

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS JURÍDICAS
PROGRAMA DE DOUTORADO EM DIREITO**

ISABEL NADER RODRIGUES

**NANOTECNOLOGIA E TRANSIÇÃO ENERGÉTICA: MARCO REGULATÓRIO
EM INOVAÇÃO E FOMENTO À SUSTENTABILIDADE POR MEIO DE
FERRAMENTAS TRIBUTÁRIAS NO BRASIL**

CAXIAS DO SUL

2024

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS JURÍDICAS
PROGRAMA DE DOUTORADO EM DIREITO

ISABEL NADER RODRIGUES

**NANOTECNOLOGIA E TRANSIÇÃO ENERGÉTICA: MARCO REGULATÓRIO
EM INOVAÇÃO E FOMENTO À SUSTENTABILIDADE POR MEIO DE
FERRAMENTAS TRIBUTÁRIAS NO BRASIL**

Tese em elaboração apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Direito – PPGDir, Área do Conhecimento de Ciências Jurídicas da Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial obrigatório para a obtenção do título de Doutora em Direito, na interface entre as linhas de Pesquisa *Direito Ambiental e Novos Direitos* e *Direito Ambiental, Políticas Públicas e Desenvolvimento Socioeconômico*, no Programa de Pós-Graduação em Direito da Universidade de Caxias do Sul – UCS.

Orientadora: Prof. Dra. Ana Maria Paim Camardelo

Coorientador: Prof. Dr. Clóvis Eduardo Malinverni da Silveira

Agência de Fomento: CAPES

CAXIAS DO SUL

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Universidade de Caxias do Sul
Sistema de Bibliotecas UCS - Processamento Técnico

R696n Rodrigues, Isabel Nader

Nanotecnologia e transição energética [recurso eletrônico] : marco regulatório em inovação e fomento à sustentabilidade por meio de ferramentas tributárias no Brasil / Isabel Nader Rodrigues. – 2024.

Dados eletrônicos.

Tese (Doutorado) - Universidade de Caxias do Sul, Programa de Pós-Graduação em Direito, 2024.

Orientação: Ana Maria Paim Camaderlo.

Coorientação: Clóvis Eduardo Malinverni da Silveira.

Modo de acesso: World Wide Web

Disponível em: <https://repositorio.ucs.br>

1. Direito ambiental. 2. Inovação. 3. Nanotecnologia. 4. Incentivos fiscais. 5. Energia renovável. I. Camaderlo, Ana Maria Paim, orient. II. Silveira, Clóvis Eduardo Malinverni da, coorient. III. Título.

CDU 2. ed.: 349.6:620.3

Catalogação na fonte elaborada pela(o) bibliotecária(o)
Márcia Servi Gonçalves - CRB 10/1500

**“NANOTECNOLOGIA E TRANSIÇÃO ENERGÉTICA: MARCO REGULATÓRIO
EM INOVAÇÃO E FOMENTO À SUSTENTABILIDADE POR MEIO DE
FERRAMENTAS TRIBUTÁRIAS NO BRASIL”**

Isabel Nader Rodrigues

Tese de Doutorado submetida à Banca Examinadora designada pela Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Direito – Mestrado e Doutorado da Universidade de Caxias do Sul, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Doutor em Direito, Área de Concentração: Direito Ambiental e Sociedade.

Linha de pesquisa: Direito Ambiental, Políticas Públicas e Desenvolvimento Socioeconômico.

Caxias do Sul, 04 de abril de 2024.

Profa. Dra. Ana Maria Paim Camardelo (Orientadora)
Universidade de Caxias do Sul

Prof. Dr. Clóvis Eduardo Malinverni da Silveira
Universidade de Caxias do Sul

Prof. Dr. Adir Ubaldo Rech
Universidade de Caxias do Sul

Profa. Dra. Maria Carolina Rosa Gullo
Universidade de Caxias do Sul

Prof. Dr. Paulo Antônio Caliendo Velloso da Silveira
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Ricardo Manfredini
Instituto Federal do Rio Grande do Sul

Para meu pai (in memoriam)

Agradecimento

O *iter* de construção de uma tese é um processo que acaba envolvendo muitas pessoas as quais sem elas, não teria sido possível a própria construção. Agradecimento é um pequeno reconhecimento da essencialidade nessa participação.

À minha orientadora, professora Ana Maria Paim Camardelo pelo resgate e coragem de me conduzir até aqui sempre com estímulo, leveza e objetividade, elementos essenciais para a continuidade do trabalho.

Ao professor Clóvis Eduardo Malinverni da Silveira, por todas as conversas e ter aceitado a coorientação numa etapa contraditória do trabalho.

Agradecimento de modo especial ao corpo do PPGDir, secretárias, discentes e docentes que engrandeceram essa jornada com questionamentos, discussões e contribuições.

Com carinho também agradeço aqueles que plantaram essa sementinha do Doutorado e oportunizaram seu crescimento: professora Cleide Calgaro, professor Gilson Cesar Borge de Almeida e professor Edson Marques.

E por fim, agradecimento pela paciência de ter suportado tempos que não foram fáceis em casa, à Laura, ao Matheus e ao Marcos. À Laura pela parceria de uma filha e colega de pós-graduação, com diretito a empréstimos de materiais da Elsevier; ao Matheus, por me trazer à realidade algumas vezes e me mostrar o que realmente importa e ao Marcos, por já ter transitado nesse caminho e transmitir a tranquilidade necessária para finalização.

Terminou! Graças a Deus!

“O momento oportuno não é tão importante quanto as vantagens do terreno;
e tudo isso não é tão relevante
quanto a harmonia das relações humanas”. Mêncio (in Sun Tzu)

RESUMO

A transição energética por meio do uso de inovações nanotecnológicas, fomentadas pelo ente público, é um dos caminhos para atender os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 das Nações Unidas. A crise climática é agravada pelo uso de energias fósseis e trabalhar numa transição energética para uma matriz renovável é um caminho para atenuar as mudanças climáticas. Os processos de inovação em pesquisa e desenvolvimento (P&D), que são vetores de desenvolvimento econômico, precisam caminhar conjuntamente com a preservação do meio ambiente e a área de energias renováveis é uma interface entre esses dois mundos. A finalidade dessa Tese é analisar em que medida o marco regulatório aplicável à nanotecnologia viabiliza a inovação em nanotecnologia com segurança jurídica, de forma a atender os compromissos nacionais com o desenvolvimento sustentável. Para tal feito, incentivar financeiramente todo esse setor é tarefa do Estado, e a tributação é sua principal ferramenta. A metodologia pauta-se por pesquisa de abordagem qualitativa e exploratória com coleta de dados bibliográfica e documental, priorizando fontes públicas de dados, garantindo a reprodutibilidade da pesquisa. Constatou-se que o marco legal da inovação não contempla a transição energética por meio do uso de nanotecnologias bem como, que o projeto de lei do marco regulatório da nanotecnologia necessita avançar para contemplar especificamente a transição energética, e que as políticas públicas não são suficientes para atingir a segurança jurídica necessária para desenvolver o setor, precisando ser direcionadas para as energias renováveis de forma vinculante independente de mudanças governamentais. Conclui-se que, considerando o ambiente regulatório atual no Brasil e suas proposições normativas em curso, existe uma estratégia viável para um desenvolvimento sustentável mediante a inserção das nanotecnologias nos processos de inovação em P&D no setor de energia renovável. Os incentivos fiscais são ferramentas adequadas para garantir essa transição, mas que a regulamentação da área é essencial para garantir a segurança jurídica e a tipicidade necessária na área tributária. O uso de inovação tecnológica em nanotecnologias para energias limpas por meio de incentivos fiscais contempla diretamente os ODS 7, 8, 9, 11 e 17.

Palavras-chave: inovação; nanotecnologias, transição energética, incentivos fiscais.

ABSTRACT

The energy transition through the use of innovations in nanotechnology, promoted by the public authority, is one of the ways to meet the 2030 Sustainable Development Goals (SDGs) of the United Nations. Using fossil energy worsens the climate crisis, and working on the energy transition to a renewable matrix is a way to mitigate climate change. Innovation processes in Research and Development (R&D), which are vectors of economic development, need to walk side by side with preserving the environment. The renewable energy sector acts as an interface between these two worlds. This thesis aims to analyze the extent to which the regulatory framework applicable to nanotechnology enables its innovation with legal certainty to meet the national commitment to sustainable development. To achieve this, the role of the State is to financially encourage this entire sector, with taxation as the primary tool. The methodology is based on qualitative and exploratory research with bibliographic and documentary data collection, prioritizing public data sources to ensure the reproducibility of the research. It is worth noting that the legal framework for innovation does not contemplate the energy transition through the use of nanotechnology, that the nanotechnology regulatory framework bill needs to move forward to contemplate the energy transition specifically, and that public policies are not sufficient to achieve the legal security necessary to develop the sector needing to be directed towards renewable energy in a binding manner regardless of government changes. This thesis concludes that considering the current regulatory environment in Brazil and its ongoing normative proposals, there is a viable strategy for sustainable development through the insertion of nanotechnology in R&D innovation processes in the renewable energy sector. Tax incentives are appropriate tools to guarantee this transition, but regulating the area is essential to guarantee legal certainty and the necessary typicality in the tax area. Using technological innovation in nanotechnology for clean energy through tax incentives directly addresses SDGs 7, 8, 9, 11, and 17.

Keywords: innovation; nanotechnologies, energy transition, tax incentives.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MIT	Massachusetts Institute of Technology
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PEN	Política Energética Nacional
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
ANP	Agência Nacional do Petróleo
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
MME	Ministério de Minas e Energia
BEN	Balanco Energético Nacional
OIE	Oferta Interna de Energia
GEE	Gases do Efeito Estufa
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
COP	Conference of the Parties
IRENA	International Renewable Energy Agency
CNPEM	Centro Nacional De Pesquisa em Energia e Materiais
OCDE	Organização Cooperação e Desenvolvimento Econômico
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PD&I	Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável .
PITCE	Política Industrial tecnológica e de Comércio Exterior
PL	Projeto de Lei
ICT	Instituição Científica, Tecnológica e de Inovação
NIT	Núcleo de Inovação Tecnológica
CF	Constituição Federal
CMADS	Comissão do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
OMS	Organização Mundial de Saúde
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
CCJ	Comissão de Constituição e Justiça
CCT	Comissão de Ciência e Tecnologia
LIT	Lei de Inovação Tecnológica
SisNANO	Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação

IBN	Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia
FNDCT	Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
Embrapii	Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial
Finep	Financiadora de Estudos e Projetos
CTN	Código Tributário Nacional
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
II	Imposto de Importação
IE	Imposto de Exportação
PWC	Price Waterhouse Coopers Brasil
BRASIL	
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ABRADEE	Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica
LRF	Lei de Responsabilidade Fiscal
LC	Lei Complementar
LDO	Lei de Diretrizes Orçamentárias
ADCT	Ato das Disposições Constitucionais Transitórias
REFIS	Programa de Recuperação Fiscal
IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano
EC	Emenda Constitucional
MEI	Microempresas
EPP	Empresas de Pequeno Porte
RVE	Reduções Verificadas de Emissões
IGI	Índice Geral de Inovação
WIPO	World Intellectual Property Organizatio
PLOA	Projeto de Lei Orçamentária Anual
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Repartição da Oferta Interna de Energia (OIE) 2021	39
Figura 2	O espectro eletromagnético	41
Figura 3	Efeito estufa com os gases do efeito estufa	42
Figura 4	Emissão global antropogênicas dos gases do efeito estufa	45
Figura 5	Emissão de dióxido de carbono	46
Figura 6	Nanoescala e nanomateriais	52
Figura 7	Esquema comparativo célula solar convencional X célula solar nanoestruturada	62
Figura 8	Modelos de Inovação	79
Figura 9	Incidência do ICMS nas tarifas de energia elétrica no RS	119
Figura 10	17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável	179
Figura 11	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável contemplados nessa Tese	180
Figura 12	Dispêndio em P&D em proporção com o PIB	185
Figura 13	Proporção do valor adicionado nas indústrias de média e alta intensidade tecnológica no valor adicionado total	187
Figura 14	Investimentos em energias limpas, por país	193
Figura 15	Gráfico de Investimentos em energias renováveis	196
Figura 16	Investimento global por tecnologia em energias renováveis.	197

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Efeitos em razão do tamanho do objeto	53
Quadro 2	Nanotecnologia e a produção na energia elétrica	56
Quadro 3	Legislação sobre inovação analisada	74
Quadro 4	Projeto A	146
Quadro 5	Projeto B	147
Quadro 6	Gastos com C&T do governo federal entre 2000 e 2020	168

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Estimativa de arrecadação do FNDCT (2022-2024)	149
Tabela 2	Previsão orçamentária 2023	150
Tabela 3	Número de empresas que implementaram inovações com apoio do governo, por tipo de apoio, 2017	192
Tabela 4	Investimentos em energias renováveis	195
Tabela 5	Dez decretos dos novos anexos da nano regulamentação da UE	200
Tabela 6	Laboratórios participantes da NaNoREG	201
Tabela 7	EC sugeridas	202
Tabela 8	Inclusões legislativas na 10.973/2004	203
Tabela 9	Inclusões legislativas na PL880/2019	205

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 INOVAÇÃO EM NANOTECNOLOGIAS, TRANSIÇÃO ENERGÉTICA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	19
2.1 A EFICIÊNCIA TECNOLÓGICA COMO PROMOÇÃO DO MEIO AMBIENTE	20
2.2 A MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA E SEU EFEITO NAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	33
2.3 NANOTECNOLOGIA E A INOVAÇÃO NA ÁREA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS ..	49
3 O PANORAMA REGULATÓRIO DA INOVAÇÃO EM NANOTECNOLOGIAS....	70
3.1 O MARCO REGULATÓRIO DA INOVAÇÃO NO BRASIL	70
3.2 O PROJETO DE LEI DO MARCO REGULATÓRIO DA NANOTECNOLOGIA.....	82
3.3 SEGURANÇA JURÍDICA COMO ELEMENTO DO DESENVOLVIMENTO.....	94
4 OS INCENTIVOS FISCAIS COMO CATALISADORES DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E DA INOVAÇÃO EM NANOTECNOLOGIAS	109
4.1 FUNÇÃO EXTRAFISCAL DO TRIBUTO E A LEI DE RESPONSABILIDADE FISCAL.....	109
4.2 AS EXTERNALIDADES E O TEOREMA DE PIGOU: PAPEL DO ESTADO	126
4.3 INCENTIVOS FISCAIS VOLTADOS À INOVAÇÃO TECNOLÓGICA E NANOTECNOLOGIAS	139
5 CAMINHOS PARA A INOVAÇÃO SUSTENTÁVEL EM NANOTECNOLOGIAS	153
5.1. POLÍTICAS PÚBLICAS E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	153
5.2. INCENTIVOS FISCAIS E O ATENDIMENTO AOS OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DA AGENDA 2030	170
5.3. CRÍTICA AO MARCO REGULATÓRIO E CAMINHOS A PERCORRER PARA ATENDIMENTO DOS ODS EM P&D	191
6 CONCLUSÕES.....	207
REFERÊNCIAS	212
APÊNDICE A – OBJETIVOS ESPECÍFICOS E CAPÍTULOS DA TESE.....	233

1 INTRODUÇÃO

A produção em tela apresenta a Tese com o título: *NANOTECNOLOGIA E TRANSIÇÃO ENERGÉTICA: MARCO REGULATÓRIO EM INOVAÇÃO E FOMENTO À SUSTENTABILIDADE POR MEIO DE FERRAMENTAS TRIBUTÁRIAS NO BRASIL*.

As macroáreas abordadas nesta pesquisa incluem nanotecnologias, transição energética, inovação, incentivos fiscais e sustentabilidade ambiental, as quais são áreas do conhecimento autônomas e independentes, mas que se entrelaçam quando o propósito é o desenvolvimento sustentável. A análise do tratamento jurídico dessas macroáreas reflete, na obtenção ou não, do desenvolvimento sustentável que é objeto dessa tese. Abordando dessa forma, o Direito à Energia, o Direito Ambiental, e o Direito Tributário, entre as áreas jurídicas contempladas nessa pesquisa. Dada a multidisciplinariedade da pesquisa, natural ao Direito Ambiental, essa tese localizando-se na interface entre as linhas de Pesquisa *Direito Ambiental e Novos Direitos* e, entre *Direito Ambiental, Políticas Públicas e Desenvolvimento Socioeconômico*.

O desenvolvimento da economia é um dos tripés da sustentabilidade. Sua busca deve ser realizada de forma a não perder o foco de suas implicações quanto à responsabilidade ambiental e social, segundo Sachs. Para tanto, o ente público é um dos agentes determinantes nesse processo, conforme Caliendo, sendo decisiva sua participação, no que diz respeito à sustentabilidade.

Para o desenvolvimento sustentável, as fontes de produção de energia são uma preocupação, e a pesquisa sobre fontes renováveis é recorrente entre os estudiosos do assunto. A alta eficiência energética em fontes renováveis de produção de energia, com menos material devido à escassez de recursos, pode ocorrer com o uso de nanotecnologias. Para isso, necessita-se de recursos financeiros, e os incentivos fiscais podem fomentar esse processo.

Nas últimas décadas, a sociedade vem enfrentando uma crise econômica e ambiental, aponta Veiga. Para superá-la, é preciso considerar as oportunidades tecnológicas e suas repercussões no mundo jurídico. A capacidade de inovar é vital em qualquer área de conhecimento, aponta Schumpeter e Latour, como meio para estimular o crescimento econômico, mas a preservação ambiental precisa estar assegurada. Nesse sentido, a utilização da nanotecnologia nos processos de inovação em energias renováveis pode resultar em um caminho econômico e ambientalmente sustentável.

A inovação em setores de tecnologia emergentes, como é caso da nanotecnologia, pode contribuir de modo relevante para a promoção do desenvolvimento sustentável. Estudos

das últimas décadas, como os de Carayannis, Kumar e Bharathiraja, apontam para o uso crescente das nanotecnologias como forma de otimização e diminuição de insumos, criando alternativas viáveis ambientalmente para o setor energético.

Nesse contexto, as relações entre direito, tecnologia e inovação ocorrem tanto nas funções exercidas pelo direito no processo de desenvolvimento de tecnologia e inovação quanto na sua promoção, via direito tributário, mostrado Caliendo e Ávila, como modo de consagração da cidadania e dos direitos fundamentais. O Direito Ambiental é uma área estratégica que estabelece diálogos com diferentes áreas do conhecimento, estando cada vez mais presente e necessária a interdisciplinaridade, a qual é elemento essencial para fomentar o debate sobre inovação tecnológica e preservação ambiental.

Levando em consideração o ambiente regulatório atual no Brasil e suas proposições normativa em curso, o problema de pesquisa que norteou esta Tese configura-se da seguinte maneira: em que medida o marco regulatório aplicável à nanotecnologia viabiliza a inovação em nanotecnologia com segurança jurídica, bem como o atendimento aos compromissos nacionais com o desenvolvimento sustentável? Mais especificamente, questionou-se *se e como* os incentivos fiscais podem alavancar a pesquisa e desenvolvimento em energias renováveis a partir da nanotecnologia, de modo a fomentar o atendimento aos objetivos do desenvolvimento sustentável da Agenda 2030 das Nações Unidas.

A produção de energias renováveis é um dos objetivos da Política Energética Nacional (PEN). Os processos de inovação em pesquisa e desenvolvimento (P&D), nessa área, precisam caminhar conjuntamente com a preservação do meio ambiente. Logo, como hipótese básica desta pesquisa tem-se que existe uma estratégia viável para um desenvolvimento sustentável mediante a inserção das nanotecnologias nos processos de inovação em P&D no setor de energia renovável. Para tal feito, incentivar financeiramente todo esse setor é tarefa do Estado, e a tributação é sua principal ferramenta.

A partir disso, tem-se como objetivo analisar o marco regulatório da inovação em nanotecnologia que contemple o atendimento aos objetivos do desenvolvimento sustentável da Agenda 2030 das Nações Unidas, mediante estímulos fiscais, para alavancar a pesquisa e o desenvolvimento (P&D) em energias renováveis. Para alcançá-lo, foram elaborados os objetivos específicos, os quais originaram os capítulos da tese e encontram-se no apêndice A do presente documento.

A relevância desta tese está na necessidade de apontar alternativas viáveis para estagnar a atual crise ambiental enfrentada mundialmente, frente a alterações climáticas, com o uso de nanotecnologia no desenvolvimento de energias renováveis. As vantagens do uso da

nanotecnologia em processos de inovação para o setor de energias renováveis devem-se à utilização de tecnologias de ponta com cada vez menos materiais, em um mundo em que a escassez dos recursos é uma das preocupações constantes. Dessa forma, a otimização dos materiais que tenham propriedades adequadas para promover o desenvolvimento de energias renováveis deve ser potencializada e fomentada pelo Poder Público, com a devida segurança jurídica, mediante estímulos fiscais. Isso gera desenvolvimento não somente no campo econômico, mas social e ambiental, com produção de energias limpas acessíveis a toda sociedade.

O trabalho justifica-se pela ausência de trabalhos que contemplem conjuntamente inovação nanotecnológica para energias renováveis, com incentivos fiscais, para uma transição energética e atendimento aos ODS. A bibliografia encontrada não dialoga multidisciplinarmente, existindo exclusivamente trabalhos técnicos sobre nanotecnologias para energias renováveis e outros contemplando aspectos legais. Dialogar com energias renováveis, transição energética, inovação nanotecnológicas, marco regulatório consolidado e em projeto de lei e fomento fiscal, a fim de atender os objetivos do desenvolvimento sustentável é assunto inédito.

O trabalho de doutoramento foi elaborado por meio de uma análise interpretativa das obras doutrinárias pertinentes ao assunto em tela, com desenvolvimento de um caráter interpretativo referente aos dados obtidos. A abordagem sobre formas de viabilização de uma regulamentação para o uso das nanotecnologias, visando ao desenvolvimento sustentável, com base no diálogo entre diferentes áreas do conhecimento, passa por uma busca doutrinária por conceitos básicos da ciência das nanopartículas, princípios norteadores do direito ambiental e tributário, princípios relativos à ciência e demais temas pertinentes para implementação de uma postura ambiental consciente.

Quanto ao método, foram empregados diferentes métodos conforme a etapa do trabalho, sendo aplicado o método dialético na primeira fase do trabalho e, na sequência, o dedutivo. Entende-se por método dialético aquele que se fundamenta na dialética proposta por Hegel, na qual as contradições são transcendidas, dando origem a novas contradições, que passam a requerer solução. É um método de interpretação dinâmica e totalizante da realidade. Ele considera que os fatos não podem ser abordados fora de um contexto social, político e econômico. Neste trabalho, não há como desconectar a realidade socioeconômica do meio ambiente, uma análise sob esse prisma se faz fundamental na primeira etapa.

Quando se trata de construção de conhecimento jurídico, os métodos mais comumente utilizados são o indutivo e o dedutivo. Para Lakatos e Marconi¹, o “método indutivo é uma operação mental que consiste em estabelecer uma verdade universal ou uma proposição geral com base no conhecimento de certo número de dados singulares ou proposições de menor generalidade”. Já o método dedutivo, para as autoras², “é um processo pelo qual, com base em enunciados ou premissas, se chega a uma conclusão necessária, em virtude da correta aplicação de regras da Lógica. Ele caracteriza-se pelo emprego de cadeias de raciocínio”. Ou seja, no método dedutivo, parte-se de uma premissa geral, para pormenorizar a análise, enquanto, no método indutivo, inverte-se, parte-se do caso particular para uma proposição geral.

O método hipotético dedutivo, proposto por Popper³, consiste na adoção da seguinte linha de raciocínio:

quando os conhecimentos disponíveis sobre determinado assunto são insuficientes para a explicação de um fenômeno, surge o problema. Para tentar explicar a dificuldades expressas no problema, são formuladas conjecturas ou hipóteses. Das hipóteses formuladas, deduzem-se consequências que deverão ser testadas ou falseadas. Falsear significa tornar falsas as consequências deduzidas das hipóteses. Enquanto no método dedutivo se procura a todo custo confirmar a hipótese, no método hipotético-dedutivo, ao contrário, procuram-se evidências empíricas para derrubá-la.

Popper⁴ é taxativo quando afirma que não existe método científico. Köche⁵ afirma ainda que o número de métodos corresponde ao número de problemas analisados:

Não existe um modelo com normas prontas, definitivas, pelo simples fato de que a investigação deve orientar-se de acordo com as características do problema a ser investigado, das hipóteses formuladas, das condições conjunturais do problema e da habilidade crítica e capacidade criativa do investigador. Praticamente, há tantos métodos quantos forem os problemas analisados e os investigadores existentes.

A metodologia empregada pauta-se na pesquisa de abordagem qualitativa e exploratória. Qualitativa uma vez que, “responde a questões muito particulares. Ela se preocupa, nas ciências sociais, com um nível de realidade que não pode ser quantificado. [...], o que corresponde a um espaço mais profundo das relações, dos processos e dos fenômenos

¹ LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. *Metodologia científica*. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2017. p. 279. E-book. Acesso em: 27 out. 2020.

² Ibidem., p. 281.

³ POPPER apud GIL, 1999, p.30.

⁴ KÖCHE, José Carlos. *Fundamentos de metodologia científica: teoria da ciência e iniciação à pesquisa*. 27 ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2010. p. 68.

⁵ Ibidem., p. 68.

que não podem ser reduzidos à operacionalização de variáveis.”⁶ É também exploratória porque se tem a finalidade de desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias que são desenvolvidas para proporcionar uma visão geral acerca de determinado fato, “pois interessa considerar os mais variados aspectos relativos ao fato ou fenômeno estudado”⁷.

As estratégias de coleta de dados utilizadas foram basicamente a pesquisa bibliográfica e documental sobre a temática. Priorizou-se como critério para fontes de coleta de dados, as públicas oficiais e, subsidiariamente, as de pesquisas acadêmicas reconhecidas que fazem parte de bases como Scielo, Portal Capes, Elsevier, entre outras.

Foi realizada uma busca por dados conhecidos e publicados no meio científico sobre a nanotecnologia, com o objetivo de parametrizar as informações já avaliadas—envolvendo essa tecnologia. Também, realizou-se uma busca e uma análise sobre a produção bibliográfica referente à possibilidade de inovação relacionada às nanotecnologias para energias renováveis. Em adição, analisou-se a legislação consolidada e em projeto de lei sobre incentivos fiscais voltados a esse setor. No final, aponta-se uma alternativa para o crescimento sustentável a partir de energias renováveis, por meio inovação em nanotecnologias e do fomento tributário.

A Tese foi elaborada em 4 (quatro) capítulos, além da Introdução e Conclusão. No Capítulo 2, intitulado “Inovação em nanotecnologias, energias renováveis e desenvolvimento sustentável”, se abordou os aspectos da inovação em nanotecnologias, energias renováveis e o desenvolvimento sustentável, referindo-se à crise ambiental atual e seus efeitos na economia, suas conexões com a tecnologia e como esta pode contribuir ambientalmente com a nanotecnologia. Analisou-se a matriz energética brasileira e seus efeitos na mudança climática, bem como o dever do ente público em proteger o meio ambiente, incentivando a proteção mediante a pesquisa e o desenvolvimento nessa área.

No Capítulo 3, “O panorama regulatório da inovação em nanotecnologias”, explorou-se os marcos regulatórios existentes e em construção da inovação e da nanotecnologia no Brasil. A delimitação foi verificar a interface da legislação com a obrigatoriedade de preservação ambiental e a (in)existência de previsão legal fomentadora de incentivos fiscais. Ao final desse Capítulo, ponderou-se sobre a necessidade de segurança jurídica como fomentadora do desenvolvimento sustentável, apontando matérias essenciais a serem regulamentadas.

⁶ MINAYO, M. C. S. (org.). *Pesquisa Social: teoria, método e criatividade*. Petrópolis, RJ: Vozes, 2001. p. 21-22.

⁷ GIL, Antonio Carlos. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 7 ed. São Paulo: Atlas, 2022. E-book. ISBN 9786559771653.

No Capítulo 4, “Os incentivos fiscais como catalisadores do desenvolvimento econômico e da inovação em nanotecnologias”, explorou-se a possibilidade de o Estado ser promotor de ações de preservação ambiental por meio da extrafiscalidade, na qual os incentivos fiscais são ferramentas catalisadoras do desenvolvimento econômico e da inovação em nanotecnologias. Nele, analisou-se a função extrafiscal do tributo, observando a lei de responsabilidade fiscal, as externalidades e o teorema de Pigou, sob o enfoque do papel de Estado. Por fim, foram analisados os incentivos fiscais voltados à inovação tecnológica e às nanotecnologias.

Finalizando no Capítulo 5, nomeado “Caminhos para a inovação sustentável em nanotecnologias”, abordou-se alguns caminhos possíveis para a inovação sustentável em nanotecnologias. Foram analisadas as políticas públicas e a inovação tecnológica para o desenvolvimento sustentável; sua (in)segurança jurídica, social, ambiental e econômica; os incentivos fiscais e o atendimento aos objetivos do desenvolvimento sustentável da Agenda 2030; e, por fim, a crítica ao marco regulatório e os caminhos a percorrer para atendimento aos ODS em P&D.

Após, foram apresentadas as conclusões com ponderações acerca das hipóteses confirmadas ou refutadas na presente pesquisa.

2 INOVAÇÃO EM NANOTECNOLOGIAS, TRANSIÇÃO ENERGÉTICA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

A aderência ao uso de energias renováveis tem sido uma constante para a busca ao desenvolvimento sustentável. Para tanto, o investimento em tecnologias que usem cada vez menos materiais se faz necessário, pois parte-se da premissa de que os recursos são finitos. Dessa forma, a análise de como a inovação em nanotecnologias, aplicadas a energias renováveis, pode contribuir para o desenvolvimento sustentável é o questionamento que será abordado neste capítulo.

A humanidade hoje enfrenta duas grandes crises: a de energia e a da poluição do meio ambiente. Embora existam outras crises, as referidas estão intimamente ligadas à presente tese, tendo em vista que a discussão desses assuntos é indispensável para a possibilidade de manutenção do planeta, com uma qualidade de vida digna a todos que nele habitam. Com o fomento à produção de energias renováveis e à preservação ambiental, mediante o uso de tecnologias modernas, tem-se um caminho para a preservação do planeta.

Historicamente, para atingir o desenvolvimento econômico, não havia preocupação com os recursos naturais disponíveis, desconsiderando-se sua finitude. Contudo, tal pensamento está superado, e a atenção à preservação ambiental para a presente e as futuras gerações está posta constitucionalmente no Brasil e faz parte da agenda mundial.

Para a organização deste estudo, este capítulo abordará a contribuição que a inovação em nanotecnologias na área de produção de energias renováveis pode proporcionar à busca pelo desenvolvimento sustentável. Essa análise será feita a partir do estudo da eficiência tecnológica como uma forma de proteger o meio ambiente. Para tanto, examinar-se-á a aplicação de nanotecnologias no setor de produção de energias renováveis e suas implicações ambientais, levando em consideração a segurança do meio ambiente; analisar-se-ão os principais componentes da matriz energética brasileira e seus efeitos nas mudanças climáticas; e, por fim, delinear-se-á o panorama atual da nanotecnologia no setor de energias renováveis, voltado aos processos de inovação.

Inicialmente, busca-se verificar *se e em que medida* a eficiência tecnológica pode contribuir para a preservação do meio ambiente, visto que ela está associada também à promoção do desenvolvimento econômico, o qual, defende-se, não pode ser a qualquer custo, sendo necessário que o meio ambiente seja considerado dentre as variáveis de desenvolvimento sustentável. Nesse contexto, a produção de energias renováveis com a utilização de tecnologias de ponta e inovações em nanotecnologias poderá fomentar, ao

mesmo tempo, o meio ambiente e a economia, enfrentando as crises ponderadas no início desse tópico.

2.1 A EFICIÊNCIA TECNOLÓGICA COMO PROMOÇÃO DO MEIO AMBIENTE

É necessário, primeiramente, alicerçar as conceituações sobre as quais se baseiam a premissa básica deste capítulo: o meio ambiente pode ser promovido com o auxílio da eficiência tecnológica. Nesse caso, a palavra “promoção” tem o “sentido de incentivo para melhorar o desempenho de algo”⁸. Portanto, “promoção do meio ambiente” no sentido de que o desempenho tecnológico pode ajudar a melhorar as condições ambientais ao estimular a recuperação ambiental e, ao mesmo tempo, desacelerar a crise ecológica. Trata-se de “progredir” ambientalmente, ou seja, “ir num rumo cada vez melhor na direção de uma finalidade superior.”⁹

À vista disso, a primeira discussão a ser apresentada é sobre a existência da crise ambiental, para, em um segundo momento, discutir-se se essa crise ambiental pode ser enfrentada com o auxílio da tecnologia, mais especificamente, da nanotecnologia. Nesse sentido, ao analisar a crise ambiental, Romão¹⁰ destaca que a não solução se dá por reincidir no enfrentamento do mesmo paradigma científico iluminista, em que as mudanças de concepções que fazem parte do processo não são debatidas.

Tratar do assunto “crise ambiental” não é nenhuma novidade desde as reflexões iniciais na década de 60, com o relatório produzido pelo *Massachusetts Institute of Technology* (MIT),¹¹ *The limits to growth*, no qual se assinalava o tempo de esgotamento dos recursos naturais gerado pelo crescimento econômico. Como resultado desse apontamento, a ciência econômica tentou internalizar o custo ambiental, ao mesmo tempo em que buscou incorporar os princípios da sustentabilidade, nascendo diferentes escolas de pensamentos que influenciaram na gestão ambiental. Para Leff, isso resultou em um “campo discursivo disperso”, sem conseguir estabelecer “domínio científico homogêneo”, em que as discussões ambientais acabam sendo sempre analisadas nos mesmos círculos de debates¹². Assim, surge um campo para uma nova economia com base na racionalidade ambiental, como condição

⁸ CHAUI, Marilena. *Convite à Filosofia*. São Paulo: Editora Ática, 2002. 256 p.

⁹ *Ibidem*.

¹⁰ ROMÃO, F. L.; RIBEIRO, A. D.; ROMÃO, L. P. A crise ambiental analisada a partir do princípio de incerteza de Heisenberg e do conceito de paradigma de Thomas Khun. *Scientia Plena*, v. 7, n. 11, 03-04 p. 2011. Disponível em: www.scientiaplenu.org.br. Acesso em: 24 maio 2023.

¹¹ Massachusetts Institute of Technology (MIT).

¹² LEFF, Enrique. *Discursos Sustentáveis*. Tradução: Silvana Cobucci Leite. São Paulo: Cortez, 2010. p. 20.

sine qua non para a sustentabilidade da própria economia. A sustentabilidade que trata o desenvolvimento sustentável, como será visto no capítulo 5.2 tem na preservação do meio ambiente natural o seu aspecto essencial.

A economia buscou explicar o conjunto de problemas relacionados à natureza por meio das externalidades ambientais do sistema econômico, as quais estariam fora do alcance dos processos da economia, que será tratado no capítulo 4.2. Mas a natureza não é tão somente uma externalidade do sistema econômico¹³. Leff afirma que a teoria econômica é formada por paradigmas ideológico-teórico-políticos, em que seus pressupostos resultaram na crise ambiental que atropela as próprias externalidades como “entropização dos processos produtivos, alteração dos equilíbrios ecológicos do planeta, destruição dos ecossistemas, esgotamento de recursos naturais, degradação ambiental, aquecimento global, desigualdade social, pobreza extrema.”¹⁴

Leff¹⁵ afirma ainda que essa lei-limite do crescimento manifesta-se pela lei da entropia. Trata-se de uma teoria desenvolvida por Nicholas Georgescu Roegen que vincula o processo econômico às leis da termodinâmica¹⁶, segundo a qual, devido às perdas de energia nesses processos, as externalidades negativas da economia manifestam-se no aquecimento global do planeta, que será objeto do próximo sub capítulo desta tese.

No Universo, o caos é a regra geral, a ordem ocorre como excepcionalidade. E isso não é bom ou ruim, mas simplesmente como as coisas são. Ost¹⁷ já afirmava que

A ordem é, pois, excepcional: o caos é a regra, e quando surgem localmente ilhotas de informação e de ordem, o fundo de desordem e entropia é o acaso, mais do que a causalidade, é que o princípio da emergência dessas formas de organização é superior. Compreende-se, daí, que a ciência contemporânea declina-se doravante num modo aleatório, de indeterminação e incerteza. Einstein põe em dúvida o caráter absoluto do tempo e do espaço no universo desenhado por Newton; Heisenberg demonstra que o observador e suas técnicas perturbam o objeto observado; Prigogine constata “o fim das certezas” e engaja a física no estudo das estruturas dissipadas e de sua desordem criadora.

Leff¹⁸ alega que a Lei da Entropia é filha da racionalidade econômica e tecnológica, tentando maximizar a produtividade e minimizar as perdas energéticas. Para ele, “esse mecanismo está na base do desconhecimento da contribuição da natureza ao processo

¹³ LEFF, Henrique. *Racionalidade ambiental: a reapropriação social da natureza*. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2006. p. 170-175.

¹⁴ LEFF, 2010, p. 21.

¹⁵ Ibidem.

¹⁶ GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. The Entropy Law and the Economic Process in Retrospect. *Eastern Economic Journal*. v. 12, n. 1, jan-mar 1986. p. 3-25.

¹⁷ OST, François. *O tempo do direito*. Bauru: Edusc, 2005. p. 310.

¹⁸ LEFF, 2006. p. 175.

econômico”. Contudo, essa visão mecanicista de uma das leis da termodinâmica aplicada à economia possui variáveis que precisam ser colocadas na equação da sustentabilidade ambiental, para compor a solução. A busca por uma melhor eficiência energética implica significativamente redução dessas perdas de energia, e, para tanto, é preciso dominar o conhecimento envolvido no processo. A natureza é parte integrante do próprio processo, contribuindo para o desenvolvimento econômico e a preservação ambiental simultaneamente.

O problema surgiu com a descoberta do Ciclo de Carnot, em 1824, ocasião em que seria possível a máxima eficiência de uma máquina de calor, sem perdas de energia, construída como uma máquina ideal ou teórica. No mundo real, há perdas de energia, e esse ciclo não é tão eficiente, como preveu Carnot. Minimizar a perda energética é algo que as inovações nanotecnológicas podem proporcionar, como será visto posteriormente com as pesquisas já realizadas. Não se trata de zerar as perdas energéticas, mas minimizá-las ao máximo e, conseqüentemente reduzir seus efeitos.

Há grandezas físicas que, por sua natureza e comportamento, possuem incapacidade de prever rigorosamente todas as suas variáveis. Na física, que procura descrever as leis da natureza da forma mais precisa possível, existe um princípio chamado “Princípio da Incerteza”, enunciado por Werner Heisenberg em 1927, o qual prevê a “incapacidade intrínseca em se descrever de modo clássico os movimentos do elétron”¹⁹²⁰, demonstrando os limites da própria natureza. Essa incapacidade não se refere à limitação tecnológica, mas às características intrínsecas da própria matéria. Extrapolando esse princípio da física, utilizado no mundo subatômico para o mundo macroscópico, da mesma forma, há impossibilidades de prever todas as variáveis em um conjunto ambiental, sem deixar outras de fora. Isso não ocorre por limitação científica, mas porque os sistemas naturais têm esse comportamento. Ao se tratar de nanomateriais, a interação atômica dos elementos possui limites naturais.

Quando analisa-se a possibilidade do uso de nanotecnologias²¹ na sociedade, a primeira consideração que se faz é sobre os riscos eventuais de seu uso, cuja “probabilidade da existência de risco enseja o emprego do Princípio da Precaução”. Manzoli²² afirma que a incerteza científica pode ser pragmática ou teórica. No primeiro caso, considera-se que não há

¹⁹ RESNICK, Robert; HALLIDAY, David. *Física Quântica*. Tradução: Adir Luciano Leite Videira. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1984. p. 310. v. 4.

²⁰ Elétrons são elementos fundamentais da matéria.

²¹ “Se refere a uma série de técnicas utilizadas para manipular a matéria na escala de átomos e moléculas que, para serem enxergadas, requerem microscópicos especiais (STM/Scanning Tunneling Microscope e SPM/Scanning Probe Microscope).” (MANZOLI, 2009).

²² MANZOLI, Carol Palma. Perspectivas para a regulamentação da nanotecnologia no Brasil: uma abordagem jurídico-ambiental sobre o conteúdo da análise de risco. *Revista de Direito Ambiental*, Brasília, v. 14, n. 55, p. 15-24, jul./set. 2009.

dados suficientes sobre o assunto ou, ainda, que paira dúvida sobre a exatidão ou relevância desses. No segundo, a incerteza seria entendida como o desacordo sobre a interpretação do dado e a metodologia científica utilizada, a falta de conhecimento sobre conexões causais ou dúvidas chamadas de epistemológicas. Qualquer desses tipos de incerteza seria suficiente para a aplicação do Princípio da Precaução.

Entretanto, o desconhecimento sempre foi assustador e limitador²³. Quando o homem descobriu o fogo, teve medo, mas a história da humanidade mudou depois desse advento. O mesmo se deu com o uso das ondas eletromagnéticas, com as micro-ondas, e hoje temos energia elétrica, celulares e fornos de micro-ondas em todos os lares, e a vida moderna sem elas seria bastante difícil. É importante, inicialmente, conhecer quais são as reais dúvidas, para, depois disso, buscar respostas dentro dos limites impostos pelas próprias ciências naturais.

A busca por uma mudança da matriz energética somente será viável e consolidada se houver liberdade científica, com ética e regulamentação adequada, para a busca de novas fontes renováveis de produção de energia, ao invés de, com base no Princípio da Precaução, limitar o desenvolvimento da ciência, com medo do desconhecido. Objetiva-se uma discussão sobre a necessidade de um maior entendimento, sob o aspecto ambiental, da própria natureza como elemento garantidor para uma efetiva transição energética.

Portanto, a forma como o homem se relaciona com o meio ambiente, somada aos resultados negativos das ações que vem empreendendo sobre este, vem gerando uma crise da sua percepção em relação à natureza. Tal fato pode ser considerado como um ponto de partida para o início de uma consciência de que a natureza não é um objeto, mas o meio de sobrevivência.

Não se discute mais que o desenvolvimento científico é condição necessária para o crescimento econômico, entretanto, não é também condição suficiente, o que gera conflito com desenvolvimentistas. Ignacy Sachs²⁴ já apontava, no início do século XX, para a importância da natureza e a essencialidade de encontrar harmonia entre ela e o processo produtivo, incorporando a natureza como valor. O mesmo autor, ao prefaciar a obra de José Eli da Veiga,²⁵ destaca a importância de não se restringir aos aspectos sociais econômicos unicamente quando referir-se a desenvolvimento, destacando que a evolução das sociedades

²³ CHAUI, Marilena. *Convite à Filosofia*. São Paulo: Editora Ática, 2002.

²⁴ SACHS, Ignacy. *Caminhos para o desenvolvimento sustentável*. Rio de Janeiro: Garamond, 2002. p. 15.

²⁵ VEIGA, José Eli da. *Desenvolvimento Sustentável: o desafio do século XXI*. Rio de Janeiro: Garamond, 2010. p. 10.

humanas e da biosfera são dois sistemas com escalas temporais e espaciais distintas, tendo que ser consideradas fundamentalmente.

Sachs²⁶ indica oito dimensões para a sustentabilidade: social, cultural, ecológica, ambiental, territorial, econômica, política nacional e internacional. Quanto aos critérios ecológicos e ambientais, os objetivos da sustentabilidade formam um tripé: (1) preservação do potencial da natureza para a produção de recursos renováveis; (2) limitação do uso dos recursos não renováveis e (3) respeito e realce para a capacidade de autodepuração dos ecossistemas naturais²⁷.

Contudo, o *fator humano* ingressa na equação ambiental como uma variável aleatória, representando um acelerador para a finitude dos recursos. Jean Dorst²⁸ já afirmava a importância de seu impacto no equilíbrio do planeta, fazendo a distinção entre o homem primitivo que necessitava somente abrir uma clareira para cultivar o solo, comparativamente com o homem dos anos 2000, que, com explosões atômicas, é capaz de deslocar montanhas e modificar o curso dos rios. O seu impacto é cada vez mais profundo e não deve ser desconsiderado.

A discussão sobre a capacidade recuperatória de um determinado recurso é o que caracteriza sua regeneração ou reposição. Os recursos hoje existentes decorrem de milhões de anos de formação geomorfológica no planeta. Para Silva²⁹, essa capacidade de recomposição de um recurso no tempo humano é o que classifica os recursos naturais serem renováveis ou reprodutíveis e não renováveis.

Segundo Silva³⁰, há distinção entre reserva e recurso. A diferenciação se dá a medida que se conhece a informação precisamente ou hipoteticamente. Ou seja, para falar-se em reserva, alguma medida física foi realizada “sobre o teor e a quantidade de concentração mineral *in situ*”, cuja exploração é viável tecnológica e economicamente; já os recursos³¹ não são medidos com precisão, mas se conhece sua existência e sua potencialidade de exploração. Os recursos hipotéticos seriam todos aqueles conhecidos ou não existentes no manto da Terra capazes de serem extraídos futuramente.

²⁶ SACHS, 2002, p. 85-87.

²⁷ VEIGA, 2010, p. 171.

²⁸ DORST, Jean. *Antes que a natureza morra*. Tradução: Rita Buongermino. São Paulo: Edgard Blucher, 1973. p. 19.

²⁹ SILVA, José Afonso. *Direito Ambiental Constitucional*. 9. ed. São Paulo: Malheiros, 2011.

³⁰ *Ibidem.*, p. 36.

³¹ Para o autor (SILVA, 2011, p. 36), os recursos ainda são divididos em conhecidos e hipotéticos. Esses últimos são todos os recursos conhecidos e não conhecidos mas potenciais na crosta da Terra, os quais são possíveis de extração futura.

A variável temporal é essencial para a análise de uma utilização “ótima”, segundo os economistas. Esse ponto “ótimo” não necessariamente coincide com o “ótimo” ambiental. Sob o prisma ambiental, seria a taxa com que o recurso conseguiria se recompor; do ponto de vista econômico, o término de um recurso finito implica análise de um “custo de uso”, que representa o valor a ser pago pelas gerações presentes ou reduzido de suas rendas, de forma a compensar as gerações futuras pelo esgotamento de recursos”³². Estas são conhecidas como as decisões intertemporais.

O conceito de economia é fundamentado no princípio da escassez, que, em paradoxo, é o contrário de riqueza, tanto que os bens abundantes não tem valor econômico, são naturais. Logo o fundamento teórico da economia mercantil moderna é a escassez e não a riqueza. Somente quando um bem se torna escasso, como a água (pela poluição), é que a economia passa a se interessar e incorporar sentido econômico. Na crise ambiental atual, o princípio de escassez, que antes era pontual e discreto, que podia ser resolvido com um avançado processo tecnológico, transformou-se em um problema de escassez global, e as externalidades confrontaram-se com uma “lei-limite da natureza”³³.

Outro referencial a ser discutido neste capítulo diz respeito à tecnologia. Quando se fala em tecnologia, não se furta remeter ao conhecimento científico e, conseqüentemente, à *episteme*³⁴ da própria ciência. Latour questionava, ao fazer a reflexão sobre a ciência, “por onde podemos começar um estudo sobre ciência e tecnologia? A escolha de uma porta de entrada depende crucialmente da escolha do momento certo”³⁵. O autor faz um paralelo entre as caixas-pretas e as ciências, como estas são construídas. Destaca que, para compreender como a ciência é, é preciso entender como ela foi construída, em que contexto foi inserida, e que, em muitos casos, contexto e conteúdo se confundem³⁶. Destaca também que, para entender essa construção, é necessário ater-se a aspectos leves e variados, como a própria pesquisa e prazos finais, burocracias, dinheiro e equipamentos.

Para Chauí, historicamente, conhecia-se três concepções de ciência, que são: racionalista, empirista e construtivista. Na ciência racionalista, que compreende dos gregos até o final do século XVII, tinha-se a ciência como um conhecimento racional dedutivo e capaz de ser demonstrado. Nesse período, considera-se a ciência como “unidade sistemática de axiomas, postulados e definições, que determinam a natureza e as propriedades de seu

³²SILVA, 2011, p. 37.

³³LEFF, 2010, p. 23.

³⁴*Episteme* dos gregos significa ciência. (CHAUÍ, 2002, p. 257).

³⁵LATOUR, Bruno. *Ciência em ação: como seguir cientistas e engenheiros sociedade afora*. Tradução: Ivone C. Benedetti. 2 ed. São Paulo: Ed. Unesp, 2011. p. 2.

³⁶LATOUR, 2011, p. 8.

objeto, e de demonstrações que provam as relações de causalidade que regem o objeto investigado.”³⁷

Na concepção empirista de ciência, que vai desde Aristóteles até meados do século XIX, parte-se do pressuposto de que a ciência seria a interpretação de fatos observados e experimentados, os quais possibilitam coadunar induções que descrevem o objeto, suas propriedades e suas leis de funcionamento. Portanto, a ciência tem a função de produção de conceitos e não somente a sua verificação e confirmação, como na concepção hipotético-dedutiva da teoria racionalista. Na teoria empirista, tem-se as elaborações de suposições sobre o objeto em uma concepção hipotético-indutiva³⁸.

Para a concepção construtivista, iniciada no século XXI, há a ideia da ciência como construção de modelos explicativos para a realidade, que pode ser corrigida e readequada. A ciência não busca representar a própria realidade, mas explicar como ela se comporta. Uma vez que o objeto é uma construção experimental-lógico-intelectual, não se apresenta a realidade em si, mas propõem-se estruturas e modelos de funcionamento da realidade. Nesse caso, “não se espera, portanto, apresentar uma verdade absoluta e sim uma verdade aproximada que pode ser corrigida, modificada, abandonada por outra mais adequada aos fenômenos.”³⁹

A construção do conhecimento científico, segundo Latour, faz-se mediante a observação de regras metodológicas. “Por “regras metodológicas” refere-se às decisões a serem tomadas a priori, na consideração de todos os fatos empíricos criados pelas disciplinas especializadas que fazem parte do campo de estudo chamado “ciência, tecnologia e sociedade”⁴⁰. Esses princípios devem ser debatidos, falseados, substituídos por outras sínteses. A construção da ciência não é estática, é um processo que se faz com debate, no qual haverá afirmação ou falseamento de fatos empíricos, que posteriormente poderão, mais uma vez, fazer parte de novo ciclo. O ponto crucial, nesse processo, será a identificação e definição do que é considerado “fato”, pois o mesmo “fato empírico” poderá ser diferentemente observado por diversos interlocutores e, ainda assim, ser fato. Esses interlocutores ou cientistas poderão ter entendimentos divergentes do mesmo objeto ou fato.

A ideia inicial da ciência moderna era conhecer a natureza para apropriar-se dela, dominando-a e controlando-a. Dessa forma, inserida em uma sociedade capitalista cujo propósito é o acúmulo de capital, o desenvolvimento da ciência possibilitaria ampliar a

³⁷ CHAÚÍ, 2002, p. 252.

³⁸ CHAÚÍ, 2002.

³⁹ CHAÚÍ, 2002, p. 253.

⁴⁰ LATOUR, 2011, p. 26.

capacidade humana para modificar e explorar a natureza⁴¹. Nesse contexto, a técnica é elemento essencial para a ciência, mais especificamente a tecnologia.

Para Chauí, seria mais adequado referir-se à tecnologia do que a técnica, pois a técnica seria um conhecimento empírico, e a tecnologia seria um saber teórico que se aplica à prática⁴². Por conseguinte, um objeto é tecnológico “quando sua construção pressupõe um saber científico e quando seu uso interfere nos resultados das pesquisas científicas. A ciência moderna tornou-se inseparável da tecnologia.”⁴³

A pesquisa científica passou a fazer parte das forças produtivas da sociedade, gerando um problema quanto ao uso da ciência e à destinação dos recursos. Tornou-se parte integrante e indispensável do desenvolvimento econômico, sendo, assim, um agente econômico e político. Chauí afirma que, do mesmo modo que criam ministérios, “os governos determinam quais as ciências que irão ser desenvolvidas e, nelas, quais as pesquisas que serão financiadas”⁴⁴, sendo objeto para as políticas públicas. Essa questão é ponto chave dessa Tese, pois o fomento à pesquisa de nanotecnologias para energias renováveis, como política pública de Estado, propiciará uma transição energética segura e estável.

Com a evolução da crise ambiental anteriormente referida, a exploração da natureza apontou o grande desafio do século XXI e mostrou-se bastante prejudicial à sociedade. Porém, por meio da tecnologia, tem-se o vetor capaz de readequar esse caminho. Nas palavras da ex-Diretora Geral da Unesco, Irina Bokova, “a ciência revela-se fundamental para o desenvolvimento sustentável, contribuindo para todos os objetivos da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável.”⁴⁵. Para a transição energética ocorrer, será necessário direcionar as pesquisas e seus respectivos financiamentos, para áreas potenciais que indicam viabilidade para a mudança para energias alternativas, como as nanotecnologias para energias renováveis.

O conceito de ciência adotado pela Unesco extrapola o sentido proposto anteriormente, trazendo os aspectos evolutivos, além da observação e validação por meio do compartilhamento do objeto:

De acordo com a Recomendação da UNESCO de 2017 sobre Ciência e Pesquisadores Científicos, o termo ‘Ciência’ significa o empreendimento pelo qual a

⁴¹ CHAUI, 2002, p. 255.

⁴² CHAUI, 2002.

⁴³ Ibidem, p. 256.

⁴⁴ Ibidem, p. 286.

⁴⁵ CIÊNCIA para a Sociedade. *Comissão Nacional da Unesco; Ministério dos Negócios Estrangeiros.*

Disponível em: <https://unescoportugal.mne.gov.pt/pt/temas/ciencia-para-um-futuro-sustentavel/ciencia-para-a-sociedade>. Acesso em: 28 maio 2023.

humanidade, agindo individualmente ou em pequenos ou grandes grupos, faz uma tentativa organizada, por meio do estudo objetivo dos fenômenos observados e sua validação por meio compartilhamento de descobertas e dados e por meio de revisão por pares, para descobrir e dominar a cadeia de causalidades, relações ou interações; reúne de forma coordenada subsistemas de conhecimento por meio de reflexão sistemática e conceituação; e assim se fornece a oportunidade de usar, em seu próprio benefício, a compreensão dos processos e fenômenos que ocorrem na natureza e na sociedade⁴⁶.

Isto é, a compreensão de fenômenos naturais e sociais deve passar por reflexões sistemáticas e compartilhamento de informações. Essa definição é essencial para a pesquisa em inovações nanotecnológicas para energias renováveis. Compreender os processos e os fenômenos e compartilhar esse conhecimento é viabilizar a transição energética.

Quando Bursztyn compara a ciência no final do século XIX e no fim do século XX, ao analisar o papel da ciência e da tecnologia, no primeiro período, afirma que havia forte crença na capacidade de resolução dos problemas; no segundo período, constata que existe desencanto e consciência da necessidade de precaução⁴⁷. Essa consciência advém da percepção da finitude dos recursos naturais, da possibilidade do ser humano se autodestruir com suas próprias criações, da falta de solidariedade intergeracional, da necessidade de agir com cautela na produção de conhecimento científico relacionado ao desenvolvimento de tecnologias e, principalmente, da consciência

de que, na medida em que nossas sociedades vão ficando mais complexas, é preciso mais ação reguladora, o que normalmente se dá pelo poder público; hoje, com a crise do Estado, a regulação deve se valer de novas regulamentações e de uma crescente contratualização entre atores sociais (códigos de conduta, sistemas de certificação)⁴⁸.

Portanto, a necessidade de regulamentação frente à complexidade de novas técnicas ou novos matérias, como é o caso da nanotecnologia, é elemento essencial para o crescimento da ciência.

Da mesma forma que houve uma ruptura epistemológica entre a ciência do século XIX e a do século XX, devido a uma descontinuidade no conhecimento científico, as teorias científicas não apresentaram uma evolução ou uma progressão comparativamente das teorias

⁴⁶ UNESCO publica recomendações sobre Ciência Aberta. *Agência de Bibliotecas e Coleções Digitais da Universidade de São Paulo – ABCD USP*. Disponível em: <https://www.abcd.usp.br/noticias/unesco-publica-recomendacoes-sobre-ciencia-aberta/#:~:text=De%20acordo%20com%20a%20Recomenda%C3%A7%C3%A3o,observados%20e%20sua%20valida%C3%A7%C3%A3o%20por>. Acesso em: 28 maio 2023.

⁴⁷ BURSZTYN, Marcel (org.). *Ciência, ética e sustentabilidade: desafios ao novo século*. 2 ed. São Paulo: Cortez; Brasília, DF: UNESCO, 2001. *E-book* (10 p.). Disponível em: <http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/ue000201.pdf>. Acesso em: 28 maio 2023.

⁴⁸ BURSZTYN, 2001, p. 11.

anteriores, mas surgiram “como resultado de diferentes maneiras de conhecer e construir os objetos científicos, de elaborar os métodos e inventar tecnologias”⁴⁹. Hoje, em razão da crise ambiental, vivencia-se a mesma ruptura.

Pode-se estar diante de um obstáculo que se encaminha para uma ruptura epistemológica, em que os modelos existentes não levam aos resultados esperados. Busca-se progredir ambientalmente e travar a crise ambiental. Com o conhecimento disponível atualmente, isso não é possível. Há necessidade de se descobrir novos paradigmas e novas teorias que contemplem o meio ambiente ao mesmo tempo em que possibilitem o desenvolvimento econômico com bem estar social.

Nesse ponto, Romão⁵⁰ é taxativo “Não existe solução para o conjunto de interrogações ambientais nos marcos atuais.” Embora o autor seja pessimista quanto à análise da crise ambiental não ser resolvida com a descoberta e/ou produção de combustíveis mais baratos, provenientes de fontes renováveis, a sua base teórica, a partir do Princípio de Incerteza de Heisenberg, não sustenta essa afirmativa. No máximo, a discussão do Princípio da Incerteza, de Heisenberg,⁵¹ afirma a impossibilidade de determinar, com exatidão absoluta e simultaneamente, duas grandezas analisadas. Essa indeterminação não deriva da imperfeição instrumental ou tecnológica, mas da própria natureza fenomenológica, sendo o princípio da precaução uma decorrência dele.

A primeira regra metodológica abordada por Latour sobre o entendimento de como se constitui o saber surge durante o “fechamento das caixas pretas tomando o cuidado de fazer a distinção entre duas explicações contraditórias desse fechamento, uma proferida depois dele, outra enquanto ele está sendo tentado”⁵², isto é, durante a fase de confecção da caixa-preta e ao final, o que sai dela. A fase de constituição do saber e de como é construída a ciência é decisiva para sua aceitação e consolidação efetiva como conhecimento. Pois, quando a controvérsia é estabelecida e a discussão em torno da confecção da caixa-preta se estrutura, elementos como que direção é tomada e que elementos novos são trazidos para a referida discussão são decisivos para convencer os demais cientistas que fazem o debate⁵³.

A crítica de Latour é que não deveria existir sociólogos das ciências, pois estes apontariam que “nada na Ciência se assemelha às ciências, e que nada no coletivo se assemelha ao inferno do social” e, ainda, que a salvação da Ciência está em um mundo social

⁴⁹ CHAUI, 2002, p. 257.

⁵⁰ ROMÃO, 2011, p. 5.

⁵¹ “É lei da natureza não podermos conhecer com exatidão o estado atual de nenhum corpúsculo.” (KÖCHE, 2010, p. 59).

⁵² LATOUR, 2011, p. 22.

⁵³ Ibidem., p. 23.

privado de todos os seus meios de se tornar moral, razoável e sábio⁵⁴. Embora essa crítica do autor seja mais um desabafo de que um grupo não foi chamado à discussão de assuntos que não dominam, tem um lastro de relevância onde nem todos os agentes são chamados à discussão ampla, assim a sociedade resulta excluída da discussão que é de interesse dela participar.

Contudo, a direção que toma a discussão quanto à construção dos fatos não é entendível a todos, pois, se fosse, a controvérsia terminaria rapidamente. Cada oposição acrescida ao debate altera o status da descoberta inicial, modificando-a consecutivamente⁵⁵. A classificação de uma afirmação depende das afirmações feitas anteriormente. “Seu grau de certeza aumenta ou diminui, dependendo da sentença seguinte que a retomar; essa atribuição retrospectiva se repete na nova sentença, que, por sua vez, poderá ser tornada mais fato ou mais ficção por força de uma terceira, e assim por diante”⁵⁶.

Outro critério relevante que compõem a segunda regra metodológica de Latour diz respeito ao aceite da comunidade científica. “Não devemos procurar as qualidades intrínsecas de qualquer afirmação, mas sim todas as transformações por que ela passa mais tarde em mãos alheias”⁵⁷. Essa segunda regra, ao compor com a primeira de que a ciência e a tecnologia deviam ser estudadas no processo de construção do conhecimento, afasta-se das qualidades intrínsecas da afirmação e procura as transformações das sentenças, percebendo a evolução teórica do conhecimento. A palavra de um homem isolado é mais fácil de desmentir do que a palavra de muitos homens bem equipados, pois a primeira é constituída de poucas associações, sendo pouco social, um ato isolado; e a segunda é composta de muitas, sendo extremamente social. Ressalta-se, nesse sentido, que o conhecimento é um fato da coletividade⁵⁸.

Latour coloca a Natureza como sua terceira regra metodológica, “uma vez que a resolução de uma controvérsia é a causa da representação da Natureza, e não a consequência, nunca poderemos usar o resultado – Natureza – para explicar como e por que uma controvérsia foi resolvida.”⁵⁹ Ou seja, a representação da natureza é a causa da controvérsia. Como o cientista explica, o mundo que ele vê é o que gera a controvérsia. O homem sempre tentou equacionar como a Natureza se comporta, para, dessa forma, tentar prever seu

⁵⁴ Ibidem., p. 35.

⁵⁵ LATOUR, 2011, p. 37-39.

⁵⁶ Ibidem., p. 40.

⁵⁷ Ibidem., p. 88-89.

⁵⁸ Ibidem., p. 93.

⁵⁹ Ibidem., p. 153.

comportamento. Contudo, essas previsões são objetos de constantes discussões, sempre na tentativa de chegar o mais próximo da verdade da Natureza.

O monopólio da produção da ciência também é objeto de reflexão de Latour, que destaca a diferenciação entre as ciências e a Ciência. Para ele, Ciência (com letra maiúscula) é diferente de ciência (com letra minúscula).

Que o problema de conhecimento se insere de forma bem diferente, conforme agitamos a Ciência ou nos apegamos às idas e vindas das ciências, tais como elas se fazem; eu aceite considerar, enfim, que se a natureza – no singular – tem uma parte ligada com a Ciência, as ciências, no que lhes toca, não exigem absolutamente uma tal unificação.[...] vamos definir a Ciência como a politização das ciências pela epistemologia, a fim de tornar impotente a vida política ordinária, fazendo pesar sobre ela a ameaça de uma natureza indiscutível⁶⁰.

Assim, a Ciência, como politização das ciências, é utilizada, em muitos casos, como ferramenta de manipulação para o convencimento, com o uso da argumentação de “conforme a Ciência” para findar a discussão sobre um assunto.

Essa distinção é relevante, visto que a ideia de Ciência, segundo o autor, gera uma percepção de mundo social que servirá como ferramenta para a própria sociedade. O conhecimento construído com base na verdade dessa Ciência não traduz necessariamente o que as ciências podem contribuir. É necessário fazer a ruptura de ver a Ciência como um ente que traz a luz e define, de modo absoluto, as coisas, com intuito de impor uma verdade que, na maioria das vezes, sofre interferência do seu interlocutor. É preciso deixar de definir as coisas “como elas são” para a “representação de que os humanos fazem dela”⁶¹, sem a divisão de aspectos ontológicos dos epistemológicos, pois todos eles contribuirão para a construção do conhecimento o mais próximo possível da verdade. “A invocação Ciência deixa de ser a única salvação contra o inferno social”⁶² e passa a analisar a natureza da ligação entre as ciências e as sociedades.

Outra categoria apontada por Latour é o inconveniente entre fato e valor. A divisão clássica, na qual os sábios definem os fatos e os políticos e moralistas definem os valores, precisa ser rompida, e os dogmas, discutidos, posto que serão os políticos que definirão quais pesquisas devem ser fomentadas e quais não. Comumente, o termo “fatos” é utilizado de forma a não possibilitar discussão e argumentação, como se fosse algo absolutamente objetivo e que não dependesse da interpretação do interlocutor, impondo-se uma verdade previamente

⁶⁰ LATOUR, 2011, p. 26.

⁶¹ Ibidem., p. 28.

⁶² Ibidem., p. 30.

concebida. O senso comum prega que “fatos são fatos e não podem ser discutidos”. Será? Duas pessoas diferentes olhando uma mesma situação poderão incorporar elementos divergentes, segundo sua percepção, seu grau de instrução, sua experiência de vida, entre outros fatores. Os fatos acabam se adequando aos dados e se afastando de fato do inverso⁶³. Portanto, fatos não são somente fatos, não há exclusivamente *matters of fact*. A carga axiológica que os acompanha não pode ser dissociada, o valor a ela vinculado não é independente. A noção de valor depende do conceito de fato e acaba sendo empregada diante do acontecimento. O senso comum prega que “os fatos estão lá, quer você queira ou não”⁶⁴, e inclui-se, no mundo dos fatos, os valores que se deseja mantidos ou modificados, tendo em vista o bem comum.

Formulando assim o histórico desses trajetos, vê-se claramente que os valores flutuam em função do avanço dos fatos. A balança não é, pois, igual entre aquele que pode definir a realidade inelutável e indiscutível do que simplesmente “é” (o mundo comum) e aquele que deve manter, contra ventos e marés, a necessidade indiscutível e inelutável do que “deve ser” (o bem comum)⁶⁵.

Tornar acessível o acesso ao conhecimento científico permite trazer o coletivo à discussão, sem intermediários. Contudo, “a política fala e palavreia, mas não a natureza”⁶⁶. Para tanto, teria que se nomear porta-vozes e seus múltiplos conflitos. Cada crise ecológica “abre uma controvérsia entre peritos que impede muitas vezes o estabelecimento de uma frente comum de fatos indubitáveis sobre os quais, conseqüentemente, os políticos viriam a concordar ao tomar suas decisões”⁶⁷. Exemplo disso é a discussão sobre o aquecimento global. Nesse momento, depara-se com dois caminhos possíveis: esperar que a ciência venha a pôr fim às incertezas ou aceitar a incerteza como algo inerente ao processo, substituindo o indiscutível pelo discutível e unindo as controvérsias em prol da natureza.

Essa discussão é particularmente relevante para a presente Tese. A construção do conhecimento pela pesquisa em nanotecnologias para energias renováveis pode ser elemento que contribui para a transição energética e assim minimizar as mudanças climáticas.

O termo da discussão se modifica quando os cientistas são convocados. Há um resumo da discussão, mediante procedimentos que suspendem, distinguem e acabam repartindo novamente o percurso da discussão em câmaras distintas⁶⁸. Dessa forma, a

⁶³ Ibidem.

⁶⁴ LATOUR, 2011, p. 150.

⁶⁵ LATOUR, Bruno. *Políticas da natureza: como fazer ciência na democracia*. Bauru, SP: EDUSE, 2004. 412 p.

⁶⁶ Ibidem., p. 107.

⁶⁷ Ibidem., p. 108.

⁶⁸ LATOUR, 2011, p. 109.

almejada discussão é feita somente entre determinados sábios, excluindo os demais. A proposta é que o debate envolva todos e não apenas os cientistas escolhidos. Como o mito da caverna, no qual uma câmara “fala sem saber e a outra sabe sem falar, ambas ligadas por um estreito corredor onde transitam espíritos sábios para fazer falar as coisas e muitos políticos para fazer calar os humanos”⁶⁹.

Ao analisar até aqui a construção da ciência, da sua existência e a evolução da crise ambiental com suas conexões com a economia, ponderando-se sobre o uso da ciência e suas tecnologias, ainda resta uma pergunta: como a tecnologia pode auxiliar o meio ambiente? A resposta que se pretende é simples: usar cada vez menos material e potencializar suas eficácias, por meio das nanotecnologias, que serão objeto de subcapítulo específico. Nesse viés, considera-se a nanopartícula como integrante da natureza. Mas antes resta ainda verificar o estágio atual da crise ambiental e sua conexão com a produção de energia. Dessa forma, aprimorando a produção de energia, atingir-se-á uma das fontes causadoras de crise.

2.2 A MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA E SEU EFEITO NAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Uma vez discutida a relevância da tecnologia para progredir o meio ambiente, que atravessa adversidades sem precedentes, cabe ainda aferir as causas dessa crise ambiental e qual o papel da matriz energética brasileira nesse cenário. O objetivo deste tópico é analisar os principais componentes da matriz energética atual no Brasil e seus efeitos nas mudanças climáticas.

A natureza pode ser considerada como o maior bem de uso comum. A Constituição da República Federativa do Brasil de 1988, em seu art. 225, prevê o direito de todos, gerações atuais e futuras, ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, assim como a obrigação de toda a coletividade com a defesa e a preservação desse bem. Nesse contexto, todo conhecimento sobre a matéria que pode envolver essa defesa, incluindo o conhecimento sobre nanotecnologias, também deveria ser considerado um bem de uso comum, abrindo, por conseguinte, a caixa-preta, na nomenclatura de Latour.⁷⁰

Di Pietro⁷¹ leciona que “consideram-se bens de uso comum do povo aqueles que, por determinação legal ou por sua própria natureza, podem ser utilizados por todos em igualdade

⁶⁹ Ibidem., p. 144.

⁷⁰ LATOUR, 2011.

⁷¹ DI PIETRO, Maria Sylvia Zanella. *Direito Administrativo*. 15. ed. São Paulo: Atlas, 2003. p. 545.

de condições”. Ou seja, são aqueles bens utilizados pelo povo, sem restrição, gratuita ou onerosamente, sem necessidade de permissão especial. “Não cabe, portanto, exclusivamente a uma pessoa ou grupo, tampouco se atribui a quem quer que seja sua titularidade.”⁷² Assim, o meio ambiente é um bem de uso comum que por todos deve ser preservado.

A seguir será analisada a base legal que obriga o ente público a investir recursos financeiros para incentivar a pesquisa na área tecnológica, com o objetivo de proteger e preservar o meio ambiente. Ressalta-se que uma análise do tipo de incentivo em si será feita em detalhe, em capítulo específico.

A Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA)⁷³, no art. 3º, buscou definir meio ambiente, degradação, poluição e recursos naturais. Pelos respectivos conceitos, extrai-se que meio ambiente é “o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas”. Por degradação ambiental, entende-se qualquer alteração adversa das características que compõem o meio ambiente, incluindo, nessa definição, o próprio conceito de poluição. Esta pode ser resultante de atividades que, direta ou indiretamente: “prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; afetem desfavoravelmente a biota, as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos”. Ainda, o referido artigo define o que é considerado poluidor e o que se entende por recursos ambientais.⁷⁴

Os objetivos da PNMA estão previstos no caput art. 2º e incluem o desenvolvimento socioeconômico com a preservação, a melhoria e a recuperação do meio ambiente. Nos incisos do referido artigo, estão os princípios que atentam para a obtenção desses objetivos. Entre eles, encontram-se: ação governamental que assegure e proteja o meio ambiente como um patrimônio público; racionalização de uso de solo, subsolo, água e ar; planejamento e fiscalização do uso dos recursos ambientais; proteção dos ecossistemas, com a preservação de áreas representativas; controle e zoneamento das atividades potencial ou efetivamente poluidoras; educação ambiental; e

⁷² FIORILLO, Celso Antonio Pacheco. *Curso de Direito Ambiental Brasileiro*. 8. ed. São Paulo: Saraiva, 2007. p. 67.

⁷³ 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. Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/Ccivil_03/Leis/L6938.htm. Acesso em: 05 jun. 2012.

⁷⁴ “IV – poluidor, a pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, responsável, direta ou indiretamente, por atividade causadora de degradação ambiental; V – recursos ambientais, a atmosfera, as águas interiores, superficiais e subterrâneas, os estuários, o mar territorial, o solo, o subsolo e os elementos da biosfera.” (BRASIL, 1981).

VI – incentivos ao estudo e à pesquisa de tecnologias orientadas para o uso racional e a proteção dos recursos ambientais;

VII – acompanhamento do estado da qualidade ambiental;⁷⁵

A ação governamental é o ponto em que esta tese pretende chegar. Defende-se que cabe ao Poder Público promover ações para assegurar a obtenção dos objetivos acima referidos, buscando simultaneamente o desenvolvimento socioeconômico e a proteção ambiental. Isso é possível mediante incentivos à pesquisa voltada à produção tecnológica que propicie o uso racional dos recursos ambientais e sua proteção. Aqui, insere-se a produção de energias limpas com o uso de nanotecnologias e a necessidade do governo incentivar financeiramente tais projetos. A previsão de incentivo a atividades voltadas ao meio ambiente deve incluir iniciativas que propiciem a racionalização dos recursos ambientais, dentre elas, a promoção das energias renováveis, por meio do incentivo a pesquisas científicas e tecnológicas em atendimento ao princípio VI citado acima. Destaca-se, em citação literal do artigo 13, da PNMA que:

Art. 13. O Poder Executivo incentivará as atividades voltadas ao meio ambiente, visando:

I – ao desenvolvimento, no País, de pesquisas e processos tecnológicos destinados a reduzir a degradação da qualidade ambiental;

II – à fabricação de equipamentos antipoluidores;

III – a outras iniciativas que propiciem a racionalização do uso de recursos ambientais.

Parágrafo único - Os órgãos, entidades, e programas do Poder Público, destinados ao incentivo das pesquisas científicas e tecnológicas, considerarão, entre as suas metas prioritárias, o apoio aos projetos que visem a adquirir e desenvolver conhecimentos básicos e aplicáveis na área ambiental e ecológica.⁷⁶

Logo, as pesquisas científicas e tecnológicas que propiciam racionalização dos recursos naturais, como é o caso da nanotecnologia, devem ser alvo de incentivos, dentre eles, os fiscais.

A Lei nº 9.478/97 dispõe sobre a Política Energética Nacional (PEN) e as atividades relativas ao monopólio do petróleo, bem como institui o CNPE (Conselho Nacional de Política Energética) e a ANP (Agência Nacional do Petróleo), visando promover o aproveitamento racional dos recursos energéticos disponíveis no País, assegurando as características regionais de cada área, revendo periodicamente a matriz energética nacional e

⁷⁵ BRASIL, 1981.

⁷⁶ BRASIL, 1981.

buscando estabelecer diretrizes para o aproveitamento de energia proveniente de fontes alternativas.

No art. 2º da PEN, prevê-se o direcionamento das políticas públicas e medidas específicas⁷⁷ destinadas a:

a) *promover o aproveitamento racional dos recursos energéticos do País, assegurar o suprimento de insumos energéticos às áreas mais remotas ou de difícil acesso do País, prevendo criação de subsídios*⁷⁸;

b) *rever periodicamente as matrizes energéticas, considerando as fontes convencionais e alternativas e as tecnologias disponíveis;*

c) *estabelecer diretrizes para programas específicos, como os de uso do gás natural, do carvão, da energia termonuclear, dos biocombustíveis, da energia solar, da energia eólica e da energia proveniente de outras fontes alternativas;*

d) sugerir a adoção de medidas para garantir o atendimento à demanda nacional de energia elétrica, considerando o planejamento de longo, médio e curto prazos, podendo indicar empreendimentos que devem ter prioridade de licitação e implantação, tendo em vista seu caráter estratégico e de interesse público, de forma que tais projetos venham assegurar a otimização do binômio modicidade tarifária e confiabilidade do Sistema Elétrico⁷⁹. Conteúdo referente a tais políticas públicas será abordado no capítulo 5 da presente tese; enquanto os incentivos serão tratados no capítulo 4.

A crise ambiental acaba por comprometer o mínimo existencial de um ambiente ecologicamente equilibrado e, como apontado até aqui, a busca por mais eficiência energética pode contribuir para diminuir o dano ao meio ambiente. O equilíbrio ambiental e a produção de energia estão intimamente conectados, principalmente quando não se pretende abrir mão do desenvolvimento econômico. Marques⁸⁰ menciona que hoje, a questão não é mais produzir, crescer e sim como produzir, como crescer: as atividades econômicas devem respeitar o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, atendendo à legislação ambiental e resultando, dessa forma, em benefício para a sociedade. É imprescindível a consciência do homem para a preservação das fontes de recursos energéticos e naturais, com

⁷⁷ Assunto do capítulo 5 da presente tese.

⁷⁸ Assunto do capítulo 4 da presente tese.

⁷⁹ BRASIL. *Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997*. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19478.htm. Acesso em: 2/jul./2013.

⁸⁰ MARQUES, José Roberto. *O desenvolvimento sustentável e sua interpretação jurídica*. São Paulo: Editora Verbatim, 2011. p. 15.

vistas aos direitos das gerações futuras. Trata-se do desenvolvimento econômico com vistas ao lucro, sem desconsiderar a finitude dos recursos naturais.

A Constituição Federal de 1988 elencou a dignidade da pessoa humana no rol dos princípios fundamentais, consoante o que dispõe o seu art. 1º, inciso III. O princípio da dignidade da pessoa humana apresenta-se como a base para todo o ordenamento jurídico constitucional, posto que é com vistas à sua efetividade que os demais princípios e regras se estruturam. Nesse sentido, manifestam-se Sarlet e Fensterseifer, que falam sobre a necessidade de conjugação de direitos sociais e ambientais como forma de obtenção da almejada dignidade humana. Isto é, reconhece-se o direito-garantia do mínimo existencial socioambiental, “precisamente pelo fato de tal direito abarcar o desenvolvimento de todo o potencial da vida humana até a sua própria sobrevivência como espécie, no sentido de uma proteção do homem contra a sua própria ação predatória”.⁸¹

Ao conteúdo do princípio da dignidade da pessoa humana, foi acrescentada uma dimensão ecológica, com o escopo de ampliar o âmbito de proteção do referido princípio, visando estabelecer um padrão de qualidade e segurança ambiental. Tal padrão é fixado quando o homem usufrui do bem-estar ambiental, o qual é indispensável ao direito a uma vida digna, saudável e segura. No caso de os níveis de qualidade ambiental ficarem abaixo desse padrão, o princípio da dignidade da pessoa humana restaria violado no seu núcleo essencial.

Um dos fatores para que se materialize a dignidade da pessoa humana diz respeito ao desenvolvimento sustentável, com ênfase no crescimento econômico, o qual é, contudo, usualmente impulsionado pelo consumo de recursos naturais, em regra. Ocorre que, em virtude do crescimento populacional e da demanda pela utilização dos recursos, há o risco de escassez destes, que são indispensáveis à vida no planeta. Nesse contexto, o papel da inovação mostra-se fundamental.

A consciência de consumir de forma racional tais recursos e conservá-los é necessária, uma vez que alguns são renováveis e outros, não renováveis. É possível que o desenvolvimento opere de forma a preservar e manter um ambiente ecologicamente equilibrado. Para isso, o homem cria tecnologias capazes de gerar, novos recursos, ou otimizar os existentes, hábeis em aproveitar o que a natureza proporciona sem destruí-la, e quiçá, capazes de proporcionar tempo para a recuperação da crise ambiental. Exemplo disso é a produção de energia, na qual se extrai matéria-prima de fontes renováveis, como o sol, o vento, os rios, correntes de água doce e até da matéria orgânica, para gerar energia. Mediante

⁸¹ SARLET, Ingo Wolfgang; FENSTERSEIFER, Tiago. *Direito constitucional ambiental: estudos sobre a constituição, os direitos fundamentais e a proteção do ambiente*. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2011. p. 112.

processos de inovação, é possível ainda potencializar materiais ou criar novos, capazes de uma maior eficiência energética, com menos matéria prima. Sendo o caso das nanotecnologias.

Em virtude do direito de todos a um meio ambiente ecologicamente equilibrado, que se encontra expresso de forma inovadora em nosso texto constitucional, incluindo as presentes e as futuras gerações, Ayala alerta sobre a imposição de deveres e obrigações e o exercício de responsabilidades entre todos os membros da sociedade e do Estado, em um modelo ético de compromisso⁸².

É indubitável a necessidade de criação de novas tecnologias voltadas à utilização de recursos naturais renováveis, as quais propiciem o crescimento econômico sustentável e garantam a efetivação dos direitos fundamentais, para que, dessa forma, seja alcançado o objetivo almejado: o desenvolvimento sustentável. Urge uma tomada estratégica de decisões que propiciem o progresso dos países em desenvolvimento de forma sustentável, ainda mais sob impacto das mudanças climáticas, cujos desdobramentos são em proporções catastróficas. Essas decisões envolvem questões que incluem interesses conflitantes de países desenvolvidos e de países em desenvolvimento. Nota-se que as potências emergentes não pertencem ao Anexo I do protocolo de Quioto⁸³, no primeiro período de vigência, pois resta claro que não pretendem afastar-se do desenvolvimento atual, obtido a qualquer preço.

A conceituação inicial que necessita ser feita é o que se entende por matriz energética e qual é a brasileira. A Empresa de Pesquisa Energética (EPE)⁸⁴ é um empresa pública federal, mantida com orçamento federal e presta serviços ao Ministério de Minas e Energia (MME) “na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, cobrindo energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados e biocombustíveis”. A EPE elabora relatórios anuais (Balanço Energético Nacional – BEN), divulgando dados sobre energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras. Contempla

⁸² AYALA, Patryck de Araújo. Transdisciplinaridade e os novos desafios para a proteção jurídica do ambiente nas sociedades de risco. *Revista de Direito Ambiental*, São Paulo, n. 61, jan./mar. 2011. p. 26.

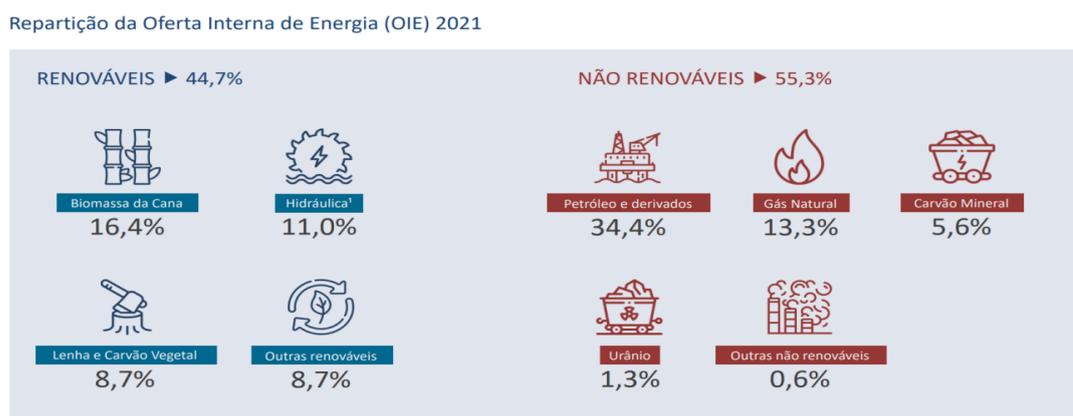
⁸³ O Protocolo de Kyoto estabelece metas de controle das emissões de gases responsáveis pelo aquecimento da Terra, causado pela intensificação da emissão de gases de efeito estufa, em especial, o dióxido de carbono, o metano e o óxido nitroso. Na tentativa de estabilizar os efeitos desses gases, adotou-se, durante a Eco 92, no Rio de Janeiro, a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, que foi assinada e ratificada por quase 200 países e entrou em vigor em 1994. Em 2002, com a ratificação da União Europeia, Japão, Polônia e Canadá, houve 100 países signatários, o que equivale a 43,7% das emissões. Os EUA recusaram a ratificar, alegando prejuízos econômicos e defendendo a fixação de meta para países em desenvolvimento. A vigência do protocolo só foi possível em 2005, com a ratificação da Rússia.

⁸⁴ QUEM Somos. *Empresa de Pesquisa Energética – EPE*. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/a-epe/quem-somos>. Acesso em: 31 maio 2023.

pesquisa referente “à oferta e consumo de energia no Brasil, contemplando as atividades de extração de recursos energéticos primários, sua conversão em formas secundárias, a importação e exportação, a distribuição e o uso final da energia”⁸⁵. Em outras palavras, o BEN é um retrato de toda energia produzida e consumida no Brasil, seja ela elétrica, com petróleo, com gás, de fontes renováveis, nuclear, entre outras. Portanto, quando se fala em matriz energética, não se refere somente à produção de energia elétrica, mas a produção de qualquer forma de energia acima citada.

A matriz energética brasileira de 2022⁸⁶ é composta por 55,3 % de fontes não renováveis e por 44,7 % de fontes renováveis. Com isso, constata-se que a matriz energética atual é predominantemente de fontes não renováveis, dentre elas as de origem petroquímica e seus derivados, com 34,4%, que é a principal vilã da crise ambiental.

Figura 1 – Repartição da Oferta Interna de Energia (OIE) 2021



Fonte: BEN (2022)⁸⁷.

A busca pela substituição da matriz energética petroquímica é necessária, por isso que mundialmente se fala em transição energética. A produção industrial e os meios de transporte aéreo e automotivo são apontados como os mais relevantes produtores de GEE – Gases do Efeito Estufa⁸⁸. Tais gases são apontados como um dos fatores do aumento da temperatura global e, conseqüentemente, os causadores do desequilíbrio climático.

⁸⁵ MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. *Balço Energético Nacional 2022: relatório síntese*. Ano base 2021. Brasília: MME; EPE, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>. Acesso em: 31 maio 2023.

⁸⁶ MME; EPE, 2022, p. 16.

⁸⁷ MME; EPE, 2022, p. 16.

⁸⁸ Gases de efeito estufa – GEE (Anexo A do Protocolo de Quioto): dióxido de carbono (CO₂); metano (CH₄); Óxido nitroso (N₂O); Hidrofluorcarbonos (HFCs); Perfluorcarbonos (PFCs); Hexafluoreto de enxofre (SF₆). (GEEs = 70% CO₂+27% CH₄+3% N₂O+CFCs+O₃+vapor H₂O).

O Brasil teve posição estratégica e liderava as negociações internacionais relativas às mudanças climáticas no segundo período de vigência do Protocolo de Quioto⁸⁹, estendido até 2020, mas, em 2015, foi substituído pelo Acordo de Paris. Destaca-se, nesse sentido, o *princípio da responsabilidade comum, porém diferenciada*, que tem por base o tratamento diverso dado aos países desenvolvidos e aos países em desenvolvimento. Isto é, quem começou a poluir e polui por mais tempo deve arcar com as responsabilidades dessa degradação ambiental, ou seja, por sua poluição historicamente produzida. Pelo Acordo de Paris, o país teria que reduzir 37 % das suas emissões líquidas até 2025, e 43 % até 2030 em relação a 2005, correspondendo, em emissões de carbono, a, no máximo, 1.614 MtCO₂e, em 2025, e 1.281 MtCO₂e, em 2030⁹⁰. Porém, o Brasil está longe de cumprir a meta.

A consequência mais nociva da poluição atmosférica é o aquecimento do planeta em decorrência do acúmulo dos gases causadores do efeito estufa. Para compreender de fato o efeito estufa, é necessário fazer uma pequena análise de sua termodinâmica e seus impactos no clima. O efeito estufa é um fenômeno de isolamento térmico provocado pela presença de determinados gases na atmosfera. Tal efeito é fundamental para a manutenção da temperatura do planeta (média de 14 °C), entretanto o acúmulo dos gases poluentes aumenta a retenção e encapsula o calor do sol, impedindo-o de sair e elevando a temperatura.

A termodinâmica é um ramo da física que estuda as trocas de calor e a sua capacidade para realizar esse trabalho. O sol é o maior responsável por essa troca de calor. O

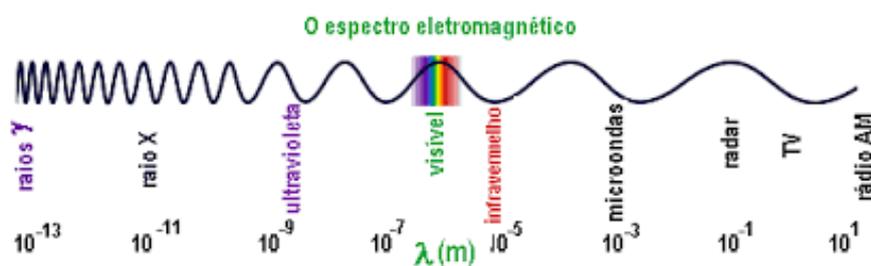
⁸⁹ Ainda sobre o Protocolo de Quioto, no art. 2, estabelece-se que cada parte incluída no Anexo I, ao cumprir seus compromissos quantificados de limitação e redução de emissões assumidos sob o art. 3, a fim de promover o desenvolvimento sustentável, deve: (a) implementar e/ou aprimorar políticas e medidas de acordo com suas realidades nacionais, tais como: (i) o aumento da eficiência energética em setores relevantes da economia nacional; (ii) a proteção e o aumento de sumidouros e reservatórios de gases de efeito estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal; (iii) a promoção de formas sustentáveis de agricultura à luz das considerações sobre a mudança do clima; (iv) a pesquisa, a promoção, o desenvolvimento e o aumento do uso de formas novas e renováveis de energia, de tecnologias de sequestro de dióxido de carbono e de tecnologias ambientalmente seguras, que sejam avançadas e inovadoras; (v) a redução gradual ou eliminação de imperfeições de mercado, de incentivos fiscais, de isenções tributárias e tarifárias e de subsídios para todos os setores emissores de gases de efeito estufa que sejam contrários ao objetivo da Convenção e aplicação de instrumentos de mercado; (vi) o estímulo a reformas adequadas em setores relevantes, visando à promoção de políticas e medidas que limitem ou reduzam emissões de gases de efeito estufa; (vii) medidas para limitar e/ou reduzir as emissões de gases de efeito estufa; (viii) a limitação e/ou redução de emissões de metano por meio de sua recuperação, utilização no tratamento de resíduos, produção, transporte e distribuição de energia. PROTOCOLO DE QUIOTO, 1997. Disponível em: http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/Protocolo_Quito.pdf. Acesso em: 25 jan. 2022.

⁹⁰ COP27: Brasil está se distanciando das suas metas propostas ao Acordo de Paris. *IEMA – Instituto de Energia e Meio Ambiente*, nov. 2022. Disponível em: <https://energiaambiente.org.br/cop27-brasil-esta-se-distanciando-das-suas-metas-propostas-ao-acordo-de-paris-2022> 110. Acesso em: 25 jan. 2022. ACORDO de Paris: o tratado, as metas e o papel fundamental no combate às ações climáticas. *Neoenergia*. Disponível em: <https://institucional.neoenergia.com/pt-br/te-interessa/meio-ambiente/Paginas/acordo-de-paris.aspx>. Acesso em: 1º jun. 2023.

conceito de calor é básico⁹¹: energia transferida de um corpo para outro devido à diferença de temperatura. Esse trânsito de energia, sob a forma de calor, é a causa da variação de temperatura. A troca de energia, sob forma de calor, pode ser feita de três formas: condução, convecção e radiação. As pertinentes de análise para esta tese são as duas últimas, pois afetam o ecossistema de forma direta. A convecção é uma forma de propagação de calor em que a energia térmica é transferida mediante o transporte de matéria, só ocorrendo em líquidos e gases. É o que acontece com as correntes de convecção litorâneas, em que, durante o dia, sopram brisas marítimas e, à noite, brisas terrestres (de uma zona de alta pressão para uma de baixa). A alta concentração de poluição atmosférica provoca diminuição da irradiação solar, dando origem ao fenômeno da “inversão térmica”⁹².

O fenômeno que mais nos interessa para este estudo é o da “irradiação térmica”. Neste, a propagação de calor ocorre a partir das ondas eletromagnéticas, lembrando que a luz do sol é uma onda eletromagnética⁹³ e que o calor que recebemos deste chega até nós por irradiação térmica. Todos os corpos, uma vez aquecidos, emitem radiações térmicas, que, ao serem absorvidas por outro corpo, resultam em um aumento de temperatura. De todo espectro de radiação eletromagnética⁹⁴ existente, os “raios infravermelhos” são os que apresentam efeitos térmicos de mais intensidade, sendo responsáveis pelo efeito estufa.

Figura 2 – O espectro eletromagnético



Fonte: UFRGS (2022)⁹⁵.

⁹¹ RESNICK; HALLIDAY, 1984, p. 193.

⁹² O fenômeno da inversão térmica consiste basicamente em quando o ar situado próximo à superfície, que, em condições normais, é mais quente que o ar situado bem acima da superfície, torna-se mais frio que as camadas atmosféricas elevadas. Como o ar frio é mais pesado que o ar quente, ele impede que o ar quente, localizado acima dele, desça. Os resíduos poluidores concentram-se então próximo à superfície, agravando os efeitos da poluição. (STENSMANN, Berenice Helena Wiener. Propagação do Calor. *Instituto de Física – Mestrado Profissionalizante em Ensino de Física*, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: www.if.ufrgs.br/mpef/mef008/mef008_02/Berenice/aula3.html. Acesso em: 10 jan. 2023.)

⁹³ Essa onda eletromagnética de energia solar é composta por ondas na faixa de infravermelho, luz visível e ultravioleta.

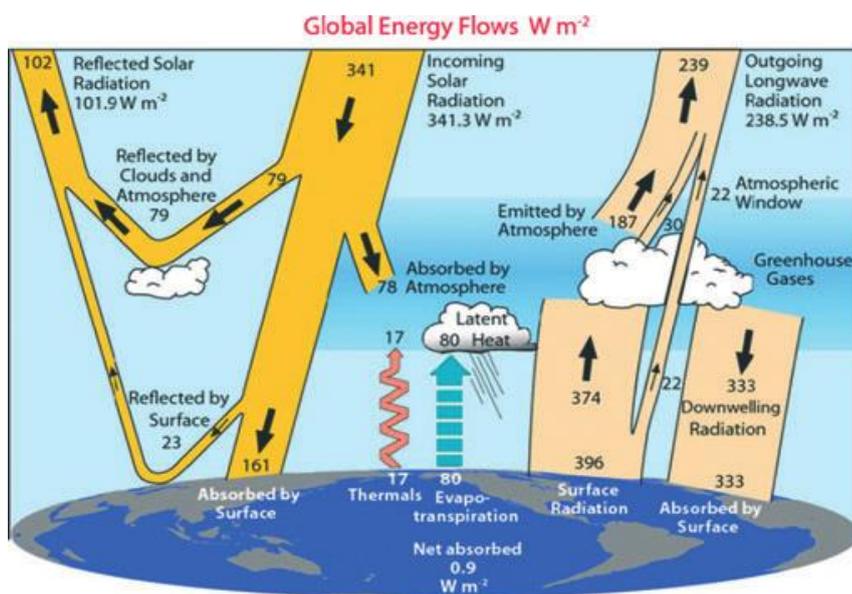
⁹⁴ Espectro eletromagnético é a distribuição da intensidade de radiação eletromagnética em função da sua frequência e de seu comprimento de onda.

⁹⁵ OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. Fotometria. *Radiação*, 2022. Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/rad/rad/rad.htm>. Acesso em: 1º jun. 2023.

A figura 2 ilustra o vasto espectro eletromagnético, situando a faixa de luz visível e o infravermelho, ambos, próximos à escala manométrica.

O esquema da figura 3, mostra a quantidade de energia fornecida pelo sol e, a quantidade de energia transmitida de volta ao espaço. Destaca-se que a quantidade é a mesma, o problema está na parte da energia retida pelos gases do efeito estufa, que absorvem parte desse calor e reemitem para todas as direções, incluindo a superfície terrestre.

Figura 3 – Efeito estufa com os gases do efeito estufa



Fonte: Rossetti (2017)⁹⁶.

O dióxido de carbono e o vapor d'água⁹⁷ existentes na atmosfera dificultam a propagação dos raios infravermelhos, ocasionando a retenção da energia térmica emitida pela própria Terra quando aquecida pelo sol. Logo, quanto mais acúmulo de dióxido de carbono, menos calor poderá retornar ao espaço, sendo retido na atmosfera terrestre, o que provoca o aumento da temperatura do planeta⁹⁸. Nas palavras de Rossetti:

⁹⁶ ROSSETTI, Vitor. Como o CO2 afeta a temperatura média global: a físico/química por trás do aquecimento global. *Netnature*, 2017. Disponível em: <https://netnature.wordpress.com/2017/08/30/como-o-co2-afeta-a-temperatura-media-global-a-fisicoquimica-por-tras-do-aquecimento-global/>. Acesso em: 1º jun. 2023.

⁹⁷ A quantidade de radiação presa na atmosfera depende fundamentalmente de sua composição gasosa e das propriedades espectrais desses gases que a compõem. Os principais constituintes atmosféricos (nitrogênio e oxigênio molecular) não possuem propriedades de absorção nos comprimentos de onda infravermelhos. Os principais gases com efeito de estufa são o vapor de água e, especialmente, o CO2. (ROSSETTI, 2017).

⁹⁸ O dióxido de carbono tem duração de 50 a 200 anos; o metano, de 9 a 15 anos; o óxido nitroso, 120 anos; os hexafluoretos, 3200 anos; os hidrofluorcarbonetos, 1,5 a 264 anos; e os polifluorcarbonetos, de 50 a 1700 anos, conforme IPCC (1995).

Os gases de efeito estufa, como o CO₂ e vapor de água absorvem a maior parte da radiação solar que sai da superfície terrestre. Então, sua concentração é um dos fatores que determina a quantidade de calor que escapa do topo da atmosfera para o espaço. É a mudança no que acontece no topo da atmosfera que importa, e não o que acontece aqui perto da superfície. À medida que escalamos mais alto na atmosfera, o ar fica mais rarefeito. Há uma menor quantidade de todos os gases, incluindo os gases com efeito de estufa. Então, se adicionarmos mais gases do efeito de estufa, o ar que precisaria necessariamente ser mais rarefeito para permitir a radiação de calor escapar para o espaço se torna mais concentrado. Então isso só pode acontecer mais alto na atmosfera, onde está mais frio, onde a quantidade de escape de calor é reduzida.⁹⁹

Ou seja, o CO₂ mais concentrado impede a quantidade de calor retornar livremente para o espaço, permanecendo retida por mais tempo, na atmosfera terrestre, aquecendo-a.

Ainda que alguns céticos afirmem que o carbono¹⁰⁰ não é o responsável pelas alterações climáticas, o astrofísico Stephen Hawking salienta que, apesar de o efeito estufa ser atribuído aos ciclos naturais do planeta e às mudanças na atividade solar, existe hoje uma quase unanimidade na concepção de que o problema é causado pelo próprio homem. Nesse sentido, Rossetti alega que as erupções vulcânicas podem chegar a produzir 230 milhões de toneladas/anos de CO₂ de um total de 3,2 trilhões de toneladas de CO₂ presentes na atmosfera, sendo parte desta produção antrópica¹⁰¹.

Os seres humanos emitem cerca de 29 bilhões de toneladas de CO₂ por ano: um pouco menos de 1 % do CO₂ atmosférico atual. Considerando que há 33 vulcões de desgasificação medidos que emitem um total de 60 milhões de toneladas de CO₂ por ano; um total de cerca de 150 vulcões de desgasificação conhecidos, implicando (com base nos dados medidos) que um total de 271 milhões de toneladas de CO₂ são lançados anualmente; 30 vulcões historicamente ativos foram medidos como emissores de um total de 6,4 milhões de toneladas de CO₂ por ano; cerca de 550 vulcões historicamente ativos, eles extrapolam que essa classe de objetos contribui com 117 milhões de toneladas por ano; um total global de lagos vulcânicos é de 94 milhões de toneladas de CO₂ por ano; que as emissões adicionais de áreas vulcânicas tectônicas, hidrotermais e inativas contribuem com estimativas de 66 milhões de toneladas de CO₂ por ano, embora o número total de áreas tectônicas emissoras seja desconhecido; e finalmente, que as emissões das cristas do meio do oceano são estimadas em 97 milhões de toneladas de CO₂ por ano.

Ao somar todos estes valores, nota-se (considerando as incertezas e a variação anual) que o vulcanismo contribui com 645 milhões de toneladas de CO₂ por ano,

⁹⁹ ROSSETTI, op. cit., não paginado.

¹⁰⁰ O dióxido de carbono é composto por um único átomo de carbono ligado covalentemente a um átomo de oxigênio em ambos os lados. Essa estrutura permite que o CO₂ tenha muitos estados vibratórios e rotativos, tornando-se um gás eficaz no efeito de estufa. A molécula é capaz de absorver muitos comprimentos de onda de luz e energia emitida pela Terra e transformar isso em energia térmica.

Tais moléculas só podem absorver os fótons energizados com o mesmo quantum de energia necessário para fazer com que um elétron alcance um estado de energia mais elevado ou para elevar a molécula inteira para um modo vibracional mais alto. A frequência do fóton e do modo do estado vibracional da molécula devem ser correspondentes. A luz ultravioleta e visível tende a ter energia suficiente para elevar os elétrons a novos valores de energia, enquanto os comprimentos de onda mais longos combinam-se a outras frequências de estados vibratórios. (ROSSETTI, 2017).

¹⁰¹ ROSSETTI, 2017.

ou 0,645 bilhões de toneladas de CO₂ por ano em comparação com os 29 bilhões de toneladas por ano da humanidade¹⁰².

Em consequência, a capacidade de regeneração e recuperação dos ecossistemas fica prejudicada, uma vez que se cria uma barreira impossibilitando o cumprimento de sua função ecológica no ecossistema. Com mais CO₂ na atmosfera, o calor do sol continua entrando e encontrando essa barreira em sua saída. Em razão desse bloqueio, aumentando a temperatura de todo planeta.

Os fenômenos climáticos podem ser citados como o exemplo mais perceptível da consequência dos efeitos cumulativos da reação em cadeia e dos processos físicos químicos interligados entre si. Eles desencadeiam uma série de eventos desastrosos, como os vistos recentemente nos últimos anos nas mídias sociais: queimadas na Europa por causa das temperaturas elevadas, excesso de chuvas, alagamentos e deslizamentos de terras no Brasil, cheias de rios que arrastam pontes deixando cidades ilhadas e arrasando cidades inteiras, como foi o caso do Vale do Rio Taquari em 2023¹⁰³.

Diante disso, percebe-se que a promoção de novas tecnologias voltadas à redução do dióxido de carbono as quais possibilitem eliminar ou reduzir os gases de efeito estufa, bem como propiciem a redução e o aproveitamento do metano, podem e devem ser fomentadas por políticas públicas, incentivos fiscais, isenções tributárias e tarifárias, sendo essas questões objetos desta tese.

Devido à ação antrópica, o aquecimento global, causado de modo geral pela emissão de gases de efeito estufa dos atuais países desenvolvidos, e em desenvolvimento, está se intensificando. As principais causas são a queima de combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás natural) e o aumento do desmatamento, provocado pela expansão agropecuária e pela indústria madeireira. Estima-se¹⁰⁴ que, no último século, a temperatura aumentou 0,5 °C, com previsão de aumentar mais 1 °C até 2030 e 5,8 °C até 2100, segundo IPCC¹⁰⁵.

¹⁰² ROSSETTI, 2017.

¹⁰³ DEFESA CIVIL. Enchente de grandes proporções deve atingir o Vale do Taquari neste sábado (18). Disponível em <https://www.defesacivil.rs.gov.br/enchente-de-grandes-proporcoes-deve-atingir-o-vale-do-taquari-neste-sabado-18>, com acesso em 12/12/2023.

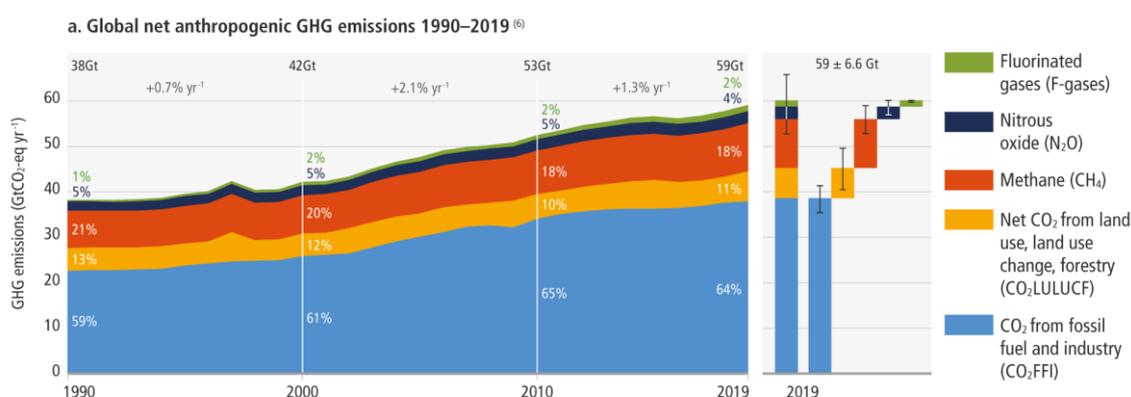
¹⁰⁴ Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC.

¹⁰⁵ YOSHIDA, Consuelo Yatsuda Moromizato. Mudanças climáticas, Protocolo de Quioto e o princípio da responsabilidade comum, mas diferenciada. A posição estratégica singular do Brasil. Alternativas energéticas, avaliação de impactos, teses desenvolvimentistas e o papel do judiciário. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE DIREITO AMBIENTAL, 12, 2008, São Paulo. *Anais [...]*. São Paulo: Imprensa Oficial, 2008. Disponível em: http://www.planetaverde.org/arquivos/biblioteca/arquivo_20131101100447_9928.pdf. Acesso em: 25 jan. 22. p. 195.

Conforme o IPCC¹⁰⁶, as consequências do efeito estufa são o derretimento gradual das neves eternas e das camadas de gelo dos polos, provocando o crescimento do volume dos oceanos, chuvas em determinadas regiões e seca em outras e o aumento do número e da intensidade dos furacões, tufões, tempestades, inundações, desertificações e do fenômeno El Niño. No relatório da COP 27, a contribuição humana para os gases de efeito estufa continua crescendo.

Figura 4 – Emissão global antropogênicas dos gases do efeito estufa

Global net anthropogenic emissions have continued to rise across all major groups of greenhouse gases.



Fonte: IPCC (2022)¹⁰⁷.

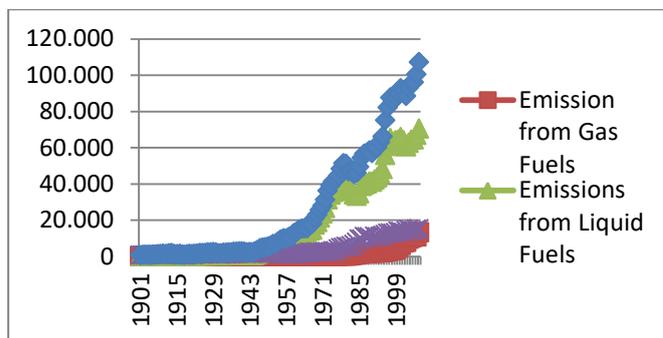
No Brasil, a emissão de dióxido de carbono vem aumentando consideravelmente desde 1900, contribuindo significativamente para o aumento do efeito estufa. O gráfico abaixo mostra a ampliação da produção de combustíveis fósseis, tanto sólidos, quanto líquidos e gasosos, demonstrando um crescimento exponencial a partir de meados de 1978¹⁰⁸. A curva em azul representa o crescimento exponencial dessa emissão, referindo-se ao total liberado.

¹⁰⁶ CLIMATE Change 2022. Mitigation of climate Change. IPCC. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/>. Acesso em: 10 jan. 2023.

¹⁰⁷ CLIMATE Change 2022, IPCC, p. 6.

¹⁰⁸ RODRIGUES, Isabel Nader. *Estudo das fontes de energia alternativas renováveis com análise de zoneamento para um desenvolvimento sustentável à luz do direito e da ciência*. 2014. 139 f. Dissertação (Mestrado em Direito) – Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul, 2014. Disponível em: <https://repositorio.uces.br/xmlui/bitstream/handle/11338/780/Dissertacao%20Isabel%20Nader%20Rodrigues.pdf?sequence=4>. Acesso em: 4 jul. 2023.

Figura 5 – Emissão de dióxido de carbono



Fonte: gráfico elaborados pela autora, com base nos dados retirados de CDIAC¹⁰⁹ (Carbon Dioxide Information Analysis Center – Oak Ridge National Laboratory). All emission estimates are expressed in thousand metric tons of carbon. To convert these estimates to units of carbon dioxide (CO₂), simply multiply these estimates by 3,667.

O relatório produzido pelo grupo de trabalho III para o relatório final AR6 da COP¹¹⁰ 26 aponta a sinergia entre o desenvolvimento sustentável e a eficiência energética como um dos possíveis caminhos para mitigar as mudanças climáticas decorrentes dos efeitos do homem.

There are potential synergies between sustainable development and energy efficiency and renewable energy, urban planning with more green spaces, reduced air pollution, and demand side mitigation including shifts to balanced, sustainable healthy diets (*high confidence*). Electrification combined with low GHG energy, and shifts to public transport can enhance health, employment, and can elicit energy security and deliver equity (*high confidence*). In industry, electrification and circular material flows contribute to reduced environmental pressures and increased economic activity and employment. However, some industrial options could impose high costs (*medium confidence*).¹¹¹

¹⁰⁹ GILFILLAN, Dennis; MARLAND, Gregg; BODEN, Tom; ANDRES, Robert. 2020. *Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO₂ Emissions: 1751-2017*. Estados Unidos: 5 mar. 2017. DOI: doi:https://doi.org/10.15485/1712447. Disponível em: https://cdiac.ess-dive.lbl.gov/ftp/ndp030/nation.1751_2014.ems. Acesso em: 13 jul. 2023.

¹¹⁰ COP: A Conferência das Partes, reunião anual das 197 Partes que aderiram à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, ou UNFCCC, um tratado ambiental internacional adotado em 1992 para estabilizar as emissões globais de gases de efeito estufa. Disponível em https://www.wribrasil.org.br/noticias/dicionario-das-cops-o-que-significam-os-jargoes-e-siglas-das-negociacoes-climaticas-na-onu?utm_medium=cpc&utm_source=google&utm_campaign=WRIBr_Publicacoes_COP28&utm_content=Dicionario_das_COPs_o_que_significam_os_jargoes_e_as_siglas_das_negociacoes_climaticas_na_ONU&utm_term=significado%20cop%20clima&gclid=Cj0KCQiA5fetBhC9ARIsAPIUMgGLLwNEX0ZVSMOVb13DMIYK7gpD6Nna-ij1BMdMc6JovxcGZNfyddMaAiUJEALw_wcB, com acesso em 03/02/2024.

¹¹¹ SCHIPPER, E. L. F. *et al.* Climate Resilient Development Pathways. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. PÖRTNER, H.-O. *et al.* Cambridge/New York: Cambridge University Press, 2022. 2655–2807 p. Doi:10.1017/9781009325844.027. Disponível em https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_Chapter18.pdf. Acesso em: 04 jul. 2023. p. 52.

No relatório final da COP 26, foi incluído o capítulo 18¹¹² sobre as mudanças climáticas. Contudo, na COP 27, Conferência do Clima do Egito, que encerrou em novembro de 2022, não houve “mudanças em relação ao uso de combustíveis fósseis ou processos de descarbonização, deixando o chamado, feito em Glasgow, sem resposta”¹¹³.

O conceito de energia renovável diz respeito a todas aquelas formas de energia que tem sua taxa de utilização inferior à taxa de renovação. Essas fontes podem ter origem terrestre (energia geotérmica), gravitacional (energia das marés) e solar. Podem ainda ser energia armazenada na biomassa, energia de radiação solar, energia hidráulica, energia térmica oceânica e energia cinética, do vento e das ondas. Também são fontes de energia renovável os resíduos de origem agrícolas, os urbanos e os industriais¹¹⁴. Assim, a energia renovável provém de fontes naturais, como o sol, o vento a chuva, as marés, o calor, recursos que são inesgotáveis; bem como de resíduos que o próprio ser humano produz, como os “lixos” urbanos e agrícolas.

O sol é fonte inicial para quase todos os processos de transformação de energia, de forma direta ou indireta. Como direta, há a conversão da energia solar propriamente dita, com células fotovoltaicas; e como indireta, a energia produzida pela biomassa. Já as fontes de energia não renováveis são os combustíveis fósseis, cuja taxa de utilização é muito maior que sua taxa de formação. Suas reservas são limitadas. Suas principais fontes são a fissão nuclear e os combustíveis fósseis, como o petróleo, o gás natural e o carvão.

Atualmente, existem autores que colocam a energia nuclear como uma fonte renovável. Tal percepção não se sustenta, pois, para sua produção, é necessário urânio enriquecido, que é elemento finito no planeta. Portanto, sua finitude correlacionada com a taxa de utilização é função do tempo. Um simples cálculo, por exemplo, mostra que se todos os núcleos em um bloco de urânio pudessem fissionar¹¹⁵, em uma reação em cadeia, a energia liberada seria aproximadamente 10^6 vezes maior do que aquela obtida na queima de um bloco de carvão ou na explosão de um bloco de dinamite de mesma massa.

¹¹² SCHIPPER, E. L. F. *et al.*, 2022.

¹¹³ COP27 termina com acordo histórico para perdas e danos. Apesar disso, o documento da Conferência não avança na descarbonização e na transição energética. *The Nature Conservancy*, 21 nov. 2022. Notícias. Disponível em: https://www.tnc.org.br/conecte-se/comunicacao/noticias/cop27-final-acordo-perdas-e-danos/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=search&utm_term=grants&gclid=Cj0KCQjw7PCjBhDwARIsANo7Cgmo7NOIWwUUUUPB0nP0fhF2MYK7bNk53yA_g_MtW5ZGKRuzxKH1BhsaAmpmEALw_wcB. Acesso em: 04 jul. 2023.

¹¹⁴ FONTES de Energia. *Empresa de Pesquisa Energética –EPE*. Disponível em:

<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia#FONTES-RENOVAVEIS>. Acesso em: 27 jul. 2022.

¹¹⁵ Fissão é um processo de divisão do núcleo do átomo.

Num reator nuclear, a fissão ocorre com uma taxa cuidadosamente controlada. Uma fonte contínua de energia é, então, obtida a partir da energia térmica produzida quando os fragmentos de fissão são detidos pelos materiais do reator. Depois de muitos anos de desenvolvimento tecnológico, os reatores nucleares tornaram-se fontes de energia que são competitivas economicamente, com o carvão ou com o óleo. (..)¹¹⁶

Em uma apresentação pela *International Renewable Energy Agency (IRENA)*, em 04 de junho de 2023¹¹⁷, na COP 27 em Bonn, na Alemanha, em *Opportunities, Actionable Solutions and Technologies for Just Energy Transition – Renewable Energy*, aponta-se a necessidade de se realizar uma transição energética para energias renováveis, com modernização da infraestrutura física que facilite o desenvolvimento, a transmissão e o consumo de energias renováveis; a elaboração de política e estrutura regulatória que facilite o desenvolvimento, a integração e o comércio de energias renováveis promotoras do desenvolvimento econômico e da igualdade social; e, por fim, a capacitação da força de trabalho para a transição energética. Nesse contexto, o papel da tecnologia é essencial para o desenvolvimento do setor energético, contribuindo, conseqüentemente, de forma positiva para a não alteração do quadro climático.

No setor energético, o MME, nas “diretrizes para uma estratégia nacional para neutralidade climática”, propõe: a participação entre 45 a 50 % de energias renováveis até 2030; a promoção de ganhos de eficiência no setor energético e elétrico; a destinação de recursos para a pesquisa, o desenvolvimento e a inovação em tecnologias de baixo carbono; o incentivo à mitigação das emissões de carbono, adotando tecnologias com mais eficiência energética em unidades produtivas¹¹⁸.

Dessa forma, investindo em tecnologias limpas, mediante incentivos fiscais para tecnologias eficientes que demandem menos materiais, como as nanotecnologias, há um meio ambiente preservado e, ao mesmo tempo, tem-se a potencialidade do progresso econômico, pois o desenvolvimento do setor tecnológico e da inovação conversa intimamente com o desenvolvimento econômico.

¹¹⁶ EISBERG, Robert; RESNICK, Robert. *Física quântica*. Tradução: Paulo Costa Ribeiro, Enio Frota da Silva e Marta Feijó Barroso. 4 ed. Rio de Janeiro: Campus, 1986.

¹¹⁷ GARCIA, Juan Jose. *Opportunities, Actionable Solutions and Technologies for Just Energy Transition: Renewable Energy*. In: Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (COP), 27, 2023, Bonn – Alemanha. *COP 27 [...] Bonn: 2023*. Disponível em: <https://unfccc.int/documents>. Acesso em: 04 jul. 2023.

¹¹⁸ DIRETRIZES PARA UMA ESTRATÉGIA NACIONAL PARA NEUTRALIDADE CLIMÁTICA. Brasília: Ministério do Meio Ambiente – MMA, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/clima/ozoniodesertificacao/clima/diretrizesparaumaestrategianacionalparaneutralidadeclimatica_vdefeso.pdf. Acesso em: 04 jun. 2023.

2.3 NANOTECNOLOGIA E A INOVAÇÃO NA ÁREA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

O meio ambiente¹¹⁹, entendido como “o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas”, é repleto de matéria. Essa matéria tem sido entendida de diferentes modos ao longo da construção do conhecimento da humanidade, mas hoje se considera que a matéria é composta de partículas fundamentais, as quais, juntas, formam os átomos. A questão que se discute é sobre a estrutura dessas partículas e seu tamanho, entre elas, as nanopartículas.

Não é o objetivo analisar os impactos que as nanotecnologias causam ou poderão causar à saúde humana e ao meio ambiente. Porém, salienta-se que tal matéria ainda não possui um histórico aprofundado. A necessidade de estudos adicionais é essencial, de forma que os estudos sobre nanotecnologia sejam obrigatórios e regulamentados por legislação competente, levando em consideração o princípio da precaução e suas indefinições, inclusive, quanto aos benefícios e malefícios de sua adoção.

O presente estudo sinaliza alguns caminhos que podem ser trilhados e, sobretudo, o que já se tem de conhecimento, para conduzir o leitor às suas próprias conclusões. Considera-se, para tanto, que o conhecimento é a base de uma sociedade democrática e justa, e a nanopartícula, parte integrante da natureza, desde a formação do universo.

A necessidade de preservação do meio ambiente é evidente, como foi estudado no tópico anterior, com menção à contínua taxa de poluição e à degradação do próprio ambiente. Todos os dias, há um grande volume de notícias de catástrofes naturais em algum lugar do planeta, como deslizamentos de terras, inundações decorrentes do excesso de chuvas, rajadas de ventos atípicas, queimadas originárias de altas temperaturas, nevascas históricas, tudo em razão das mudanças climáticas.

Utiliza-se, neste estudo, o conceito de ecossistema da biologia, que se refere a um conjunto formado por componentes bióticos e abióticos, os quais interagem entre si a partir de transferências de energias¹²⁰, em conjunto com a definição legal de ecossistema. Trata-se de um “complexo dinâmico de comunidades vegetais, animais e de microrganismos e o seu meio inorgânico que interagem como uma unidade funcional”¹²¹. Nesse sentido, é possível entender

¹¹⁹ BRASIL, 1981.

¹²⁰ O que é um Ecossistema e um Bioma. Dicionário Ambiental. *((o))eco*, Rio de Janeiro, jul. 2014. Disponível em: <http://www.oeco.org.br/dicionario-ambiental/28516-o-que-e-um-ecossistema-e-um-bioma/>. Acesso em: 04 jun. 2023.

¹²¹ BRASIL. *Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021*. Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais; e altera as Leis n os 8.212, de 24 de julho de 1991, 8.629, de 25 de fevereiro de 1993, e 6.015, de 31

o planeta Terra como um ecossistema fechado termodinamicamente¹²², no qual toda ação afeta direta ou indiretamente a todos, seja no hemisfério sul seja no hemisfério norte. Tudo converge em causas e consequências das atitudes dos seres humanos.

Diante disso, destaca-se que é preciso ter consciência e conhecimento sobre o que está envolvido, tanto em escala macro quanto micro ou nano, buscando uma consciência ecológica plena. A exploração ou transformação inconsequente dos recursos, sejam naturais ou não, em qualquer lugar do planeta, acaba afetando todo o globo terrestre e alterando o equilíbrio do sistema em que vivemos. Não se trata de levantar argumentos sobre a validade da teoria do valor, fundada no trabalho e na mudança tecnológica, mas de delimitar as imposições da própria natureza, com argumentos como “lei da entropia” como condição e limite do processo econômico. A natureza não é tão somente uma externalidade do sistema econômico.¹²³

O direito tem um papel primordial para promover ou desestimular determinada área, da mesma forma que o Estado que, a partir da função extrafiscal do tributo, estimula ou não comportamentos do sujeito passivo. Nas palavras de Berger¹²⁴,

O Direito tem um papel importante a desempenhar na regulação e governança dos riscos das (nano)tecnologias, na medida em que influencia na dinâmica social que direciona o desenvolvimento tecnológico, ao estabelecer incentivos (políticas públicas de inovação), vínculos (proteção imaterial da inovação e transferências de tecnologia) e limites (normas ambientais e sanitárias de autorização, controle e dever de informação).

Esse direcionamento do desenvolvimento tecnológico, realizado pelo ente público, precisa coadunar a maneira sustentável ao meio ambiente e o crescimento social ao econômico.

Vários fenômenos ligados à escala nano¹²⁵ existentes na natureza estão presentes no dia a dia, como a gotícula de orvalho formada na superfície de uma folha, que, devido à estrutura nano da folha, rola por ela. Outro exemplo são os dentes, que apresentam uma estrutura nanoestruturada a qual dá resistência mecânica à mastigação de sólidos. Há também o fenômeno de difração¹²⁶ observado nas asas das borboletas.

de dezembro de 1973, para adequá-las à nova política. Brasília: Presidência da República. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/L14119.htm. Acesso em: 04 jun. 2023.

¹²² Sistema fechado, na termodinâmica, é um sistema em que pode haver trocas de energias com o meio, mas não troca de matéria. É diferente de um sistema isolado, em que não há troca de matéria nem de energia.

¹²³ LEFF, 2006, p. 170-175.

¹²⁴ BERGER FILHO, Airton Guilherme. *Regulação e governança dos riscos das nanotecnologias*. Belo Horizonte: Arraes Editores, 2018. p. 2.

¹²⁵ 1 nanometro = 0,000 000 001m = 10⁻⁹m.

¹²⁶ Difração, em uma definição simples, é a decomposição da luz visível, que forma um arco-íris.

O próprio planeta Terra é fonte natural de nanopartículas, nos vulcões, em incêndios florestais, nas tempestades de areia em nevoeiros salinos. Todos esses são processos naturais que geram nanopartículas. As nanoestruturas estão presentes em plantas, como na flor de lótus, em insetos e na própria estrutura do ser humano, como nos ossos, que possuem minerais com nanoestruturas, e no próprio DNA das células¹²⁷. Elas também estão presentes no universo, como “nas poeiras cósmicas e nas poeiras do solo lunar, tendo igualmente sido encontradas em meteoritos que caíram na Terra”¹²⁸.

Diego Silva Siqueira, afirma que o surgimento das nanopartículas na natureza está incluso na própria história de formação da Terra, de mais de 3 milhões de anos, e que elas influenciam na dinâmica dos ecossistemas do planeta, como no solo. Ele diz que “é dentro da fração mineral do solo, que compõe cerca de 50% do solo de qualquer lugar do mundo, que estão essas partículas pequenininhas apelidadas de “DNA do solo”, as nanopartículas. São as suas propriedades que dão ao solo a sua cor, a sua capacidade de trocar calor e adsorção de fósforo, dentre diversas outras características.”¹²⁹. Dessa forma, as nanopartículas são um ótimo parâmetro para determinar a aptidão agrônômica do solo, uma vez que as características dessas nanopartículas não mudam.

Assim, depreende-se que a escala nano sempre esteve presente na natureza. Conhecê-la e utilizá-la de forma consciente pode ser uma importante ferramenta de proteção ambiental. Entretanto, por ser uma área incipiente em suas aplicações, embora em um ritmo acelerado de crescimento, não possui um histórico relevante sobre seus efeitos no ser humano e no meio ambiente, o que torna fundamental estudos científicos mais profundos.

A fim de contribuir para a elucidação do problema, aborda-se as definições basilares da nanoescala e das suas aplicações, sendo apresentados alguns conceitos básicos que permitem construir uma ideia mais realista do universo da nanotecnologia. Inicialmente, precisa-se compreender a *estrutura da matéria*, ou seja como ela é construída.

Entende-se por matéria qualquer estado de uma substância, seja sólido, líquido ou gasoso. Acredita-se que os átomos, formados por prótons, nêutrons (atualmente hádrons) e elétrons, seriam a estrutura menor (elementar) que constituiria a matéria. Hoje se sabe que a estrutura do nêutron, por exemplo, é composta por um quark up e dois downs. Ou seja, os

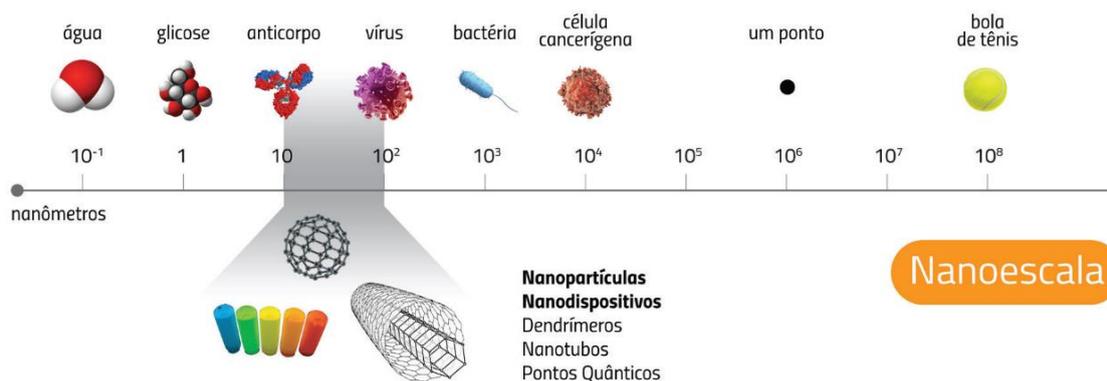
¹²⁷ HISTÓRIA dos nanomateriais e das nanotecnologias. *EUON – European Union Observatory for nanomaterials*, Helsinki – Finlândia. Disponível em: <https://euon.echa.europa.eu/pt/history-of-nanomaterials-and-nanotechnology>. Acesso em: 02 fev. 2023.

¹²⁸ Ibidem, sem paginação.

¹²⁹ VELOSO, Cristiano. As nanopartículas do solo: entenda o que são e como elas interferem na aptidão agrícola natural do solo. Entrevistado: Diego Silva Siqueira. *Blog Verde*. Disponível em: <https://blog.verde.ag/encontro-com-gigantes/uso-das-nanopartículas-do-solo/>. Acesso em: 02 fev. 2023.

hádrons possuem uma estrutura interna composta de outras partículas mais leves e realmente elementares: os quarks. Os léptons também são elementares, não possuindo estrutura, tais como o elétron, o pósitron e o neutrino.¹³⁰ Na figura 6, há uma escala comparativa com uma bola de tênis e onde a nanoescala se encontra.

Figura 6 – Nanoescala e nanomateriais



Fonte: CNPEM (2019).¹³¹

Para uma noção comparativa das dimensões de que se está tratando, um átomo de hidrogênio tem 0,1 nm; uma molécula de DNA possui 2,5 nm; uma molécula de proteína tem entre 5 e 50 nm. Já um vírus possui entre 75 e 100 nm, mesma escala de espessura de uma folha de papel; uma bactéria, entre 1.000 e 10.000 nm; e as células brancas, 10.000 nm (consideradas gigantes para o mundo nano). Se alguém imaginar que um nanômetro é representado por uma pessoa, uma célula vermelha do sangue (7000 nm) corresponderia a 7 km de extensão¹³². Sabendo-se o tamanho em questão, é possível prever os efeitos e suas interações¹³³, uma vez que estes são otimizados quando estão sendo utilizadas grandezas de

¹³⁰ O modelo Padrão descreve que toda a matéria na natureza é constituída por dois "clãs" de partículas elementares: léptons e quarks, os quais constituem os hádrons. Pode-se fazer uma distinção entre os hádrons, pois alguns deles são bósons, chamados mésons; o pión é um exemplo. Os outros hádrons são férmions, chamados bárions; o próton é um exemplo. Os quarks estão sempre confinados em mésons ou em bárions. Estes, por sua vez, são férmions, assim como os léptons, por possuírem spin fracionário. Os mésons com spin inteiro são bósons, o fóton com spin é um exemplo. Já o fotino, pela teoria da supersimetria, uma variante do fóton, possui spin 1/2, tornando-se um férmion.

¹³¹ CENTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENERGIA E MATERIAIS (CNPEM). Benefícios e riscos da nanotecnologia. Campinas: CNPEM, set. 2019. p. 8. Disponível em: https://www.cnpem.br/wp-content/uploads/2019/10/SEPARATA-CNPEM-02_Benef%C3%ADcios-e-riscos-das-nanotecnologias.pdf. Acesso em: 07 jan. 2023.

¹³² NANOIT. *NanoIT*, © 1997-2023. Disponível em: <http://www.nano.org.uk/news/1140/>. Acesso em: 05 out. 2012.

¹³³ Conforme a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI).

mesma dimensão (tamanho). O quadro¹³⁴ abaixo demonstra tais aspectos e seus efeitos de forma esquemática:

Quadro 1 – Efeitos em razão do tamanho do objeto

TAMANHO	EFEITOS
Metro	Gravidade, fricção, combustão
Milímetro (0,001 ou 10^{-3} m)	Eletrostática, Van der Waals, Browniano
Nanômetro (0,000000001 ou 10^{-9} m)	Eletrostática, Van der Waals, Browniano, Quântico (fenômenos da estrutura molecular e atômica)
Angström (0,0000000001 ou 10^{-10} m)	Mecânica quântica e relativística (comportamento de partículas atômicas e subatômicas)

Fonte: Elaborado pela autora.

Constata-se que, na escala nanométrica, já é possível detectar os efeitos quânticos, os quais não são observáveis nas escalas anteriores. Isso quer dizer que, nessa escala, a matéria poderá ter comportamento tanto de onda, quanto de partícula.

O termo nanotecnologia foi utilizado pela primeira vez em 1974, em um artigo cujo objeto era técnicas em materiais de alta precisão, conforme Taniguchi¹³⁵:

Nanotechnology is the production technology to get the extra high accuracy and ultra fine dimensions, i.e. the preciseness and fineness on the order of 1 nm (nanometer). The name of 'Nanotechnology' originates from this nanometer. In the processing of materials, the smallest bit size of stock removal, accretion or flow of materials is probably of one atom or one molecule namely 0.1~0.2 nm in length. Therefore, the expected limit size of fineness would be of the order of 1 nm. Accordingly, 'Nanotechnology' mainly consists of the processing of separation, consolidation and deformation of materials by one atom or one molecule.¹³⁶

Portanto, a técnica aplicada à separação, consolidação e deformação de materiais de espessura de um átomo ou de uma molécula é chamada de nanotecnologia.

A evolução do assunto ocorreu com a pesquisa de Eric Drexler, em 1979, em processos de deposição de filmes metálicos ultrafinos para uso da navegação espacial, com materiais hoje chamados de nanotecnologia molecular (MNT). Posteriormente, em 1981, publicou o seu trabalho sobre o assunto. Mas a nanotecnologia tomou forma na década de

¹³⁴ Elaborado pela autora.

¹³⁵ TANIGUCHI, 1974 apud SOARES, 2014, p. 53.

¹³⁶ SOARES, Alexandre Pinhel. *Nanotecnologia no setor elétrico: um estudo prospectivo*. 2014. 95 f.

Dissertação (Mestrado Profissional em Propriedade Intelectual e Inovação) – Instituto Nacional da Propriedade Industrial – INPI. Rio de Janeiro, 2014. p. 53. Disponível em: <https://www.gov.br/inpi/pt-br/servicos/academia/arquivo/arquivos-biblioteca/SOARESAlexandrePinhel2014.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2023.

1980, a partir da International Business Machines (IBM), com a microscopia e resolução atômica, que demonstraram a possibilidade de manipulação individual atômica.¹³⁷

Muito antes disso, já se tinha conhecimento e manipulação na escala manométrica. Uma das primeiras notícias sobre o uso dessa escala ocorreu com a Taça de Lycurgus, confeccionada pelos romanos em meados do século IV d. C. Ao ser analisada utilizando a técnica de microscopia eletrônica (TEM), foi encontrado dicroísmo na taça de vidro, que “mudava de cor”. Devido à presença de nanopartículas de prata (66,2 %), ouro (31,2 %) e cobre (2,6 %) dispersas no copo¹³⁸, conforme o comprimento de onda, surgia uma cor diferente na taça. Ela é considerada o mais antigo nanocompósito sintético. Mas o começo da era da nanotecnologia aconteceu em 1959, com o físico Richard Feynman, que proferiu uma palestra intitulada “There is plenty of room at the bottom”, na reunião anual da *American Physical Society no Caltech*, em 29 de dezembro de 1959¹³⁹.

A definição formal da nanotecnologia foi apresentada por Eric Drexler, e a definição popular se deu, em 1974, por Norio Taniguchi¹⁴⁰. Também, foi dada uma definição de nanomateriais, em 2011, pela agência da União Europeia, que os conceituaram como “A natural or manufactured material that contains particles in an unbound state or as an aggregate or as an agglomerate where 50 % or more of the particles has dimension is in the range of 1–100 nm”¹⁴¹. A definição científica de um nanometro é um bilionésimo do metro (10^{-9} m).

As nanopartículas não acontecem somente por uma produção de engenharia, elas podem ocorrer naturalmente no meio ambiente.

Some of the natural sources include volcanic eruptions, photochemical reactions, soil erosions, forest fires, and even plants and animals contributing to the same. On the other hand, the anthropogenic sources include the engineered or constituted nanoparticles that are used as a component in several applications at the industrial and household level¹⁴².

¹³⁷ SOARES, 2014, p. 54.

¹³⁸ AHIRE, Satish Arvind *et al.* The Augmentation of nanotechnology era: a concise review on fundamental concepts of nanotechnology and applications in material science and technology. *Results in Chemistry*, v. 4, p 1-19, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2022.100633>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/journal/results-in-chemistry>. Acesso em: 30 jan. 2023.

¹³⁹ FEYNMAN, Richard P. Plenty of Room at the Bottom. In: *American Physical Society*, 1959, Pasadena. Disponível em: https://web.pa.msu.edu/people/yang/RFeynman_plentySpace.pdf. Acesso em: 30 jan. 2023.

¹⁴⁰ AHIRE, 2022, p. 2.

¹⁴¹ AHIRE, 2022, p. 4.

¹⁴² DAS, Pratyush Kumar *et al.* Nanoparticle assisted environmental remediation: Applications, toxicological implications and recommendations for a sustainable environment. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, v. 18, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2022.100679>. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215153222000393>. Acesso em: 30 jan. 2023.

Setores como eletrônicos, colóides e compósitos foram os pioneiros em empregar nanomateriais em suas linhas de produção. Já a indústria cosmética, entre 1995 e 2000, foi a primeira a aplicar insumos nanotecnológicos em seus produtos vendidos diretamente ao consumidor. Rapidamente, as nanotecnologias foram estendidas a diversos produtos comerciais, como telefones celulares, televisores, baterias, painéis solares, adesivos, roupas, alimentos, entre outros.¹⁴³ Segundo estimativa da Organização Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), o mercado mundial dos nanomateriais foi avaliado em US\$ 7,24 bilhões, em 2017, e estimado em US\$ 24,56 bilhões, em 2025¹⁴⁴.

No que tange à segmentação, o mercado dos nanoprodutos, em 2015, dividiu-se da seguinte forma: 83,3 % do volume comercializado correspondeu a nanopartículas e filmes finos em nanoescala, 16,6 % a nanoferramentas e 0,1 % a nanodispositivos¹⁴⁵. No setor elétrico, a aplicação da nanotecnologia pode ser abordada nos diferentes segmentos que o tema envolve, como esquematizado por Pinhel. A tabela mostra a aplicação da nanotecnologia por diferentes segmentos da produção de energia elétrica. Em seu estudo, Pinhel elaborou um mapa de conhecimento para identificação das tecnologias de interesse para o desenvolvimento de produtos nas linhas de P&D, conforme a necessidade da empresa.¹⁴⁶

O quadro 2, a seguir, exemplifica as potenciais aplicações da nanotecnologia em diferentes segmentos da energia elétrica:

¹⁴³ CNPEM, 2019, p. 11.

¹⁴⁴ FRIEDRICH, Steffi. Report on Statistics and Indicators of Biotechnology and Nanotechnology. *OECD Science, Technology and Industry Working Papers*, Paris, v. 6, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/329963833_Report_on_statistics_and_indicators_of_biotechnology_and_nanotechnology. Acesso em: maio 2019.

¹⁴⁵ CNPEM, op. cit., p. 17.

¹⁴⁶ PINHEL, 2014, p. 67.

Quadro 2 – Nanotecnologia e a produção na energia elétrica.

Tema	Aplicação da nanotecnologia
Partes elétricas	Aumento da durabilidade Redução das perdas energéticas
Partes magnéticas	Redução das não linearidades
Partes mecânicas	Aumento da durabilidade Redução do peso e do volume
Lubrificantes	Aumento da durabilidade Aumento da eficiência
Isolantes	Aumento da durabilidade Aumento da eficiência
Cabos	Redução de peso, volume Redução das perdas energéticas
Isoladores	Criação de superfícies autolimpantes
Pára-raios (varistores)	Aumento da durabilidade Aumento da eficiência
Armazenamento (de energia elétrica)	Aumento da capacidade Aumento do rendimento Redução do peso e do volume Redução do tempo de carga
Fontes (de energia elétrica)	Aumento da capacidade Aumento do rendimento

Fonte: CNPEM (2019).

Quando se estuda os efeitos das nanotecnologias no meio ambiente, é preciso analisar os riscos ambientais, a necessidade de gestão desses riscos, a governança e o princípio da precaução. As nanotecnologias apontam para caminhos que podem melhorar a qualidade de vida e ajudar a preservar o meio ambiente, mas, como afirma Quina, “como qualquer área da tecnologia que faz uso intensivo de novos materiais e substâncias químicas, ela traz consigo alguns riscos ao meio ambiente e à saúde humana.”¹⁴⁷

Quina, em carta aberta, aponta três grandes áreas que possuem potencial para beneficiarem-se do uso de nanotecnologias para proteção ambiental, a saber: prevenção da poluição ou dos danos indiretos ao meio ambiente, combate à poluição e detecção de poluição¹⁴⁸. É oportuno incluir nessa lista mais um item promissor, a melhora na eficácia da produção de energias renováveis com o uso da nanotecnologia, promovendo a diminuição da poluição produzida por energias não renováveis. Demonstra-se, assim, como a nanotecnologia poderá desenvolver as energias renováveis: com menos material e mais eficiência energética.

¹⁴⁷ QUINA, Frank H. Nanotecnologia e o meio ambiente: perspectivas e riscos. *Química Nova*, São Paulo, v. 27, n. 6, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422004000600031>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/5zZPsK4RdkjGGfFrhWsLbjd/?lang=pt>. Acesso em 02/02/2023.

¹⁴⁸ *Ibidem*.

A conectividade entre ciências, tecnologia e inovação é consenso entre todos os setores que trabalham com a inovação, contudo, esse envolvimento nunca foi linear. O resultado desse processo de desenvolvimento implica impactos econômicos, sociais e, principalmente, ambientais. O pesquisador é a força propulsora nesse ciclo: “pesquisa como base, a inovação como vetor e o desenvolvimento como consequência”¹⁴⁹, colocando as universidades como protagonistas nesse processo.

Falar em inovação é falar em ciência e tecnologia, e, muitas vezes, quando menciona-se tecnologias, pensa-se logo em degradação ambiental. A ideia de senso comum é que a tecnologia entra em jogo para promover o desenvolvimento econômico a qualquer preço, sem se importar com a degradação ambiental. Porém, esta tese visa prioritariamente demonstrar que é plausível inovar e buscar a preservação ambiental de forma simultânea, de modo sustentável. Inclusive, é um caminho mais profícuo, utilizar a ferramenta da ciência e da tecnologia para um ambiente ecologicamente equilibrado.

A relevância da nanotecnologia para a preservação ambiental baseia-se no contexto de redução de materiais em abundância na natureza e de crescimento de demandas, sendo necessário ter mais eficácia com menos materiais. Ou seja, é preciso desenvolver a aptidão de fazer mais com menos, a exemplo do que ocorreu com os computadores, que inicialmente eram do tamanho de uma sala, e hoje há equipamentos com menos de 1 kg. Da mesma forma, aconteceu com os celulares, que, quando surgiram no Brasil, pesavam 1 kg, apelidados carinhosamente de “tijolão”, e atualmente pesam poucas gramas. Referências não são necessárias para tais informações, pois elas já fazem parte do senso comum, mas, para endossar a história, segue em rodapé¹⁵⁰. Com o uso de menos matéria-prima associado à tecnologia, otimizaram-se os recursos e incluíram-se novas funções nos aparelhos, que hoje não conseguimos viver sem. Isso só foi possível devido ao uso de nanotecnologias e aos processos de inovação.

O mesmo ocorre no caso de aplicações de nanotecnologias para desenvolver inovações em energias renováveis, em que a utilização do grafeno, como material inovador em circuitos elétricos, potencializa a eficácia da energia elétrica, com menos material. Como demonstrado na pesquisa recente de Paul Thibaldo: “An energy-harvesting circuit based on

¹⁴⁹ AUDY, Jorge. A inovação, o desenvolvimento e o papel da Universidade. *Revista de Estudos Avançados*, São Paulo, v. 31, n. 90, p. 75-87, 2017. 75 p. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/rtKFhmw4MF6TPm7wH9HSpFK/>. Acesso em: 02 fev. 2023.

¹⁵⁰ MOREIRA, Rômulo Diego. Veja qual foi o primeiro celular do mundo (e do Brasil). *TechTudo*, 3 jan. 2023. Disponível em: <https://www.techtudo.com.br/noticias/2023/01/veja-qual-foi-o-primeiro-celular-do-mundo-e-do-brasil.ghtml>. Acesso em: 24 jan. 2023.

graphene could be incorporated into a chip to provide clean, limitless, low-voltage power for small devices or sensors,"¹⁵¹

Prover energia renovável de forma mais eficiente e com menos material é assunto para nanotecnologia. Entretanto, estar atento ao princípio da precaução para novos materiais não é o suficiente para garantir a segurança. Com a mesma seriedade e forma com que foi criada a regulamentação para tratar de materiais radioativos, nucleares ou produtos químicos e biológicos que podem trazer risco ao meio ambiente ou à saúde dos habitantes do planeta, deverá ser tratado o assunto da nanotecnologia, que será objeto de capítulo específico desta tese.

O uso de nanotecnologias no setor energético tem sido objeto de pesquisa de cientistas¹⁵² que buscam inovação, conforme vem sendo demonstrado ao longo deste subcapítulo. Dentre as possíveis aplicações da nanotecnologia voltada para o setor elétrico, tem-se:

Economia de energia ao utilizar materiais mais leves e circuitos menores, fabricação de células fotovoltaicas e fotoeletroquímicas, fabricação de dispositivos orgânicos emissores de luz, aplicações de nanotubos de carbono em células solares, fabricação de nanocatalisadores para produção de hidrogênio, produção de células a combustível, fabricação de nanomateriais para armazenagem de hidrogênio.¹⁵³

Muitas pesquisas¹⁵⁴ têm sido feitas na área de captação de energia solar, usando nanopartículas de grafite, como a realizada pela Universidade Estadual do Arizona, nos

¹⁵¹ THIBADO, Paul. Physicists build circuit that generates clean, limitless power from graphene. *Phys.Org*, 2 out. 2020. General Physics. Disponível em: <https://phys.org/news/2020-10-physicists-circuit-limitless-power-graphene.html>. Acesso em: 05 out. 2020.

¹⁵² Entre eles, os citados nesta tese.

¹⁵³ PISCOPO, Marcos Roberto *et al.* O setor brasileiro de nanotecnologia: oportunidades e desafios. *Revista de Negócios*, v. 19, n. 4, p. 43-63, 2014. DOI:10.7867/1980-4431.2014v19n4p43_63. Disponível em: <https://www.mendeley.com/catalogue/9444ee23-7574-33e7-838a-8687269a6aae/>. Acesso em: 12 jul. 2022.

¹⁵⁴ Além das pesquisas citadas ao longo de toda esta tese, destacam-se na bibliografia: “aplicação à agricultura (Rochman *et al.*, 2011; Wilson, 2012), aos alimentos (Kuzma; Romanchek; Kokotovich, 2008; Sozer; Kokini, 2010; Stampfli; Siegrist; Kastenholtz, 2010), às embalagens para alimentos (Buzby, 2010; Food Engineering & Ingredients, 2011; Stampfli; Siegrist; Kastenholtz, 2010), ao cimento e concreto (Erdogan, 2011), aos eletrônicos (Doering, 2011), às tendências e ao futuro da nanotecnologia (Lindquist; Mosher-Howe; Liu, 2010; Meyer; Libaers; Park, 2011; Priest *et al.*, 2011; Thomas; Acuña-Narvaes, 2006; Van Lente, 2006; Zawislak *et al.*, 2010), à inovação (Khadzhiev, 2011; Moinddin; Rashdi; Bhutto, 2010; Woolley; Rottner, 2008), à comercialização (Rasmussen, 2007; Uranga; Kerexeta; Campàs-Velasco, 2007), às políticas de desenvolvimento (Ghazinoory; Ghazinoory, 2009; Ghazinoory; Soofi, 2012; Sá; Geiger; Hallacher, 2008; Stinnett, 2012; Wang; Shapira, 2012), entre outros tópicos relevantes. Porém, ainda existem vários questionamentos sobre a aplicabilidade da nanotecnologia, especialmente com respeito ao consumo de produtos à base de nanotecnologia (Batitsta; Peppe, 2014; Foladori; Figueroa; Edgard; Invernizzi, 2014; Reisch; Scholl; Bietz, 2011; Throne-Holst; Strandbakken, 2009; Yawson; Kuzma, 2010), ao emprego de nanomateriais (Handy; Shaw, 2007; Shatkin; North, 2010; van Broekhuizen; Reijnders, 2011), ao registro de patentes (Featherstone, 2004; Fernández Ribas, 2010; Igami; Okazaki, 2007; Preschitscheck; Bresser, 2010; Schellekens, 2010), aos riscos (Pyrrho; Schramm, 2012; Kuzma; Priest, 2010; Tsai, 2012; Williams *et al.*, 2010; Santos, 2010), aos riscos associados à comunicação e opinião pública (Conti; Satterfield; Harthorn, 2011; Doubleday, 2007; Ott; Papilloud, 2008; Pidgeon; Rogers Hayden,

Estados Unidos, a qual desenvolveu uma técnica que pode melhorar a captação de energia solar com o uso de nanopartículas de grafite¹⁵⁵. Foi estimada uma economia superior a US\$ 3,5 milhões por ano, para o desenvolvimento de planta solar com 100 megawatts de potência. Essa pesquisa foi publicada no *Journal of Renewable and Sustainable Energy*¹⁵⁶.

Outra pesquisa foi feita por Pandey¹⁵⁷ e outros, em *Eco-Friendly, Direct Deposition of Metal Nanoparticles on Graphite for Electrochemical Energy Conversion and Storage*. Nesse estudo, usa-se materiais eletroativos a base de grafite, com depósito de outros metais (nobres ou não), sem auxílio de agente redutor, a fim de gerar e armazenar energias renováveis. Outro estudo foi realizado por Senthil e Marimuthu, visando à eficiência energética ao buscar um material com melhor condutividade térmica a partir do acréscimo de nanopartículas ao fluido base¹⁵⁸.

A Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), em publicação de uma cartilha sobre nanotecnologia, em 2010, já apresentava temas que estavam sendo debatidos internacionalmente, entre eles, o armazenamento, a produção e a conversão de energia utilizando nanotecnologia em seus processos¹⁵⁹. Os produtos produzidos envolvem sistemas fotovoltaicos, células solares, *grids* de energia¹⁶⁰, baterias, pás para geradores eólicos.

2007; Pidgeon; Harthorn; Satterfield, 2011, Xenos *et al*, 2011), à difusão do conhecimento (Liu *et al*, 2011), aos investimentos (Festel; Kratzer, 2012; Munari; Toschi, 2010), aos aspectos éticos (Fink; Harms; Hatak, 2012; Linton; Walsh, 2012; Lu *et al*, 2012), à responsabilidade social corporativa (Groves *et al*, 2011), à segurança do paciente (Altenstetter, 2011; Nerlich; Clarke; Ulph, 2007), aspectos regulatórios (Falkner; Jaspers, 2012; Sylvester; Abbott; Marchant, 2009), apenas para citar alguns temas de importância". (PISCOPO *et al*, 2014, p. 44-45).

¹⁵⁵ NANOPARTÍCULAS podem melhorar captação de energia solar, diz estudo. *Portal de energias renováveis*, 06 abr. 2011. Solar. Disponível em: http://www.energiasrenovaveis.com/DetailNoticias.asp?ID_conteudo=454&ID_area=8. Acesso em: 02 jul. 2013.

¹⁵⁶ WEI, L. *et al*. Copper nanoparticl -deposited graphite felt electrodes for all vanadium redox flow batteries. *Applied Energy*, v. 180, p. 386-391, 15 out. 2016. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261916310844?casa_token=-R8IXSA0954AAAAA:gPHkzfOmJTaFk5Lhz442maTyKo-1qoZknOheJYsRlwXEVpGcwR_IKqAtiAHKVR09pZ0o6AzNkQ. Acesso em: 30 out. 2020.

¹⁵⁷ PANDEY, Rakesh K. *et al*. Eco-Friendly, Direct Deposition of Metal Nanoparticles on Graphite for Electrochemical Energy Conversion and Storage. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 2019, v. 40, n. 11. Disponível em: https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acsami.9b09273?casa_token=vw6vtH5GNk0AAAAA%3AsO3x4Icp85zF1iMISLbf4uCSVkNOLt6dMbw8O2qRFkZ13ogO0V2fhkjBTO7cK-BOL2Sci2O-Z8zF-QqX&. Acesso em: 30 out. 2020.

¹⁵⁸ SENTHIL, R.; MARIMUTHU, Cheralathan. Enhancement of heat absorption rate of direct absorption solar collector using graphite nanofluid. *ResearchGate*, v. 9, p. 303-308, 2016. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/310615791_Enhancement_of_heat_absorption_rate_of_direct_absorpti_on_solar_collector_using_graphite_nanofluid. Acesso em: 30 out. 2020.

¹⁵⁹ BRASIL. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. *Cartilha sobre nanotecnologia*. 2 ed. Brasília: ABDI, 2010. p. 58. Disponível em: <http://livroaberto.ibict.br/handle/1/572>. Acesso em: 02 fev. 2023.

¹⁶⁰ Redes de energia.

Em seu estudo, Serrano¹⁶¹ analisa os avanços das contribuições específicas da nanotecnologia, para diversas energias sustentáveis, na produção, armazenamento e uso. Ele aponta uma necessidade crescente pela demanda energética advinda de dois fatores essenciais: a ampliação do número de pessoas que protagonizam o desenvolvimento da economia e o aumento da demanda per capita por energia. Demonstra, no mesmo estudo, que essa busca por energia precisa incluir “this needs to be done in a way that includes the environment in the wealth production equation as we gather more evidences of the human impact on the climate, biodiversity and quality of the air, water and soil”¹⁶². Ainda, descreve que “solar, hydrogen and new generation batteries and supercapacitors are described as the most significant examples of the contributions of nanotechnology in the energy sector.”¹⁶³

Palit¹⁶⁴ em recente publicação, fala em *energy engineering*, que ainda hoje há alta complexidade científica e poucas respostas ao aplicar nanotecnologia na indústria energética e ambiental. Nessa área, o aumento da preocupação com a proteção ambiental e a preservação da biodiversidade ecológica, aliadas à sustentabilidade energética, é uma necessidade atualmente. Estudar a interface da aplicação da nanotecnologia na indústria energética e ambiental pode contribuir para a elucidação da matéria. Palit afirma que

Renewable energy technology is also the veritable need of human progress today. The author deeply justifies the need of nano-science and nanotechnology in human society today. Scientific fervor, deep scientific ingenuity and the veritable needs of nanotechnology in scientific progress will open new windows of scientific understanding in the field of nano-science, nanotechnology and nano-engineering today as the author delves deep into the unknown areas of nanotechnology applications. The world of engineering science and technology of green sustainability is veritably unfolded as the author weaves through the intricacies and barriers of application of environmental protection science¹⁶⁵.

A nanotecnologia é uma ferramenta que pode oferecer nova base para a indústria, com economias de custo-efetividade e de custo-eficiência, que muito contribuem para o crescimento econômico sustentável. Isso não implica somente a miniaturização, mas também a manipulação precisa dos átomos e das moléculas para projetar e controlar as propriedades

¹⁶¹ SERRANO, Elena; RUS, Guillermo; GARCÍA-MARTÍNEZ, Javier. Nanotechnology for sustainable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.13, n. 9, p. 2373-2384, dez. 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032109001087>. Acesso em: 30 jan. 2023.

¹⁶² Ibidem, p. 2373.

¹⁶³ Ibidem, p. 2373.

¹⁶⁴ PALIT, S. Application of nanotechnology in the energy industry, green sustainability and the visionary future. *Academia Letters*, p. 1-4, jul. 2021. DOI: <https://doi.org/10.20935/AL2326>. Disponível em: https://www.academia.edu/50306867/Application_of_nanotechnology_in_the_energy_industry_green_sustainability_and_the_visionary_future. Acesso em: 03 fev. 2023.

¹⁶⁵ Ibidem, p. 1.

dos nanomateriais ou dos nanosistemas. Tais propriedades são diferentes das encontradas nos materiais *in natura* no meio ambiente ou mesmo para replicar alguns processos naturais que não foram alcançados com materiais sintéticos¹⁶⁶.

Manickam¹⁶⁷ e outros também realizaram um estudo profundo sobre a produção de energia sustentável usando nanomateriais e nanotecnologia, atentos ao fato de que 90% da energia global tem origem em derivados do petróleo, com tendência a continuar crescendo, no mínimo, até 2050. Por isso, é fundamental que seja encontrado um sistema gerencial de criação e armazenamento de energia, e a “nanotechnology promises to deliver energy from sustainable sources thanks to its unique synthesis and structure”¹⁶⁸.

Os autores apontam áreas em que o foco na nanotecnologia é urgente, como os polímeros em nanoestrutura polímera, que pode ser usada como estrutura suporte; processos de produção; tratamentos médicos e farmacêuticos; próteses terapêuticas e aplicações em filme-fino¹⁶⁹. Ainda, Manickam, em seu estudo, destaca, como alternativa de fonte de energia,

methanol power devices showed notable innovations that were enhanced because of the availability of nanomaterials, particularly in the area of the energy change operation and its development permitted the utilization of luminosity in helping the procedure through a systematic work plan (De Souza, Martins de Andrade, & Sarto Polo, 2013). The amalgamation and use of innovative practical nanomaterials by means of their controlled sizes and shapes, porosities, nanocrystal stages, and configurations are critical for the advancements of manageable energy innovations¹⁷⁰.

Serrano¹⁷¹ afirma que, quando o foco é o domínio da energia, a nanotecnologia tem um potencial significativo na redução dos impactos da produção de energia, no seu armazenamento e uso. As áreas mais promissoras, para tanto, são energia solar, conversão de hidrogênio e dispositivos termoelétricos. Embora a discussão da técnica não seja objeto desta tese, faz-se necessário apresentar alguns conceitos básicos sobre o setor solar, para conduzir a elaboração do raciocínio crítico, contrapondo o que há na atualidade e o que há como potencialidade a partir do uso de nanotecnologias.

A energia solar utiliza a radiação do sol que se encontra de forma livre em todo o planeta. A produção dessa energia é feita a partir das células solares fotovoltaicas, que são

¹⁶⁶ SERRANO, 2009, p. 2374.

¹⁶⁷ MANICKAM, Naveen Kumar *et al.* Sustainable energy production using nanomaterials and nanotechnology. *In: Nanomaterials: Application in Biofuels and Bioenergy Production Systems*. Cambridge, Massachusetts: Academic Press, 2021. 57-62 p. E-book. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128224014000374>. Acesso em: 12 jun. 2023.

¹⁶⁸ *Ibidem*.

¹⁶⁹ *Ibidem*.

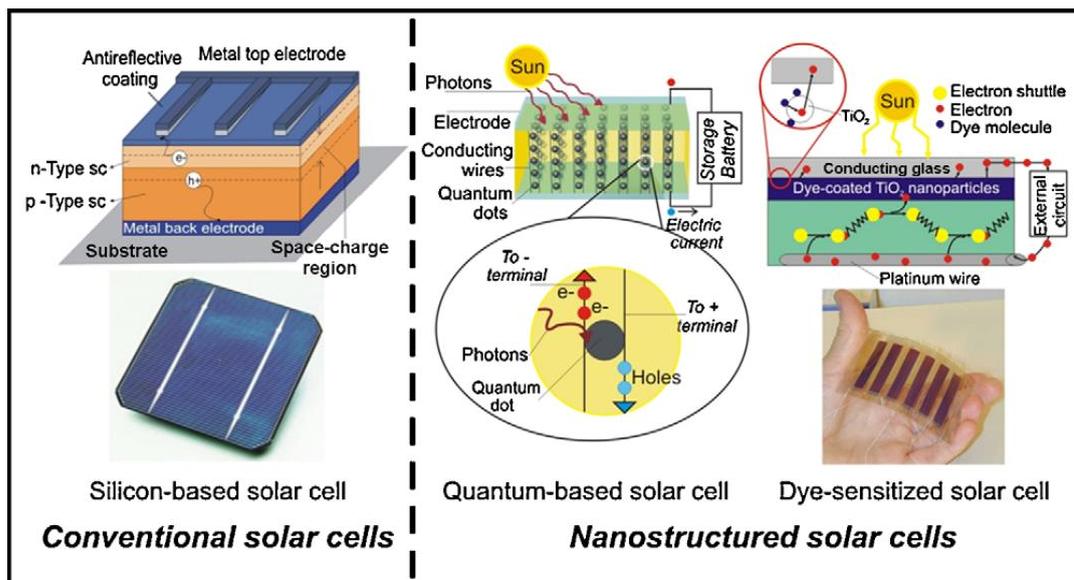
¹⁷⁰ *Ibidem*., p. 58.

¹⁷¹ SERRANO, 2009, op. Cit.

dispositivos produtores de eletricidade os quais transformam a radiação do sol em energia, por meio do efeito fotoelétrico, ou seja, os fótons da luz são convertidos em corrente elétrica. Serrano descreve que a energia solar pode ser utilizada de diferentes formas: fotovoltaica, utilizada em coletores solares, com a conversão da luz do sol diretamente em corrente elétrica; fotossíntese artificial, usada na produção de carboidratos ou hidrogênio, por meio da divisão da molécula de água, em iluminação, aquecimentos solares; e tecnologia de biomassa, em que as “plantas usam a radiação solar para conduzir transformações químicas e criar carboidratos complexos, que são usados para produzir eletricidade, vapor ou biocombustíveis.”¹⁷²

Na figura abaixo, consta um comparativo entre o uso do material em uma estrutura com base de silício, a qual é produzida convencionalmente, e em uma célula solar produzida com nanoestrutura, que cabe na palma da mão.

Figura 7 – Esquema comparativo célula solar convencional X célula solar nanoestruturada



Fonte: SERRANO (2009).¹⁷³

Atualmente, as células solares que existem no mercado fotovoltaico são baseadas em células solares de *wafer*¹⁷⁴ de silício (células espessas, com camadas de cerca de 150–300 nm feitas de silício cristalino), que correspondem a 86 % das células produzidas no mercado e são a primeira geração de produção de células fotovoltaicas. Já a segunda geração é feita com uma nova estrutura, em camadas de filmes finos (1-2 nm) de materiais semicondutores, como ilustrado na figura acima. O custo de fabricação das de segunda geração é menor

¹⁷² SERRANO, 2009, p. 2374.

¹⁷³ Ibidem., p. 2375.

¹⁷⁴ Wafer é referência à forma como é construída a estrutura, como a bolacha wafer, isto é, em camadas que se repetem.

comparativamente com os da primeira geração, mas com baixa capacidade de conversão, isto é, sua eficiência energética ainda é baixa¹⁷⁵. Serrano afirma que incluir componentes em nanoescala nas células fotovoltaicas seria um meio de reduzir essa limitação, o que implicaria um aumento de eficiência de quase 40 %: “Primeiro, a capacidade de controlar o bandgap de energia fornece flexibilidade e intercambiabilidade. Em segundo lugar, esta tecnologia não será a única a reduzir o custo da eletricidade gerada por energia solar abaixo de 1 \$(/kWh)”¹⁷⁶.

Manickam também relata o uso de nanotecnologia em células fotovoltaicas cuja tecnologia é baseada em finas camadas de materiais semicondutores.

Nanocrystal quantum dots are used in the production of nanoparticles with direct bandgap semiconductors; including primarily silicon-based solar cells, and substrate with nanocrystal coatings. Photocatalytic disintegration of toxic waste at diverse titan surfaces is of great interest. Normally, the photocatalysis reaction occurs in when producing light photons and is transformed to electronic excited states which yield the desired reaction at the surface of the semiconductor.¹⁷⁷

Outra forma explorada pela doutrina envolve as células solares sensibilizadas com pintura (*dye-sensitized solar cells*), depositando-se uma fina camada de corante em um filme de dióxido de titânio coloidal. Ao depositar-se o corante, potencializa-se a absorção de radiação solar, e, mudando a base em que elas são depositadas (os semicondutores), obtêm-se diferentes eficiências nas absorções solares. Alteram-se também as estruturas com nanotubos, cristais fotônicos para intensificar a eficiência energética¹⁷⁸.

Corroborando a ideia de criação de um substituto para o suporte de silício para a célula solar, Manickam coloca a *dye sensitized solar cells* como promissora. Com ela, é possível sintetizar a partir de materiais baratos contendo corantes inorgânicos e orgânicos, em que “in dye molecules, absorption of light takes place and it is attached to the surface of nanoparticles creating a huge bandgap, for example, TiO₂”¹⁷⁹. A experimentação dessa nova tecnologia, chamada de compósito fotovoltaico, intercala polímeros (ou óxidos metálicos) semicondutores com áreas superficiais, para potencializar as reflexões internas com nanopartículas de modo a formar uma única camada multiespectral. Dessa forma, pode-se empilhar várias camadas e melhorar a eficiência energética em mais de 85 %, teoricamente¹⁸⁰.

¹⁷⁵ SERRANO, 2009, p. 2375.

¹⁷⁶ Ibidem.

¹⁷⁷ MANICKAM, 2021, p. 60.

¹⁷⁸ SERRANO, 2009, p. 2376.

¹⁷⁹ MANICKAM, 2021, p. 60.

¹⁸⁰ SERRANO, 2009, p. 2376.

Mas muita pesquisa ainda necessita ser feita para estabilizar e atingir essa eficiência energética, com baixo custo.

Serrano analisa a possibilidade de uso da energia solar para produção de hidrogênio, por meio de uma fotossíntese artificial. A partir da energia fotovoltaica em altas temperaturas (acima de 1000 °C), pode-se realizar a quebra da molécula de água em hidrogênio e oxigênio, sendo, portanto, uma energia produtora de hidrogênio. Porém, essa produção ainda está em fase de pesquisas.

Water splitting by photocatalysis, also known as artificial photosynthesis, is being actively researched, motivated by a demand for cheap hydrogen which is expected to rise with the new hydrogen economy. Nanotechnology is the tool that can make possible the production of hydrogen from solar energy in a clean, environmentally friendly and low-cost way using photocatalytic water splitting. For this purpose, a variety of semiconductor nanoparticulated catalyst systems based on CdS, SiC, CuInSe₂, or TiO₂ can be used [...], the last one being the most promising candidate since it fulfils the above-mentioned requirements. However, this technology is still in the research stage due to the cost associated with its low conversion efficiency¹⁸¹

A produção de hidrogênio para gerar energia não é um assunto novo. Assim como as demais fontes de energia renovável (solar, vento e geotérmica) precisam ser transformadas em eletricidade e ser eficientemente transportadas até o consumidor final, o mesmo acontece com o hidrogênio. O mais atrativo nessa forma de geração de energia é que o resultado da combustão gera água, sendo, portanto, um sistema de produção de energia que é ambientalmente correto. O hidrogênio pode ser produzido a partir de energias renováveis e, de modo conveniente, convertido em eletricidade usando principalmente a tecnologia de células de combustível¹⁸². Para Serrano,

Consequently, the future of hydrogen production is envisioned towards its direct production from renewable sources thus avoiding all, electrical, heat and mechanical losses. These include solar, thermal, wind energy, thermochemical cycles or biomass gasification. Besides these, water splitting by nanophotocatalysis [...], which has been described in the previous section, is one of the most promising and attractive methods for direct hydrogen generation from a primary renewable energy source both economically and technically [8,87]. Unfortunately, according to the Royal Society of Chemistry report aforementioned, the replacement of hydrocarbon-based hydrogen production processes by new, clean and sustainable new pathways is not expected before year 2035¹⁸³.

Além da geração de energia elétrica, o hidrogênio também pode ser usado como célula de combustível, da mesma maneira que a gasolina ou o gás natural. Essa linha de

¹⁸¹ Ibidem, p. 2376.

¹⁸² SERRANO, 2009, p. 2377.

¹⁸³ Ibidem., p. 2377.

pesquisa é desenvolvida pelas tecnologias verdes para geração de combustível¹⁸⁴. Para tanto, há necessidade de catalisadores para membranas de células de combustíveis, cujo modelo mais promissor é o desenvolvido pela nanotecnologia¹⁸⁵, conforme Shao Y. *et al.*

Manickam faz coro quanto ao potencial químico das células de combustível e coloca os hidretos metálicos como opção para acumular hidrogênio em um sistema econômico

The fuel cell is a device that converts chemical potential energy which is stored in molecular bonds into electrical energy via electrochemical reactions, hence yielding better power production performances than conventional IC engines. With hydrogen, the fuel cell is an exceptionally good power converter (depending on life cycle assessment and production of hydrogen). The main part of a fuel cell is the electrodes, through which the real electrochemical reactions occur¹⁸⁶.

Já o transporte e armazenamento do hidrogênio produzido de fontes renováveis não é tarefa muito fácil. Trata-se de um combustível líquido que requer baixíssimas temperaturas (chamadas de temperaturas criogênicas) para ser estocado, resultando em grande perda do produto durante o próprio transporte e tornando seu armazenamento um tanto quanto ineficiente¹⁸⁷. Tem-se estudado¹⁸⁸ e ampliado as pesquisas para o armazenamento de hidrogênio usando materiais à base de carbono ativado em temperaturas criogênicas, mas o resultado é ineficiente quanto ao tamanho maior, tanto das estruturas quanto dos poros comparados aos átomos ou às moléculas de hidrogênio. Isso poderia ser potencialmente melhorado diminuindo o tamanho das estruturas em escala nano¹⁸⁹.

Manickam¹⁹⁰ também tem pesquisado sobre a produção de hidrogênio, argumentando que se ele fosse mais barato resolveria questões relacionadas à produção de eletricidade e muitos problemas ambientais. O autor destaca o uso do níquel como catalisador para a fabricação de hidrogênio, devido ao baixo custo e à considerável acessibilidade do níquel. Em contrapartida, tais catalisadores sofrem uma rápida desativação quando submetidos a altas temperaturas, produzindo vapor de carbono e perdendo uma grande quantidade de energia. Como forma de superar essa limitação, inova-se para aumentar a

¹⁸⁴ SERRANO, 2009, p. 2379.

¹⁸⁵ SHAO, apud SERRANO, 2009.

¹⁸⁶ MANICKAM, 2021, p. 60.

¹⁸⁷ SERRANO, 2009, p. 2377.

¹⁸⁸ CARPETIS, C.; PESCHKA, W. A study on hydrogen storage by use of cryoadsorbents. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 5, n. 5, p. 539-554, 1980. DOI: [https://doi.org/10.1016/0360-3199\(80\)90061-0](https://doi.org/10.1016/0360-3199(80)90061-0).

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0360319980900610>. Acesso em: 03 fev. 2023.

¹⁸⁹ SERRANO, 2009, p. 2378.

¹⁹⁰ MANICKAM, 2021, p. 59.

resistência das baterias de lítio, “por exemplo, o catalisador de ródio-níquel (Rh_Ni) @ óxido de cério (CeO₂) foi sintetizado pela reforma a vapor do etanol”.

Além da produção de energias renováveis, em que a escala nano tem contribuído com potencial de ampliação, o próprio armazenamento da energia renovável é tão importante quanto sua produção. A maior parte dos sistemas de armazenamento de energia envolve baterias e capacitores. Quanto mais eficiente e duradoura forem tais dispositivos, menores serão as perdas energéticas e a produção de descarte para o ambiente.

As baterias armazenam eletricidade quimicamente. Em razão disso, tem-se pesquisado as baterias recarregáveis de lítio, que apresentam desvantagem quanto à capacidade de armazenamento, ao peso, ao custo, entre outras. Serrano sintetiza o direcionamento das pesquisas: “actively research in nanobatteries points out the use of nanomaterials for both the electrodes and the non-aqueous electrolyte”¹⁹¹. Da mesma forma, a nanotecnologia tem contribuído para a constante evolução dos capacitores eletroquímicos, também chamados de supercapacitores ou ultracapacitores, que armazenam eletricidade fisicamente. Serrano detalha as contribuições:

Current technologies are mainly based on blending porous materials (like activated carbon) with a conductive additive (like graphite or metals). A transition from activated carbon electrodes to carbon-based nanostructures is being done in order to improve the performance of these devices. Carbon nanotubes (CNTs) form an open mesoporous network which allow the solvated ions to easily access to the interface of the double layer. Similar results have been observed for carbon nanofibers. Several examples have been reported for example by Obreja in his recent review [140]. In summary, the capacitance of CNT exceeds that corresponding to traditional activated carbons only if these are functionalized, e.g. controlled oxidation of their surface, or addition of some impurities [140–144]. Higher specific power, higher specific capacitance and higher conductivity can be achieved by the blending of activated carbon with small quantities of CNTs, which can be further improved by doping with metal oxides or conductive polymers, but currently, the cost is too high as to be economically feasible for the industry. Another approach includes the use of carbon aerogels, which could lead to an improvement in both capacitance and cyclability due to their low electronic charging and ionic resistance [141,145]. Similar characteristics have been proved for fullerene-like carbon nanoparticles [145]. Finally, the use of nanotemplates (i.e., mesoporous silica, zeolites, etc.) to synthesize nanostructured carbon has been also explored for carbon electrodes [146–153]. We are exploring a radically innovative approach to fabricate, via supramolecular templating, carbon materials that combine high specific surface area and electrical conductivity without the need of conductive additives or binding materials for mechanical strength¹⁹².

Os detalhes físicos e químicos desses processos não são objetos desta tese. Buscou-se somente mostrar, em uma linguagem não técnica, o potencial da nanotecnologia para as

¹⁹¹ SERRANO, 2009, p. 2380.

¹⁹² Ibidem., p. 2381.

energias renováveis. Caso o leitor necessite dessas informações para complementar seus estudos, a referência já se encontra no presente trabalho.

O Conselho Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM)¹⁹³ publicou uma separata em que apontam que a produção de novos materiais com menos matéria-prima e consumo de energia é inerente aos novos processos de inovação, o que dependerá da relação ótima de custo benefício.

Os nanomateriais e a nanofabricação abrirão portas para que se fabriquem produtos com eficácia e precisão insuperáveis, consumindo menos insumos e energia. Processos top-down ou bottom-up permitirão obter materiais e estruturas manométricas específicas com baixas impurezas e defeitos, criar produtos ou agregar novas ou diferenciadas funcionalidades a produtos já existentes. O sucesso da adoção dependerá de se encontrar a relação ótima de custo vs. benefício para cada nanomaterial no que tange à sua concepção e produção, de entender a sua interação com os sistemas em que atuarão e de mensurar a sua interrelação e impacto sobre elementos externos.

Parcerias da academia com a indústria são fundamentais para essa compreensão e para mitigar barreiras técnicas que possam inviabilizar a aquisição ou a produção dos nanoprodutos.

Essa tendência de criação de novos materiais e novas técnicas, em observância da relação custo benefício para a produção, transformação e uso de energias renováveis, sem perder o foco do meio ambiente saudável, tem sido nas pesquisas demonstradas nesta tese. Esses materiais, além de alta eficiência energética, precisam ser ambientalmente satisfatórios, como é o caso do grafeno, desenvolvido nos laboratórios da UCS¹⁹⁴. O grafeno já é reconhecido como uma alternativa viável na inovação em produção de energias renováveis.

To counteract this, graphene nanotechnology is finding application in some of these technologies to improve their efficiencies. There has been some promising results and breakthrough, and this chapter seeks to bring to light some of these achievements. The chapter will only discuss four renewable energy fields: battery technology, fuel cell technology, solar cell technology, and energy storage devices. Nanotechnology has been finding application in a wide range of fields including renewable energy.¹⁹⁵

O potencial tecnológico dos nanomateriais é cada vez mais amplo, e o sucesso e a rentabilidade de sua utilização nos processos de inovação são altamente prováveis. Contudo,

¹⁹³ CNPEM, 2019.

¹⁹⁴ TECNOUCS. *UCSGRAPHENE*. O que fazemos. Disponível em: <https://www.ucsgraphene.com.br/o-que-fazemos/>. Acesso em: 17 fev. 2023.

¹⁹⁵ MAMVURA, Tirivaviri A.; SIMATE, Geoffrey S. The potential application of graphene nanotechnology for renewable energy systems. In: *Graphene-Based Nanotechnologies for Energy and Environmental Applications*. Amsterdã, Holanda: Elsevier, 2019. 59-80 p. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128158111000041>. Acesso em: 15 set. 2020.

atualmente isso ainda é muito dispendioso, como tudo que implica novas tecnologias. O papel do Estado, nesse caso, é justamente intervir de forma a propiciar equanimemente uma tecnologia mais limpa, comparada com outras já obsoletas, mas mais baratas. Para tanto, as externalidades negativas em potencial do uso das nanotecnologias precisam ser enfrentadas, como forma de desvendar os preconceitos que circulam a matéria, por desconhecimento dela.

Nanotechnology has environmental applications, including in the production of products and processes relating to the conservation of natural resources used as raw materials in the production, energy, and water industries. The nanoscale processes and products have significant applications in reducing greenhouse gases and hazardous wastes. Nanotechnology is thus a promising tool for a sustainable environment¹⁹⁶.

É preciso conhecer os materiais e verificar métodos de análise das nanosubstâncias e, dessa forma, identificar as reações que acontecem nas superfícies nanoestruturadas. Manickam relata algumas técnicas utilizadas para essa caracterização, como a espectroscopia eletrônica de Auger (AES), que é mais comumente utilizada em nanosubstâncias. Estão inclusas nessa caracterização: “espectroscopia de dispersão de íons, espectroscopia de fotoemissão de raios X e UV, elétron de impacto metaestável, espectroscopia de perda de eletricidade de elétrons de resolução excessiva, difração de elétrons de baixa potência e microscopias de sondagem de varredura”¹⁹⁷.

A sustentabilidade ambiental tem sido o foco quando se coaduna o uso das nanotecnologias para potencializar as energias renováveis com o seu processo de produção, transporte e armazenamento. Sukanchan também corrobora essa perspectiva

The vision and the sagacity of nanotechnology applications in environmental engineering and energy engineering are the forerunners towards a new dawn in the field of sustainable development today. Mankind’s vast scientific and knowledge prowess, the validation of environmental protection science and the far-sightedness of environmental remediation will open a new window of innovation in the field of green and environmental sustainability. Sustainable development whether it is economic, social, environmental or energy is the imminent need of the hour. Energy engineering and renewable energy in the similar vision will usher in a new era in the field of science and technology in the near future¹⁹⁸.

Portanto, a essencialidade da nanotecnologia como vetor para desenvolvimento das energias renováveis foi demonstrado. Entretanto, resta discutir ainda formas de democratizar

¹⁹⁶ MANICKAM, 2021, p. 58.

¹⁹⁷ MANICKAM, 2021, p. 61 (tradução nossa).

¹⁹⁸ PALIT, 2021, p. 2.

o acesso a essas tecnologias mediante a publicização do conhecimento e analisar os valores envolvidos para seu desenvolvimento, por meio da regulamentação do setor.

3 O PANORAMA REGULATÓRIO DA INOVAÇÃO EM NANOTECNOLOGIAS

Ao compreender melhor a contribuição que a tecnologia pode agregar no contexto da preservação ambiental, bem como a participação da matriz energética nas mudanças climáticas, destacou-se a pesquisa em nanotecnologia como instrumento de inovação tecnológica nesse setor, sendo uma ferramenta de desenvolvimento econômico e preservação ambiental. À vista disso, é necessário refletir sobre o marco regulatório aplicável à inovação e sobre a ausência de legislação referente à nanotecnologia, analisando o projeto de lei que determina o marco regulatório para a nanotecnologia, além de ponderar sobre a necessidade de segurança jurídica nesse setor.

Neste capítulo, pretende-se verificar a legislação consolidada ou em projeto de lei que envolva nanotecnologia e inovação, assim como fazer uma análise a respeito da presença da preservação ambiental nesses documentos. Em uma primeira etapa, foi realizado um levantamento sobre a evolução da inovação no Brasil e seu marco regulatório, havendo, como critério de análise, a nanotecnologia e os incentivos fiscais.

Na segunda etapa, verificou-se se a nanotecnologia está discriminada dentro da legislação de inovação e se possui um marco regulatório próprio para seu desenvolvimento seguro, mediante o estímulo de incentivos fiscais.

Na terceira etapa, buscou-se analisar se ambos, marco regulatório da inovação e da nanotecnologia, contemplam a necessidade de o critério ambiental estar presente em suas legislações. No fim, discutiu-se sobre a existência e a necessidade de segurança jurídica nessas leis para atingir um desenvolvimento sustentável, por meio do atendimento aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

3.1 O MARCO REGULATÓRIO DA INOVAÇÃO NO BRASIL

O Brasil é visto com enorme potencial para o desenvolvimento de inovação tecnológicas, principalmente pela indústria. Incentivar esse comportamento é um dever do ente público, a partir dos fomentos e incentivos fiscais. Especificamente sobre produção de energias renováveis por meio de nanotecnologias, a inovação tecnológica é um assunto que precisa ser enfrentado de forma crítica e com segurança ambiental e jurídica.

A inovação, como hoje é conhecida, foi objeto de análise de Schumpeter¹⁹⁹, no início do século XX, “desde uma perspectiva econômica e seus impactos nas empresas”. Mas muito antes disso, já se falava em inovação. Sem ficar restrita ao âmbito econômico, a inovação foi levada às Ciências Sociais pelo pensamento de Bruno Latour²⁰⁰, cuja abordagem foi revisitada no capítulo anterior.

A disciplina econômica deu o maior impulso à construção de uma agenda da inovação. As considerações de Joseph Schumpeter, no início do século XX, tiveram um impacto considerável no debate sobre transformações tecnológicas e desenvolvimento econômico. Para ele, o desempenho financeiro de uma empresa está diretamente ligado aos investimentos nas novas combinações de produtos e processos produtivos da empresa, de modo que o empresário deve desempenhar o papel de liderança econômica e tecnológica. “O comportamento empreendedor, com a introdução e ampliação de inovações tecnológicas e organizacionais nas empresas, constitui um fator essencial para as transformações na esfera econômica e seu desenvolvimento no longo prazo”.²⁰¹ Schumpeter é um referencial teórico fundamental quando o assunto é inovação, pois ele

não só percebeu o papel central do crescimento econômico para a justiça social, como advertiu para os perigos da redistribuição prematura. (Opiniões sem dúvida relevantes para o debate econômico do Brasil contemporâneo.) Sem dúvida, Schumpeter distinguiu claramente a diferença entre crescimento e desenvolvimento: “Nem o mero crescimento da economia, representado pelo aumento da população e da riqueza, será designado aqui como um processo do desenvolvimento”²⁰²

Ao analisar os aspectos evolutivos e os conceitos de inovação, é possível determinar o seu progresso e sua base legal. Definir um ponto de partida para essa análise e, com isso, o momento inicial em que a ciência, a tecnologia e a inovação começaram a surgir no Brasil é um tanto quanto incerto, pois a sociedade está em constante evolução, influenciando a mudança do pensamento científico. A inovação está presente desde que a humanidade iniciou seus registros escritos, passando pelas máquinas de escrever, computadores, até os dias atuais²⁰³.

¹⁹⁹ SCHUMPETER apud AUDY, 2017.

²⁰⁰ ANDRADE, Thales de. Inovação tecnológica e meio ambiente: a construção de novos enfoques. *Revista Ambiente e Sociedade*, São Paulo, v. 7, n. 1, p. 90-106, jan./jun. 2004. E book.

²⁰¹ SCHUMPETER, 1982, apud ANDRADE, 2004, p. 90-91.

²⁰² SCHUMPETER, Joseph Alois. *Teoria do desenvolvimento econômico: uma investigação sobre lucros, capital, crédito, juro e o ciclo econômico*. Tradução: Maria Sílvia Possas. São Paulo: Nova Cultural, 1997. 09 p.

²⁰³ RODRIGUES, Isabel Nader. A promoção da inovação tecnológica e o meio ambiente, sob o enfoque constitucional. In: CONSELHO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM DIREITO – CONPEDI (org.). GARCIA, Denise S. S.; RODRIGUES, Horácio Wanderlei; THOMÉ, Romeu (coord.). *Direito, economia e desenvolvimento econômico sustentável II*. Florianópolis: CONPEDI, 2022. E-book.

O incremento da inovação como matéria constitucional, no País, ocorreu a partir da Constituição Federal de 1988, ponto de partida desta análise, embora o aspecto tecnológico esteja presente também no marco da propriedade industrial de 1996.

Em 1996, a Lei 9.279 que trata dos direitos e obrigações relativos à propriedade industrial, consolidando a relevância dos aspectos tecnológicos para o desenvolvimento industrial. Na sequência, Lei nº 9.609/1998 sobre Programa de computador, Lei nº 9.610/1998 dos Direitos Autorais e Conexos. Em 1997 Fundos Setoriais de Ciência e Tecnologia teve consolidado nesse período a fonte de arrecadação próprio para o mesmo. Já em 2003-2004 houve a implantação da Política Industrial tecnológica e de Comércio Exterior – PITCE , ainda com o ápice advindo da Lei 10.973/2004, lei da Inovação²⁰⁴.

O desenvolvimento tecnológico é propiciado por processos de inovação que permitem a introdução de novos produtos ou processos. O conceito de inovação está usualmente relacionado a um novo produto aplicado ao mercado. Os primeiros conceitos de inovação que resultaram da lei tinham como premissa inicial a introdução ou o aperfeiçoamento de atividade que resultasse em novo produto²⁰⁵. Posteriormente, com a alteração da Lei 13.243/2016, tem-se, no inciso VI do art. 2º, que

inovação: introdução de novidade ou aperfeiçoamento no ambiente produtivo e social que resulte em novos produtos, serviços ou processos ou que compreenda a agregação de novas funcionalidades ou características a produto, serviço ou processo já existente que possa resultar em melhorias e em efetivo ganho de qualidade ou desempenho²⁰⁶

A amplitude do conceito de inovação tecnológica é abordada pela Lei nº 11.196/2005, no seu art. 17, parágrafo primeiro, conhecida como Lei do Bem, a qual trata sobre os incentivos fiscais para a inovação tecnológica, sendo

a concepção de novo produto ou processo de fabricação, bem como a agregação de novas funcionalidades ou características ao produto ou processo que implique melhorias incrementais e efetivo ganho de qualidade ou produtividade, resultando maior competitividade no mercado²⁰⁷

Disponível em: <http://site.conpedi.org.br/publicacoes/906terzx/dq1456pn/gFUXYX5GAb7De1zS.pdf>. Acesso em: 17 jan. 2023.

²⁰⁴ BRASIL. *Finep Inovação e Pesquisa*. Histórico e Legislação. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/a-finep-externo/fndct/historico-e-legislacao>. Acesso em: 15 set. 2022.

²⁰⁵ RODRIGUES, 2022.

²⁰⁶ BRASIL. *Lei nº 10.973, de 2 de dezembro de 2004*. Dispõe sobre incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo e dá outras providências. Brasília: Presidência da República. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/110.973.htm. Acesso em: 15 set. 2022.

²⁰⁷ BRASIL. *Lei nº 11.196, de 21 de novembro de 2005*. Institui o Regime Especial de Tributação para a Plataforma de Exportação de Serviços de Tecnologia da Informação – REPES, o Regime Especial de Aquisição de Bens de Capital para Empresas Exportadoras - RECAP e o Programa de Inclusão Digital [...]. Brasília:

Diante disso, compreende-se que a inovação não se restringe somente ao novo produtos, mas abrange processos e funcionalidades que representem ganho de qualidade ou produtividade, tornando o mercado mais competitivo. Fomentar ferramentas tecnológicas que possam promover energias renováveis de forma mais eficiente e mais acessível estimula a competitividade do mercado, desenvolvendo a economia, a proteção do meio ambiente e, sem dúvida, a justiça social.

Esse modelo surgiu na Inglaterra, no início do século XX, com a indústria e o governo, no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), o qual “pode ser encontrado em sociedades estadistas ou *laissez-faire*, globalmente.” A *Triple Helix*, como um modelo de inovação universal, pode impulsionar estudantes, pesquisadores, gerentes, empresários e formuladores de políticas a compreender e integrar os papéis da universidade, da indústria e do governo na formação e no desenvolvimento para “uma região inovadora”, que tem capacidade de autorrenovação e inovação sustentável.

A hélice tripla foca na “inovação em inovação” e na dinâmica para fomentar um ecossistema de inovação, por meio de várias organizações híbridas, como escritórios de transferência de tecnologia, empresas de capital de risco, incubadoras, aceleradoras e parques científicos.[...]: • como fazer uma região inovadora por meio da abordagem da hélice tripla; • equilibrar o desenvolvimento e a sustentabilidade por “gêmeos de hélice tripla”; • matriz de hélice tripla para analisar a inovação regional globalmente; e • estudos de caso sobre o acelerador StartX de Stanford; o Ashland, Oregon Theatre Arts Clusters; e inovação regional Linyi na China²⁰⁸

A inovação foi trazida para o texto constitucional, ao lado da ciência e da tecnologia, com a Emenda nº 85/2015, havendo atualização do tratamento relacionado às atividades de ciência, tecnologia e inovação. O marco foi a inclusão do aspecto da inovação no capítulo IV, “Da Ciência, Tecnologia e Inovação”.²⁰⁹

Os debates sobre o PL 2.177/11, que originou a Emenda Constitucional nº 85/2015, surgiram a partir do Código Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação, hoje convertido em Lei Ordinária 13.243/2016. Com isso, afetou-se diretamente a Lei 10.973/04, também

Presidência da República. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/111196.htm. Acesso em: 03 ago. 2021.

²⁰⁸ ETZKOWITZ, H.; ZHOU, C. *The triple helix: University-industry-government innovation and entrepreneurship*. Londres: Taylor and Francis, 2017. 342 p. E-book. DOI: <https://doi.org/10.4324/9781315620183>. Disponível em: https://www.mendeley.com/catalogue/e917563e-9d3c-392f-be1f-66a658c7df16/?utm_source=desktop&utm_medium=1.19.4&utm_campaign=open_catalog&userDocumentId=%7B0486120e-8759-3d2e-894d-5d04ca1a14c8%7D. Acesso em: 10 mar. 2020.

²⁰⁹ RODRIGUES, 2022.

conhecida por Lei da Inovação, que dispõe sobre incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo²¹⁰. A seguir, consta um quadro cronológico das leis, que serão objeto desta tese.

Quadro 3 – Legislação sobre inovação analisada

ANO	LEI	DISPÕE SOBRE
2004	Lei 10.973	incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo e dá outras providências;
2005	Lei 11.196	[...]dispõe sobre incentivos fiscais para a inovação tecnológica [...] e dá outras providências; LEI DO BEM
2016	Lei 13.243	estímulos ao desenvolvimento científico, à pesquisa, à capacitação científica e tecnológica e à inovação [...]nos termos da Emenda Constitucional nº 85, de 26 de fevereiro de 2015.

Quadro elaborado pela autora.

As leis 11.196 e 13.243 impactam a Lei 10.973. Especificamente, a Lei 11.196 é entendida como “o principal instrumento de estímulo às atividades de PD&I nas empresas brasileiras”, pois em seu capítulo III, trata dos incentivos fiscais para alguns setores produtivos, contribuindo, assim, com o valor agregado na produção de bens e serviços²¹¹.

A Lei 10.973/2004 é considerada como o marco legal da inovação no Brasil. Composta por somente 29 artigos, distribuídos em sete capítulos. No primeiro, com as disposições preliminares, traz conceitos e princípios norteadores, sendo quatro deles voltados ao estímulo à inovação de diferentes atores participantes do ecossistema. No art. 1º, limita sua abrangência aos meios produtivos, tratando de “medidas de incentivo à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo, com vistas à capacitação tecnológica, ao alcance da autonomia tecnológica e ao desenvolvimento do sistema produtivo nacional e regional do País.”²¹²

No art. 2º, inciso V, define as Instituição Científica, Tecnológica e de Inovação (ICTs) e, no inciso VI, os Núcleo de Inovação Tecnológica (NIT). Segundo a lei, as ICTs referem-se a “órgão ou entidade da administração pública direta ou indireta ou pessoa jurídica de direito privado sem fins lucrativos [...], que inclua em sua missão institucional [...] a

²¹⁰ RODRIGUES, 2022.

²¹¹ BRASIL. *Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI*, 21 mar. 2023. O que é a Lei do Bem. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/lei-do-bem/paginas/o-que-e-a-lei-do-bem>. Acesso em: 10 jun. 2023.

²¹² BRASIL, 2004.

pesquisa básica ou aplicada de caráter científico ou tecnológico ou o desenvolvimento de novos produtos, serviços ou processos”²¹³. Já os NITs, são estruturas instituídas pelas ICTs.

Ao longo de toda lei, menciona-se a criação de ambientes especializados e o estímulo à integração e à cooperação entre ICTs e empresas. A partir de 2016, foi permitido que as ICTs públicas, com a alteração dada pela Lei 13.243, participassem, mediante contrapartida financeira, com prestação de serviços para empresas privadas voltadas à inovação tecnológica, dando autonomia via contratos ou convênios²¹⁴. Até 2016, as universidades públicas não podiam firmar contratos com empresas privadas.

Ainda na mesma lei, em seu art. 19, inciso VI, estão previstos, como instrumentos de estímulo à inovação nas empresas, os incentivos fiscais. Sem pormenorizar, a lei define que cabe à União fomentar a inovação nas empresas com a concessão de incentivos fiscais, buscando a consecução dos objetivos estabelecidos na própria legislação.²¹⁵ Porém, os incentivos fiscais à inovação tecnológica só foram regulados posteriormente pela Lei 11.196/2005, a qual será objeto do capítulo seguinte.

Dentre os princípios estipulados na Lei 10.973, nos quatorze incisos listados no art. 2º, nenhum deles contempla ou é voltado ao cuidado do meio ambiente ou à preservação ambiental. Os “ambientes favoráveis”, listados no inciso VIII do art. 2º, não se referem ao meio ambiente, mas às condições favoráveis para cooperação e troca de informações entre empresas e ICTs. Da mesma forma, quando se trata das diretrizes da lei, listadas no art. 27, em seus seis incisos, não há referência ao meio ambiente. Desse modo, é tentador afirmar, que o direcionamento da lei é promover o desenvolvimento econômico, científico e social, mas que a preocupação ambiental não tem um componente acentuado nesse setor.

A Constituição Federal determina a competência comum da União, dos municípios, dos estados e do Distrito Federal em “proporcionar os meios de acesso à cultura, à educação, à ciência, à tecnologia, à pesquisa e à inovação”²¹⁶, também cabendo a eles legislar concorrentemente sobre ciência, tecnologia, pesquisa, desenvolvimento e inovação²¹⁷. Segundo seu art. 218, o tratamento dado à ciência, tecnologia e inovação coloca o Estado como incentivador, atribuindo caráter prioritário à pesquisa científica básica e tecnológica para a solução de problemas e para o desenvolvimento do sistema produtivo nacional e regional. Nesse âmbito, a preocupação inclui a formação de recursos humanos nessas áreas,

²¹³ BRASIL, 2004.

²¹⁴ BRASIL, 2004. Art. 4º e art. 8º.

²¹⁵ BRASIL, 2004. Art. 28.

²¹⁶ BRASIL. *Constituição da República Federativa do Brasil de 1988*. Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm.

²¹⁷ BRASIL, 1988. CF, Art. 24, IX.

mediante apoio em atividades extensionistas e condições especiais de trabalho para quem delas se ocupe²¹⁸

A possibilidade de fomento à inovação, realizada por universidades e/ou por instituições de educação profissional e tecnológica, está materializada no art. 213, § 2º da CF. que estipula a concessão de apoio financeiro do Poder Público²¹⁹.

O art. 219, parágrafo único, determina o fomento à formação e ao fortalecimento da inovação nas empresas; a constituição e a manutenção de parques e polos tecnológicos e de demais ambientes promotores da inovação; a atuação dos inventores independentes e a criação, absorção, difusão e transferência de tecnologia, tanto para entes públicos quanto privados. Ainda, há incentivos para a instalação de ambientes promotores da inovação, como incubadoras de empresas, parques e polos tecnológicos, conforme art. 219-A:

A União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios poderão firmar instrumentos de cooperação com órgãos e entidades públicos e com entidades privadas, inclusive para o compartilhamento de recursos humanos especializados e capacidade instalada, para a execução de projetos de pesquisa, de desenvolvimento científico e tecnológico e de inovação, mediante contrapartida financeira ou não financeira assumida pelo ente beneficiário, na forma da lei²²⁰.

Dessa forma, percebe-se que as pesquisas realizadas nos centros de desenvolvimento públicos e privados podem e devem ser fomentadas pelo Poder Público como forma de promoção social. As universidades públicas e os institutos públicos de pesquisa, que costumam ser os principais locais de desenvolvimentos de pesquisas nacionais, não excluem a participação das universidades privadas nesse processo de troca de recursos humanos e capacidade existente, sendo importante a criação de uma legislação e estruturas próprias “para fomento e facilitação das pontes entre a academia e a sociedade, especialmente com o setor industrial, com vistas à promoção das atividades de P&D e de inovação”²²¹. Restam alguns aprimoramentos ainda para que tais pesquisas sejam promotoras de um meio ambiente saudável e não somente indutoras de desenvolvimento econômico.

Depois da EC 85/2015, em 2018, com o Decreto 9.283, houve a regulamentação de um conjunto de alterações promovidas pela lei da inovação, trazendo o conceito de ecossistema de inovação, no artigo 2º, inciso II, alínea “a”, como espaços que potencializem o

²¹⁸ RODRIGUES, 2022.

²¹⁹ Ibidem.

²²⁰ BRASIL, 1988. CF, Art. 219-A.

²²¹ GIMENEZ, Ana Maria *et al.* O novo marco legal de ciência, tecnologia e inovação no Brasil: desafios para a universidade. *Desenvolvimento em debate*, Rio de Janeiro, v. 6, n. 2, p. 99-119, 2018. Disponível em: <https://revistas.uftj.br/index.php/dd/article/view/32171/18229>. Acesso em: 07 set. 2022. 03 p.

desenvolvimento da sociedade do conhecimento, consolidando, assim, o tripé da inovação, conhecido como o modelo da tríplice hélice: Estado, empresas e universidades²²².

A lógica desse ecossistema tem por base a concepção de que o conhecimento produzido pelas universidades pode e deve ser levado para a sociedade a partir da produção nas indústrias. Isso é possível mediante a elaboração de políticas públicas, incluindo os incentivos fiscais, capazes de fomentar essa produção.

The Triple Helix model centres on interactions between universities – industry – government as the key to improving the conditions required for the innovations at the heart of knowledge based societies. Industry becomes the dynamic to the triple helix, taking on the role of production while the government is attributed responsibility for overseeing the contractual relationships capable of guaranteeing interactions and stable relationships of exchange with universities allocated the role of producing new knowledge and technology. This represents the principle of production underlying knowledge based economies²²³

Dessa forma, a indústria é o agente que torna dinâmico o modelo da tríplice hélice. Responsável pela produção, ela promove a materialização do conhecimento produzido nas universidades. Ao Estado, cabe a garantia desse movimento, assim como a proteção do meio ambiente, sendo as tecnologias ambientalmente limpas uma forma de propiciar isso.

Na perspectiva da tríplice hélice, há o deslocamento da tríade Estado e indústria, para a tríade, universidade, indústria e governo, visando a uma Sociedade do Conhecimento no lugar de uma Sociedade Industrial. A ideia básica é que o potencial de inovação e desenvolvimento econômico em uma Sociedade do Conhecimento reside na hibridação de elementos da universidade, indústria e governo para gerar novos formatos institucionais e sociais para a produção, transferência e aplicação do conhecimento. A transferência e as interações entre esses elementos são uma função do complexo conjunto de vínculos formais e informais entre os sistemas de ensino superior, as empresas e o governo.²²⁴ Foster afirma que essa interação permite desenvolver um sistema de inovação nacional e regional: “The interactions between the three strands of the ‘helix’ creates the unique and distinctive characteristics of an innovation system at either a national or regional level.”²²⁵

²²² RODRIGUES, 2022.

²²³ FARINHA, Luis; FERREIRA, João J. Triangulation of the triple helix: a conceptual framework. *Triple Helix Association*, 2013. Working papers. Disponível em: <https://triplehelixassociation.org/wp-content/uploads/2013/01/Triangulation-of-the-Triple-Helix-A-Conceptual-Framework.pdf>. Acesso em: 20 set. 2022. 10 p.

²²⁴ FOSTER, Sheila R.; IAIONE, Christian. The City as a Commons. *Yale Law & Policy Review*, New Haven, Connecticut, v. 34, n. 2, p. 282-349, 2016. Disponível em: <https://yalelawandpolicy.org/city-commons>. Acesso em: 20 set. 2022.

²²⁵ *Ibidem.*, p. 330-331.

Já se discutem, na doutrina, modelos da hélice quadrupla²²⁶ e, mais recentemente, um modelo de hélice quádrupla²²⁷. No modelo da hélice quádrupla, inclui-se a sociedade civil organizada como uma das hélices. “Esta quarta hélice associa a mídia as indústrias criativas, cultura, valores, estilos de vida, arte e classe criativa”²²⁸. O modelo da hélice quádrupla é descrito por Mineiro como uma estrutura transdisciplinar que analisa o desenvolvimento sustentável e a ecologia social. “O modelo aponta que um equilíbrio sustentável entre os caminhos do desenvolvimento da sociedade e da economia, com seus ambientes naturais, é essencial para a continuidade do progresso das civilizações humanas”²²⁹

Carayannis e Campbell, ao analisarem a evolução para o modelo da quádrupla hélice, colocam o meio ambiente como uma das hélices propulsoras do ecossistema de inovação, sendo essencial para o progresso das atuais e futuras gerações.

The quintuple helix brings in the perspective of the natural environments of society and the economy for knowledge production and the innovation systems. “For the purpose of further discussion and analysis we lastly want to propose and introduce the five-helix model of the ‘Quintuple Helix’, where the environment or the natural environments represent the fifth helix” [44] (p. 61). A sustainable balance between the paths of development of society and the economy, with their natural environments, is essential for the further progress of human civilizations. The quintuple helix, however, also emphasizes that the natural environments should be conceptualized as drivers for the further advance of knowledge production and innovation systems²³⁰.

À vista disso, foi idealizando o modelo a seguir:

²²⁶ Proposta por Arnkil et al., 2010; Carayannis et al., 2014; e Campbell, 2009.

²²⁷ Proposta por Carayannis e Campbell, 2011.

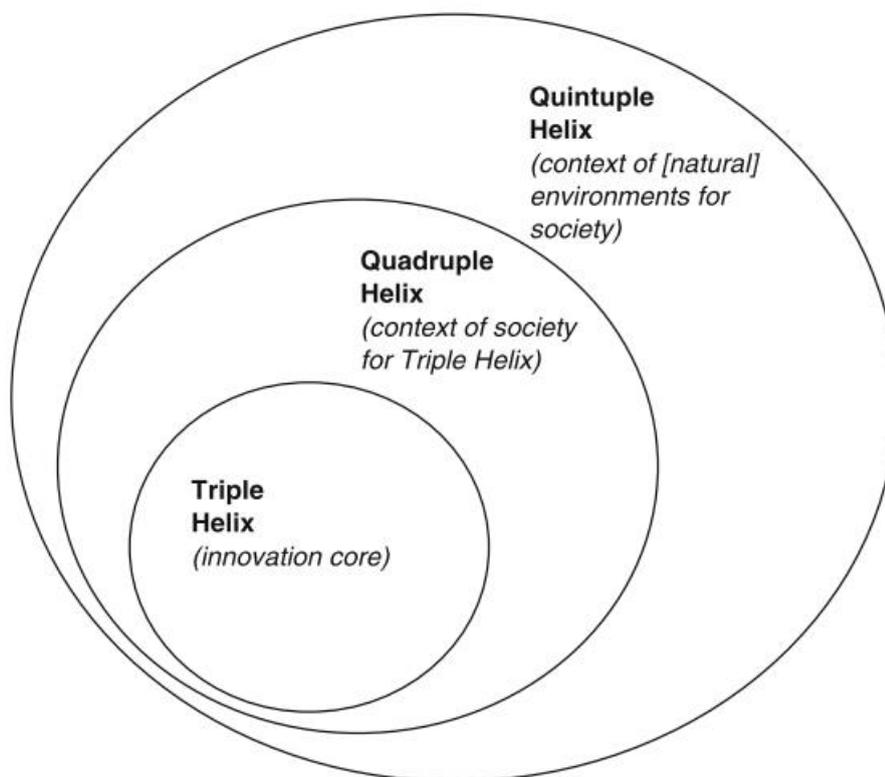
²²⁸ MINEIRO, Andréa Aparecida da Costa; CASTRO, Cleber Carvalho de. A Hélice Quádrupla e sua relação com a visão de futuro dos Parques Científicos e Tecnológicos consolidados no Brasil. *Revista de Administração, Sociedade e Inovação – RASI*, Volta Redonda/RJ, v. 6, n. 2, p. 24-42, mai./ago. 2020. Disponível em: https://rasi.vr.uff.br/public/site/images/PDF/422_rasi.pdf. Acesso em: 17 jan. 2023. 03 p.

²²⁹ MINEIRO, Andréa Aparecida da Costa. *Hélice quádrupla e quádrupla e seus relacionamentos em parques científico-tecnológicos consolidados no Brasil*. 2019. 258 f. Tese (Doutorado em Administração) – Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2019. Disponível em:

http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/45731/1/TESE_H%20C3%A9lice%20qu%20C3%A1drupla%20e%20qu%20C3%ADntupla%20e%20seus%20relacionamentos%20em%20parques%20cient%20C3%ADfco-tecnol%20C3%B3gicos%20consolidados%20no%20Brasil.pdf. Acesso em: 17 jan. 2023. 32 p.

²³⁰ CARAYANNIS, E. G.; CAMPBELL, D. F. Open innovation diplomacy and a 21st century fractal research, education and innovation (freie) ecosystem: Building on the quadruple and quintuple helix innovation concepts and the —Mode 3| knowledge production system. *Journal of the Knowledge Economy*, v. 2, p. 327-372, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13132-011-0058-3>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13132-011-0058-3#citeas>. Acesso em: 17 jan. 2023. 341-342 p.

Figura 8 – Modelos de Inovação



Fonte: CARAYANNIS; CAMPBELL (2011).

A relevância que a inovação possui para a preservação do meio ambiente é de clara compreensão. Os recursos naturais estão se esgotando. A ausência de substâncias essenciais à produção gera escassez de alimentos e de matéria-prima para as indústrias, afetando toda a cadeia produtiva e, conseqüentemente, a economia. Fato esse facilmente observado a partir da pandemia da Covid-19, quando a falta de matéria-prima afetou todos os setores da economia. Em contraponto, nesse período, muitos ecossistemas naturais conseguiram se renovar pela ausência da ação do homem. Com isso, verifica-se que, quanto menos interferimos na natureza, mais chances de ela se renovar. Para que isso aconteça, é preciso inovar.

A inovação requer uma nova ciência, com novos processos e materiais que consumam a menor quantidade possível de matéria-prima natural. As nanotecnologias se prestam a essa descrição.

Nas últimas décadas, a nanotecnologia vem demonstrando um grande número de possibilidades de construção de materiais fascinantes e dotados de conjuntos de propriedades até aqui desconhecidos, a partir da auto-organização de matérias-primas triviais em materiais nano-estruturados. A estruturação de materiais nas várias escalas de tamanho está permitindo a superação de muitos paradigmas bem estabelecidos mas que foram derivados das propriedades de substâncias puras ou

isoladas. Dessa forma, estão sendo criados numerosos exemplos de grande impacto, como, por exemplo, no caso dos meta-materiais²³¹.

Ressalva-se que, ao se analisar o efeito da inovação no meio ambiente, é necessário não desconsiderar o princípio da precaução, a fim de que a inovação compactue com a promoção do bem-estar ambiental, conforme preconizado no art. 225 da CF. Nesse sentido, Gilles observa-se que a quantidade de matéria, volume e peso das coisas interferem na alocação de recursos naturais finitos:

ganhar tempo é preciso, mas também é necessário diminuir o peso dos objetos e torná-los mais móveis, reduzir as quantidades de matéria utilizada, fabricar micro e nano objetos, substituir a troca de produtos físicos pelos fluxos eletrônicos nas redes. Estamos numa sociedade em que o princípio de aceleração reveste-se de outro princípio, o princípio de leveza, cujas aplicações são inúmeras nos setores mais variados da vida econômica e social. Ele se concretiza nas técnicas de miniaturização e de digitalização, nas microtecnologias e nas nanotecnologias, uma vez que todos os campos de atividades estão orientados para a conquista do infinitamente pequeno e elaboram microssistemas, mini e micromotores, micromáquinas, microcanais, microcaptadores, microacionadores²³².

Gilles afirma que o mundo hipertecnológico se constrói com o avanço dos estudos, da manipulação, da fabricação dos micro e dos nano semicondutores, sendo comum dizer que “menor é melhor”²³³. Nesse contexto, a inovação tecnológica pode colaborar significativamente para a produção de uma matriz energética renovável e eficiente quanto à produção de energias limpas. Com a democratização do conhecimento, é possível efetivamente criar processos e produtos inovadores que tragam contribuições para a sociedade. Nas palavras de Carayannis e Campbell:

Furthermore, the “innovation ecosystem,” combining and integrating social and natural systems and environments, stresses the importance of a pluralismo of a diversity of agents, actors, and organizations: universities (universities of the sciences and arts), small- and medium-sized enterprises, and major corporations, arranged along the matrix of fluid and heterogeneous innovation networks and knowledge clusters. This all may result in a democracy of knowledge, driven by a pluralism of knowledge and innovation and by a pluralism of paradigms of knowledge modes. The democracy of knowledge, as a concept and metaphor, is being carried by the understanding that there operates (at least potentially) a co-evolution between processes of advancing democracy and processes of advancing knowledge and innovation. Between processes and structures of advanced knowledge democracy, knowledge society, and knowledge economy, there is a certain congruence.²³⁴

²³¹ GALEMBECK, Fernando. Inovação para a sustentabilidade. *Revista Química Nova*, São Paulo, v. 36, n. 10, p. 1600-1604, 2013.

²³² GILLES, L. *Da leveza: rumo a uma civilização sem peso*. Santana de Parnaíba/SP: Manole, 2016. E-book.

²³³ *Ibidem*.

²³⁴ CARAYANNIS, CAMPBELL, 2011, p. 342.

Os *ecossistemas de inovação* são relevantes em razão da contribuição plúrima de diversos agentes que compõe as redes de inovação fluídas, heterogêneas e *clusters* de conhecimento. Dessa forma, contribuem para a democratização do conhecimento e para os processos de avanço do conhecimento e da inovação. Dentre esses processos, há a nanotecnologia.

A legislação que envolve inovação, no Brasil, ainda está bastante tímida quando o assunto é meio ambiente, mas, aos poucos, ocorrem mudanças de paradigmas, em que o meio ambiente e o desenvolvimento econômico e social podem coexistir de forma harmônica. Como o caso do PL 1458/2022, já aprovado com parecer da Comissão do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (CMADS), que modifica a Lei de Informática (Lei 8.248/1991), o qual estabelece “prazo para que os bens de informática comercializados no País atendam a requisitos ambientais e de eficiência energética”²³⁵.

Bem como o PL 1880/2022, que “cria programa de incentivos para a produção em escala de células de combustível aproveitando o potencial das cadeias de valor do hidrogênio, etanol e biogás”²³⁶. O referido PL é um movimento importante para a transição energética mencionada no capítulo 2 da presente tese, pois trata-se de uma etapa que busca a descarbonização do setor industrial e aponta alternativa de substituição das células de combustíveis em frotas de caminhões pesados com veículos híbridos e elétricos, em atendimento ao Plano Decenal de Expansão de Energia 2030²³⁷.

Os referidos projetos de lei trazidos acima são exemplos que conversam com o objeto desta tese e são relevantes uma vez que apontam a necessidade de a inovação entrar em sintonia com o meio ambiente e promover o desenvolvimento sustentável, observando o ODS7. Contudo, o Estado, como regulador dessas relações, necessita consolidar a legislação que serve como marco regulatório. É o caso do PL 880 mencionado a seguir.

²³⁵ BRASIL. *Projeto de Lei nº 1458/2022*. Modifica a Lei nº 8.248, de 23 de outubro de 1991 (Lei de Informática), estabelecendo prazo para que os bens de informática comercializados no País atendam a requisitos ambientais e de eficiência energética. Brasília: Câmara dos Deputados. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2325594>. Acesso em: 11 jun. 2023.

²³⁶ BRASIL. *Projeto de Lei nº 1880/2022*. Cria programa de incentivos para a produção em escala de células de combustível, aproveitando o potencial das cadeias de valor do hidrogênio, etanol e biogás. Brasília: Senado Federal. Disponível em: <https://legis.senado.leg.br/sdleg-getter/documento?dm=9180883&ts=1658512842482&disposition=inline>. Acesso em: 11 jun. 2023.

²³⁷ PLANO Decenal de Expansão de Energia 2030. *Empresa de Pesquisa Energética – EPE*. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2030>. Acesso em: 11 jun. 2023.

3.2 O PROJETO DE LEI DO MARCO REGULATÓRIO DA NANOTECNOLOGIA

A nanotecnologia como uma tecnologia emergente e economicamente sustentável tem ocupado papel de destaque entre a comunidade científica, avançando quanto ao conhecimento e potencializando processos de inovação que geram novas tecnologias e melhoramentos, especialmente na área ambiental. Mas a legislação não tem acompanhado essa evolução.

Manickam é taxativo quando o assunto é nanotecnologia. Como um processo de inovação, ressalta que “the application of nanotechnology is regularly practices as innovations in science and technology are often carried out at measurements of a 100 nm or less”²³⁸. Ele considera o tamanho um motivo predominante para um efeito substancial para a eletricidade e outros campos.

Prover energia renovável de forma mais eficiente e com a utilização de menos material é objeto para nanotecnologia. Para tanto, contudo, estar atento ao princípio da precaução para novos materiais não é o suficiente. Com a mesma acuidade e forma que foi criada regulamentação para tratar de materiais radioativos, nucleares²³⁹, produtos químicos ou biológicos que possam trazer risco ao meio ambiente ou à saúde dos habitantes do planeta, deverá ser tratada a legislação sobre a nanotecnologia. A regulamentação da matéria passa por “normas técnicas”, “normas científicas”²⁴⁰ e “normas jurídicas”, tanto em contexto nacional como internacional. Entre as instituições estrangeiras, encontram-se as organizações de normalização técnica como a International Standards Organization – ISO e a American Society for Testing and Materials –ASTM, além de organizações como Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), Organização Mundial de Saúde (OMS), Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO), entre outras²⁴¹.

Como exemplo de norma técnica internacional tem-se a ISO 17200:2020 Nanotechnology — Nanoparticles in powder form — Characteristics and measurements, que

²³⁸ MANICKAM, 2021, 58 p.

²³⁹ BRASIL. *Lei nº 9.765, de 17 de dezembro de 1998*. Institui taxa de licenciamento, controle e fiscalização de materiais nucleares e radioativos e suas instalações. Brasília: Presidência da República. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19765.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%209.765%2C%20DE%2017%20DE%20DEZEMBRO%20DE%201998&text=Institui%20taxa%20de%20licenciamento%2C%20controle,e%20radioativos%20e%20suas%20instala%C3%A7%C3%B5es. Acesso em: 08 jun. 2023.

²⁴⁰ BERGER FILHO, Airton Guilherme; SILVEIRA, Clóvis E. Malinverni. Governança dos riscos das nanotecnologias no Brasil: entre a manutenção do status quo e a regulação nanoespecífica. *Interesse público*, v. 22, n. 122, p. 251-273, jul./ago. 2020.

²⁴¹ Ibidem.

contém “characteristics that pertain to specific industrial applications of nanoparticles in powder form and detailed measurement protocols, as well as characteristics related to health, safety and environmental issues”²⁴² Essa norma atende ao ODS 9. Também há a IEC/TS 62622:2012, cuja especificação suporta a garantia de qualidade na produção e o uso de grades artificiais em diferentes áreas de aplicação em nanotecnologia, com foco nas grades unidimensionais (1D) e bidimensionais (2D)²⁴³. Tais regulamentações internacionais são de ordem técnicas de caracterização, mas são observadas por pesquisadores de todo o mundo os quais buscam excelência em seu campo de atuação, sendo, portanto, também informativas.

Berger destaca que há distintos arranjos regulatórios que compõem a rede global informal de regulação das nanotecnologias. Chamada por ele de “rede de governança”, é composta por “Códigos de conduta, guia de boas práticas, sistema de gestão de risco, normas técnicas e ferramentas de avaliação de risco e instrumentos de tomada de decisão [...] enquanto os instrumentos estatais de comando e controle nanoespecíficos constituem uma exceção.”²⁴⁴ As regulamentações existentes que envolvem a proteção do meio ambiente, saúde e segurança não contemplam as especificidades necessárias da nanoescala.²⁴⁵

No Brasil, há uma crescente tendência para gerar políticas públicas de incentivo e financiamento de novas tecnologias envolvendo nanomateriais, em vez de normatizar e regulamentar a matéria. Esse comportamento decorre de interesses políticos nem sempre voltados à coletividade, são orientados para financiamento de projetos que envolvam as áreas de interesse. Em alguns casos, essas políticas públicas poderiam ser voltadas para a produção e potencialização da eficiência em energias renováveis, em atendimento ao ODS 7 – Energia Acessível e Limpa, objeto de estudo do capítulo 5 desta tese.

Por essa razão, a legislação precisa ser analisada, bem como verificada a sua situação atual de consolidação, visando aos incentivos para o setor de energias renováveis potencializadas com P&D em nanotecnologias. Essa análise é necessária para viabilizar estímulos financeiros direcionados à pesquisa e ao desenvolvimento (P&D) em nanotecnologias que contemplem energias renováveis como forma de contribuir para a transição energética e atender aos ODS. Mediante uma legislação consolidada, o investidor possui mais segurança jurídica em seu empreendimento, e a sociedade, mais segurança quanto

²⁴² ISO. *Online Browsing Platform (OBP)*, 2020. ISO 17200:2020 (en), Nanotechnology, Nanoparticles in powder form, Characteristics and measurements. Disponível em: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:17200:ed-1:v1:en>. Acesso em: 10 jun. 2023.

²⁴³ ISO. *Online Browsing Platform (OBP)*, out. 2012. IEC/TS 62622:2012, Artificial gratings used in nanotechnology, Description and measurement of dimensional quality parameters. 34 p. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/53012.html>. Acesso em: 10 jun. 2023.

²⁴⁴ BERGER FILHO, 2020, p. 255.

²⁴⁵ *Ibidem*.

à observância do critério ambiental, conduzindo a uma estabilidade climática, conforme explorado no capítulo 2 da presente tese.

Com relação à escolha do fomento para as políticas públicas voltadas à inovação e às nanotecnologias, Berger acredita que “esses recursos poderiam ser melhor direcionados e funcionar como ‘sistemas de regulamentação ad hoc’, permitindo que algumas áreas de investigação da nanotecnologia ‘floresçam’, deixando que outras ‘murchem’”²⁴⁶. Assim, seria possível incentivar áreas que apresentem um potencial maior no que diz respeito à nanotecnologia, como o caso da produção de energias renováveis, cumprindo um duplo objetivo: desenvolver as nanotecnologias e promover a proteção ambiental. Contudo, destaca-se a necessidade de regulamentação para evitar predileção política de uma área em detrimento de outra.

O movimento, por parte do Estado, em programas eficientes que possam promover a nanosseguurança e gerenciar potenciais riscos dessa tecnologia ocorre a passos lentos. Há necessidade de regulamentar o acesso à informação e a pesquisa na área de nanotecnologia, a fim de evitar riscos e ser possível a utilização de maneira segura e responsável. Para tanto, é preciso envolver toda a comunidade científica no debate, além de empresários e demais agentes que comprometidos com o assunto, tanto para o desenvolvimento da ideia quanto para o uso.

Para o professor Wilson Engelmann, ao prefaciando a obra de Berger Filho²⁴⁷, as novas tecnologias desenvolvem-se mediante a articulação de estruturas de redes. Ele afirma que “as novas tecnologias, e entre elas as nanotecnologias, estão desmontando a pirâmide. No seu lugar, ganha força a estrutura da rede, onde seus nós têm condições de promover articulações flexíveis e quase infinitamente abertas a novas conexões”. Berger Filho explora a diferença entre a “regulamentação” piramidal, usualmente utilizada no direito devido à sua hierarquia e “regulação”, e as estruturas em rede, que são mais dinâmicas e adaptáveis, conforme a evolução do assunto²⁴⁸. Cabe destacar que “estrutura em rede”²⁴⁹ não é sinônimo de “estrutura

²⁴⁶ Ibidem., p. 256.

²⁴⁷ BERGER FILHO, 2018.

²⁴⁸ Ibidem.

²⁴⁹ Autores que pesquisam o assunto:

OST, François; KERCHOVE, Michel van de. *De la pyramide au réseau? Pour une théorie dialectique du droit*. Bruxelles: Publications des Facultés Universitaires Saint-Louis, 2002.

TEUBNER, Gunther. *O Direito como sistema autopoiético*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1989.

TEUBNER, Gunther. Hybrid Laws: Constitutionalizing Private Governance Networks. In: KAGAN, Robert; WINSTON, Kenneth (ed.). *Legality and Community*. Berkeley Public Policy Press, Berkeley, 2002, 311-331.

TEUBNER, Gunther. The Many-Headed Hydra: Networks as Higher-Order Collective Actors. In:

MCCAHERY, J.; PICCIOTTO, S.; SCOTT, C. (ed.) *Corporate Control and Accountability*. Oxford: Clarendon Press: 1993, 41-60.

de rede”. A primeira é a forma como o sistema é organizado, e a segunda refere-se aos elementos necessários para a composição desse sistema.

A regulação que influencia nos rumos da nanotecnologia não fica restrita à atuação dos Estados, expande-se a uma rede não hierárquica de normas jurídicas e não jurídicas produzidas e aplicadas por instâncias estatais, organizações internacionais, empresas transnacionais, coalizões de organizações não governamentais e cidadãos, bem como comunidades epistêmicas.²⁵⁰

A regulação do direito sobre a estrutura em rede é contemplada por diversos autores, como Ost e Kerchove, Teubner, Losano e Farias²⁵¹, os quais discutem as múltiplas cadeias normativas mutáveis, a interdependência dos conhecimentos, a complexidade do assunto, a ausência de hierarquia normativa e a presença de sua horizontalidade, bem como a realidade econômica da sociedade, que é função temporal e é um processo dinâmico.

a sociedade está se desenvolvendo em rede, a ciência e a tecnologia operam em rede – a aceleração da inovação na nanotecnologia e outras tecnologias emergentes em escala global resultam desse fenômeno –, o movimento ambientalista e outras formas de expressão da sociedade civil organizada e outros grupos de pressão igualmente se articulam e se expressam em rede. O direito se desenvolve e expressa cada vez mais em rede!²⁵²

A relevância de trazer à discussão o modelo de regulação em rede se dá pela dinamicidade do assunto. A nanociência e as nanotecnologias são áreas em constante evolução, e seu desenvolvimento depende das informações em rede, não podendo o direito eximir-se de acompanhar tal evolução. É preciso superar a pragmática fórmula de “tese,

LOSANO, Mario G. Modelos teóricos, inclusive na prática: da pirâmide à rede. Novos paradigmas nas relações entre direitos nacionais e normativas supraestatais. *Revista do Instituto dos Advogados de São Paulo - RIASP*, São Paulo, v. 8, n. 16, p. 264-284, jul./dez. 2005.

FARIA, José Eduardo Campos de Oliveira. Reforma constitucional em período de globalização econômica. *Revista da Faculdade de Direito*, Universidade de São Paulo, São Paulo, v. 90, p. 253-265, jan. 1995.

²⁵⁰ BERGER FILHO, 2018, p. 03.

²⁵¹ Autores que pesquisam o assunto:

OST, François; KERCHOVE, Michel van de. *De la pyramide au réseau? Pour une théorie dialectique du droit*. Bruxelles: Publications des Facultés Universitaires Saint-Louis, 2002.

TEUBNER, Gunther. *O Direito como sistema autopoietico*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1989.

TEUBNER, Gunther. Hybrid Laws: Constitutionalizing Private Governance Networks. In: KAGAN, Robert; WINSTON, Kenneth (ed.). *Legality and Community*. Berkeley Public Policy Press, Berkeley, 2002, 311-331.

TEUBNER, Gunther. The Many-Headed Hydra: Networks as Higher-Order Collective Actors. In: MCCAHERY, J.; PICCIOTTO, S.; SCOTT, C. (ed.) *Corporate Control and Accountability*. Oxford: Clarendon Press: 1993, 41-60.

LOSANO, Mario G. Modelos teóricos, inclusive na prática: da pirâmide à rede. Novos paradigmas nas relações entre direitos nacionais e normativas supraestatais. *Revista do Instituto dos Advogados de São Paulo - RIASP*, São Paulo, v. 8, n. 16, p. 264-284, jul./dez. 2005.

FARIA, José Eduardo Campos de Oliveira. Reforma constitucional em período de globalização econômica. *Revista da Faculdade de Direito*, Universidade de São Paulo, São Paulo, v. 90, p. 253-265, jan. 1995.

²⁵² BERGER FILHO, 2018, p. 16.

antítese e síntese” e perceber que se trata de “relações plurais, sem a pretensão de fornecer verdades definitivas, mas sim respostas ‘provisórias’”²⁵³. Muito embora deva-se ser observada a segurança jurídica, é necessário contemplar essa mutação. Delmas-Marty, citado por Berger, afirma que

não se deve esquecer que os sistemas de direito são sistemas normativos e demandam soluções práticas para esta pluralidade das relações e esta ambiguidade, portanto, sínteses, ainda que estas devam permanecer modestas, provisórias e evolutivas, sem pretensão a uma mutação radical nem a uma verdade que seria imutável e definitiva.²⁵⁴

A normatização vai além do processo legislativo, pois, na interpretação de Berger, a compreensão das informações que circulam em outras redes influencia na produção científica da própria norma e, dessa forma, contribui para a obtenção de um resultado mais eficiente desta²⁵⁵. Para essa construção, é preciso ter clareza da interdependência entre Estado e sociedade civil, em um processo contínuo de coordenação dos agentes colaboradores da norma: atores, grupos sociais e instituições (públicas e não estatais)²⁵⁶. Nesse formato, a norma se descentraliza e forma uma rede de agentes que contribuem para a sua formação.

Os modos de regulação têm evoluído ao longo do tempo. Fala-se em autorregulação e metarregulação, que, embora não sejam conceitos definidos na doutrina, Berger o faz, em linhas gerais. Para ele, a primeira contempla uma regulação voluntária, de forma autônoma de uma regulamentação estatal específica da matéria, a qual é criada pelos próprios agentes destinatários. Já a metarregulação implica uma interferência ou supervisão do Estado à autorregulação “sendo que ‘cada camada regula a regulação da outra em várias combinações de influência horizontal e vertical’”²⁵⁷. Com isso, o Estado atua como um “Estado Regulador”, gestor de setores-chave da economia²⁵⁸, impondo regras determinadas e harmonizando as ações dos setores envolvidos. Ressalta-se que não se trata apenas do setor produtivo, que envolve o âmbito econômico e o social, mas também ambiental, cuja proteção cabe ao Estado.

Esse novo movimento do Estado é apontado por Jean-Jacques Chevallier²⁵⁹, como uma busca por mais eficácia da norma jurídica, sendo marcada por três características preponderantes: a contratualização, em que se visa a uma maior autonomia dos atores sociais,

²⁵³ Ibidem, p. 12.

²⁵⁴ DELMAS-MARTY, Mireille. *A imprecisão do Direito: do Código Penal aos direitos humanos*. Barueri: Manole, 2005.

²⁵⁵ BERGER FILHO, 2018.

²⁵⁶ Ibidem.

²⁵⁷ Ibidem., p. 22.

²⁵⁸ Ibidem., p. 23-24.

²⁵⁹ CHEVALIER, 2001, p. 829-830 apud BERGER FILHO, 2018, p. 24-26.

mediante cooperação destes; a eficácia da ação pública, o poder de autoridade do Estado, havendo “necessidade de negociar com a sociedade o conteúdo da norma”, com a legitimação não do poder imperativo do Estado, mas de seu poder processual²⁶⁰; e, por fim, o caráter evolutivo da norma, que passa de ordem coercitiva para um direito mais flexível:

O direito da modernidade foi idealizado como uma “ordem de coerção”, mesmo que nem sempre formulada de forma imperativa, seja positivamente por meio de “uma ordem ou uma injunção”, seja negativamente por uma “interdição ou por uma proibição”, podendo ser assim “permissivo” ou “habilitatório”, a norma jurídica “comporta prescrições que obrigam os destinatários, não podendo ser reduzidas, “a uma simples constatação ou uma mera recomendação”. Esse direito (hard law) hoje convive com um modo emergente de produção jurídica não coercitiva, conhecida como soft law, presente em setores como comércio internacional, sistema financeiro, tecnológico, meio ambiente e direitos humanos. A soft law perde em termos de coerção formalmente instituída e precisão, mas ganha em termos de flexibilidade e mecanismos alternativos de efetivação, incluindo a adesão das partes interessadas, essenciais à regulação de algumas matérias, que, como as tecnologias, estão envoltas em complexidade, transversalidade e incertezas²⁶¹.

Embora as *soft laws* criem uma zona de incerteza e indeterminação, elas abrem caminho para o diálogo e a aceitação futura dos compromissos e das responsabilidades legais presentes nas matérias de direito ambiental e tecnologias. Elas são estruturadas como recomendações, porém podem ser reforçadas mediante aplicações de outras normas vinculantes²⁶². Berger Filho pondera que, apesar de o descumprimento das *soft laws* não acarretar nenhuma sanção, é possível adotar “uma concepção ampla de soft law, a fim de abarcar, além de normas interestatais internacionais, as normas estabelecidas por organizações privadas, assim como as “normas híbridas” na fronteira da clássica dicotomia público-privado”²⁶³, como normas de autorregulação, normas de certificação e normas híbridas de cooperação público-privada, que assumem um papel relevante para a nanotecnologia.

Não se trata, portanto, de subestimar a iniciativa privada, cujo principal objetivo é o lucro. Considera-se a necessidade de ser regulada de forma cogente em muitos aspectos. Para Ost²⁶⁴, a responsabilidade da iniciativa privada “no puede, por tanto, ser concebida fuera de um marco determinado por la ley, ensu preocupaciona por el interrés general. Igualmente, su aplicacion implica el mantenimiento de um control jurisdiccional vigilante”. Corroborar-se as palavras de Berger Filho quanto à busca de um meio termo:

²⁶⁰ BERGER FILHO, 2018, p. 26.

²⁶¹ BERGER FILHO, 2018, p. 26.

²⁶² Ibidem., p. 27.

²⁶³ Ibidem., p. 29.

²⁶⁴ OST, François. La auto-organización ecológica de las empresas: un juego sin conflictos y sin reglas. In: GORDILLO, José Luis (Coord.). *La protección de los bienes comunes de la humanidad: un desafío para la política y el Derecho del siglo XXI*. Madrid: Trotta, 2006. p. 81.

O tratamento da regulação das nanotecnologias não pode ficar alheio a essa realidade. Pensar na regulação dos riscos das nanotecnologias implica a premissa de dois pressupostos: o Direito não atua somente por imposição (*hard law*), mas também por persuasão (*soft law*, autorregulação, metarregulação); não é a norma jurídica precisamente determinada (silogismo) que define os rumos, estabelece os limites (riscos toleráveis) no seu desenvolvimento, outras normatividades convergem e concorrem na regulação (internormatividade). Mas, existem limites. Há que se conservar a possibilidade de o Direito instituir na sociedade formas legítimas e plurais de regulação, que sejam pensadas não só sob a ótica da eficiência, mas também perante o prisma da legitimidade²⁶⁵.

Em relação às nanotecnologias e à preocupação ambiental, o direito precisa ser o “divisor de águas” entre o que é permitido e o que não é, mas com adoção da dialética para a criação de um modelo que não seja rígido e permita a constante evolução, conduzindo a resultados mais profícuos para o desenvolvimento sustentável da sociedade. Ost²⁶⁶ retrata que a partir da dialética é possível transcender as representações convencionais do sistema, de seus elementos e seus entornos. No modelo tradicional, a estrutura simples, criada sob condições de contorno específicas, acabam se desprendendo desses contornos. O modelo dialético é mais instável e frágil, pois está conectado a outros sistemas que o rodeiam de modo mais tênue, formando vários sistemas e não somente um.

Não é objetivo desta tese discutir o tipo de norma necessária para regular a nanotecnologia, mas apontar a necessidade desta e os caminhos que precisam ainda ser trilhados, bem como verificar a regulamentação já existente ou em andamento relacionada à inovação e à nanotecnologia voltada para energias renováveis.

O modelo que se impõe é a regulação que contemple o dinamismo particular da matéria e a participação constante dos agentes responsáveis pelas mudanças, cabendo ao Estado regular não de forma estagnada, mas segura e com atribuição de responsabilidades a cada agente desse processo criativo de produção.

Dentre os projetos tramitando na Câmara dos Deputados que contemplam a temática, há o Projeto de Lei 880/2019, de autoria do Senador Jorginho Mello (PR/SC), proposto em 19/02/2019, que institui o Marco Legal da Nanotecnologia e Materiais Avançados e busca estimular o desenvolvimento científico, a pesquisa, bem como a capacitação científica e tecnológica e a inovação nanotecnológica. O projeto também busca estruturar as políticas públicas e ações do governo que envolvem essa área, com estratégias para apoiar o desenvolvimento e o uso de nanotecnologias por empresas nacionais, a fim de potencializar

²⁶⁵ BERGER FILHO, 2018, p. 33.

²⁶⁶ OST, 2006, p. 83.

produtos e serviços e estimular a competitividade no mercado internacional.²⁶⁷ A proposta ainda inclui “a criação dos programas nacionais de Nanosseguença; de Descoberta Inteligente de Novos Materiais; e de Desenvolvimento de Materiais Avançados, além da Estratégia Nacional de Grafeno e Materiais 2D Novos”²⁶⁸. No projeto, a regulamentação deverá contar com a participação dos representantes do governo, de empresas, de universidades e também da sociedade civil organizada.

Como justificativa, o Senador Rodrigo Cunha, responsável pela relatoria do projeto, destaca os elementos trazidos pelo Senador Jorginho Mello no que diz respeito ao papel da nanotecnologia, central para o desenvolvimento socioeconômico dos países mais desenvolvidos do mundo, salientando a necessidade de ser acompanhada de segurança jurídica, ambiental e sanitária:

a preocupação do autor em demonstrar a necessidade de ser instituído no país o “Marco Legal da Nanotecnologia”, de modo a conferir maior segurança jurídica à pesquisa e à manufatura com nanotecnologia e materiais avançados ou novos materiais no País. Indica a relevância dessa nova tecnologia que, segundo definição do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, “é uma tecnologia transversal, disruptiva e pervasiva dedicada à compreensão, controle e utilização das propriedades da matéria na nanoescala”, que equivale a 1 bilionésimo do metro. Aponta o papel central da nanotecnologia no desenvolvimento socioeconômico dos países mais desenvolvidos. Registra, ainda, paralelamente ao potencial de avanço tecnológico trazido pela nanotecnologia, a necessidade de adoção de modelo avançado de segurança jurídica, ambiental e sanitária na manipulação e utilização desses insumos. Aduz que o Governo Federal tem lançado diversas iniciativas, desde 2013, com o objetivo de estruturar políticas públicas e ações governamentais na área de nanotecnologia. A proposição, caso aprovada, teria o condão de conferir permanência a essas iniciativas. Ademais, a proposição objetiva: i) apoiar o desenvolvimento e a utilização de nanotecnologias por empresas brasileiras; ii) melhorar a qualidade dos produtos e serviços com insumos nanotecnológicos no mercado nacional; iii) contribuir para o aumento da produtividade e da competitividade das empresas brasileiras no mercado internacional; e iv) incentivar e nortear a criação de uma política nacional de nanosseguença.²⁶⁹

²⁶⁷ MARCO Legal da Nanotecnologia é aprovado na CCJ. *Agência Senado*, Brasília, 19 fev. 2020. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2020/02/19/marco-legal-da-nanotecnologia-avanca>. Acesso em: 25 jan. 2023.

²⁶⁸ CCJ analisa Marco Legal da Nanotecnologia. *Agência Senado*, Brasília, 07 jan. 2020. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2020/01/07/ccj-analisa-marco-legal-da-nanotecnologia>. Acesso em: 25 jan. 2023.

²⁶⁹ BRASIL. *Parecer (SF) nº 29, de 2020*. Da Comissão de Constituição, Justiça e Cidadania, sobre o Projeto de Lei nº 880, de 2019, do Senador Jorginho Mello, que 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. Brasília: Senado Federal. Disponível em: <https://legis.senado.leg.br/sdleg-getter/documento?dm=8069552&ts=1594030997128&disposition=inline>. Acesso em: 25 jan. 2023. p. 04.

O Senador Rodrigo Cunha complementa ainda que a chave para a avaliação da conformidade com a nanosseguurança está em avaliar a cadeia de valor, no lugar de uma única avaliação dos nanomateriais ou dos nanoproductos separadamente. A proposição do sistema implica a aplicação do modelo Safe by Design (Segurança pelo Projeto), que marca a “segurança ocupacional e ambiental durante todo o ciclo de uso, manuseio, manipulação e produção de nanomateriais para o desenvolvimento de produtos para pesquisa acadêmica e indústrias”²⁷⁰. Essa ação está em harmonia com os agentes de desenvolvimento e agências reguladoras/fiscalizadoras e com normas internacionais da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e observa os desafios dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)²⁷¹.

O PL880/2019 já foi aprovado pela Comissão de Constituição e Justiça (CCJ) em 19/02/2020, seguindo para análise da Comissão de Ciência e Tecnologia (CCT). Em 12/04/2022, foi designado o relator da CCT, Senador Jean Paul Prates, para emitir o relatório final. Em 13/04/2023, foi passada a relatoria para a Senadora Teresa Leitão e encontra-se nesse estado desde então. Depois de ser aprovado no Senado, irá para a Câmara dos Deputados como casa revisora, para somente após ser submetido à Sanção pelo Presidente da República. Percebe-se que ainda há um longo caminho pela frente até a sanção presidencial.

Em seus artigos 2º e 3º, propõe alterações aos artigos 1º e 2º da Lei nº 10.973 de 2004, Lei de Inovação Tecnológica (LIT), que dispõe sobre incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo, “para dela fazer constar expressamente referências à nanotecnologia e a seus impactos no que concerne aos princípios que devem balizar as medidas de incentivo à inovação e à pesquisa científica, tecnológica e nanotecnológica no ambiente produtivo e aos conceitos adotados”²⁷².

No referido PL, há ainda a inclusão dos incisos XV a XXIV, no art. 2º da LIT, com a criação do Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias (SisNANO), que compreende a formação de um conjunto de laboratórios direcionados para a pesquisa em nanociência e nanotecnologia, de caráter multiusuário e de acesso aberto às instituições públicas e privadas. Prevê-se também a criação de uma rede de inovação em nanotecnologia para fortalecer a cultura da inovação na indústria e na academia, propiciando o uso dos materiais e serviços desenvolvidos, além da implementação do ecossistema de inovação²⁷³,

²⁷⁰ BRASIL, 2020, p. 10.

²⁷¹ BRASIL, 2020.

²⁷² BRASIL, 2020.

²⁷³ 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

compreendendo agentes agregadores da indústria, investidores, empreendedores, parques científicos e tecnológicos, cidades inteligentes, distritos de inovação, polos tecnológicos, entre outros agentes.

O meio ambiente e o desenvolvimento sustentável passam a ser parte da legislação do marco regulatório da nanotecnologia, se aprovado o PL. Em seu art. 5º, contempla a criação do Programa Nacional de Nanosseguurança, com o propósito de criar um modelo de avaliação segura de matérias e produtos nanos, harmonizado com Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD) e alinhado com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Também, há art. 7º, que cria o Programa Nacional de Novos Materiais, com o objetivo de criação de materiais estratégicos para o desenvolvimento sustentável de alto valor agregado²⁷⁴.

O SisNANO já havia sido proposto pela Portaria nº 245, de 5 de abril de 2012, do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, bem como outras iniciativas que buscavam estruturar a área de nanotecnologia no Brasil, como a Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia (IBN), de 2019. No referido PL, há o capítulo IV, específico para o estímulos de ambientes especializados e cooperativos de inovação em saúde, agronegócio, energia, sustentabilidade ambiental, entre outros. Contudo, o referido capítulo não avança nesse sentido, contendo somente 4 artigos que não tratam do tema.

Dentre os princípios que deverão ser observados, segundo a norma, constam “precaução, sustentabilidade ambiental, solidariedade, responsabilidade do produtor, boa-fé, cooperação, lealdade e transparência entre todos os agentes envolvidos”²⁷⁵. Há inclusão taxativa, porém tímida, no inciso XV, no art. 1º, que trata dos princípios norteadores do marco da inovação, da observância das questões ambientais, sanitárias e de segurança quanto à responsabilidade no desenvolvimento da nanotecnologia²⁷⁶.

O PL 880/2019 não é o único projeto de lei que trata da temática da nanotecnologia, embora seja o mais recente. Também, contemplam a matéria: Projeto de Lei Complementar nº 23, de 2019, Projeto de Decreto Legislativo (PDS) nº 415/2006²⁷⁷, entre outros, que não são objeto específico desta tese. O PL 23/2019 altera a Lei Complementar nº 123, de 14 de dezembro de 2006, Estatuto Nacional da Microempresa e da Empresa de Pequeno Porte, a fim

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. Brasília: Senado Federal. Disponível em: <https://legis.senado.leg.br/sdleg-getter/documento?dm=7919258&ts=1649789967334&disposition=inline>. Acesso em: 25 jan. 2023.

²⁷⁴ BRASIL, 2019.

²⁷⁵ AGÊNCIA SENADO, 2020, não paginado.

²⁷⁶ BRASIL, 2019.

²⁷⁷ BRASIL, 2019.

de incentivar a pesquisa e o desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil, permitindo “a inclusão no Simples Nacional de empresas cuja atividade seja suporte, análises técnicas e tecnológicas, pesquisa e desenvolvimento de nanotecnologia”²⁷⁸. Em março de 2019, foi enviado para relatoria do Senador Plínio Valério e continua a tramitar aguardando o relatório, conforme a última movimentação em 21/12/2022. O PDS 451/2006 foi aprovado como Decreto Legislativo nº 476, de 22/11/2006, promulgado pelo Decreto nº 6.112/2007, publicando o Acordo de Cooperação Científica e Tecnológica entre o Governo da República Federativa do Brasil e a Comunidade Européia, celebrado em Brasília, em 19 de janeiro de 2004.

Enquanto o PL 880 não é sancionado e convertido em Lei, o MCTI regulamentou algumas matérias elencadas no referido projeto de lei, a partir da publicação de algumas portarias. A Portaria nº 3.459/2019 MCTI, de 26/07/2019, reedita a Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia (IBN) como política nacional, cuja primeira edição foi em 2013. O foco é a “promoção da inovação na indústria brasileira e no desenvolvimento econômico e social”²⁷⁹. Entre os objetivos listados pela IBN, tem-se a busca por estruturação da governança e coordenação dos esforços do Estado na temática de nanotecnologia (I); promoção do avanço e do fortalecimento científico, tecnológico e da inovação nacional relacionados às propriedades da matéria em escala nanométrica (II); estímulo ao desenvolvimento conjunto de novas tecnologias e transferência de conhecimentos e tecnologias, associados à nanotecnologia, da academia para os setores público e privado, com vistas à geração de riqueza, emprego e crescimento nacional (III); mobilização, articulação e fomento dos atores nacionais públicos e privados para atuarem coordenadamente no desenvolvimento de processos, produtos, instrumentação e inovações na área de nanotecnologia (IV); garantia da universalização do acesso à infraestrutura avançada na área de nanotecnologia para produção, caracterização, escalonamento e desenvolvimento tecnológico para a comunidade científica e para os setores público e privado (V); e promoção da formação, capacitação e fixação de recursos humanos para a educação em nanotecnologia e sua divulgação (VI)²⁸⁰.

²⁷⁸ BRASIL. *Projeto de Lei Complementar nº 23, de 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. Brasília: Senado Federal. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/135203>. Acesso em: 12 jan. 2023.

²⁷⁹ BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. *Portaria MCTIC nº 3.459, de 26/07/2019*. Institui a Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia, como principal programa estratégico para incentivo da Nanotecnologia no país. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, 26 jul. 2019. Disponível em: http://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/legislacao/portarias/Portaria_MCTIC_n_3459_de_26072019.html?searchRef=nanotecnologia&tipoBusca=expressaoExata. Acesso em: 12 mar. 2020.

²⁸⁰ BRASIL, MCTIC, 2019.

A referida portaria, no art. 3º, lista onze ramos prioritários no âmbito da iniciativa que envolva nanotecnologia, entre eles, no inciso IX, encontra-se a energia. São eles:

- I – nanomateriais e nanocompósitos;
- II – nanossensores e nanodispositivos;
- III – nanomateriais de base biológica;
- IV – nanofármacos e nanomedicina;
- V – nanosseguurança;
- VI – saúde;
- VII – meio ambiente;
- VIII – agronegócio e alimentos;
- IX – energia;
- X – defesa e segurança nacional; e,
- XI – mobilidade e infraestrutura urbana.²⁸¹

As principais fontes de fomento são os recursos dos fundos setoriais do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT) e os recursos investidos em atividades de pesquisa e desenvolvimento de inovação tecnológica pelas empresas beneficiárias da Lei do Bem (11.196/05), Lei da Informática (8.248/91) e do Programa Rota 2030 – Mobilidade e Logística (Lei 13.755/18), separadamente, além de fonte orçamentária ordinária²⁸².

Entre as agências parceiras, há: o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), no fomento à pesquisa científica e tecnológica e à formação de pesquisadores em nanotecnologia; a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), como fomentadora da ciência, tecnologia e inovação em empresas, universidades e institutos tecnológicos em nanotecnologia; a Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (Embrapii), como mediadora entre instituições de pesquisa tecnológica, empresas e indústrias, que se beneficiam de nanotecnologia e do Sistema Nacional de Laboratórios em Tecnologias (SisNano), como laboratório indutor da inovação.²⁸³

Essa portaria implica o Plano de Ação 2018-2022, devendo ser revisada periodicamente, mas ainda está em vigor. A Portaria MCTI nº 4.964, de 09/07/2021; a Portaria MCTI nº 5.361, de 01/12/2021, e a Portaria MCTI nº 5.365, de 02/12/2021 também contemplam a inovação e a nanotecnologia. Destaca-se, em especial, a Portaria nº 4.964, que instituiu, no âmbito do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, o Programa de Inovação em Grafeno, denominado InovaGrafeno – MCTI, como um dos programas

²⁸¹ BRASIL. MCTIC, 2019.

²⁸² Ibidem.

²⁸³ Ibidem.

estratégicos e estruturantes da Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia (IBN), sendo a energia um dos temas prioritários para aplicação do grafeno, conforme o art. 3º, III.

Art. 3º São temas prioritários do Programa InovaGrafeno – MCTI:

I – grafeno, nanotubos de carbono, fullerenos e suas variações;

II – sensores, dispositivos eletrônicos e baterias, constituídos à base de grafeno e materiais 2D à base de carbono;

III – grafeno e materiais 2D à base de carbono aplicados nas áreas de saúde, fármacos, ciências biológicas, meio ambiente, recursos hídricos, agronegócio, alimentos, energia, óleo e gás, defesa, segurança nacional e infraestrutura²⁸⁴;

Ou seja, o Programa InovaGrafeno tem como tema prioritário a energia. No entanto, isso se mostra insuficiente para o desenvolvimento nessa área, sendo necessário transcender a indicação de tema norteador.

A atuação estatal, que disciplina ou disciplinará a matéria das tecnologia inovadoras como a nanotecnologia, precisa considerar a preservação ambiental, como tem se delineado tênueamente em alguma normas supracitadas. Nessa área, o conhecimento se desenvolve em rede, da mesma forma como ocorre no direito, ponderando dialogicamente sobre sua construção, sem deixar de delimitar e impor as responsabilidades de cada agente nessa construção. Há muito espaço para a evolução para atingir o desenvolvimento sustentável tão almejado, e as nanotecnologias podem ser um instrumento para alcançar esse objetivo.

A iniciativa privada precisa estar amparada para desenvolver, de modo seguro, seus produtos. Nesse contexto, o papel do ente público é essencial. A segurança jurídica e econômica que os governos podem prover é fundamental para o desenvolvimento do setor.

3.3 SEGURANÇA JURÍDICA COMO ELEMENTO DO DESENVOLVIMENTO

Propõe-se neste subcapítulo, analisar a necessidade de legislação regulamentadora, como viés de segurança jurídica, a fim de garantir o desenvolvimento de nanotecnologias para energias renováveis, contemplando o princípio da legalidade, necessário ao Direito Tributário e, ao mesmo tempo, possibilitando ao empreendedor, o recurso financeiro necessário para investir em P&D em nanotecnologias, na área de energias renováveis. Dessa forma, a sociedade será beneficiada com maior disponibilidade na produção, armazenamento e

²⁸⁴ BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. *Portaria MCTI nº 4.964, de 09/07/2021*. Institui, no âmbito do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), o Programa de Inovação em Grafeno, denominado InovaGrafeno – MCTI, como um dos programas estratégicos e estruturantes da Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia (IBN). Brasília: MCTI, 09 jul. 2021. Disponível em: https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/legislacao/portarias/Portaria_MCTI_n_4964_de_09072021.html. Acesso em: 19 jan. 2023.

transmissão de energias renováveis com custo não tão elevado, garantindo a transição energética com o aumento da matriz energética renovável e conseqüentemente, diminuindo a liberação dos gases responsáveis pelo efeito estufa e interferindo o mínimo possível nas alterações climáticas.

O foco desse tópico é demonstrar a necessidade de regulamentação para promoção da segurança jurídica, visando atingir ao desenvolvimento de modo ambientalmente sustentável. Nesse sentido, lembra-se da afirmação de Ditz de que a coisa julgada, segurança jurídica e ato jurídico perfeito são princípios balizadores do Estado Democrático de Direito²⁸⁵.

Para Humberto Ávila²⁸⁶, o Estado Democrático de Direito é destinado a assegurar os direitos e os valores da sociedade, dentre eles está o próprio conceito de segurança. Portanto, segurança é um valor supremo da sociedade.

A insegurança pode estar atrelada à quantidade de informações disponíveis e a sua possibilidade de decorrências daquilo que é previsto. De outra forma, quanto mais se sabe, mais insegurança se sente e por isso, precisa-se buscar constantemente por segurança. Ávila²⁸⁷ afirma “quanto maior é a quantidade de informações, tanto maior é a possibilidade de se prever o futuro; contudo, quanto maior é a quantidade de informação, tanto maior também é aquilo que precisa ser previamente considerado e avaliado.”

Tal quadro ainda é agravado pela quantidade desmedida de normas que usualmente acabam sendo direcionadas à interesses de grupos que buscam resguardar *seus* próprios interesses²⁸⁸, em detrimento dos interesses da coletividade ou mesmo, do meio ambiente.

As normas são cada vez mais numerosas e complexas, e procuram também solucionar problemas técnicos e específicos, como problemas tributários e ambientais, gerando o que se Ávila chama de um “politeísmo de valores”, devido à multiplicidade de valores conviventes no meio social.²⁸⁹

Esse excesso de normatização justifica-se pela avocação estatal de proteção individual, pela assunção pelo Estado de novas tarefas como o crescimento econômico. Além

²⁸⁵ MARIN, Jeferson Ditz. RELATIVIZAÇÃO DA COISA JULGADA E INEFETIVIDADE DA JURISDIÇÃO. De acordo com a Lei 13.105 de 16.03.2015 Novo Código de Processo Civil. Curitiba: Juruá Editora, 2015. P. 128.

²⁸⁶ ÁVILA, Humberto. *Teoria da Segurança Jurídica*. 6ª edição, revista, atualizada e ampliada. – São Paulo: Editora Jus Podivm. Malheiros Editores, 2021. 784p.

²⁸⁷ ÁVILA, 2021. Op. Cit. P. 56

²⁸⁸ idem

²⁸⁹ Idem. P. 57

dessas funções, a necessidade de induzir comportamentos conforme a finalidade pública almejada, resulta em produção de normas repletas de regras gerais e casos excepcionais, gerando normas finalísticas ou normas-objetivos²⁹⁰.

Essa atuação interventiva do Estado conduziu as chamada “lei ônibus”²⁹¹ que são leis condutoras de modificações significativas em diferentes e grandes setores da ordem jurídica. Desse modo, o Estado dessa forma procura estabelecer vínculos horizontais de cooperação, ao invés de impor restrições. Assim surgem novos ramos do Direito, como o Direito Tributário Ambiental e outros ainda mais específicos, criando o fenômeno da superespecialização²⁹². O marco regulatório da nanotecnologia é um desses ramos emergentes que necessitam de regulamentação para a almejada segurança jurídica.

Ávila aponta um paradoxo nesse contexto. Com a necessidade de regras específicas, surgem edições de novas leis para a proteção dos indivíduos, a fim de eliminar os riscos à segurança jurídica, física e social. No entanto, ao mesmo tempo, acaba-se limitando as liberdades individuais e restringindo a autonomia, o que provoca insegurança pois os indivíduos precisariam agir “como se fossem máquinas colocadas em movimento pelas regras jurídicas”²⁹³. Portanto, o combate à insegurança resulta em insegurança. “Quanto mais segurança *por meio* do Direito se pretende garantir, menos segurança *do* Direito se pode conquistar.”²⁹⁴

Em contraponto, a opção por normas mais vagas e com maior indeterminação conduz a um ordenamento jurídico supercomplexo, pois mais normas infralegais acabam sendo editadas, ainda mais complexas e em maior número²⁹⁵. Entretanto, a sociedade não tem como afastar-se da dependência das normas jurídicas, visto que as pessoas²⁹⁶ precisam, por exemplo, exercer suas profissões e desenvolver atividades econômicas, o que implica tomar decisões, como minimizar o risco financeiro com o uso de seguro, afastar-se de determinado mercado ou não, adotar uma política conservadora de preços com repasse do risco a terceiros, enfim definir suas ações e seu planejamento com base nas normas vigentes²⁹⁷.

²⁹⁰ ÁVILA, 2021. Op. Cit. P. 58.

²⁹¹ Idem, p. 59,

²⁹² Idem. P. 59

²⁹³ Idem. P. 60

²⁹⁴ Idem P. 63

²⁹⁵ Idem. P. 64

²⁹⁶ Pessoa aqui referida pode ser tanto o indivíduo, como a Pessoa Física, quanto as empresas, como Pessoa Jurídica.

²⁹⁷ ÁVILA, 2021. Op. Cit. P. 74.

A previsibilidade da atuação Estatal é fundamental para a liberdade de ação individual e para a ação empresarial. Essa previsibilidade não pode afastar-se da dependência das normas jurídicas, principalmente no âmbito do Direito tributário, que possui forte vinculação com a lei por força do princípio da legalidade. A lei funciona como princípio base da confiabilidade entre o poder público e o sujeito passivo, em razão dos efeitos que possam advir dessa relação, principalmente os econômicos²⁹⁸.

A segurança jurídica, em matéria constitucional tributária, será analisada no que diz respeito à sua definição, aos seus fundamentos e às suas dimensões, condição de princípio de direito, bem como aos seus ideais, tais como previsibilidade, estabilidade, confiabilidade, proteção da confiança e certeza do direito.²⁹⁹ As leis tanto fiscais, com fins arrecadatórios, como as extrafiscais, indutoras de comportamento, pretendem atingir finalidades de cunho econômico, social, científico, ambiental, entre outros, sendo base da confiança do contribuinte. A cognoscibilidade, a confiabilidade e a calculabilidade do Direito são responsáveis pela certeza e credibilidade das decisões no meio social. Quando esses fatores são colocados em dúvida, a própria segurança jurídica é questionada.

Outro fator que é atingido pela insegurança jurídica é o planejamento para o exercício de uma atividade econômica. Nesse planejamento, o contribuinte necessita fazer prospecções das consequências jurídicas decorrentes da norma tributária, ponderando sobre alternativas econômicas que o impacto tributário pode gerar. As incertezas sobre a norma existente, seus impactos e sua perenidade temporal são fatores de indeterminação para o contribuinte, especialmente, para as empresas.

O próprio planejamento tributário necessita ser realizado dentro das diretrizes legais permitidas. A ausência de legislação regulamentadora no setor conduz à insegurança jurídica, sendo elemento balizador para investimentos em nanotecnologia para energias renováveis.

Tratando-se de nanotecnologias para energias renováveis, ha necessidade de um conjunto normativo perene e consolidado que traduz em confiabilidade e segurança jurídica ao empresário, que necessita de planejamento e segurança para realizar esse investimento. A ausência de fontes normativas aplicáveis pode restringir a atividade econômica, de pesquisa e desenvolvimento dos projetos.

²⁹⁸ ÁVILA, 2021. Op. Cit P. 77

²⁹⁹ SANTOS, Guilherme Ribas da S. Segurança Jurídica em Matéria Tributária. (Coleção Universidade Católica de Brasília). São Paulo: Grupo Almedina (Portugal), 2022. E-book. ISBN 9786556276656. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786556276656/>. Acesso em: 11 jun. 2023.

A ausência de normatividade no setor também provoca uma falta de previsibilidade do ordenamento jurídico, que leva a uma insegurança com relação ao Direito futuro. Os efeitos negativos da insegurança jurídica prejudicam, ou até mesmo impedem, o exercício de determinada atividade econômica. No caso da presente tese, o desenvolvimento de alternativas economicamente viáveis de energias renováveis por meio da nanotecnologia, sem calculabilidade, não há como prosperar numa economia de mercado³⁰⁰.

Trata-se de segurança jurídica com caráter instrumental para a pessoa planejar o futuro. Se o resultado almejado é a obtenção de tecnologias inovadoras que possam potencializar o uso de energias renováveis, tanto cientificamente como viabilizar economicamente para viabilizá-la ao consumidor final, é necessário construir esse caminho com o mínimo de segurança jurídica ao investidor. Esse investidor precisa ter a garantia que seu produto final chegará ao mercado com potencial de retorno financeiro, caso contrário, não fará o investimento. Oportunizar esse caminho deve ser objeto do direito, e a normatividade, uma condição *sine qua non* para começar.

O objeto da norma deve ser garantir o bem de todos e a dignidade humana mediante a capacidade de planejar o futuro com segurança, sendo a confiabilidade no sistema jurídico um componente essencial para o desenvolvimento do setor. A confiabilidade por meio da estabilidade e de sua vinculabilidade não implica em ausência de flexibilidade ou inovação, necessária à ciência evolutiva do Direito. Mas mesmo essas modificações devem ser feitas de forma estável e calculada³⁰¹.

Ávila trata o princípio da segurança jurídica como “princípio-norma” fundada em normas constitucionais, com capacidade para reduzir a sua indeterminação e atribuindo-lhe “operacionalidade prática mediante a indicação de comportamentos cuja adoção contribui para a realização dos estados que ela determina atingir.”³⁰²

Adotando a concepção que princípios constituem uma espécie da norma jurídica, Alexy parte das ponderações de Dworking e coloca os princípios como uma espécie de normas jurídicas onde são estabelecidos deveres de otimização que são aplicados em vários

³⁰⁰ ÁVILA, 2021. Op. Cit. P. 80

³⁰¹ ÁVILA, 2021. Op. Cit. P. 82-83

³⁰² ÁVILA, 2021. Op. Cit. P. 88

graus, conforme as possibilidades normativas e fáticas³⁰³. Segundo concepção de Alexy e Dworking, sobre o princípio da segurança jurídica como norma diz-se que:

O ponto decisivo na distinção entre regras e princípios é que princípios são normas que ordenam que algo seja realizado na maior medida possível dentro das possibilidades jurídicas e fáticas existentes. Princípios são, por conseguinte, mandamentos de otimização, que são caracterizados por poderem ser satisfeitos em graus variados e pelo fato de que a medida devida de sua satisfação não depende somente das possibilidades fáticas, mas também das possibilidades jurídicas. O âmbito das possibilidades jurídicas é determinado pelos princípios e regras colidentes. Já as regras são normas que são sempre ou satisfeitas ou não satisfeitas. Se uma regra vale, então, deve se fazer exatamente aquilo que ela exige; nem mais, nem menos. Regras contêm, portanto, determinações no âmbito daquilo que é fático e juridicamente possível. Isso significa que a distinção entre regras e princípios é uma distinção qualitativa, e não uma distinção de grau. Toda norma é ou uma regra ou um princípio.³⁰⁴

Dessa forma, a atuação estatal deve ser balizada “por regras claras, transparentes e preestabelecidas, a fim de garantir aos cidadãos um mínimo de previsibilidade em relação às condutas que eles poderão adotar no curso de suas vidas”, de forma que assim possa se promover o desenvolvimento econômico. “O capitalismo e o liberalismo necessitam de clareza, calculabilidade, legalidade e objetividade nas relações jurídicas e previsibilidade na ação do Estado”.³⁰⁵

Ávila³⁰⁶ também aponta o princípio da segurança jurídica por busca de ideais de cognoscibilidade, confiabilidade e calculabilidade no Direito. Esses ideais revelam indiretamente o tipo de sociedade que se quer construir, pautada nos valores que são assumidos, sendo a segurança jurídica um “instrumento de realização de liberdade, e a liberdade é meio de realização da dignidade.” Nesse sentido, o no direito tributário é uma ferramenta com a qual os tributos, as fiscalizações e as cobranças podem ser “muros” ou “pontes” para perfectibilizar esses valores. Com a criação de regras claras, em atendimento aos princípios da Segurança Jurídica e da Legalidade, é possível gerar um ambiente propício para avanços na área econômica, tanto na área tributária, empresarial, constitucional e principalmente ambiental.

Na concepção de Costa, o princípio da segurança jurídica compreende essencialmente, cinco aspectos: I) a sujeição ao princípio da legalidade pelas instituições

³⁰³ AVILA, Humberto. Teoria dos Princípios. Da definição à aplicação dos princípios jurídicos. 9ª edição. São Paulo: Malheiros Editores, 2009. P. 37

³⁰⁴ ALEXY, Op. Cit. P.90-91.

³⁰⁵ SANTOS, Op. Cit. 19

³⁰⁶ ÁVILA, 2021. Op. Cit. P.107

estatais que possuem poder; II) confiança que os atos do Poder Público são dotados de boa fé e razoabilidade; III) perenidade e estabilidade nas normas jurídicas com relação à sua incidência e à sua transição frente à lei nova; IV) previsibilidade dos comportamentos, tantos os que devem ser observados como os que devam ser tolerados e V) observância da igualdade frente a lei, com soluções isonômicas para situações semelhantes. A autora complementa: “Na seara da tributação, a segurança jurídica expressa-se, especialmente, pelas noções de legalidade, formal e material (arts. 5º e 150, I, CF), de isonomia e pelo caráter vinculado da atividade administrativa de cobrança do tributo (arts. 3º e 142, CTN)”³⁰⁷. Percebe-se, com isso, que os ideais de cognoscibilidade, confiabilidade e calculabilidade estão presentes dentre os cinco aspectos levantados por Costa.

Para Humberto Ávila³⁰⁸, a extensão desse princípio não se restringe à aplicação de uma norma ao fato, mas do contraste de uma norma constitucional à uma realidade jurídica. Há necessidade de verificação de compatibilidade entre a norma inferior e o princípio da segurança jurídica. Para o autor, esse princípio está relacionado a uma certa configuração da realidade através das instituições jurídicas de tal modo que a aplicação do referido princípio não está condicionado ao cumprimento de um pressuposto de fato a uma norma, mas o encontro entre a norma constitucional e a realidade jurídica, quer seja ela uma norma, ou sua aplicação.

Se, por exemplo, a norma constitucional que se quer alcançar é a de preservação ambiental e a realidade jurídica demonstra que ainda não atingimos nosso valor maior, resta prejudicada a segurança jurídica nesse contexto. Da mesma forma, se a norma constitucional que se quer alcançar é promover a inovação científica e tecnologia, conjugada com os valores de preservação ambiental, temos novamente uma realidade jurídica que não propicia essa segurança jurídica.

A análise dos elementos que compõe a segurança jurídica, segundo Ávila³⁰⁹, é um como elemento estrutural de qualquer ordenamento jurídico, pois assegura expectativas recíprocas; como elemento de fato, como capacidade de prever situações fáticas e as decorrências jurídicas deles; como elemento de valor, pois denota um estado desejável e “um ordenamento previsível é muito melhor para o desenvolvimento econômico que um

³⁰⁷ COSTA, Regina H. Curso de direito tributário: constituição e Código Tributário Nacional. São Paulo: Editora Saraiva, 2023. E-book. ISBN 9786553627499. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786553627499/>. Acesso em: 11 jun. 2023.

³⁰⁸ ÁVILA, 2021. Op. Cit.

³⁰⁹ ÁVILA, 2021. Op. Cit. P.124-203

imprevisível”, demonstrando também assim o ideal político que acaba mensurando o grau de aproximação do ordenamento com os ideais; e segurança jurídica como norma-princípio, sendo uma prescrição normativa de algo permitido, proibido ou obrigatório cujo comportamento confere maior grau de previsibilidade. Trata-se da segurança jurídica, e aqui também adotada, como norma jurídica da espécie “princípio”, ou seja, “com prescrição dirigida aos Poderes Legislativo, Judiciário e Executivo, que determina a busca de um estado de confiabilidade e de calculabilidade do ordenamento jurídico com base na sua cognoscibilidade.”³¹⁰

O aspecto finalístico da segurança jurídica trata do estado de coisas a ser promovido. Ávila divide o aspecto finalístico em *aspectos material*, tratando de qual o conteúdo da segurança jurídica; o *aspecto objetivo*, sobre o objeto que será alvo da segurança jurídica; *aspecto subjetivo* cuida dos sujeitos da segurança; *aspecto temporal*, relacionado ao quando, o momento; *aspecto quantitativo*, que investiga em que medida é conferida a segurança jurídica e *aspecto justificativo*, o que analisa para que e por que a segurança jurídica é conferida.³¹¹

Sob o aspecto material, a segurança jurídica é um valor constitutivo do Direito sendo que certeza, eficácia e ausência de arbitrariedade compõem o próprio sistema jurídico³¹². Como norma, a segurança jurídica assume contornos específicos, precisos com diminutas situações de indeterminação. A segurança jurídica também pode ser entendida como segurança conferida *pelo* Direito, que serve como instrumento que objetiva assegurar mediante o conteúdo de suas normas, as expectativas dos direitos e obrigações³¹³. Esse ponto é significativo para esta Tese, uma vez que o Direito é instrumento de concretização de valores, estabelecendo as diretrizes que a pessoa deve seguir, criando condições para propiciar o desenvolvimento ou não. Assim, a aprovação do Marco Regulatório da Nanotecnologia, com ênfase para energias renováveis é consolidar a segurança jurídica.

Quanto ao aspecto objetivo da segurança jurídica, Ávila divide em *segurança normativa*, tanto de normas quanto do ordenamento jurídico; *segurança comportamental* como a previsibilidade da reação dos órgãos jurídicos ao comportamento do contribuinte;

³¹⁰ ÁVILA, 2021. Op. Cit. P.130

³¹¹ ÁVILA, 2021. Op. Cit. P.124-203

³¹² ÁVILA, 2021. Op. Cit. P.145

³¹³ ÁVILA, 2021. Op. Cit. P.148

segurança fática, englobando não somente atos, mas também fatos e *segurança doutrinária*, com respeito ao modo como o Direito é tratado³¹⁴.

Já Santos³¹⁵ estabelece somente duas dimensões para o plano da segurança jurídica: uma objetiva envolvendo o ato jurídico perfeito, o direito adquirido e a coisa julgada; e outra dimensão subjetiva, com a proteção da confiança das pessoas nos atos, procedimentos e condutas do Ente Público. A previsibilidade também está contida no campo da segurança jurídica por meio da “a certeza quanto à norma aplicável às relações sociais que se estabelecem (certeza jurídica ou estabilidade) e a expectativa ou confiança quanto à situação de cada um nas relações sociais de que participa (proteção da confiança)”³¹⁶.

Ávila ainda subdivide o modo de compreensão do objeto da segurança jurídica, que pode compreender diferentes concepções, mas por fim sendo relevante o tipo de resultado que lhe é atribuído³¹⁷. Voltando-se para a segurança jurídica em aplicação de nanotecnologias para energias renováveis, o resultado deve ter significado unívoco, ou seja: “aquilo que se deve entender e calcular possui um único sentido”³¹⁸. Portanto, as normas jurídicas devem possuir sentidos objetivados e únicos, possibilitando ao contribuinte conhecer o conteúdo da norma, obedecer, antecipar-se às ações do Executivo e do Judiciário referentes àquela norma no futuro. Trata-se de previsibilidade e calculabilidade necessárias ao Direito tributário, conhecido como o “princípio da tipicidade cerrada”³¹⁹. A previsibilidade é de extrema relevância na área tributária, em razão de os sujeitos passivos das obrigações terem o direito de programar suas condutas, planejando suas atividades patrimoniais com consciência das repercussões fiscais que podem surgir³²⁰.

Outro aspecto destacado por Santos³²¹ quanto ao conteúdo da segurança Jurídica é a inteligibilidade da norma. A lei precisa ser clara e compreendida pelo seu destinatário. O destinatário da segurança jurídica é abordado no aspecto subjetivo por Ávila, que entende que pode ser voltada tanto para um cidadão individualmente quanto à coletividade, mas não podendo ser direcionada ao próprio Estado. Afirma que “O princípio da segurança jurídica assume uma feição protetiva do cidadão, em razão de seus fundamentos [...] serem destinados

³¹⁴ ÁVILA, 2021. Op. Cit. P.124-203

³¹⁵ SANTOS, Op. Cit. P. 22

³¹⁶ SANTOS, Op. Cit. P 23.

³¹⁷ ÁVILA, 2021. Op. Cit. P.164.

³¹⁸ ÁVILA, 2021. Op. Cit. P.165.

³¹⁹ Idem.

³²⁰ SANTOS, Op. Cit. P 23.

³²¹ SANTOS, Op. Cit.

a limitar a atuação estatal, e não a servir para seu exercício”³²², direcionando-se ao contribuinte e não ao Estado.

Os garantidores da segurança jurídica devem ser os Poderes Legislativos, Executivo e Judiciário nas suas respectivas funções, conforme Ávila³²³. Ao legislativo, cabe orientar eventos futuros, evitando problemas de cognoscibilidade, mediante redução das indeterminações, e complexidade das normas, confiabilidade e calculabilidade. Ao poder Executivo cabe concretizar a norma no tempo presente evitando contrariar disposição de lei, edição de atos administrativos, normativos ou de contratos administrativos que possam gerar problemas de cognoscibilidade, confiabilidade e calculabilidade. O Poder Judiciário deve estar voltado para fatos ocorridos no passado que buscam uma prestação jurisdicional com base na normativa vigente, evitando problemas de cognoscibilidade, confiabilidade e calculabilidade, a saber:

De cognoscibilidade, em virtude da falta de fundamentação adequada das decisões ou, mesmo, da existência da divergências entre decisões, órgãos ou tribunais; de confiabilidade, em razão da modificação jurisprudencial de entendimentos anteriores consolidados com eficácia retroativa inclusive para aqueles que, com base no entendimento abandonado, praticam atos de disposição dos seus direitos fundamentais; e de calculabilidade, pela falta de suavidade das alterações de entendimento ou mesmo, pela ausência de coerência na interpretação do ordenamento jurídico³²⁴.

O princípio da Segurança jurídica contempla os conteúdos de previsibilidade, proteção e certeza do direito. Da mesma forma Ditz³²⁵ ao analisar a relativização da coisa julgada, afirmava que a estabilidade relativa nas decisões jurídicas é um indicativo de respeito à segurança jurídica. Citando Canotilho, destaca o caráter de indisponível do “princípio da segurança jurídica, considerado fundamental para a própria sustentação e sobrevivência do Estado de Direito, atribuindo a ele uma função dúplice.”³²⁶

O princípio da segurança jurídica não é apenas um elemento essencial do princípio do estado de direito relativamente a actos normativos. As ideias nucleares da segurança jurídica desenvolvem-se em torno de dois conceitos: (1) estabilidade ou eficácia *ex post* da segurança jurídica dado que as decisões dos poderes públicos uma vez adoptadas, na forma e procedimento legalmente exigidos não devem poder ser arbitrariamente modificadas, sendo apenas razoável a alteração das mesmas quando ocorreram

³²² ÁVILA, 2021. Op. Cit. P 174

³²³ ÁVILA, 2021. Op. Cit. P.178

³²⁴ ÁVILA, 2021. Op. Cit. P.178

³²⁵ MARIN, op. Cit.

³²⁶ MARIN, Jeferson Ditz. Op. Cit. P. 128

pressupostos materiais particularmente relevantes; (2) possibilidade ou eficácia ex ante do princípio da segurança jurídica que, fundamentalmente, se reconduz à exigência de certeza e calculabilidade dos cidadãos³²⁷.

Ditz também cita Hesse quanto à necessidade de as normas constitucionais não se contradizerem entre si.

A única solução do problema coerente com este princípio é a que se encontre em consonância com as decisões da Constituição e evite uma limitação unilateral a aspectos parciais. [...] Um ótimo desenvolvimento da força normativa da Constituição depende não apenas do seu conteúdo, mas também de sua práxis. De todos os partícipes da vida constitucional, exige-se partilhar aquela concepção anteriormente por mim denominada vontade de Constituição (*Wille zur Verfassung*). Ela é fundamental, considerada global ou singularmente. Todos os interesses momentâneos – ainda quando realizados – não logram com- pensar o incalculável ganho resultante do comprovado respeito à Constituição, sobretudo naquelas situações em que sua observância se revela incômoda. Como anotado por Walter Burckhardt, aquilo que é identificado como vontade da Constituição “deve ser honestamente preservado, mesmo que, para isso, tenhamos de renunciar a alguns benefícios, ou até a algumas vantagens justas. Quem se mostra disposto a sacrificar um interesse em favor da preservação de um princípio constitucional, fortalece o respeito à Constituição e garante um bem da vida indispensável à essência do Estado, mormente ao Estado democrático”. Aquele, que, ao contrário, não se dispõe a esse sacrifício, “malbarata, pouco a pouco, um capital que significa muito mais do que todas as vantagens angariadas, e que, desperdiçado, não será mais recuperado”³²⁸.

A estabilidade da norma constitucional também é analisada pelo aspecto temporal da segurança jurídica. Nessa análise, transpassa-se o momento de realização do próprio princípio, seja no passado, seja presente, seja no futuro. Ávila³²⁹ afirma que a realização da segurança jurídica em um período pode implicar restrição em outro. Em decorrência disso, deve-se adotar uma perspectiva unitária³³⁰ da segurança, que é hoje, que foi ontem e que será amanhã gerando confiança no ordenamento jurídico.

A segurança presente refere-se a cognoscibilidade, ou seja, à capacidade que a pessoa tem de compreender as normas que deverá observar e obedecer; a segurança passada normalmente é nela que a decisões visam assegurar o “estado de segurança”; já a segurança futura é complexa, pois “se o cidadão não sabe pelo que esperar, não consegue prever, e, se não consegue prever, não consegue orientar-se pelo Direito.”³³¹ Por conseguinte, embora o “estado de segurança” possa ser desmembrado temporalmente, sua realização deve ser

³²⁷ CANOTILHO, J. J. Gomes. *Direito Constitucional e Teoria da Constituição*, p. 1.191. apud MARIN, Jeferson Ditz. P. 128

³²⁸ HESSE, Konrad. *Força Normativa da Constituição*, p. 21-2 apud MARIN, Jeferson Dytz.

³²⁹ ÁVILA, 2021. Op. Cit. P.180.

³³⁰ DERZI, Misabel de Abreu Machado, apud ÁVILA, 2021. Op. Cit. P.181.

³³¹ ÁVILA, 2021. Op. Cit. P.183.

conferida e examinada em conjunto, pois os tempos são interdependentes. Na esfera tributária, esse fator é determinante, visto que as leis tributárias inconstitucionais que são mantidas sob o pretexto de manter a segurança jurídica, de fato acabam restringindo ainda mais sua aplicação, em razão de o contribuinte não saber se aguarda a norma inconstitucional ser declarada nula e sem efeito, ou se aguarda que sejam declaradas válidas e seus efeitos mantidos. De qualquer modo, a insegurança jurídica já foi prejudicada³³². Por isso, o aspecto temporal é o momento em que a exigência da calculabilidade da segurança jurídica é avaliada, uma vez que prevê o espectro de consequências aos atos e fatos e, simultaneamente, o espectro temporal dentro do qual será conferida a consequência aplicável³³³.

À medida que a segurança jurídica é conferida, refere-se ao aspecto quantitativo, usualmente associado ao ideal de previsibilidade. Prever consequências às ações praticadas geralmente não é uma medida absoluta, apesar de, no direito tributário ter-se o princípio da tipicidade cerrada com determinação absoluta dos termos essenciais da obrigação tributária. Mas a própria concepção de segurança jurídica apresenta natureza dual, possuindo certezas e incertezas, possibilitando a previsão com elevado grau de determinação dos conteúdos normativos e dos procedimentos a que se está sujeito, ou ainda, conhecendo a estrutura argumentativa que determinou a norma.³³⁴

A aferição dessa medida pode ser feita *a posteriori*, por exame fático do confronto das previsões passadas com as decisões futuras, realizado por meio de análise estatística de das decisões já ocorridas. Ou pode ser feito *ex ante* com previsibilidade normativa, antecipada e abstratamente previstas. Mas haverá segurança jurídica, segundo Ávila, “quando houver publicação, intimação, linguagem acessível e número reduzido de consequências previstas [...] verificar se ordenamento jurídico contém regras a respeito da publicação, da intimação, da linguagem das leis e da sua abrangência.”³³⁵

O aspecto *justificativo* da segurança jurídica busca analisar a finalidade da segurança jurídica e o motivo de sua necessidade, realizando uma análise de valor. O valor pode ser funcional, em si mesmo, ou instrumental como meio para obtenção de outros valores. No caso da presente tese, se analisar-se-á o valor instrumental, pois entende-se que por meio da

³³² ÁVILA, 2021. Op. Cit. P.182-185.

³³³ ÁVILA, 2021. Op. Cit. P.185.

³³⁴ ÁVILA, 2021. Op. Cit. P.185-187.

³³⁵ ÁVILA, 2021. Op. Cit. P.192.

normatização das nanotecnologias para energias renováveis, pode-se chegar à preservação ambiental. Ou seja, segurança jurídica como valor instrumental.

Para Ávila³³⁶, a segurança jurídica como instrumento assecuratório de outros direitos envolve autonomia individual. Essa autonomia individual pode ser extrapolada para autonomia empresarial, da mesma forma. Para esse exercício, é necessário o conhecimento das normas existentes, as quais sejam válidas e se mantenham estáveis temporalmente. Sem esses elementos, a pessoa deixa de ser capaz de planejar e gestar o futuro. Para a pessoa jurídica isso implica em restringir o seu desenvolvimento, afetando seu potencial econômico e consequentemente, atingindo toda a sociedade.

A segurança jurídica, como uma classe de “valores-meios”, também é vista por Ataliba³³⁷, como algo que condiciona essa previsibilidade estatal. Tendo origem numa constituição rígida, com representatividade do órgão legislativo, gera o clima de confiança como condição psicológica para a pessoa trabalhar e desenvolver-se. Da mesma forma Paulo de Barros Carvalho³³⁸ chancela a necessidade da previsibilidade da atuação estatal, abrindo espaço para planejamento de futuras ações, cuja disciplina jurídica a pessoa deve conhecer.

Tão relevante quanto a aceitação da segurança jurídica como instrumento indicativo de valor, ao mesmo tempo, sozinho não é suficiente. Sendo relevante para assegurar outros valores conhecer os fundamentos de vinculação. Encontrar, no ordenamento jurídico os fundamentos de vinculação que instrumentaliza a segurança jurídica ajuda a compor a aceitação do próprio ordenamento. Ávila³³⁹ diz que a segurança jurídica serve como instrumentos dos valores de liberdade, igualdade e dignidade para o indivíduo. Em relação à liberdade, determina que quanto maior o acesso material e intelectual relativo às normas que se deve obedecer, maior será sua estabilidade, pois, a pessoa, tanto física quanto jurídica, terá condições de viver o presente e planejar o futuro. Quanto ao valor da igualdade, com relação ao tratamento isonômico. Quanto a dignidade, a estabilidade e a acessibilidade das normas e quanto mais justificadamente elas foram aplicadas, maior será a capacidade da pessoa se gerir autonomamente. O mesmo raciocínio aplicado ao indivíduo, se estende para a pessoa jurídica.

³³⁶ ÁVILA, 2021. Op. Cit. P.195-199.

³³⁷ ATALIBA, Geraldo República e Constituição, 3ªed. São Paulo, Malheiros Editores, 2011, p. 167. . Apud ÁVILA, 2021. Op. Cit. P.196.

³³⁸ CARVALHO, Paulo de Barros Carvalho. Curso de Direito Tributário, 28ª ed. São Paulo, Saraiva, 2017.

³³⁹ ÁVILA, 2021. Op. Cit. P.198

Ataliba³⁴⁰ deixa claro que, com a ausência de confiabilidade e calculabilidade, a capacidade de “trabalhar, produzir, empreender e atuar em uma economia de mercado” fica prejudicada. Para Kelsen, a previsibilidade e calculabilidade já estavam presentes no princípio da segurança jurídica, orientando condutas no Estado de Direito:

Como o processo legislativo, especialmente nas democracias parlamentares, tem de vencer numerosas resistências para funcionar, o Direito só dificilmente se pode adaptar, num tal sistema, às circunstâncias da via em constante mutação. Este sistema tem a desvantagem da falta de flexibilidade. Tem, em contrapartida, a vantagem da segurança jurídica, que consiste no fato de a decisão dos tribunais ser até certo ponto previsível e calculável, permitindo que os indivíduos submetidos ao Direito se poderem orientar na sua conduta pelas previsíveis decisões dos tribunais. O princípio que se traduz em vincular a decisão dos casos concretos e normas gerais, que hão de ser criadas de antemão por um órgão legislativo central, também pode ser estendido, por modo consequente, à função dos órgãos administrativos. Ele traduz, neste seu aspecto geral, o princípio do Estado-de-Direito que, no essencial, é o princípio da segurança jurídica³⁴¹.

A propósito da segurança jurídica, parece apropriada a compreensão de Engisch que, ao tratar do modo de produção da ciência jurídica, no sistema romano-germânico, reconhece que a ideia de que se poderia garantir a segurança jurídica por meio da legislação remonta ao período do Iluminismo. Porém, Engisch percebe o declínio dessa concepção, especialmente a partir do século XIX, reconhecendo a impraticabilidade do postulado da estrita vinculação do juiz à lei. Considera, então, que os tribunais foram dotados de liberdade de decisão “para dominar a vida na pluralidade das suas formas e na sua imprevisibilidade”. Não poderia, de fato, ser diferente. A vida e as suas diferentes formas de expressão não podem ser aprisionadas na redução de uma norma abstrata³⁴²

Karl Engisch³⁴³ discorre sobre o Iluminismo, relatando que nesse tempo, havia a concepção de que seria “possível estabelecer uma clareza e segurança jurídicas absolutas através de normas rigorosamente elaboradas, e especialmente garantir uma absoluta univocidade a todas as decisões judiciais e a todos os atos administrativos.”. Hoje não se fala em garantia absoluta, mas em um instrumento de valor dos fins almejados.

³⁴⁰ ATALIBA, Geraldo República e Constituição, 3ªed. São Paulo, Malheiros Editores, 2011, p. 175. . Apud ÁVILA, 2021. Op. Cit. P.199.

³⁴¹ KELSEN, Hans. Teoria Pura do Direito. p. 279.

³⁴² MARIN, Op. Cit. P. 219.

³⁴³ ENGISCH, Karl. Introdução ao Pensamento Jurídico, p. 206 apud MARIN, Op. Cit. Nota de rodapé. P. 219.

Ávila sintetiza o grau de complexidade de quando se enfrenta o tema da segurança jurídica:

Se a segurança jurídica é a síntese dos estados ideais de cognoscibilidade, de confiabilidade e de calculabilidade normativa, alcançada por meio de instrumentos garantidores de acessibilidade, de abrangência, de inteligibilidade, de estabilidade, de continuidade, de anterioridade e de vinculabilidade do ordenamento jurídico, e essa síntese, em vez de um ponto, é um *espectro abrangente* a ser gradualmente atingido de fato por meio de fixação de critérios, parâmetros e procedimentos claros.³⁴⁴

A relevância de viabilizar a segurança jurídica para investimentos em nanotecnologias para energias renováveis implica em propiciar o desenvolvimento econômico, social e ambiental. Criar meios e instituir condições de fato para que o estado de segurança jurídica se consolide na área impõe a realização dos estados ideais de cognoscibilidade, confiança e calculabilidade. Dessa forma, as pessoas podem fazer dignamente seus planejamentos de futuro e preservar o meio ambiente.

A seguir, será tratado o aspecto específico da necessidade de segurança jurídica voltada para a inovação, nanotecnologia, tributação e meio ambiente.

³⁴⁴ ÁVILA, 2021. Op. Cit. P. 90

4 OS INCENTIVOS FISCAIS COMO CATALISADORES DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E DA INOVAÇÃO EM NANOTECNOLOGIAS

É função do Estado promover o desenvolvimento econômico, social e, ao mesmo tempo, proteger o meio ambiente. As relações entre direito, tecnologia e inovação ocorrem tanto nas funções exercidas pelo direito, no processo de desenvolvimento de tecnologia e inovação, quanto na regulação e promoção, via direito tributário, como modo de consagração da cidadania e concretização dos direitos fundamentais.

A produção de energias renováveis é um dos objetivos da Política Energética Nacional (PEN) para diversificação no ramo energético. Elas também fazem parte do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 9 “Construir infraestrutura resiliente, promover a industrialização inclusiva e sustentável, e fomentar a inovação”³⁴⁵. Bem como, contempla o ODS 7 no que se refere à produção de energia limpa, acessível, barata e renovável para todos³⁴⁶. Assim os processos de inovação em P&D precisam caminhar conjuntamente com a preservação do meio ambiente. Para tal feito, incentivar financeiramente todo esse setor é tarefa do Estado, e a tributação é sua principal ferramenta.

A inserção das nanotecnologias nos processos de inovação em P&D, no âmbito da energia renovável, apresenta-se como uma estratégia viável para um desenvolvimento sustentável, para viabilização de energia limpa, barata e sustentável. Contudo, para que isso se efetive, são necessários recursos financeiros.

Neste capítulo, serão abordados o papel da economia na sociedade sustentável e a contribuição dos incentivos fiscais para esse desenvolvimento.

4.1 FUNÇÃO EXTRAFISCAL DO TRIBUTO E A LEI DE RESPONSABILIDADE FISCAL

O Ente Público, entendido como a União, os estados federativos, o Distrito Federal e os Municípios, possui atribuições constitucionais que precisam ser respeitadas e implementadas. O Estado deve desempenhar suas funções com responsabilidade para com a

³⁴⁵ INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável*, 2019. 9 Indústria, Inovação e Infraestrutura. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/ods/ods9.html>. Acesso em: 08 jun. 2023.

³⁴⁶ INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE; SECRETARIA ESPECIAL DE ARTICULAÇÃO SOCIAL. *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável*, 2023. Objetivo 7 – Energia Limpa e Acessível: garantir acesso à energia barata, confiável, sustentável e renovável para todos. Disponível em: <https://odsbrasil.gov.br/objetivo/objetivo?n=7>. Acesso em: 08 jun. 2023.

saúde, educação, segurança, infraestrutura, alimentação, trabalho, moradia, transporte, lazer, segurança, previdência social, proteção à maternidade e à infância, assistência aos desamparados³⁴⁷ e, ao mesmo tempo, corrigir falhas de mercado³⁴⁸. Tais funções necessitam de recursos, que, por vezes, advém da própria sociedade, para a manutenção do bem-estar social.

As fontes de receitas que alimentam os cofres públicos são estudadas pelas Finanças Públicas, que não é objeto desta tese, porém, um breve comentário sobre a origem desses recursos é necessário. O Estado precisa de meios para satisfazer as necessidades públicas, em busca do bem-estar social. Sua função não é mais somente manter a ordem e a justiça, mas prover previdência e assistência, o requer recursos financeiros.

A submissão do Estado ao direito permitiu que se colocasse a tributação no âmbito das relações jurídicas obrigacionais, disciplinada mediante o estabelecimento das prerrogativas de cada parte, quais sejam, o Estado credor e o contribuinte devedor. Isto não ocorre apenas sob uma perspectiva estática, mas também dinâmica, abrangendo tanto as questões materiais quanto as garantias formais, procedimentais e processuais.

Mas a simples outorga de competências, a enunciação de limitações e a compreensão de que a tributação se dá conforme o direito não implicou, por si só, a possibilidade de se falar propriamente em um Direito Tributário. A arrecadação tributária, durante muito tempo, foi objeto exclusivo da ciência das finanças e, no âmbito jurídico, do Direito Administrativo, que disciplinava os assuntos relacionados ao Estado. Posteriormente, tivemos a emancipação do Direito Financeiro como disciplina a demandar cuidados específicos, identificando-se princípios próprios e produzindo-se legislação especial.

Somente no último século é que se passou a ter um tratamento sistemático específico para as questões atinentes à tributação. No Brasil, foi somente com a Emenda Constitucional 18/65 que, pela primeira vez, houve um sistema tributário estruturado. Logo em seguida, surgiu o Código Tributário Nacional, de 1966, cujo projeto foi apresentado ainda no exercício da competência atribuída à União pela Constituição de 1946 de legislar sobre Direito Financeiro.

Conforme Sabbag³⁴⁹, “todo e qualquer dinheiro que ingressa nos cofres públicos, a qualquer título, será denominado “entrada” ou “ingresso”. Entretanto, nem todo ingresso³⁵⁰

³⁴⁷ BRASIL, 1988.

³⁴⁸ CALIENDO, Paulo. *Curso de direito tributário*. São Paulo: Editora Saraiva, 2020. 162 p. E-book.

³⁴⁹ SABBAG, Eduardo. *Manual de Direito Tributário*. 9 ed. São Paulo: Saraiva, 2017.

³⁵⁰ São exemplos de ingressos provisórios: caução, fiança, depósito prévio, empréstimo compulsório, preço público entre outros.

(ou receita) será uma *receita pública*". A receita pública se dá pelo ingresso definitivo de bens e valores aos cofres públicos. Nesse sentido, os tributos constituem a principal fonte de receita pública.

Essas receitas podem ser originárias ou derivadas. As receitas originárias são oriundas do patrimônio próprio do Estado, quando se equipara ao particular. Para Aliomar Baleeiro, citado por Alexandre Rossato da Silva Ávila³⁵¹, são rendas originárias dos bens e de empresas comerciais ou industriais do Estado, que as desenvolvem como particulares, "sem exercer seus poderes de autoridade, nem imprimir coercitividade à exigência de pagamentos ou à utilização de serviços que os justificam, embora, não raro, os institua em monopólios." São exemplos: venda ou locação de seus bens e prestação de serviços. Já as receitas derivadas resultam do poder de império do Estado, na atuação de seu poder fiscal. Nelas, encontram-se os tributos e as penas pecuniárias. Como exemplos, há os impostos, as taxas, as contribuições de melhoria e as contribuições parafiscais.

O tributo, por sua vez, de acordo com o art. 3º do Código Tributário Nacional (CTN)³⁵², "é toda prestação pecuniária compulsória, em moeda ou cujo valor nela se possa exprimir, que não constitua sanção de ato ilícito, instituída em lei e cobrada mediante atividade administrativa plenamente vinculada". Nessa definição de tributo, constam, como principais características, dentre outras, a compulsoriedade e a legalidade, ou seja, a obrigatoriedade de seu pagamento e a necessidade de existência de lei previamente sancionada para que o tributo possa ser exigido. Essa imposição da cobrança, classicamente, advém da necessidade de o Estado fazer frente às despesas para sua manutenção e promover políticas públicas. A cobrança de tributo extrapola a arrecadação de receitas, e sua função é definida como fiscal.

Apesar da titularidade formal da receita pública ser do ente público credor, o recurso público é de toda sociedade, conferindo, ao mesmo, um tratamento próprio e diferenciado. Trata-se de dinheiro público, e, portanto, todos os atos de criação de receitas públicas, arrecadação, cobrança e renúncia são regulados pelos princípios constitucionais que tratam da administração pública, dos princípios de direito financeiro e da responsabilidade fiscal³⁵³.

³⁵¹ ÁVILA, Alexandre Rossato da Silva. *Curso de Direito Tributário*. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2017. p. 16.

³⁵² BRASIL. *Lei nº 5.172, de 25 de outubro de 1966*. Dispõe sobre o Sistema Tributário Nacional e institui normas gerais de direito tributário aplicáveis à União, Estados e Municípios. Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/15172compilado.htm. Acesso em: 09 jan. 2023.

³⁵³ ABRAHAM, Marcus. *Curso de Direito Financeiro Brasileiro*. Barueri, SP: Grupo GEN, 2020. E-book. ISBN 9788530990596.

Entre os princípios supracitados, nos princípios da administração pública, previstos no art. 37 da CF, tem-se a legalidade, impessoalidade, moralidade, publicidade e eficiência. Somam-se a esses os princípios da programação, do equilíbrio financeiro e da transparência fiscal. Como não são objeto desta tese, eles não serão tratados individualmente.

Luciano Amaro apresenta a definição da função do tributo, conforme o objetivo preponderante da lei de incidência, que, no caso de ser prover de recursos o ente público arrecadador ou induzir comportamentos, “diz-se que os tributos têm finalidade arrecadatória (ou fiscal) ou finalidade regulatória (ou extrafiscal)”. Assim, se, com a imposição, não se deseja arrecadar, mas estimular ou desestimular certos comportamentos, por motivos econômicos, sociais, de saúde, ambientais, diz-se que o tributo tem finalidades extrafiscais ou regulatórias³⁵⁴.

Dejalma de Campos sublinha que a extrafiscalidade desenvolve-se não só por intermédio da imposição tributária, como também por isenções, imunidades e incentivos que procuram estimular atividades de interesse público³⁵⁵. Esse contexto que almejamos explorar nesta tese, pois são formas que o ente público possui, de estimular comportamentos necessários para o interesse social.

A tributação pode ser entendida como a outra mola propulsora que incentiva e desenvolve a economia. Essa função extrafiscal que o tributo pode assumir é caracterizada por Leandro Paulsen³⁵⁶ como uma forma de estimular ou não determinado comportamento. A função extrafiscal do tributo é aquela em que seus efeitos não são mera decorrência da tributação, mas aquele de fato pretendido pelo legislador, que resulta por utilizar o tributo como instrumento para dissuadir ou estimular determinada conduta. Paulo de Barros Carvalho³⁵⁷ ainda registra que, quando a legislação não atua de modo a prestigiar determinadas situações sociais, políticas ou econômicas, conduzindo os elementos jurídicos para a mera arrecadação, tem-se a extrafiscalidade.

Caliendo³⁵⁸ ressalta que a extrafiscalidade não é um assunto novo, mas sua superexposição tem tornado seu conceito ambíguo, vago e incerto. Na opinião do autor, a qual corroboramos, trata-se de um “conceito *tecnicamente relevante, constitucionalmente delimitado e econômica e socialmente benéfico*, mas que exige uma reelaboração por parte da doutrina atual, para que a sua complexidade possa voltar a trazer benefícios à teoria jurídica”.

³⁵⁴ AMARO, Luciano da S. *Direito Tributário Brasileiro*. São Paulo: Editora Saraiva, 2021. 46 p. E-book. ISBN 9786555592993.

³⁵⁵ CAMPOS, Djalma. *Direito Financeiro e Orçamentário*. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2001. 62 p.

³⁵⁶ PAULSEN, Leandro. *Curso de Direito Tributário*. 9 ed. São Paulo: Saraiva, 2018. 34-35 p.

³⁵⁷ Apud PAULSEN, 2018.

³⁵⁸ CALIENDO, 2020, p. 162.

Diante disso, é necessário deixar claro seus critérios, tais como externalidades, efeitos extrafiscais e tributos extrafiscais.

As externalidades, embora o conceito seja abordado em capítulo posterior, são consequências, benéficas ou não, dos atos dos agentes econômicos. Referem-se, portanto, a um ato econômico que tem repercussão no mundo jurídico e que será tratado por este conforme sua extensão. Diferentemente, a extrafiscalidade é um ato no mundo jurídico com efeitos na esfera econômica.

Ainda não temos tipificação da extrafiscalidade, muito embora seu conceito resulte de interpretações dos dispositivos constitucionais, o que leva a um grau maior de incerteza. Caliendo³⁵⁹ faz uma análise sobre os conceitos ampliado e restritivo da extrafiscalidade e investiga seus elementos caracterizadores, conforme descreve-se a seguir. Entende-se por conceito restritivo, adotado pela CF, a norma jurídica que autoriza “competência tributária ordenadora, interventiva ou redistributiva”; mas, no conceito ampliado da extrafiscalidade, tem-se a dimensão finalística do tributo, incluindo a função extrafiscal na própria natureza da espécie tributária e permitindo a ação indutora do Estado.³⁶⁰ São elementos caracterizadores da extrafiscalidade:

i) *fim constitucional pretendido*; ii) *meio utilizado*; e a iii) *técnica adotada*. Dessa forma, o fim constitucional pretendido deve estar expresso no texto constitucional e objetiva a realização das finalidades da ordem constitucional ou social (família, cultura, meio ambiente etc.). Não é a destinação do recurso ou a técnica utilizada que determina a natureza da norma extrafiscal, mas a sua finalidade constitucional. A extrafiscalidade econômica, assim, pretende realizar determinado desiderato constitucional previsto na ordem econômica (art. 170 da CF/88); a extrafiscalidade ambiental, os objetivos para a um meio ambiente ecologicamente equilibrado (art. 225 da CF/88), entre outros³⁶¹.

A finalidade constitucional é elemento caracterizador da extrafiscalidade, sendo a preservação e promoção do meio ambiente um fim almejado constitucionalmente. Portanto, o estímulo tributário à inovação tecnológica voltada à transição energética, garante a preservação ambiental e simultaneamente, com a extrafiscalidade econômica que permite que áreas estratégicas economicamente sejam estimuladas. Ao mesmo tempo, é uma maneira de indução de comportamento ambientalmente requerido.

A extrafiscalidade poderá ser concedida, entre outros, pela ordenação, redistribuição de renda ou pela intervenção. A ordenação almeja um fim específico ou geral, diverso da

³⁵⁹ CALIENDO, 2020, p. 163.

³⁶⁰ Ibidem, p. 163.

³⁶¹ Ibidem, p. 163.

arrecadação, mas seu propósito é garantir a ordem constitucional. A intervenção acontece por meio de mecanismos indutores ou desestimuladores de determinados comportamentos de agentes econômicos, visando corrigir falhas de mercado. Já na redistribuição de renda, há a transferência fiscal de recursos entre indivíduos, com o objetivo de corrigir falhas sociais³⁶².

Quanto às técnicas de implementação da extrafiscalidade, Caliendo salienta a aplicação dos meios previstos em lei, de forma vinculada aos meios e fins constitucionais podendo ser progressão ou redução de alíquota, seletividade, isenções fiscais, creditamento fiscal, depreciação acelerada, entre outros³⁶³. A técnica utilizada oportunizará a indução do comportamento desejado ou não incentivará tal atitude. Em razão dessa necessidade de vinculação à lei, se faz necessário que o Marco Legal da Nanotecnologia seja consolidado e que nele conste a necessidade de incentivos para a transição energética.

Ainda resta diferenciar finalidade extrafiscal de efeitos extrafiscais dos tributos. Quando fala-se de tributos com finalidade extrafiscal, tem-se tal intento no corpo da norma jurídica, como é o caso do (IPI), imposto de importação (II) e do imposto de exportação (IE), cuja finalidade é claramente regular determinado setor econômico. Não se confunde a finalidade extrafiscal do tributo com sua natureza, pois a primeira está relacionada à função do tributo e não ao seu caráter jurídico.

Quando o assunto são os efeitos da extrafiscalidade, a discussão que se tem dos doutrinadores é no sentido de prioritariamente esse efeito. De certa forma, os tributos possuem finalidade fiscal e extrafiscal simultaneamente, pois a tributação é para atender aos fins sociais, econômicos e muitas vezes, políticos. Portanto, trata-se de uma finalidade preponderante.

Para corrigir externalidades³⁶⁴, a extrafiscalidade é a ferramenta empregada pelo Estado, a fim de estimular ou inibir condutas, sem que o propósito seja exclusivamente angariar recursos. Ainda que Caliendo³⁶⁵ tenha ponderado que, em estudos econômicos,³⁶⁶ o uso da extrafiscalidade é limitado quando se trata da correção de falhas do mercado e restringe a livre iniciativa da sociedade para a busca de soluções, essa limitação é uma decorrência da indução de comportamento e não de uma imposição legal, por isso depende sempre da aceitabilidade social da medida.

³⁶² CALIENDO, 2020.

³⁶³ Ibidem.

³⁶⁴ SABBAG, Eduardo. *Manual de direito tributário*. São Paulo: Editora Saraiva, 2022. E-book.

³⁶⁵ CALIENDO, 2020, p. 166.

³⁶⁶ Tais estudos não foram indicados no texto original.

Contudo, sem o objetivo de esgotar o assunto, mas propiciar o debate, a limitação apontada quanto à utilização da extrafiscalidade para correção de externalidades não limita a livre iniciativa da sociedade, muito pelo contrário. Ela estimula o investimento em situações que, por si só, determinado setor precisaria dispendir mais tempo e energia para chegar a um mesmo resultado. Considera-se esse fomento como um catalizador de soluções e não limitador delas. Por exemplo, para desenvolver uma pesquisa que potencialize a absorção de energia solar e sua transmissão com menos perda possível, sem recursos financeiros, isso fica inviável.

Ponderando sobre o incentivo à pesquisa para produção de energias renováveis de forma acessível e barata à toda sociedade, no que diz respeito a novos materiais, novos métodos, novos procedimentos ou mesmo melhoria nos já existentes, são necessários recursos financeiros sem os quais a pesquisa é improdutiva, embora não inviável. Os pesquisadores continuam a fazê-la, de forma limitada e em uma velocidade menor, pois a obtenção de verba requer uma busca diária, consumindo o tempo e a energia que deveriam ser dispendidos para a própria pesquisa.

Carlos Peralta aponta a extrafiscalidade como um caminho para uma nova racionalidade ambiental, de tal forma que estimule o “esverdeamento do sistema tributário”³⁶⁷, a fim de que, a partir da tributação como instrumento orientador de um desenvolvimento sustentável, possam ser criadas tecnologias produtoras energia renovável. O autor também elenca os doutrinadores³⁶⁸ que têm discutido a extrafiscalidade ambiental³⁶⁹.

³⁶⁷ PERALTA, Carlos E. Tributação ambiental no Brasil: reflexões para esverdear o sistema tributário brasileiro. *Revista de Finanças Públicas, Tributação e Desenvolvimento – RFPTD*, v. 3, n. 3, 2015. 3 p. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/rfptd/article/viewFile/15589/11800>. Acesso em: 09 jan. 2023.

³⁶⁸ Entre outros: PERALTA, Carlos Eduardo. *Tributação Ambiental*. Reflexões sobre a introdução da variável ambiental no sistema tributário. Rio de Janeiro: Editora Saraiva, 2014;
CAVALCANTE, Denise Lucena (Org.). *Tributação Ambiental: Reflexos na Política Nacional de Resíduos Sólidos*. 1. ed. Curitiba: CRV, 2014;
GABRIEL FILHO, Paulo Sérgio Miranda. *Curso de Direito Tributário Ambiental*. Curitiba: CRV, 2014;
ARAÚJO, Cláudia Campos de et al. *Meio ambiente e sistema tributário: novas perspectivas*. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2003;
MODÉ, Fernando Magalhães. *Tributação ambiental: a função do tributo na proteção do meio ambiente*. 1ª ed., 2ª tir. Curitiba: Ed. Juruá, 2004;
TORRES, Heleno Taveira (org.). *Direito Tributário Ambiental*. Brasil: Malheiros Editores, 2005;
SALIBA, Ricardo Berzosa. *Fundamentos do Direito Tributário Ambiental*. São Paulo: Quarter Latin, 2005;
TUPIASSU, Lise Vieira da Costa. *Tributação ambiental: a utilização de instrumentos econômicos e fiscais na implementação do direito ao meio ambiente saudável*. Rio de Janeiro: Renovar, 2006;
ORLANDO, Breno Ladeira Kingma et al. (Coordenadores). *Direito Tributário Ambiental*. Rio de Janeiro: Editora Lúmem Júris, 2006;
REALI, Darcí. *Os municípios e a Tributação Ambiental*. Caxias do Sul, RS: Educs, 2006;
AMARAL, Paulo Henrique do. *Direito tributário ambiental*. São Paulo: Editora Revista dos Tribunais, 2007;
SEBASTIÃO, Simone Martins. *Tributo ambiental*. Extrafiscalidade e função promocional do direito. Curitiba: Juruá Editora, 2007;
OLIVEIRA, José Marcos Domingues de. *Direito Tributário e Meio Ambiente*. Rio de Janeiro: Editora Forense,

Peralta classifica os tributos ambientais de duas maneiras: tributos ambientais *lato sensu* e *stricto sensu*.

(a) Tributos ambientais *lato sensu* – sentido impróprio. Trata-se de tributos ordinários, com uma finalidade predominantemente arrecadadora, mas que em algum dos seus elementos percebe-se um efeito extrafiscal com caráter ecológico. Esse tipo de tributação compreende tanto o uso de incentivos e benefícios fiscais com o intuito de estimular a proteção ambiental, como também os tributos fiscais que de maneira secundária ou indireta contemplam problemas de caráter ambiental, como seria o caso, por exemplo, da vinculação de receitas para finalidades ambientais. (b) Tributos ambientais *stricto sensu* – sentido próprio. Os tributos ambientais *stricto sensu* (TASs) têm uma finalidade predominantemente extrafiscal. Esse tipo de instrumentos pretende orientar as condutas dos diversos agentes econômicos de forma que o seu impacto no meio ambiente seja realizado de forma sustentável. Nesse tipo de tributos deverá existir um vínculo entre a estrutura do tributo e o impacto causado no meio ambiente. Em outras palavras, a figura tributária deverá produzir um desincentivo que permita satisfazer a finalidade ambiental pretendida.³⁷⁰

A proteção constitucional para o meio ambiente, de forma expressa, é dada pelo art. 170, VI, no qual a defesa ambiental é um princípio norteador da ordem econômica, com tratamento diferenciado segundo o impacto ambiental dos produtos e de seus processos de elaboração e prestação³⁷¹. A função que o tributo precipuamente possui é de instrumentalizar o cumprimento da ordem constitucional, mediante a obtenção de recursos que servirão para financiar os direitos fundamentais lá elencados ou, ainda, para promovê-los mediante indução de condutas, por meio da extrafiscalidade³⁷².

Embora não seja o foco desta tese, ao se diferenciar a definição clássica de tributo para custeio do Estado ou para o fomento de políticas públicas³⁷³, percebe-se que tais objetivos não são excludentes. O Estado Democrático de Direito deve ser custeado por toda sociedade para toda a sociedade, portanto, cabe ao Estado desenvolver políticas públicas e cumprir os direitos fundamentais elencados na Constituição, sendo o tributo e sua extrafiscalidade uma ferramenta a mais para a obtenção desses objetivos. Isso não implica

2007;

FIORILLO, Celso Antonio Pacheco; FERREIRA, Renata Marques. *Direito Ambiental Tributário*. 3 ed. São Paulo: Saraiva, 2010;

TRENNEPOHL, Terence Dornelles. *Incentivos fiscais no Direito Ambiental*. Para uma matriz energética limpa e o caso do etanol brasileiro. 2 ed. São Paulo: Saraiva, 2011;

NEVES, Fábio. *Tributação Ambiental: Proteção do Meio Ambiente Natural*. São Paulo: Quarter Latin, 2012;

FLORÊNCIO, José Felipe Luiz. *Reforma Fiscal Verde: o primado de uma política tributária voltada ao meio ambiente equilibrado*. São Paulo: Letras Jurídicas, 2013.

³⁶⁹ PERALTA, 2015, p. 12.

³⁷⁰ PERALTA, 2015, p. 04.

³⁷¹ BRASIL, 1988.

³⁷² CALIENDO, 2020.

³⁷³ Ibidem.

desrespeito das regras constitucionais de divisão de competências, aos preceitos contidos na matriz de incidência tributária e principalmente à observância dos princípios tributários.

Dentre os princípios que necessitam ser observados na extrafiscalidade, tem-se a proporcionalidade, pois, nessa fase, a correlação entre os meios empregados e os fins pretendidos pela extrafiscalidade é adequada. Além disso, não há como afastar o princípio da isonomia, tendo em vista que todos que se encontram na mesma condição poderão utilizar esse instrumento. Desse modo, se um determinado setor econômico é contemplado pela extrafiscalidade, é necessário que seja de forma isonômica, sem discriminação injustificada e com observância à proporcionalidade, tendo em vista o objetivo pretendido.

Torres³⁷⁴ aponta que a proibição de privilégios fiscais e a isonomia fiscal consubstanciada no art 150, II da Constituição Federal, permitem o controle judicial dos incentivos e das renúncias de receitas que, em muitas situações, acabam descaracterizando a justiça fiscal em nome do desenvolvimento econômico. Dessa forma, não havendo impedimento legal, utilizar uma ferramenta estatal para promoção de um objetivo estatal é pertinente e coerente. A promoção dos direitos fundamentais, sejam sociais sejam econômicos, mediante a indução de condutas econômicas que refletem na ordem social, é questão de potencializar os instrumentos existentes na própria esfera estatal. A produção de energias renováveis deve ser estimulada em toda cadeia desse setor, desde a origem até a entrega final do produto à sociedade, de forma universal. Ou seja, os reflexos desse estímulo deve ser sentido no consumidor final, ficando acessível a toda coletividade, visto que, somente assim, haverá uma mudança significativa na produção de energia e, como resultado, um meio ambiente mais saudável.

A própria Constituição Federal, em seu art. 174, assinala que o Estado é capaz de propiciar um setor econômico de modo determinante ao setor público e indicativo ao setor privado³⁷⁵. Como indicativo ao setor privado, tem a prerrogativa de induzir condutas, características da extrafiscalidade tributária. Dada a relevância do referido artigo, coloca-se que: “Como agente normativo e regulador da atividade econômica, o Estado exercerá, na forma da lei, as funções de fiscalização, incentivo e planejamento, sendo este determinante para o setor público e indicativo para o setor privado”³⁷⁶.

Dentre os requisitos previstos no art. 174 da Constituição Federal, consta a necessidade de lei autorizativa, em sentido formal; eficácia geral indicativa, portanto de forma

³⁷⁴ TORRES, Ricardo Lobo. *Curso de direito financeiro e tributário*. 20 ed. Rio de Janeiro: Processo, 2018. E-book.

³⁷⁵ BRASIL, CF, 1988.

³⁷⁶ BRASIL, CF, 1988.

vinculada e restrita; e iniciativa privada, com papel importante na ordem econômica, constitucionalmente materializada³⁷⁷.

Com isso, percebe-se que, no sistema constitucional, há tão somente a indicação da extrafiscalidade, inexistindo tipificação expressa que autorize o uso do tributo com finalidade extrafiscal. Também, fica claro que a atuação do Estado se dá de forma subsidiária no que se refere à iniciativa privada, sob risco de violar os princípios constitucionais da ordem econômica, da livre iniciativa, da livre concorrência e do livre embate dos mercados. Tal atuação do Estado deve ser feita de forma auxiliar, quando há distorções de ordem econômica ou quando há relevante interesse coletivo em tela.³⁷⁸

Como interesse coletivo, consta a defesa do meio ambiente, fundamental para a vida no planeta, consolidado no art 170, VI, da CF. Assim, o Estado é compelido a interferir na ordem econômica, sem ferir os preceitos dela, de modo a estimular o setor energético em energias renováveis, propiciando a transição energética. Caso ainda possa existir conflito entre princípios econômicos, ambientais ou tributários, a ponderação³⁷⁹ será um importante instrumento de resolução.

A carga tributária consolidada no setor energético, compreendendo geradoras, transmissoras e distribuidoras, para o ano-calendário 2019, corresponde a 36,5 %, segundo estudo realizado pela Price Waterhouse Coopers Brasil – PWC BRASIL³⁸⁰, sendo 15,3 % referentes a tributos federais e 21,2%, a tributos estaduais. Na esfera estadual, o imposto sobre circulação de mercadorias e serviços (ICMS) é o maior responsável pela incidência em toda cadeia produtiva de energia, ao lado das contribuições de PIS e COFINS, responsabilizam-se por 31,7 % do total. No Rio Grande do Sul, a alíquota máxima de ICMS é de 30 %, praticando 26,5 % conforme ANEEL³⁸¹. Destaca-se, ainda, que “as alíquotas de ICMS de cada estado podem variar em função da faixa de consumo (kWh) e das classes de enquadramento como: consumo residencial, industrial, comercial, rural ou famílias de baixa

³⁷⁷ CALIENDO, 2020.

³⁷⁸ BRASIL, CF, 1988.

³⁷⁹ ALEXY, 2008.

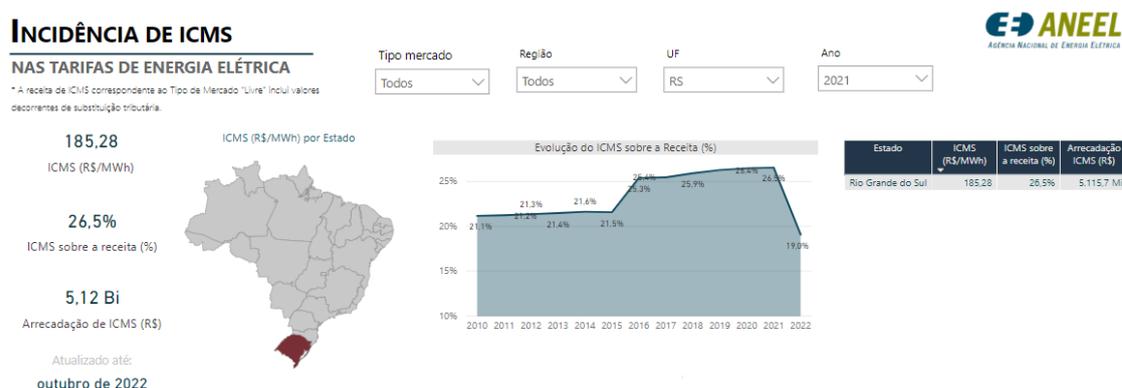
³⁸⁰ PRICE WATERHOUSE COOPERS BRASIL – PWC BRASIL; INSTITUTO ACENDE BRASIL. *Estudo sobre carga tributária e encargos do setor elétrico brasileiro, período-base 2019*. PwC Brasil, 2020. Disponível em: https://www.pwc.com.br/pt/publicacoes/setores-atividade/assets/energia/2020/estudo_acende_brasil-2020.pdf. Acesso em: 12 jan. 2023.

³⁸¹ AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. *Incidência de ICMS nas tarifas de energia elétrica*. Aneel, 2023. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiMWVhNjFmZWYtYzk1ZC00ZWY4LTgzNjktNmY0Y2I4Njc4Mjk4IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBlMSIsImMiOiJ9&pageName=RreportSection60019ab872bd10075770>. Acesso em: 12 jan. 2023.

renda”³⁸². Essa carga tributária reflete no consumidor final, independentemente do tipo de energia que está sendo gerada ou consumida.

A tarifa da energia elétrica que chega ao consumidor final é composta por três custos distintos: custo da geração, mais custo de transmissão e distribuição, mais encargos setoriais³⁸³. Analisando somente a incidência do ICMS, no estado do RS, houve, em 2021, 26,5 % de incidência de ICMS sobre a receita arrecadada no RS, em média. Em 2022, houve uma redução para 19 %, sobre a mesma incidência, conforme mostram os dados gráficos da ANEEL. Foram consultados também os dados existentes na Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica – Abradee³⁸⁴, mas os valores foram atualizados somente até 2019, sendo assim desconsiderados.

Figura 9 – Incidência do ICMS nas tarifas de energia elétrica no RS³⁸⁵



Fonte: ANEEL (2022).

Para Caliendo³⁸⁶, “a extrafiscalidade pode ser um importante aliado no incentivo à pesquisa, adoção, difusão e consolidação de fontes renováveis de energia”, como feito para a energia solar, eólica, biomassa, entre outras. Dessa forma, os incentivos fiscais a novos modelos energéticos são eficazes econômica, social e ambientalmente. Nesse sentido, Cavalcante³⁸⁷ atribui às políticas públicas voltadas à eficiência energética um importante

³⁸² ANEEL, 2023, p. 23.

³⁸³ MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. *Agência Nacional de Energia Elétrica*, 2022. Custo da energia que chega aos consumidores. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/entenda-a-tarifa/custo-da-energia-que-chega-aos-consumidores>. Acesso em: 12 jan. 2023.

³⁸⁴ DELGADO, Marco. Tarifas de energia elétrica. *Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica - Abradee*. Disponível em: <https://www.abradee.org.br/setor-de-distribuicao/tarifas-de-energia/>. Acesso em: 12 jan. 2023.

³⁸⁵ Aneel, 2022.

³⁸⁶ CALIENDO, Paulo; CAVALCANTE, Denise Lucena (org). *Tributação Ambiental e Energias Renováveis* [Recurso eletrônico]. Porto Alegre, RS: Editora Fi, 2016. p. 24.

³⁸⁷ CAVALCANTE, Denise Lucena. In. CALIENDO, Paulo; CAVALCANTE, Denise Lucena (org). *Tributação Ambiental e Energias Renováveis* [Recurso eletrônico]. Porto Alegre, RS: Editora Fi, 2016.

papel no que se refere ao desenvolvimento do setor, influenciando desde o preço da energia como a escolha do tipo de fornecimento por modelos renováveis.

A justificativa apresentada pelo autor para a implementação de incentivos fiscais às energias renováveis, a qual corroboramos, advém das externalidades positivas trazidas por essa forma de produção de energia, principalmente por ser ambientalmente sustentável. Contudo, os modelos renováveis ainda possuem um preço mais elevado no mercado, por não terem atingido toda sua potencialidade de geração, de distribuição e, até mesmo, de pesquisa, como no caso da nanotecnologia. “Apesar de seus benefícios, há uma falha de mercado na percepção das vantagens de sua adoção. Assim, não internalizam diretamente no preço os ganhos que fornecem e ainda são mais caros que produtos e processos distorcidos, ineficientes e insustentáveis.”³⁸⁸ Nesse caso, os incentivos fiscais seriam uma espécie de compensação social devido à existência dessas falhas de mercado, em que os benefícios proporcionados pelas energias renováveis ainda não se traduz no preço condizente ao consumidor.

Já se fala em extrafiscalidade sustentável³⁸⁹, mas esta não deve ser implementada sem estudos ou fundamentação, pois a função precípua do tributo, que é arrecadatório, deve ser ponderada para a sustentabilidade ambiental e fiscal simultaneamente. As políticas fiscais devem apresentar incentivos fiscais abrangente e ser transversais e inovadoras. Abrangentes no sentido de que devem contemplar todos os produtos e processos das diferentes fases de produção de energia renovável; transversais, tendo em vista a transversalidade do tema ambiental, pois a sustentabilidade ambiental produz efeitos positivos em saneamento e saúde, por exemplo. A inovação se faz necessária para estimular novos setores tecnológicos, fomentando pesquisas e desenvolvendo novos produtos ou processos, de tal forma que sejam inclusivos e acessíveis com relação à capacidade de geração de energia³⁹⁰.

A extrafiscalidade pode ser atingida de várias formas: por meio de concessões de incentivos fiscais, de alterações de alíquotas ou mesmo da base de cálculo dos impostos. Carlos Adriano da Costa afirma que, embora a desoneração possa resultar em renúncia fiscal em desfavor do ente que a concedeu, pode ser considerada justificável, uma vez que a perda financeira será compensada “com o incremento na geração de empregos, com o favorecimento na concorrência mercantil internacional, assim como na circulação de riquezas

³⁸⁸ CALIENDO, 2016, p. 25.

³⁸⁹ CALIENDO, 2016, p. 26.

³⁹⁰ Ibidem, p. 26.

na economia nacional, a fim de promover um verdadeiro desenvolvimento socioeconômico”³⁹¹.

Destaca-se que, de acordo com o art. 150, § 6º da CF, qualquer subsídio ou isenção, redução de base de cálculo, concessão de crédito presumido, anistia ou remissão, relativos a impostos, taxas ou contribuições, só poderá ser concedido mediante lei específica, federal, estadual ou municipal, que regule exclusivamente as matérias acima enumeradas ou o correspondente tributo ou contribuição, sem prejuízo do disposto no art. 155, § 2.º, XII, g, da CF. Isto é, o primeiro requisito para a concessão de isenção tributária é a publicação de uma lei específica, em observância ao princípio da legalidade. Tratando-se de energia elétrica, em que a maior incidência é do ICMS, conseqüentemente, sabe-se que a arrecadação proveniente do tributo é significativa, e os governos estaduais não desejam abrir mão desta em prol do meio ambiente. A crise econômica é prioridade, em detrimento da crise ambiental.

Abraham³⁹² não deixa dúvida, ao abordar a matéria, de que o Estado não possui liberalidade para afastar-se da cobrança e da arrecadação de suas receitas, devendo esse ato ser precedido de lei. Conforme art. 16, parágrafo 6º, da CF, “O projeto de lei orçamentária será acompanhado de demonstrativo regionalizado do efeito, sobre as receitas e despesas, decorrente de isenções, anistias, remissões, subsídios e benefícios de natureza financeira, tributária e creditícia.” Da mesma forma, o CTN, em seu art. 176, prevê que, em caso de isenções, “ainda quando prevista em contrato, é sempre decorrente de lei que especifique as condições e requisitos exigidos para a sua concessão, os tributos a que se aplica e, sendo caso, o prazo de sua duração”. Portanto, só é possível abrir mão de receita mediante lei autorizativa para tal, com todos os parâmetros materiais e temporais para sua concessão.

De igual modo, a matéria é enfrentada na Lei de Responsabilidade Fiscal (LRF), LC 101/2000³⁹³, no art. 14³⁹⁴. A renúncia de receita deverá ser acompanhada de demonstração

³⁹¹ COSTA, Carlos Adriano da. *A extrafiscalidade tributária na concretização do bem-estar social*. 2016. 80 f. Monografia – Concurso de Monografia em Finanças Públicas. Disponível em: https://sisweb.tesouro.gov.br/apex/cosis/monografias/obtem_monografia/809. Acesso em: 10 jan. 2023.

³⁹² ABRAHAM, 2020, p. 166.

³⁹³ BRASIL. *Lei Complementar nº 101, de 4 de maio de 2000*. Estabelece normas de finanças públicas voltadas para a responsabilidade na gestão fiscal e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp101.htm. Acesso em: 10 jan. 2023.

³⁹⁴ Art. 14. A concessão ou ampliação de incentivo ou benefício de natureza tributária da qual decorra renúncia de receita deverá estar acompanhada de estimativa do impacto orçamentário-financeiro no exercício em que deva iniciar sua vigência e nos dois seguintes, atender ao disposto na lei de diretrizes orçamentárias e a pelo menos uma das seguintes condições:

I - demonstração pelo proponente de que a renúncia foi considerada na estimativa de receita da lei orçamentária, na forma do art. 12, e de que não afetará as metas de resultados fiscais previstas no anexo próprio da lei de diretrizes orçamentárias;

pelo proponente de que foi considerada na estimativa de receita da lei orçamentária e de que não afetará as metas de resultados fiscais previstas Lei de Diretrizes Orçamentárias (LDO); bem como estar acompanhada de medidas de compensação, por meio do aumento de receita, proveniente da elevação de alíquotas, ampliação da base de cálculo, majoração ou criação de tributo ou contribuição. Ressalta-se que a LRF não induz a uma não concessão de incentivos fiscais, mas tão somente que esteja dentro do planejamento e previsão orçamentária das receitas previstas na execução do orçamento programado.

A renúncia fiscal também faz parte da matéria constitucional. No art. 113, do Ato das Disposições Constitucionais Transitórias (ADCT), que foi incluído pela Emenda Constitucional nº 95, de 2016, estipula-se que qualquer proposta de lei “que crie ou altere despesa obrigatória ou renúncia de receita deverá ser acompanhada da estimativa do seu impacto orçamentário e financeiro”³⁹⁵. Se o benefício fiscal estiver dentro das estimativas das receitas da lei orçamentária, isso não causará um “rombo” no orçamento, pois já havia previsão de não obtenção daquela receita. As renúncias de receitas possuem tratamento financeiro similar aos gastos públicos, tratados na doutrina por “Tax expenditure”³⁹⁶, como um recurso que ingressaria nos cofres públicos e, por força de lei de alguma espécie de renúncia fiscal, deixa de ingressar.

Os incentivos fiscais que culminam em renúncia fiscal ocorrem, em regra, mediante anistias, remissões, subsídios, créditos fiscais, isenções, redução de alíquotas ou base de cálculo³⁹⁷. A anistia é tratada no art.180 do CTN, como forma de exclusão do crédito tributário, abrangendo, exclusivamente, as infrações tributárias. Nela, inclui-se a dispensa pelo pagamento das multas e dos juros de mora. Usualmente, é concedida a um grupo de contribuintes com o propósito de incentivar o pagamento do principal no crédito tributário,

II - estar acompanhada de medidas de compensação, no período mencionado no caput, por meio do aumento de receita, proveniente da elevação de alíquotas, ampliação da base de cálculo, majoração ou criação de tributo ou contribuição.

§ 1o A renúncia compreende anistia, remissão, subsídio, crédito presumido, concessão de isenção em caráter não geral, alteração de alíquota ou modificação de base de cálculo que implique redução discriminada de tributos ou contribuições, e outros benefícios que correspondam a tratamento diferenciado.

§ 2o Se o ato de concessão ou ampliação do incentivo ou benefício de que trata o caput deste artigo decorrer da condição contida no inciso II, o benefício só entrará em vigor quando implementadas as medidas referidas no mencionado inciso.

§ 3o O disposto neste artigo não se aplica:

I - às alterações das alíquotas dos impostos previstos nos incisos I, II, IV e V do art. 153 da Constituição, na forma do seu § 1º;

II - ao cancelamento de débito cujo montante seja inferior ao dos respectivos custos de cobrança.

³⁹⁵ BRASIL, CF, 1988.

³⁹⁶ ABRAHAM, 2020, p. 455.

³⁹⁷ Ibidem.

como é feito por exemplo com o Programa de Recuperação Fiscal (REFIS) para o Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU), em muitos municípios.

Já a isenção implica a dispensa do pagamento do principal do crédito tributário, sendo também causa de exclusão do crédito tributário, tratado no art 176 do CTN. Na isenção, a norma específica impede a incidência no momento no qual ocorre o fato gerador. Embora exista a previsão geral de incidência do tributo, a norma isentiva não permite que a obrigação fiscal se materialize. Ressalta-se que a isenção não dispensa o cumprimento das obrigações acessórias dependentes da obrigação principal ou delas decorrentes, conforme estipulado no parágrafo único do art. 175 do CTN.

Diferente disso é a remissão, modalidade de extinção do crédito tributário previsto no art. 156, IV do CTN, que implica o não pagamento do crédito tributário, podendo ser total ou parcial. O art. 172 do CTN delimita critérios para sua concessão relacionados à situação econômica do sujeito passivo, ao erro ou à ignorância escusáveis do sujeito passivo quanto à matéria de fato ou ainda dada à diminuta importância do crédito tributário, equidade e peculiaridade da região do ente tributante.

Os subsídios são outra forma de incentivo fiscal. Esse instrumento de intervenção pelo Estado no domínio econômico ocorre quando o ente tributante busca diminuir distorções de preço de mercado, equilibrar concorrência ou incentivar produção e consumo de bens entendidos de interesse público. O subsídio é a diferença entre o preço real do produto no mercado e o valor pelo qual ele é efetivamente vendido no mercado³⁹⁸.

O crédito presumido também implica renúncia de receita e é considerado um incentivo fiscal. É uma forma indireta de reduzir o tributo pago mediante a permissão de ressarcimento ou compensação de parte ou do total do valor do tributo a ser apurado, o qual incidente em determinadas operações³⁹⁹. Com a redução de alíquota ou base de cálculo, trata-se da forma de como é calculada a obrigação tributária, incidindo nos critérios quantitativos da matriz de incidência tributária, cujo resultado final é a redução do montante a ser pago em determinada operação⁴⁰⁰. O primeiro efeito dessas renúncias é a redução da arrecadação. Os efeitos subsequentes ou esperados são “o incentivo à adoção de uma determinada prática ou conduta do beneficiário do incentivo que ofereça e gere um ganho à comunidade diretamente relacionada ou à sociedade em geral”⁴⁰¹.

³⁹⁸ ABRAHAM, 2020.

³⁹⁹ Ibidem.

⁴⁰⁰ Ibidem.

⁴⁰¹ ABRAHAM, 2020, p. 456.

A discussão que alguns doutrinadores⁴⁰² trazem envolve os efeitos do Estado intervencionista, como forma de desenvolvimento de determinadas atividades ou regiões. Debate-se que os incentivos fiscais, os subsídios ou as transferências financeiras diretas seriam mais eficazes para atingir o fim almejado. Nesse sentido, Abraham argumenta que “deve-se ponderar se o custo dos incentivos fiscais concedidos gera em contrapartida os resultados esperados (custo/benefício) e se esses resultados são equivalentes aos da aplicação direta dos subsídios ou transferências financeiras.”⁴⁰³

O debate, entretanto, acaba ganhando um viés político, na medida em que o direcionamento dos recursos públicos oferecidos ao setor privado criaria uma imagem de Estado interventor e diretivo, se comparado à imagem de Estado liberal, no caso de este, ao invés de vincular a aplicação de recursos, simplesmente transferir para o setor privado a decisão de alocação de recursos originários das renúncias fiscais nas áreas que indicar como prioritárias.⁴⁰⁴

O autor aponta ainda a dificuldade de controle e de percepção social quando o incentivo fiscal é realizado por meio de renúncia fiscal, em que “os montantes financeiros dos incentivos fiscais concedidos através de renúncias não são quantificados e, por consequência, não são registrados nas peças orçamentárias”⁴⁰⁵

Com o propósito de suprimir essa dificuldade e de atender aos princípios constitucionais da transparência, a LRF, no seu art. 14, apresenta as exigências já comentadas, da mesma forma que a previsão do art. 165, § 6º, da Constituição, o qual impõe que o projeto de Lei Orçamentária Anual seja acompanhado de demonstrativo regionalizado do efeito das isenções, anistias, remissões, subsídios e benefícios de natureza financeira, tributária e creditícia sobre as receitas e despesas. Também, a Emenda Constitucional nº 95/2016 inseriu o art. 113 ao ADCT, prevendo que a “proposição legislativa que crie ou altere despesa obrigatória ou renúncia de receita deverá ser acompanhada da estimativa do seu impacto orçamentário e financeiro”.

Embora a concessão de incentivos beneficie toda a sociedade, evidencia-se que um longo caminho ainda deve ser percorrido. A Emenda Constitucional (EC) nº 109/2021⁴⁰⁶

⁴⁰² Fritz Neumark (NEUMARK, Fritz. *Problemas Económicos y Financieros del Estado Intervencionista*. Madrid: Editorial de Derecho Financiero, 1964.), entre outros.

⁴⁰³ ABRAHAM, 2020, p. 456.

⁴⁰⁴ Ibidem.

⁴⁰⁵ ABRAHAM, 2020, p. 456.

⁴⁰⁶ BRASIL. *Emenda Constitucional nº 109, de 15 de março de 2021*. Altera os arts. 29-A, 37, 49, 84, 163, 165, 167, 168 e 169 da Constituição Federal e os arts. 101 e 109 do Ato das Disposições Constitucionais Transitórias; acrescenta à Constituição Federal os arts. 164-A, 167- A, 167-B, 167-C, 167-D, 167-E, 167-F e 167-G; revoga dispositivos do Ato das Disposições Constitucionais Transitórias e institui regras transitórias sobre redução de benefícios tributários; desvincula parcialmente o superávit financeiro de fundos públicos; e suspende

trouxe limitações às renúncias de receita e aos incentivos fiscais. Em seu art. 4º, estipula que o presidente da República possui o prazo de 6 meses, desde março de 2021, para encaminhar “o plano de redução gradual de incentivos e benefícios federais de natureza tributária, acompanhado das correspondentes proposições legislativas e das estimativas dos respectivos impactos orçamentários e financeiros”. Trata como conceito de incentivo fiscal ou benefício fiscal aquele de natureza tributária definido na publicação do demonstrativo a que se refere o § 6º do art. 165 da Constituição Federal. Ou seja, “O projeto de lei orçamentária será acompanhado de demonstrativo regionalizado do efeito, sobre as receitas e despesas, decorrente de isenções, anistias, remissões, subsídios e benefícios de natureza financeira, tributária e creditícia”⁴⁰⁷.

A EC109 busca ainda reduzir ao menos em 10 % os incentivos existentes até a sua promulgação, tendo o prazo de 8 anos para não ultrapassar 2 % do PIB⁴⁰⁸, salvo os benefícios e incentivos trazidos no § 2º da EC, art. 4º que são: I – estabelecidos com fundamento na alínea "d" do inciso III do caput e no parágrafo único do art. 146 da Constituição Federal (microempresas e empresas de pequeno porte); II – concedidos a entidades sem fins lucrativos com fundamento na alínea "c" do inciso VI do caput do art. 150 e no § 7º do art. 195 da Constituição Federal (educação e de assistência social); III – concedidos aos programas de que trata a alínea "c" do inciso I do caput do art. 159 da Constituição Federal (incentivo às regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste); IV – relativos ao regime especial estabelecido nos termos do art. 40 do Ato das Disposições Constitucionais Transitórias, às áreas de livre comércio e zonas francas e à política industrial para o setor de tecnologias da informação e comunicação e para o setor de semicondutores, na forma da lei; V – relacionados aos produtos que compõem a cesta básica; e VI – concedidos aos programas estabelecidos em lei destinados à concessão de bolsas de estudo integrais e parciais para estudantes de cursos superiores em instituições privadas de ensino superior, com ou sem fins lucrativos. Para Piscitelli, o objetivo geral “é conferir maior racionalidade aos gastos tributários, possibilitando acompanhamento mais efetivo do custo-benefício da medida, sem prejuízo de ampla revisão – medida absolutamente necessária, à luz do nível de renúncia de receitas hoje

condicionalidades para realização de despesas com concessão de auxílio emergencial residual para enfrentar as consequências sociais e econômicas da pandemia da Covid-19. Brasília: Presidência da República, 2021. Disponível em https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/Emendas/Emc/emc109.htm#art1. Acesso em: 13 jan. 2023.

⁴⁰⁷ BRASIL, 1988, CF. Art. 165.

⁴⁰⁸ BRASIL, EC 109, 2021.

existente no Brasil”.⁴⁰⁹ Ressalta-se que os fundos não ingressaram nessa redução. Conforme estipulado no art. 5º § 2º, “Não se aplica o disposto no caput deste artigo: I – aos fundos públicos de fomento e desenvolvimento regionais, operados por instituição financeira de caráter regional; II – aos fundos ressalvados no inciso IV do art. 167 da Constituição Federal”⁴¹⁰.

Compreendendo a aplicação e justificação da extrafiscalidade como um ato no mundo jurídico com efeitos na esfera econômica, os incentivos fiscais visam minimizar as externalidades, que são atos de agentes econômicos com repercussão no mundo jurídico e que será tratado por este, conforme sua extensão, sendo analisado a seguir.

4.2 AS EXTERNALIDADES E O TEOREMA DE PIGOU: PAPEL DO ESTADO

A ausência de regulamentação das nanotecnologias para energias renováveis acaba refletindo na economia e trazendo consequências para a crise ambiental, agravando a crise climática, em especial no que diz respeito as altas emissões de carbono advindas de uma matriz energética não renovável. Atuar de modo a reduzir esses impactos é papel do Estado.

Com menos investidores em pesquisas na área de nanotecnologia para energias renováveis, haverá menos produtos e serviços disponíveis à sociedade, conseqüentemente, com menos oferta, os preços se mantêm elevados. Em razão dos preços elevados, haverá menos consumidores para esses produtos e serviços. Quanto menos demanda, menor o interesse dos investidores, e com menos interesse, menos produtos e serviços estarão disponíveis. Dessa forma, a transição energética resta prejudicada.

Esse ciclo de oferta e demanda é um dos objetos da ciência econômica. O próprio conceito de economia deve ser contextualizado, pois parâmetros que não compunham seus estudos, agora, fazem parte, como por exemplo, as externalidades.

Há uma discussão sobre em que momento a economia começou a ser analisada como um ramo de conhecimento, fato esse que nesse momento é irrelevante. Mas é significativo passear por suas evoluções conceituais, que marcaram determinadas épocas, e sua conseqüente evolução na sociedade.

Uma das premissas iniciais é que a economia está diretamente relacionada, de forma proporcionalmente direta, ao desenvolvimento de determinada sociedade, em um determinado

⁴⁰⁹ PISCITELLI, Tathiane. *Direito Financeiro*. São Paulo: Grupo GEN, 2021. p. 119. E-book. ISBN 9788597022728.

⁴¹⁰ BRASIL, EC 109, 2021.

tempo específico. Arriscando um modelo matemático que relacione Economia (E) e sociedade (S) em função do tempo seria algo como :

$$E \propto S(t)$$

Isto é, há uma relação diretamente proporcional entre o desenvolvimento da sociedade e o desenvolvimento da economia. Mas dependendo da interferência do Estado, esse crescimento pode não ser linear, sendo possível ser até exponencial.

No conceito de economia por tem-se

Ciência que estuda a atividade produtiva. Focaliza estritamente os problemas referentes ao uso mais eficiente de recursos materiais escassos para a produção de bens; estuda as variações e combinações na alocação dos fatores de produção (terra, capital, trabalho, tecnologia), na distribuição de renda, na oferta e procura e nos preços das mercadorias. Sua preocupação fundamental refere-se aos aspectos mensuráveis da atividade produtiva, recorrendo para isso aos conhecimentos matemáticos, estatísticos e econométricos.⁴¹¹

A ciência econômica, para os economistas clássicos, como Adam Smith⁴¹², David Ricardo⁴¹³ e John Stuart Mill⁴¹⁴, seria o estudo do processo de produção, distribuição, circulação e consumo dos bens e serviços (riqueza). Porém, para os autores ligados ao pensamento econômico neoclássico, a economia pode ser definida como a ciência das trocas ou das escolhas. Dessa forma, a economia lidaria com a conduta humana, sendo condicionada pela escassez dos recursos: a economia trata da relação entre fins e meios (escassos) disponíveis para atingi-los. O foco da ciência econômica consistiria em estudar os fluxos e os meios da alocação de recursos para atingir determinado fim, qualquer que seja a natureza deste último. “Segundo os economistas austríacos, especialmente Mises, a economia seria a ciência da ação humana proposital para a obtenção de certos fins em um mundo condicionado pela escassez”.⁴¹⁵:

Portanto a escassez é uma das variáveis contempladas pela economia, pois os recursos que são alocados para a produção dos meios constituem a discussão dessa tese. A discussão quanto aos fins será realizada em um segundo momento, quando falar-se-á sobre tecnologia e inovação.

⁴¹¹ SANDRONI, Paulo. NOVÍSSIMO DICIONÁRIO DE ECONOMIA. Disponível em https://www2.fct.unesp.br/docentes/geo/magaldi/GEO_ECONOMICA_2019/dicionario-de-economia-sandroni.pdf, com acesso em 15/04/2024. P. 189.

⁴¹² Principais obras: A riqueza das Nações (1776); A mão invisível (2008), entre outras.

⁴¹³ Principais obras: The Principles of Political Economy and Taxation (1817), Investigação sobre a natureza e as causas da riqueza das nações (1974)

⁴¹⁴ Principais obras: A Liberdade (1859); o Utilitarismo (1861); Principle of Political Economy (1848) entre outros.

⁴¹⁵ FEA-USP. Faculdade de Economia administração e contabilidade. Disponível em <http://www.econoteen.fea.usp.br/o-que-e-economia>, com acesso em 26/01/22.

A escassez de recursos leva à necessidade de utilizar cada vez menos materiais, e, por isso, a nanotecnologia tem se mostrado relevante para a economia. Com menos materiais disponíveis, é necessário que o existente/utilizado possua a mesma eficiência, principalmente quando o assunto é energia. Para explorar a eficiência, é preciso ter recursos para a realização de pesquisa e desenvolvimento (P&D) para obter o fim almejado: transição energética.

A nanotecnologia para energias renováveis propicia a utilização de menos materiais, com igual, ou melhor, eficiência energética, possibilitando uma mudança de uma matriz energética não renovável para uma matriz renovável de forma eficiente e segura. A isso se refere à transição energética.

Os comportamentos dos indivíduos, sozinhos ou coletivamente, afetará de modo significativo os processos da economia, bem como a legislação, que poderá instrumentalizar para estimular ou não determinado setor da economia.

Richard Posner⁴¹⁶ faz uma análise econômica do direito, e Donald Hermann traz algumas reflexões sobre essa perspectiva. Posner desenvolveu seus estudos sob os postulados fundamentais da economia neoclássica, que ele descreve como "the inverse relationship between price and output, alternative opportunity cost, and the tendency of resources to gravitate from lower valued to higher valued uses if voluntary exchange is permitted."⁴¹⁷ Ou seja, a relação inversa entre preço e produção, custo de oportunidade alternativo e a tendência dos recursos oscilarem entre os usos de menor valor para usos de maior valor se a troca voluntária for permitida. No entanto, Posner confia mais pesadamente nas teorias da economia representadas principalmente pelo trabalho dos adeptos - da Escola de Economia da Universidade de Chicago e, particularmente, o trabalho de Ronald Coase e na sua análise do problema do custo social⁴¹⁸.

Resumidamente, a tese de Coase é que, se os custos de transação fossem zero, entendido como o custo do contrato ou transferência, incluindo o custo da informação, negociação, concordância e reforço, as partes envolvidas naquela atividade, que eram individualmente vantajosas para cada uma, mas mutuamente incompatíveis, iriam, em algum momento, contratar com um outro que trouxesse benefícios em detrimento de seus dois cursos de ação.⁴¹⁹ Claro, o mundo real é caracterizado pela existência de custos de transação, e isso

⁴¹⁶ HERMANN, Donald H. J. Review of "Economic Analysis of Law" By Richard A. Posner. Washington university law review. Volume 1974. Issue 2. 1974.

⁴¹⁷ HERMANN, Op. Cit. P.358. Tradução livre: "a relação inversa entre preço e produção, custo de oportunidade alternativo, e a tendência dos recursos oscilarem entre usos de menor valor para usos de maior valor se a troca voluntária for permitida"

⁴¹⁸ ibidem

⁴¹⁹ HERMANN, Op. Cit. P.359.

levou Coase à sua conclusão de que a atribuição legal de direitos deve resultar na mesma distribuição de direitos que ocorreria se o mercado pudesse funcionar adequadamente. Posner reafirma essa conclusão em termos de eficiência resultante da minimização dos custos de transação.

Posner restates this conclusion in terms of efficiency resulting from the minimization of transaction costs: "Transaction costs are minimized when the law (1) assigns the right to the party who would buy it from the other party if it were assigned to the other party instead and if transaction costs were zero, or (2) alternatively, places liability on the party who, if he had the right and transaction costs were zero, would sell it to the other party"⁴²⁰.

O direito entra nessa seara de discussão quando é o agente responsável que pela interferência no custo. Posner afirma que há minimização do custo de transação quando a lei regulamenta esse custo. No entanto, que a análise Coasiana não leva em consideração os efeitos distributivos da cessão original do direito.⁴²¹ Apesar de não mencionar tais efeitos, mas deixa claro que isso dependerá da noção de equidade que cada cultura possui. No Brasil, a legislação é desenhada para a proteção dos hipossuficientes, buscando equiparar as relações negociais ou contratuais, como por exemplo, as Microempresas (MEI) e Empresas de Pequeno Porte (EPP).

A lacuna atual sobre a regulamentação consolidada a respeito da nanotecnologia e a inexistência em relação ao seu uso em energias renováveis é matéria que necessita da interferência do direito para consolidar/viabilizar as relações na esfera econômica com segurança.

Viabilizar segurança jurídica para que a produção seja tal que reflita num custo de produção não exorbitante e, conseqüentemente, num preço ao consumidor final que possa ser praticado por qualquer pessoa na sociedade, trata-se de viabilizar o consumo com oferta acessível de produto a todos, o que é desejável para energias renováveis.

A equidade envolve questões de distribuição de renda. Embora Posner reconheça o efeito da distribuição de renda existente sobre as escolhas que se refletirão no mercado, ele prossegue com uma análise que enfoca o funcionamento eficiente do mercado e não aborda sobre a questão da distribuição. Posner se limita à análise microeconômica, enfatizando a relação entre preço ou custo e produto ou demanda, equacionando escassez e satisfação.

⁴²⁰ Ibidem. Livre tradução: "Os custos de transação são minimizados quando a lei (1) atribui o direito à parte que o compraria da outra se fosse cedido à outra em vez disso, e se os custos de transação fossem zero, ou (2) alternativamente, impõe responsabilidade à parte que, se tivesse o direito e os custos de transação fossem zero, o venderia para a outra parte"

⁴²¹ HERMANN, Op. Cit. P.360.

Nenhuma atenção é dada a assuntos macroeconômicos, como finanças públicas ou política monetária, que envolvem instituições e atividades jurídicas bastante sofisticadas⁴²².

Com base nos métodos da teoria microeconômica, os agentes econômicos comparam custos e benefícios para tomada de decisão, fazendo uma prospectiva com as informações disponíveis no momento que é realizada a avaliação, contudo são analisadas as consequências, e não, as causas. Esse estudo é realizado na Análise Econômica do Direito (AED). “A AED é a aplicação de uma perspectiva de ‘eficiência’ às normas legais.”⁴²³

A análise econômica do direito se faz necessária nesta tese uma vez que a ausência de regulamentação em nanotecnologias para energias renováveis tem dificultado o desenvolvimento de produtos e serviços em P&D. A falta de compartilhamento de informações e falta de recursos interferem nesse ciclo de desenvolvimento, resultando em menos produtos finais disponíveis aos consumidores e afetando o meio ambiente.

Essa análise de custo/benefício é feita em razão do custo de oportunidade, levando em consideração o bem-estar social dos agentes. Mas o bem-estar social, da coletividade, é medido por fatores que agregam o bem-estar social individual. “Outra medida possível de bem-estar social é aquela desenvolvida por John Rawls e que consiste na preponderância absoluta dos indivíduos com menor utilidade na função de bem-estar social.”⁴²⁴. Para Rawls, os critérios de eficiência e desigualdade de utilidade são diretamente proporcionais, o que implica que não ser possível obter uma maior eficiência sem aumentar a desigualdade social. O papel da economia é buscar a eficiência com a menor desigualdade.⁴²⁵

A eficiência do livre mercado, em sua vertente neoclássica, tendo Adam Smith como referencial, parte da noção de que os “mercados são formas eficientes de alocação de recursos”,⁴²⁶ mas que estão sujeitos a condições específicas, normalmente com atuação do Estado com imposições jurídicas às relações econômicas. Os mercados são entendidos como espaços onde ocorrem as transações entre os ofertadores de bens ou serviços e os consumidores, adquirentes de tais bens e serviços, tratando-se de oferta e demanda. A problemática acontece quando há desequilíbrio nessa relação, o que acaba interferindo no preço final.⁴²⁷

⁴²² HERMANN, Op. Cit. P.361.

⁴²³ PORTO, Antonio José Maristrello. Análise econômica do direito (AED). 2013. FGV Direito Rio. Manual FGV p. 12

⁴²⁴ Ibidem, p. 13

⁴²⁵ PORTO, Op. Cit.

⁴²⁶ PORTO, Op. Cit. P. 22

⁴²⁷ PORTO, Op. Cit.

No caso, a melhor eficiência com a menor desigualdade implicaria disponibilizar a todos os consumidores a possibilidade de utilização ampla e irrestrita de tecnologias para energias renováveis, com preços que toda a sociedade pudesse praticar. A transição energética é uma necessidade pública e social, para que cessem as interferências no clima derivadas do uso irrestrito da energia não renovável disponível. O conceito de eficiência normalmente está associado a atitudes da iniciativa privada, ao empreendedorismo e a associação de riqueza de um modo geral. Porém, de um modo mais amplo, também pode ser entendido como o máximo de produtividade que pode ser atingido com um recurso que é escasso, ao máximo de indivíduos que compõem a sociedade.⁴²⁸

Portanto, tendo em vista a necessidade de o Poder Público fomentar a iniciativa privada, o empreendedorismo na área de P&D em nanotecnologias para energias renováveis é uma forma de interferir para no aumento de eficiência e, com isso beneficiar toda a sociedade.

O primeiro Teorema do Bem-estar determinava que o ponto de equilíbrio do mercado perfeitamente competitivo seria determinado pelo eficiente de Pareto, em que os produtores são os tomadores de preços, mercados completos, sem custo de transação ou assimetria de informações⁴²⁹. Já a economia neoclássica, parte do primeiro teorema do Bem-estar e prevê fatores da realidade, com as chamadas falhas de mercado, que justificam uma atuação Estatal na economia, tendo as normas jurídicas como instrumento de regulação para corrigir tais falhas⁴³⁰.

Para Cooter e Ullen⁴³¹, a *economia do Bem-estar* faz parte da teoria microeconômica, que trata sobre como as decisões individuais e das empresas afetam o bem-estar da coletividade. Esse estudo é relevante no que se refere a direcionar as políticas públicas. Um dos questionamentos feitos pelos autores, e que também é fundamental para a presente tese, é “até que ponto os mercados não regulamentados podem maximizar o bem-estar individual?” Mais especificamente, o mercado, para o desenvolvimento de nanotecnologias para energias renováveis ainda não regulamentado, tem como fomentar o bem-estar da coletividade por meio da proteção ambiental?

Para essa análise, é importante avaliar o equilíbrio geral do mercado. O equilíbrio geral, segundo Cooter⁴³², envolve decisões que conduzem ao “estabelecimento inevitável e

⁴²⁸ PORTO, Op. Cit.. P.15

⁴²⁹ PORTO, Op. Cit.P. 23

⁴³⁰ PORTO, Op. Cit. P. 24

⁴³¹ COOTER, Robert; ULLEN, Thomas. Direito e Economia. 5ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2010. P. 60

⁴³² COOTER, Robert; ULLEN, Thomas. Direito e Economia. 5ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2010. P. 60

espontâneo do equilíbrio em todos os mercados ao mesmo tempo”. Ele só é alcançado quando forças competitivas forem conduzidas à igualdade de benefícios e custos do mercado. Essa condução pode ser direcionada pelo Poder Público, mediante regulamentação uniforme do setor, permitindo o máximo de igualdade possível e promovendo fomento para que o mercado de energias renováveis, com o uso de nanotecnologia, seja tão competitivo quanto os de energias não renováveis. O equilíbrio, com base nas decisões espontâneas nesse mercado, pode conduzir a uma igualdade de benefícios e custos, mas sem o auxílio e interferência do ente público fica inviável, pois os detentores do conhecimento para essa tecnologia tendem a permanecer restrito a elas, bloqueando a entrada de qualquer novo fornecedor. Uma das razões para prevalecer o equilíbrio geral é que as decisões oferecem informações referenciais que permitem ao mercado ser avaliado e, ao mesmo tempo, possibilitam a elaboração de recomendações para direcionar políticas públicas.

Garantir a efetividade do Bem-estar Social é papel do Estado, promovendo e criando ambiente adequado para a sua promoção e desenvolvimento. Assim, o Direito mostra-se necessário como elemento essencialmente regulamentador dessa obrigatoriedade, evidenciando para o Estado que é preciso fomentar determinados segmentos da sociedade. Dessa forma, busca sanar as falhas do mercado.

Exemplo disso é o que ocorreu em 2020, em plena pandemia de Covid-19. Com as famílias ficando mais em casa, devido às restrições impostas, foi público e notório que houve um aumento exponencial do consumo de arroz e, com o aumento do dólar, o produtor nacional preferiu exportar a destinar o alimento ao mercado interno, resultando no seu desabastecimento. O Estado necessitou reduzir a alíquota de importação desse produto para fomentar a entrada desse produto com um preço que a população pudesse adquirir e, dessa forma, abastecer o mercado. Nesse caso, o poder público não conseguiu contornar a figura *free rider*, ou caronas, que seriam “indivíduos que se valem de determinado bem ou serviço sem arcar com os custos de produção, aproveitando-se do fato de que outros agentes arcaram com tais custos”⁴³³.

Segundo Cooter⁴³⁴, o equilíbrio geral possui características que são socialmente ótimas, apresentando eficiência tanto no que diz respeito à produção, quanto à alocação de recursos. Dentre as condições que possibilitam a ocorrência do equilíbrio do mercado, está o fato de todos os mercados serem perfeitamente competitivos, contudo, alguns mercados

⁴³³ PORTO, Op. Cit. P. 31

⁴³⁴ COOTER, Op. Cit. P. 61

apresentam falhas que prejudicam o equilíbrio. As políticas públicas são capazes de corrigir essas distorções das falhas de mercado.

Para Porto, as falhas de mercado conduzem um sistema de livre mercado à alocação ineficiente de bens e serviços, gerando desvios das condições para um mercado competitivo em que os ofertadores buscam maximizar seus interesses próprios em detrimento do interesse social. Essas falhas estão “associadas com assimetria de informações, estruturas não competitivas dos mercados, problemas de monopólio natural, externalidades ou bens públicos.”⁴³⁵ Para Cooter,⁴³⁶ elas podem ser devido ao monopólio e ao poder de mercado, em decorrência das externalidades, pela presença de mercadorias chamadas de bens públicos e assimetria informacional grave.

Tratando-se do mercado de nanotecnologias para energias renováveis, tem-se as presenças de falhas de mercado: tanto na presença de bens públicos, quando se refere ao meio ambiente e ao conhecimento para desenvolvimento de tecnologias inovadoras; quanto a assimetria grave de informações e a presença de possíveis monopólios.

O monopólio é onde todas as vendas de um determinado mercado são realizadas por um único agente. O monopólio natural é conceituado por Porto como “uma condição sobre o custo de tecnologia de uma indústria que resulta na eficiência da produção monopolística”⁴³⁷. Ou seja, a eficiência tecnológica de uma indústria que realiza P&D em nanotecnologias para energias renováveis pode conduzir a uma produção monopolística.

A entrada no mercado de um novo produtor, quando há um monopólio natural, acaba encontrando barreiras que impedem seu desenvolvimento. Se tratando do mercado de energias renováveis, a impossibilidade de desenvolvimento tecnológico forma um grande impeditivo para que novos empreendedores entrem nesse mercado, seja por não terem acesso aos recursos para prover suas pesquisas seja pelo acesso restrito às informações necessárias para desenvolver esse conhecimento.

Embora o monopólio já tenha estado presente mais fortemente nesse mercado, no caso de tecnologias para energias renováveis, há uma concorrência imperfeita, na qual somente algumas empresas detentoras de conhecimento capaz de desenvolver tecnologias inovadoras para energias renováveis mantêm os preços elevados. Esse monopólio tem por origem a assimetria de informações, pois somente uns poucos fornecedores possuem conhecimento para prover a oferta.

⁴³⁵ PORTO, Op. Cit.P. 24

⁴³⁶ COOTER, Op. Cit. P. 61-64

⁴³⁷ PORTO, Op. Cit.P. 31-32

Apesar de haver evolução nesse sentido, ainda hoje os preços aos consumidores finais são impeditivos para uma ampla adesão à adoção de energias renováveis, em razão de a tecnologia atual ser muito cara devido a poucos terem condições de realizar a pesquisa e o desenvolvimento. O desejável é que esse conhecimento seja difundido para que toda a sociedade possa usufruir dos benefícios. Viabilizar e socializar a produção de conhecimento nesse setor seria uma ferramenta para disseminar e diversificar as possibilidades nesse mercado e efetivamente trabalhar numa transição energética.

Essa assimetria de informações acaba gerando uma concorrência imperfeita, definida por Porto como “toda situação da competição, em qualquer mercado, que não satisfaz as condições necessárias para a concorrência perfeita”. Porto também aponta dois pressupostos básicos para uma concorrência perfeita: haver muitos compradores e vendedores no mercado; e os mesmos bens ofertados pelos diferentes vendedores⁴³⁸.

Se há assimetria de informações dentro do próprio grupo de fornecedores, como poderá ser ofertado por diversos vendedores um produto similar? A falta de informações ou conhecimento prejudica o desenvolvimento de novas tecnologias que propiciem o uso de energias renováveis. Quanto mais conhecimento, mais desenvolvedores de novas tecnologias poderão ofertar produtos capazes de efetivamente viabilizar uma transição energética. Porto é taxativo ao afirmar que “a assimetria de informações é, a rigor, uma forma de competição imperfeita”⁴³⁹ e coloca como uma resposta possível a que o ente público pode realizar, mediante as políticas públicas, o aumento da concorrência e a regulamentação.

As falhas de mercado são verdadeiras fontes primárias de criação de norma de direito econômico, porque correspondem a uma situação fática real em que os mercados não funcionam como o modelo que o idealizou previu, prejudicando sua eficiência econômica.⁴⁴⁰ Para Sartori, as principais falhas de mercado são: falta de mobilidade dos fatores de produção, falta de acesso às informações relevantes ao consumidor, a concentração econômica, as externalidades e os bens coletivos.

Para Cooter⁴⁴¹, a troca dentro de um mercado é voluntária e benéfica para todos, os envolvidos têm benefícios e assumem todos os custos, tendo as melhores informações sobre a troca desejada. Mas, quando os benefícios da troca ou os custos podem refletir em pessoas não envolvidas na troca desejada, tem-se as externalidades. Quando a troca que se estende a

⁴³⁸ PORTO, Op. Cit. P. 25

⁴³⁹ PORTO, Op. Cit. P. 26 e 33

⁴⁴⁰ SARTORI, Marcelo Vanzella. As falhas de mercado diante da análise econômica do direito ambiental e do patrimônio cultural como bens coletivos. Universitas. Ano 2 N° 2, Janeiro/junho 2009. P. 81

⁴⁴¹ COOTER, op. Cit.

terceiros na relação implica benefícios, tem-se as externalidades positivas; quando há custos, tem-se as externalidades negativas. A ênfase nesta tese é nas externalidades negativas, pois uma externalidade positiva, almejada com o uso de nanotecnologias para energias renováveis, seria a própria preservação do meio ambiente que reflete no bem-estar da coletividade.

Um exemplo extremamente pertinente para este estudo, apresentado por Cooter⁴⁴², é o de uma empresa que despeja materiais tóxicos no rio como subproduto do seu processo produtivo. O objetivo aqui não é analisar o grau de toxicidade dos dejetos, nem tão pouco se a empresa está descartando em conformidade com a legislação ou não, o que resultaria em desdobramentos jurídicos específicos, mas sim, a análise do autor foi sobre as consequências econômicas desse descarte. Essa ação da fábrica resulta por impor um custo inesperado aos habitantes da cidade rio abaixo, como o custo adicional que eles terão para purificar a água para uso, ou trazê-la de outro lugar. Nesse exemplo, o mercado falhou, pois o gerador da externalidade que ocasionou o custo externo, não precisa pagar pela externalidade que deu causa a outros, agindo como se o custo da destinação do seu subproduto fosse zero, o que não ocorreu de fato, para as pessoas localizadas rio abaixo. Tecnicamente, “o gerador da externalidade produz produto demais e dano demais porque há uma diferença entre custo marginal privado e custo marginal social”⁴⁴³. Como forma de reduzir esse comportamento, é necessário haver políticas públicas que induzirão o poluidor e causador da externalidade a levar em consideração os custos externos.

Embora no Direito exista a figura do poluidor pagador, que não é o objeto desta tese, nesse caso, a empresa paga pelo dano que causou ao meio ambiente, entretanto o prejuízo normalmente é muito maior que o pagamento realizado, visto que os ecossistemas poluídos e degradados têm altas dificuldades de regeneração, quando isso for possível. É isso que acontece com o uso de uma matriz não renovável para produção de energia, em especial, a usada em transporte, que gera as alterações climáticas, como visto no capítulo anterior. Para Cooter, é preciso internalizar as externalidades, e

a chave para atingir o ótimo social onde há externalidades é induzir os maximizadores de lucro privados restringir sua produção ao ponto socialmente ótimo, e não ao ponto privativamente ótimo. Isso é feito por políticas públicas que levem a empresa a operar ao longo da curva do custo marginal social, e não ao longo da curva do custo marginal privado.⁴⁴⁴

⁴⁴² COOTER. Op.Cit. P. 61

⁴⁴³ COOTER. Op.Cit. P. 62

⁴⁴⁴ COOTER. Op.Cit. P. 62.

A externalidade produzida pelo mercado produtor de energia não renovável precisa ser internalizada, e, ao poder público, cabe conduzir políticas públicas que possam compelir o próprio mercado a investir em tecnologias que potencializem as energias renováveis, como as nanotecnologias, viabilizando uma transição energética eficiente e estável.

Porto entende que as externalidades podem ser compreendidas como os “custos ou benefícios que não são internalizados pelo indivíduo ou pela empresa em suas ações e que impõem custos ou benefícios diretamente a terceiros”.⁴⁴⁵ Ou seja, é um custo que é imposto a um terceiro que não participou da relação e é obrigado a arcar com os impactos da produção. Nessa situação, o equilíbrio de mercado é atingido sem que a externalidade componha a formação do custo e valor social, fazendo com que o mercado aloque recursos de maneira ineficiente.

As externalidades, segundo Nusdeo, correspondem a custos e benefícios que circulam externamente no mercado, os quais não se compensam, pois o mercado não consegue precificar. “E assim, o nome externalidade ou efeito externo não quer significar fatos ocorridos fora das unidades econômicas, mas sim fatos ou efeitos ocorridos fora do mercado, externos ou paralelos a ele, podendo ser vistos como efeitos parasitas”.⁴⁴⁶ Portanto um custo não compensado, ou não previsto, resulta na externalidade, que gera um ônus para o bem-estar social, são danos não mensurados no custo de transação. As externalidades positivas, como já visto, resultam por agregar, mas as negativas provocam dano ou prejuízo individual ou coletivo.

Com o propósito de minimizar os efeitos das falhas do mercado, o papel do Estado, como agente regulamentador é o que traduz o teorema de Pigou⁴⁴⁷. Para Pigou, os custos não compensados pela produção, que são repassados a outros agentes, tem o preço de mercado não refletido de na totalidade do custo gerado pela produção. Adicionar aos custos privados da produção os chamados custos sociais, internalização das externalidades, provocaria um aumento no valor do bem produzido e, conseqüentemente, reduziria seu consumo, uma vez que uma quantidade menor seria produzida.⁴⁴⁸ Para Pigou:

To put the same point in more general terms, any external limitation imposed on the price of an article produced under competitive conditions (i.e.,

⁴⁴⁵ PORTO, Op. Cit. P. 26

⁴⁴⁶ NUSDEO, apud SARTORI, op. Cit. P.83

⁴⁴⁷ PIGOU, A. C. The economics of welfare. London: McMillan. 1948. Disponível em https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4154221/mod_resource/content/0/Pigou-The_Economic_of_Welfare_1920.pdf, com acesso em 28/01/2022.

⁴⁴⁸ MORAES NETO, Deraldo Dias de. A aplicação da análise econômica do direito ao problema da cobrança do uso da água bruta dos rios.

otherwise than by a monopolist) must lessen the inducement that people have to make that article. Normally it is just through high prices and high profits that a shortage of anything corrects itself. The prospect of exceptional gain directs free resources into the industry which makes the thing that is short. Cut off this prospect, and that increase of supply, which the interest of the national dividend demands, will be checked, and checked more severely the greater is the cut made from the "natural" price.⁴⁴⁹

Pigou propunha que a solução para as externalidades negativas ocorreria por meio da intervenção do Estado, ao atribuir um preço ao bem usado que incluísse o custo social. Logo, seria possível a correção das externalidades negativas por meio de cobranças, estabelecidas com base na diferença entre o custo marginal privado e o custo marginal social^{450 451}. Soares afirma que “A intervenção estatal que Pigou propõe seriam os impostos. Este deveria corresponder a um valor que refletisse o custo social infringido à coletividade pelo desgaste causado na utilização do recurso natural por um único agente.”⁴⁵²

Nesse caso haveria o tributo sendo utilizado com sua função extrafiscal, regulando uma relação. Mas, além de impostos que tornariam o preço final ainda mais elevado ao consumidor final, que é de fato quem arcaria com mais esse gravame, a ferramenta fiscal mais adequada para frear o uso da matriz energética não renovável e, ao mesmo tempo, estimular a transição energética é o fomento à inovação tecnológica para as energias renováveis, que poderia ser conferido também aos próprios produtores da matriz não renovável durante a pesquisa para a transição.

O Teorema de Coase, já mencionado no início dessa seção, propõe que o problema das externalidades é a precificação. As externalidades poderiam ser coerentemente definidas mediante negociação, que deveria levar em conta um nível ótimo de redução das externalidades.⁴⁵³ O autor utilizou a expressão custo de transação referindo-se aos impedimentos da negociação, que seria exitosa quando esses custos fossem iguais à zero. Dessa forma, os recursos seriam utilizados eficientemente. Ou seja, pode-se dizer que o Teorema de Coase, “quando aplicado para resolver disputas sobre direitos de propriedade, tem a seguinte implicação: quando os custos das transações são baixos, as partes que disputam

⁴⁴⁹ PIGOU, op. Cit. P. 138

⁴⁵⁰ ROCHA, J. M. da. **A ciência econômica diante da problemática ambiental**. 2004. Disponível em: <https://www.ucs.br/site/midia/arquivos/IPES_TD_009_JUL_2004.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2022.

⁴⁵¹ SOARES, Danielle e outros. **Aplicação ambiental do teorema de Coase: o caso do mercado de créditos de carbono**. Disponível em <https://periodicos.fclar.unesp.br/iniciativa/article/view/8691>, com acesso em 28 jan.2022

⁴⁵² SOARES, op. Cit. P. 10.

⁴⁵³ ROCHA, op. Cit.

os direitos de propriedade estão na melhor posição para resolver eficientemente a questão”.⁴⁵⁴ Se forem definidos corretamente os direitos de propriedade, esse custo marginal seria zero. Assim, mediante negociação, a estrutura da lei não importaria, pois resultaria em eficiência em todos os casos.⁴⁵⁵

Quando a falha de mercado é causada devido à existência de desequilíbrio de informações entre as partes envolvidas na troca, impedindo essa troca, tem-se a assimetria informacional grave⁴⁵⁶. Isso ocorre porque as informações são distribuídas assimetricamente no mercado, podendo desorganizá-lo de tal modo que um ótimo social não é possível pela troca voluntária. Nesses casos, a intervenção do Poder Público pode corrigir as assimetrias informacionais e conduzir a uma troca mais próxima da ótima.

Porto traz o conceito de assimetria de informações, a qual “lida com o estudo de decisões dos agentes econômicos em transações em que uma parte tem a informação mais ou melhor que a outra. Isso cria um desequilíbrio de poder nas transações que por vezes pode levar a problemas de alocação”⁴⁵⁷. Se o Agente Principal é o detentor da informação e somente ele pode conhecer o objeto, como acontece com o conhecimento de nanotecnologia para utilização em energias renováveis, haverá impedimento para que outros agentes possam ingressar no mercado e ofertar os mesmos produtos.

Os problemas da seleção adversa e do risco moral decorrem de uma assimetria de informações entre as partes: uma das partes possui informações relevantes para o contrato que a outra parte não é capaz de obter. Tais problemas são comumente apresentados como razões para a implementação de regulações de defesa dos interesses dos consumidores.⁴⁵⁸

O problema da assimetria de informações pode existir tanto entre fornecedores e consumidores, quanto entre diferentes fornecedores, que, por insuficiência de informações, acabam não se consolidando no mercado. Diante disso, cabe ao poder público fomentar a inovação em nanotecnologias para energias renováveis como forma de reduzir a falha de mercado derivada da assimetria de informações existentes no setor. Na análise econômica do direito, a simetria de informações conduz a um equilíbrio de mercado, no sentido que o mercado existente deva ser um mercado transparente, em que todos têm a mesma informação

⁴⁵⁴ PORTO, Op. Cit. p. 42

⁴⁵⁵ PORTO, Op. Cit. p. 43

⁴⁵⁶ COOTER, Op. Cit. P. 63

⁴⁵⁷ PORTO, Op. Cit. P. 33

⁴⁵⁸ PORTO, Op. Cit. P. 35

ou capacidade para pesquisar a informação faltante, para que o resultado final seja adequado aos fins almejados, gerando segurança jurídica.

Em se tratando de investimentos em nanotecnologia para energias renováveis, o retorno financeiro para a empresa investidora não é instantâneo. Na maioria das vezes, são necessários anos de pesquisa e investimentos para lançar um produto ou um processo que seja capaz de produzir o resultado desejado. Somente ao final, que o empresário poderá ter o lucro almejado. Garantir “o meio do caminho”, que permite a segurança jurídica dessa pesquisa é propiciar o desenvolvimento sustentável, e este é papel do ente público.

Portanto, tendo em vista a atual crise climática experimentada, a necessidade de repensar o modo de produção e a relação com o planeta, reduzindo as emissões de carbono, que, por si só, são externalidades, o uso da nanotecnologia para uso em de energias renováveis é uma forma de reduzir essas falhas de mercado na medida em que se vai fomentar uma matriz energética alternativa, viabilizando a transição energética.

Figueiredo Neto e Gullo afirmam que a participação do estado na regulação, fiscalização e provimento de recursos está previsto na CF/88. Tendo sido bem definida na CF/88, as atribuições com relação à participação do ente público na vida da sociedade, inclusive na atividade econômica, com domínio “bastante presente na figura de regulador em atividades ligadas à saúde, energia, comunicações, aviação, recursos hídricos e outros.”⁴⁵⁹

Ao ente público, resta o dever de estimular a concorrência nesse mercado, para que a tecnologia não fique restrita à um único agente ou a poucos agentes. A política pública deve estar voltada para que mais *players* possam ingressar nesse mercado, a fim de tornar o produto final acessível para toda a sociedade. Com a simetria de informações, garante-se o desenvolvimento sustentável e a segurança jurídica.

A externalidade, alvo do Teorema de Pigou e Coase é refere-se à ausência de regulamentação fomentadora de novas de tecnologia. Sem elas, tem-se “velhas” tecnologias utilizando recursos escassos no lugar de tecnologias limpas, as quais utilizam menos materiais para produzir os mesmos produtos. É preciso o fomento à inovação tecnológica, especificamente voltada às nanotecnologias, que passa-se a analisar.

4.3 INCENTIVOS FISCAIS VOLTADOS À INOVAÇÃO TECNOLÓGICA E NANOTECNOLOGIAS

⁴⁵⁹ FIGUEIREDO NETO, Manoel Valente; GULLO, Carolina Rosa. Análise econômica do Direito e da propriedade. 1ª ed. Londrina, PR: Editora Soriana, 2022. P. 29

Falar em inovação é falar em ciência e tecnologia, e, muitas vezes, quando se fala em tecnologias, pensa-se logo em degradação ambiental, visto que, no senso comum, a tecnologia está voltada à promoção do desenvolvimento econômico a qualquer preço, sem importar-se com a degradação ambiental. Contudo, esta tese busca prioritariamente demonstrar que é plausível inovar e buscar a preservação ambiental simultaneamente. Considera-se um caminho mais profícuo utilizar a ferramenta da ciência e da tecnologia para um ambiente ecologicamente equilibrado.

A Lei nº 10.295/2001, que trata da Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, em seu art. 1º, expressa que seu objetivo é “alocação eficiente de recursos energéticos e a preservação do meio ambiente”⁴⁶⁰ Nesse sentido, a necessidade de se mudar de forma drástica a matriz energética mundial resta comprovada cientificamente, como visto no capítulo 2. Como uma possível solução, surge a inovação, mas ainda em um movimento tímido, necessitando de incentivos governamentais para implantação e mais acessibilidade a fontes energéticas renováveis a toda população e não somente àqueles poucos que possuem recursos financeiros para viabilizar a sua efetivação⁴⁶¹.

Em 2021, segundo o relatório síntese do BEN de 2022⁴⁶², como visto no capítulo 2 da presente tese, o setor que mais consumiu energia foi o transporte de carga e de passageiros, com 32,5%, e o setor industrial, com 32,3%, correspondendo aproximadamente a 65% do consumo da energia do País. Conjuntamente, a participação de energias renováveis na matriz energética caiu quase 4% com relação ao ano anterior, devido à queda na oferta de energia hidráulica, que está associada à escassez hídrica e à necessidade de acionamento das termoelétricas. O relatório ainda revela que a maior oferta de energia provém de fontes não renováveis, sendo 34,4% de petróleo e derivados, 13,3% de gás natural, 5,6% de carvão mineral, 1,3% de urânio e 0,6% de outras fontes não renováveis⁴⁶³.

O uso de nanotecnologias no setor energético tem sido objeto de pesquisa de cientistas que buscam inovação. Algumas, como a publicada em 2011, ocorrem na área de captação de energia solar, com a utilização de nanopartículas de grafite, a exemplo do estudo realizado pela Universidade Estadual do Arizona, nos Estados Unidos. Nele, os pesquisadores desenvolveram uma técnica que pode melhorar a captação de energia solar a partir do uso de

⁴⁶⁰ BRASIL. *Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001*. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, 2001. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LEIS_2001/L10295.htm. Acesso em: 30 jan. 2023.

⁴⁶¹ RODRIGUES, 2022.

⁴⁶² MME; EPE, 2022.

⁴⁶³ Ibidem.

nanopartículas de grafite. Foi estimada uma economia superior a US\$ 3,5 milhões por ano, para o desenvolvimento de uma planta solar com 100 megawatts de potência. Essa pesquisa foi publicada no *Journal of Renewable and Sustainable Energy*⁴⁶⁴.

Outra pesquisa foi feita por Pandey⁴⁶⁵ e outros, em *Eco-Friendly, Direct Deposition of Metal Nanoparticles on Graphite for Electrochemical Energy Conversion and Storage*. Nessa investigação, foram utilizados materiais eletroativos a base de grafite, com depósito de outros metais (nobres ou não), sem auxílio de agente redutor, a fim de gerar e armazenar energias renováveis. Visando à eficiência energética, outro estudo buscou um material com melhor condutividade térmica, para tanto, foram acrescentadas nanopartículas ao fluido base feito por Senthil⁴⁶⁶. Salienta-se que o propósito desta tese não é fazer uma análise técnica sobre as pesquisas, mas demonstrar que elas existem e precisam ser desenvolvidas com incentivos fiscais.

O CNPEM (Conselho Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais) publicou uma separata na qual apontam que a produção de novos materiais com menos matéria-prima e menos consumo de energia é inerente aos novos processos de inovação e que dependerá da relação ótima de custo benefício.

Os nanomateriais e a nanofabricação abrirão portas para que se fabriquem produtos com eficácia e precisão insuperáveis, consumindo menos insumos e energia. Processos top-down ou bottom-up permitirão obter materiais e estruturas manométricas específicas com baixas impurezas e defeitos, criar produtos ou agregar novas ou diferenciadas funcionalidades a produtos já existentes. O sucesso da adoção dependerá de se encontrar a relação ótima de custo vs. benefício para cada nanomaterial no que tange à sua concepção e produção, de entender a sua interação com os sistemas em que atuarão e de mensurar a sua interrelação e impacto sobre elementos externos.

Parcerias da academia com a indústria são fundamentais para essa compreensão e para mitigar barreiras técnicas que possam inviabilizar a aquisição ou a produção dos nanoproductos⁴⁶⁷.

Então, há uma tendência de criação de novos materiais que observa a relação custo-benefício, analisada a partir do Ótimo de Pareto e do Teorema de Coase. Esses materiais precisam ser ambientalmente satisfatórios, de forma a permitir a sustentabilidade ambiental. É o caso do grafeno, desenvolvido nos laboratórios da UCS, que já é reconhecido como uma alternativa viável na inovação para a produção de energias renováveis.⁴⁶⁸

⁴⁶⁴ WEI, 2016.

⁴⁶⁵ PANDEY, 2019.

⁴⁶⁶ SENTHIL; MARIMUTHU, 2016.

⁴⁶⁷ CNPEM, 2019.

⁴⁶⁸ RODRIGUES, 2022.

To counteract this, graphene nanotechnology is finding application in some of these technologies to improve their efficiencies. There has been some promising results and breakthrough, and this chapter seeks to bring to light some of these achievements. The chapter will only discuss four renewable energy fields: battery technology, fuel cell technology, solar cell technology, and energy storage devices. Nanotechnology has been finding application in a wide range of fields including renewable energy⁴⁶⁹.

O potencial tecnológico dos nanomateriais é cada vez mais amplo, e o potencial dos processos de inovação contendo nanomateriais é altamente provável quanto ao sucesso e à rentabilidade. Contudo, atualmente ele ainda é muito dispendioso, como tudo que implica novas tecnologias. O papel do Estado é justamente intervir de forma a propiciar, de modo equânime, uma tecnologia mais limpa ambientalmente, comparada com outras já obsoletas, mas mais baratas. Contudo, as externalidades negativas do uso das nanotecnologias precisam ser enfrentadas, como forma de desvendar os pré-conceitos que circulam a matéria, por desconhecimento, em prol de um desenvolvimento sustentável que possa atingir a todos.⁴⁷⁰

A tecnologia é percebida como um elemento presente e requisito essencial para o desenvolvimento, ainda mais quando atrelada a processos de inovação. No entanto, o mero desenvolvimento pelo viés econômico não mais satisfaz a sociedade, que hoje percebe a necessidade da preservação da natureza. A conservação ambiental é prerrogativa do poder público em conjunto com toda sociedade, mas cabe a ele fomentar meios de alcançar o almejado desenvolvimento sustentável. O investimento em inovações promotoras de tecnologias limpas também é dever do Estado, que recentemente incluiu, a partir da EC nº 85, a inovação à matéria Constitucional e, como tal, é tratada com a supremacia que a referida legislação preconiza.

A inovação tecnológica voltada para tecnologias ambientalmente corretas permite que a preservação do meio ambiente ocorra de forma eficiente. Dessa forma, as tecnologias são direcionadas para a produção de fontes renováveis de energia, diminuindo a dependência de fontes não renováveis de energia, como o petróleo. Com isso, é reduzida a produção dos gases que causam o efeito estufa, dirimindo as alterações climáticas que o planeta tem experimentado, conforme o IPCC. A conexão entre inovação tecnológica e meio ambiente deve ser ponderada sempre tendo em vista o princípio da precaução, mas isso não deve ser usado para paralisar a tecnologia ambientalmente satisfatória.

A legislação ainda precisa avançar nesse sentido, visto que a ponderação sobre elementos ambientalmente sustentáveis não faz parte da lei que confere os incentivos fiscais.

⁴⁶⁹ MAMVURA; SIMATE, 2019.

⁴⁷⁰ RODRIGUES, 2022.

Esses incentivos, relacionados à inovação tecnológica, estão regulados pela Lei 11.196/2005, conhecida como “Lei do Bem”, na qual consta que é possível o incremento fiscal para empresas que investem em inovação tecnológica. Nesse contexto, ingressam as ICTs com o papel fundamental, fomentadoras desse conhecimento. As ICTs são, segundo definição legal do art. 2, V da lei supracitada, Instituição Científica, Tecnológica e de Inovação (ICT) é órgão ou entidade da administração pública direta ou indireta ou pessoa jurídica de direito privado, sem fins lucrativos, que possua como objetivo ou missão institucional a pesquisa, em caráter científico ou tecnológico, produtos, serviços ou processos⁴⁷¹.

A concessão dos benefícios fiscais à Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) foram idealizados para prover estímulos financeiros na fase de maior incerteza de ganho econômico, na concepção de novos produtos, processos ou novas funcionalidades⁴⁷². A lei menciona também que a atividade de P&D não necessita ser a atividade fim, mas que seja classificada como pesquisa básica dirigida, pesquisa aplicada ou de desenvolvimento experimental. Os beneficiários podem ser pessoas jurídicas em regularidade fiscal, que utilizam o Regime de Tributação com base no Lucro Real⁴⁷³ e que desenvolvam atividades de pesquisa e inovação⁴⁷⁴.

Os incentivos fiscais previstos nessa norma incluem deduções com despesas operacionais; despesas com a execução de projetos de PD&I contratados no País com universidade, instituição de pesquisa ou inventor independente; além de

I – Dedução da soma dos dispêndios de custeio nas atividades de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação – PD&I no cálculo do IRPJ e CSLL, nos seguintes percentuais:

- Até 60%, via exclusão;
- Mais 10%, na contratação de pesquisadores para PD&I (Incremento inferior a 5%);
- Mais 20%, na contratação de pesquisadores para PD&I (Incremento superior a 5%); e
- Mais até 20%, nos casos de patente concedida ou registro de cultivar.

II – Redução de 50% do IPI na aquisição de bens destinados à PD&I;

III – Depreciação Acelerada Integral de bens novos destinados à PD&I;

IV – Amortização Acelerada de bens intangíveis destinados à PD&I; e

V – Redução a zero da alíquota do Imposto de Renda Retido na Fonte (IRRF) nas remessas de recursos financeiros para o exterior destinadas ao registro e manutenção de marcas, patentes e cultivares⁴⁷⁵.

⁴⁷¹ BRASIL, 2005.

⁴⁷² MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO – MCTI. *O que é a Lei do Bem*, 21 mar. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/lei-do-bem/paginas/o-que-e-a-lei-do-bem>. Acesso em: 10 jun. 2023.

⁴⁷³ BRASIL, 2005.

⁴⁷⁴ Ibidem.

⁴⁷⁵ Ibidem.

Na “Lei do Bem”, o incremento fiscal não é conferido ao objeto da inovação em si, mas à pesquisa e ao desenvolvimento da tecnologia. Contudo, pela análise da Lei, percebe-se que o fator ambiental sequer é mencionado quando se trata de benefício fiscal para promoção do meio ambiente. Consta, como única exceção, o compreendido no art. 57-C, referente à observância de ordem burocrática para as centrais petroquímicas e as indústrias químicas, como apresentar licenças ambientais, retirar certificados relativos a “Reduções Verificadas de Emissões (RVE) de Gases de Efeito Estufa (GEE) em quantidade compatível com os indicadores de referência aplicáveis ao impacto ambiental gerado pelas emissões de carbono decorrentes de suas atividades”,⁴⁷⁶.

A inovação no Brasil passa por períodos de estímulos e, em outros momentos, de enxugamento, dependendo do momento político vivenciado, esse setor é um dos que mais drasticamente é afetado, de forma imediata. Já a preocupação ambiental não é uma constante. Uma ferramenta quantitativa, mundialmente utilizada para medir a inovação em cada país, é o Índice Geral de Inovação (IGI), que publica um relatório anualmente, desde 2007, pela WIPO (*World Intellectual Property Organization*), em parceria com a Universidade de Cornell e a Insead⁴⁷⁷.

O Brasil é a 9ª maior economia do mundo (2022), porém, no relatório do ano 2020, no IGI, ocupou a 62ª posição dos 131 países, subindo quatro pontos percentuais. Essa ascensão não se dá em razão de investimentos no setor, ao contrário, houve um rebaixamento de outros quatro países, anteriormente, melhores colocados.⁴⁷⁸ Atualmente, o Brasil está na 54ª posição, sendo o segundo colocado na América Latina.

Brazil (54th), the Islamic Republic of Iran (53rd) and Peru (65th) keep their achiever status for a second consecutive year. These three economies also gain between three and seven positions in the rankings, with Brazil moving forward since 2019. In 2022, Brazil makes marked improvements in innovation outputs, notably in Creative outputs, including in Intangible assets and Online creativity, as well as in the indicators Trademarks (19th) and Mobile app creation (34th)⁴⁷⁹.

Esse posicionamento mundial é incompatível com o potencial econômico que o Brasil possui, demonstrando a necessidade de investimentos no setor. A principal ferramenta

⁴⁷⁶ BRASIL, 2005.

⁴⁷⁷ ABREU, Diego. Brasil avança quatro posições no Índice Global de Inovação e chega ao 62º lugar. *Agência de notícias da indústria*, Brasília, 02 set. 2020. Inovação e Tecnologia. Disponível em: <https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/inovacao-e-tecnologia/brasil-avanca-quatro-posicoes-no-indice-global-de-inovacao-e-chega-ao-62a-lugar/>. Acesso em: 21 out. 2020.

⁴⁷⁸ Ibibem.

⁴⁷⁹ WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION – WIPO. *GII 2022 results*. Genebra, Suíça: Wipo, 2021. Disponível em: <https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo-pub-2000-2022-section3-en-gii-2022-results-global-innovation-index-2022-15th-edition.pdf>. Acesso em 18 jan. 2023.

de financiamento à CT&I no País é o Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT), criado em 1969, por meio do Decreto-Lei nº 719, sendo um “instrumento financeiro de integração da ciência e tecnologia com a política de desenvolvimento nacional”. Gerenciado pela Secretaria Executiva da Agência Pública FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos), desde 1971, tem natureza contábil e seu objetivo é “financiar a inovação e o desenvolvimento científico e tecnológico, com vistas a promover o desenvolvimento econômico e social do País”⁴⁸⁰ e “apoiar financeiramente programas e projetos prioritários de desenvolvimento científico e tecnológico nacionais, tendo como fonte de receita os incentivos fiscais, empréstimos de instituições financeiras, contribuições e doações de entidades públicas e privadas”⁴⁸¹.

Analisar as implicações da nanotecnologia como fomentadoras do desenvolvimento da indústria, a partir das inovações dessas áreas, repercute não só na indústria, como também na economia e na sociedade de forma ampla. Com vistas ao desenvolvimento, as ICTs têm um papel fundamental no processo de conhecimento. Para Peixoto⁴⁸²

Para Dalum et al. (1992), existe uma grande interdependência entre a tecnologia e as instituições, onde a primeira não existe por si mesma, mas está incorporada em um arcabouço institucional. Para os autores, as capacitações de uma firma, por exemplo, dependem não apenas das ferramentas utilizadas, mas também da capacidade de organização de seu processo produtivo. Esta capacidade, por sua vez, depende das suas relações institucionais com diversos atores, como fornecedores, consumidores, agências públicas, institutos de pesquisa, etc., ou seja, com os diversos atores do sistema nacional de inovação. De qualquer forma, a capacidade de resposta das organizações e instituições para a mobilização nas novas tecnologias também dependem do contexto em que operam, ou seja, dos diferentes sistemas tecnológicos⁴⁸³.

Sempre que se fala em desenvolvimento e indústria, a tributação pode ser um elemento decisivo para a implementação ou não de uma nova ideia, de forma a fomentar ou desestimular um evento. Trata-se da função extrafiscal do tributo que pode ser utilizada para promover o desenvolvimento sustentável, que será tema de capítulo específico nesta tese.

Em 2021, por meio da Resolução CI Nº1, o Governo Federal, a partir do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, na Câmara de Inovação, aprovou a Estratégia Nacional de

⁴⁸⁰ BRASIL. *FINEP Inovação e Pesquisa*. O FNDCT. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/a-finep-externo/fndct>. Acesso em: 21 out. 2020.

⁴⁸¹ BRASIL. *Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação*. Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FNDCT. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/fndct>. Acesso em: 10 jun. 2023.

⁴⁸² PEIXOTO, Flávio José Marques. *Nanotecnologia e sistemas de inovação: implicações para política de inovação no Brasil*. 2013. 398 f. Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Economia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2013. 60 p.

⁴⁸³ Ibidem.

Inovação e os Planos de Ação para os eixos de Fomento, Base Tecnológica, Cultura de Inovação, Mercado para Produtos e Serviços Inovadores e Sistemas Educacionais⁴⁸⁴. Para cada plano de ação, tem-se diferentes níveis, conforme a prioridade do País para o fomento à inovação no setor produtivo. Cada eixo possui diretriz própria, objetivos, metas e iniciativas. As ações visam atender às demandas do ecossistema, “como o estímulo ao investimento privado em inovação; o apoio a startups e iniciativas de inovação aberta; e programas de apoio a tecnologias estruturantes em áreas como agricultura, energias renováveis, espaço, entre outras”, contando com vários atores públicos e privados, entidades de pesquisa e desenvolvimento, tanto para estratégias de desenvolvimento quanto para implementação. Trata-se de uma “Ação importante para permitir uma estrutura coordenada e eficaz das políticas federais de fomento à inovação”.⁴⁸⁵

Ainda no mesmo documento, no anexo II dos planos de ação temáticos, no eixo responsável pelo estímulo da base de conhecimento tecnológico para a inovação, com o objetivo de implementar ações de promoção do desenvolvimento tecnológico e de inovação em setores estruturantes e estratégicos da economia, encontra-se, em especial, dois projetos voltados às ICTs e empresas, relacionados à nanotecnologia⁴⁸⁶:

Quadro 4 – Projeto A

Título	7R65 - Estabelecer Ciclo de Chamadas Públicas para a criação, fortalecimento, atualização e expansão da infraestrutura tecnológica e das diversas Redes de Laboratório em Nanotecnologia, alinhada com os ambientes de inovação.
Descrição	Realizar um conjunto de chamadas públicas visando a criação, fortalecimento, atualização e expansão da infraestrutura tecnológica e das Redes de Laboratórios em Nanotecnologia, direcionados à pesquisa, ao desenvolvimento e à inovação (PD&I) em nanociências e nanotecnologias, tendo como característica essencial o caráter multiusuário e de acesso aberto a instituições públicas e privadas, empresas e startups
Público Alvo	ICTs e Empresas
Projeto/Atividade	Atividade
Orçamento 2021/2022 (R\$)	40.000.000,00
Fonte principal de recursos	Fundo Setorial
Órgão Responsável	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações

Fonte: MCTI (2021).

⁴⁸⁴ MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (MCTI). Câmara de Inovação. *Resolução nº 1, de 23 de julho de 2021*. Aprova a Estratégia Nacional de Inovação e os Planos de Ação para os Eixos de Fomento, Base Tecnológica, Cultura de Inovação, Mercado para Produtos e Serviços Inovadores e Sistemas Educacionais. Brasília: Câmara de Inovação, 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-ci-n-1-de-23-de-julho-de-2021-334125807>. Acesso em: 03 ago. 2021.

⁴⁸⁵ O que diz a Estratégia Nacional de Inovação brasileira?. *ANPEInews*, São Paulo, 02 ago. 2021. Disponível em: https://anpei.org.br/o-que-diz-a-estrategia-nacional-de-inovacao-brasileira/?utm_campaign=geral_-_feed_anpei_oficial_-_30072021&utm_medium=email&utm_source=RD+Station. Acesso em: 03 ago. 2021.

⁴⁸⁶ MCTI, op. cit.

No projeto acima, tem-se por objetivo a expansão da rede de laboratórios em nanotecnologias, com melhoria na infraestrutura e acesso aberto com característica multiusuária. A seguir, em outro projeto, tem-se a implementação de uma plataforma de empreendedorismo e inovação em nanotecnologias.

Quadro 5 – Projeto B

Título	8X19 - Implementar Plataforma de Empreendedorismo e Inovação em Nanotecnologia e Materiais Avançados
Descrição	Plataforma de Sub-chamadas do MCTI para inovação (ICT+Empresas) e empreendedorismo (startups ancoradas em ICTs). Os temas das sub-chamadas são decididos na SEMPI (IA, MA, AGRO, Saúde e etc). Os executores seriam quaisquer ICTs que passaram por chamamento público (Unidades Embrapii, SisNANO, Sisfóton, INCT, Centros de Inovação FINEP e etc).
Público Alvo	ICTs e Empresas
Projeto/Atividade	Atividade
Orçamento 2021/2022 (R\$)	60.000.000,00
Fonte principal de recursos	Fundo Setorial
Órgão Responsável	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações

Fonte: MCTI (2021).

Possibilita-se, ainda, como iniciativa estratégica de inovação, “Incentivar transferência de tecnologia (ativos de propriedade intelectual) das Instituições Científicas e Tecnológicas (ICT) para empresas e startups”⁴⁸⁷. Dessa forma, há um benefício mútuo para quem cria a inovação e para aquele que poderá reproduzir, tendo, como beneficiária, a sociedade. Contudo, esses valores, que teriam como fonte principal o Fundo Setorial, acabaram contingenciados em razão da pandemia.

A fim de promover a inovação, em agosto do ano 2020, foi aprovado o PL 135, de autoria do senador Izalci Lucas (PSDB-DF)⁴⁸⁸. O projeto assegura que os recursos do FNDCT serão utilizados para o desenvolvimento científico, tecnológico e de inovação, bem como anuncia o fim do contingenciamento dos recursos. Esse projeto de lei foi convertido na Lei Complementar 177 de 2021⁴⁸⁹, sancionada em 13 janeiro de 2021.

⁴⁸⁷ MCTI, 2021.

⁴⁸⁸ BRASIL. Senado Federal. *Projeto de Lei Complementar n° 135, de 2020*. Altera a Lei Complementar n° 101, de 4 de maio de 2000, para vedar a limitação de empenho e movimentação financeira das despesas relativas à inovação e ao desenvolvimento científico e tecnológico custeadas por fundo criado para tal finalidade, bem como altera a Lei n° 11.540, de 12 de novembro de 2007, para modificar a natureza e as fontes de receitas do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FNDCT. Brasília: Senado Federal. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/142077>. Acesso em: 15 set. 2020. p. 46.

⁴⁸⁹ BRASIL. Senado Federal. *Lei complementar n° 177, de 12 de janeiro de 2021*. Altera a Lei Complementar n° 101, de 4 de maio de 2000, para vedar a limitação de empenho e movimentação financeira das despesas relativas à inovação e ao desenvolvimento científico e tecnológico custeadas por fundo criado para tal finalidade, e a Lei

O contingenciamento dos recursos impede que o dinheiro arrecadado no exercício que não foi utilizado em um ano seja transferido para o ano seguinte. Só em 2020, o FNDCT sofreu um contingenciamento de 87%, ou seja, apenas R\$ 600 milhões dos R\$ 5,2 bilhões arrecadados estão disponíveis para investimentos em pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I). Um total de R\$ 4,6 bilhões está retido nos cofres do governo⁴⁹⁰. Com o Projeto de Lei Complementar (PLP) nº 135/2020, haveria a transformação do FNDCT em fundo de natureza contábil e financeira, impedindo essa retenção de valores e possibilitando seu uso posteriormente, como ocorre com o Fundo de Manutenção e Desenvolvimento da Educação Básica (Fundeb). Tal alteração foi mantida na conversão em lei.

Com essa alteração, a Lei 11.540/2007, que regula o FNDCT, passa a ter “natureza contábil e financeira e tem o objetivo de financiar a inovação e o desenvolvimento científico e tecnológico com vistas a promover o desenvolvimento econômico e social do País”⁴⁹¹. O contingenciamento foi derrubado, e, dessa forma, impede-se bloqueios de recursos por parte da administração pública.

Nos anos de 2004 à 2019, mais de 11 mil projetos de PD&I foram financiados pelo Fundo. No entanto, mais de R\$ 25 bilhões acabaram contingenciados ao longo dos anos e estão retidos no Tesouro Nacional. A previsão do Projeto de Lei Orçamentária Anual (PLOA) 2021 era que o fundo arrecadasse mais 9,34% em relação ao ano de 2020⁴⁹². Com a LC117/2021 sancionada, mas não incluída na previsão do orçamento de 2021, há ainda empecilhos para acessar o Fundo.

Ainda em junho de 2021, o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) publicou a nota técnica⁴⁹³ de número 82, na qual há uma estimativa de recursos do FNDCT

nº 11.540, de 12 de novembro de 2007, para modificar a natureza e as fontes de receitas do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT), e incluir programas desenvolvidos por organizações sociais entre as instituições que podem acessar os recursos do FNDCT. Brasília: Presidência da República. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/Lcp177.htm. Acesso em: 18 jan. 2023.

⁴⁹⁰ CNI defende aprovação urgente de projeto que libera recursos do FNDCT. *FIERN*, 15 out. 2020. Disponível em: <https://www.fiern.org.br/cni-defende-aprovacao-urgente-de-projeto-que-libera-recursos-fndct/>. Acesso em: 21 out. 2020.

⁴⁹¹ BRASIL. *Lei nº 11.540, de 12 de novembro de 2007*. Dispõe sobre o Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - FNDCT; altera o Decreto-Lei no 719, de 31 de julho de 1969, e a Lei no 9.478, de 6 de agosto de 1997; e dá outras providências. Brasília: Presidência da República. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11540.htm. Acesso em: 18 jan. 2023.

⁴⁹² CNI defende aprovação urgente de projeto que libera recursos do FNDCT. *FIERN*, 15 out. 2020. Disponível em: <https://www.fiern.org.br/cni-defende-aprovacao-urgente-de-projeto-que-libera-recursos-fndct/>. Acesso em: 21 out. 2020.

⁴⁹³ KOELLER, Priscila; RAUEN, André Tortato. *Previsão de arrecadação de recursos do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Fndct) para o período 2021-2024, segundo novas determinações legais*. Nota técnica nº 82. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, 2021. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/10619/1/NT_82_Diset_Previs%C3%A3odearrecadacao.pdf. Acesso em: 18 jan. 2023.

para o período de 2021 a 2024, com um orçamento previsto para 2021 de 203% e previsão de arrecadação, em 2023, de R\$ 9.224.302.464.

Tabela 1 – Estimativa de arrecadação do FNDCT (2022-2024)⁴⁹⁴

Cenários	Anos	LOA FNDCT (R\$ correntes)	Arrecadação FNDCT (R\$ cor- rentes)	Execução FNDCT (R\$ correntes)	Arrecadação FNDCT (% do PIB)	Execução FNDCT (% do PIB)
A	2019	5.650.816.431	6.313.354.563	2.076.573.534	0,09	0,03
	2020	6.843.741.708	7.193.952.457	2.205.125.206	0,10	0,03
	2021	7.366.211.235	7.366.211.235	7.366.211.235	0,09	0,09
	2022	-	7.944.080.209	7.944.080.209	0,09	0,09
	2023	-	8.454.294.576	8.454.294.576	0,09	0,09
	2024	-	9.044.537.824	9.044.537.824	0,09	0,09
B	2019	5.650.816.431	6.313.354.563	2.076.573.534	0,09	0,03
	2020	6.843.741.708	7.193.952.457	2.205.125.206	0,10	0,03
	2021	7.366.211.235	8.037.117.684	7.366.211.235	0,10	0,09
	2022	-	8.667.618.331	8.667.618.331	0,10	0,10
	2023	-	9.224.302.464	9.224.302.464	0,10	0,10
	2024	-	9.868.304.419	9.868.304.419	0,10	0,10

Fonte: FIERN (2020).

Conforme a PLOA/2023, já sancionada em 1º de maio de 2023, tem-se como previsão orçamentária R\$ 7.070.293.636, ficando abaixo da estimativa prevista pelo IPEA.

⁴⁹⁴ Ibidem., p. 13.

Tabela 2 – Previsão orçamentária 2023⁴⁹⁵

Órgão: 24000 - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações R\$ 1,00
 Unidade: 24901 - Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

Quadro Síntese				Recursos de Todas as Fontes				
Código / Especificação	Lei+Créditos 2021	Empenhado 2021	PLO 2022	LOA 2022	PLO 2023			
Total	3.671.105.618	1.092.120.995	4.233.454.166	4.527.830.563	7.070.293.636			
Programa								
0909 Operações Especiais: Outros Encargos Especiais			1.000.000	1.000.000	71.860.028			
0990 Reserva de Contingência	2.578.908.989				4.182.427.220			
2204 Brasil na Fronteira do Conhecimento	539.843.898	539.843.898	1.856.000.000	2.150.376.397	1.401.328.583			
2206 Política Nuclear			12.000.000	12.000.000	36.173.090			
2207 Programa Espacial Brasileiro			12.000.000	12.000.000	19.515.641			
2208 Tecnologias Aplicadas, Inovação e Desenvolvimento Sustentável	552.352.731	552.277.097	2.352.454.166	2.352.454.166	1.358.989.074			
Função								
19 Ciência e Tecnologia	1.092.196.629	1.092.120.995	4.233.454.166	4.527.830.563	2.887.866.416			
99 Reserva de Contingência	2.578.908.989				4.182.427.220			
Subfunção								
571 Desenvolvimento Científico	391.352.250	391.352.250	1.507.000.000	1.801.376.397	871.386.059			
572 Desenvolvimento Tecnológico e Engenharia	699.054.643	698.979.011	2.726.454.166	2.726.454.166	2.016.480.357			
573 Difusão do Conhecimento Científico e Tecnológico	429.736	429.736						
753 Combustíveis Minerais	1.360.000	1.359.999						
990 Reserva de Contingência	2.578.908.989				4.182.427.220			
Grupo de Despesa								
3 Outras Despesas Correntes	882.900.428	882.900.424	3.666.690.556	3.961.066.953	2.259.931.248			
4 Investimentos	209.296.201	209.220.571	546.763.610	546.763.610	599.396.472			
5 Inversões Financeiras			20.000.000	20.000.000	28.538.696			
9 Reserva de Contingência	2.578.908.989				4.182.427.220			
Fonte								
	1-PES	2-JUR	3-ODC	4-INV	5-IFI	6-AMT	9-RES	Total
1050			1.065.058.981	33.819.582			1.032.482.290	2.131.360.853
1052			41.501.916	21.047.715			244.851.002	307.400.633
1097			3.408.331	1.136.110			95.817.134	100.361.575
1098			13.431.841	4.477.280			223.573.318	241.482.437
1099			513.123	171.041			95.817.138	96.501.300
1100			20.322.888	6.774.295			223.573.314	250.670.495
1101			521.425.115	71.151.189			511.024.720	1.103.601.024
1102			122.528.110		28.538.696		127.756.180	278.822.986
1103			2.911.378	970.459				3.881.837
1104			168.943.941	86.021.735			255.410.484	510.376.160
1105			2.374.351	791.451			35.333.532	38.499.334
1106			802.375				551.438	1.353.811
1107			142.732.551	4.803.691			594.377.754	741.913.996
1108			7.374.652	2.458.217			288.108.517	297.941.386
1109			1.244.539	414.846			44.279.138	45.938.523
1110			12.831.985	4.277.329			35.963.807	53.072.921
1112			14.406.611				23.567.855	37.974.466
1118			118.105.790	361.081.532			349.933.232	829.120.554
1119							6.573	6.573
1136			12.772					12.772
Total			2.259.931.248	599.396.472	28.538.696		4.182.427.220	7.070.293.636

Fonte: MCTI (2022).

O Investimento no setor de PD&I depende do Estado, como principal fomentador do desenvolvimento econômico. A inovação já foi vista pelos empresários como “a salvação da lavoura”, mas nem sempre foi assim. Atualmente, há um valor intrínseco na própria palavra “inovação”. Para Plonsky⁴⁹⁶, “a inovação não é um fenômeno uno, mas um gênero múltiplice de iniciativas humanas. Essas iniciativas visam, de forma cada vez mais metódica, à criação de novas realidades”.

⁴⁹⁵ BRASIL. 24000 – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/economia/pt-br/assuntos/planejamento-e-orcamento/orcamento/orcamentos-anuais/2023/ploa/Volume4MCTI.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2023. 37 p.

⁴⁹⁶ PLONSKY, Guilherme Ary. Inovação em transformação. *Revista de Estudos Avançados*, v. 31, n. 90, 2017. p. 10. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ea/v31n90/0103-4014-ea-31-90-0007.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2020.

A conectividade entre ciência, tecnologia e inovação é consenso entre todos os setores que trabalham com a inovação. Contudo, esse envolvimento e investimento não é linear, mas complexo. A resultante desse processo de desenvolvimento provoca impactos econômicos, sociais e, principalmente, ambientais. O pesquisador é a força, e o desenvolvimento, a consequência⁴⁹⁷, colocando as universidades como protagonistas. A regulamentação específica proporciona segurança jurídica e afasta as decisões sazonais políticas, que por vezes estimulam ou não esse setor, mediante políticas públicas.

A relevância da nanotecnologia para a preservação ambiental ocorre em um contexto no qual a indisponibilidade de materiais em abundância na natureza está cada vez mais saliente, e as demandas estão crescendo, sendo necessário ter mais eficácia e eficiência com menos materiais. Ou seja, é preciso desenvolver a aptidão de fazer mais, com menos.

Um exemplo dessa afirmação é o que ocorreu com os computadores, que, inicialmente, eram do tamanho de uma sala e hoje são equipamentos pessoais portáteis, com menos de 1 kg. Da mesma forma, ocorreu com os celulares, que, quando surgiram no Brasil, pesavam 1kg, apelidados carinhosamente de “tijolão”, e hoje pesam poucas gramas. Não é necessário referência para tais informações, pois elas já fazem parte do senso comum, mas, para endossar essa história, consta em rodapé⁴⁹⁸.

O mesmo ocorre com as aplicações de nanotecnologias para desenvolver inovações em energias renováveis, com a utilização do grafeno, como material inovador, em circuitos elétricos, potencializando a eficácia da energia elétrica, com menos material, como demonstrado na pesquisa de Paul Thibaldo: “*an energy-harvesting circuit based on graphene could be incorporated into a chip to provide clean, limitless, low-voltage power for small devices or sensors*”.⁴⁹⁹

Com o uso de menos matéria-prima associada à tecnologia, foi possível otimizar os processos e incluir novas funções sem as quais não é possível viver, o que só ocorreu devido ao uso de nanotecnologias e processos de inovação. Atrair o incentivo fiscal de forma permanente à legislação com o propósito de dirimir a crise ambiental é algo que já deveria ter acontecido.

⁴⁹⁷ AUDY, 2017, p. 75.

⁴⁹⁸ MOREIRA, 2023.

⁴⁹⁹ THIBADO, 2020.

5 CAMINHOS PARA A INOVAÇÃO SUSTENTÁVEL EM NANOTECNOLOGIAS

O objetivo geral deste capítulo é demonstrar a necessidade de incentivos fiscais para promover a pesquisa e o desenvolvimento na área de nanotecnologias voltadas para a produção de energias renováveis como forma de minimizar a contribuição da atual matriz energética como fator para as alterações climáticas. Mediante a regulamentação desse setor, os investidores e a sociedade em geral terão mais segurança jurídica, não ficando sujeitos a alterações políticas advindas de mudanças constantes de governos, que utilizam as políticas públicas como barganhas políticas e não com o objetivo de suprir uma demanda social existente.

Como objetivo específico, tem-se: (i) especificar os ODS contemplados ao viabilizar a inovação em nanotecnologia em energias renováveis; (ii) apontar a potencialidade e como os incentivos fiscais podem alavancar a pesquisa e desenvolvimento (P&D) em energias renováveis a partir da nanotecnologia, de modo a atender aos objetivos do desenvolvimento sustentável da Agenda 2030 das Nações Unidas; (iii) examinar o processo de inovação tecnológica nas empresas brasileiras com base na pesquisa Pintec/IBGE e indicadores dos ODS.

Para tanto, este capítulo foi dividido em três seções listadas a seguir..

5.1. POLÍTICAS PÚBLICAS E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Ao analisar os caminhos para a inovação sustentável, voltada para uma transição energética sustentável, deparamos com as políticas públicas que devam ser voltadas para a inovação tecnológica e simultaneamente, atendendo aos objetivos do desenvolvimento sustentável.

Para este tópico, faz-se necessária a reflexão sobre a conceituação e ciclos da própria política pública e posterior análise de atendimento aos critérios anteriormente citados. Segundo Fonte, “para receber a qualificação de científica, uma pesquisa precisa primeiramente delimitar seu objeto de estudo. Por diversos motivos, isso é especialmente difícil no caso das políticas públicas”.⁵⁰⁰

⁵⁰⁰ FONTE, Felipe de M. Políticas públicas e direitos fundamentais. São Paulo: Editora Saraiva, 2021. E-book. ISBN 978655597417. Disponível em: [HTTPS://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978655597417/](https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978655597417/). Acesso em: 29 set. 2023. P. 13

A definição de políticas públicas é ampla e com várias ênfases, de acordo com o aspecto a ser analisado: social, jurídico, ciência política, entre outros. Conforme a área analisada, haverá interdisciplinariedade, ter-se-á as seguintes políticas públicas: públicas habitacional, de seguridade social, educação, fiscal, ambiental, entre muitas áreas. A abordagem que será utilizada nesta tese envolve elementos comuns às áreas que são objetos desta pesquisa: fiscal, ambiental, econômica, pesquisa tecnológica e social.

Há também a corrente que aventa a hipótese de não existir consolidado, conceito jurídico de políticas públicas. Nesse sentido Bucci⁵⁰¹ afirma que, “embora estejamos raciocinando há algum tempo sobre a hipótese de um conceito de políticas públicas em direito, é plausível considerar que não haja um conceito jurídico de políticas públicas”.

Para Lucas,⁵⁰² as políticas públicas “são ações, estratégias, projetos e programas administrados por autoridade pública e orientados pela busca de determinados princípios e objetivos”. Com o tempo, a evolução do conceito foi adquirindo condição legal e representativa por meio do Estado Democrático de Direito, sendo uma forma legítima do poder público direcionar interesses ou necessidades da sociedade. Modernamente, elas contemplam as ações, programas, projetos e estratégias que buscam “a implementação dos direitos previstos nos respectivos ordenamentos jurídicos nacionais”⁵⁰³

Elas são mais amplas do que o Estado, podendo ser geridas, prestadas e avaliadas pela sociedade civil. É claro, tal implicação sempre causa temor, pois há uma expectativa de que uma política pública controlada pelo Estado seja uma política que não dependa de preferências e privilégios, nem de lucratividade e ganhos (que não os previstos pelas atividades-fim).⁵⁰⁴

Para Nogueira,⁵⁰⁵ as políticas públicas são intervenções planejadas do poder público com o objetivo de agir em áreas socialmente problemáticas. Nessa definição tem-se dois pontos que seriam consenso nas definições e ao mesmo tempo, termos chaves que são: a ingerência do poder público, a existência de problemática social e a necessidade de intervenções planejadas. Para tal ação, é preciso haver normas programáticas que regulem a

⁵⁰¹ BUCCI, Maria Paula Dallari apud FONTE, Felipe de M. Políticas públicas e direitos fundamentais. São Paulo: Editora Saraiva, 2021. E-book. ISBN 9786555597417. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786555597417/>. Acesso em: 29 set. 2023.

⁵⁰² LUCAS, João Ignácio Pires. Políticas Públicas. In: Nodari, Paulo César; Síveres, Luiz. Dicionário de Cultura de Paz. Volume 2. Curitiba: Editora CRV. 2021. (309-312). P. 309.

⁵⁰³ LUCAS, 2021. Op cit. Idem.

⁵⁰⁴ LUCAS, João Ignácio Pires. Ciência política [recurso eletrônico] Caxias do Sul, RS: Educus, 2021. P. 175-176.

⁵⁰⁵ NOGUEIRA, Marco Aurélio; GIOVANNI, Geraldo Di. (Organizadores). Dicionário de Políticas Públicas. 3.Ed. São Paulo: Editora Unesp. 2018. 1066p. P. 18

matéria da necessidade social como forma de concretização de direitos conferidos constitucionalmente.

Essa visão de concretização das normas de cunho programático foi corrigida com ADPF45/DF, como marco jurisprudencial histórico em 2004, ocasião em que o Ministro Celso de Mello admitiu a intervenção judicial em temas de políticas públicas quando o descumprimento dessas, seja total ou parcial, nas instâncias governamentais apropriadas, quando se busca sua concretização de políticas que estejam previstas constitucionalmente⁵⁰⁶. Sendo dessa forma, segundo Fonte “as políticas públicas também são meios idôneos para a efetivação de direitos fundamentais de primeira e terceira geração, além de outros objetivos públicos igualmente legítimos”⁵⁰⁷.

As intervenções planejadas dizem respeito à elaboração de planos de ação pela administração pública. O poder público está estruturado de forma a distribuir competências de acordo com as esferas Federal, Estadual ou Municipal, que serão responsáveis pelas ações governamentais. As situações problemáticas transcendem as estruturas e os órgãos do Estado e contemplam a capacidade de organização da própria sociedade civil que problematiza e participa da formulação da agenda pública⁵⁰⁸. Desse modo, o próprio conceito de políticas públicas saiu da esfera tecnicista, restrita a áreas problemáticas de atuação do poder público e abrangendo a participação da própria sociedade na identificação e solução.

Portanto, como regra geral, ficaria a cargo do gestor público a criação e implementação das políticas públicas. Contudo, a intervenção judicial é entendida pertinente no sentido de compelir a Administração Pública a efetivamente prestar meios para concretização desses direitos que foram inadimplidos.

Nessa toada, investimento em inovação tecnológica estaria excluído de matéria para política pública, pois embora matéria constitucional objeto de capítulo específico na CF, Capítulo IV, art. 218 e seguintes, já previamente analisados, a doutrina não trata como direito fundamental. Entretanto, a proteção ambiental é matéria de política pública, visto que é um direito fundamental constitucionalmente posto. Portanto incentivo pra investimentos em inovação tecnológica com o propósito ambiental seria matéria de política pública, na qual o ente público está sendo omissivo? Ou estaria no campo de sua discricionariedade em investir/estimular ou não? Para essas reflexões, que ainda não se tem respostas.

⁵⁰⁶ TJCE. Estado do Ceará-Poder Judiciário. Disponível em <https://tjcev2.tjce.jus.br/saude/stf-2/>, com acesso em 21/10/2023.

⁵⁰⁷ FONTE, op. Cit. P. 15

⁵⁰⁸ NOGUEIRA, Op. Cit. P. 18

Um desdobramento que se tem em decorrência da necessidade do poder público de atender os problemas da sociedade é o aumento de demandas e reivindicações, colocando a gestão pública sob constante demanda para atendimento aos direitos reivindicados. “Como subproduto lógico dessa pressão, os fundos tendem à exaustão. Ou são dilapidados pela pressão, ou precisam ser usados com grande rapidez e improvisação ou simplesmente não conseguem acompanhar o crescimento da demanda.”⁵⁰⁹ Ou seja, os recursos existem, mas numa taxa inferior da demanda.

Estando as políticas públicas a cargo da administração pública, deduz-se que estará sujeita à discricionariedade administrativa, sendo esse um ponto importante para investimentos econômicos e segurança jurídica dos investidores.

As políticas públicas buscam implementar direitos previstos no próprio ordenamento jurídico, materializando transversalmente tanto os direitos, quanto nos programas políticos e ideológicos dos partidos políticos e de seus candidatos.

as políticas públicas também são ações praticadas por gestores e representantes políticos, o que empresta certa “discricionariedade” política de condução. As leis no Brasil são relativamente exaustivas nas prescrições do que é para ser feito, mas, de outro lado, num país democrático, a condução das políticas públicas pelo órgão governamental pressupõe que exista margem política para que os representantes incluam elementos ideológicos nas políticas públicas. As políticas públicas, como *policy*, acontecem dentro de instituições políticas públicas, *polity*, mas é quase impossível que a política pública não vire um caso de *politics* (disputa política). E isso é derivado da quantidade de poder decisório que o governante tem para a condução da política pública⁵¹⁰.

Lucas aponta quatro momentos para a implementação das políticas públicas: formação da agenda, processo parlamentar, implementação das políticas públicas e, por fim, a avaliação e prestação de contas⁵¹¹.

Se tratando de processos, há sempre modos ou maneiras interdependentes, não estáticos, tendo as fronteiras entre uma etapa e outra não fixas. Há etapas que podem inclusive ser transversais, por exemplo, a avaliação. Pode-se ter a avaliação *ex-ante*, que analisa o próprio desenho da proposição; avaliação *in itinere*, que ocorre durante o processo e a avaliação *ex-post*, ao final.

Na formação da agenda, tem-se a demanda individual ou coletiva traduzida em propostas políticas; na fase de processo parlamentar há uma *decision making*, na qual as

⁵⁰⁹ NOGUEIRA, Op. Cit P. 29.

⁵¹⁰ LUCAS, 2021. Op. Cit. P. 179

⁵¹¹ LUCAS, 2021. Op cit. P. 309

propostas ganham impulso de prosseguimento ou são refutadas conforme compromissos políticos ou articulações necessárias para continuação; na implemetação contempla-se a forma de funcionamento da política pública que abrange desde quem prestará o serviço, sua forma de financiamento até a extensão e acesso a ela; por fim, na etapa de avaliação, se faz a *accountability* que pode ser, conforme o modelo utilizado, com ou sem a participação da sociedade.⁵¹²

No texto Constitucional, a previsão de avaliação foi incluída pela Emenda Constitucional nº 109, de 2021, e está elencada no art. 37, § 16 da CF, “os órgãos e entidades da administração pública, individual ou conjuntamente, devem realizar avaliação das políticas públicas, inclusive com divulgação do objeto a ser avaliado e dos resultados alcançados, na forma da lei”⁵¹³. Da mesma forma, deixa claro que o plano plurianual, as diretrizes orçamentárias e os orçamentos anuais, que são de competência e de iniciativa do Poder Executivo, devem observar os resultados de monitoramento e avaliação previstos no parágrafo 16 do art. 37 da CF, conforme reafirmado no art. 165, parágrafo 16, da CF.

Um desdobramento das políticas públicas nesse contexto é o que sujeita o gestor a exigências constantes, requerendo criatividade para sua implementação. “Os gestores precisam criar o tempo todo, aumentar sem cessar sua capacidade de inovar e inventar”⁵¹⁴. Com os contextos sociais mudando rapidamente, por meio da inovação, adquire-se agilidade, flexibilidade, criatividade, capacidade de gestão de recursos e conhecimento. Nesse caso se refere a inovação em processos de gestão e não necessariamente a inovação tecnológica que para implementação de políticas públicas, pouco resolveria. Muito embora a inovação tecnológica poderia também ser aplicada para garantir e aprimorar processos de gestão e impedir danos ambientais, como nos casos do “apagão de dados sobre desmatamento, decorrente do subfinanciamento ao INPE e a órgãos ambientais, e a falta de financiamento para pesquisas sobre desenvolvimento econômico sustentável e para o desenvolvimento de tecnologias verdes e mercados de baixo carbono” cuja redução do orçamento nacional em CT &I resultou graves impactos na preservação dos biomas brasileiros⁵¹⁵.

No âmbito legislativo, Fontes afirma que a expressão políticas públicas é reservada para “designar os sistemas legais com pretensão de vasta amplitude, os quais definem

⁵¹² LUCAS, 2021. Op cit. P. 309

⁵¹³ BRASIL, CF. Disponível em https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm, com acesso em 21/10/2023.

⁵¹⁴ NOGUEIRA, op. Cit. P. 29

⁵¹⁵ HERMINIO, Beatriz. *Políticas para Ciência, Tecnologia e Inovação no Brasil são avaliadas por pesquisadores no IEA*. Disponível em <http://www.iea.usp.br/noticias/politicas-para-cti-agenda-2023#baixo-carbono>, com acesso em 03/11/2023.

competências administrativas, estabelecem princípios, diretrizes e regras, e em alguns casos impõem metas e preveem resultados específicos”⁵¹⁶. São normas gerais que instituem as políticas públicas nacionais (políticas públicas de Estado), como a lei 6.938/81 que instituiu a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA).

As políticas públicas podem ser categorizadas entre Políticas Públicas de Estado ou de Governo. A Política Pública de Estado é caracterizada pela perenidade, porque sua estrutura é realizada para que tenha continuidade, independentemente do partido político que esteja no poder. Já as Políticas de Governo ficam sujeitas e submetidas ao agente que detém o poder e à sua visão política de implementação e de necessidade daquela política pública conforme seu projeto de governo⁵¹⁷.

A necessidade de implementação e formulação legal de uma Política Pública de Estado, embora não seja garantia de efetividade, confere segurança jurídica à sociedade: no caso da presente tese, aos investidores, pesquisadores que participarão da operacionalização da política pública, e aos beneficiários dessa política pública de transição energética: o planeta.

As políticas públicas possuem a necessidade de serem oficializadas por ato normativo apropriado, em observância aos princípios da administração pública, com objetivos e metas claras, coerentes, mensuráveis e delimitadas temporalmente⁵¹⁸. Para sua respectiva implementação, além de um plano de implementação de política em que são definidos processos, operações, gerenciamento, prazos, riscos, controles entre outros critérios, determinar a respectiva alocação e gestão de recursos orçamentários que viabilizem a realização e o êxito da política pública é um dos parâmetros apontados pelo TCU⁵¹⁹.

Apesar de necessário um diploma legislativo, Fonte pondera que “a mera edição de um diploma legal não garante que o Estado praticará qualquer ação concreta para implementá-lo”⁵²⁰, pois, em alguns casos, as definições e atribuições constitucionais são vagas. Por essa razão, cabe a intervenção do Poder Judiciário sempre que as garantias constitucionais não forem observadas.

⁵¹⁶ FONTE, Op. Cit. P. 13

⁵¹⁷ ANDRADE, Danilo. Políticas Públicas: o que são e para que servem? Disponível em <https://www.politize.com.br/politicas-publicas/> com acesso em 21/10/2023.

⁵¹⁸ BRASIL. Tribunal de Contas da União. Política pública em dez passos / Tribunal de Contas da União. – Brasília: Secretaria-Geral de Controle Externo (Segecex); Secretaria de Orientação, Métodos, Informações e Inteligência para o CE e o Combate à Corrupção (Soma), 2021. Disponível em https://portal.tcu.gov.br/data/files/1E/D0/D4/DF/12F99710D5C6CE87F18818A8/Politica%20Publica%20em%20Dez%20Passos_web.pdf, com acesso em 21/10/2023.

⁵¹⁹ BRASIL. Tribunal de Contas da União. Política pública em dez passos. Op. Cit.

⁵²⁰ FONTE, Op. cit. P. 14

O financiamento das políticas públicas vão desde análise de viabilidade, incluindo “avaliação da eficiência da intervenção governamental e perpassam os processos de planejamento, implementação e monitoramento”⁵²¹. Para tanto, a orientação do TCU é de que o administrador público: observe as normas de criação de despesas, previstas nos art. 16 e 17 da LRF quanto as fontes do tipo “gasto direto”; da mesma forma, atenda a normativa de renúncia de receitas para o tipo de “gastos indiretos”, notadamente no art. 14 da LRF; acompanhe, de forma sistemática, o impacto orçamentário; gerencie os riscos na implementação advindos das limitações fiscais como teto de gastos e contingenciamento⁵²².

Para fins de conduzir a análise da presente tese, é necessário ponderar sobre a existência de políticas públicas que envolvem o tema central da problemática de pesquisa para transição energética: Ambiental, Energia, CT&I, Clima e Nanotecnologia. A análise será conduzida sobre a existência de norma específica, integração entre as normas e segurança jurídica quanto à continuidade e aos recursos para sua implementação

As Políticas Públicas Ambientais são compreendidas por diversas normas que em conjunto compõem o acervo ambiental. A Lei 6.938/81 é a que instituiu a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA)⁵²³ e é entendida como o marco diretivo das políticas ambientais. Entre os objetivos elencados no art. 4º do documento, almeja a PNMA, no inciso I a compatibilização do desenvolvimento econômico social e ambiental. Esse objetivo pondera sobre a necessidade de preservação ambiental e, simultaneamente, a promoção do desenvolvimento econômico e do desenvolvimento social. Para o desenvolvimento econômico, faz-se necessário investir em pesquisas de tecnologias inovadoras que propiciem a transição energética para fins de preservação ambiental.

O inciso II deixa claro que a PNMA estabelece áreas prioritárias de ação governamental, mas no total dos 21 artigos, não consta absolutamente nenhuma referência à energias renováveis, muito menos à transição energética. Embora reste consolidado, no referido diploma legal, o dever do Poder Público em incentivar atividades voltadas ao desenvolvimento de pesquisa e processos tecnológicos relacionados à redução da degradação ambiental, à fabricação de equipamentos antipoluidores e ao uso racional dos recursos

⁵²¹ BRASIL. Tribunal de Contas da União. Política pública em dez passos. Op. Cit. p. 26

⁵²² BRASIL. Tribunal de Contas da União. Política pública em dez passos. Op. Cit. p. 27

⁵²³ 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. Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/Ccivil_03/Leis/L6938.htm. Acesso em: 05 jun. 2012.

ambientais⁵²⁴, não há qualquer menção à transição energética para uma matriz renovável de produção de energia.

Os incentivos constam como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente que coloca: “os incentivos à produção e instalação de equipamentos e a criação ou absorção de tecnologia, voltados para a melhoria da qualidade ambiental”⁵²⁵. Nesse contexto poderia-se ter, subjetivamente e com vontade política, a justificativa para investimentos em nanotecnologias voltadas para a transição energética.

A atual Portaria MCTI nº 6.998⁵²⁶, de 10.05.2023 que estabelece as diretrizes de elaboração da Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação para o período 2023 a 2030 traz em seu art 2º, parágrafo primeiro, inciso VII, o desenvolvimento de nanotecnologia como uma tecnologia disruptiva e com potencial para o futuro. Coloca a energia como área estratégica a ser desenvolvida e buscar a redução de vulnerabilidades. Não há nenhuma menção ao estímulo para energias renováveis.

Ainda que a fundamentação acima seja ampla o suficiente para compreender os incentivos à pesquisa tecnológica que propicie inovação no setor de energias renováveis, por meio de nanotecnologias, como forma de reduzir o impacto ambiental e conseqüentemente diminuir as mudanças climáticas, contudo, não trata da regulação dessa transição. Embora essa normativa seja uma regra geral, tem como resultado uma norma ao mesmo tempo ampla e omissa principalmente quanto ao critério de *onde, de que forma e em que momento* deverá ser deferido esse incentivo, ficando a cargo do Poder Executivo, no exercício de sua discricionariedade, a implantação desses objetivos.

As Políticas Públicas voltadas para a produção de energia renovável vêm delineadas na Lei 9.478/97, Política Nacional de Energia (PEN), assunto esse já introduzido na subseção 2.2 dessa tese. As diretrizes trazidas no art. 2º da PEN apresentam conceitos amplos, como a necessidade de rever periodicamente a matriz energética, considerando as tecnologias disponíveis. Possui como princípio, inciso XVII do art. 1º, o fomento à pesquisa e o desenvolvimento relacionados à energia renovável⁵²⁷, mas não estimula a pesquisa em novas tecnologias para uma transição energética renovável. Inclusive não se fala sequer em transição energética, tendo como enfoque ainda o petróleo e assuntos dele decorrentes.

⁵²⁴ BRASIL. *Lei nº 6.938/81*. Art. 13.

⁵²⁵ BRASIL. *Lei nº 6.938/81*. Art. 9º, V.

⁵²⁶ BRASIL, MCTI, Portaria MCTI nº 6.998, de 10.05.2023. Disponível em https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/legislacao/portarias/Portaria_MCTI_n_6998_de_10052023.html, com acesso em 22/01/2024.

⁵²⁷ BRASIL. *Lei 9.478/97*. Op. Cit.

De forma ampla, ainda traz, trata no art 2º, inciso XIII, que será definida a estratégia e a política de desenvolvimento tecnológico do setor de energia elétrica, a cargo do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), vinculado à Presidência da República e presidido pelo Ministro de Estado de Minas e Energia, com a atribuição de propor ao Presidente da República políticas nacionais e medidas específicas. Sujeitando-se assim, a uma Política Pública de Governo o que deveria ser uma Política Pública de Estado. O texto restringe-se a mencionar que será objeto de programas específicos, concedendo liberalidade ao Poder Executivo de implementação ou não, dar continuidade ou não aos programas.

Na referida PEN também há 8 (oito) menções à palavra ambiente, com apenas 7 (sete) delas em referência a preocupação com o meio ambiente natural em todos seus 83 artigos. Entre elas, inclui-se a criação do Fundo sobre o valor do *royalty* da extração de petróleo destinado para recuperação ambiental. No § 3º, do art.49 faz-se a destinação do referido Fundo:

Nas áreas localizadas no pré-sal contratadas sob o regime de concessão, a parcela dos royalties que cabe à administração direta da União será destinada integralmente ao fundo de natureza contábil e financeira, criado por lei específica, com a finalidade de constituir fonte de recursos para o desenvolvimento social e regional, na forma de programas e projetos nas áreas de combate à pobreza e de desenvolvimento da educação, da cultura, do esporte, da saúde pública, da ciência e tecnologia, do meio ambiente e de mitigação e adaptação às mudanças climáticas, vedada sua destinação aos órgãos específicos de que trata este artigo. (Incluído pela Lei nº 12.351, de 2010). (Vide Decreto nº 7.403, de 2010)⁵²⁸

O documento contém um total de 10 (dez) capítulos, sendo destinados 8 (oito) desses a assuntos correlatos ao petróleo, sua exploração e comercialização. Verifica-se, portanto, que a PEN ainda está focada na geração de energia não renovável de origem petrolífera e estimula e regula essa atividade, não tendo como foco a transição energética para uma matriz renovável.

Mesmo com a alteração em 2022, a partir da a Lei 14.292,⁵²⁹ que dispõem sobre a comercialização de combustíveis líquidos, não houve referência á qualquer forma de transição para uma matriz energética renovável, com fomento taxativo para pesquisa com inovação tecnológicas nessa area objetivando a alteração gradativa da matriz energética brasileira como forma de mitigar as mudanças climáticas é praticamente inexistente.

⁵²⁸ BRASIL. Lei 9.478/97. Op. Cit.

⁵²⁹ BRASIL. Lei 14.292/2022. Disponível em https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2022/Lei/L14292.htm#art3, com acesso em 04/11/2023.

Conseqüentemente, uma PEN que não contempla uma matriz renovável, gera a necessidade de regulamentar uma Política Nacional sobre Mudança Climática, pois o clima é afetado diretamente pela produção de energias não renováveis. A Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), instituída em 2009, pela Lei 12.187, contém um total de 13 artigos. Estabelece princípios, objetivos, diretrizes e instrumentos⁵³⁰. Nos objetivos previstos no art. 4º, consta a “redução das emissões antrópicas de gases de efeito estufa em relação às suas diferentes fontes”⁵³¹. Contudo, a PEN estimula a geração de energia não renovável, a qual é responsável pelas emissões dos gases de efeito estufa.

Dentre os instrumentos previstos no art. 6º estão: a criação de um Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, medidas fiscais e tributárias incluindo alíquotas diferenciadas, isenções, compensações e incentivos, a serem estabelecidos em lei específica com objetivo de estimular a redução das emissões e remoção de gases de efeito estufa e a criação de medida que propulsione o desenvolvimento de processos e tecnologias em propostas que “propiciem maior economia de energia, água e outros recursos naturais e redução da emissão de gases de efeito estufa e de resíduos”⁵³². Dessa forma percebe-se insipiente a referida legislação, ficando o assunto sujeito à discricionariedade de cada governo.

Resta analisar as Políticas Públicas das CT&I, quanto a contemplação de matéria ambiental em seu conteúdo ou de energias. Salles Filho⁵³³ define que as Políticas Científicas e Tecnológicas (PCT) são usadamente propostas por governos, tanto em ações isoladas como em parcerias com alguns segmentos da sociedade como as universidades, centros de pesquisas e desenvolvimentos, empresas, associações e indivíduos. As PCT surgiram com a participação da ciência na vida dos indivíduos, gerando mudanças de vida e nas organizações e “refere-se ao planejamento, formulação, implementação e avaliação dos resultados e impactos de medidas de estímulo ao desenvolvimento científico e tecnológico em âmbitos nacional, internacional, regional ou local.”⁵³⁴

No momento em que as questões relacionadas aos impactos que a ciência causava na vida das pessoas, com relevância da pesquisa científica para os casos produção de alimentos, erradicação de epidemias, estratégia militar entre outros assuntos, ela passou a a ser uma

⁵³⁰ BRASIL. Lei 12.187/2009. *Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC*. Disponível em https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/12187.htm, com acesso em 03/11/2023.

⁵³¹ BRASIL. Lei 12.187/2009. Op. Cit.

⁵³² BRASIL. Lei 12.187/2009. Art. 6º, II, VI e XII. Op. Cit.

⁵³³ SALLES Filho, Sérgio. In: NOGUEIRA, Marco Aurélio; GIOVANNI, Geraldo Di. (Organizadores). *Dicionário de Políticas Públicas*. 3.Ed. São Paulo: Editora Unesp. 2018. P. 710-714.

⁵³⁴ SALLES Filho. Op Cit. P. 710.

pauta no mundo político, para os empresários e segmentos da sociedade organizada, já em meados de século XIX/XX⁵³⁵, servindo de impulso para a formulação de PCT.

As PCT, segundo Salles Filho possuem cinco dimensões, que envolvem aspecto interdisciplinar que contemple além das áreas científicas como física, química, biologia, envolva também outras áreas como economia, administração, sociologia e a filosofia, que propicie ferramentas, conhecimentos e métodos para implementação de uma PCT⁵³⁶.

Essas dimensões contemplam a institucionalização da PCT nas estruturas de governo; o fomento, que é por meio de criação de programas e fundos voltados à promoção da C&T; a prioridade, que indica em que, onde e como o recurso será aplicado; avaliação de impactos (*technological assessment*), onde é feita a análise dos efeitos verificados e esperados pela necessidade de reduzir efeitos negativos e ampliar os positivos. Por fim, há a dimensão da gestão, pois as políticas de C&T exigem mecanismos de planejamento e de gestão específicos para que sejam implementados⁵³⁷.

Na década de 90, muitos países, como os da União Européia, acrescentaram a inovação como estratégia de desenvolvimento científico e tecnológico, passando a ser conhecido como política de ciência, tecnologia e inovação (PCTI). Essa mudança se fazia necessária, pois não era mais suficiente que as políticas de C&T se restringissem aos mundos da ciência e da tecnologia, “elas precisavam ir além e levar o conhecimento científico e tecnológico ao status de conhecimento em uso (novos produtos, novos processos, novos serviços), ou simplificada, inovação”⁵³⁸. Dessa forma o conceito de sistemas nacionais de inovação foi adotado como instrumento de desenvolvimento econômico e social, passando a ser um sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação – C,T&I.

No Brasil, o incremento da inovação foi incorporado á Constituição de 1988 somente em 2015 com EC 85, como já analisado no capítulo 3.As legislações referentes as políticas públicas voltadas para ciência, tecnologia e Inovação, tratadas no Quadro 3, no capítulo 3⁵³⁹, são direcionadas para autonomia e à capacitação tecnológica no ambiente produtivo.

Na Lei 10.973/04, com as alterações posteriores, há somente um momento em que se faz referência ao meio ambiente natural, no art. 20 em seu parágrafo 6º com a solicitação para facilitação dos procedimentos, mesmo se tratando de preservação ambiental:

⁵³⁵ SALLES Filho. Op Cit. P. 712.

⁵³⁶ SALLES Filho. Op Cit. P. 713.

⁵³⁷ SALLES Filho. Op Cit. P. 712-3.

⁵³⁸ SALLES Filho. Op Cit. P. 713.

⁵³⁹ Subseção 3.1

Observadas as diretrizes previstas em regulamento específico, os órgãos e as entidades da administração pública federal competentes para regulação, revisão, aprovação, autorização ou licenciamento atribuído ao poder público, inclusive para fins de vigilância sanitária, preservação ambiental, importação de bens e segurança, estabelecerão normas e procedimentos especiais, simplificados e prioritários que facilitem: (Incluído pela Lei nº 13.322, de 2016)

I - a realização das atividades de pesquisa, desenvolvimento ou inovação encomendadas na forma do caput ; (Incluído pela Lei nº 13.322, de 2016)

II - a obtenção dos produtos para pesquisa e desenvolvimento necessários à realização das atividades descritas no inciso I deste parágrafo; e (Incluído pela Lei nº 13.322, de 2016)

III - a fabricação, a produção e a contratação de produto, serviço ou processo inovador resultante das atividades descritas no inciso I deste parágrafo. (Incluído pela Lei nº 13.322, de 2016)

Na Lei 11.196/2005 há referência ao meio ambiente somente em três momentos, no art. 57-C, ao se referir a apuração de créditos pelas centrais petroquímicas e pelas indústrias químicas, que devem comprometer-se a observar a legislação ambiental, cumprir as medidas de compensação ambiental determinadas administrativa ou judicialmente ou constantes no termo de compromisso ou de ajuste de conduta firmado e adquirir e a retirar de circulação certificados relativos a Reduções Verificadas de Emissões (RVE) de Gases de Efeito Estufa (GEE) em quantidade compatível com os indicadores de referência aplicáveis ao impacto ambiental gerado pelas emissões de carbono decorrentes de suas atividades, conforme regulamento⁵⁴⁰. Na Lei 13.243/2016 não consta referência ao meio ambiente natural.

Natalie Unterstell (Instituto Talanoa) e Miriam Garcia (CDP Latin America), em Ciclo Agenda 2023, organizado pelos NAP Observatório da Inovação e Competitividade (OIC-IEA-USP) e pelo Centro Brasileiro de Análise e Planejamento (CEBRAP) analisaram as consequências da redução do orçamento nacional de CT&I recentemente, sobre a preservação dos biomas brasileiros. Elas apontaram os riscos para o apagão de dados sobre desmatamento, decorrente do subfinanciamento do INPE e de órgãos ambientais, “e a falta de financiamento para pesquisas sobre desenvolvimento econômico sustentável e para o desenvolvimento de tecnologias verdes e mercados de baixo carbono”⁵⁴¹. Ressaltam que a descarbonização é questão central para as mudanças climáticas e que a retomada do crescimento econômico deve ser com a menor emissão possível.

⁵⁴⁰ BRASIL. L 11.196/05. Op. Cit.

⁵⁴¹ HERMINIO, Beatriz. *Políticas para Ciência, Tecnologia e Inovação no Brasil são avaliadas por pesquisadores no IEA*. Disponível em <http://www.iea.usp.br/noticias/politicas-para-cti-agenda-2023#baixo-carbono>, com acesso em 03/11/2023.

Um cenário de retomada e transição justa envolveria três medidas centrais: precificar as emissões de carbono; reduzir o desmatamento; e aumentar os índices de restauração florestal em 4 milhões de hectares. Já em um cenário de retomada, transição justa e zero desmatamento, o país alcançaria o desmatamento zero na Amazônia e na Mata Atlântica até 2030, atingindo 82% de redução de emissões até 2050.

Daqui até 2050, para alcançar o cenário Net Zero para todos os Gases de Efeito Estufa (GEE), será necessário evitar o lançamento de aproximadamente 21 bilhões de toneladas de CO₂ na atmosfera a nível nacional, apontou Garcia com base no relatório "Como viabilizar um Brasil neutro em gases de efeito estufa até 2050? Caminhos de descarbonização da economia brasileira", do CDP. O estudo foi elaborado pelo laboratório Cenergia, do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (Coppe), da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).⁵⁴²

Há falta de financiamento para pesquisa nesse setor e não há previsão legislativa que confira continuidade de qualquer projeto que por ventura seja iniciado e não finalize dentro de um mandato de governo. Ressalta-se que não existe previsão legal, nas leis supra citadas, que viabilize com segurança jurídica, os investimentos nesse setor.

A discricionariedade presente no contingenciamento dos fundos de inovação, por se tratar de políticas públicas de governo, resulta em insegurança jurídica àqueles que pretendem investir em pesquisas com tecnologias inovadoras na produção de energias renováveis para uma efetiva transição energética. Forghieri⁵⁴³, ao tratar do contingenciamento, refere-se a um empenho inferior previsto na lei orçamentária anual. Esse limite para dotações orçamentárias é realizado por ato do Poder Executivo, por meio de Decreto, e abrange somente as despesas cuja responsabilidade é de seu poder, não englobando as despesas afetadas dos demais poderes⁵⁴⁴.

Com isso, pode-se afetar aquelas despesas em que há discricionariedade do poder público, como o investimento do dinheiro que existe nos Fundos, para direcionamento de determinada política pública, por exemplo. Foi o que ocorreu com o Fundo⁵⁴⁵ de Ciência e tecnologia no governo Bolsonaro em 2021. Isso causa tensões entre poderes Executivo e Legislativo, já que programas deixam de ser implementados, embora constante previsão na lei orçamentária, gerando insegurança para a execução de projetos em andamento.

⁵⁴² HERMINIO, Beatriz. *Políticas para Ciência, Tecnologia e Inovação no Brasil são avaliadas por pesquisadores no IEA*. Disponível em <http://www.iea.usp.br/noticias/politicas-para-cti-agenda-2023#baixo-carbono>, com acesso em 03/11/2023.

⁵⁴³ FORGHIERI, Cláudio Cintrão. In: NOGUEIRA, Marco Aurélio; GIOVANNI, Geraldo Di. (Organizadores). *Dicionário de Políticas Públicas*. 3.Ed. São Paulo: Editora Unesp. 2018. P. 185-188.

⁵⁴⁴ FORGHIERI, Op. Cit. 185.

⁵⁴⁵ Ver Tabelas 1 e 2 (capítulo 4).

Na medida em que o poder Legislativo, além de inclusão de emendas com remanejamento de despesas, evoque erro do Poder Executivo na previsão de receitas e amplie, assim, receitas e despesas na lei orçamentária, sem que haja sustentação razoável para a nova hipótese de realização de receitas, cria com isso uma situação de insegurança na execução do orçamento que, em contrapartida, leva o Poder Executivo a contingenciar a execução orçamentária. Não se trata aqui de criticar tal procedimento do legislativo, mas apenas entender seus desdobramentos.⁵⁴⁶

Entende-se o poder discricionário da administração pública, segundo Di Pietro⁵⁴⁷, possuindo “certa margem de liberdade de decisão diante do caso concreto de tal modo que a autoridade poderá optar por uma dentre várias soluções possíveis, todas válidas perante o direito.” Nesse caso, a decisão será pautada entre critérios de oportunidade e conveniência da própria administração pública, pois não foram definidos na norma legislativa. Contudo aspectos como forma, competência e finalidade são impostos dentro do limite legal, impedindo algumas decisões arbitrárias⁵⁴⁸.

Em contrapartida, as decisões vinculadas não conferem esse grau de liberalidade à administração pública, porque há uma única solução possível a ser implementada diante de determinada situação fática, prevista rigorosamente na norma legal, uma vez que “ela fixa todos os requisitos, cuja existência a Administração deve limitar-se a constatar, sem qualquer margem de apreciação subjetiva”⁵⁴⁹. Logo, pautado em critério de conveniência e oportunidade, o administrador público tem o poder de “discernir quando e como deve agir”⁵⁵⁰, bem como quando há conceitos jurídicos indeterminados.

O âmbito de aplicação da discricionariedade nas políticas públicas, pode ser empregado quando a norma que rege a referida política expressamente confere à Administração essa prerrogativa; quando a lei é omissa, pois não confere toda a potencialidade de situações supervenientes no instante da promulgação da norma e se tratando de ciência, tecnologia e inovação esse aspecto acaba sendo uma constante; e ainda quando a lei prevê determinada competência, mas não estipula clara e objetivamente a conduta a ser adotada⁵⁵¹. L’Astorina ainda ressalta que a discricionariedade pode estar presente tanto na

⁵⁴⁶ FORGHIERI, Op. Cit. 187.

⁵⁴⁷ PIETRO, Maria Sylvia Zanella D. Direito Administrativo. São Paulo: Grupo GEN, 2023. E-book. ISBN 9786559646784. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786559646784/>. Acesso em: 02 nov. 2023. P. 246

⁵⁴⁸ PIETRO, Op. Cit. P. 247

⁵⁴⁹ PIETRO, Op. Cit. P. 247

⁵⁵⁰ L’ASTORINA, Felipe Boarin. Direito administrativo. 1. ed. São Paulo: Rideel, 2022. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 03 nov. 2023. P. 55 e 79

⁵⁵¹ PIETRO, Op. Cit. P. 247

motivação do ato, por não ter sido definida em lei ou ainda, por conter conceito jurídico indeterminado.

O momento da prática do ato administrativo é quando a discricionariedade acaba sendo aplicada. Se a normativa é omissa quanto à esse respeito, “a Administração escolhe o momento que lhe pareça mais adequado para atingir a consecução de determinado fim”. A ausência de fixação de prazos ou intervalos de prazos acaba liberando a administração para adotar determinadas decisões quando for oportuno, ou mesmo não adotar, como é o caso da aplicação do contingenciamento dos recursos do fundo, demonstrado no item 4.3 dessa tese⁵⁵².

De Negri, pesquisadora do IPEA, ao emitir uma nota técnica sobre a evolução dos investimentos públicos e privados em P&D no País, aponta as principais agências e fundos fomentadores de pesquisa brasileiros, no MCTI: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e o Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT), gerido pela FINEP.

Além disso, é ao MCTI que estão vinculadas a maior parte das instituições de pesquisa do país, tais como o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), o Instituto de Pesquisas da Amazônia (IMPA), entre outros. A queda pela metade do orçamento desse órgão, portanto, atinge diretamente a capacidade de produção científica e tecnológica do país.⁵⁵³

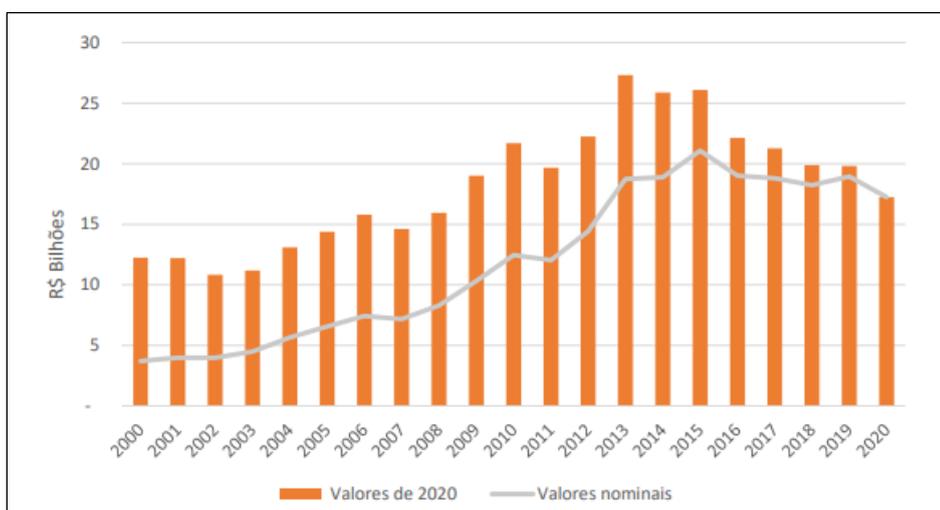
A Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) teve seus recursos reduzidos em mais de 40% de 2013 a 2020. O gráfico constante no quadro 6 mostra a queda dos investimentos em C&T em torno de 37% nesse período, atingindo todos os órgãos e ações governamentais.

⁵⁵² PIETRO, Op. Cit. P. 248

⁵⁵³ DE NEGRI, Fernanda. *Políticas públicas para ciência e tecnologia no Brasil: cenário e evolução recente*. Disponível em

https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/10879/1/NT_Polit_Publ_Ciencia_e_Tecnol_Publicacao_Preliminar.pdf, com acesso em 03/11/2023. P. 12

Quadro 6: Gastos com C&T do governo federal
entre 2000 e 2020



Fonte:NT_Políticas Públicas⁵⁵⁴

A mesma queda foi experimentada pelo MEC, impactando os recursos destinados a bolsas de graduação e pós-graduação, concedidas pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Essa última corresponde a 80% do investimento em C&T, excluindo a pós graduação.⁵⁵⁵

Por fim, a autora ainda destaca que as três unidades orçamentárias CNPq, CAPES e FNDCT, que dão suporte ao desenvolvimento científico e tecnológico brasileiro, as quais já foram responsáveis por mais de 40% dos investimentos em C &T no país, em 2022 representaram apenas 28% do orçamento⁵⁵⁶. Isso implica em menos pesquisa, menos soluções, maior prejuízo ambiental.

A análise sobre a Política Fiscal também se faz apropriada e necessária em tempos de implementação de uma Reforma Tributária em curso. Khair define Política Fiscal como “conjunto de decisões estratégicas e medidas adotadas pelo governo, para a distribuição de recursos que arrecadado dos cidadãos em forma de impostos e taxas, com objetivos voltados para o desenvolvimento econômico e social do país”⁵⁵⁷. O objetivo desta tese não envolve

⁵⁵⁴ DE NEGRI, Fernanda. *Políticas públicas para ciência e tecnologia no Brasil: cenário e evolução recente*. Disponível em https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/10879/1/NT_Polit_Publ_Ciencia_e_Tecnol_Publicacao_Preliminar.pdf, com acesso em 03/11/2023. P. 11

⁵⁵⁵ DE NEGRI. Op. Cit. P. 12

⁵⁵⁶ DE NEGRI. Op. Cit. P. 13

⁵⁵⁷ KHAIR, Amir Antonio. In: NOGUEIRA, Marco Aurélio; GIOVANNI, Geraldo Di. (Organizadores). *Dicionário de Políticas Públicas*. 3.Ed. São Paulo: Editora Unesp. 2018. P. 753-756

realizar uma análise da Política Fiscal como um todo, mas tão somente a possibilidade de contemplar a temática ambiental a partir dos incentivos fiscais à inovação tecnológica por nanotecnologias para a transição energética.

Quanto às concepções que formam uma Política Fiscal se analisa duas vertentes. Uma que combate o crescimento das despesas públicas e distingue despesas de custeio das despesas com investimentos, onde o excesso das primeiras impede o investimento em infraestrutura⁵⁵⁸. Outra vertente tem, a concepção de que a Política Fiscal do Estado “deve regular a economia, redistribuir renda, atacar o déficit social e de estrutura e ter os recursos necessários para cumprir as obrigações que lhe são atribuídas pela sociedade mediante a Constituição, com níveis adequados e necessários de pessoal e de recursos”⁵⁵⁹. Sob esse enfoque as funções entre despesas de custeio e de investimentos são complementares. A função das despesas de custeio é “redistribuir recursos e desenvolver medidas para reduzir desigualdades sociais, econômicas e culturais”. Dessa forma, estimula-se o consumo sustentável, ativa-se a economia e contribui-se para o aumento da arrecadação pública. “Os investimentos atendem às necessidades de ampliar a oferta de equipamento público e de melhorar a infraestrutura”⁵⁶⁰.

Na concepção do Senado, o conceito de Política Fiscal é entendido como

É a conjugação das ações de gasto e arrecadação do governo. O aumento relativo dos gastos (em relação ao PIB) ou a redução relativa da tributação são consideradas ações de política fiscal expansivas, pois tendem a gerar crescimento econômico no curto prazo. A redução relativa dos gastos ou a elevação relativa da tributação são consideradas ações contracionistas, pois tendem a frear a economia no curto prazo. A política fiscal tem importante função estabilizadora: evitar superaquecimento econômico, que levaria ao aumento da inflação; e impedir ou minorar recessões, que são episódios de redução do produto e aumento do desemprego. A política fiscal pode ser utilizada para reduzir desigualdades econômicas entre cidadãos, setores econômicos e regiões, por meio da transferência de recursos arrecadados com a tributação ou por meio de diferentes incidências de tributação entre pessoas, empresas, setores econômicos e regiões.⁵⁶¹

Khair entende que é papel do Estado, numa sociedade democrática, atender as determinações constitucionais, que necessitam contar com os recursos necessários para atingir os objetivos de desenvolvimento nacional, reduzindo as desigualdades sociais e regionais com crescimento do bem-estar da população.⁵⁶² Portanto, a Política Fiscal deve contemplar os

⁵⁵⁸ KHAIR, op. Cit. P. 754.

⁵⁵⁹ KHAIR, op. Cit. P. 755.

⁵⁶⁰ KHAIR, op. Cit. P. 755.

⁵⁶¹ SENADO. Glossário de Economia. Disponível em https://www12.senado.leg.br/manualdecomunicacao/guia-de-economia/arquivos/glossario_economia.pdf, com acesso em 15/04/2024. P. 27

⁵⁶² KHAIR, op. Cit. P. 756.

recursos necessários para promover o bem estar social e ambiental previsto no texto constitucional.

Com a Reforma Tributária em andamento com a EC 132/2023⁵⁶³, publicada em 20 de dezembro de 2023, há uma expectativa de esverdeamento das Políticas Fiscais com o acréscimo do princípio da defesa do meio ambiente acrescido no § 3º do artigo 145 da CF. O princípio da defesa do meio ambiente passa a utilizar o direito tributário para intervir na ordem social, econômica e na proteção do meio ambiente, estimulando a economia verde. A interpretação da incidência tributária e a utilização extrafiscal dos tributos devem ter a proteção ambiental para pautar suas decisões.

A Emenda Constitucional 132/2023 introduziu, na Carta, o § 3º no art. 145, que prevê que o sistema tributário nacional deverá respeitar o princípio da defesa do meio ambiente, demonstrando claramente que o direito tributário passa a ter como um de seus objetivos a sustentabilidade ambiental e a utilização do tributo como instrumento de estímulo à proteção do meio ambiente. Com isso, caberá ao legislador e ao intérprete analisar o sistema tributário sob o prisma do estímulo ao meio ambiente equilibrado⁵⁶⁴.

Com base nas Políticas Públicas Ambiental, Energética, de Ciência, Tecnologia e Inovação, de Mudanças Climáticas e Fiscal tem –se o direito como estruturante, ao lado de elementos administrativos. “Ambas as dimensões jurídicas e administrativas são básicas para todas as políticas públicas: saúde, educação, transporte, segurança, etc. Todas as políticas públicas são saúde, (+) direito, (+) gestão; educação, (+) direito, (+) gestão, e assim por diante”⁵⁶⁵. Uma Política Pública de Inovação Tecnológica que seja capaz de promover o desenvolvimento sustentável, necessariamente deve ser capaz de coadunar as demais políticas públicas que envolvem a temática.

5.2. INCENTIVOS FISCAIS E O ATENDIMENTO AOS OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DA AGENDA 2030

Como forma de mensurar a eficácia das Políticas Ambientais, o atendimento aos objetivos previstos na Agenda 2030 para um desenvolvimento sustentável é de extrema

⁵⁶³ BRASIL. Planalto. EC 132/2023. Disponível em https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/emendas/emc/emc132.htm, com acesso em 15/04/2024.

⁵⁶⁴ QUINTANILHA, Gabriel S. *Reforma Tributária Brasileira: Tributos sobre o Consumo*. Disponível em: Grupo GEN, Grupo GEN, 2024. P. 03

⁵⁶⁵ LUCAS, Op. Cit. 2021. P. 182.

importância. Analisar a interface entre as Política Pública de Inovação Tecnológica e as Políticas Ambientais mostra-se uma ferramenta potencial para mitigação da crise ambiental, principalmente no que diz respeito às mudanças climáticas, como já discutido anteriormente. Os incentivos fiscais à inovação em nanotecnologia são um dos caminhos que possibilitam a implementação de tais políticas.

O desenvolvimento sustentável como princípio, a ser explorado nesse subtópico, implica um manejo correto dos recursos ambientais, de modo a permitir a recomposição dos elementos utilizados. O aparente confronto entre direitos fundamentais dos seres humanos e das sucessivas gerações e o limite constitucional à atividade econômica, torna-se insignificante, uma vez que as atividades econômicas não podem ser exercidas em desarmonia com os princípios destinados a proteção ambiental.

Para Gilberto Montibeller-Filho⁵⁶⁶ o desenvolvimento sustentável se materializa com o cumprimento simultâneo do trinômio: eficiência econômica, eficácia social e eficácia ambiental. O princípio do desenvolvimento sustentável surge, no contexto atual de globalização, como um limite ao processo civilizatório da humanidade. Nos dizeres de Leff⁵⁶⁷, “a sustentabilidade ecológica aparece, assim, como um critério normativo para a reconstrução da ordem econômica, como uma condição para a sobrevivência humana e um suporte para chegar a um desenvolvimento duradouro, questionando as próprias bases da produção.”

Rech⁵⁶⁸ argumenta sobre a importância do princípio da sustentabilidade como forma de assegurar o desenvolvimento econômico e, simultaneamente, com foco na preocupação com o meio ambiente ecologicamente equilibrado. A convivência harmônica entre a sociedade e o meio ambiente, perpassa por uma mudança de paradigma relacionada à forma como a sociedade enxerga o meio ambiente e pela necessidade de uma relação ética quanto às responsabilidades. Segundo Hans Jonas⁵⁶⁹, o homem necessita ter um dever em relação à natureza, como condição da sua própria continuidade e como um dos elementos da sua própria integridade existencial.

⁵⁶⁶ MONTIBELLER-FILHO, Gilberto. O mito do desenvolvimento sustentável: Meio ambiente e custos sociais no moderno sistema produtor de mercadorias. 3. ed. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2008. p. 59.

⁵⁶⁷ LEFF, Enrique. *Saber ambiental: sustentabilidade, racionalidade, complexidade, poder*. 8. ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2011, p. 15.

⁵⁶⁸ RECH, Adir Ubaldo. *Direito e Economia Verde*, Caxias do Sul: EDUCS. 2011. p. 204.

⁵⁶⁹ JONAS, Hans. *O princípio responsabilidade: ensaio de uma ética para a civilização tecnológica*. Rio de Janeiro: Contraponto: Ed. PUC-Rio, 2006. p. 230.

A necessidade de estabelecer limites considerando a velocidade de utilização dos recursos, haja vista sua finitude em paralelo à tendência a um crescimento infinito de produção, é preocupação. Segundo Faladori,⁵⁷⁰ a palavra “velocidade remete a um ritmo de utilização que, evidentemente, não depende do recurso em si, mas de seu emprego pela sociedade humana”, isto é, ambos (velocidade e utilidade) remetem aos limites físicos que são impostos ao desenvolvimento humano, não somente referentes ao *como* se produz, mas *ao quanto* se consome dos recursos naturais. A taxa de utilização não é a mesma que a taxa de reconstrução natural do recurso consumido, por conseguinte, a velocidade de esgotamento é superior à de reposição. Nesse contexto, criar alternativas à produção de energia, usando fontes renováveis, é uma ferramenta essencial para o desenvolvimento humano e preservação do planeta.

Tanto no processo de produção de bens quanto no de consumo, há energia envolvida na ação, fazendo-se essencial a análise de seu entorno para que essa seja compreendida, potencializada e aproveitada de forma eficiente e sustentável. A produção de energia está relacionada ao desenvolvimento da economia e ao mesmo tempo, à sustentabilidade ambiental. Assim, seus efeitos são socialmente observáveis no trinômio do desenvolvimento sustentável.

Sachs⁵⁷¹ elenca 08 (oito) critérios que devem ser considerados para se falar em desenvolvimento sustentável: **social** com alcance de um patamar razoável de homogeneidade social; distribuição justa de renda; emprego pleno e/ou autônomo com qualidade de vida decente; igualdade no acesso aos recursos e serviços sociais; **cultural** existindo equilíbrio entre o respeito à tradição e inovação; capacidade de autonomia para elaboração de um projeto nacional integrado e endógeno, em oposição às cópias servis dos modelos alienígenas; autoconfiança combinada com abertura para o mundo; **ecológica** mediante preservação do potencial do capital da natureza na sua produção de recursos renováveis; limitar o uso dos recursos não renováveis; **ambiental** respeitando a capacidade de autodepuração/autodesenvolvimento dos ecossistemas naturais; **territorial/espacial** apresentando superação das disparidades inter-regionais; configuração mais equilibrada da questão rural-urbana; melhoria do ambiente urbano; estratégias seguras de desenvolvimento ambiental para áreas ecologicamente frágeis/conservação da biodiversidade pelo ecodesenvolvimento; **econômico** com busca de uma segurança alimentar e de um

⁵⁷⁰ FALADORI, Guillermo. *Limites do desenvolvimento sustentável*. Campinas: Ed. da Unicamp, São Paulo; Imprensa Oficial, 2001. p. 120.

⁵⁷¹ SACHS, Ignacy. *Caminhos para o desenvolvimento sustentável*. Rio de Janeiro: Garamond, 2000, p. 85-88

desenvolvimento econômico intersetorial mais equilibrado; capacidade de modernização contínua dos instrumentos de produção; razoável nível de autonomia na pesquisa científica e tecnológica; inserção soberana na economia internacional; **política nacional** com democracia definida em termos de apropriação universal dos direitos humanos; desenvolvimento da capacidade de o Estado implementar projeto nacional em parceria com todos os empreendedores; nível razoável de coesão social; **política internacional** mediante eficácia do sistema de prevenção de guerras por parte da ONU, na garantia da paz e na promoção da cooperação internacional; controle institucional efetivo da aplicação do Princípio da Precaução na gestão do meio ambiente e dos recursos naturais; pacote Norte-Sul de desenvolvimento baseado no princípio de igualdade; controle institucional efetivo do sistema internacional financeiro e de negócios; sistema efetivo de cooperação científica e tecnológica internacional e eliminação parcial do caráter de *commodity* da ciência e tecnologia, também como propriedade da herança comum da humanidade.

Sustenta Sachs⁵⁷² que a harmonização de objetivos sociais, ambientais e econômicos formam um tripé: Preservação do potencial da natureza para a produção de recursos renováveis; limitação do uso dos recursos não renováveis; e respeito e realce para a capacidade de autodepuração dos ecossistemas naturais. Tais objetivos não foram alterados nos 20 anos que se passaram entre a Conferência de Estocolmo e a Rio92.

Ignacy Sachs⁵⁷³ que trouxe o conceito de desenvolvimento sustentável atrelando aos valores sociais e cuidados ambientais, defende ainda que temos uma série de energias renováveis a serem aproveitadas e aperfeiçoadas, para ampliar a eficiência no uso das energias disponíveis e promover a sobriedade quanto ao consumo energético. Portanto além de mudanças na política de investimentos em áreas chaves, como é a energética, precisa-se de uma cultura de consciência da finitude dos recursos naturais e que seu uso indiscriminado traz consequências irreversíveis para todos.

Mas o que é sustentabilidade? Essa pergunta é feita também por Bosselmann⁵⁷⁴ referindo-se que o uso do termo não pode perder sua característica principal: referir-se a sustentabilidade ecológica. Nesse sentido, o desenvolvimento sustentável deve ser uma aplicação do princípio da sustentabilidade e não o contrário, tendo o desenvolvimento pautado na sustentabilidade ecológica a fim de atender as necessidades da geração atual e na vindoura.

⁵⁷² VEIGA, Op. Cit. 171

⁵⁷³ SACHS, Ignacy. A energia do amanhã. Entrevista a Denise Ribeiro. Cartaverde. Outubro, 2009 p. 54

⁵⁷⁴ BOSSELMANN, Klaus. O princípio da sustentabilidade. Transformando direito e governança. Tradução: Phillip Gil França. São Paulo:Revista dos Tribunais.. 2015. 288 p. P. 15

Veiga⁵⁷⁵ apresenta uma reflexão sobre a possibilidade da existência de um *caminho do meio* para a sustentabilidade, nem panglossianos, nem apocalípticos. E sim uma sustentabilidade que “se opõem pelo grau de confiança que depositam na possibilidade de novas tecnologias virem a reverter os obstáculos ambientais à continuidade do crescimento econômico”. Portanto uma sustentabilidade que pode estar atrelada ao grau de confiança da tecnologia, capaz de reverter obstáculos ao crescimento econômico e preservação ambiental, formando um tripé de sustentabilidade já destacado por Sachs⁵⁷⁶ de preservação do potencial da natureza para a recuperação dos recursos renováveis, de restringir o uso dos recursos não renováveis e por fim, respeito e realce para a capacidade de autodepuração dos ecossistemas naturais.

O caminho do meio na visão de Veiga é ponderado por Silveira⁵⁷⁷ como sendo o mais adequado, pois “refuta o reducionismo da meta do crescimento econômico medido pelo Produto Interno Bruto (PIB) per capita, mas refuta também a visão que o desenvolvimento não passa de “reles ilusão, crença, mito, ou manipulação ideológica””, não podendo se fechar os olhos para a pobreza e subdesenvolvimento vinculados à crise ambiental.

Os objetivos de sustentabilidade, para Veiga⁵⁷⁸, são baseados no duplo imperativo ético de solidariedade sincrônica com a geração atual e de solidariedade diacrônica com as gerações futuras. Mas Veiga também é taxativo ao considerar que as diversas versões do desenvolvimento sustentável ainda estão distantes de um consenso, considerando-o utópico. Ideia essa compartilhada por Arrighi⁵⁷⁹, que defende o abandono do postulado de que se desenvolver e se industrializar seja a mesma coisa. A industrialização geralmente é buscada, não como um fim em si mesmo, mas como um meio para a riqueza, poder, bem-estar e/ou por uma combinação desses elementos.

Silveira e Mendonça⁵⁸⁰ apontam dos riscos da banalidade da noção genérica do desenvolvimento sustentável e alegam que as “definições rasas podem acabar por esvaziar completamente o conceito”. Em concordância com Veiga, afirmam que não se trata da “

⁵⁷⁵ VEIGA, José Eli da; Parte 1 e Parte 2: Desenvolvimento Sustentável o desafio do século XXI . Ed. Garamond, 3ª edição. 2010, 220 p. P. 170.

⁵⁷⁶ SACHS, op. Cit.

⁵⁷⁷ SILVEIRA, Clóvis Eduardo Malinverni da. Risco Ecológico Abusivo: a tutela do patrimônio ambiental nos Processos Coletivos em face do risco socialmente intolerável. Caxias do Sul: Educs, 2014. P. 116

⁵⁷⁸ VEIGA, Op. Cit. 171

⁵⁷⁹ ARRIGHI, Giovanni. A ilusão do desenvolvimento | tradução de Sandra Guardini Teixeira Vasconcelos | Petrópolis, RJ: Vozes, 1997. 371 p.

⁵⁸⁰ SILVEIRA, Clóvis Eduardo Malinverni da; Mendonça, Vinicius Moreira. Mapeando o Desenvolvimento Sustentável, com José Eli da Veiga P. 83-106. In: SILVEIRA, Clóvis E.M. da e outros (org). 18 obras sobre meio ambiente e sustentabilidade: cadernos de estudos DAC, volume 1. Lages/SC: Editora Biosfera, 2022. P. 102

"geleia real" sobre sete sustentabilidades negociáveis, mas, precisamente, do que urge agora ser chamado de "sustentabilidade ambiental do processo de desenvolvimento",⁵⁸¹.

Sem especular de quais seriam as necessidades futuras, Bosselmann⁵⁸² é taxativo ao afirmar que "sem condições ambientais básicas não há vida humana", tais como água, ar puro, solo fértil e biodiversidade. Sendo portanto a sustentabilidade ecológica um pré requisito para o desenvolvimento e não somente um mero aspecto.

Sem especular quais seriam as necessidades futuras, Bosselmann⁵⁸³ é taxativo ao afirmar que "sem condições ambientais básicas", tais como água, ar puro, solo fértil e biodiversidade, "não há vida humana". Portanto, a sustentabilidade ecológica é um pré-requisito para o desenvolvimento e não somente um mero aspecto. O termo sustentabilidade, assim como o termo justiça, para o autor,⁵⁸⁴ necessita de uma reflexão mais aprofundada, especialmente sobre os critérios de orientação, seus valores e seus princípios.

O desenvolvimento sustentável não exige um ato de equilíbrio entre as necessidades das pessoas que vivem hoje e as necessidades das pessoas que viverão no futuro, nem um ato de equilíbrio entre as necessidades econômicas, sociais e ambientais. A noção de desenvolvimento sustentável, se as palavras e sua história têm algum significado, é bastante clara. Ele convoca para o desenvolvimento baseado na sustentabilidade ecológica a fim de atender às necessidades das pessoas que vivem hoje e no futuro. Entendido desta forma, o conceito fornece conteúdo e direção. Ele pode ser usado na sociedade e executado por meio do Direito. A qualidade jurídica do conceito de desenvolvimento sustentável firma-se quando a sua ideia central é compreendida.

O desenvolvimento sustentável é possível quando se utiliza a ciência como uma ferramenta de proteção do meio ambiente, o que já foi mencionado na subseção 2.1, por meio de citação de Irina Bokova, Diretora Geral da Unesco. Não se trata mais de usar a ciência como um monopólio da produção da verdade, mas sim de utilizá-la como ferramenta para obtenção de um meio ambiente ecologicamente equilibrado sem abrir mão do desenvolvimento econômico.

⁵⁸¹ SILVEIRA, 2022. Op. Cit. P. 101.

⁵⁸² BOSSELMANN, Klaus. O princípio da sustentabilidade. Transformando direito e governança. Tradução: Phillip Gil França. São Paulo:Revista dos Tribunais.. 2015. 288 p Op. Cit. P. 33

⁵⁸³ BOSSELMANN, Op. Cit. P. 33

⁵⁸⁴ BOSSELMANN, Op. Cit. P. 15

O princípio da sustentabilidade ambiental procura harmonizar o progresso e o desenvolvimento econômico com a preservação ambiental, tendo em vista o bem estar da sociedade, com atenção para a finitude dos recursos naturais e a crescente demanda mundial por bens e matérias naturais. O investimento para o desenvolvimento em tecnologias inovadoras, com as nanotecnologias, tem se mostrado um importante aliado para o meio ambiente. Não se trata de utilizar um discurso de sustentabilidade, como apontado por Leff⁵⁸⁵ de reconciliar meio ambiente e crescimento econômico, onde a “A tecnologia seria a encarregada de reverter os efeitos da degradação ambiental, resolvendo os problemas da escassez global”, mas de usar a tecnologia para redirecionar para uma racionalidade produtiva, fundada no potencial ecológico e de preservação ambiental capaz de conduzir a uma nova ordem social.

Embora o termo *desenvolvimento sustentável* acaba sendo usado de modo coloquial mas “seria irresponsável ignorar o conceito de desenvolvimento sustentável simplesmente porque não há uma concordância quanto ao seu significado”⁵⁸⁶.

O aspecto inovador do desenvolvimento sustentável, nesse contexto, é a sua procura em integrar um regime jurídico, político e institucional. Quão prosperamente isto está sendo feito pode ser discutível, mas a “integração” não é um marco do desenvolvimento sustentável, e sim uma característica inerente a qualquer desenvolvimento ou modelo de gestão que trate de questões ambientais⁵⁸⁷.

O modo como o desenvolvimento sustentável é tratado no direito gera reflexos em sua aplicabilidade. Apesar de não se ter um conceito unívoco de desenvolvimento sustentável, alguns elementos sempre estão presentes nas definições: proteção ambiental e desenvolvimento econômico e social.

A ideia de Desenvolvimento sustentável originamente aparece com o Relatório Brundtland,⁵⁸⁸ que traz elementos que compõem as necessidades das gerações atuais e o comprometimento de não empregar a habilidade das gerações futuras com suas próprias necessidades.

Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs. It contains within it two key concepts:

⁵⁸⁵ LEFF, Enrique; Saber Ambiental. Sustentabilidade, Racionalidade, Complexidade, Poder. Parte I: Globalização, ambiente e sustentabilidade do desenvolvimento. Ed. Vozes, 8ª edição. 2011. P. 24

⁵⁸⁶ BOSSELMANN, Op. Cit. P. 25

⁵⁸⁷ BOSSELMANN, Op. Cit. P. 25

⁵⁸⁸ ONU. Our Common Future. Brundtland: Organizações das Nações Unidas, 1987. Disponível em <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>, com acesso em 19/11/2023

the concept of 'needs', in particular the essential needs of the world's poor, to which overriding priority should be given; and the idea of limitations imposed by the state of technology and social organization on the environment's ability to meet present and future needs.⁵⁸⁹

Na origem do termo percebe-se a ponderação das *'needs'* (necessidades) tanto da atual e das vindouras gerações; bem como o *state of technology* como um elemento limitador para o alcance do desenvolvimento sustentável. E nesse contexto, a presente tese se apresenta como um elemento de interface que aponta que, pela ausência de investimentos em inovação tecnológica, mediante incentivos fiscais, a perfectibilização do desenvolvimento sustentável encontra sérios obstáculos para ser implementada.

Bosselmann⁵⁹⁰ faz uma crítica sobre essa visão antropocêntrica do núcleo ecológico do desenvolvimento sustentável pautado em necessidades humanas. Argumenta que há esses dois conceitos fundamentais envolvidos, o de necessidades e a “ideia de limitações impostas pelo Estado da tecnologia e da organização social sobre a capacidade do meio ambiente para atender às necessidades presentes e futuras”. A primeira parte, com relação das necessidades diz respeito ao componente social do desenvolvimento sustentável; a segunda parte reconhece que as atividades humanas, derivadas do Estado da tecnologia e da organização social, não podem ignorar os limites ambientais, sendo esse o aspecto ecológico do desenvolvimento sustentável.

Portanto a relação *meio ambiente e economia* é elemento determinante para o desenvolvimento sustentável. Bolsselmann⁵⁹¹ coloca uma ressalva que essa correlação deve ser assegurada, sem o comprometimento da capacidade ambiental para as gerações presentes e futuras.

Esse ideal de desenvolvimento sustentável, como aquele que atende às necessidades do presente, sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem a suas próprias necessidades já é consolidado e reproduzido em decisões dos tribunais brasileiros.⁵⁹² No STF⁵⁹³ a integridade do meio ambiente é ponto de foco nas decisões, mesmo quando há aparente conflito de normas, como demonstra a decisão do ministro Celso de Mello em julgamento da ADI 3540: Nessa decisão o princípio do desenvolvimento sustentável, além de

⁵⁸⁹ ONU. Our Common Future. Brundtland: Organizações das Nações Unidas, 1987. Disponível em <http://www.un-documents.net/ocf-02.htm#I>, com acesso em 19/11/2023

⁵⁹⁰ BOSSELMANN, Op. Cit. P. 30

⁵⁹¹ BOSSELMANN, Op. Cit. P. 31

⁵⁹² BRASIL. TRF4, AC nº 2000.70.08.001184-8, 3ª Turma, Relator Morga Inge Barth Tessler, publicado em 07/05/2003.

impregnado de caráter eminentemente constitucional, está legitimado internacionalmente em compromissos assumidos pelo Brasil e representa o justo equilíbrio entre as exigências da economia e as da ecologia, subordinada, no entanto, quando ocorrente situação de conflito entre valores constitucionais relevantes, a um não afastamento dos direitos fundamentais do direito à preservação do meio ambiente, que traduz bem de uso comum da generalidade das pessoas, a ser resguardado em favor da presente e futuras gerações.⁵⁹⁴

Retrospectivamente, em 2000 em Nova York (EUA), em Assembleia Geral da ONU, 147 Chefes de Estado e de Governo e de 191 países realizaram a "Cúpula do Milênio das Nações Unidas" originando a *Declaração do Milênio das Nações Unidas*⁵⁹⁵. Desencadeando em 8 (oito) objetivos (ODM): 1-Acabar com a fome e a miséria; 2 - Oferecer educação básica de qualidade para todos; 3 - Promover a igualdade entre os sexos e a autonomia das mulheres; 4 - Reduzir a mortalidade infantil; 5 - Melhorar a saúde das gestantes; 6 - Combater a Aids, a malária e outras doenças; 7 - Garantir qualidade de vida e respeito ao meio ambiente; 8 - Estabelecer parcerias para o desenvolvimento⁵⁹⁶.

Em 2015 foi aprovada a Agenda 2030, durante a Cúpula das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável, estabelecendo 17 (dezessete) Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), desdobrados em 169 metas, construídos com bases estabelecidas advindas das metas globais dos ODM⁵⁹⁷. São: 1 Erradicar a pobreza; 2 Erradicar a fome; 3 Saúde de qualidade; 4 Educação de qualidade; 5 Igualdade de gênero; 6 Água potável e saneamento; 7 Energias renováveis e acessíveis; 8 Trabalho digno e crescimento econômico; 9 Indústrias, inovação e infraestruturas; 10 Redução das desigualdades; 11 Cidades e comunidades sustentáveis; 12 Consumo e produção responsáveis; 13 Ação contra a mudança global do clima; 14 Vida na água; 15 Vida terrestre; 16 Paz, justiça e instituições eficazes e 17 Parcerias e meios de implementação⁵⁹⁸. Sendo representado na figura abaixo:

⁵⁹⁴ BRASIL. ADI 3540 MC, Relator (a): Min. CELSO DE MELLO, Tribunal Pleno, julgado em 01/09/2005, DJ 03-02-2006 PP-00014 EMENT VOL-02219-03 PP-00528

⁵⁹⁵ ONU. Nações Unidas. Declaração do Milênio. Disponível em <https://www.oas.org/dil/port/2000%20Declara%C3%A7%C3%A3o%20do%20Milenio.pdf>, com acesso em 09/12/2023

⁵⁹⁶ UN. Millennium Development Goals. Disponível em <https://www.un.org/millenniumgoals/>, com acesso em 09/12/2023.

⁵⁹⁷ ROMA, Júlio César. Os objetivos de desenvolvimento do milênio e sua transição para os objetivos de desenvolvimento sustentável. *Cienc. Cult.*, São Paulo, v. 71, n. 1, p. 33-39, Jan. 2019. Available from <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252019000100011&lng=en&nrm=iso>. access on 10 Dec. 2023. <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602019000100011>.

⁵⁹⁸ BRASIL. ODS. Disponível em <https://odsbrasil.gov.br/home/agenda>, com acesso em 09/12/2023.

Figura 10: 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável



Fonte: ODS Brasil.⁵⁹⁹

A meta proposta tem como meta de alcance até 2030, contemplando as dimensões ambiental, econômica e social do desenvolvimento sustentável, de forma integrada e inter-relacionada. A partir delas, os países definiriam suas metas nacionais e as incorporariam em suas políticas, programas e planos de governo. O Objetivo 17 entre outras metas, trata dos meios necessários para viabilizar e efetivar a Agenda, apontando a necessidade de viabilização de recursos e engajamento Governo, setor privado, sociedade civil e o Sistema ONU⁶⁰⁰.

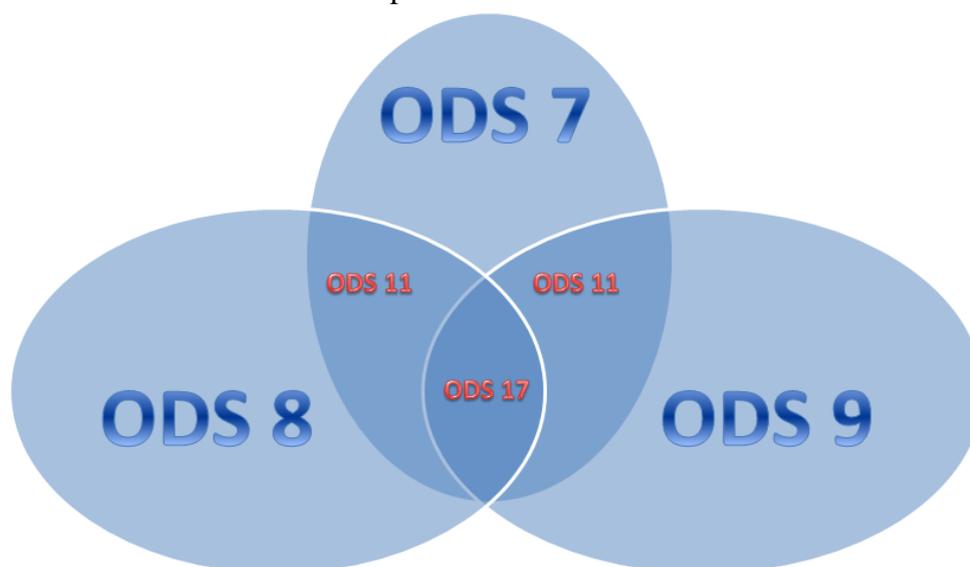
Embora todos os ODS possuem interface de conectividade entre assuntos em comum, como é o caso da Energia, o objeto principal da presente tese que é o uso de inovação tecnológica em nanotecnologias para energias limpas por meio de incentivos fiscais, contribui diretamente com os ODS 7, 8, 9, 11 e 17, mas, indiretamente com todos os demais.

A figura 11 mostra a inter-realção entre a produção de energia limpa e acessível, relativo ao ODS 7, com o crescimento econômico, mencionado no ODS 8 e a inovação, contemplada no ODS 9. Ao mesmo tempo que a implementação trazida no ODS 17, possibilitaria cidades e comunidades sustentáveis, conforme ODS 11.

⁵⁹⁹ BRASIL. ODS. Disponível em <https://odsbrasil.gov.br/home/agenda>, com acesso em 09/12/2023.

⁶⁰⁰ ODSBRASIL. ODS 17. Disponível em <https://odsbrasil.gov.br/objetivo/objetivo?n=17>, com acesso em 10/12/2023.

Figura 11: Objetivos de Desenvolvimento Sustentável contemplados nessa Tese



Fonte: elaborado pela autora

O ODS 7 visa garantir o acesso à energia barata, sustentável e renovável à toda a sociedade. A acessibilidade à energia barata implica em melhora na qualidade de vida do ser humano. A energia à qual se refere o ODS é a energia elétrica, que passa por uma grave crise devido à preponderância do fornecimento de energia por hidroelétricas.

Ao analisar o acesso à energia, meta 7.1, o indicador 7.1.1 refere-se à porcentagem da população com acesso à eletricidade. Quase a totalidade dos estados brasileiros possuem acesso à energia elétrica para mais de 99% de sua população em 2022, exceto o Acre em que 97,8% da população tem energia elétrica⁶⁰¹. Contudo os dados demonstram somente o acesso à energia, mas não detalham a fonte, nem o custo dessa geração.

Os dados para análise das metas estão indisponíveis para período de 2019 a 2022. Na análise dos dados disponíveis, o Grupo de Trabalho da Sociedade Civil para a agenda 2030, que gerou o VII relatório luz da sociedade civil constata sobre o índice de intensidade estavam atualizados somente até 2020 e a participação das energias renováveis na Oferta Interna de Energia (OIE), em 2021. Permanecendo os demais indicadores não avaliados ou com dados desatualizados.⁶⁰²

⁶⁰¹ ODS 7. Disponível em <https://odsbrasil.gov.br/objetivo7/indicador711>, com acesso em 10/12/2023.

⁶⁰² GTSC A2030. *VII Relatório Luz da sociedade civil agenda 2030 de desenvolvimento sustentável brasil. grupo de trabalho da sociedade civil para a agenda 2030*. Disponível em https://brasilnaagenda2030.files.wordpress.com/2023/10/r1_2023_webcompleto-v9.pdf, com acesso em 09/01/2024. P. 50

Ao investigar os critérios para obtenção dos dados que estavam disponíveis até 2015, para a meta 7.1.2 sobre porcentagem da população com acesso primário a combustíveis e tecnologias limpas, constatou-se que foram disponibilizadas ao entrevistado as opções de botijão de gás, gás canalizado, lenha, carvão, energia elétrica e outras. Como resultado, 96,1% da população usam gás derivado do petróleo, lenha, carvão, energia elétrica e outros combustíveis (como querosene, álcool, óleo, etc), pois no Brasil, a utilização doméstica de combustíveis só é estatisticamente relevante para cocção. Os dados foram coletados pelo PNAD - IBGE (Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios)⁶⁰³. No ano de 2022, a lenha teve um aumento 3,2% em relação a 2020, experimentando um aumento de 3,2%, podendo ser justificado em razão da crise hidroenergética, falta de chuvas, Covid-19 e a ineficiência das políticas públicas⁶⁰⁴.

Ao analisar essa meta, o Relatório Luz⁶⁰⁵ com base nos dados produzidos pela sociedade civil e a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) aponta que a meta 7.1 permaneceu em retrocesso, tendo em vista que o pagamento da energia elétrica para famílias de baixa renda implica em um comprometimento de mais da metade da renda familiar para 40% das famílias que recebem até cinco salários mínimos, comprometendo o acesso a alimentos básicos em sete de cada 10 famílias. Esses dados refletem a pobreza energética que dificulta o acesso à energia elétrica apesar da Tarifa Social de Energia Elétrica (TSEE) que tem se mostrado insuficiente.

Em relação à a meta 7.2 sobre o aumento da participação de energias renováveis na matriz energética global e seu correspondente indicador (7.2.1) de participação das energias renováveis na Oferta Interna de Energia (OIE), a produção caiu para 44,8%, em 2021 de 48,4% em 2020. Os dados não foram atualizados para 2022, nem 2023. O relatório Luz⁶⁰⁶ com base nesses dados considera que a meta 7.2 permaneceu estagnada, tendo como a principal causa a crise hidrelétrica devido a crise climática agravada pela falta de chuvas e pela necessidade do acionamento das usinas termelétricas. Aponta, ainda, as ações governamentais que acabaram sendo prejudiciais para a transição energética:

A lei de privatização da Eletrobrás, por exemplo, prevê a contratação de 8 GW (gigawatts) de geração termelétrica a gás natural e o aumento dos incentivos fiscais destinados às fontes fósseis, inclusive as termelétricas, que em 2021 ultrapassaram os R\$ 118 bilhões. Tal escolha ameaça a expansão

⁶⁰³ ODS 7. Disponível em <https://odsbrasil.gov.br/objetivo7/indicador712>, com acesso em 10/12/2023.

⁶⁰⁴ GTSC A2030, op. Cit. P.52

⁶⁰⁵ GTSC A2030, op. Cit. P.51

⁶⁰⁶ GTSC A2030, op. Cit. P.52

das fontes renováveis, sobretudo eólica e solar fotovoltaica, na matriz elétrica do país. Em 2022 foi aprovada lei⁶⁰⁷ que prorrogou subsídios à produção à base de carvão mineral até 2040, indo na contramão de uma transição energética eminentemente renovável e limpa⁶⁰⁸.

Ao analisar a meta 7.1 e 7.2 conjuntamente percebe-se que não há dados sobre os valores envolvidos para o acesso à energia, sendo que o fornecimento de energia de fontes renováveis não chega a 50% da matriz energética nacional. Portanto fomentar mediante incentivos fiscais a pesquisa e o desenvolvimento com menos materiais, usando as nanotecnologias para produção e distribuição de energias renováveis acarreta energias com um preço menor ao consumidor final, permitindo de fato, acesso à energia renovável barata à todos. A pesquisa em nanotecnologias também poderá contribuir para melhorar a eficiência energética, que corresponde à meta 7.3 que implica em dobrar a taxa global de melhoria da eficiência energética até 2030. Hoje esse dado, não atualizado tem permanecido constante em 0,1 % do PIB.⁶⁰⁹

A capacidade instalada de geração de energia renovável, indicador 7.b.1, tem como meta a expansão da infraestrutura com modernização tecnológica para fornecimento de serviços de energia moderna e sustentável, até 2030. Incluindo nessa meta as fontes: “energia hidrelétrica; energia marinha (oceano, marés e ondas); energia eólica; energia solar (fotovoltaica e térmica); bioenergia; e energia geotérmica.”⁶¹⁰ Em 2011 a capacidade instalada de energia renovável per capita era de 470,540W, passando para 745,580 W em 2021, demonstrando um crescimento de 64,72% naquele período, mas não avançando pelo menos em duas décadas.

Dentre as recomendações do Relatório Luz esta a necessidade de cortar subsídios e incentivos fiscais à geração de energia não renovável de modo a desincentivar a produção e o uso e “realocar os recursos destinados a esse propósito para a geração de energia renovável, buscando diminuir a relação entre o Produto Interno Bruto (PIB) e a Oferta Interna de Energia (OIE)”; bem como a fim de avançar na transição energética a elaboração de uma agenda capaz de transformar o mercado de energia estabelecendo critérios que “foquem exclusivamente na oferta e na expansão do parque gerador, de forma a garantir o

⁶⁰⁷ BRASIL. Presidência da República. Lei nº 14.299/2022. Disponível em https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/114299.htm#:~:text=L14299&text=Altera%20as%20Leis%20n%C2%BA%2010.438,%3B%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%AAs%20Ancias., com acesso em 22/01/2024.

⁶⁰⁸ GTSC A2030, op. Cit. P.52

⁶⁰⁹ ODS 7. Disponível em <https://odsbrasil.gov.br/objetivo7/indicador731>, com acesso em 10/12/2023.

⁶¹⁰ ODS 7. Disponível em <https://odsbrasil.gov.br/objetivo7/indicador7b1>, com acesso em 10/12/2023.

monitoramento e a redução dos impactos socioambientais decorrentes das alternativas elegidas”⁶¹¹.

Os incentivos em nanotecnologias para as energias renováveis contribuem determinadamente para a obtenção dessas recomendações.

O ODS 8, referente ao objetivo de promover o crescimento econômico sustentável, da mesma forma seria atendido mediante o fomento em inovação nano tecnológica para energias renováveis. Tanto quanto ao crescimento econômico advindo do implemento tecnológico, quanto a sua observância à matéria ambiental. Com oferta e produção de uma energia renovável mais eficiente, ou tão eficiente quanto a atualmente produzida e ofertada a preço semelhante ou inferior, potencialmente ter-se-á mais negócios sustentáveis sendo promovidos, incrementando o setor e a oferta de trabalho. O ODS 8 possui 10 metas e 16 indicadores, sendo que o objeto da presente tese contribuiria com 3 (três) dessas metas: 8.1, 8.2 e 8.4

A meta 8.1 almeja um crescimento de pelo menos 7% do produto interno bruto (PIB) para o crescimento econômico. O último indicador que mostra a taxa de crescimento real do PIB per capita está desatualizado com dados de 2020, havendo a queda de 4 pontos percentuais comparada a 2019. Com o fomento em inovação, voltados para as Energias com base em nanotecnologias, o país incrementaria seu potencial tecnológico e conseqüentemente seu potencial de negócios. Assim atende à meta 8.2 relativa à modernização tecnológica e inovação com o objetivo de aumentar a produtividade em setores de alto valor agregado. Contudo, o único indicador mede a “Taxa de variação anual do PIB real por pessoa ocupada”, e não há nenhum indicador específico que possa aferir a modernização tecnológica e inovadora em setores com alto valor agregado, como energia⁶¹².

Desde 2020, o país vem se desindustrializando, com taxa de desocupação em torno de 10% ao ano, estrangulando uma perspectiva de desenvolvimento sustentável⁶¹³.

O Objetivo 8.4 trata da melhoraria da eficiência dos recursos globais no consumo e na produção, procurando dissociar o crescimento econômico da degradação ambiental que é também o objetivo dessa tese. Fomento público, capaz de desenvolver a área de nanotecnologias *environmentally friendly* para o setor energético, propicia o crescimento econômico. Contudo, os dois indicadores apontados ainda não possuem nenhum dado: “8.4.1 - Pegada material, pegada material per capita e pegada material em percentagem do PIB; 8.4.2

⁶¹¹ GTSC A2030, op. Cit. P.54.

⁶¹² ODS 8. Disponível em <https://odsbrasil.gov.br/objetivo/objetivo?n=8>, com acesso em 11/12/2023

⁶¹³ GTSC A2030, op. Cit. P.55

- Consumo interno de materiais, consumo interno de materiais per capita e consumo interno de materiais por unidade do PIB.”⁶¹⁴

Fomentar a inovação na indústria e sua infraestrutura, de modo sustentável, é o objetivo do ODS 9, que possui 5 metas e 12 indicadores, com somente 10 deles ativos. A meta 9.1, que visa desenvolver infraestrutura de qualidade, confiável, sustentável e resiliente, para apoiar o desenvolvimento econômico e o bem-estar humano, com foco no acesso equitativo e a preços acessíveis para todos, é viável mediante incentivos fiscais à nanotecnologia para energias renováveis, possibilitando a toda sociedade energia limpa com preço razoável.

O indicador ativo dessa meta é o 9.1.2, que mede a modalidade de transporte por passageiros e carga. Ao disponibilizar uma energia limpa e com preços acessíveis para transporte de carga e passageiros, há redução dos gases produtores do efeito estufa e, consequentemente, diminuição do impacto climático. O indicador 9.1.2 não contempla o tipo de combustível envolvido no transporte, não sendo capaz de aferir se trata-se de um fornecimento de energia renovável ou não. Confrontando esse dado com outros já levantados no subcapítulo 2.2, que fez a análise da matriz energética Brasileira, observa-se que 55,3% da energia produzida é de fonte não renovável.

Em 2021, houve um aumento no consumo de 9% de óleo diesel fóssil e de 9,8% de gasolina automotiva, porcentagem em que o setor de transporte correspondeu a 71% do consumo energético total de óleo diesel fóssil. Ao analisar a composição setorial do consumo de derivados de petróleo, tem-se os transportes com 59,4% e a indústria com 9,1%, no ano de 2021.⁶¹⁵ Portanto, os indicadores constantes na 9.1 não medem a sustentabilidade ambiental.

A meta 9.4 prevê modernizar a “infraestrutura e reabilitar as indústrias para torná-las sustentáveis, com eficiência aumentada no uso de recursos e maior adoção de tecnologias e processos industriais limpos e ambientalmente adequados”⁶¹⁶. O indicador se dá quanto à emissão de CO₂ pelo PIB. Essa meta complementa a 9.1, e o indicador 9.4.1 representa a quantidade emitida de CO₂ a partir da queima de combustíveis fósseis no país, por uma unidade nacional de resultado econômico. O cálculo é feito por emissões de CO₂ devido à queima de combustíveis fósseis (em Kg) dividido pelo PIB, paridade do poder de compra (PPC) em dólares. Essa razão, em 2020, foi de 0,14, semelhante ao resultado de 1990, de 0,

⁶¹⁴ ODS 8. Disponível em <https://odsbrasil.gov.br/objetivo/objetivo?n=8>, com acesso em 11/12/2023

⁶¹⁵ BEN. Balanço Energético Nacional de 2022. Op. Cit. P. 16

⁶¹⁶ ODS 9. Disponível em <https://odsbrasil.gov.br/objetivo/objetivo?n=9>, com acesso em 11/12/2023, s/ p.

13⁶¹⁷, ficando registrado que não evoluímos nesse segmento. O Relatório Luz considera que a meta 9.4 retrocedeu nos últimos quatro anos, devido ao crescimento das emissões de gás carbônico advindos das energias fósseis, com níveis recordes em 2022, sendo agravado pelo desmatamento no Brasil⁶¹⁸.

A meta 9.5 trata da inovação e analisa, em seus indicadores, os dispêndios em P&D e o número de pesquisadores:

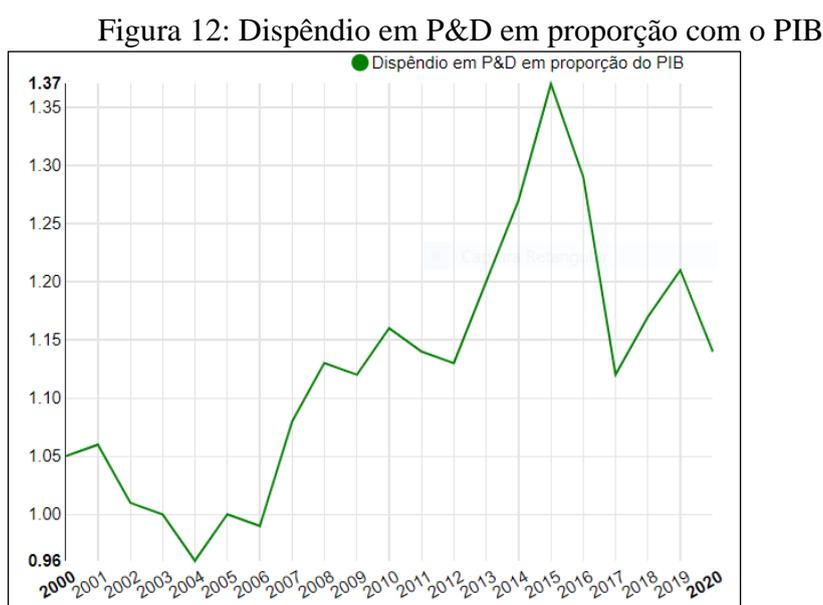
Fortalecer a pesquisa científica, melhorar as capacidades tecnológicas de setores industriais em todos os países, particularmente nos países em desenvolvimento, inclusive, até 2030, incentivando a inovação e aumentando substancialmente o número de trabalhadores de pesquisa e desenvolvimento por milhão de pessoas e os gastos público e privado em pesquisa e desenvolvimento

9.5.1 - Dispêndio em P&D em proporção do PIB

9.5.2 - Pesquisadores (em equivalência de tempo integral) por milhão de habitantes⁶¹⁹

O fomento para pesquisa em PD&I também possui conexão com o tema da tese em comento, objeto dos capítulos anteriores. Ao promover a pesquisa e inovação em nanotecnologias para energias renováveis, estar-se-ia contribuindo diretamente para essa meta em prol do desenvolvimento sustentável.

O gráfico abaixo mostra o montante de recursos monetários gastos em P&D em proporção com o PIB de 2000 a 2020.



Fonte: ODS Brasil⁶²⁰

⁶¹⁷ ODS.9.Indicador 9.4.1 - Emissão de CO2 pelo PIB. Disponível em <https://odsbrasil.gov.br/objetivo9/indicador941>, com acesso em 11/12/2023

⁶¹⁸ GTSC A2030, op. Cit. P.66

⁶¹⁹ ODS 9. Disponível em <https://odsbrasil.gov.br/objetivo/objetivo?n=9>, com acesso em 11/12/2023, s/p.

Os indicadores demonstram que houve um crescimento em investimentos de 2012 a 2015 e, depois desse período, ocorreu uma queda significativa para pesquisa e desenvolvimento. Aconteceu uma tentativa de retomada em 2017, e, com a mudança de governo, em 2019, retomou-se a queda dos investimentos no setor, retornando ao patamar de 2009. Em 2020, a meta 9.5 permaneceu estagnada, segundo o Relatório Luz⁶²¹. Fato esse decorrente da mentalidade de redução de custos de produção com base no decréscimo dos custos com o trabalho. No lugar de

investimentos em inovação tecnológica, fez crescer a “fuga de cérebros” a níveis recordes. Em 2022, foram alocados R\$ 8,21 bilhões do Orçamento da União para ciência e tecnologia, mas apesar do aumento em relação à dotação de 2021, ao longo do ano R\$ 402 milhões foram contingenciados e houve cortes drásticos as bolsas de pesquisa. O resultado foi que o compromisso orçamentário do Brasil com a inovação tecnológica em relação ao Produto Interno Bruto (PIB) permaneceu insignificante: apenas 0,08%. Em 2022, havia 258 mil pesquisadores/as vivendo com bolsas de fomento no país, cujo valores não são reajustados desde 2014⁶²².

Cabe ressaltar que, se tratando de política pública de governos e não de Estado, os investimentos no setor são discricionários quanto aos valores direcionados para a pesquisa e desenvolvimento, causando insegurança jurídica no setor.

Quanto ao número de pesquisadores, os últimos dados constantes no indicador 9.5.5 que trata de pesquisadores (em equivalência de tempo integral) por milhão de habitantes, são de 2014, quando a curva da figura 12 estava em crescimento, não espelhando a realidade atual.

A meta 9.b relacionada ao apoio ao “desenvolvimento tecnológico, a pesquisa e a inovação nacionais nos países em desenvolvimento, inclusive garantindo um ambiente político propício para, entre outras coisas, diversificação industrial e agregação de valor às commodities”, tem como indicador 9.b.1, a “proporção do valor adicionado nas indústrias de média e alta intensidade tecnológica no valor adicionado total”.⁶²³

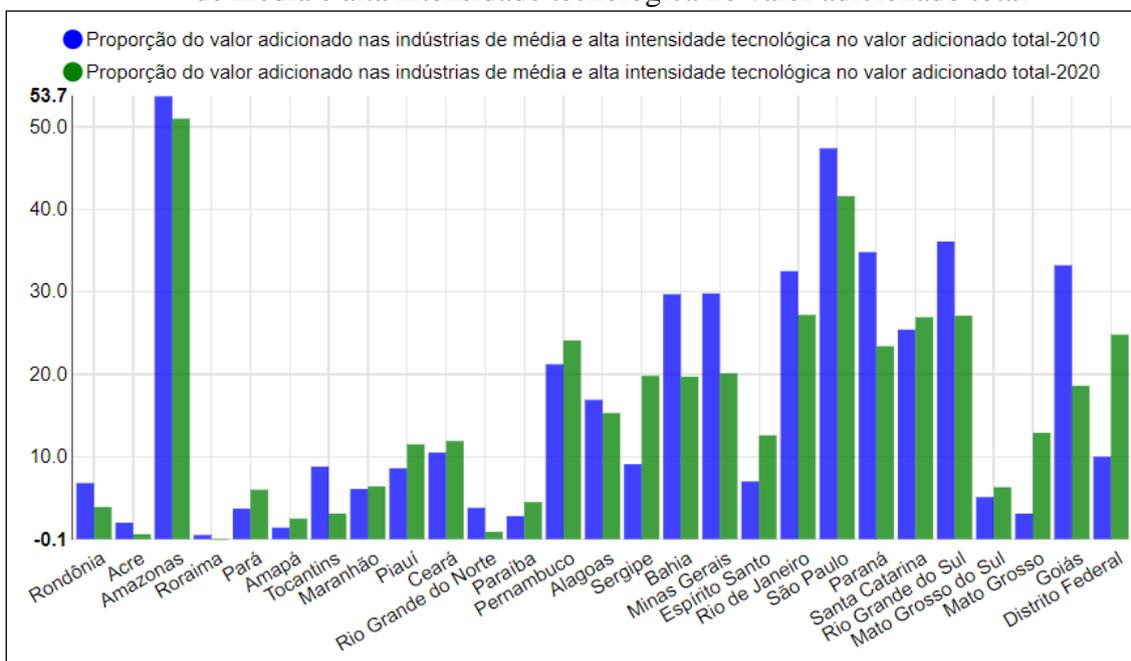
⁶²⁰ ODS 9. Indicador 9.5.1 - Dispendio em P&D em proporção do PIB. Disponível em <https://odsbrasil.gov.br/objetivo9/indicador951>, com acesso em 11/12/2023

⁶²¹ GTSC A2030, op. Cit. P.66.

⁶²² GTSC A2030, op. Cit. P.67.

⁶²³ ODS 9. Indicador 9.b.1 - Proporção do valor adicionado nas indústrias de média e alta intensidade tecnológica no valor adicionado total. Disponível em <https://odsbrasil.gov.br/objetivo9/indicador9b1>, com acesso em 11/12/2023

Figura 13: Proporção do valor adicionado nas indústrias de média e alta intensidade tecnológica no valor adicionado total



Fonte: ODS Brasil⁶²⁴

O gráfico da figura 13 mostra uma comparação entre 10 anos da intensidade tecnológica e do correspondente valor adicionado na indústria. “A intensidade tecnológica, em geral, é definida a partir da intensidade de P&D (gasto em P&D/valor adicionado)” e o valor adicionado refere-se ao valor agregado, por essa atividade, aos bens e serviços consumidos no processo produtivo⁶²⁵.

a classificação da OCDE reflete o comportamento da indústria dos países desenvolvidos em escala mundial. Seria de alguma forma o padrão de comportamento da indústria na fronteira tecnológica. As atividades de média e alta intensidade tecnológica foram definidas, para comparação internacional, a partir da classificação da OCDE utilizando a Classificação Industrial Padrão Internacional (ISIC), REv. 4, compatível com a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE 2.0). As atividades a 2 dígitos são: 20 (Fabricação de Produtos Químicos); 21 (Fabricação de Produtos Farmoquímicos e Farmacêuticos); 26 (Fabricação de Equipamentos de Informática, produtos eletrônicos e ópticos); 27 (Fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos); 28 (Fabricação de máquinas e equipamentos); 29 (Fabricação de veículos automotores,

⁶²⁴ ODS 9. Indicador 9.b.1 - Proporção do valor adicionado nas indústrias de média e alta intensidade tecnológica no valor adicionado total. Disponível em <https://odsbrasil.gov.br/objetivo9/indicador9b1>, com acesso em 11/12/2023

⁶²⁵ ODS 9. Indicador 9.b.1. Op. Cit.

reboques e carrocerias); 30 (Fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto 301 - Construção de embarcações).⁶²⁶

Pode-se extrair indiretamente do gráfico da figura 13, a correspondência entre o alto investimento em tecnologias e os incentivos fiscais. No estado do Amazonas onde há concessão de grandes incentivos fiscais voltados para o desenvolvimento regional, há investimento em tecnologias de forma significativa. Evidencia-se que quando há incentivos fiscais, há investimento em tecnologias.

O Relatório Luz⁶²⁷ ressalta que as metas 9.b e 9.c tiveram progresso insuficiente, mencionando que “o apagão de dados oficiais em relação à meta permaneceu, mas as empresas brasileiras dedicaram em média, em 2022, 9% do seu faturamento para investimentos em tecnologia, crescimento anual de cerca 6% ao longo de 35 anos”. Como recomendação, consta: “Implementar um programa abrangente de modernização da infraestrutura e revitalização das atividades econômicas com a promoção ativa de recursos renováveis e a adoção generalizada de tecnologias e práticas industriais de baixo impacto ambiental”. Além disso, refere-se a criação de políticas públicas com incentivos fiscais e financeiros que propiciem a adoção de práticas ecoeficientes. Destaca-se que os incentivos fiscais para estimular a inovação em nanotecnologia para energias renováveis, novamente, atende a essa recomendação.

Ao tratar de cidades sustentáveis, o ODS 11 objetiva tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis. As metas que dialogam com a tese são as 11.6⁶²⁸ e a 11.b⁶²⁹ referentes à redução do impacto ambiental atrelada à qualidade do ar e quanto a implementação de políticas públicas voltadas à eficiência dos recursos, mitigação e adaptação às mudanças climáticas.

A qualidade do ar é diretamente afetada pelos gases produzidos por uma matriz energética petrolífera. Fomentando a nanotecnologia energética renovável, atua-se diretamente para uma diversificação para uma matriz energética renovável, obtendo-se conseqüentemente, uma melhora na qualidade do ar. O atual investimento em matriz

⁶²⁶ ODS 9. Indicador 9.b.1 - Proporção do valor adicionado nas indústrias de média e alta intensidade tecnológica no valor adicionado total. Disponível em <https://odsbrasil.gov.br/objetivo9/indicador9b1>, com acesso em 11/12/2023

⁶²⁷ GTSC A2030, op. Cit. P.68.

⁶²⁸ 11.6 - Até 2030, reduzir o impacto ambiental negativo per capita das cidades, inclusive prestando especial atenção à qualidade do ar, gestão de resíduos municipais e outros

⁶²⁹ 11.b - Até 2020, aumentar substancialmente o número de cidades e assentamentos humanos adotando e implementando políticas e planos integrados para a inclusão, a eficiência dos recursos, mitigação e adaptação às mudanças climáticas, a resiliência a desastres; e desenvolver e implementar, de acordo com o Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015-2030, o gerenciamento holístico do risco de desastres em todos os níveis

energética está estagnado, sendo necessário investir em novos materiais, que usem menos recursos, sendo a nanotecnologia um caminho apontado, sem exclusão de outros que surjam com investimentos em inovação. Dessa forma estar-se-á contribuindo com a eficiência dos recursos e mitigando as mudanças climáticas.

O indicador implementado da meta 11.6 aponta somente a produção de resíduos sólidos. O segundo indicador que mediria as partículas inaláveis para aferição da qualidade do ar ainda não possui dados. O Relatório Luz⁶³⁰ indica que essa meta se mantém em retrocesso, mencionando que o Brasil, em 2022, “ainda tinha 2.976 lixões em operação, afetando a vida de 76 milhões de pessoas, o que representou 39% de toda a coleta de resíduos no território nacional, desafiando a proposta de zerá-los até 2024”⁶³¹.

Já o indicador da meta 11.6 sobre a existência de políticas para eficiência dos recursos e mitigação das mudanças climáticas é específico e está voltado à implementação de estratégias nacionais e locais para redução de desastres, sinalizando a existência ou não de planos de ação. No Rio Grande do Sul, tem-se que somente 56,7 % dos governos locais possuem estratégias e planos para desastres⁶³². Como exemplo, ocorreram, no ano de 2023, enchentes reincidentes no Vale do Taquari⁶³³, ocasião em que um plano de prevenção teria sido de muita ajuda. Os efeitos diretos das mudanças climáticas são perceptíveis para toda a sociedade.

Por fim, os meios para implementação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável estão contemplados no ODS 17. Ou seja, recursos. A primeira meta trata da arrecadação de impostos: “17.1 – Fortalecer a mobilização de recursos internos, inclusive por meio do apoio internacional aos países em desenvolvimento, para melhorar a capacidade nacional para arrecadação de impostos e outras receitas”⁶³⁴. Junto a essa meta, está a 17.14, que visa “Aumentar a coerência das políticas para o desenvolvimento sustentável”⁶³⁵. Essas duas metas foram objetos desta tese, pois, a partir de suas implementações, ter-se-ia segurança jurídica para investimentos da sociedade civil em inovação em nanotecnologias para energias renováveis.

⁶³⁰ GTSC A2030, op. Cit. P.79.

⁶³¹ GTSC A2030, op. Cit. P.80.

⁶³² ODS 11. Indicador 11.b.2. Disponível em <https://odsbrasil.gov.br/objetivo11/indicador11b2>, com acesso em 12/12/2023.

⁶³³ DEFESA CIVIL. Enchente de grandes proporções deve atingir o Vale do Taquari neste sábado (18). Disponível em: <https://www.defesacivil.rs.gov.br/enchente-de-grandes-proporcoes-deve-atingir-o-vale-do-taquari-neste-sabado-18>. Acesso em 12/12/2023.

⁶³⁴ ODS17. Disponível em <https://odsbrasil.gov.br/objetivo/objetivo?n=17>, com acesso em 12/12/2023.

⁶³⁵ Idem.

O Relatório Luz⁶³⁶, quanto à meta 17.1, considera tímido o progresso, insuficiente, com um custo social ainda muito significativo. Declara que houve uma elevação de 2 pontos percentuais no produto interno bruto (PIB) devido à arrecadação tributária e que, em 2022, correspondeu a 45,6% do Orçamento da União. Ainda, com a perspectiva de alterações legislativas pela Lei Complementar PLP 93/2023, mostra-se limitante o financiamento da implementação da Agenda 2030⁶³⁷. A promoção de parcerias públicas com a sociedade civil está prevista na meta 17.17, contudo, também não foram implementados ainda os indicadores.

Nesse ODS17 também prevê a ajuda internacional para implementação, tanto financeira, quanto no compartilhamento de conhecimentos, contudo ainda não concretizada. É o caso para tecnologias ambientalmente corretas, que estão previstas na meta 17.7 buscando a promoção ao “desenvolvimento, a transferência, a disseminação e a difusão de tecnologias ambientalmente corretas para os países em desenvolvimento, em condições favoráveis, inclusive em condições concessionais e preferenciais, conforme mutuamente acordado”. Entretanto, o indicador que mede o montante total de financiamento para países em desenvolvimento ainda não possui dados.⁶³⁸

A operacionalização para um “Banco de Tecnologia e o mecanismo de capacitação em ciência, tecnologia e inovação” é previsto na meta 17.8, contudo restringe-se à utilização da internet. O compartilhamento de conhecimento, expertise, tecnologias e recursos financeiros, por meio de parceria global, como forma de apoiar a implementação dos ODS, está previsto na meta 17.16, contudo também não foi implementado.

De todo modo, a introdução de novas tecnologias permite pensar na conservação/substituição dos recursos que são (ou serão) escassos, e a consequente recuperação ecológica. Seja qual for a corrente, o desenvolvimento sustentável permeia a ideia de aproveitamento racional dos recursos ambientais disponíveis e, dentre estes recursos, o uso racional de energia, de modo que a busca por nanotecnologias que permitam explorar fontes alternativas é ferramenta para perfectibilização dos ideais de sustentabilidade⁶³⁹ e do atendimento às metas dos ODS para uma transição energética efetiva e segura.

⁶³⁶ GTSC A2030, op. Cit. P.113.

⁶³⁷ GTSC A2030, op. Cit. P.114.

⁶³⁸ ODS 17. Op. Cit.

⁶³⁹ RODRIGUES, I.N.; SILVEIRA, Clóvis E. M. Desenvolvimento sustentável e a matriz energética: aspectos ambientais, econômicos e sociais.P. 99-116 In: Princípios de direito ambiental: articulações teóricas e aplicações práticas, Org. Clóvis Eduardo Malinverni da Silveira . - Caxias do Sul, RS : Educus, 2013.

5.3. CRÍTICA AO MARCO REGULATÓRIO E CAMINHOS A PERCORRER PARA ATENDIMENTO DOS ODS EM P&D

Os dados do IBGE de Pesquisa de Inovação (PINTEC) levantaram que, entre 2015 e 2017, 40,6% das empresas inovadoras introduziram mudanças de produto e/ou processo que geraram impactos ambientais positivos, chamadas ecoinovadoras. Mas, no mesmo período, apenas 17,2% delas realizaram alguma substituição de energia de origem fóssil por fontes de energias renováveis. Entre os fatores que contribuíram para essa busca por inovação voltada ao meio ambiente, 59,4% das empresas apontaram a motivação de melhorar a reputação, e 54,3%, a necessidade de adequar-se aos códigos de boas práticas ambientais levantados pelo setor de atuação da própria empresa. Ainda, no mesmo relatório, consta que, em relação à publicação de relatório de sustentabilidade, apenas 5,6% das empresas inovadoras publicaram algo, mas somente 4,2% sobre produção de energia renovável. Quando a análise vai para a empresa do setor de eletricidade e gás, esse percentual chega a 61,2%.⁶⁴⁰ Em 2021, 12% das empresas publicaram relatório de sustentabilidade, atreladas a setores sujeitos à adequação às normas ambientais, sendo inovadoras em 81,8% (dos 12%)⁶⁴¹.

A publicação do relatório de sustentabilidade é uma prática cada vez mais usual. Desse modo, as empresas publicizam as principais medidas que visam reduzir os efeitos negativos no meio ambiente, explicando suas motivações. “A publicação dos relatórios de sustentabilidade é um dos indicadores dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS, relacionado ao Consumo e Produção Responsáveis – Assegurar padrões de produção e consumo sustentáveis (ODS 12)”⁶⁴².

Olhando o cenário atual, com base na publicação dos indicadores temáticos de 2023 e nos dados coletados de 2022⁶⁴³, percebe-se que não se contempla a porcentagem de

⁶⁴⁰ IBGE. PINTEC Sustentabilidade: 40,6% das empresas inovadoras introduziram inovações com impactos ambientais positivos entre 2015 e 2017. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/28179-pintec-sustentabilidade-40-6-das-empresas-inovadoras-introduziram-inovacoes-com-impactos-ambientais-positivos-entre-2015-e-2017>. Acesso em 13/12/2023.

⁶⁴¹ IBGE. Mais de 70% das empresas industriais com 100 ou mais pessoas ocupadas inovaram em 2021 Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/35875-mais-de-70-das-empresas-industriais-com-100-ou-mais-pessoas-ocupadas-inovaram-em-2021>. Acesso em: 13/12/2023.

⁶⁴² IBGE. Pesquisa e Inovação Semestral 2021: Indicadores básicos. Disponível em: <https://www.ie.ufrj.br/images/IE/EVENTO%20IE/2022/12/Publica%C3%A7%C3%A3o%20Pesquisa%20de%20Inova%C3%A7%C3%A3o%20Semestral%202021%20-%20Indicadores%20B%C3%A1sicos%20com%20ficha.pdf>, com acesso em 13/12/2023.

⁶⁴³ IBGE. Pesquisa de Inovação Semestral 2022: indicadores temáticos: tecnologias digitais avançadas, teletrabalho e cibersegurança/IBGE, Coordenação de Estatísticas Estruturais e Temáticas em Empresas. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. 75 p. (Investigações experimentais. Estatísticas experimentais). Disponível em <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv102028.pdf>, com acesso em 13/12/2023.

empresas que publicaram o relatório de sustentabilidade em 2022, informação constante nos indicadores básicos ainda não disponibilizados.

A partir dos dados de 2017, constantes na tabela 3, vê-se que a inovação está diretamente conectada ao apoio governamental, seja por financiamento da pesquisa seja por incentivo fiscal.

Tabela 3: Número de empresas que implementaram inovações com apoio do governo, por tipo de apoio, 2017

Tipo de programa de apoio do governo	
Total	10.290
Incentivo fiscal - a Pesquisa e Desenvolvimento	1.861
Incentivo fiscal - Lei da Informática	507
Subvenção econômica	491
Financiamento - a projetos de Pesquisa e Desenvolvimento e inovação tecnológica - sem parceria com universidades ou institutos de pesquisa	930
Financiamento - a projetos de Pesquisa e Desenvolvimento e inovação tecnológica - em parceria com universidades ou institutos de pesquisa	516
Financiamento - a compra de máquinas e equipamentos utilizados para inovar	5.086
Bolsas oferecidas pelas fundações de amparo à pesquisa e RHA/CNPq para pesquisadores em empresas	259
Aporte de capital de risco	318
Compras públicas	1.008
Outros	2.368

Fonte: Indicadores de inovação- IBGE/2017⁶⁴⁴

Também com os dados dos relatórios de sustentabilidade, nota-se que a preocupação ambiental só existe se houver norma jurídica mandatória, o que implica em segurança jurídica para todas as partes envolvidas.

Mundialmente, a transição energética para uma produção de energias renováveis tem sido alvo de projeções. A agência econômica Bloomberg, criadora da New Energy Finance (NEF)⁶⁴⁵, projetou, para a energia global, que, em 2037, o mercado de energia será de 50% de fontes renováveis. Essa previsão foi feita com dados de 2012 a 2019, projetando até 2050.

Caldeira⁶⁴⁶ declara que o mercado de energias renováveis pode ser essencial para a nova economia mundial. Afirma que “o crescimento das fontes renováveis é estimado unicamente em função de sua capacidade em competir com preços, de se impor pela

⁶⁴⁴ IBGE. Estatísticas. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/multidominio/ciencia-tecnologia-e-inovacao/9141-pesquisa-de-inovacao.html?=&t=destaques>, com acesso em 13/12/2023

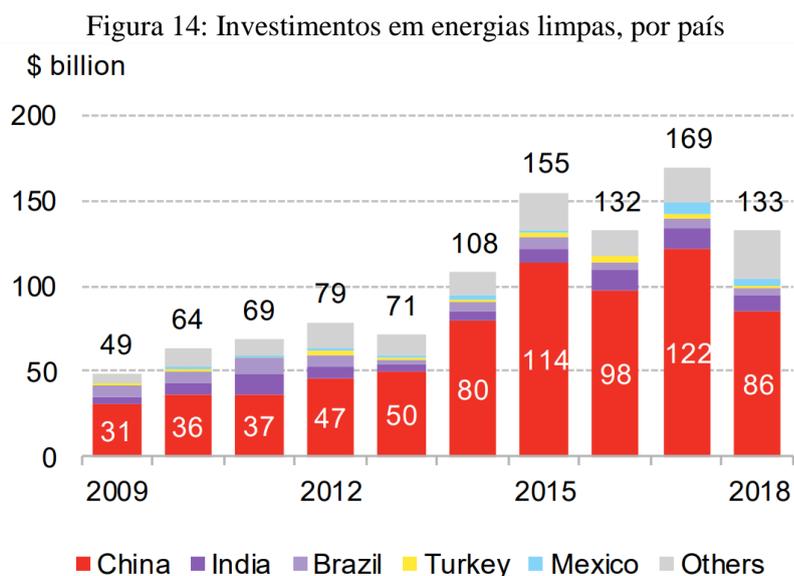
⁶⁴⁵ BNEF. Bloomberg New Energy Finance. Disponível em <https://www.bloomberg.com.br/solucao/bnef/>, com acesso em 02/01/2024.

⁶⁴⁶ CALDEIRA, Jorge; SEKULA, Julia Marisa; SCHABIB, Luana. Brasil: Paraíso Restaurável. Rio de Janeiro: Estação Brasil, 2020. 89 p.

eficiência.”⁶⁴⁷ Ou seja, a razão exclusivamente ambiental não é fator determinante para o sucesso da transição energética, sendo essencial a competição de preços, redução de custos e eficiência energética com segurança.

Haja vista que a estimativa para 2037 não leva em consideração as ações governamentais para subsidiar ou tributar fontes, esse pode ser um fator responsável por adiantar ou retardar⁶⁴⁸ o processo de transição energética. Os incentivos fiscais na área de nanotecnologias para energias renováveis são determinantes para acelerar a posição do Brasil no mercado de energia renovável.

O Brasil encontra-se em posição de destaque na produção de energias renováveis, ao lado da China e da Índia, conforme a Agência BNEF. Destaca-se que o país possui uma política energética “abrangente e convidativa”, buscando diminuir a dependência das hidrelétricas, sendo indicado como uma das principais nações com menor risco para geradores independentes de energia.⁶⁴⁹



Fonte: Bloomberg NEF.⁶⁵⁰

Caldeira afirma que o ritmo de crescimento em produção de energia eólica se deu num ritmo mais acelerado que as demais, comparando com os outros países no mesmo período de 2012 a 2019. A motivação foi exclusivamente financeira, pois os custos para

⁶⁴⁷ CALDEIRA, Op. Cit. P. 90.

⁶⁴⁸ Idem.

⁶⁴⁹ MACIEL, Felipe. Brasil está entre os mercados emergentes mais promissores para energias renováveis, aponta Bloomberg NEF. Disponível em <https://epbr.com.br/brasil-esta-entre-os-mercados-emergentes-mais-promissores-para-energias-renovaveis-aponta-bloombergnef/>, com acesso em 02/01/2024.

⁶⁵⁰ MACIEL, Felipe. Brasil está entre os mercados emergentes mais promissores para energias renováveis, aponta BloombergNEF. Disponível em <https://epbr.com.br/brasil-esta-entre-os-mercados-emergentes-mais-promissores-para-energias-renovaveis-aponta-bloombergnef/>, com acesso em 02/01/2024.

geração desse tipo de energia se deu abaixo das fontes de energia concorrente⁶⁵¹. Isto também ocorreu com a energia solar, que, com a aceleração do seu desenvolvimento e a queda no custo de geração, tornou-se competitiva frente às fontes tradicionais. Isto é: a competitividade de custos é um fator determinante para o sucesso da transição energética.

A Alemanha, no vilarejo de Feldheim, em 1995, foi pioneira. Iniciou com geradores de energia eólica, depois complementada com investimentos em usina de biogás (2008), que visava ao fornecimento de energia quando a produção dos geradores eólicos fosse insuficiente. Posteriormente, foi desenvolvido um *software* que buscava orientar os moradores para planejar o consumo de energia, otimizando a eficiência energética. Em 2010, o vilarejo se tornou independente energeticamente e passou a ser o primeiro aglomerado urbano a utilizar somente energia renovável na Alemanha⁶⁵², vendendo o excedente para as companhias de energia elétrica. Os incentivos dos financiamentos, nas tecnologias e na alteração da legislação vigente à época, permitiram ao vilarejo de Feldheim sua total independência energética e transição para uma matriz renovável. A alteração legislativa necessária se deu por conta da venda do excedente produzido, depois de uma batalha judicial.

A China é outro caso de sucesso. O país passou de um grande produtor de gases de efeito estufa (2005), apresentando larga escala de prejuízos econômicos, ambientais e sociais, para uma nação com um despertar ambiental. Para tanto, modificou drasticamente sua política entre os anos 200 e 2010 voltando-se para o reflorestamento, a redução da poluição e a limpeza de rios. Entre 2013 e 2015 a poluição atmosférica diminuiu em 26% nas 74 maiores cidades da China. O Plano quinquenal de 2016-2020 voltou-se totalmente para as questões ambientais. Atualmente, a ambição da China é atingir uma economia de carbono neutro, na qual exista um equilíbrio entre o gás carbônico que é gerado para produção de energia e a captura do carbono por organismos vivos, tendo como meta ser a principal fornecedora “mundial de equipamentos industriais para produção de energia limpa”⁶⁵³

A cidade de Dezhou, província de Shandong, na China, foi o alvo do programa de energia solar chinês. O município teve incentivos do governo chinês, como “terrenos subsidiados para a instalação de empresas, isenção de impostos e taxas, acessos a generosas linhas de financiamento”, além de alterações na legislação urbanística, que acabaram atraindo investidores para o projeto chamado de Vale Solar⁶⁵⁴. O investimento do governo regional foi na ordem de 740 milhões de dólares, em 2011, gerando 3,5 bilhões de dólares em faturamento

⁶⁵¹ CALDEIRA, Op. Cit. P. 91

⁶⁵² CALDEIRA, Op. Cit. P. 104-107.

⁶⁵³ CALDEIRA, Op. Cit. P.132

⁶⁵⁴ CALDEIRA, Op. Cit. P.139.

para as 120 indústrias daquela região⁶⁵⁵. Na primeira década do século XXI, o investimento em tecnologias para o uso em energias renováveis havia quintuplicado entre 2004 e 2015, segundo Caldeira⁶⁵⁶, tendo a China como um dos principais agentes condutores desses investimentos.

Na última década, com dados de 2012 a 2021, percebe-se que o investimento global em energias renováveis teve um pico em 2017 e, a partir de então, uma pequena queda, mas permanecendo praticamente constante desde então. A Europa tem demonstrado uma preocupação crescente, sendo a França e a Espanha seus maiores investidores nesse tipo de energia. Na Ásia, o principal agente tem sido a Índia. A China, desde 2016, vem diminuindo consideravelmente seus investimentos em energias renováveis como mostra a Tabela 4.

Tabela 4: Investimentos em energias renováveis

USD MILLION	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
WORLD	23449,13	20391,87	24727,65	19200,99	28002,79	33770,22	22204,00	17973,96	16839,11	17646,12
NORTH AMERICA	844,16	85,04	394,53	218,48	470,75	516,74	388,87	287,88	936,12	307,46
EUROPE	2606,32	4213,86	5994,94	4171,66	4991,49	5696,81	6117,06	3751,56	3707,58	5723,06
CHINA	103,21	309,45	236,85	94,46	1312,35	383,39	327,48	207,20	114,58	96,18
INDIA	1147,14	602,91	722,70	929,63	2257,53	890,32	1872,63	908,88	1677,24	1275,08
BRAZIL	9804,19	2348,79	2237,23	2377,95	1601,08	2828,68	1297,22	1558,67	1804,14	1677,37
FRANCE		740,39	297,12	578,99	523,11	1437,55	873,60	845,33	723,87	1254,49
SPAIN	352,78	334,51		130,51	60,67	572,01	778,26	1107,4	1017,10	1350,11

Fonte: Tabela elaborada pela autora com dados do IRENA⁶⁵⁷

O Brasil tem se mostrado um dos principais investidores em tecnologias para energias renováveis. Apesar da redução de seus investimentos na última década, ainda mantém uma significativa contribuição mundial. Ao lado da Índia, China, Filipinas, o Brasil tem se mostrado atraente economicamente para investimentos em energias limpas, segundo relatório do *ClimateScope* da Bloomberg NEF. O referido relatório analisa o ano de 2022 e indica o Brasil, a Índia e a África do Sul como sendo “os três principais mercados não chineses para investimento em energias renováveis”⁶⁵⁸.

⁶⁵⁵ CALDEIRA. Op. Cit. P.140.

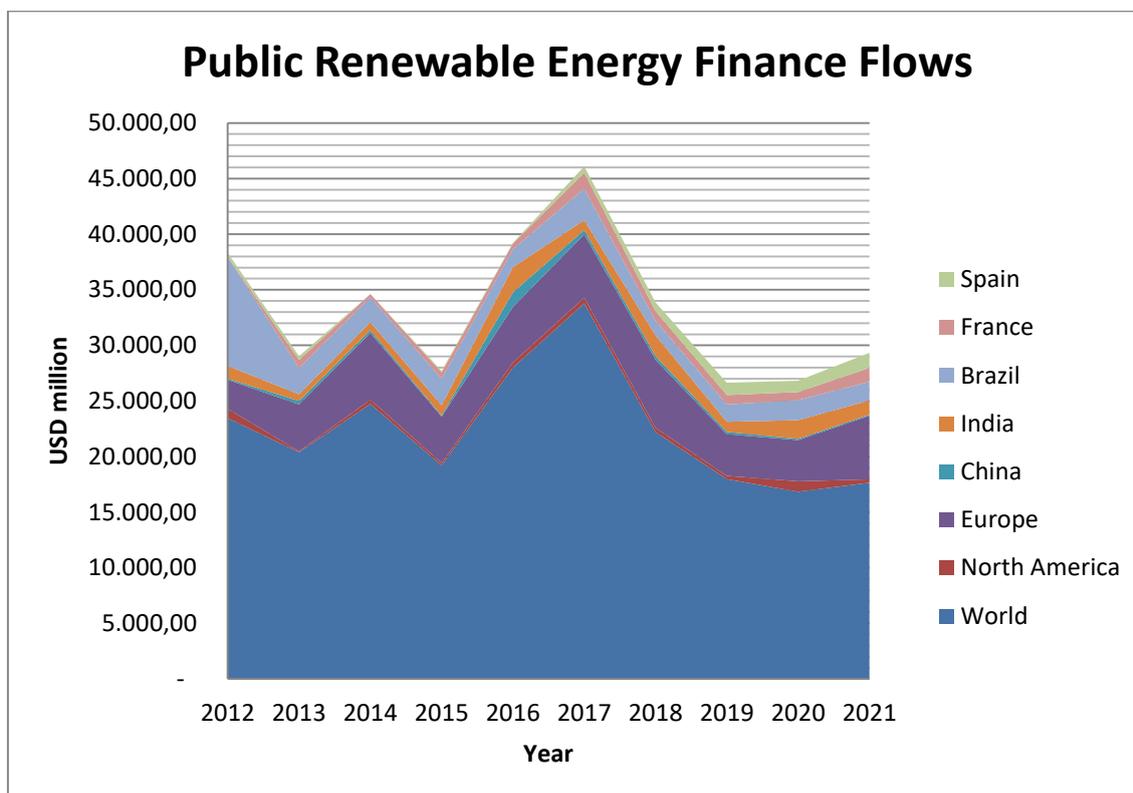
⁶⁵⁶ CALDEIRA, Op. Cit. 139.

⁶⁵⁷ IRENA. Renewable energy statistics 2023 Disponível em https://mc-cd8320d4-36a1-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint.azureedge.net/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Jul/IRENA_Renewable_energy_statistics_2023.pdf?rev=7b2f44c294b84cad9a27fc24949d2134, com acesso em 02/01/2023.

⁶⁵⁸ BLOOMBERG NEF. India, China, Chile, the Philippines, and Brazil Top Ranking as the Most Attractive Developing Economies for Clean Energy Investment According to Report. Disponível em <https://about.bnef.com/blog/india-china-chile-the-philippines-and-brazil-top-ranking-as-the-most-attractive-developing-economies-for-clean-energy-investment-according-to-report/>, com acesso em 02/01/2023.

O gráfico da figura 15 mostra o investimento em energias renováveis, no período de 2012 a 2021, no qual aparece o Brasil como um dos agentes que tem se destacado entre os países que investem em tecnologias para energias renováveis

Figura 15: Gráfico de Investimentos em energias renováveis



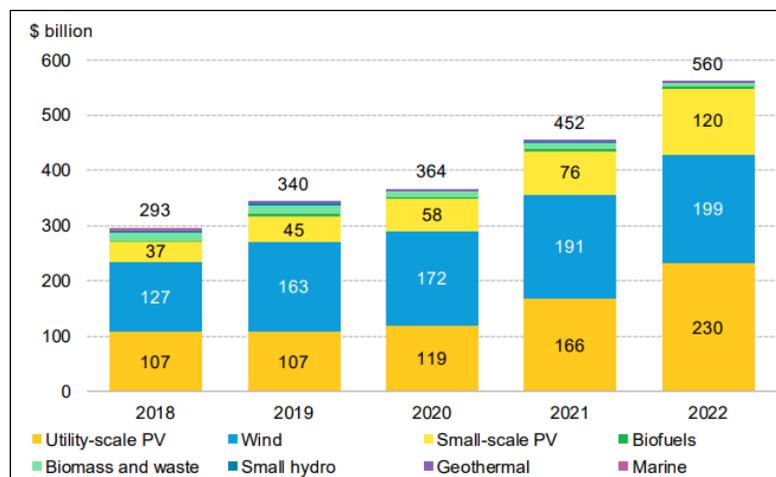
Fonte: Elaborado pela autora.

A América do Norte não representa um agente significativo nesse cenário, sem contribuir, desde 2014, com qualquer investimento no setor.

Com essa análise, percebe-se uma tendência mundial no investimento em tecnologias para energias renováveis, e o Brasil é um dos principais agentes nesse cenário, podendo, mediante incentivos na área de nanotecnologia para energias renováveis, consolidar-se como referência mundial para P,D&I em transição energética.

No último ano, o investimento em tecnologias para energias renováveis foi na ordem de 600 bilhões de dólares.

Figura 16: Investimento global por tecnologia em energias renováveis.



Fonte: Climatescope 2023⁶⁵⁹

A viabilização para implementação de P,D&I em energias renováveis, utilizando a nanotecnologia, necessita ser direcionada. Com os incentivos fiscais, é possível alavancar a pesquisa e o desenvolvimento (P&D) em energias renováveis, a partir da nanotecnologia, de modo a fomentar o atendimento aos objetivos do desenvolvimento sustentável da Agenda 2030 das Nações Unidas. Esse aspecto é importante, uma vez que o problema central dessa tese compreende em que medida o marco regulatório aplicável à nanotecnologia, por meio dos incentivos fiscais, viabiliza a inovação em nanotecnologia com segurança jurídica, de forma a atender aos compromissos nacionais com o desenvolvimento sustentável, partindo-se do ambiente regulatório já consolidado e das proposições normativas em curso.

Tendo isso em vista esse questionamento e a análise dos investimentos em energias renováveis realizado mundialmente, vislumbra-se a necessidade de regulamentar a área de nanotecnologia, com enfoque no estímulo à proteção ambiental, especialmente incentivando os investimentos em energias renováveis para uma transição energética. Para tanto, são necessários alguns incrementos na legislação consolidada, bem como no projeto de lei já comentado, como forma de garantir a segurança jurídica.

Mediante de uma legislação que reflita a necessidade de alavancar a PD&I em energias renováveis a partir da nanotecnologia, seriam contemplados os objetivos do desenvolvimento sustentável da Agenda 2030 das Nações Unidas. Ao mesmo tempo, essa

⁶⁵⁹ BLOOMBERG NEF. CLIMATESCOPE 2023. Disponível em https://assets.bbhub.io/professional/sites/24/BNEF_Climatescope-2023_20231129.pdf, com acesso em 03/01/2023.

legislação deve consolidar o fomento às energias renováveis, seja mediante de concessão de incentivos fiscais seja pela participação de destinação de recursos previstos em fundos já existentes ou futuros, como o Fundo de Sustentabilidade e Diversificação Econômica previsto para o estado do Amazonas, ou Fundo de Desenvolvimento Sustentável, também previsto para o estado do Amazonas e Amapá. Ambos previstos e aprovados na Reforma Tributária em 15/12/2023⁶⁶⁰.

Sem o objetivo de estagnar o assunto, mas propor uma alternativa, a inclusão do termo “energias renováveis” deveria integrar a legislação de PD&I e do PL do Marco da Nanotecnologia.

Destaca-se que uma legislação específica que contemple a área de nanotecnologia, voltada para a proteção ambiental, é algo mundialmente inexistente. O que existe são regulamentações esparsas que compõem o sistema de normas específicas e, em alguns casos, com preocupação ambiental restrita ao princípio da prevenção. Na França, em 2010, a prevenção do risco ao meio ambiente pela exposição de nanopartículas, foi acrescentada forma genérica, no código do meio ambiente, segundo Berger Filho⁶⁶¹

foi acrescentado um novo capítulo ao *Code de l'environnement*, “Capítulo III: Prevenção de riscos à saúde e ao ambiente, decorrentes da exposição a substâncias no seu estado de nanopartículas” (arts. L523-1 a L523-5), inseridos, posteriormente, novos artigos, do L523-6 ao L523-8, pela Ordinance n° 2.012-34, de 11 de janeiro de 2012, sobre a simplificação, a reforma e a harmonização da polícia administrativa e disposições de polícia judiciária do Código do Ambiente.

Além da França, a Bélgica e a Dinamarca também desenvolveram propostas para regulamentar os nanomateriais, mas nenhuma delas especificamente direcionadas para transição energética. Na Dinamarca, em 2014 entrou em vigor a obrigatoriedade do registro de misturas que contenham nanomateriais. No mesmo ano, na Bélgica, houve o decreto real “sobre a colocação no mercado de substâncias fabricadas em nanoescala”⁶⁶²

Além das iniciativas normativas francesa, belga e dinamarquesa que entraram em vigor recentemente, outros países desenvolvem propostas no sentido de regular esquemas de notificação obrigatória, dos quais podemos citar, Canadá, Noruega, Suécia e Itália. Outros estabeleceram esquemas

⁶⁶⁰ AGÊNCIA CÂMARA DE NOTÍCIAS. Câmara conclui votação da reforma tributária; texto deve ser promulgado na semana que vem. Disponível em <https://www.camara.leg.br/noticias/1027138-camara-conclui-votacao-da-reforma-tributaria-texto-deve-ser-promulgado-na-semana-que-vem#:~:text=A%20C%C3%A2mara%20dos%20Deputados%20aprovou,a%20legisla%C3%A7%C3%A3o%20dos%20novos%20tributos.>, com acesso em 16/12/2023.

⁶⁶¹ BERGER FILHO, Op. Cit. P. 152

⁶⁶² BERGER FILHO, Op. Cit. P. 155

voluntários como Austrália, Alemanha, Reino Unido, Irlanda, bem como a Dinamarca antes do estabelecimento de normas obrigatórias.⁶⁶³

Nos Estados Unidos, segundo Berger, a *National Nanotechnology Initiative* (NNI) foi criada para coordenar a regulamentação e governança da normatividade dos nanomateriais. No país, há organizações como EPA (*United States Environmental Protection Agency*), FDA (*Food and Drug Administration*), NIOSH (*The National Institute for Occupational Safety and Health*) e NIH (*National Institute of Health*)⁶⁶⁴, mas nenhuma delas voltadas para a área de energias, principalmente, as renováveis.

A Comissão União Europeia (EU), a qual realizou uma segunda revisão regulamentar para os nanomateriais, em memorando de 2012, propôs uma abordagem de avaliação caso a caso. Sua conclusão foi de que os nanomateriais são semelhantes aos produtos químicos ou substâncias normais, ou seja, na mesma medida que uns podem ser tóxicos, outros não, sendo importante o estabelecimento de métodos e instrumentos de detecção⁶⁶⁵. A gestão de riscos é realizada mediante o regulamento *Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemical substances* (REACH), que é parte da legislação da UE relacionada aos nanomateriais.

Também, há a Agência Europeia de Produtos Químicos (ECHA), uma agência executiva europeia independente financiada pela União Europeia, que aborda a avaliação de segurança de produtos químicos, incluindo nanomateriais fabricados, regulamentados pela legislação química europeia REACH EC 1907/2006⁶⁶⁶.

A Comissão UE não especifica os nanomateriais para tecnologias em energias renováveis, mas os categoriza em três tipos, e alguns deles não possuem elevada exposição direta aos consumidores, como os nanotubos de carbono, que apresentam alta condutividade e elevado potencial de inovação, considerados *Different nanomaterial substances and new uses*.

Clausen e Hansen⁶⁶⁷ resumem esse documento da EU. Para eles, a legislação especifica muitos dos detalhes técnicos e científicos, bem como os critérios para registro e avaliação da segurança química: “the criteria for when, how and what diferente actors such as

⁶⁶³ BERGER FILHO, Op. Cit. P. 157.

⁶⁶⁴ BERGER FILHO, Op. Cit. P. 147.

⁶⁶⁵ UE. COMMISSION. Disponível em https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/MEMO_12_732, com acesso em 03/01/2024.

⁶⁶⁶ MENEZES, Daniel Francisco Nagao. Regulação da nanotecnologia e nanoplásticos de uma perspectiva global. Revista de Estudos Jurídicos UNESP, Franca, ano 26, n. 43, p. 181, jan./jun. 2022. Disponível em: <https://ojs.franca.unesp.br/index.php/estudosjuridicosunesp/issue/archive>. P. 189.

⁶⁶⁷ CLAUSEN, Lauge Peter Westergaard; HANSEN, Stefen Foss. **The ten decrees of nanomaterials regulations**. Disponível em Nature Nanotechnology | VOL 13 | SEPTEMBER 2018 | 766–768 | www.nature.com/naturenanotechnology, com acesso em 03/01/2024.

manufacturers, importers, downstream users and regulatory authorities have to do — and not do”. Nesse sentido, os autores produziram a tabela abaixo:

Tabela 5: Dez decretos dos novos anexos da nano regulamentação da UE

Decree	Specific information to be provided
Thou shalt register nanoforms and provide information on characteristics that may influence (eco)toxicity and environmental exposure.	Names or other identifiers of the nanoforms or sets of similar nanoforms of the substance as part of the substance identification. Number-based particle number size distribution, surface functionalization or treatment, shape and aspect ratio, specific surface area by volume and/or by mass.
Thou shalt not use molecular structural similarities alone as a justification for grouping different nanoforms.	Characteristics of different nanoforms within a set in the ranges of values clearly defining the boundaries of the set. Justification for why the sets are appropriate and why variation within the boundaries do not affect the hazard-, exposure- and risk-assessment of the individual nanoforms within the set.
Thou shalt justify why safety information provided is relevant for all registered nanoforms.	Adequate justification for each information requirement describing when and how information on one nanoform is used to demonstrate safety of other forms.
Thou shall document safety for all registered nanoforms along the life-cycle.	Demonstration of safety of manufacture, use and exposure to different nanoforms separately considering all stages of the life-cycle of the substance. Consideration of whether specific risk assessment and risk management measures are required.
Thou shalt provide information of test conditions and nanoforms tested.	Documented test conditions and scientific justification for the relevance and adequacy of the utilized test material. Justification of information obtained from means other than testing for the different nanoforms, including a description of the range of the characteristics of the nanoforms to which the evidence can be applied.
Thou shalt fulfil specific ecotoxicity-related test requirements for different nanoforms depending on their dissolution and solubility.	Assessment of potential confounding effect of dispersion when determining water solubility and partition coefficient n-octanol/water. Consideration of long-term aquatic toxicity studies instead of short-term studies if the substance is poorly water soluble or for nanoforms with a low dissolution rate in relevant test media.
Thou shalt fulfil specific toxicity related test requirements for different nanoforms depending on their nature and likely route of exposure.	Acute toxicity study for the oral route or the inhalation route and at least one other route for substances manufactured or imported in 10 tonnes or more per year. Consideration of toxicokinetics, including recovery period and, where relevant, lung clearance in the short-term repeated dose toxicity study and the sub-chronic toxicity study.
Thou shalt consider multiple metric reporting of results for nanoforms that are dangerous or hazardous.	Complete exposure assessment and risk characterization preferably considering a multiple metric presentation of the results. Justification included in the Chemical Safety Report and summarized in the Safety Data Sheet.
Thou shalt provide justification for waiving information requirements.	Adequate justification for relevance of physicochemical property (for example, dissolution rate, dispersion stability) as reason for waiving tests on bioaccumulation in aquatic species and adsorption/desorption.
Thou shalt propose further testing and/or comply with ECHA testing requirements.	Testing proposals regarding short-term repeated dose toxicity studies, studies of sub-chronic toxicity and long-term repeated dose toxicity studies and toxicokinetic studies in specific situations.

Fonte: Tabela 1⁶⁶⁸

Na quase totalidade das referências buscadas sobre a regulamentação das nanotecnologias para energias renováveis em países como Estados Unidos, Canadá, Ásia, França e Bélgica, observou-se a relevância para as áreas da saúde, agricultura, medicamentos, alimentos e rações, usualmente, conectadas ao uso direto pelo ser humano, animal ou meio ambiente. Contudo, a regulamentação, quando voltada à inovação tecnológica para energias renováveis, é praticamente inexistente. Sendo que, em alguns casos, como o da EU, pode se aproximar mediante separação dos nanomateriais caso a caso.

Como exemplo⁶⁶⁹, há Regulamentação da União Europeia n. 1169/2011, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25/10/2011, sobre a prestação de informações alimentares aos consumidores, que alterou os regulamentos (EC) n. 1924/2006 e (EC) n. 1925/2006 do Parlamento Europeu e do Conselho, e revogou a Diretiva da Comissão

⁶⁶⁸ CLAUSEN; HANSEN. Op. Cit.. P. 767.

⁶⁶⁹ EUR-LEX. Disponível em <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2011/1169/oj>, acesso em 03/01/2024.

87/250/EEC, Conselho Diretivo 90/496/EEC, Comissão Diretiva 1999/10/EC, Diretiva 2000/13/EC, do Parlamento Europeu e do Conselho, Comissão Diretiva 2002/67/EC e 2008/5/EC e Regulamento da Comissão (EC) n. 608/2004.

Portanto, existe uma oportunidade para o Brasil ser inovador nessa área e tornar-se referência mundial em legislação específica sobre nanotecnologias para transição energética. O país já fez parte do projeto NaNoREG (2013-2017), em conjunto com 17 países, liderados pela União Europeia, com o objetivo de dar suporte científico ao processo de regulação e regulamentação de nanotecnologia. O pacote envolvia desde repostas científicas às questões regulatórias, ciclo de vida, testes de biocinética, toxicidade e riscos regulatórios, avaliação e testes, até o acompanhamento do ritmo da inovação.⁶⁷⁰ Para tal, teve participação de laboratórios de oito instituições compiladas na tabela 6, porém, nenhuma delas destinadas a energias renováveis:

Tabela 6: Laboratórios participantes da NaNoREG

<u>Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia INMETRO</u>	Coordenação científica do NANO REG Brasil;
<u>Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (CETENE)</u>	Laboratório Multiusuário de Nanotecnologia (LMNano);
<u>Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)</u>	<u>Embrapa e Instrumentação (São Carlos)</u> e <u>Embrapa Gado de Leite (Juiz de Fora)</u> ;
<u>Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)</u>	<u>Departamento de Farmacologia</u> ;
<u>Universidade de São Paulo (USP) -</u>	<u>Grupo de Nanomedicina e Nanotoxicologia</u> ;
<u>Universidade Federal do Rio Grande (FURG)</u>	<u>Instituto de Ciências Biológicas (ICB)</u>
<u>Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)</u>	<u>Instituto de Ciências Biológicas (ICB)</u> ;
<u>Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)</u>	<u>Departamento de Química Inorgânica NanoBioss/Instituto de Química</u> ;

Fonte: MCTI⁶⁷¹

Analisando o documento produzido pelo MCTI em 2014, dezoito laboratórios associados integraram o Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias

⁶⁷⁰ MCTI. Nanotecnologia. Disponível em [https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/tecnologia/tecnologias_convergentes/paginas/nanotecnologia/NANO TECNOLOGIA.html#:~:text=Conforme%20a%20Portaria%20MCTIC%20n%C2%BA,per%C3%ADodo%20de%202020%20a%202023.](https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/tecnologia/tecnologias_convergentes/paginas/nanotecnologia/NANO%20TECNOLOGIA.html#:~:text=Conforme%20a%20Portaria%20MCTIC%20n%C2%BA,per%C3%ADodo%20de%202020%20a%202023.) Acesso em 05/01/2024.

⁶⁷¹ MCTI. Nanotecnologia. Disponível em [https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/tecnologia/tecnologias_convergentes/paginas/nanotecnologia/NANO TECNOLOGIA.html#:~:text=Conforme%20a%20Portaria%20MCTIC%20n%C2%BA,per%C3%ADodo%20de%202020%20a%202023.](https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/tecnologia/tecnologias_convergentes/paginas/nanotecnologia/NANO%20TECNOLOGIA.html#:~:text=Conforme%20a%20Portaria%20MCTIC%20n%C2%BA,per%C3%ADodo%20de%202020%20a%202023.), com acesso em 05/01/2024.

(SisNANO)⁶⁷², entre eles, o Laboratório Central em Nanotecnologia (LCNano) da Universidade Federal do Paraná, responsável, além de outras funções, pela “Nanotecnologia aplicada ao desenvolvimento de energias renováveis”.⁶⁷³ Dentre suas linhas de pesquisa potencialmente relacionadas a nanomateriais para energias renováveis, encontra-se “Nanotecnologia Aplicada ao Desenvolvimento de Dispositivos Eletrônicos (NADDE)” que trata de pesquisas em dispositivos eletrônicos de “polímeros semicondutores, nanoestruturas de carbono, óxidos nanoestruturados entre outros para desenvolvimento de transistores, sensores, baterias, células solares e de hidrogênio”⁶⁷⁴. Nada foi encontrado sobre suas regulamentação.

Portanto, com base no que foi discutido nesta tese, a necessidade de uma regulamentação, conforme trazida no capítulo 3, deve permear toda a legislação Brasileira que envolve o assunto:

Na CF, inclusão do componente ambiental no Capítulo IV, Da Ciência, Tecnologia e Inovação, nos artigos 213 e 218, conforme tabela 7.

Tabela 7: EC sugeridas

ONDE (CONSTITUIÇÃO)	ALTERAÇÃO SUGERIDA
Art. 218	com incentivo do Estado prioritariamente à pesquisa científica básica e tecnológica com observância à <u>preservação ambiental</u> e a <u>busca simultânea por</u> solução de problemas que desenvolva o sistema produtivo nacional e regional observadas
Art. 213	§ 2º que possibilidade de fomento à inovação, realizadas por universidades e/ou por instituições de educação profissional e tecnológica, inclusão da prioridade de projetos que possuam componente de preservação ambiental.

Fonte: elaborada pela autora.

⁶⁷² O SisNANO foi instituído pela Portaria MCTI n° 245, de 5 de abril de 2012, que foi alterada pela Portaria MCTIC N° 2.376, de 16 de maio de 2019, que estabeleceu o SisNANO como um dos eixos estratégicos da Iniciativa Brasileira de Nanotecnologias (IBN). Atualmente o SisNANO é regulamento pela Instrução Normativa n° 11, de 2 de agosto de 2019.

⁶⁷³ MCTI. HANKIN, S. M.; CABALLERO, N.E.D. Regulação da Nanotecnologia no Brasil e na União Europeia. Diálogos setoriais para a regulação de produtos baseados em nanotecnologia. Novembro, 2014. Disponível em https://eubrdialogues.com/sites/default/files/acoos/documentos/dialogos_setoriais_-_nanotecnologia_portugues.pdf, com acesso em 05/01/2024. P. 52

⁶⁷⁴ SIBRATEC NANO. Laboratório Central de Nanotecnologia da UFPR. Disponível em <http://www.sibratnano.com/lcnano/>, com acesso em 05/01/2024

Na Lei 10.973/2004, Lei de Inovação tecnológica (LIT), que dispõe sobre incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo, seria pertinente incluir, em seus artigo 2º e artigo 27, conforme mostrado na tabela 8:

Tabela 8: Inclusões legislativas na Lei 10.973/2004

ONDE (10.973/2004)	INCLUSÃO SUGERIDA
Art. 2º, no princípio norteador	O princípio do desenvolvimento sustentável;
Art 2º, na missão institucional das ICTs,	A pesquisa básica ou aplicada de caráter científico ou tecnológico, ou o desenvolvimento <u>sustentável</u> de novos produtos, serviços ou processos;
Art. 27, inclusão da diretriz	Da promoção do desenvolvimento econômico, científico, social e de preservação ambiental.

Fonte: Elaborada pela autora

Na Lei 11.196/2005, conhecida como a Lei do Bem, que trata de incentivos fiscais à inovação tecnológica, algumas alterações seriam necessárias, a fim de incentivar a pesquisa ou o desenvolvimento de inovação tecnológica, principalmente para energias renováveis. Entre as modificações necessárias, o tratamento conferido às microempresas (ME) e empresas de pequeno porte (EPP) deveria ser revisto. A impositividade de que somente pessoas jurídicas, sujeitas ao regime de tributação com base no lucro real, conforme Art 19-A, § 2º, possam ser sujeito de direito aos benefícios fiscais lá conferidos é algo necessário para facilitar a fiscalização das concessões de tais benefícios. No entanto, excluir as microempresas e empresas de pequeno porte que apuram seus impostos com base no lucro real, retirando delas a possibilidade das deduções na apuração do lucro real e da base de cálculo da CSLL, conforme preconiza o § 3º do Art. 18 da Lei 11.196/2005 não parece muito estimulador.

Embora as importâncias recebidas na forma do caput do Art. 19 da referida lei não constituem receita das ME e das EPP, nem os rendimentos do inventor, desde de que utilizadas integralmente na realização da pesquisa ou do desenvolvimento da inovação. Conforme § 2º do art. 18, os dispêndios realizados para desenvolvimento da pesquisa por essas empresas, deveriam permitir deduções como despesas operacionais no momento da apuração do Lucro Real.

O princípio da isonomia, que é o tratamento igualitário no momento da tributação, deve contemplar as obrigações e os benefícios, principalmente, esses últimos.

A inserção de um parágrafo 12, no Art. 17, possibilitando que o benefício que trata esse artigo seja conferido de forma integral, como posto nessa lei, a pessoa jurídica que realize pesquisa ou desenvolvimento em inovação para energias renováveis, especialmente às ME e EPP.

Caldeira aponta que o setor privado e as empresas inovadoras de menor porte são os grandes agentes das inovações tecnológicas e de eficiência de custos na matriz energética brasileira, em especial à fatia das energias renováveis⁶⁷⁵. Estimular essas empresas a participar ativamente da transição energética é essencial para a mudança, além de possibilitar a dedução de todas as despesas com a pesquisa e desenvolvimento, oportunizar um caminho facilitador para implementar o Art. 19, § 2º da lei 13.243/16.

Na Lei 13.243/2016, que dispõe sobre estímulos ao desenvolvimento científico, à pesquisa, à capacitação científica e tecnológica e à inovação, nos termos da Emenda Constitucional nº 85/2015, seria necessário um direcionamento mais específico para o desenvolvimento em tecnologias inovadoras na área de nanotecnologias para energias renováveis. É preciso um incremento no parágrafo 1º, do Art. 19, no qual se estipula as prioridades da política industrial e tecnológica nacional, voltada para o desenvolvimento de nanotecnologias para energias renováveis.

Os instrumentos previstos no Art. 19, § 2º devem ser direcionados prioritariamente para inovações em energias renováveis

§ 2º - A. São instrumentos de estímulo à inovação nas empresas, quando aplicáveis, entre outros:

I - subvenção econômica;

II - financiamento;

III - participação societária;

IV - bônus tecnológico;

V - encomenda tecnológica;

VI - incentivos fiscais;

VII - concessão de bolsas;

VIII - uso do poder de compra do Estado;

IX - fundos de investimentos;

X - fundos de participação;

XI - títulos financeiros, incentivados ou não;

XII - previsão de investimento em pesquisa e desenvolvimento em contratos de concessão de serviços públicos ou em regulações setoriais.⁶⁷⁶

⁶⁷⁵ CALDEIRA, op. Cit. P. 288.

⁶⁷⁶ . BRASIL. Lei 13.243/2006. Disponível em https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2016/Lei/L13243.htm, com acesso em 05/01/2024.

E no PL880/2019, que trata do Marco Legal da Nanotecnologia e Materiais Avançados, para que possa atingir seu potencial de avanço tecnológico pela nanotecnologia, contemplando de fato a adoção de um modelo avançado de segurança jurídica, ambiental e sanitária na manipulação e utilização desses insumos, seria necessário a inclusão de :

Tabela 9: Inclusões legislativas na PL880/2019

ONDE (PL880/2019)	INCLUSÃO SUGERIDA
Art. 2º	inciso VIII, do desenvolvimento sustentável
Art 6º	inclusão do objetivo “para acelerar e reduzir os custos associados ao processo de desenvolvimento <u>sustentável</u> e tecnológico de novos materiais”;
Art. 7º que cria o Programa Nacional de Novos Materiais com objetivo de criação de materiais estratégicos para o desenvolvimento sustentável de alto valor agregado,	<u>prioritariamente para o setor de produção, armazenamento e transmissão de energias renováveis;</u>
Art 12 que trata do estímulo e fomento voltados para atividades de pesquisa e desenvolvimento de nanotecnologia,	que objetivem a geração de produtos, processos e serviços inovadores, <u>ambientalmente sustentáveis</u> e a transferência e a difusão de nanotecnologia;
Art. 13 que trata da alteração do § 2º do art. 3º da Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993,	inclusão no seu inciso V - produzidos ou prestados por empresas que invistam em pesquisa e no desenvolvimento <u>sustentável</u> de tecnologia no País.

Fonte: elaborado pela autora.

Segundo Caldeira, caso o Brasil compartilhe as metas ambientais de economias como a China e a União Europeia, será capaz, não somente se tornar mais uma gente que integra o futuro da energia renovável, “mas de liderar essa transformação no intervalo de décadas que o restante do mundo vai levar pra chegar aonde o Brasil já está.”⁶⁷⁷

Essas alterações sugeridas na legislação brasileira não são excludentes de nenhuma outra que busque aprimorar e estimular a pesquisa e o desenvolvimento em inovação de nanotecnologias para energias renováveis. O exame dos dados trazidos e os indicadores dos ODS mostram que o Brasil é um país que possui potencialidade para estar à frente do

⁶⁷⁷ CALDEIRA, op. Cit. P. 323.

processo de transição energética, mas alterações na legislação seriam necessárias para acelerar esse processo de transição.

6 CONCLUSÕES

Crise. A crise ambiental experimentada nos últimos anos, agravada pelas mudanças climáticas, gera prejuízos para toda sociedade. A conexão entre crise climática, crise ambiental, crise econômica e crise energética é explorada nessa tese. Um dos inúmeros papéis da academia é de analisar problemas que afligem a sociedade, diagnosticá-los e se possível, apontar alternativas, o que se propõem com a presente pesquisa.

A crise energética é fator desencadeante da crise climática e, conseqüentemente afeta a crise ambiental e econômica. Como demonstrado, o Brasil é um país que ainda possui preponderantemente a matriz energética com base em fontes não renováveis, que são produtoras de gases que agravam o efeito estufa, afetando diretamente o clima do planeta. A necessidade de uma transição energética para uma matriz renovável é assunto em todo o mundo, e o Brasil, como visto, tem potencial para desbravar esse direcionamento, mediante inovação em nanotecnologias.

Com a presente Tese intitulada *Nanotecnologia e transição energética: marco regulatório em inovação e fomento à sustentabilidade por meio de ferramentas tributárias no Brasil* enfrentou-se o problema de pesquisa sobre a viabilização ao atendimento aos objetivos do desenvolvimento sustentável da Agenda 2030 das Nações Unidas, com o uso de nanotecnologias. Partiu-se da análise do marco regulatório aplicável à nanotecnologia e à inovação, por meio de incentivos fiscais em P,D&I em nanotecnologias para energias renováveis, como forma de viabilizar a transição energética.

A pesquisa mostrou-se oportuna à medida que aponta o uso de nanotecnologia no desenvolvimento de energias renováveis como alternativa viável para estagnar a atual crise ambiental. A utilização da nanotecnologia em processos de inovação para o setor de energias renováveis se justifica por necessitar, cada vez menos materiais, visto que a escassez de recurso é uma constante. Dessa forma, destaca-se a potencialidade em inovação em nanomateriais, como indicado por Galembeck, Gilles e Carayannis, que possuam propriedades adequadas, a fim de promover o desenvolvimento de energias renováveis, o que precisa ser potencializado e fomentado pelo Poder Público, com a devida segurança jurídica, mediante estímulos fiscais. Isso gera desenvolvimento não somente no campo econômico, mas social e ambiental, com produção de energias limpas acessíveis a toda sociedade.

A análise do atual marco regulatório aplicável ao desenvolvimento, pesquisa e à inovação revela a incapacidade do documento de regular sozinho, com segurança jurídica, a P,D&I em nanotecnologia para energias renováveis.

O marco regulatório da nanotecnologia ainda hoje encontra-se em projeto de lei, PL880/2019 e necessita passar por alterações para ser direcionado para uma transição energética renovável. Este não tem avançado na mesma velocidade que os avanços tecnológicos. A matéria acaba sendo alvo de políticas públicas de governo e ficam restritas a interesses partidários. Por isso, é necessária uma legislação consolidada, para que investidor tenha segurança jurídica em sua pesquisa. Essa normatização, seja por estrutura de redes ou seja por regulamentação, necessita observar o dinamismo e as peculiaridades da matéria, cabendo ao Estado esse papel, com participação dialética da comunidade pesquisadora na matéria nanotecnológica.

A segurança jurídica é garantia almejada com a regulamentação do marco para a nanotecnologia. Não é condição suficiente, mas uma condição *sine qua non* para ter potencialidade de conferir fomento, mediante incentivos fiscais às pessoas, físicas ou jurídicas, que investem tempo e dinheiro em suas pesquisas nessa área. Com segurança jurídica que conhecendo o ontem, torne possível investir hoje e planejar o futuro.

Ao trazer à discussão a potencialidade da eficiência tecnológica como ferramenta para promoção ambiental, ressaltou-se a necessidade de construção de um conhecimento científico sobre a matéria da nanotecnologia para energias renováveis, compreendendo os processos e fenômenos, compartilhando essas informações, por ser um fato da coletividade como pontua Latour, para uma transição energética eficiente. Entendendo, como Bursztyn e Chauí, a pesquisa científica como força produtiva, acabou gerando o problema quanto ao uso da ciência e a destinação dos recursos. Apresentando-se atualmente a necessidade de uma nova ruptura epistemológica da construção do conhecimento científico, capaz de, instrumentalizada pela tecnologia, realizar a promoção ambiental e não somente servir aos propósitos de lucro, sem considerar as externalidades negativas originadas durante o processo.

Esse desenvolvimento das pesquisas motivadas pelo crescimento econômico, acaba gerando políticas públicas e financiamentos para áreas estratégicas, designadas pelo poder Público, agravando o aquecimento global. Direcionar essa força para as pesquisas em nanotecnologia para energias renováveis contribui para a transição energética.

A atual matriz energética brasileira agrava as mudanças climáticas. Sendo ela predominantemente petroquímica, com 55,3% de fontes não renováveis, segundo BEN, tem esse agravamento da crise ambiental é causado pela emissão dos GEE, geradores do aquecimento global e ocasionando as mudanças climáticas. Portanto, falar em matriz energética, é falar de clima.

A transição energética para uma matriz renovável contribui para a redução das emissões de carbono na atmosfera, como consolidado no Acordo de Paris. Os incentivos às tecnologias inovadoras, capazes de reduzir ou eliminar os GEE, possibilitam amortizar a ação antrópica, pois conforme os dados trazidos da COP 27, essa continua aumentando.

A transição energética para uma matriz renovável compreende a modernização da infraestrutura física capaz de facilitar o desenvolvimento, a transmissão e o consumo de energias renováveis. Nesse contexto, o fomento em inovação nanotecnológica mostrou-se promissor.

A proteção e defesa da natureza é dever de todos, isto é, do poder público e da sociedade, conforme preconizado na Carta Magna. A natureza é o maior bem de uso comum, e estimular o conhecimento das nanotecnologias para Energias Renováveis também deve ser considerado um bem comum, segundo Di Pietro, de tal modo que todos em igualdade de condições possam usufruir do bem.

A ação governamental de incentivar as pesquisas que promovam o uso racional dos recursos ambientais é objetivo da PNMA, para alcançar o desenvolvimento sustentável, o que também consta na PEN que possui previsão de criar subsídios capazes de racionalizar os recursos energéticos e, constantemente, rever a matriz energética para renováveis. Isto seria caminhar para uma transição energética.

Os processos de inovação em P&D em nanotecnologias no setor energético são catalizadores de desenvolvimento econômico, os quais necessitam ser desenvolvidos tendo o componente ambiental como elemento essencial. Nesse sentido, é função do Estado prover meios para que isso ocorra como estratégia viável para um desenvolvimento sustentável.

Mediante a função extrafiscal do tributo, por meio da competência tributária interventiva, por meio de ferramentas tributárias como os incentivos fiscais, é possível interferir na cadeia produtiva de energias renováveis. E mediante o uso de inovação tecnológica em nanotecnologias para energias limpas, por meio de incentivos fiscais, contribui-se diretamente para atingir os ODS 7, 8, 9, 11 e 17

As técnicas de implementação da extrafiscalidade precisam atender aos meios previstos em lei, de forma vinculada aos meios e fins constitucionais, segundo Caliendo. Dessa forma, viabiliza-se a segurança jurídica para o destinatário primário, a sociedade, e os secundários, pessoas capazes de transformarem esse incentivo em proteção ambiental, por meio de pesquisas em inovações em nanotecnologia para energias renováveis. A concessão dos benefícios fiscais à P,D&I, na fase de maior incerteza de ganho econômico, tanto na

concepção de novos produtos ou processos quanto de novas funcionalidades, implica em viabilizar ao mercado produtos e serviços que protegem efetivamente o meio ambiente.

Cabe ao Estado corrigir as externalidades negativas, conforme a Economia do Bem-estar, como o uso de Bem Público que gera um custo ambiental não internalizado pelo processo produtivo e atingindo toda a sociedade; e de assimetria de informações, onde nem todos *players* possuem informações suficientes para entrar e se manter no mercado, com capacidade de proporcionar um custo menor de produção e preço compatível para todas as pessoas.

A OCDE estima para 2025 um mercado mundial de nanomateriais de mais de US\$ 24 bilhões de dólares. Serrano indica que há uma tendência ao aumento da demanda de energia per capita, sendo necessário mais eficácia com menos material, de modo a otimizar recursos parcos, características que os nanomateriais possuem. A potencialidade da utilização da nanotecnologia em diferentes estágios de produção, transmissão e armazenamento de energia é vasta, como mostrado por Pinhel. É promissora para P&D na indústria, podendo oferecer nova base com economia de custo-efetividade e custo-eficiência contribuindo para o desenvolvimento sustentável, conforme apontou Serrano. Na área de inovação em nanotecnologia para energias renováveis, Manickan, Palit, Sukanchan apontam da mesma forma, como uma ferramenta promissora.

O Marco Regulatório da Inovação, Lei 10.973/2004, não apresenta em seus princípios norteadores a preservação ambiental ou leva em consideração o meio ambiente nos processos. Seu foco principal é o desenvolvimento econômico, científico e social. Já se tem o modelo de inovação da hélice quádrupla, que seria o mais adequado para um desenvolvimento sustentável, pois inclui o próprio meio ambiente e a ecologia social em suas hélices propulsoras nos ecossistemas de inovação.

A Lei do Bem é uma importante contribuição para incentivos fiscais em inovação em P&D, mas necessita ser ampliada tanto em relação ao seu escopo de proteção ambiental quanto sobre os destinatários de seus benefícios. O FNDCT também é uma ferramenta importante, porém sua utilização acaba sujeita às políticas públicas de governo, o que gera instabilidade e insegurança no setor. Há necessidade desse fundo ser conectado a uma norma jurídica vinculante para sua destinação voltada para transição energética.

Desse modo, confirma-se a hipótese básica desta tese, que é função do Estado fomentar financeiramente a pesquisa e o desenvolvimento, a fim de promover a busca por alternativas tecnológicas e mais acessíveis economicamente a todos de produção de energias renováveis, viabilizando a transição energética. O desenvolvimento tecnológico no setor

energético, com o uso de nanotecnologias, pode ser diretamente estimulado, tendo em vista à preservação ambiental, por meio do uso de fontes renováveis de energia. Esse fomento deve ocorrer a partir do conjunto normativo vinculante, trazendo segurança jurídica a todos os *players* do ecossistema de inovação, simultaneamente, sendo o caminho a percorrer para atendimento aos ODS em P&D.

Tecnologias inovadoras como elemento essencial do desenvolvimento necessitam estar em sintonia com a preservação ambiental. Ao Poder Público, resta a obrigação de preservação do meio ambiente, e fomentar meios para diversificar essa proteção é sua finalidade, com vistas a atingir as metas propostas na Agenda 2030 dos ODS, como modo de perfectibilização do desenvolvimento sustentável.

A presente pesquisa não pretende encerrar o assunto, mas contribuir com dados e reflexões de que a pesquisa e o desenvolvimento em inovações nanotecnológicas para a transição energética, mediante incentivos fiscais, restam prejudicados com a legislação atual. Atualmente eles ficam sujeitos à Políticas Públicas de governo, que podem alterar os direcionamentos, conforme a discricionariedade que lhe são característicos. É necessária a consolidação do marco regulatório da nanotecnologia com direcionamento para as energias renováveis e adequação da legislação referente à inovação. Deste modo o investidor em P,D&I terá segurança jurídica para avançar na transição energética.

REFERÊNCIAS

ABRAHAM, Marcus. *Curso de Direito Financeiro Brasileiro*. Barueri, SP: Grupo GEN, 2020. E-book. ISBN 9788530990596.

ABREU, Diego. Brasil avança quatro posições no Índice Global de Inovação e chega ao 62^a lugar. *Agência de notícias da indústria*, Brasília, 02 set. 2020. Inovação e Tecnologia. Disponível em: <https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/inovacao-e-tecnologia/brasil-avanca-quatro-posicoes-no-indice-global-de-inovacao-e-chega-ao-62a-lugar/>. Acesso em: 21 out. 2020.

ACORDO de Paris: o tratado, as metas e o papel fundamental no combate às ações climáticas. *Neoenergia*. Disponível em: <https://institucional.neoenergia.com/pt-br/te-interessa/meio-ambiente/Paginas/acordo-de-paris.aspx>. Acesso em: 1º jun. 2023.

AGÊNCIA CÂMARA DE NOTÍCIAS. *Câmara conclui votação da reforma tributária; texto deve ser promulgado na semana que vem*. Câmara dos Deputados, 2023. Disponível em <https://www.camara.leg.br/noticias/1027138-camara-conclui-votacao-da-reforma-tributaria-texto-deve-ser-promulgado-na-semana-que-vem#:~:text=A%20C%C3%A2mara%20dos%20Deputados%20aprovou,a%20legisla%C3%A7%C3%A3o%20dos%20novos%20tributos>. Acesso em 16/12/2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. *Incidência de ICMS nas tarifas de energia elétrica*. Aneel, 2023. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiMWVhNjFmZWYtYzk1ZC00ZWY4LTgzNjktNmY0Y2I4Njc4Mjk4IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9&pageName=ReportSection60019ab872bd10075770>. Acesso em: 12 jan. 2023.

AGÊNCIA SENADO. *CCJ analisa Marco Legal da Nanotecnologia.*, Brasília, 07 jan. 2020. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2020/01/07/ccj-analisa-marco-legal-da-nanotecnologia>. Acesso em: 25 jan. 2023.

AHIRE, Satish Arvind *et al.* The Augmentation of nanotechnology era: a concise review on fundamental concepts of nanotechnology and applications in material science and technology. *Results in Chemistry*, v. 4, p 1-19, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2022.100633>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/journal/results-in-chemistry>. Acesso em: 30 jan. 2023.

ALEXY, Robert. *Teoria dos Direitos Fundamentais*. Tradução: Virgílio Afonso da Silva. São Paulo: Malheiros Editores, 2008.

AMARO, Luciano da S. *Direito Tributário Brasileiro*. São Paulo: Editora Saraiva, 2021. E-book. ISBN 9786555592993.

ANDRADE, Danilo. *Políticas Públicas: o que são e para que servem?* Disponível em <https://www.politize.com.br/politicas-publicas/> com acesso em 21/10/2023.

ANDRADE, Thales de. Inovação tecnológica e meio ambiente: a construção de novos enfoques. *Revista Ambiente e Sociedade*, São Paulo, v. 7, n. 1, p. 90-106, jan./jun. 2004. E-book. Acesso em: 15 set. 2022.

AUDY, Jorge. A inovação, o desenvolvimento e o papel da Universidade. *Revista de Estudos Avançados*, São Paulo, v. 31, n. 90, p. 75-87, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/rtKFhmw4MF6TPm7wH9HSpFK/>. Acesso em: 2 fev. 2023.

ÁVILA, Alexandre Rossato da Silva. *Curso de Direito Tributário*. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2017.

ÁVILA, Humberto. *Teoria da Segurança Jurídica*. 6ª edição, revista, atualizada e ampliada. – São Paulo: Editora Jus Podivm. Malheiros Editores, 2021.

AVILA, Humberto. *Teoria dos Princípios. Da definição à aplicação dos princípios jurídicos*. 9ª edição. São Paulo: Malheiros Editores, 2009.

AYALA, Patryck de Araújo. Transdisciplinaridade e os novos desafios para a proteção jurídica do ambiente nas sociedades de risco. *Revista de Direito Ambiental*, São Paulo, n. 61, jan./mar. 2011.

BERGER FILHO, Airton Guilherme. *Regulação e governança dos riscos das nanotecnologias*. Belo Horizonte: Arraes Editores, 2018.

BERGER FILHO, Airton Guilherme; SILVEIRA, Clóvis E. Malinverni. Governança dos riscos das nanotecnologias no Brasil: entre a manutenção do status quo e a regulação nanospecífica. *Interesse público*, v. 22, n. 122, p. 251-273, jul./ago. 2020.

BLOOMBERG NEF. *India, China, Chile, the Philippines, and Brazil Top Ranking as the Most Attractive Developing Economies for Clean Energy Investment According to Report*. Disponível em <https://about.bnef.com/blog/india-china-chile-the-philippines-and-brazil-top-ranking-as-the-most-attractive-developing-economies-for-clean-energy-investment-according-to-report/>, com acesso em 02/01/2023.

BLOOMBERG NEF. *CLIMATESCOPE 2023*. Disponível em https://assets.bbhub.io/professional/sites/24/BNEF_Climatescope-2023_20231129.pdf, com acesso em 03/01/2023.

BLOOMBERG NEF. *Bloomberg New Energy Finance*. Disponível em <https://www.bloomberg.com.br/solucao/bnef/>, com acesso em 02/01/2024.

BRASIL. *24000 – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações*. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/economia/pt-br/assuntos/planejamento-e-orcamento/orcamento/orcamentos-anuais/2023/ploa/Volume4MCTI.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2023.

BRASIL. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. *Cartilha sobre nanotecnologia*. 2 ed. Brasília: ABDI, 2010. p. 58. Disponível em: <http://livroaberto.ibict.br/handle/1/572>. Acesso em: 02 fev. 2023.

BRASIL. *Ação Direta de Inconstitucionalidade - ADI 3540 MC*, Relator (a): Min. CELSO DE MELLO, Tribunal Pleno, julgado em 01/09/2005, DJ 03-02-2006 PP-00014 EMENT VOL-02219-03 PP-00528

BRASIL. *Constituição da República Federativa do Brasil de 1988*. Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm. Acesso em: 09 jan. 2023.

BRASIL. *Finep Inovação e Pesquisa*. Histórico e Legislação. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/a-finep-externo/fndct/historico-e-legislacao>. Acesso em: 15 set. 2022.

BRASIL. *Finep Inovação e Pesquisa*. O FNDCT. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/a-finep-externo/fndct>. Acesso em: 21 out. 2020.

BRASIL. *Lei nº 5.172, de 25 de outubro de 1966*. Dispõe sobre o Sistema Tributário Nacional e institui normas gerais de direito tributário aplicáveis à União, Estados e Municípios. Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l5172compilado.htm. Acesso em: 09 jan. 2023.

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. Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/Ccivil_03/Leis/L6938.htm. Acesso em: 05 jun. 2012.

BRASIL. *Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997*. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9478.htm. Acesso em: 2 jul. 2013.

BRASIL. *Lei nº 9.765, de 17 de dezembro de 1998*. Institui a taxa de licenciamento, controle e fiscalização de materiais nucleares e radioativos e suas instalações. Brasília, DF. Presidência da República. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9765.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%209.765%2C%20DE%2017%20DE%20DEZEMBRO%20DE%201998&text=Institui%20taxa%20de%20licenciamento%2C%20controle,e%20radioativos%20e%20suas%20instala%C3%A7%C3%B5es. Acesso em: 08 jun. 2023.

BRASIL. *Lei Complementar nº 101, de 4 de maio de 2000*. Estabelece normas de finanças públicas voltadas para a responsabilidade na gestão fiscal e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp101.htm. Acesso em: 10 jan. 2023.

BRASIL. *Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001*. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, 2001. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LEIS_2001/L10295.htm. Acesso em: 30 jan. 2023.

BRASIL. *Lei nº 10.973, de 2 de dezembro de 2004*. Dispõe sobre incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo e dá outras providências. Brasília: Presidência da República. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/110.973.htm. Acesso em: 15 set. 2022.

BRASIL. *Lei nº 11.196, de 21 de novembro de 2005*. Institui o Regime Especial de Tributação para a Plataforma de Exportação de Serviços de Tecnologia da Informação – REPES, o Regime Especial de Aquisição de Bens de Capital para Empresas Exportadoras - RECAP e o Programa de Inclusão Digital [...]. Brasília: Presidência da República. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/111196.htm. Acesso em: 03 ago. 2021.

BRASIL. *Lei nº 11.540, de 12 de novembro de 2007*. Dispõe sobre o Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - FNDCT; altera o Decreto-Lei no 719, de 31 de julho de 1969, e a Lei no 9.478, de 6 de agosto de 1997; e dá outras providências. Brasília: Presidência da República. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11540.htm. Acesso em: 18 jan. 2023.

BRASIL. *Lei nº 12.187/2009, de 29 de dezembro de 2009*. Institui política nacional sobre mudança do clima – PNMC e dá outras providências. Brasília, DF. Presidência da República. Disponível em https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/112187.htm, com acesso em 03/11/2023.

BRASIL. *Lei nº 14.292/2022, de 3 de janeiro de 2022*. Altera a Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, e a Lei nº 9.718, de 27 de novembro de 1998. Brasília, DF. Presidência da República. Disponível em https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2022/Lei/L14292.htm#art3, com acesso em 04/11/2023.

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. Brasília: Senado Federal. Disponível em: <https://legis.senado.leg.br/sdleg-getter/documento?dm=7919258&ts=1649789967334&disposition=inline>. Acesso em: 25 jan. 2023.

BRASIL. *Projeto de Lei Complementar nº 23, de 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. Brasília: Senado Federal. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/135203>. Acesso em: 12 jan. 2023.

BRASIL. Senado Federal. *Projeto de Lei Complementar nº 135, de 2020*. Altera a Lei Complementar nº 101, de 4 de maio de 2000, para vedar a limitação de empenho e movimentação financeira das despesas relativas à inovação e ao desenvolvimento científico e tecnológico custeadas por fundo criado para tal finalidade, bem como altera a Lei nº 11.540, de 12 de novembro de 2007, para modificar a natureza e as fontes de receitas do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FNDCT. Brasília: Senado Federal. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/142077>. Acesso em: 15 set. 2020.

BRASIL. Senado Federal. *Lei complementar nº 177, de 12 de janeiro de 2021*. Altera a Lei Complementar nº 101, de 4 de maio de 2000, para vedar a limitação de empenho e movimentação financeira das despesas relativas à inovação e ao desenvolvimento científico e tecnológico custeadas por fundo criado para tal finalidade, e a Lei nº 11.540, de 12 de novembro de 2007, para modificar a natureza e as fontes de receitas do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT), e incluir programas desenvolvidos por organizações sociais entre as instituições que podem acessar os recursos do FNDCT. Brasília: Presidência da República. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/Lcp177.htm. Acesso em: 18 jan. 2023.

BRASIL. *Parecer (SF) nº 29, de 2020*. Da Comissão de Constituição, Justiça e Cidadania, sobre o Projeto de Lei nº 880, de 2019, do Senador Jorginho Mello, que 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. Brasília: Senado Federal. Disponível em: <https://legis.senado.leg.br/sdleg-getter/documento?dm=8069552&ts=1594030997128&disposition=inline>. Acesso em: 25 jan. 2023. p. 04.

BRASIL. *Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021*. Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais; e altera as Leis nos 8.212, de 24 de julho de 1991, 8.629, de 25 de fevereiro de 1993, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973, para adequá-las à nova política. Brasília: Presidência da República. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/L14119.htm. Acesso em: 04 jun. 2023.

BRASIL. *Emenda Constitucional nº 109, de 15 de março de 2021*. Altera os arts. 29-A, 37, 49, 84, 163, 165, 167, 168 e 169 da Constituição Federal e os arts. 101 e 109 do Ato das Disposições Constitucionais Transitórias; acrescenta à Constituição Federal os arts. 164-A, 167-A, 167-B, 167-C, 167-D, 167-E, 167-F e 167-G; revoga dispositivos do Ato das Disposições Constitucionais Transitórias e institui regras transitórias sobre redução de benefícios tributários; desvincula parcialmente o superávit financeiro de fundos públicos; e suspende condicionalidades para realização de despesas com concessão de auxílio emergencial residual para enfrentar as consequências sociais e econômicas da pandemia da Covid-19. Brasília: Presidência da República, 2021. Disponível em https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/Emendas/Emc/emc109.htm#art1. Acesso em: 13 jan. 2023.

BRASIL. *Projeto de Lei nº 1458/2022*. Modifica a Lei nº 8.248, de 23 de outubro de 1991 (Lei de Informática), estabelecendo prazo para que os bens de informática comercializados no País atendam a requisitos ambientais e de eficiência energética. Brasília: Câmara dos Deputados. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2325594>. Acesso em: 11 jun. 2023.

BRASIL. *Projeto de Lei nº 1880/2022*. Cria programa de incentivos para a produção em escala de células de combustível, aproveitando o potencial das cadeias de valor do hidrogênio, etanol e biogás. Brasília: Senado Federal. Disponível em: <https://legis.senado.leg.br/sdleg->

getter/documento?dm=9180883&ts=1658512842482&disposition=inline. Acesso em: 11 jun. 2023.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. *Portaria MCTIC nº 3.459, de 26/07/2019*. Institui a Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia, como principal programa estratégico para incentivo da Nanotecnologia no país. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, 26 jul. 2019. Disponível em: http://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/legislacao/portarias/Portaria_MCTIC_n_3459_de_26072019.html?searchRef=nanotecnologia&tipoBusca=expressaoExata. Acesso em: 12 mar. 2020.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. *Portaria MCTI nº 4.964, de 09/07/2021*. Institui, no âmbito do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), o Programa de Inovação em Grafeno, denominado InovaGrafeno – MCTI, como um dos programas estratégicos e estruturantes da Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia (IBN). Brasília: MCTI, 09 jul. 2021. Disponível em: https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/legislacao/portarias/Portaria_MCTI_n_4964_de_09072021.html. Acesso em: 19 jan. 2023.

BRASIL. *Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI*, 21 mar. 2023. O que é a Lei do Bem. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/lei-do-bem/paginas/o-que-e-a-lei-do-bem>. Acesso em: 10 jun. 2023.

BRASIL. *Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação*. Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FNDCT. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/fndct>. Acesso em: 10 jun. 2023.

BRASIL. Tribunal de Contas da União. *Política pública em dez passos / 2021*. Disponível em https://portal.tcu.gov.br/data/files/1E/D0/D4/DF/12F99710D5C6CE87F18818A8/Politica%20Publica%20em%20Dez%20Passos_web.pdf, com acesso em 21/10/2023.

BRASIL. TRF4, AC nº 2000.70.08.001184-8, 3ª Turma, Relator Morga Inge Barth Tessler, publicado em 07/05/2003.

BUCCI, Maria Paula Dallari apud FONTE, Felipe de M. *Políticas públicas e direitos fundamentais*. São Paulo: Editora Saraiva, 2021. E-book. ISBN 9786555597417. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786555597417/>. Acesso em: 29 set. 2023.

BURSZTYN, Marcel (org.). *Ciência, ética e sustentabilidade: desafios ao novo século*. 2 ed. São Paulo: Cortez; Brasília, DF: UNESCO, 2001. E-book. Disponível em: <http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/ue000201.pdf>. Acesso em: 28 maio 2023.

CALDEIRA, Jorge; SEKULA, Julia Marisa; SCHABIB, Luana. *Brasil: Paraíso Restaurável*. Rio de Janeiro: Estação Brasil, 2020.

CALIENDO, Paulo. *Curso de direito tributário*. São Paulo: Editora Saraiva, 2020. E-book.

CALIENDO, Paulo; CAVALCANTE, Denise Lucena (org.). *Tributação Ambiental e Energias Renováveis* [Recurso eletrônico]. Porto Alegre, RS: Editora Fi, 2016.

CAMPOS, Djalma. *Direito Financeiro e Orçamentário*. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2001.

CARAYANNIS, E. G.; CAMPBELL, D. F. Open innovation diplomacy and a 21st century fractal research, education and innovation (freie) ecosystem: Building on the quadruple and quintuple helix innovation concepts and the —Mode 3| knowledge production system. *Journal of the Knowledge Economy*, v. 2, p. 327-372, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13132-011-0058-3>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13132-011-0058-3#citeas>. Acesso em: 17 jan. 2023.

CARPETIS, C.; PESCHKA, W. A study on hydrogen storage by use of cryoadsorbents. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 5, n. 5, p. 539-554, 1980. DOI: [https://doi.org/10.1016/0360-3199\(80\)90061-0](https://doi.org/10.1016/0360-3199(80)90061-0). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0360319980900610>. Acesso em: 03 fev. 2023.

CAVALCANTE, Denise Lucena. In. CALIENDO, Paulo; CAVALCANTE, Denise Lucena (org). *Tributação Ambiental e Energias Renováveis* [Recurso eletrônico]. Porto Alegre, RS: Editora Fi, 2016.

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENERGIA E MATERIAIS (CNPEM). Benefícios e riscos da nanotecnologia. Campinas: CNPEM, set. 2019. p. 8. Disponível em: https://www.cnpem.br/wp-content/uploads/2019/10/SEPARATA-CNPEM-02_Benef%C3%ADcios-e-riscos-das-nanotecnologias.pdf. Acesso em: 07 jan. 2023.

CHAUÍ, Marilena. *Convite à Filosofia*. São Paulo: Editora Ática, 2002. 256 p.

CIÊNCIA para a Sociedade. *Comissão Nacional da Unesco; Ministério dos Negócios Estrangeiros*. Disponível em: <https://unescoportugal.mne.gov.pt/pt/temas/ciencia-para-um-futuro-sustentavel/ciencia-para-a-sociedade>. Acesso em: 28 maio 2023.

CLAUSEN, Lauge Peter Westergaard; HANSEN, Stefen Foss. *The ten decrees of nanomaterials regulations*. Disponível em Nature Nanotechnology | VOL 13 | september 2018 | 766–768 | www.nature.com/naturenanotechnology, com acesso em 03/01/2024.

CLIMATE Change 2022. *Mitigation of climate Change*. IPCC. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/>. Acesso em: 10 jan. 2023.

CNI defende aprovação urgente de projeto que libera recursos do FNDCT. *FIERN*, 15 out. 2020. Disponível em: <https://www.fiern.org.br/cni-defende-aprovacao-urgente-de-projeto-que-libera-recursos-fndct/>. Acesso em: 21 out. 2020.

COOTER, Robert; ULLEN, Thomas. *Direito e Economia*. 5ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

COP27: Brasil está se distanciando das suas metas propostas ao Acordo de Paris. *IEMA – Instituto de Energia e Meio Ambiente*, nov. 2022. Disponível em: <https://energiaeambiente.org.br/cop27-brasil-esta-se-distanciando-das-suas-metas-propostas-ao-acordo-de-paris-20221110>. Acesso em: 25 jan. 2022.

COP27 termina com acordo histórico para perdas e danos. Apesar disso, o documento da Conferência não avança na descarbonização e na transição energética. *The Nature Conservancy*, 21 nov. 2022. Notícias. Disponível em: https://www.tnc.org.br/conecte-se/comunicacao/noticias/cop27-final-acordo-perdas-e-danos/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=search&utm_term=grants&gclid=Cj0KQCQjw7PCjBhDwARIsANo7Cgmo7NOIWwUUUUPB0nP0fhF2MYK7bNk53yA_g_MtW5ZGKRuzxKH1BhsaAmpmEALw_wcB. Acesso em: 04 jul. 2023.

COSTA, Carlos Adriano da. *A extrafiscalidade tributária na concretização do bem-estar social*. 2016. 80 f. Monografia – Concurso de Monografia em Finanças Públicas. Disponível em: https://sisweb.tesouro.gov.br/apex/cosis/monografias/obtem_monografia/809. Acesso em: 10 jan. 2023.

COSTA, Regina H. *Curso de direito tributário: constituição e Código Tributário Nacional*. São Paulo: Editora Saraiva, 2023. E-book. ISBN 9786553627499. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786553627499/>. Acesso em: 11 jun. 2023.

DAS, Pratyush Kumar *et al.* *Nanoparticle assisted environmental remediation: Applications, toxicological implications and recommendations for a sustainable environment. Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, v. 18, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2022.100679>. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215153222000393>. Acesso em: 30 jan. 2023.

DEFESA CIVIL. *Enchente de grandes proporções deve atingir o Vale do Taquari neste sábado (18)*. Disponível em <https://www.defesacivil.rs.gov.br/enchente-de-grandes-proporcoes-deve-atingir-o-vale-do-taquari-neste-sabado-18>, com acesso em 12/12/2023.

DELGADO, Marco. *Tarifas de energia elétrica. Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica - Abradee*. Disponível em: <https://www.abradee.org.br/setor-de-distribuicao/tarifas-de-energia/>. Acesso em: 12 jan. 2023.

DELMAS-MARTY, Mireille. *A imprecisão do Direito: do Código Penal aos direitos humanos*. Barueri: Manole, 2005.

DE NEGRI, Fernanda. *Políticas públicas para ciência e tecnologia no Brasil: cenário e evolução recente*. Disponível em https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/10879/1/NT_Polit_Publ_Ciencia_e_Tecnol_Publicacao_Preliminar.pdf, com acesso em 03/11/2023. P. 11

DI PIETRO, Maria Sylvia Zanella. *Direito Administrativo*. 15. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

DIRETRIZES PARA UMA ESTRATÉGIA NACIONAL PARA NEUTRALIDADE CLIMÁTICA. Brasília: Ministério do Meio Ambiente – MMA, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/climaazoniodesertificacao/clima/diretrizesparaumaestrategianacionalparaneutralidadeclimatica_vdefeso.pdf. Acesso em: 04 jun. 2023.

DORST, Jean. *Antes que a natureza morra*. Tradução: Rita Buongiorno. São Paulo: Edgard Blucher, 1973.

ECONOTEEN, ECONOMIA, FEA-USP. *O que é economia*. Disponível em: <http://www.econoteen.fea.usp.br/o-que-e-economia>. Acesso em: 26 jan. 2022.

EISBERG, Robert; RESNICK, Robert. *Física quântica*. Tradução: Paulo Costa Ribeiro, Enio Frota da Silva e Marta Feijó Barroso. 4 ed. Rio de Janeiro: Campus, 1986.

EPE Empresa de Pesquisa Energética. *FONTES de Energia*. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia#FONTES-RENOVAVEIS>. Acesso em: 27 jul. 2022.

ETZKOWITZ, H.; ZHOU, C. *The triple helix: University-industry-government innovation and entrepreneurship*. Londres: Taylor and Francis, 2017. 342 p. E-book. DOI: <https://doi.org/10.4324/9781315620183>. Disponível em: https://www.mendeley.com/catalogue/e917563e-9d3c-392f-be1f-66a658c7df16/?utm_source=desktop&utm_medium=1.19.4&utm_campaign=open_catalog&userDocumentId=%7B0486120e-8759-3d2e-894d-5d04ca1a14c8%7D. Acesso em: 10 mar. 2020.

EUR-LEX. *Regulation (EU) No 1169/2011 of the European Parliament and of the Council of 25 October 2011 on the provision of food information to consumers, amending Regulations (EC) No 1924/2006 and (EC) No 1925/2006 of the European Parliament and of the Council, and repealing Commission Directive 87/250/EEC, Council Directive 90/496/EEC, Commission Directive 1999/10/EC, Directive 2000/13/EC of the European Parliament and of the Council, Commission Directives 2002/67/EC and 2008/5/EC and Commission Regulation (EC) No 608/2004 Text with EEA relevance*. Disponível em <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2011/1169/oj>, acesso em 03/01/2024.

FARINHA, Luis; FERREIRA, João J. Triangulation of the triple helix: a conceptual framework. *Triple Helix Association*, 2013. Working papers. Disponível em: <https://triplehelixassociation.org/wp-content/uploads/2013/01/Triangulation-of-the-Triple-Helix-A-Conceptual-Framework.pdf>. Acesso em: 20 set. 2022.

FEA-USP. *Faculdade de Economia administração e contabilidade*. Disponível em <http://www.econoteen.fea.usp.br/o-que-e-economia>, com acesso em 26/01/22.

FEYNMAN, Richard P. *Plenty of Room at the Bottom*. In: American Physical Society, 1959, Pasadena. Disponível em: https://web.pa.msu.edu/people/yang/RFeynman_plentySpace.pdf. Acesso em: 30 jan. 2023.

FIGUEIREDO NETO, Manoel Valente; GULO, Carolina Rosa. *Análise econômica do Direito e da propriedade*. 1ª ed. Londrina, PR: Editora Soriana, 2022.

FIORILLO, Celso Antonio Pacheco. *Curso de Direito Ambiental Brasileiro*. 8. ed. São Paulo: Saraiva, 2007.

FONTE, Felipe de M. *Políticas públicas e direitos fundamentais*. São Paulo: Editora Saraiva, 2021. E-book. ISBN 9786555597417. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786555597417/>. Acesso em: 29 set. 2023.

FORGHIERI, Cláudio Cintrão. In: NOGUEIRA, Marco Aurélio; GIOVANNI, Geraldo Di. (Organizadores). *Dicionário de Políticas Públicas*. 3.Ed. São Paulo: Editora Unesp. 2018. P. 185-188.

FOSTER, Sheila R.; IAIONE, Christian. The City as a Commons. *Yale Law & Policy Review*, New Haven, Connecticut, v. 34, n. 2, p. 282-349, 2016. Disponível em: <https://yalelawandpolicy.org/city-commons>. Acesso em: 20 set. 2022.

FRIEDRICHS, Steffi. Report on Statistics and Indicators of Biotechnology and Nanotechnology. *OECD Science, Technology and Industry Working Papers*, Paris, v. 6, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/329963833_Report_on_statistics_and_indicators_of_biotechnology_and_nanotechnology. Acesso em: maio 2019.

GALEMBECK, Fernando. Inovação para a sustentabilidade. *Revista Química Nova*, São Paulo, v. 36, n. 10, p. 1600-1604, 2013.

GARCIA, Juan Jose. Opportunities, Actionable Solutions and Technologies for Just Energy Transition: Renewable Energy. In: Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (COP), 27, 2023, Bonn – Alemanha. *COP 27 [...] Bonn: 2023*. Disponível em: <https://unfccc.int/documents>. Acesso em: 04 jul. 2023.

GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. The Entropy Law and the Economic Process in Retrospect. *Eastern Economic Journal*. v. 12, n. 1, jan-mar 1986. p. 3-25.

GIL, Antonio Carlos. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 7 ed. São Paulo: Atlas, 2022. E-book. ISBN 9786559771653.

GILFILLAN, Dennis; MARLAND, Gregg; BODEN, Tom; ANDRES, Robert. 2020. *Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO2 Emissions: 1751-2017*. Estados Unidos: 5 mar. 2017. DOI: [doi:https://doi.org/10.15485/1712447](https://doi.org/10.15485/1712447). Disponível em: https://cdiac.ess-dive.lbl.gov/ftp/ndp030/nation.1751_2014.ems. Acesso em: 13 jul. 2023.

GILLES, L. *Da leveza: rumo a uma civilização sem peso*. Santana de Parnaíba/SP: Manole, 2016.E-book.

GIMENEZ, Ana Maria *et al.* O novo marco legal de ciência, tecnologia e inovação no Brasil: desafios para a universidade. *Desenvolvimento em debate*, Rio de Janeiro, v. 6, n. 2, p. 99-119, 2018. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/dd/article/view/32171/18229>. Acesso em: 07 set. 2022.

HERMANN, Donald H. J. Review of “Economic Analysis of Law” By Richard A. Posner. *Washington University Law Quarterly*, v. 1974, n. 2, 1974. 354-374 p.

HERMINIO, Beatriz. Políticas para Ciência, Tecnologia e Inovação no Brasil são avaliadas por pesquisadores no IEA. Disponível em <http://www.iea.usp.br/noticias/politicas-para-cti-agenda-2023#baixo-carbono>, com acesso em 03/11/2023.

HISTÓRIA dos nanomateriais e das nanotecnologias. *EUON – European Union Observatory for nanomaterials*, Helsinki – Finlândia. Disponível em:

<https://euon.echa.europa.eu/pt/history-of-nanomaterials-and-nanotechnology>. Acesso em: 02 fev. 2023.

IBGE. Estatísticas. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/multidominio/ciencia-tecnologia-e-inovacao/9141-pesquisa-de-inovacao.html?=&t=destaques>. Acesso em 13/12/2023

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE; SECRETARIA ESPECIAL DE ARTICULAÇÃO SOCIAL. *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável*, 2023. Objetivo 7 – Energia Limpa e Acessível: garantir acesso à energia barata, confiável, sustentável e renovável para todos. Disponível em: <https://odsbrasil.gov.br/objetivo/objetivo?n=7>. Acesso em: 08 jun. 2023.

IBGE. Pesquisa e Inovação Semestral 2021: Indicadores básicos. Disponível em <https://www.ie.ufrj.br/images/IE/EVENTO%20IE/2022/12/Publica%C3%A7%C3%A3o%20Pesquisa%20de%20Inova%C3%A7%C3%A3o%20Semestral%202021%20-%20Indicadores%20B%C3%A1sicos%20com%20ficha.pdf>. Acesso em 13/12/2023.

IBGE. Pesquisa de Inovação Semestral 2022 : indicadores temáticos : tecnologias digitais avançadas, teletrabalho e cibersegurança / IBGE, Coordenação de Estatísticas Estruturais e Temáticas em Empresas. - Rio de Janeiro : IBGE, 2023. 75 p. - (Investigações experimentais. Estatísticas experimentais). Disponível em <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv102028.pdf>. Acesso em 13/12/2023.

IBGE. PINTEC Sustentabilidade: 40,6% das empresas inovadoras introduziram inovações com impactos ambientais positivos entre 2015 e 2017. Disponível em <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/28179-pintec-sustentabilidade-40-6-das-empresas-inovadoras-introduziram-inovacoes-com-impactos-ambientais-positivos-entre-2015-e-2017>. Acesso em 13/12/2023;

IBGE. Mais de 70% das empresas industriais com 100 ou mais pessoas ocupadas inovaram em 2021. Disponível em <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/35875-mais-de-70-das-empresas-industriais-com-100-ou-mais-pessoas-ocupadas-inovaram-em-2021>. Acesso em 13/12/2023.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável*, 2019. 9 Indústria, Inovação e Infraestrutura. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/ods/ods9.html>. Acesso em: 08 jun. 2023.

IRENA. *Renewable energy statistics 2023*. Disponível em https://mc-cd8320d4-36a1-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint.azureedge.net/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Jul/IRENA_Renewable_energy_statistics_2023.pdf?rev=7b2f44c294b84cad9a27fc24949d2134. Acesso em 02/01/2023.

ISO. *Online Browsing Platform (OBP)*, 2020. ISO 17200:2020 (en), Nanotechnology, Nanoparticles in powder form, Characteristics and measurements. Disponível em: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:17200:ed-1:v1:en>. Acesso em: 10 jun. 2023.

ISO. *Online Browsing Platform (OBP)*, out. 2012. IEC/TS 62622:2012, Artificial gratings used in nanotechnology, Description and measurement of dimensional quality parameters. 34 p. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/53012.html>. Acesso em: 10 jun. 2023.

KELSEN, Hans. *Teoria Pura do Direito*. São Paulo: Martins Fontes, 1985.

KHAIR, Amir Antonio. In: NOGUEIRA, Marco Aurélio; GIOVANNI, Geraldo Di. (Organizadores). *Dicionário de Políticas Públicas*. 3.Ed. São Paulo: Editora Unesp. 2018. P. 753-756

KÖCHE, José Carlos. *Fundamentos de metodologia científica: teoria da ciência e iniciação à pesquisa*. 27 ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2010.

KOELLER, Priscila; RAUEN, André Tortato. *Previsão de arrecadação de recursos do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Fndct) para o período 2021-2024, segundo novas determinações legais*. Nota técnica nº 82. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, 2021. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/10619/1/NT_82_Diset_Previs%C3%A3odearrecadacao.pdf. Acesso em: 18 jan. 2023.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. *Metodologia científica*. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2017. p. 279. E-book. Acesso em: 27 out. 2020.

L'ASTORINA, Felipe Boarin. *Direito administrativo*. 1. ed. São Paulo: Rideel, 2022. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 03 nov. 2023.

LATOUR, Bruno. *Ciência em ação: como seguir cientistas e engenheiros sociedade afora*. Tradução: Ivone C. Benedetti. 2 ed. São Paulo: Ed. Unesp, 2011.

LATOUR, Bruno. *Políticas da natureza: como fazer ciência na democracia*. Bauru, SP: EDUSe, 2004.

LEFF, Enrique. *Discursos Sustentáveis*. Tradução: Silvana Cobucci Leite. São Paulo: Cortez, 2010.

LEFF, Henrique. *Racionalidade ambiental: a reapropriação social da natureza*. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2006.

LUCAS, João Ignácio Pires. *Ciência política* [recurso eletrônico] Caxias do Sul, RS: EducS, 2021.

LUCAS, João Ignácio Pires. *Políticas Públicas*. In: Nodari, Paulo César; Síveres, Luiz. *Dicionário de Cultura de Paz*. Volume 2. Curitiba: Editora CRV. 2021. (309-312). P. 309.

MACIEL, Felipe. *Brasil está entre os mercados emergentes mais promissores para energias renováveis, aponta BloombergNEF*. Disponível em <https://epbr.com.br/brasil-esta-entre-os-mercados-emergentes-mais-promissores-para-energias-renovaveis-aponta-bloombergnef/>, com acesso em 02/01/2024.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (MCTI). Câmara de Inovação. *Resolução nº 1, de 23 de julho de 2021*. Aprova a Estratégia Nacional de Inovação e os Planos de Ação para os Eixos de Fomento, Base Tecnológica, Cultura de Inovação, Mercado para Produtos e Serviços Inovadores e Sistemas Educacionais. Brasília: Câmara de Inovação, 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-ci-n-1-de-23-de-julho-de-2021-334125807>. Acesso em: 03 ago. 2021.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO – MCTI. *O que é a Lei do Bem*, 21 mar. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/lei-do-bem/paginas/o-que-e-a-lei-do-bem>. Acesso em: 10 jun. 2023.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. EPE. BEN. Balanço Energético Nacional de 2022. Disponível em <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>, com acesso em 13/07/2023

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. *Agência Nacional de Energia Elétrica*, 2022. Custo da energia que chega aos consumidores. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/entenda-a-tarifa/custo-da-energia-que-chega-aos-consumidores>. Acesso em: 12 jan. 2023.

MCTI. HANKIN, S. M.; CABALLERO, N.E.D. *Regulação da Nanotecnologia no Brasil e na União Europeia. Diálogos setoriais para a regulação de produtos baseados em nanotecnologia*. Novembro, 2014. Disponível em https://eubrdialogues.com/sites/default/files/acoes/documentos/dialogos_setoriais_-_nanotecnologia_portugues.pdf, com acesso em 05/01/2024

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. *Balanço Energético Nacional 2022: relatório síntese*. Ano base 2021. Brasília: MME; EPE, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>. Acesso em: 31 maio 2023.

MORAES NETO, Deraldo Dias de. A aplicação da análise econômica do direito ao problema da cobrança do uso da água bruta dos rios. In: ENCONTRO PREPARATÓRIO PARA O CONGRESSO NACIONAL DO CONPEDI/UFBA, 17, 2008, Salvador. *Anais [...]*. Salvador: UFBA, 2008, 571-590 p. Disponível em: http://www.publicadireito.com.br/conpedi/manaus/arquivos/anais/salvador/deraldo_dias_de_moraes_netto.pdf. Acesso em: 28 jan. 2022.

MOREIRA, Rômulo Diego. Veja qual foi o primeiro celular do mundo (e do Brasil). *TechTudo*, 3 jan. 2023. Disponível em: <https://www.techtudo.com.br/noticias/2023/01/veja-qual-foi-o-primeiro-celular-do-mundo-e-do-brasil.ghtml>. Acesso em: 24 jan. 2023.

NANOIT. *NanoIT*, © 1997-2023. Disponível em: <http://www.nano.org.uk/news/1140/>. Acesso em: 05 out. 2012.

NANOPARTÍCULAS podem melhorar captação de energia solar, diz estudo. *Portal de energias renováveis*, 06 abr. 2011. Solar. Disponível em: http://www.energiasrenovaveis.com/DetalheNoticias.asp?ID_conteudo=454&ID_area=8. Acesso em: 02 jul. 2013.

NOGUEIRA, Marco Aurélio; GIOVANNI, Geraldo Di. (Organizadores). Dicionário de Políticas Públicas. 3.Ed. São Paulo: Editora Unesp. 2018. 1066p. P. 18

NUSDEO, F. *Fundamentos para uma codificação do direito econômico*. São Paulo: Revista dos Tribunais, 1995.

BRASIL. ODS. Disponível em <https://odsbrasil.gov.br/home/agenda>, com acesso em 09/12/2023.

ODSBRASIL. ODS 17. Disponível em <https://odsbrasil.gov.br/objetivo/objetivo?n=17>, com acesso em 10/12/2023.

ODS 7. *Indicador 7.11*. Disponível em <https://odsbrasil.gov.br/objetivo7/indicador711>, com acesso em 10/12/2023.

ODS 7. *Indicador 7.12*. Disponível em <https://odsbrasil.gov.br/objetivo7/indicador712>, com acesso em 10/12/2023.

ODS 7. *Indicador 7. 3*. Disponível em <https://odsbrasil.gov.br/objetivo7/indicador731>, com acesso em 10/12/2023.

ODS 7. Disponível em <https://odsbrasil.gov.br/objetivo7/indicador7b1>, com acesso em 10/12/2023.

ODS 8. Disponível em <https://odsbrasil.gov.br/objetivo/objetivo?n=8>, com acesso em 11/12/2023

ODS 9. Disponível em <https://odsbrasil.gov.br/objetivo/objetivo?n=9>, com acesso em 11/12/2023

ODS 9. Disponível em <https://odsbrasil.gov.br/objetivo/objetivo?n=9>, com acesso em 11/12/2023, s/ p.

ODS.9.Indicador 9.4.1 - Emissão de CO2 pelo PIB. Disponível em <https://odsbrasil.gov.br/objetivo9/indicador941>, com acesso em 11/12/2023

ODS 9. Disponível em <https://odsbrasil.gov.br/objetivo/objetivo?n=9>, com acesso em 11/12/2023, s/p.

ODS 9. Indicador 9.5.1 - Dispendio em P&D em proporção do PIB. Disponível em <https://odsbrasil.gov.br/objetivo9/indicador951>, com acesso em 11/12/2023

ODS 9. Indicador 9.b.1 - Proporção do valor adicionado nas indústrias de média e alta intensidade tecnológica no valor adicionado total. Disponível em <https://odsbrasil.gov.br/objetivo9/indicador9b1>, com acesso em 11/12/2023

ODS 9. Indicador 9.b.1 - Proporção do valor adicionado nas indústrias de média e alta intensidade tecnológica no valor adicionado total. Disponível em <https://odsbrasil.gov.br/objetivo9/indicador9b1>, com acesso em 11/12/2023

ODS 9. Indicador 9.b.1 - Proporção do valor adicionado nas indústrias de média e alta intensidade tecnológica no valor adicionado total. Disponível em <https://odsbrasil.gov.br/objetivo9/indicador9b1>, com acesso em 11/12/2023

ODS 11. Indicador 11.b.2. Disponível em <https://odsbrasil.gov.br/objetivo11/indicador11b2>, com acesso em 12/12/2023.

ODS17. Disponível em <https://odsbrasil.gov.br/objetivo/objetivo?n=17>, com acesso em 12/12/2023.

ONU. A ONU e o meio ambiente. Disponível em <https://brasil.un.org/pt-br/91223-onu-e-o-meio-ambiente>, com acesso em 11/11/2023.

ONU. Nações Unidas. Declaração do Milênio. Disponível em <https://www.oas.org/dil/port/2000%20Declara%C3%A7%C3%A3o%20do%20Milenio.pdf>, com acesso em 09/12/2023

UN. Millennium Development Goals. Disponível em <https://www.un.org/millenniumgoals/>, com acesso em 09/12/2023.

ONU. Our Common Future. Brundtland: Organizações das Nações Unidas, 1987. Disponível em <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>, com acesso em 19/11/2023

ONU. Our Common Future. Brundtland: Organizações das Nações Unidas, 1987. Disponível em <http://www.un-documents.net/ocf-02.htm#I>, com acesso em 19/11/2023

OST, François. *O tempo do direito*. Bauru: Edusc, 2005.

OST, François. La auto-organización ecológica de las empresas: un juego sin conflictos y sin reglas. In: GORDILLO, José Luis (Coord.). *La protección de los bienes comunes de la humanidad: un desafío para la política y el Derecho del siglo XXI*. Madrid: Trotta, 2006.

OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. Fotometria. *Radiação*, 2022. Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/rad/rad/rad.htm>. Acesso em: 1º jun. 2023.

O que diz a Estratégia Nacional de Inovação brasileira?. *ANPEInews*, São Paulo, 02 ago. 2021. Disponível em: https://anpei.org.br/o-que-diz-a-estrategia-nacional-de-inovacao-brasileira/?utm_campaign=geral_-_feed_anpei_oficial_-_30072021&utm_medium=email&utm_source=RD+Station. Acesso em: 03 ago. 2021.

O que é um Ecossistema e um Bioma. Dicionário Ambiental. *((o))eco*, Rio de Janeiro, jul. 2014. Disponível em: <http://www.oeco.org.br/dicionario-ambiental/28516-o-que-e-um-ecossistema-e-um-bioma/>. Acesso em: 04 jun. 2023.

PALIT, S. Application of nanotechnology in the energy industry, green sustainability and the visionary future. *Academia Letters*, p. 1-4, jul. 2021. DOI: <https://doi.org/10.20935/AL2326>. Disponível em: https://www.academia.edu/50306867/Application_of_nanotechnology_in_the_energy_industry_green_sustainability_and_the_visionary_future. Acesso em: 03 fev. 2023.

PANDEY, Rakesh K. *et al.* Eco-Friendly, Direct Deposition of Metal Nanoparticles on Graphite for Electrochemical Energy Conversion and Storage. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 2019, v. 40, n. 11. Disponível em:

https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acsami.9b09273?casa_token=vw6vtH5GNk0AAAAA%3AsO3x4Icp85zF1iMISLbf4uCSVkNOLt6dMbw8O2qRFkZ13ogO0V2fhkjbTO7cK-BOL2Sci2O-Z8zF-QqX&. Acesso em: 30 out. 2020.

PAULSEN, Leandro. *Curso de Direito Tributário*. 9 ed. São Paulo: Saraiva, 2018.

PEIXOTO, Flávio José Marques. *Nanotecnologia e sistemas de inovação: implicações para política de inovação no Brasil*. 2013. 398 f. Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Economia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2013.

PERALTA, Carlos E. Tributação ambiental no Brasil: reflexões para esverdear o sistema tributário brasileiro. *Revista de Finanças Públicas, Tributação e Desenvolvimento – RFPTD*, v. 3, n. 3, 2015. 3 p. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/rfptd/article/viewFile/15589/11800>. Acesso em: 09 jan. 2023.

PIETRO, Maria Sylvia Zanella D. *Direito Administrativo*. São Paulo: Grupo GEN, 2023. E-book. ISBN 9786559646784. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786559646784/>. Acesso em: 02 nov. 2023. P. 246

PIGOU, Arthur Cecil. *The economics of welfare*. London: McMillan. 1948. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4154221/mod_resource/content/0/Pigou-The_Economic_of_Welfare_1920.pdf. Acesso em: 28 jan. 2022.

PISCITELLI, Tathiane. *Direito Financeiro*. São Paulo: Grupo GEN, 2021. E-book.

PISCOPO, Marcos Roberto *et al.* O setor brasileiro de nanotecnologia: oportunidades e desafios. *Revista de Negócios*, v. 19, n. 4, p. 43-63, 2014. DOI:10.7867/1980-4431.2014v19n4p43_63. Disponível em: <https://www.mendeley.com/catalogue/9444ee23-7574-33e7-838a-8687269a6aae/>. Acesso em: 12 jul. 2022.

PLANO Decenal de Expansão de Energia 2030. *Empresa de Pesquisa Energética – EPE*. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2030>. Acesso em: 11 jun. 2023.

PLONSKY, Guilherme Ary. Inovação em transformação. *Revista de Estudos Avançados*, v. 31, n. 90, 2017. p. 10. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ea/v31n90/0103-4014-ea-31-90-0007.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2020.

PORTO, Antônio José Maristrello. *Análise Econômica do Direito (AED)*. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2013.

PRICE WATERHOUSE COOPERS BRASIL – PWC BRASIL; INSTITUTO ACENDE BRASIL. *Estudo sobre carga tributária e encargos do setor elétrico brasileiro, período-base 2019*. PwC Brasil, 2020. Disponível em: https://www.pwc.com.br/pt/publicacoes/setores-atividade/assets/energia/2020/estudo_acende_brasil-2020.pdf. Acesso em: 12 jan. 2023.

PROTOCOLO DE QUIOTO, 1997. Disponível em:

http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/Protocolo_Quioto.pdf. Acesso em: 25 jan. 2022.

QUEM Somos. *Empresa de Pesquisa Energética – EPE*. Disponível em:

<https://www.epe.gov.br/pt/a-epe/quem-somos>. Acesso em: 31 maio 2023.

QUINA, Frank H. Nanotecnologia e o meio ambiente: perspectivas e riscos. *Química Nova*, São Paulo, v. 27, n. 6, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422004000600031>.

Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/5zZPsK4RdkjGGfFrhWsLbjd/?lang=pt>. Acesso em 02/02/2023.

QUINTANILHA, Gabriel S. *Reforma Tributária Brasileira: Tributos sobre o Consumo*.

Disponível em: Grupo GEN, Grupo GEN, 2024. E-book.

RECH, Adir Ubaldo. *Direito e Economia Verde*. Caxias do Sul, RS. EDUCS. 2011.

RESNICK, Robert; HALLIDAY, David. *Física Quântica*. Tradução: Adir Luciano Leite Videira. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1984. p. 310. v. 4.

ROCHA, Jefferson Marçal da. *A ciência econômica diante da problemática ambiental*. 2004. 24 p. Texto elaborado como nota introdutória à Disciplina Economia e Meio Ambiente – Universidade de Caxias do Sul (UCS). Disponível em:

https://www.ucs.br/site/midia/arquivos/IPES_TD_009_JUL_2004.pdf. Acesso em: 28 jan. 2022.

RODRIGUES, Isabel Nader. *Estudo das fontes de energia alternativas renováveis com análise de zoneamento para um desenvolvimento sustentável à luz do direito e da ciência*.

2014. 139 f. Dissertação (Mestrado em Direito) – Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul, 2014. Disponível em:

<https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/780/Dissertacao%20Isabel%20Nader%20Rodrigues.pdf?sequence=4>. Acesso em: 4 jul. 2023.

RODRIGUES, Isabel Nader. A promoção da inovação tecnológica e o meio ambiente, sob o enfoque constitucional. In: CONSELHO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM DIREITO – CONPEDI (org.). GARCIA, Denise S. S.; RODRIGUES, Horácio Wanderlei; THOMÉ, Romeu (coord.). *Direito, economia e desenvolvimento econômico sustentável II*. Florianópolis: CONPEDI, 2022. E-book. Disponível em:

<http://site.conpedi.org.br/publicacoes/906terzx/dq1456pn/gFUXYX5GAb7De1zS.pdf>. Acesso em: 17 jan. 2023.

ROMA, Júlio César. Os objetivos de desenvolvimento do milênio e sua transição para os objetivos de desenvolvimento sustentável. *Cienc. Cult.*, São Paulo, v. 71, n. 1, p. 33-39, Jan. 2019. <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602019000100011>.

Disponível em http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252019000100011&lng=en&nrm=iso. Acesso em 10 dez 2023.

ROMÃO, F. L.; RIBEIRO, A. D.; ROMÃO, L. P. A crise ambiental analisada a partir do princípio de incerteza de Heisenberg e do conceito de paradigma de Thomas Khun. *Scientia*

Plena, v. 7, n. 11, 03-04 p. 2011. Disponível em: www.scientiaplenu.org.br. Acesso em: 24 maio 2023.

ROSSETTI, Vitor. Como o CO₂ afeta a temperatura média global: a físico/química por trás do aquecimento global. *Netnature*, 2017. Disponível em: <https://netnature.wordpress.com/2017/08/30/como-o-co2-afeta-a-temperatura-media-global-a-fisicoquimica-por-tras-do-aquecimento-global/>. Acesso em: 1º jun. 2023.

SABBAG, Eduardo. *Manual de Direito Tributário*. 9 ed. São Paulo: Saraiva, 2017.

SABBAG, Eduardo. *Manual de direito tributário*. São Paulo: Editora Saraiva, 2022. E-book.

SACHS, Ignacy. *Caminhos para o desenvolvimento sustentável*. Rio de Janeiro: Garamond, 2002.

SALLES Filho, Sérgio. In: NOGUEIRA, Marco Aurélio; GIOVANNI, Geraldo Di. (Organizadores). *Dicionário de Políticas Públicas*. 3.Ed. São Paulo: Editora Unesp. 2018. P. 710-714.

SANDRONI, Paulo. *Novíssimo dicionário de economia*. Disponível em https://www2.fct.unesp.br/docentes/geo/magaldi/GEO_ECONOMICA_2019/dicionario-de-economia-sandroni.pdf, com acesso em 15/04/2024.

SANTOS, Guilherme Ribas da S. *Segurança Jurídica em Matéria Tributária*. (Coleção Universidade Católica de Brasília). São Paulo: Grupo Almedina (Portugal), 2022. E-book. ISBN 9786556276656. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786556276656/>. Acesso em: 11 jun. 2023.

SARLET, Ingo Wolfgang; FENSTERSEIFER, Tiago. *Direito constitucional ambiental: estudos sobre a constituição, os direitos fundamentais e a proteção do ambiente*. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2011.

SARTORI, Marcelo Vanzella. As falhas de mercado diante da análise econômica do direito ambiental e do patrimônio cultural como bens coletivos. *Universitas*, Mogi Mirim – SP, ano 2, n. 2, jan./jun. 2009. 81 p. Disponível em: <http://revistauniversitas.inf.br/index.php/UNIVERSITAS/article/view/96/78>. Acesso em: 08 out. 2020.

SCHIPPER, E. L. F. *et al.* Climate Resilient Development Pathways. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. PÖRTNER, H.-O. *et al.* Cambridge/New York: Cambridge University Press, 2022. 2655–2807 p. Doi:10.1017/9781009325844.027. Disponível em https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_Chapter18.pdf. Acesso em: 04 jul. 2023. p. 52.

SCHUMPETER, Joseph Alois. *Teoria do desenvolvimento econômico: uma investigação sobre lucros, capital, crédito, juro e o ciclo econômico*. Tradução: Maria Sílvia Possas. São Paulo: Nova Cultural, 1997.

- SENADO. *Glossário de Economia*. Disponível em https://www12.senado.leg.br/manualdecomunicacao/guia-de-economia/arquivos/glossario_economia.pdf, com acesso em 15/04/2024.
- SENTHIL, R.; MARIMUTHU, Cheralathan. Enhancement of heat absorption rate of direct absorption solar collector using graphite nanofluid. *ResearchGate*, v. 9, p. 303-308, 2016. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/310615791_Enhancement_of_heat_absorption_rate_of_direct_absorption_solar_collector_using_graphite_nanofluid. Acesso em: 30 out. 2020.
- SERRANO, Elena; RUS, Guillermo; GARCÍA-MARTÍNEZ, Javier. Nanotechnology for sustainable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.13, n. 9, p. 2373-2384, dez. 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032109001087>. Acesso em: 30 jan. 2023.
- SILVA, José Afonso. *Direito Ambiental Constitucional*. 9. ed. São Paulo: Malheiros, 2011.
- SILVEIRA, Clóvis Eduardo Malinverni da. *Risco Ecológico Abusivo: a tutela do patrimônio ambiental nos Processos Coletivos em face do risco socialmente intolerável*. Caxias do Sul: Educ, 2014.
- SOARES, Alexandre Pinhel. *Nanotecnologia no setor elétrico: um estudo prospectivo*. 2014. 95 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Propriedade Intelectual e Inovação) – Instituto Nacional da Propriedade Industrial – INPI. Rio de Janeiro, 2014. p. 53. Disponível em: <https://www.gov.br/inpi/pt-br/servicos/academia/arquivo/arquivos-biblioteca/SOARESAlexandrePinhel2014.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2023.
- SOARES, Danielle *et al.* Aplicação ambiental do teorema de Coase: o caso do mercado de créditos de carbono. *Revista Iniciativa Econômica*, São Paulo, v. 2, n. 2, 2015. Disponível em: <https://periodicos.fclar.unesp.br/iniciativa/article/view/8691>. Acesso em: 28 jan. 2022.
- STENSMANN, Berenice Helena Wiener. Propagação do Calor. *Instituto de Física – Mestrado Profissionalizante em Ensino de Física*, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: www.if.ufrgs.br/mpef/mef008/mef008_02/Berenice/aula3.html. Acesso em: 10 jan. 2023.
- TECNOUCS. *UCSGRAPHENE*. O que fazemos. Disponível em: <https://www.ucsgraphene.com.br/o-que-fazemos/>. Acesso em: 17 fev. 2023.
- THIBADO, Paul. Physicists build circuit that generates clean, limitless power from graphene. *Phys.Org*, 2 out. 2020. General Physics. Disponível em: <https://phys.org/news/2020-10-physicists-circuit-limitless-power-graphene.html>. Acesso em: 05 out. 2020.
- TJCE. Estado do Ceará-Poder Judiciário. Disponível em <https://tjcev2.tjce.jus.br/saude/stf-2/>, com acesso em 21/10/2023.
- TORRES, Ricardo Lobo. *Curso de direito financeiro e tributário*. 20 ed. Rio de Janeiro: Processo, 2018. E-book.

UE. COMMISSION. Disponível em https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/MEMO_12_732, com acesso em 03/01/2024.

VEIGA, José Eli da. *Desenvolvimento Sustentável: o desafio do século XXI*. Rio de Janeiro: Garamond, 2010.

VELOSO, Cristiano. As nanopartículas do solo: entenda o que são e como elas interferem na aptidão agrícola natural do solo. Entrevistado: Diego Silva Siqueira. *Blog Verde*. Disponível em: <https://blog.verde.ag/encontro-com-gigantes/uso-das-nanoparticulas-do-solo/>. Acesso em: 02 fev. 2023.

UNESCO publica recomendações sobre Ciência Aberta. *Agência de Bibliotecas e Coleções Digitais da Universidade de São Paulo – ABCD USP*. Disponível em: <https://www.abcd.usp.br/noticias/unesco-publica-recomendacoes-sobre-ciencia-aberta/#:~:text=De%20acordo%20com%20a%20Recomenda%C3%A7%C3%A3o,observados%20e%20sua%20valida%C3%A7%C3%A3o%20por>. Acesso em: 28 maio 2023.

WEI, L. *et al.* Copper nanoparticl -deposited graphite felt electrodes for all vanadium redox flow batteries. *Applied Energy*, v. 180, p. 386-391, 15 out. 2016. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261916310844?casa_token=-R8IXSA0954AAAAA:gPHkzfOmJTaFk5Lhz442maTyKo-1qoZknOheJYsRlwXEVpGcwR_IKqAtiAHKvr09pZ0o6AzNkQ. Acesso em: 30 out. 2020.

WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION – WIPO. *GII 2022 results*. Genebra, Suíça: Wipo, 2021. Disponível em: <https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo-pub-2000-2022-section3-en-gii-2022-results-global-innovation-index-2022-15th-edition.pdf>. Acesso em 18 jan. 2023.

APÊNDICE A – OBJETIVOS ESPECÍFICOS E CAPÍTULOS DA TESE

<p>Título: NANOTECNOLOGIA E INOVAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS: ANÁLISE DO MARCO REGULATÓRIO BRASILEIRO E FOMENTO À SUSTENTABILIDADE POR MEIO DE FERRAMENTAS TRIBUTÁRIAS</p> <p>ISABEL NADER RODRIGUES</p>	
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	SUMÁRIO
<p align="center">2. INOVAÇÃO EM NANOTECNOLOGIAS, ENERGIAS RENOVÁVEIS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL</p>	
<ul style="list-style-type: none"> Examinar a aplicação de nanotecnologias no setor de produção de energias renováveis e suas implicações ambientais, levando em conta a segurança do meio ambiente; 	<p>2.1 A EFICIÊNCIA TECNOLÓGICA COMO PROMOÇÃO DO MEIO AMBIENTE</p>
<ul style="list-style-type: none"> Analisar os principais componentes da matriz energética brasileira e seus efeitos nas mudanças climáticas; 	<p>2.2 A MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA E SEU EFEITO NAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS</p>
<ul style="list-style-type: none"> Delinear o panorama atual da nanotecnologia no setor de energias renováveis, voltados aos processos de Inovação. 	<p>2.3 NANOTECNOLOGIA E A INOVAÇÃO NA ÁREA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS</p>
<p align="center">3. O PANORAMA REGULATÓRIO DA INOVAÇÃO EM NANOTECNOLOGIAS</p>	
<ul style="list-style-type: none"> Analisar o marco regulatório aplicável à Inovação tecnológica; 	<p>3.1 O MARCO REGULATÓRIO DA INOVAÇÃO NO BRASIL</p>
<ul style="list-style-type: none"> Analisar o PL que delimita o marco regulatório para a nanotecnologia; 	<p>3.2 O PL DO MARCOS REGULATÓRIO DA NANOTECNOLOGIA</p>
<ul style="list-style-type: none"> Ponderar sobre a inovação em nanotecnologia com segurança jurídica; 	<p>3.3 SEGURANÇA JURÍDICA COMO ELEMENTO AO DESENVOLVIMENTO</p>
<p align="center">4. OS INCENTIVOS FISCAIS COMO CATALISADORES DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E DA INOVAÇÃO EM NANOTECNOLOGIAS</p>	
<ul style="list-style-type: none"> Explorar a possibilidade do Estado ser promotor de ações do meio ambiente 	<p>4.1 FUNÇÃO EXTRAFISCAL DO TRIBUTO E A LEI DE</p>

mediante a função extrafiscal do tributo, observada a lei de responsabilidade fiscal.	RESPONSABILIDADE FISCAL
<ul style="list-style-type: none"> • Analisar o papel da inovação no desenvolvimento econômico e social e as principais tendências nas tecnologias, envolvendo o setor de energias renováveis. 	4.2 AS EXTERNALIDADES E O TEOREMA DE PIGOU: PAPEL DE ESTADO
<ul style="list-style-type: none"> • Apontar a existência ou não de normas sobre tributação, envolvendo nanotecnologia e inovação; 	4.3 INCENTIVOS FISCAIS VOLTADOS À INOVAÇÃO TECNOLÓGICA E NANOTECNOLOGIAS
5. CAMINHOS PARA A INOVAÇÃO SUSTENTÁVEL EM NANOTECNOLOGIAS	
<ul style="list-style-type: none"> • Especificar os ODS contemplados ao viabilizar a inovação em nanotecnologia em energias renováveis; 	5.1 POLÍTICAS PÚBLICAS E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
<ul style="list-style-type: none"> • Apontar a potencialidade e como os incentivos fiscais podem alavancar a pesquisa e desenvolvimento (P&D) em energias renováveis a partir da nanotecnologia, de modo a atender dos objetivos do desenvolvimento sustentável da Agenda 2030 das Nações Unidas. 	5.2 INCENTIVOS FISCAIS E O ATENDIMENTO AOS OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DA AGENDA 2030
<ul style="list-style-type: none"> • Examinar o processo de inovação tecnológica nas empresas brasileiras com base na pesquisa Pintec/IBGE e indicadores dos ODS. 	5.3 CRÍTICA AO MARCO REGULATÓRIO E CAMINHOS A PERCORRER PARA ATENDIMENTO DOS ODS EM P&D