas”. Diante disso, “partículas com dimensão que possam

chegar ao sistema alveolar podem, com certa facilidade, permear os tecidos e cair na corrente sanguínea e daí chegar a diversos órgãos, como fígado, rins, baço e coração, para então atuar de forma danosa” (MORISSO; JAHNO, 2017, p. 37).

Neste sentido, diante das pesquisas já realizadas é importante elencar alguns dos possíveis danos ambientais decorrentes das nanotecnologias: i) Alta exigência de energia para sintetizar nanopartículas causando um aumento pela demanda de energia; ii) Disseminação de nanossustâncias tóxicas e persistentes gerando danos ambientais; iii) Menores taxas de recuperação e reciclagem; iv) Implicações ambientais nos estágios do ciclo de vida dos produtos são em sua maioria desconhecidos; v) Falta de engenheiros e trabalhadores treinados. (ZHANG, 2011).

Percebendo esta carência de estudos, o *Center for the Environmental Implications of NanoTechnology* (CEINT) realiza pesquisas fundamentais sobre o comportamento de materiais em nanoescala nos ecossistemas. No mesmo caminho, o *Department of Applied Science and Nanotechnology Center, University of Arkansas* comprovou por métodos analíticos que os nanotubos de carbono são capazes de penetrar no revestimento de semente, um processo que pode afetar a germinação das sementes e o crescimento de mudas de tomate (KHODAKOVSKAYA, 2009, p.3221-3227). A *U.K. Royal Society* recomendou que “a liberação de nanopartículas e nanotubos no meio ambiente seja evitada” e sugeriu que “as fábricas e os laboratórios de pesquisa encarem as nanopartículas fabricadas e nanotubos como perigosos” a fim de objetivar reduzir ou remover os seus resíduos (ICTA, 2012).

Outro estudo demonstrou que os nanomateriais quando em contato com os órgãos de peixes, como brânquias em uma solução fisiológica salina, podem ser potencialmente prejudiciais a ambientes aquáticos, todavia os mecanismos de toxicidade muito complexos e até o momento pouco compreendido (SOCOOWSKI, 2012, p. 114-115, 2012). Assim, os “micro-organismos, como bactérias e os protozoários, podem levar nanopartículas através de membranas celulares, e assim permitir que as partículas entrem em uma cadeia alimentar biológica,” para tanto pensar

na cadeia atingida pelas nanopartículas é de suma relevância (MORISSO; JAHNO, 2017, p. 15).

As incertezas significativas associadas com os riscos (eco)toxicológicos dos nanomateriais artificiais constituem desafios para o desenvolvimento dos produtos em direção a maior segurança e benefício possível à sociedade (SUBRAMANIAN, 2016). Peter Gehr, nesta mesma linha menciona que "agora sabemos muito mais sobre os riscos dos nanomateriais e como mantê-los sob controle". No entanto, é preciso realizar pesquisas adicionais para saber o que acontece quando os seres humanos e o meio ambiente estão expostos a nanopartículas projetadas por longos períodos, ou o que acontece após o período de exposição (LQES).

De acordo com os diagnósticos conferidos pelo "*ProSafe White Paper*" de 2017 os nanomateriais na realidade geralmente podem se transformar ou se incorporar à outros produtos durante o ciclo de vida. Há uma falta de dados sobre as propriedades físico-químicas de transformações ao longo das várias fases do ciclo de vida. Em outras palavras, é preciso saber se um nanomaterial é ou será transformado em uma nova forma que requer testes ou medidas específicas de segurança. É evidente que, em geral, os materiais originais são mais perigosos do que os transformados, de modo que avaliar os materiais originais geralmente é seguro. No mesmo tempo, o resultado é uma superestimação do risco que pode (desnecessariamente) atrasar a aplicação de nanomaterial. As mudanças que podem ocorrer nos nanomateriais durante a sua vida são apenas parcialmente compreendidos (NATIONAL INSTITUTE FOR PUBLIC HEALTH AND THE ENVIRONMENT, 2017).

Nesta via, as nanotecnologias "ao mesmo tempo em que abrem perspectivas de melhoria da vida humana, também podem trazer efeitos nefastos". As possibilidades de efeitos podem tanto declinar para o resultado positivo quanto negativo. Engelmann, Flores e Weyermüller, corroboram neste sentido que a "Revolução das Nanotecnologias tem-se a perspectiva de profundas mudanças na sociedade, mas é necessária uma discussão sobre os riscos da inovação" (ENGELMANN; FLORES;

WEYERMÜLLER, 2010, p.132). Inclusive tendo em conta a inexistência de preceitos legais sobre a gestão dos riscos nanotecnológicos.

Portanto, diante deste cenário, revela-se assim, de soberana importância, a aplicação do princípio da precaução uma vez que estes podem envolver uma gama de procedimentos acautelatórios para minimizar os riscos de danos ambientais atuais e futuros. É preciso ter em mente que o passado deixou de ser uma chave confiável para o futuro, a abordagem da precaução é necessária e requer uma série de mudanças na cultura científica e na forma como a avaliação de risco é realizada, (BECK, 2010, p.24) uma vez que esta possui um elemento agravante: o desconhecimento científico.

2 A precaução

A palavra precaução é o resultado da conjugação latina do sufixo *cautio*, que denota “*cuidado, prevenção*”, relacionado ao verbo *cavere*, que consiste num estado de alerta ou de guarda, com o prefixo, também latino, *prae*, o qual remete à posição “antes, à frente”. Em linhas mais simples, a precaução é a “posição anterior à caução ou garantia de algo ou, como propõe a estrutura latina, situa-se num ponto decisório antes da prevenção, preceito também presente no direito ambiental” (MINASSA, 2018, p. 158-159).

O Princípio da Precaução foi inicialmente mencionado em 1959 na Alemanha na Lei sobre o uso pacífico da energia nuclear e proteção contra seus perigos (*Atomgesetz*). Posteriormente, em 1974, a política ambiental alemã foi fundada e sob o nome “*vorsorgeprinzip*”, tradução de Princípio da Precaução (BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ). Também, o princípio teve as primeiras versões na Lei de Proteção Ambiental Sueca de 1969 (SUNSTEIN, 2005, p.16). A lei em várias passagens prevê que as Agências Estatais tem autorização para em precaução proibir as atividades nocivas ao meio ambiente.

Desde 1985, outros instrumentos vêm referindo o princípio da precaução, quando se trata de problemas globais ambientais e de desenvolvimento (HICKEY JR; WALKER, 1995, p.423-454). Mas, de acordo

com Farber, o conceito hoje utilizado sobre o princípio da precaução é encontrado na Declaração do Rio de 1992, especialmente nos trechos: “para proteger o meio ambiente, a abordagem de precaução deve ser aplicada de acordo com suas capacidades”, e que, em “ameaças de danos sérios ou irreversíveis, a falta de certeza científica não deve ser usada como razão para adiar os custos”, ou seja, medidas efetivas para prevenir a degradação ambiental (FARBER, 2015, p.1660-1774).

Na legislação brasileira, o termo “precaução” adentrou a partir da Declaração do Rio de 1992 e apesar de não estar escrito no inciso V do Art. 225 da CF/88, na opinião de Machado “a sua noção aí está presente”, haja vista que onde há risco, deve haver precaução para evitar o possível prejuízo (MACHADO, 2013, p.2092).

O princípio objetiva o “afastamento de perigo e a segurança das gerações futuras, como também de sustentabilidade ambiental das atividades humanas”. Ele simboliza um instrumento pela busca da proteção da existência da vida humana, seja pela proteção de ambiente ou seja do asseguramento da integridade da vida humana (DERANI, 2008, p.152). No mesmo sentido Machado afirma que a “implementação do Princípio da Precaução não tem por finalidade imobilizar as atividades humanas”. Ou seja, o princípio não objetiva impedir a ação de tudo que vê como uma possibilidade catástrofe. Mas, visa à “durabilidade da sadia qualidade de vida das gerações humanas e à continuidade da natureza existente no planeta” (MACHADO, 2014, p.96).

Sunstein, todavia, questiona: “O que exatamente o Princípio da Precaução significa ou requer? Existem vinte ou mais definições e elas não são compatíveis umas com as outras”. Em uma versão fraca “a falta de evidência decisiva de dano não deve ser motivo para se recusar a regulamentar”. Os controles podem ser justificados mesmo se não é possível estabelecer uma conexão definitiva (a exposição de baixo nível a certos carcinogênicos e os efeitos adversos na saúde humana) (SUNSTEIN, 2005, p.18). Mas em Gomes, “na sua versão minimalista, funde-se com a

prevenção, relida à luz dos pressupostos da sociedade de risco e temperada por uma análise custo-benefício” (GOMES, 2013, p.19).

No outro extremo, o das versões fortes, estas exigiriam um repensar fundamental da política regulatória, sugerindo que a regulação sempre que houver um possível risco à saúde, à segurança ou ao meio ambiente, mesmo que as evidências sejam especulativas e mesmo que o custo econômico da regulação seja alto (SUNSTEIN, 2005, p.18-24). Corresponderiam, assim, ao um princípio de inação máxima de ação (sobrevvalorizando acriticamente o valor ambiente/vida/segurança sobre quaisquer outros) ou e inação (conduzindo a uma paralisia inaceitável), indefensável no contexto do Estado prestador e no âmbito da teoria dos deveres de proteção (GOMES, 2013, p.19).

Dark e Burgin afirmam que o Princípio da Precaução é "inovador, mas irresponsável, generalizado, mas arbitrário e significativo, mas imprudente" (DARK; BURGIN, 2017). Logo, as referências à precaução revelam uma variável, vaga e muitas vezes confusas do princípio (HICKEY JR; WALKER, 1995, p.423-454). Inclusive, algumas organizações podem invocar o princípio para promover eventuais proibições e restrições, sem a aparente necessidade de justificações às camadas populares. Assim, a incerteza quanto ao princípio pode motivar decisões discricionárias, sem necessidade de qualquer tipo de controle externo (MINASSA, 2018, p. 158-159).

Definir e instrumentalizar empiricamente o Princípio da Precaução é um desafio que precisa ser ultrapassado e este desafio está sendo exponencialmente dificuldade pelas incertezas científicas e riscos de graves danos ambientais. Desta maneira, a definição do Princípio da Precaução a ser utilizada é a comumente aceita é a prevista no Art. 15 da Declaração Rio de 1992 “Quando houver ameaça de danos graves ou irreversíveis, a ausência de certeza científica absoluta não será utilizada como razão para o adiamento de medidas economicamente viáveis para prevenir a degradação ambiental (CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO). Para tanto, extrai-se deste, seus elementos: i) ameaça de danos graves ou irresistíveis; ii) ausência de certeza

científica absoluta; iii) medidas economicamente viáveis para prevenir a degradação ambiental. Objetivando assim, a compreensão dos elementos do Princípio da Precaução, serão os mesmos analisados um a um com base na doutrina nacional e internacional.

3 Risco

A precaução caracteriza-se pela ação antecipada diante ameaças de graves danos ou irresistíveis simbolizadas em riscos (MACHADO, 2014, p.97). O risco pode assim ser definido como a probabilidade de um evento futuro adverso (ADAMS, 2009, p.111). Por isso, Beck conceitua que os riscos “não se esgotam em efeitos e danos já ocorridos”. Eles exprimem um componente futuro, e por conta desta sua característica têm, fundamentalmente, a ver com antecipações, com destruições que ainda não ocorreram, mas que são iminentes, e que, justamente nesse sentido, já são reais hoje (BECK, 2010, p.39).

A força social dos riscos está nas ameaças projetadas no futuro (BECK, 2010, p.40). Estes riscos “são riscos de danos ambientais ou ecológicos, danos à saúde pública, à segurança pública, à segurança dos consumidores”. Ou seja, são os riscos que colocam em causa os valores que justificam a aplicação do Princípio da Precaução (ARAGÃO, 2012, p. 159-185). Assim, o risco e a incerteza são grandezas próximas, “dialogam mediante o Princípio da Precaução” (GOMES, 2013, p.19). Por esta via, falar em precaução é ter o desafio de abordar as incertezas que pairam os riscos de danos ambientais. Logo, “entre o estabelecimento de proibições liminares (de atividades, tecnologias, produtos ou substâncias) e a mera informação da população potencialmente afetada (sobre os riscos identificados e as medidas de autoproteção no caso de o risco se verificar)”, as possibilidades de medidas precaucionais são vastas (ARAGÃO, 2012, p. 159-185).

Cezar e Abrantes explicam que a Análise de Risco e a Gestão de Risco, são normalmente diferenciadas em três fases: 1. Percepção de Risco inicial; 2.A Análise de Risco e 3.A Gestão de Risco (CEZAR; ABRANTES, 2003,

p.225-262). Quanto a *Percepção dos riscos*, ela é analisada não só à luz de critérios científicos de gravidade, mas também considerando critérios indicadores de inaceitabilidade social e, portanto, de insustentabilidade social dos riscos. Aragão assim os classifica em i) riscos objetivos, que são aqueles riscos cientificamente elevados, na medida em que a sua gravidade é mensurável, ou seja, a sua importância é avaliável cientificamente. Nestes, aparentemente, existe uma consciência dos cidadãos (a poluição hídrica, por exemplo); ii) riscos subjetivos, apesar de serem considerados muito baixos ou mesmo irrelevantes pelos especialistas, geram ondas de alarme social (ARAGÃO, 2012, p. 159-185).

Essa percepção de riscos inicial poderá basear-se em duas alternativas: a) na percepção de senso comum ou de especialistas isolados; b) em uma análise de risco *stricto sensu*, entendida como a aplicação de uma metodologia e de um conhecimento tecnológico, matemático e científico especializados a quantificar a probabilidade de um efeito adverso potencializado por um dado agente. Todavia, a negligência da probabilidade, é um fato necessário de discussão. Haja vista que sob a pressão de um medo público não justificável, as pessoas tendem a focar no pior caso, mesmo quando a sua ocorrência é altamente improvável. Por isso, cidadãos comuns são propensos a apoiar medidas preventivas mesmo sendo caras, mesmo sendo os riscos remotos mesmo sendo os procedimentos ineficazes para a resolução dos riscos (MOTA, 2008, p.180-211).

A *Análise de Risco* pode ser entendida como a aplicação de um conjunto de conhecimentos disponíveis na identificação de efeitos adversos potencializados por um determinado agente/atividade/produto. Ela é realizada por especialistas, com o escopo de estabelecer uma quantificação do risco, com base numa decisão política anterior sobre o que deve ser considerado como efeito adverso, de um lado, e sobre o tempo e os recursos que poderão ser utilizados na Análise, de outro. Além da quantificação do risco, na *Análise de Risco* devem ser indicados os pressupostos metodológicos adotados e o grau de incerteza referente ao prognóstico sobre o risco (CEZAR; ABRANTES, 2003, p.225-262).

Nas nanotecnologias a tendência de incorporar dinamicamente nanomateriais em produtos comerciais exige decisões a curto prazo em relação aos possíveis riscos que esses materiais podem apresentar. Além disso, o critério para a análise do risco é muito discutido, pois ele deve abordar amplamente a exposição, a concentração, a biodisponibilidade e a absorção dos nanomateriais (WIESNER; BOTTERO, 2011, p. 659-668).

Além disso, muitas vezes pouco ressaltado é o fato de que “prevenir riscos ou danos implica escolher quais os riscos ou danos pretendemos prevenir e quais os que aceitamos correr”. Se a escolha for feita racionalmente o risco menor será escolhido. Contudo, nem sempre as escolhas são feitas racionalmente, são feitas por vezes na percepção. Sendo que “a percepção do risco nem sempre guarda alguma relação com o risco real e, muitas vezes a escolha é feita com base na percepção e não no risco real”. De acordo com da *Harvard Center of Risk Analysis* o risco de morrer afogado ao se tomar banho em uma banheira é inúmeras vezes maior do que o risco de acidente nuclear (ANTUNES, 2016, p. 33). Mesmo assim, baseado na percepção dá-se muita mais ênfase no risco da energia nuclear do que ao se tomar banho de banheira.

O Princípio da Precaução na fase de *Análise de Risco* “culmina na formulação de previsões (estatísticas) sobre a ocorrência futura de efeitos adversos para o meio ambiente, para a sociedade ou para a saúde humana”. Efeitos estes potencializados pelo desenvolvimento ou utilização de ferramentas mecânicas ou sociais – segundo uma noção de adversidade previamente construída. Muitas vezes, este conhecimento pode não estar disponível e os analistas se veem no dilema: fazer a previsão sem teorias e dados suficientes – em benefício da celeridade do processo regulatório – ou procrastinar suas estimativas até que esse conhecimento se faça disponível, o que compromete a rapidez e eficácia das políticas regulatórias. Assim, a aplicação de Princípio da Precaução nesta fase, poderia informar que, havendo a percepção anterior de ameaça de danos (sérios ou irreversíveis), a ausência de absoluta certeza científica de dano não poderia ser utilizada como razão para adiar a finalização dessa etapa de quantificação

do risco, no intuito de obtenção de mais dados, e assim retardar a adoção de medidas de precaução contra a degradação ambiental antecipada (CEZAR; ABRANTES, 2003, p.225-262).

Engelmann ressalta a importância da relação entre a zona de imbricamento da probabilidade e da magnitude, quando se trata da precaução (ENGELMANN, 2017, p.387-491). Por isso, empregar somente o Princípio, sem embutir em seu conteúdo o risco e seu dimensionamento, através da avaliação de riscos, soa vazio e sem real significação. Por isso, a avaliação dos riscos “irá proporcionar um encontro da sociedade com a ciência e desta com a sociedade” (MACHADO, 2013, p.2093).

Na terceira fase de *Gestão de Risco* os resultados fornecidos pela fase de Análise do Risco e uma avaliação sobre eventuais benefícios colaterais envolvidos, indicam-se as providências a serem implementadas. Desse modo, esta fase é caracterizada como uma atividade preponderantemente política, envolvendo diversos atores com diferentes qualificações. Estas decisões normalmente são tomadas também em considerações sobre eventuais benefícios colaterais, sendo escolhidas determinadas linhas de ação – seja para desconsiderar o risco, evitá-lo ou minimizá-lo (CEZAR; ABRANTES, 2003, p.225-262).

Aragão confirma esta aplicação sob o argumento de que a precaução deve assim orientar o decisor quando, “apesar de todos os estudos, experiências, testes, análises, simulações, modelizações, não é possível afastar todas as dúvidas acerca dos impactos potenciais da substância, produto, atividade ou instalação” (ARAGÃO, 2012, p. 159-185). Ainda assim existem motivos plausíveis de potenciais perigos ao meio ambiente ou a saúde humana, mas, os dados não permitem uma avaliação detalhada dos riscos envolvidos. Neste caso, Milaré e Setzer defendem que nestes casos “o princípio da precaução tem sido invocado como estratégia de gestão de riscos” (MILARÉ, 2006, p.13-14).

Portanto, a aplicação do princípio da precaução diante das incertezas científicas acerca de todos os possíveis efeitos dos nanomateriais necessita aliar-se a combinação do número mais significativo de informações

disponíveis atualmente no mundo. Este instrumento é possível de ser consagrado mediante a realização de estudos transdisciplinares que objetivem identificar os riscos implicados, seja para a fauna e flora marinha ou para os seres humanos.

Assim, os riscos podem ser gerenciados mediante a verificação do nível de aceitabilidade destes às nanotecnologias, e, desta maneira, exigir medidas suficientes para manter o risco abaixo do nível de aceitabilidade. Para que tal seja possível, exige-se uma ciência que melhor reflita a incerteza e complexidade na avaliação dos riscos. Ambas as dimensões qualitativas e quantitativas de incerteza necessitam de tratamento explícito. Incertezas, juntamente com os principais pressupostos em que o conhecimento sobre os riscos afirma que são condicionados e precisam ser explicitados e comunicados de forma clara para os vários cientistas, atores e público envolvidos no discurso sobre esses riscos. Isso requer o desenvolvimento e a disseminação da análise de incertezas transdisciplinar e multidimensional, que permite o fornecimento de informação relevante para a política quantitativa sobre os riscos em conjunto com as advertências essenciais sobre as suas incertezas, limitações e armadilhas. Logo, o *Princípio da Precaução* pede uma série de mudanças na cultura científica e na maneira com que a avaliação e a gestão dos riscos é realizada (SLUIJS; TURKENBURG, 2006, p. 245-269).

Talvez o grande problema suscitado pela relação entre o Princípio da Precaução e a Análise de Risco seja o de saber a qual dessas fases o princípio se refere. O Princípio é aplicável em situações de ameaça de danos sérios ou irreversíveis. Mas seria essa ameaça aquela identificada por qual fase? (CEZAR; ABRANTES, 2003, p.225-262). Que tipo de ameaça? Qual o percentual de aceitabilidade?

A precaução coloca as decisões sobre os riscos num “sério conflito entre a certeza e a segurança jurídica, por um lado, e a evolução científica, o progresso social e o desenvolvimento econômico, por outro”. Isso significa que deve haver limites quanto ao risco que justificou a inovação da precaução e quanto a média adotada com base na precaução (ARAGÃO, 2011, p.63).

Hoje em muitos textos defende-se a aplicação da Precaução utilizando o chamado “pior cenário” (*worst case scenario*). Entretanto: Até que ponto isso é racional? O pior cenário é uma probabilidade, não uma fatalidade. A consideração da probabilidade nem sempre é levada em conta e a mera possibilidade de danos se transforma em dano atual e não apenas potencial (ANTUNES, 2016, p. 34). Exige-se uma instrumentalidade para aplicação do Princípio da Precaução. Preservar o meio ambiente e os serviços ecossistêmicos devem ser elevados a uma posição compatível com os demais objetivos concorrentes, tais os relacionados ao crescimento econômico. Ele precisa representar medidas para apontar os impactos negativos/positivos no bem-estar a curto e longo prazo do planeta Terra aos seus habitantes (DARK; BURGİN, 2017). A possibilidade de tradução do *Princípio da Precaução* empiricamente está ligado a produção da comunicação que deve ser estabelecida sistematicamente (WEISS, 1992, p.409-410). A ausência de instrumentalidade quanto a avaliação dos riscos não é de todo ruim, pois isso remete uma oportunidade de criação de algo novo para sua aplicabilidade prática.

O risco que a precaução busca conter reside no limiar entre o Sistema do Direito e da Ciência e estas áreas possuem implicações diretas e recíprocas quando o assunto é incerteza (MINASSA, 2018, p. 158-159). Isso está relacionado intimamente ao fato de que além do diagnóstico e valoração dos riscos, existe ainda uma excessiva incerteza científica. Sabe-se que a condição de certeza científica total é inatingível (DARK; BURGİN, 2017). Todavia, importante se faz abordar este conhecimento e o estado atual da técnica para aprimorar a aplicabilidade do Princípio da Precaução.

4 Estado da técnica

O conhecimento tecnológico² pode ser entendido, tendo por objetivo específico as criações humanas e as ações a elas relacionadas. Nesta visão

² Para os objetivos deste trabalho, o que é importante ressaltar nessa sumária exposição sobre o conhecimento tecnológico é que este não se baseia exclusivamente em um conhecimento científico. O conhecimento envolvido na criação, uso e avaliação de tecnologias não é necessariamente derivado de um sistema teórico científico. In: CEZAR; ABRANTES, 2003, p.225-262.

que não se reduz “o conhecimento tecnológico ao conhecimento científico e ao conhecimento em engenharia, o conhecimento em tecnologia é entendido como abrangendo a criação, uso, funcionamento e efeitos dos diferentes tipos de objetos tecnológicos” (CEZAR; ABRANTES, 2003, p.225-262). Ademias, “se a ciência é a reunião de fatos, teorias e métodos reunidos nos textos atuais, então os cientistas são homens que, com ou sem sucesso, empenharam-se em contribuir com um ou outro elemento para essa constelação científica” (KUHN, 2017, p.60).

Assim, a técnica dos saberes realiza uma mediação entre o presente e um futuro a ser construído, fornecendo soluções. Todavia, este processo de transformação não é isento de riscos. Estes não se confinam aos limites do conhecimento, na complexidade, heterogeneidade, dinâmica e incerteza da envolvente natural (GARCIA, 2015, p.58). E, “se novas teorias são chamadas para resolver as anomalias presentes na relação entre uma teoria existente e a natureza, então a nova teoria bem-sucedida deve, em algum ponto, permitir prognósticos diferentes daquelas derivadas de sua predecessora” (KUHN, 2017, p.184).

Com base neste pressuposto, a redação do Princípio da Precaução pela Declaração do Rio 92, utilizada para esta análise, permite que ele seja invocado no caso de “ausência de certeza científica”. Essa ausência de certeza científica diz respeito à previsão de que, dados certos pressupostos, um determinado agente causará dano sério ou irreversível (CEZAR; ABRANTES, 2003, p.225-262).

Shapiro assim afirma que “ninguém consegue mapear sequer os próximos cinco anos de progresso tecnológico com confiança, e ele está além da previsão ou da imaginação de qualquer um para que se descubra como os avanços científicos podem afetar os países e a economia global”. Mesmo imprevisível, a probabilidade de que os avanços tecnológicos agitem as economias parece certo, mesmo que suas implicações permaneçam desconhecidas (SHAPIRO, 2010, p.54).

Por conta disso, há muito tempo a filosofia da ciência abandonou o pressuposto de que as teorias científicas devam cumprir função de “certeza

absoluta”. O conhecimento científico é dinâmico. Assim, a ‘certeza’ enquanto propriedade de uma observação de uma teoria ou de uma previsão nunca é “absoluta”, mas sempre relativa a um conhecimento de fundo, ou pretérito, sendo aceito provisoriamente e sempre submetido à crítica (CEZAR; ABRANTES, 2003, p.225-262). Milaré (2006, p.13-14), neste sentido firma que:

[...] a ciência é incapaz de provar que qualquer substância, atividade ou ação seja absolutamente segura. Consequentemente, é necessário dissipar uma confusão que existe entre a utilização do princípio da precaução e a procura de um nível zero de risco que, na realidade, pelo que tudo indica, não existe.

Na visão contemporânea preponderante, o conhecimento científico é caracterizado por teorias que são aceitas, em caráter provisório, pela comunidade científica. Pois, as teorias podem ser descartadas ou aprimoradas logo após, visto que o conhecimento científico é falível e, portanto, mutável (CEZAR; ABRANTES, 2003, p.225-262). “A ciência normal não visa à inovação. Mas a inovação pode emergir da confirmação de teorias já sustentadas” (HACKING, 2017, p.21). Por isso, o processo do conhecimento científico é dinâmico. Os cientistas reavaliam constantemente suas concepções e métodos é o que inclusive fornece maior confiabilidade às ciências. Todavia, o conhecimento científico considerado deve ser aquele o melhor disponível naquele momento (CEZAR; ABRANTES, 2003, p.225-262).

Assim, as medidas a serem tomados mesmos quanto ao estado da técnica são marcadas pela: “*temporalidade* porque a medida deve durar enquanto houver incerteza, cessando sua validade quando se chegar à certeza. *Proporcionalidade*, não se devendo exigir mais do que indica a adequação entre o meio utilizado e o fim desejado” (MACHADO, 2014, p.104).

No emprego de tecnologias avançadas, com o forte exemplo das nanotecnologias, as incertezas quanto a efeitos ao meio ambiente e para a saúde humana, são medidos pela aplicação do Princípio da Precaução haja

vista a “ausência de absoluta certeza científica” na previsão sobre efeitos danosos de tecnologias (CEZAR; ABRANTES, 2003, p.225-262). A Comunicação da Comissão Relativa ao Princípio da Precaução (COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS) orienta que em relação ao estado da técnica devem ser considerados que:

As medidas, apesar de provisórias, devem manter-se enquanto os dados científicos permanecerem incompletos, imprecisos ou inconclusivos e enquanto se considerar o risco suficientemente importante para não aceitar fazê-lo suportar pela sociedade.

A sua manutenção depende da evolução dos conhecimentos científicos, à luz dos quais devem ser reavaliadas. Este fato implica a prossecução das investigações científicas tendo em vista dispor de dados mais completos.

As medidas baseadas no princípio da precaução devem ser reexaminadas e, se necessário, alteradas em função dos resultados da investigação científica e do acompanhamento do seu impacto.

É sabido que a incerteza científica perante a probabilidade de danos à vida, à qualidade de vida e ao meio ambiente levou a concepção do princípio da precaução (MACHADO, 2013, p.2092). Desta maneira, as incertezas científicas exigem medidas por vezes urgentes, provisórias e proporcionais. Com um constante monitoramento da atividade, bem como avaliação periódica das técnicas, das situações de perigo, dos resultados das pesquisas e, assim, tornando próspero o gerenciamento dos riscos (ENGELMANN; FLORES; WEYERMÜLLER, 2010, p.138). Há assim, uma necessidade de rastreio dos perigos das nanotecnologias para organismos, mediante a elucidação de mecanismos que produzem esses riscos, bem como uma ampla consideração de possíveis riscos para os ecossistemas complexos (WIESNER; BOTTERO, 2011, p. 659-668). Todavia, há igualmente, assim, como ilustra a legislação alemã que seja analisada proporcionalmente as medidas precaucionais que serão aplicadas considerando também aquelas economicamente viáveis.

5 Medidas economicamente viáveis

Como verificado a aplicação empírica do Princípio da Precaução inclui inúmeras incertezas quanto a valoração dos riscos nanotecnológicos, quanto a incerteza científica, mas também precisa ser considerado o valor econômico da medida a ser implementada para a gestão do risco de dano ambiental. Haja vista que, mesmo havendo informação está somente será possível mediante um determinado investimento, o qual também deve ser mensurado diante dos possíveis riscos e benefícios da tecnologia.

A Comunicação da Comissão Relativa ao Princípio da Precaução (COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS) em relação as medidas economicamente viáveis, orienta que:

As medidas adotadas pressupõem a análise das vantagens e dos encargos resultantes da atuação ou da ausência de atuação. Esta análise deveria incluir uma análise econômica custo/benefício quando adequado e viável. Contudo, podem ter-se em conta outros métodos de análise, como os que se referem à eficácia e ao impacto socioeconômico das opções possíveis. Além disso, as instâncias de decisão podem também orientar-se por considerações não-econômicas.

Mas, como poder-se-ia quantificar as medidas e quais os limites sociais nelas envolvidos? A precaução restaura a primazia do político na consecução das políticas públicas, mas, qual a sua delimitação? É sabido que ela deve pautar-se para fixar medidas razoáveis e medidas econômicas proporcionais para preservar a degradação ambiental (MOTA, 2008, p.180-211).

Como sabido, “não há atividade humana que possa ser considerada isenta de riscos; o que a humanidade faz, em todas as suas atividades, é uma análise de custo e benefício entre o grau de risco aceitável e o benefício que advirá da atividade” (ANTUNES, 2016, p. 38).

Sunstein critica a análise de custo-benefício para controlar decisões regulatórias, pois essa análise não estabelece uma regra pela qual as escolhas devam ser feitas. Os participantes podem optar por continuar usando

determinada tecnologia mesmo quando os custos excedem os benefícios. Todavia, se o fizerem, deveria ser depois de receber as informações que a análise de custo-benefício oferece. Por outro lado, se os reguladores optarem por impor custos desproporcionalmente altos em comparação com os benefícios esperados, eles devem explicar por que escolheram fazer isso (SUNSTEIN, 2005, p.130).

Por isso, “o custo excessivo deve ser ponderado de acordo com a realidade econômica de cada País, pois a possibilidade ambiental é comum a todos os Países, mas diferenciada” (MACHADO, 2014, p.106). Em apinhado às “dúvidas” da precaução, Aragão (2011, p.64). resume que:

A especial importância da prevenção no plano de proteção do ambiente é perfeitamente compreensível e corresponde ao aforismo popular “mais vale prevenir do que remediar”. O bom-senso determina que, em vez de contabilizar os danos e tentar repará-los, se tente, sobretudo antecipar e evitar a ocorrência de danos, por algumas razões bastante evidentes que vão desde a justiça ambiental à simples racionalidade econômica, passando pela justiça intertemporal.

Em suma pode ser afirmado que “as medidas de proteção devem ser proporcionais ao nível de proteção procurado”, salientando que atualmente vive-se numa sociedade de risco, em que as necessidades do homem obrigam a que se recorra, cada vez mais, aos avanços tecnológicos gerados de novos riscos (MOTA, 2008, p.180-211).

Considerações finais

É sabido que a saúde ambiental é análoga à saúde humana e, como tal, deve ser priorizada, em especial quanto aos riscos nanotecnológicos, tema tratado nesta pesquisa. Mas, para tanto, é necessário traçar diretrizes para a sua aplicabilidade afastando-se da vagueza criticada pelos autores. Diante disso, a aplicação do Princípio da Precaução como visto exige uma análise criteriosa dos seguintes pressupostos: i) Risco; ii) Estado da técnica; e iii) Medidas economicamente viáveis.

Quanto ao *risco* verificou-se que é essencial que ele perpassasse pelas fases de 1. *Percepção de Risco* atuante o conhecimento técnico-científico, mas também é decisiva a participação do senso comum a respeito da decisão sobre quais efeitos são considerados adversos. 2. *Análise de Risco* com base em um conhecimento técnico-científico especializado e na identificação prévia dos efeitos adversos a serem considerados, é feita uma quantificação do risco. 3. *A Gestão de Risco*, etapa final de tomada de decisões, onde se escolhem determinadas linhas de ação a partir dos resultados fornecidos pela Análise de Risco. Ademais, os problemas de qualificação dos riscos podem ser compreendidos, pela aplicação do *diagrama de risco* como ferramenta para fornecer informações úteis. A visualização poderia auxiliar na decisão da classificação de riscos e na consideração de respostas adequadas. Além disso, a aplicação da proporcionalidade também foi apontada como importante compreensão sobre o enfoque sobre os riscos e na produção de decisões equilibradas em cenários de incerteza.

A respeito do segundo elemento do Princípio da Precaução, o *Estado da Técnica*, verificou-se que tendo em vista a contínua evolução e mutação do conhecimento científico a estes não é possível a aplicação do fator tempo, mas sim ao desenvolvimento dos saberes técnicos. Seguindo assim, inclusive as orientações sobre a *Comunicação da Comissão Relativa ao Princípio da Precaução* as medidas a serem tomados devem considerar a sua i) *Temporalidade* pois irá durar enquanto houver incerteza, alterando-se após novas descobertas do conhecimento científico.; ii) *Proporcionalidade*, não sendo exigido mais do que a adequação entre o meio utilizado e o fim desejado. Neste sentido também as *Medidas economicamente viáveis*, terceiro elemento da precaução, o custo deve ser ponderado de acordo com a realidade econômica de cada País. E, neste sentido realizar a análise das vantagens e dos encargos resultantes da (in)ação.

Em resumo, as medidas adotadas com base na precaução, devem ser proporcionais, coerentes e precárias (sendo revistas periodicamente à luz do progresso científico e, sempre que necessário, alteradas). Assim, em uma visão geral sobre o Princípio da Precaução compreende-se que a delimitação

jurídica do que é o “princípio da precaução é colocado em questão por sua natureza fluida e cambiável, o que exige a configuração de um modelo de aplicação que, congregando os parâmetros de certeza possível, decidibilidade, razoabilidade e proporcionalidade”. Esta definição, portanto, é essencial para servir de parâmetro de decisão dos tribunais.

O objetivo do recurso ao Princípio da Precaução que deve ser compreendido e conservado é o de elevar o nível de proteção do ambiente, da saúde pública, da segurança pública e dos direitos fundamentais, para um patamar mais compatível com o grau de qualidade atualmente exigível. Não se trata de aspirar ao risco nulo (mesmo em atividades tradicionais e bem experimentadas existe um certo grau de risco), mas optar por um desenvolvimento responsável. Desta maneira, as diretrizes do Art. 15º da Declaração Rio, conforme fundamentado acima. Conclui-se, portanto, que a aplicação do Princípio da Precaução exige uma postura de afastamento do modo normativista, de acentuado apego positivista de dar consequências àquilo que é a própria matéria do Direito. Na aplicação da precaução exige-se, flexibilidade para atingir o seu próprio objetivo, evitar os graves danos ambientais e humanos.

Referências

- ADAMS, John. **Risco**. Tradução Lenita Rimoli Esteves. São Paulo: Senac, 2009.
- ALVES, Oswaldo. Nanotecnologia, nanociência e nanomateriais: quando a distância entre presente e futuro não é apenas questão de tempo. **Revista Parcerias Estratégicas**, Brasília, v. 9, n. 18, 2004.
- ANTUNES, Paulo de Bessa. **Direito Ambiental**. 18. ed. rev. ampl. e atual. São Paulo: Atlas, 2016.
- ARAGÃO, Alexandra. Aplicação nacional do princípio da precaução. In: **Associação dos Magistrados da Jurisdição Administrativa e Fiscal de Portugal**. Colóquios 2011-2012. Lisboa. p. 159-185.
- ARAGÃO, Alexandra. Direito Constitucional do Ambiente da União Europeia. In:

CANOTILHO, José Joaquim Gomes; LEITE, José Rubens Morato. **Direito Constitucional Ambiental Brasileiro**. São Paulo: Saraiva, 2011.

BECK, Ulrich. **Sociedade de risco**: rumo a uma outra modernidade. São Paulo: Ed.34, 2010.

BERWIG, Juliane Altmann; ENGELMANN, Wilson. A Nanotecnologia: do fascínio ao risco. In: ENGELMANN, Wilson, HUPFFER, Haide Maria (Org.). **Impactos Sociais e Jurídicos das Nanotecnologias**. São Leopoldo: Casa Leiria, 2017, p. 39-74. Livro disponível em E-book.

BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ. **Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge** (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG), 15 de março 1974.

CENTER FOR THE ENVIRONMENTAL IMPLICATIONS OF NANOTECHNOLOGY (CEINT). **CEINT Mesocosm Facility**. Duke University: Durham.

CEZAR, Frederico Gonçalves; ABRANTES, Paulo César Coelho. Princípio da Precaução: considerações epistemológicas sobre o princípio e sua relação com o processo de análise de risco. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v. 20, n. 2, p. 225-262, maio/ago. 2003.

COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS. **Comunicação da Comissão Relativa ao Princípio da Precaução**. 2000.

CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento**. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/rio20/img/2012/01/rio92.pdf>>. Acesso em: 28 mar. 2018.

DARK, Stephen Michael; BURGIN, Shelley. An examination of the efficacy of the precautionary principle as a robust environmental planning and management protocol. **Journal of Environmental Planning and Management**, v. 60, 2017.

DERANI, Cristiane. **Direito ambiental econômico**. São Paulo: Saraiva, 2008.

ENGELMANN, Wilson. Os desafios jurídicos da aplicação do princípio da precaução. Recurso Extraordinário 627.189/SP provido para o fim de julgar improcedentes ambas as ações civis públicas, sem a fixação de verbas de sucumbência. **Revista dos Tribunais**. São Paulo, v.981, ano 106, p.387-491, jul.2017.

ENGELMANN, Wilson; FLORES, André Stringhi; WEYERMÜLLER, André Rafael. **Nanotecnologias, Marcos Regulatórios e Direito Ambiental**. Curitiba: Honoris Causa, 2010.

ENGELMANN, Wilson; HOHENDORFF, Raquel Von; FROHLICH, Afonso Vinício Kirschner. Das nanotecnologias aos nanocosméticos: conhecendo as novidades na escala nanométrica. In: ENGELMANN, Wilson (Org). **Nanocosméticos e o Direito à Informação**. Erechim: Deviant, 2015.

FARBER, Daniel. Coping with uncertainty: cost-benefit analysis, the precautionary principle, and climate change, **Washington Law Review**, UC Berkeley Public Law Research Paper, v. 90, p.1660-1774, jun.2015.

GARCIA, Maria da Glória F. P. D. **O lugar do Direito na proteção do ambiente**. Coimbra: Almedina, 2015.

GOMES, Carla Amado. A idade da incerteza: reflexões sobre os desafios de gerenciamento do risco ambiental. In: LOPEZ, Tereza Ancona; LEMOS, Patrícia Faga Inglecias; JUNIOR, Otávio Luiz Rodrigues (Orgs). **Sociedade de Direito e Direito Privado: desafios normativos, consumeristas e ambientais**. São Paulo: Atlas, 2013.

HACKING, Ian. Ensaio Introdutório In: KUHN, Thomas. **A estrutura das revoluções científicas**. 13. ed. São Paulo: Perspectiva, 2017.

HICKEY JR., James E.; WALKER, Vern R. Refining the precautionary principle in international environmental law. **Virginia Environmental Law Journal**, v. 14, p.423-454, 1995.

INTERNATIONAL CENTER FOR TECHNOLOGY ASSESSMENT (ICTA). NANOACTION PROJECT. **Principles for the Oversight of Nanotechnologies and Nanomaterials**, 2012.

KHODAKOVSKAYA, Mariya et al. Carbon nanotubes are able to penetrate plant seed coat and dramatically affect seed germination and plant growth. **Acsnano**. v. 3, n. 10, p.3221-3227, 2009.

KUHN, Thomas. **A estrutura das revoluções científicas**. 13. ed. São Paulo: Perspectiva, 2017, p. 60.

LABORATÓRIO DE QUÍMICA DO ESTADO SÓLICO (LQES). **A better understanding of nanomaterials**, 2017.

MACHADO, Paulo Affonso Leme. Art. 225, §1º, V. In: CANOTILHO, José Joaquim Gomes; MENDES, Gilmar Ferreira; SARLET, Ingo Wolfgang; STRECK, Lenio Luiz. (Orgs). **Comentários à Constituição do Brasil**. São Paulo: Saraiva/Almedina, 2013.

MACHADO, Paulo Affonso Leme. **Direito Ambiental Brasileiro**. 22. ed. rev. ampl e atual. São Paulo: Malheiros, 2014.

MILARÉ, Edis; SETZER, Joana. Aplicação do princípio da precaução em áreas de incerteza científica: exposição a campos eletromagnéticos gerados por estações de radiobase. **Revista de Direito Ambiental**, v. 41, ano 11, p. 13-14, jan./mar., 2006.

MINASSA, Pedro Sampaio. A incógnita ambiental do princípio da precaução. **Revista Direito Ambiental e Sociedade**, v. 8, n. 1, p. 158-159, 2018.

MORISSO, Fernando Dal Pont; JAHNO Vanusca Dalosto. Nanociência e nanotecnologia: um rompimento de paradigmas. In: ENGELMANN, Wilson, HUPFFER, Haide Maria (Org.). **Impactos Sociais e Jurídicos das Nanotecnologias**. São Leopoldo: Casa Leiria, 2017, p. 13-37. Livro disponível em E-book.

MOTA, Maurício. O Princípio da Precaução no Direito Ambiental: uma construção a partir da razoabilidade e da proporcionalidade. **Revista de Direito Ambiental**, v. 50, p. 180-211, abr./jun., 2008.

NANOTECHNOLOGY PRODUCTS DATABASE (NPD). **Source of information about nanotechnology products**. Disponível em: <<http://product.statnano.com/>> Acesso em: 22 jul. 2019.

NATIONAL INSTITUTE FOR PUBLIC HEALTH AND THE ENVIRONMENT. **The ProSafe White Paper**: Towards a more effective and efficient governance and regulation of nanomaterials. Disponível em e-book.

PASCHOALINO, Matheus et al. Os nanomateriais e a questão ambiental. **Revista Química Nova**, v. 33, n.2, p.421-430, 2010.

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE. **Fronteras 2017**: Nuevos temas de interés ambiental, 2017.

SHAPIRO, Robert. J. **A previsão do futuro**: como as novas potências transformarão os próximos 10 anos. Tradução de Mario Pina. Rio de Janeiro: Best Business, 2010.

- SHEARER, Cameron. A guide to the nanotechnology used in the average home. **Nano Werk**, 2016. Disponível em: <<http://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=43847.php>>. Acesso em: 10 mar. 20189.
- SLUIJS, Jeroen van der; TURKENBURG, Wim. Climate change and the precautionary principle. In: FISHER, Elizabeth; JONES, Judith; SCHOMBERG, René Von. (Orgs) **Implementing the precautionary principle, perspectives and prospects**. Cheltenham: Edward Elgar, 2006, p. 245-269.
- SOCOOWSKI, Britto et al. Effects of carbon nanomaterials fullerene C60 and fullerol C60(OH)18-22 on gills of fish Cyprinus carpio (Cyprinidae) exposed to ultraviolet radiation. **Aquatic Toxicology**, v.15, p. 114-115, 2012.
- SUBRAMANIAN, Vrishali et al Sustainable nanotechnology decision support system: bridging risk management, sustainable innovation and risk governance. **Journal of Nanoparticle Research**, v.16, n.4, 2016.
- SUNSTEIN, Cass R. **Laws of fear: beyond the precautionary principle**. New York: Cambridge, 2005.
- THE ROYAL SOCIETY & THE ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING (ROYAL SOCIETY). **Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties**, 2004.
- WEISS, Edith Brown. Intergenerational equity: A legal framework for global environmental change. In: WEISS, Edith Brown. **Environmental change and international law: new challenges and dimensions**. Tokyo: United Nations University Press, 1992.
- WIESNER, Mark R.; BOTTERO, Jean-Yves. A risk forecasting process for nanostructured materials, and nanomanufacturing. **Comptes Rendus Physique**, v. 12, n. 7, p. 659-668, 2011.
- ZHANG, Bangwei et al. Environmental Impacts of Nanotechnology and Its Products. In: **Proceedings of the 2011 Midwest Section Conference of the American Society for Engineering Education**. Disponível em: <https://www.asee.org/documents/sections/midwest/2011/ASEE-MIDWEST_0030_c25dbf.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2019.