

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

FELIPE BOTELHO TAVARES

**POLÍTICA ENERGÉTICA EM UM CONTEXTO DE TRANSIÇÃO:
A CONSTRUÇÃO DE UM REGIME DE BAIXO CARBONO**

RIO DE JANEIRO

2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

FELIPE BOTELHO TAVARES

**POLÍTICA ENERGÉTICA EM UM CONTEXTO DE TRANSIÇÃO:
A CONSTRUÇÃO DE UM REGIME DE BAIXO CARBONO**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Indústria e Tecnologia, Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito necessário à obtenção do título de Doutor em Economia.

Orientadores: Helder Queiroz Pinto Jr (IE/UFRJ)

Edmar de Almeida Fagundes (IE/UFRJ)

RIO DE JANEIRO

2019

FICHA CATALOGRÁFICA

T231 Tavares, Felipe Botelho

Política energética em um contexto de transição: a construção de um regime de baixo carbono / Felipe Botelho Tavares. – 2019.

216 p.; 31 cm.

Orientador: Helder Queiroz Pinto Jr

Coorientador: Edmar de Almeida Fagundes

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Economia, Programa de Pós-Graduação em Economia da Indústria e Tecnologia, 2019.

Bibliografia: f. 201 – 212.

1. Política energética. 2. Mudanças climáticas. 3. Transição Energética - Baixo Carbono. I. Pinto Jr, Helder Queiroz, orient. II. Fagundes, Edmar de Almeida, coorient. III. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Economia. IV. Título.

CDD 338.981

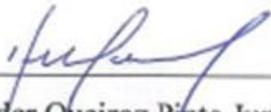
**POLÍTICA ENERGÉTICA EM UM CONTEXTO DE TRANSIÇÃO:
A CONSTRUÇÃO DE UM REGIME DE BAIXO CARBONO**

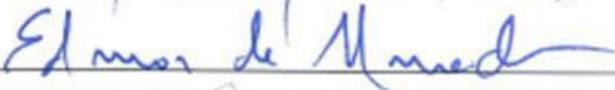
FELIPE BOTELHO TAVARES

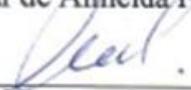
Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Indústria e Tecnologia, Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito necessário à obtenção do título de Doutor em Economia.

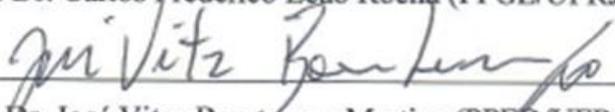
Aprovado em: Rio de Janeiro, 20 de maio de 2019

BANCA EXAMINADORA

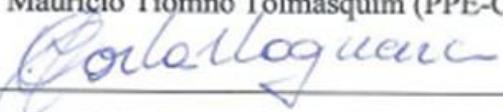

Prof. Dr. Helder Queiroz Pinto Junior (IE/UFRJ), orientador


Prof. Dr. Edmar de Almeida Fagundes (IE/UFRJ), orientador


Prof. Dr. Carlos Frederico Leão Rocha (PPGE/UFRJ)


Prof. Dr. José Vitor Bomtempo Martins (PPED/UFRJ)


Prof. Dr. Maurício Tiomno Tolmasquim (PPE-COPPE/UFRJ)


Prof. Dr. Luiz Augusto Horta Nogueira (UNIFEI)

“We can judge our progress by the courage of our questions and the depth of our answers, our willingness to embrace what is true rather than what feels good.”

Carl Sagan

AGRADECIMENTOS

Esta tese é produto de uma trajetória pessoal e profissional, resultado do apoio e contribuição de um grande número de pessoas que participaram, seja ativamente, seja indiretamente neste processo, apoiando-me no decorrer dos estudos que culminam neste doutoramento.

Dedico esta tese em especial à minha família, porto seguro para todos os momentos da minha trajetória de vida, tendo papel decisivo no período do doutorado, seja nos momentos mais difíceis, seja nas conquistas que acumulei ao longo de anos de estudo. À minha mãe Marcia, cuja completa dedicação e amor aos filhos sempre foi fonte de alento nas diversas fases da minha vida. Ao meu pai Flávio que, ao sempre buscar seus sonhos, é fonte de inspiração. À minha irmã Marcela pela cumplicidade e compartilhamento das inconstâncias da vida acadêmica e pessoal.

Ao Grupo de Economia da Energia (GEE/UFRJ), por instigar a prática da pesquisa e por ser um ponto focal para reflexões e, especialmente, criação de amizades. Trata-se do grupo em que mais me dediquei na minha trajetória profissional e acadêmica, seja diretamente ou indiretamente. Agradeço aos orientadores Professores Helder Queiroz e Edmar de Almeida pela paciência, acompanhamento e orientação. Especialmente por entender a escolha por um tema tão complexo e desafiador, demandando não apenas uma profunda reflexão, mas também bastante coragem da minha parte. Agradeço a eles, aos demais professores, profissionais e pesquisadores do GEE, não apenas o suporte à tese, mas também pelas conversas sobre decisões profissionais e pelos debates quanto aos rumos do nosso país.

À Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), por me oferecer uma educação de excelência desde o ensino médio no Colégio de Aplicação (CAp-UFRJ), passando pela graduação em Economia e, finalmente, no retorno ao doutorado. Sem dúvida, as vivências em todos esses ambientes constituíram boa parte do que sou hoje.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Economia (PPGE) do Instituto de Economia (IE/UFRJ) pelas lições aprendidas ao longo do doutorado e pelo ambiente acolhedor de interação com colegas, funcionários e professores. Agradeço também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por financiar meus estudos na reta final desta pesquisa.

Ao Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (IBP) por me inserir nas questões concretas da indústria brasileira e internacional do petróleo. Agradeço à Luciana Nunes e Felipe Costa pelo aprendizado conjunto, busca pela geração de conhecimento e apoio constante as mais diversas iniciativas por mim propostas, sempre confiando na minha dedicação e competência.

Ao *US Department of State* (representado pela Comissão Fulbright Brasil) por incentivar meus estudos, abrindo meus olhos e interesse às questões diplomáticas americanas e brasileiras e me inserindo em uma comunidade de pessoas formidáveis de todos os cantos do mundo. À *Columbia University* (representada pelo *Columbia Global Centers Rio de Janeiro e Institute of Latin American Studies [ILAS]*), por me receber como pesquisador visitante e possibilitar a interação e inclusão nesta comunidade de pesquisadores, professores e estudantes interessados em temas de política internacional. Agradeço, em particular, ao Professor Thomas Trebat pela confiança e suporte irrestrito na minha passagem por esta instituição.

Agradeço também ao *Young Scholars Initiative (YSI)* do *Institute for New Economic Thinking (INET)* por confiar a mim a coordenação de seu grupo de trabalho em sustentabilidade, propiciando ambiente de troca de conhecimento e contato com as mais variadas vertentes desse tema.

Agradeço aos amigos que me deram suporte incondicional durante todo o processo de estudos; sem a participação deles nada construído até aqui teria muito sentido. Para os que me conhecem, sou daqueles que vê necessidade no diálogo, seja para buscar confirmações de ideias, seja pela busca por críticas. Assim, são os amigos que sempre tiveram o interesse nos meus estudos e possibilitaram conversas frutíferas e mais profundas, os que mais me ajudaram a sedimentar e estruturar ideias em torno desta tese. Aos amigos do mestrado EMIN, da CEPAL, ANP, ICAP, CCSI/Columbia U, GESEL/UFRJ, alguns tantos da EPE, da IAEE, ALADEE, AB3E e *Florence School of Regulation*. Devo um agradecimento particular a Marina Gouvea apoiando na reta final deste trabalho, seja na parte psicológica, seja na crítica da tese, me ajudando a tornar mais claras minhas próprias conclusões. Aos amigos do CAP-UFRJ, do BM, do 303, Toneleros, *International House* e demais agregados, por compartilhar momentos de alegria e aprendizado de vida.

São tantas as pessoas que gostaria de agradecer que não haveria maneira de fazê-lo de forma completa; assim, deixo meus mais sinceros agradecimentos a todos que fizeram parte de toda essa trajetória.

RESUMO

TAVARES, Felipe Botelho. **Política Energética em um Contexto de Transição: A Construção de um Regime de Baixo Carbono**. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Economia, Programa de Pós-Graduação em Economia da Indústria e da Tecnologia, Rio de Janeiro, 2019.

A “transição energética” tornou-se uma das principais frentes do desenvolvimento do setor de energia no mundo. Esta tese se concentra na análise de uma “transição energética de baixo carbono” (TEBC) e das políticas energéticas na promoção de um regime de baixo carbono. A TEBC é analisada sob a perspectiva da economia evolucionária; qual seja, de um processo que se materializa por trajetórias tecnológicas em sistemas sociotécnicos. Além da economia evolucionária, as literaturas de história dos sistemas energéticos e de políticas públicas (análise cognitiva) são utilizadas para entender a dinâmica de transições, e como políticas públicas se articulam nestes contextos. Primeiramente, conceitualiza-se a TEBC e seu regime e, posteriormente, realiza-se a análise empírica de casos avaliando a convergência de políticas nacionais à uma TEBC. Para cada país são analisadas as políticas energéticas nacionais (ambiente de seleção) e os perfis de P&D (paradigma tecnológico). As políticas energéticas são organizadas pela nova tipologia de “estratégias de desenvolvimento energético”, definindo como convergentes as política que se orientem à: (i) adição de fontes de baixas emissões (energo-expansivas); (ii) manutenção de fontes preexistentes de baixa emissão (energo-reprodutivas); (iii) substituição de fontes emissoras por outras menos poluentes (energo-substitutivas); e (iv) redução do próprio consumo de energia por avanços em eficiência e conservação (energo-poupadoras). Para os perfis de P&D, avalia-se a priorização da pesquisa por tecnologias compatíveis a sistemas de baixo carbono. Seguindo Ikenberry (1986), são analisados os Estados Unidos, França, Alemanha e Japão, em dois períodos distintos (‘momentums de política energética’): 1970-1985 e 2000-2015. Adicionalmente, analisa-se o caso do Brasil como caso contrastante. Como resultado, depreende-se que a TEBC, diferentemente das transições do passado, (i) é prospectiva, (ii) não é tecnologia-específica e (iii) não é necessariamente aditiva. Seu regime seria caracterizado por diferentes sub-regimes (sistemas de produção e consumo), tendo como artefato relevante um conjunto tecnológico, e tanto seu paradigma tecnológico quanto seu ambiente de seleção, orientados pelo critério de desempenho em emissões. A partir dos primeiros estudos de caso, demonstrou-se que haveria convergência no âmbito dos paradigmas tecnológicos em todos os casos. Na análise das políticas energéticas, observou-se uma maior heterogeneidade. No caso americano, indícios mais fortes de convergência foram ob-

servados somente a partir do final de seu segundo momentum de política energética. Os franceses tiveram avanços na redução de emissões ao longo do tempo e tem explicitado seu interesse pela agenda do clima, com o desafio de gerir vantagens associadas à opção nuclear. Os alemães estão comprometidos em avançar na agenda da TEBC, tendo efeitos visíveis na sua estrutura energética. Os japoneses pouco mudaram sua estratégia ao longo do tempo, com a convicção de que a opção nuclear estaria alinhada aos objetivos de segurança do abastecimento e climáticos. Finalmente, na avaliação do caso brasileiro, seriam ainda fracos os indícios de convergência de seu referencial de políticas. Apesar da convergência quanto a sua estratégia de inserção internacional, ainda não se observa uma estratégia colocando o clima em primeiro plano. No âmbito dos paradigmas tecnológicos, a pesquisa brasileira tem sido orientada pelas dinâmicas setoriais. No que se refere ao ambiente de seleção, foram desenvolvidas diversas políticas alinhadas aos objetivos do clima; no entanto, questões como uma TEBC tornam-se subsidiárias na agenda brasileira, sobretudo ao se defrontarem a desafios de curto prazo, sejam eles econômicos ou políticos.

Palavras-chave: Transição Energética de Baixo Carbono, Mudanças Climáticas, Políticas Energéticas.

ABSTRACT

TAVARES, Felipe Botelho. **Política Energética em um Contexto de Transição: A Construção de um Regime de Baixo Carbono.** [Energy Policy in a Transition Context: Building a Low-Carbon Regime] Thesis (doctorate) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Economia, Programa de Pós-Graduação em Economia da Indústria e da Tecnologia, Rio de Janeiro, 2019.

The "energy transition" has become one of the main fronts of energy sector development in the world. This thesis analyzes the "low-carbon energy transition" (LCET) and energy policies that promotes its low-carbon regime. From the evolutionary economics, the LCET is a process materialized by technological trajectories within socio-technical systems. Besides the evolutionary economics, the history of energy systems and public policies (cognitive analysis) literature are taken to understand how transitions occur and how policies are designed to promote them. Thus, first, we define the LCET and its regime and, after, we carry out case studies evaluating the convergence of national policies towards the LCET. The analysis comprises an evaluation of national energy policies (selection environment) and R&D profiles (technological paradigm) by country. National policies are organized by the new typology of "energy development strategies", defining as convergent policies that aim to: (i) add low-carbon energy sources (energy-expanding); (ii) maintain pre-existing energy low-carbon sources (energy-reproductive); (iii) substitute emitting sources for other less polluting (energy-substitutive); and (iv) reduce energy consumption through efficiency and conservation (energy-saving). In the case of the R&D profiles, we evaluate their prioritization regarding technologies adapted to low-carbon energy systems. Following Ikenberry (1986), we analyze the national policies of the United States, France, Germany and Japan in two time periods ('energy momentum'): 1970-1985 and 2000-2015. Moreover, we also analyze the case of Brazil as a contrasting case. As a result, the LCET, unlike past transitions: (i) is prospective, (ii) is not technology-specific and (iii) not necessarily additive. In turn, the low-carbon energy regime is characterized by a set of different sub-regimes (production and consumption systems), having as its 'artifact' a technological set; a technological paradigm and selection environment both guided by the emission performance criterion. From the case studies, convergence at the technological paradigm appeared in all cases. In turn, energy policies were more heterogeneous. In the American case, convergence evidences appeared only at the end of its second energy policy momentum. The French have made progress in reducing emissions over time and explicitly stated their interest in the climate agenda, facing the challenge of managing their advantages associated with its the nuclear option. Germans are committed to moving ahead on the LCET agenda, showing visible effects

on their energy structure. In turn, the Japanese barely changed their strategy over time, with the conviction that the nuclear option would be aligned with their security of supply and climate objectives. Finally, in the Brazilian case, signs of convergence of its policy referential are still weak. Despite the convergence of its foreign policies, a climate strategy is not yet at the forefront. Regarding technological paradigms, the Brazilian research efforts have been guided by sectoral dynamics. Meanwhile, in the selection environment, a number of policies have been undertaken in line with climate objectives, however, the LCET is not prioritized in the Brazilian policy agenda, especially when the country faces short-term challenges, such as economic or political.

Keywords: *Low-Carbon Energy Transition, Climate Change, Energy Policy*

SUMÁRIO

PARTE I.....	18
INTRODUÇÃO.....	18
CAPÍTULO 1 - AS TRANSIÇÕES DO PASSADO	24
1.1. Trajetórias e as grandes transições.....	26
1.2. A energia em retrospectiva: Origens e evolução	34
1.2.1. Os primeiros conversores	34
1.2.2. A Revolução Industrial e a dominância do carvão	38
1.2.3. O avanço e a dependência por hidrocarbonetos	42
1.2.4. A diversificação e flexibilidade da eletricidade	48
CAPÍTULO 2 - A AGENDA CLIMÁTICA E OS DESAFIOS PARA O FUTURO.....	54
2.1. Uma nova agenda política: sustentabilidade, mudanças climáticas e transição de baixo carbono	55
2.1.1. Os marcos da Agenda da Sustentabilidade e do Clima	56
2.1.2. A transição energética e o papel central do carbono	60
2.2. O programa de pesquisa da transição: uma literatura emergente	63
2.2.1. Sustentabilidade/Mudanças Climáticas	64
2.2.2. Transformações sociotécnicas	65
2.2.3. Transição Energética e TEBC	66
CAPÍTULO 3 - A TEORIA EVOLUCIONÁRIA E AS TRANSIÇÕES SOCIOTÉCNICAS	70
3.1. A teoria evolucionária	71
3.1.1. Paradigmas e trajetórias tecnológicas.....	73
3.1.2. Ambiente de seleção e mecanismos de indução	78
3.1.3. Coevolução	81
3.2. Transições sociotécnicas: a Perspectiva Multinível (<i>PMN</i>)	82
3.2.1. Nichos.....	85
3.2.2. Regime.....	86
3.2.3. Paisagem.....	88
3.2.4. A <i>PMN</i> como recurso analítico	89
PARTE II.....	91
CAPÍTULO 4 - O REGIME DE BAIXO CARBONO E O PAPEL DAS POLÍTICAS ENER- GÉTICAS	91
4.1. O regime energético de baixo carbono	92
4.1.1. O critério das emissões de carbono	92

4.2.2. Práticas e tecnologias.....	94
4.2. O papel das políticas.....	100
4.2.1. A política pública e seus referenciais	101
4.2.2 Os objetivos de políticas energéticas.....	104
4.3. As políticas para a construção do regime	105
4.3.1. Convergência e momentum de política energética.....	107
CAPÍTULO 5 - A EXPERIÊNCIA INTERNACIONAL: HOUE CONVERGÊNCIA À TEBC?	115
5.1. A trajetória americana	116
5.1.1. Primeiro momentum de política energética.....	117
5.1.2. Segundo momentum de política energética.....	121
5.1.3. Convergência das políticas americanas	124
5.2. A trajetória francesa.....	127
5.2.1. Primeiro momentum de política energética.....	127
5.2.2. Segundo momentum de política energética.....	130
5.2.3. Convergência das políticas francesas	136
5.3. A trajetória alemã	138
5.3.1. Primeiro momentum de política energética.....	139
5.3.2. Segundo momentum de política energética.....	141
5.3.3. Convergência das políticas alemãs	145
5.4. A trajetória japonesa	147
5.4.1. Primeiro momentum de política energética.....	148
5.4.2. Segundo momentum de política energética.....	150
5.4.3. Convergência das políticas japonesas.....	154
CAPÍTULO 6 - A EXPERIÊNCIA BRASILEIRA: SEUS DILEMAS E NOVOS RUMOS	159
6.1. A trajetória brasileira	160
6.2. Pioneirismo e atraso: experiências brasileiras de políticas (<i>primeiro mo-mentum de política energética</i>).....	167
6.3. Uma transição de baixo carbono? Dilemas energéticos (<i>segundo momen-tum de política energética</i>).....	174
6.4. Convergência das políticas brasileiras.....	184
CONCLUSÕES	192
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	201
APÊNDICE	213

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Consumo final de energia na Europa Ocidental, as três revoluções industriais e quatro blocos de desenvolvimento (1500 – 2000).....	29
Gráfico 2 – Evolução da potência dos principais conversores energéticos (1000 A.C – 2000 D.C)	30
Gráfico 3 – Evolução e diferenças em potência dos diversos conversores energéticos ao longo da história	30
Gráfico 4 – Evolução do consumo de energia primária no mundo (1800–2000).....	32
Gráfico 5 – Curva Fisher-Pry de transição da matriz de energia primária mundial.....	33
Gráfico 6 – Curvas Fisher-Pry de transições de energia primária no mundo e em países selecionados.....	34
Gráfico 7 – Diferença de preços do carvão e dos combustíveis de madeira no Reino Unido (1400 - 1900).....	39
Gráfico 8 – Evolução da participação do carvão no consumo de energia primária na Europa (1800 - 2000)	40
Gráfico 9 – Evolução dos preços internacionais do petróleo cru e eventos marcantes na indústria do petróleo mundial (1861 - 2015)	46
Gráfico 10 – Evolução da geração de eletricidade por combustível no mundo	51
Gráfico 11 – Evolução do consumo final de eletricidade por setor no mundo	52
Gráfico 12 – Número de publicações com o tema "transição energética"	67
Gráfico 13 – Comparação entre emissões de carbono por fontes de geração elétrica.....	98
Gráfico 14 – Comparação entre fontes por densidade energética e área.....	99
Gráfico 15 – Evolução do preço do petróleo e orçamento de países OCDE para P&D em energia por tecnologia	110
Gráfico 16 – Composição orçamento de países OCDE para P&D em energia por tecnologia	111
Gráfico 17 – Medidas de Política Energética associadas a Eficiência, Renováveis e Mudanças Climáticas	112
Gráfico 18 – Razões volumétricas de consumo/produção e importação/consumo de petróleo cru nos Estados Unidos.....	118
Gráfico 19 – Economia de combustíveis nos Estados Unidos e <i>CAFE Standards</i>	120
Gráfico 20 – Consumo de energia primária nos Estados Unidos	121
Gráfico 21 – Pesquisa, desenvolvimento e demonstração (P&D&D) em energia nos Estados Unidos.....	126
Gráfico 22 – Produção de energia primária na França	128
Gráfico 23 – Custo de capital histórico de unidades nucleares na França e nos Estados Unidos	129
Gráfico 24 – Evolução de imposto sobre consumo de derivados de petróleo na França	130
Gráfico 25 – Evolução do consumo de derivados de petróleo na França.....	130
Gráfico 26 – Oferta total de energia primária na França	132
Gráfico 27 – Evolução dos parâmetros do sistema bonus-malus para veículos.....	135
Gráfico 28 – Pesquisa, desenvolvimento e demonstração (P&D&D) em energia na França	138
Gráfico 29 – Oferta total de energia primária na Alemanha	141
Gráfico 30 – Histórico e projeção do consumo elétrico na Alemanha no contexto do <i>Energiewende</i>	144

Gráfico 31 – Pesquisa, desenvolvimento e demonstração (P&D&D) em energia na Alemanha	147
Gráfico 32 – Evolução da dependência energética no Japão.....	151
Gráfico 33 – Oferta total de energia primária no Japão	153
Gráfico 34 – Pesquisa, desenvolvimento e demonstração (P&D&D) em energia no Japão ..	156
Gráfico 35 – Oferta total de energia primária no Brasil	162
Gráfico 36 – Evolução da capacidade Instalada de geração elétrica no Brasil	163
Gráfico 37 – Evolução intensidade energética e emissões no Brasil, Estados Unidos, França, Alemanha e Japão	164
Gráfico 38 – Evolução eletrificação e emissões no Brasil, Estados Unidos, França, Alemanha e Japão	165
Gráfico 39 – Evolução participação renováveis e emissões no Brasil, Estados Unidos, França, Alemanha e Japão	165
Gráfico 40 – Evolução participação renováveis na eletricidade e emissões no Brasil, Estados Unidos, França, Alemanha e Japão	166
Gráfico 41 – Evolução dos preços relativos entre eletricidade e substitutos na indústria.....	171
Gráfico 42 – Evolução dos custos e da produção de etanol no Brasil.....	172
Gráfico 43 – Evolução dos preços internacionais do petróleo e combustíveis líquidos no Brasil.	173
Gráfico 44 – Evolução do consumo de eletricidade por tipo de consumidor.....	175
Gráfico 45 – Evolução da capacidade instalada contratada nos leilões de geração	176
Gráfico 46 – Recursos hidráulicos e capacidade instalada acumulada	177
Gráfico 47 – Evolução das vendas e spread entre gasolina e etanol hidratado	182
Gráfico 48 – Evolução dos atos de política externa brasileira na área de energia por tema ..	184
Gráfico 49 – Composição dos atos de política externa brasileira na área de energia por década e tema.....	185
Gráfico 50 – Recursos das cláusulas de P&D da ANEEL e ANP.....	189
Gráfico 51 – Recursos investidos nos projetos de P&D da ANEEL por grupo temático	190
Gráfico 52 – Evolução do consumo final de bioenergia por fonte no Brasil	215
Gráfico 53 – Atos da política externa brasileira com o tema hidroelétricas.....	216

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Navegação egípcia e o controle dos conversores de energia	36
Figura 2 – O preço da lenha na França no fim do século XVIII	41
Figura 3 – Principais marcos na Agenda Internacional da Sustentabilidade e do Clima	57
Figura 4 - Tipificação de temáticas das ciências sociais que lidam o subtema “transição energética de baixo carbono”	64
Figura 5 - A dinâmica da mudança sociotécnica na perspectiva multinível	85
Figura 6 - Elementos e recursos básicos do sistema sociotécnico.....	88
Figura 7 – Perspectiva multinível da construção de um regime energético de baixo carbono	109
Figura 8 – Mapa de Transmissão e Hidrelétricas no Brasil.....	177

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção mundial de petróleo cru (1860 - 1945).....	43
Tabela 2 – Oferta de petróleo na Alemanha (1938 - 1945).....	45
Tabela 3 – Evolução e diversidade de geração elétrica entre países europeus.....	50
Tabela 4 – Principais gases de efeito estufa suas fontes, GWP ₁₀₀ , tempo na atmosfera e concentração em 2011	94
Tabela 5 – Práticas e tecnologias no setor energético em um regime de baixo carbono.....	96
Tabela 6 – Comparação entre países de trajetórias energéticas por indicadores chave. 1971-2016	164
Tabela 7 – Correlação entre Orçamentos de P&D&D em Energia em países OCDE e o Preço do Petróleo 1974-2016.....	213
Tabela 8 – Políticas energéticas destacadas nos Estados Unidos	214
Tabela 9 – Políticas energéticas de destaque na França	215

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tipologia de Estratégias de Desenvolvimento Energético	106
Quadro 2 – Resumo comparativo dos estudos de caso de Estados Unidos e França	157
Quadro 3 – Resumo comparativo dos estudos de caso de Alemanha e Japão.....	158
Quadro 4 - A questão das grandes hidrelétricas	178
Quadro 5 – Resumo do estudo de caso do Brasil	188

LISTA DE SIGLAS

ARRA – <i>American Recovery and Reinvestment Act</i>
CAFE – <i>Corporate Average Fuel Economy</i> (CAFE standards)
CCS – <i>Carbon, Capture and Storage</i>
CEA – <i>Commissariat à l'Énergie Atomique</i>
CFC – clorofluorcarbono
CFP – <i>Compagnie Française des Pétrole</i>
CO _{2eq} – dióxido de carbono equivalente
COP – Conferência das Partes (<i>Conference of Parties</i>)
DOE – Departamento de Energia americano
EDF – <i>Électricité de France</i>
EEG – <i>Erneuerbare-Energien-Gesetz</i> (“Lei de Energia Renovável”)
EJ – exajoules (10 ¹⁸ joules)

E&P – Exploração e Produção
EnWG – *Energiewirtschaftsgesetz* (“Ato de Indústria Energética”)
EU ETS – *European Union Emissions Trade Scheme*
FIT – tarifa *feed-in*
GDF – *Gaz de France*
GEE – gases de efeito estufa
GLP – gás liquefeito de petróleo
GNL – gás natural liquefeito
IEA – *International Energy Agency*
IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*
IRENA – *International Renewable Energy Agency*
METI - Ministério da Economia, Comércio e Indústria do Japão (antigo MITI)
MIC – motores à combustão interna
MITI – Ministério do Comércio Internacional e Indústria do Japão
Mpg – milhas por galão
MW - Megawatts
NDC – *Nationally Determined Contributions*
OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OPEP – Organização dos países exportadores de petróleo
P&D – pesquisa e desenvolvimento
PLD – “Partido Liberal Democrático” Japonês
ppm – partes por milhão
PTC – *Production Tax Credits*
RFS – *Renewable Fuel Standard*
RPS – *Renewable portfolio standards*
SPR – *Strategic Petroleum Reserves*
TEBC – transição energética de baixo carbono
TIC – tecnologias de informação e comunicação
TIP – *Taxe Intérieure Pétrolière*
TIPCE – *Taxe intérieure de consommation sur les produits énergétiques*
TVA – imposto de valor agregado na França
UNDP – *United Nations Development Programme*
UNEP – *United Nations Environment Programme*
UNFCCC – *United Nations Framework Convention on Climate Change*
URSS - União Soviética
YJ – yottajoules (10^{24} joules)

PARTE I

INTRODUÇÃO

Ao longo do tempo e ao redor do planeta, a realidade energética que as sociedades experimentam se transforma. Essas transformações podem ter origens tecnológicas, de disponibilidade de recursos ou de arranjos sociais e políticos, e trazem consigo importantes desafios.

A “transição energética” tornou-se uma das principais frentes do desenvolvimento do setor de energia no mundo. Porém, o quê ela trata na prática e quais suas consequências, ainda é motivo de dúvidas, já que uma transição envolve não apenas a combinação de condições físicas e materiais para concretizar-se, mas também envolve diferentes percepções e contextos sociotécnicos propícios.

O que está claro é que, em linhas gerais, esta transição teria como objetivo gerar um viés estrutural na matriz energética global, almejando sua descarbonização. O debate atual da transição energética tem como base a Agenda Internacional de Mudanças Climáticas, tendo como um dos principais marcos históricos o Acordo de Paris em 2015, colocando em primeiro plano a necessidade de uma ação concertada para evitar efeitos ambientais catastróficos ao planeta. Transformações no clima estariam associadas ao aquecimento da atmosfera através do chamado ‘efeito estufa’, resultado da ação das atividades socioeconômicas humanas a partir da liberação de gases de efeito estufa (GEE), ou genericamente de emissões de carbono. A mitigação de emissões seria o meio necessário para evitar consequências nocivas ao planeta.

Frequentemente encarado como um tema exógeno ao setor de energia, as mudanças climáticas transferem e transformam o grande nível de incerteza quanto aos seus potenciais efeitos, em elevados riscos ao setor. Riscos de investimento (*stranded assets*), operacionais, comerciais, políticos, planejamento, entre outros. No entanto, na prática, trata-se de um problema do próprio setor, pela sua histórica contribuição em emissões e ausência de solução prática para limitá-las¹.

¹ De acordo com o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) em 2010, do total global de emissões de GEE, o setor de energia e transportes representaram, respectivamente, 35% e 14%. A indústria e edifícios, também consumidores de energia, representaram cerca de 21% e 6%, respectivamente. O restante, tratou-se de mudanças no uso do solo com 24% (IPCC, 2014).

Este problema repercute não apenas em riscos futuros, mas em alterações no presente; por exemplo, afetando ativos existentes².

Assim, o setor de energia é peça fundamental neste debate, dado que é uma das principais origens de emissões. É certo que, para além de emissões de gases, trata-se de um setor historicamente marcado por impactos adversos ao meio ambiente e às populações, sendo seu desenvolvimento justificado pela sua importância para as sociedades e bem-estar humano. O desafio de mitigação de emissões estará presente nas decisões quanto à adoção de uma ou outra opção energética.

Neste contexto de dúvidas e incertezas, vale destacar que o jargão “transição” ampliou sua popularidade para diversas áreas do conhecimento e sistemas sociais, políticos e tecnológicos. Nos debates na área energética, não é raro o uso intercambiável da palavra, referindo-se às transformações tecnológicas e organizacionais dos sistemas. Seja referindo-se à incorporação de novas tecnologias de informação e comunicação (TIC), mudanças nas preferências, participação e arranjo dos agentes nos sistemas, ou ainda, e especialmente, na penetração de fontes renováveis nos sistemas de energia. Apesar de, em grande medida, estarmos tratando de todos esses elementos em conjunto com sobreposição entre eles, buscar qual seria o enfoque dessas transformações é fundamental para entender sua dinâmica. As múltiplas definições para ‘transição energética’ geralmente são incompletas, não dando conta de explicar os fenômenos em vista.

A busca por soluções para evitar efeitos adversos do clima movimenta não somente a política, mas também a ciência, desenvolvendo tecnologias e análises para superar os desafios do clima. Não por menos, a temática se tornou foco de atenção de uma vasta e profícua literatura quanto às transformações de sistemas energéticos.

Os sistemas energéticos, por sua vez, apresentam elevada complexidade e inércia, devido aos seus aspectos singulares, como especificidade física, temporal, geográfica, de ativos dedicados e intensidade de capital (HANSEN; PERCEBOIS, 2015; PINTO JR et al., 2016). No atual estado do conhecimento científico, soluções tecnológicas em diversos tipos de produção e serviços energéticos são vislumbradas para promover essa transição (e.g. carros elétricos, painéis solares fotovoltaicos, baterias, etc.). No entanto, grande parte das alternativas existentes ainda não são competitivas em custo e escala *vis-à-vis* a seus substitutos de origem fóssil. Situação esta que mostra indícios e perspectivas de mudança rápida, ainda não estando claro quais seriam os novos paradigmas tecnológicos a serem estabelecidos. Além da compe-

² Exemplos seriam as alterações em vazões hidrológicas para uso de energia hidráulica e aumento da frequência de eventos meteorológicos extremos (e.g. *tsunamis*, ondas de calor) que afetam a integridade física dos ativos ou suas condições operativas.

tividade, a adaptabilidade ao consumo final é essencial, em especial, quando tratamos de tecnologias de natureza variável como as fontes renováveis, ou tratamos de momentos de mudanças de comportamento sociais (como na atual expansão do uso das TICs). Havendo avanços tecnológicos que sejam custo competitivos e que induzam uma demanda energética qualitativamente nova, o processo de transição teria suas bases concretas para ocorrer (HELM, 2016).

Pelo sentimento de urgência na busca por soluções aos problemas drásticos resultantes da alteração do clima, muito se espera de um papel proativo das políticas nacionais e, crescentemente, de políticas subnacionais e ao nível local. Pelo fortalecimento da agenda climática, políticas se multiplicaram em anos recentes, promovendo o uso e desenvolvimento de novas tecnologias, sejam elas para fontes renováveis ou diversificação e eficiência do consumo final de energia. Estas vêm influenciando no desenvolvimento energético e contribuindo na superação da elevada inércia que sistemas apresentam³. Pela diversidade de instrumentos de política, frequentemente há sobreposição de iniciativas, dificultando a identificação de seus efeitos diretos e de possíveis padrões.

Esta tese irá se concentrar na análise de uma “transição energética de baixo carbono” (TEBC) e das políticas energéticas na promoção de um regime de baixo carbono. O interesse é entender como se fundamenta o processo transitivo e como as políticas se tornariam compatíveis às suas necessidades em um ambiente complexo como o do setor de energia.

Na literatura econômica, uma transição energética pode ser entendida como uma mudança iminentemente tecnológica e de arranjos institucionais. Nesta linha interpretativa, a literatura evolucionária analisa o processo em sua dinâmica, orientado por transformações qualitativas dentro da economia, pela introdução de inovação em suas diversas formas (e.g. novas tecnologias e práticas), em processos chamados coevolutivos (NELSON; WINTER, 1982; DOSI, 1982; GEELS, 2002).

As transições se articulariam através da interação de novos paradigmas tecnológicos e ambiente de seleção na construção de trajetórias tecnológicas, culminando na construção de novos regimes sociotécnicos. Será a partir deste marco teórico que serão analisadas as transições energéticas, com ênfase na construção de um regime de baixo carbono.

³ As mudanças climáticas se tornaram tão importantes que passaram a ser incorporadas como objetivos em programas de longo alcance, como por exemplo:

- *Belt and Road Initiative*: sob liderança chinesa, trata-se de um programa trilionário de infraestruturas e investimentos para interconexão regional.

- o chamado '*Green New Deal*': discutido em fóruns americanos, visa ampliar substancialmente a atuação do Estado no enfrentamento das mudanças climáticas e desigualdade nos Estados Unidos.

Pelo lado das políticas, de acordo com Muller (2009), políticas públicas são entendidas como iniciativas com vistas a solucionar problemas a partir de objetivos predefinidos. Elas se articulam de forma cognitiva por ‘referenciais’ definidos por dadas visões de mundo, de suas consequências e soluções potenciais. Sua complexidade geralmente envolve externalidades e interdependências, sendo um problema verdadeiramente holístico. Desta forma, a sua dimensão cognitiva permite a inferência quanto aos objetivos intrínsecos das políticas energéticas frente a uma TEBC.

Diferentemente das políticas tradicionais, com o foco principal na oferta e na autossuficiência, aparentemente as políticas energéticas atuais apresentam novos objetivos e instrumentos, sobretudo quando incorporados aos desafios do clima que ampliam o horizonte temporal para o longuíssimo prazo. O cenário de incerteza colocado para os formuladores de política pressupõe mudanças na forma de se posicionarem. Neste sentido, surge uma pergunta: ***Existiria um novo padrão de políticas para uma transição energética de baixo carbono?***

A partir desta questão central, outras perguntas surgem como complemento, contribuindo para melhor entendê-la e igualmente merecendo ser respondidas. Quais sejam:

1. *A transição energética de baixo carbono se diferencia ou é similar às transições históricas?*
2. *A transição de baixo carbono responderia à agenda de sustentabilidade ou apenas a do clima?*
3. *Houve, de fato, mudança dos referenciais de políticas energéticas nos países?*

Esta tese tem por objetivo investigar as questões relativas ao papel e atuação de políticas para o setor de energia na construção de novos regimes. Fica evidente, como ponto de partida, que as políticas são um elemento relevante em transições energéticas e, considerando a perspectiva evolucionária, são parte integrante de um contexto sociotécnico dinâmico; logo, que não atuam em isolamento. Neste contexto, elas poderão ter papel decisivo, seja promovendo ou mesmo limitando as transformações necessárias para uma transição energética. Ademais, a transição tratada atualmente não se restringiria ao tema da penetração de energias renováveis, apresentando outros aspectos tecnológicos e sociais.

Assim, a metodologia para se responder a tais questões seria, primeiro, a da conceituação teórica de uma TEBC e, posteriormente, a da análise empírica de casos para entender a dinâmica das políticas ao setor de energia em sua direção. A partir do exame de um conjunto amplo de literatura em torno do tema ‘transição energética’, optou-se por subconjuntos da literatura compatíveis aos objetivos da tese. São eles:

- (i) a história dos sistemas energéticos;
- (ii) a economia evolucionária e *quasi*-evolucionária; e
- (iii) as políticas públicas (análise cognitiva).

A partir da literatura de história dos sistemas energéticos, serão avaliados os traços singulares da TEBC, elencando-os e discutindo suas origens e consequências. Por sua vez, pelas concepções da economia evolucionária, a TEBC será entendida como transformações tecnológicas que surgem dentro um processo de co-evolução em sistemas sociotécnicos. Ela ocorrerá através de trajetórias que culminarão na construção de um regime de baixo carbono, dando às políticas a possibilidade de orientar, promover, limitar, adaptar, e coordenar esta construção.

Por sua vez, as políticas serão analisadas a partir de seus objetivos intrínsecos. A partir de estudos de caso, serão analisados os padrões de política nacionais ao longo do tempo. Optou-se pelo exame das políticas nos países: (i) Estados Unidos; (ii) França; (iii) Alemanha; e (iv) Japão. A escolha desses países acompanha o trabalho seminal de Ikenberry (1986), que analisa diferenças de respostas políticas aos choques do petróleo na década de 1970. Além disso, são países de grande relevância em termos energéticos, econômicos e tecnológicos. Adicionalmente será analisado o caso do Brasil, utilizando-se de mesma metodologia, sendo sua escolha útil como caso contrastante de país em desenvolvimento.

Serão analisadas as políticas para o setor de energia em períodos distintos, buscando entender seus ‘referenciais’ e sua atuação no paradigma tecnológico e ambiente de seleção. Dois períodos são de particular importância para políticas energéticas, quais sejam: 1970-1985 e 2000-2015. Estes períodos receberão o nome de ‘momentums de política energética’ por serem períodos de intensa atividade no âmbito dessas políticas. Para a análise dos referenciais de políticas foi criada uma tipologia de ‘estratégias de desenvolvimento energético’, organizando-as por seus objetivos de ordem sistêmica, quais sejam:

- (i) energo-expansivo;
- (ii) energo-reprodutivo;
- (iii) energo-substitutivo; e
- (iv) energo-poupador.

O objetivo do uso da tipologia é entender se ocorreram padrões de políticas nestes períodos e, em particular, captar a convergência ao longo do tempo dos referenciais frente a objetivos da TEBC.

Para a avaliação dos casos, primeiro serão descritas as condições físicas e contextuais de cada país, para então serem analisados as políticas energéticas nacionais adotadas (identifi-

cando objetivos de mudanças na produção e consumo, i.e., ambiente de seleção) e os perfis de gastos em pesquisa (identificando dinâmicas tecnológicas, i.e., paradigmas).

Os estudos de caso se basearão em informações e dados de órgãos públicos, instituições estatísticas, empresas e associações internacionais e nacionais (IEA, BP, US EIA, IBGE, ANP, etc.), além de literatura secundária (artigos, relatórios, etc.) e documentos oficiais de política (leis, programas, etc.).

Desta forma, a tese será estruturada em duas partes e seis capítulos.

A Parte I concentra os elementos definicionais e de contexto da temática da transição, além de apresentar o marco teórico que será utilizado ao longo da tese. Após esta Introdução, o Capítulo 1 tem como objetivo explorar as definições de transições energéticas e a história dos sistemas energéticos ao longo de centenas de anos. Apresenta os traços comuns e singulares na evolução de sistemas energéticos, destacando os fatores de promoção de transições energéticas e a interação necessária entre tecnologia e sociedade. O Capítulo 2 introduz a Agenda Internacional de Sustentabilidade e do Clima, destacando seus marcos históricos, além de mapear a ampla e emergente literatura quanto às transições energéticas. A partir do exame dos dois capítulos, serão destacadas as características distintivas de uma TEBC. Por sua vez, o Capítulo 3 discorre sobre o marco teórico adotado. À luz da escola evolucionária, serão destacados os conceitos-chave para entender a transição como um processo em trajetórias tecnológicas dentro de regimes sociotécnicos que se transformam.

A Parte II elabora sobre os elementos e critérios da TEBC e das políticas energéticas para uma avaliação empírica por estudos de caso. No Capítulo 4 destacam-se as características evolucionárias de uma TEBC e como políticas energéticas se articulariam atuando em sistemas sociotécnicos. O capítulo apresenta uma metodologia de avaliação de convergência para referenciais de políticas frente a uma TEBC. Em seguida, no Capítulo 5, serão realizados estudos de casos utilizando esta nova metodologia. Os casos americano, francês, alemão e japonês serão contrastados e analisados historicamente. Finalmente, o Capítulo 6 dedicará sua atenção integral à trajetória brasileira. O caso brasileiro é intrigante pelos seus aspectos de pioneirismo e atraso no contexto de descarbonização. Ao final, conclusões são elaboradas, trazendo não apenas respostas e reflexões às questões levantadas nesta tese, mas também as possíveis frentes de estudos que serão abertas.

CAPÍTULO 1 - AS TRANSIÇÕES DO PASSADO

Quando tratamos de uma transição energética, devemos primeiro definir do que estamos tratando. O estudo de transições energéticas históricas traz consigo a vantagem de se entender o que seria o fenômeno e estabelecer bases de análise para o futuro, trazendo lições de experiências a serem seguidas ou evitadas. Analisar o passado permite entender o sentido, origens e as implicações que uma transição energética pode de fato causar.

O termo “transição energética” surgiu de forma mais consistente na década de 1970, após o primeiro choque e crise do petróleo. Neste período específico, o termo surgiu vislumbrando futuros alternativos para a energia, e não apenas seus condicionantes do passado. É na década de 1970 que a recém-criada Agência Internacional de Energia (IEA)⁴ lançou o termo com sentido de "crise energética", justificando políticas energéticas que assegurassem a soberania nacional aos países a ela associados (com foco na construção de estoques de petróleo e expansão do consumo do gás natural e da energia nuclear) (FREZZOZ, 2014).

Já no caso alemão, o governo utiliza o termo (*‘Energiewende’*) em 1980, um ano após o acidente na usina nuclear americana em *Three Mile Islands*⁵, para anunciar a nova política de energia que buscava reduzir a dependência do petróleo e da energia nuclear⁶.

Não há um significado preciso ou amplamente aceito do termo "transição energética" (SMIL, 2010; ARAÚJO, 2014; SOVACOO, 2016). No entanto, é frequentemente utilizado para descrever alterações na composição (estrutura) de consumo de energia primária.

Do latim *transitionem*, que significa trânsito ou ‘seguir em frente’, a palavra "transição" refere-se iminentemente a um **processo**, cujo começo e fim são delimitados, mesmo que o seja de forma abstrata⁷. Com a origem etimológica grega, a composição de *en* (significando interior ou de dentro) e *ergos* (que significa trabalho) que forma a palavra "energia" é entendida na ciência como a habilidade intrínseca de uma substância ou sistema de transformar-se e

⁴ A Agência Internacional de Energia foi criada em 1974 com o intuito de coordenar uma resposta coletiva a grandes interrupções de fornecimento de petróleo através da gestão de estoques estratégicos de países membros. Além disso, serve de fórum para questões energéticas globais, transparência de informações e vem expandindo seu escopo de atuação com a incorporação de novos membros e associados.

⁵ O acidente ocorreu em 28 de março de 1979, devido a falhas no sistema secundário não-nuclear e falha humana causando problemas em outros equipamentos.

⁶ Para mais detalhes do caso alemão, ver Capítulo 5.

⁷ O termo ‘transição’ é utilizado em diversas áreas científicas como na demografia (transição demográfica), ecologia (transições ecossistêmicas), psicologia (transições de desenvolvimento) e física (transições de fase de substâncias). Em geral, trata-se de uma mudança não-linear de um equilíbrio dinâmico para outro (LOORBACH et al, 2017).

realizar trabalho em suas várias formas. Assim, a "transição energética" em sua etimologia é 'um processo em um sistema capaz de produzir trabalho, criar movimento, gerar atividade'.

A transição debatida atualmente tem como objetivo gerar um viés estrutural na matriz energética global, almejando a sua descarbonização. Autores utilizam expressões como “próxima transição energética”, “grande transição energética”, “transição energética sustentável”, “transição energética de baixo carbono” ou apenas “transição energética” para dar nome a esta transformação esperada.

Nesta tese, adotaremos o termo **transição energética de baixo carbono** (TEBC) por entender que descreve melhor a linha mestra que norteia as transformações sistêmicas propostas. Seja do ponto de vista do tipo de tecnologia a ser utilizada, seja da necessidade de mecanismos de eficiência e racionalização do consumo que, considerados em conjunto, traduziriam-se em menores emissões de carbono.

Portanto, não se trata de uma ‘próxima’ transição: (i) por não estar associada necessariamente ao domínio de um conversor específico, mas sim de uma variedade de conversores de baixo carbono; e (ii) para países que apresentam variedades energéticas mais limpas, o desafio seria buscar manter certos padrões energéticos.

Mesmo vislumbrando-se transformações extremas de sistemas, a caracterização como ‘grande’ transição implicaria uma comparação *ex post* com outras precedentes. Tampouco seria o caso de uma transição ‘sustentável’, pois implicaria em uma busca por soluções para conversores e consumo cujos parâmetros estão além da medição de emissões.

Finalmente, como se verá à frente, uma série de transições energéticas ocorreram no passado; assim, é preciso qualificar do que está sendo tratado, mesmo que a simples expressão ‘transição’ ou ‘transição energética’ tenha se tornado o principal jargão do debate corrente.

Se ‘transição’ é um processo de transformação, *o que falar quanto à energia?* De forma concreta, um sistema energético é composto por três elementos (SMIL, 2010): (i) fontes energéticas naturais, (ii) seus conversores; e (iii) uma variedade de usos específicos dos fluxos disponíveis de energia. Assim, a transformação plena de um sistema como o de energia, pressupõe condições e adaptabilidade destes três elementos de forma conjunta e coordenada. Requer uma sequência específica de avanços científicos, inovações tecnológicas, ações organizacionais e de circunstâncias estratégicas, econômicas e políticas. Uma transição, sendo fundamentalmente um processo, não pode ser tratada como um fim em si mesmo. De fato, ela pode apresentar objetivos finalísticos bem caracterizados, como é o caso daquelas orientadas

por políticas, porém, ela trata tão somente de como e em que bases o processo ocorrerá, em essência, delineando **trajetórias**⁸.

De acordo com Smil (2010), o significado genérico das transições, como sendo a passagem de uma condição ou ação para outra, é bastante claro e facilmente compreendido. No entanto, ao adicionar o qualificador “energia” a uma transição, sua noção se torna mais complexa, dado que a energia é um conceito em si mesmo difícil de ser definido de maneira intuitiva, abrangendo um universo de estados e processos. Por isso mesmo, as transições energéticas merecem atenção quando analisadas e definidas. O foco deve ser sempre o processo e suas variáveis-chave de mudança, e não somente o que envolve seus estágios iniciais e finais.

Este capítulo está subdividido em duas seções, tendo por objetivo analisar a história da energia pelo mundo e os processos de transformações estruturais que moldaram e construíram os sistemas conhecidos por nós nos dias de hoje. A primeira seção apresenta a literatura que estuda transições energéticas históricas e os elementos de discussão relevantes para se entender o fenômeno. A segunda seção busca identificar o papel de políticas energéticas em transições energéticas históricas, em seus objetivos explícitos e seus condicionantes. De forma geral, a análise histórica visa à identificação de traços fundamentais de transições de sistemas energéticos para que sejam compreensíveis seus limites e dinâmica.

1.1. Trajetórias e as grandes transições

A energia, como descrito, é um objeto complexo de análise e pode ser definida de modo muito geral como algo a se fornecer ou retirar de um sistema material na geração de trabalho (seja transformando o sistema ou deslocando-o). Considerando esta definição e adotando uma referência métrica (calorias, Joules, toneladas equivalentes de petróleo, kWh, etc.), a energia pode ser, então, expressa objetivamente⁹. Desta maneira, a compreensão da história da energia, sobretudo quando analisamos longos períodos, dá-se geralmente pela observância de suas quantidades físicas, a partir da oferta disponível (e.g. reservas, produção) ou do quanto é consumido de energia (e.g. consumo final). No entanto, para transformar o recurso bruto

⁸ Nesta tese utilizaremos de forma intercambiável ‘trajetórias’, ‘trajetórias energéticas’ e ‘trajetórias tecnológicas’ como a materialização de um processo de transição. Isto quer dizer que, enquanto ‘transições’ definem o processo, as trajetórias seriam a realização deste processo com as características específicas, e comumente heterogêneas, no espaço temporal e geográfico em que ocorrem. No Capítulo 3, quando tratarmos do conceito de “trajetórias tecnológicas” da economia evolucionária, daremos ênfase aos desenvolvimentos e incorporação de tecnologias em regimes sociotécnicos, processo que caracteriza as transições energéticas.

⁹ Nesta tese adotaremos sobretudo a medida de trabalho em joules e seus correspondentes (Exa [EJ], Tera [TJ], Yota [YJ]) como medida comum a diversas fontes energéticas. Para determinadas fontes utilizaremos medidas específicas, como é o caso de geração de eletricidade em watt-hora (Kilo [kWh], Mega [MWh], Tera [TWh]).

natural (origem da energia) na sua forma específica em consumo final, um conversor adequado é necessário. Tal conversor é peça indissociável do uso final da energia, sendo o elo fundamental do sistema.

“Para qualquer sociedade humana, portanto, o problema energético é mais comumente um problema de conversores que de fontes: deste ponto de vista, a história da energia é a história dos sistemas de conversores energéticos.”
(HÉMERY et al, 1993, p.20)

A qualidade da energia final conforma a medida da capacidade de um sistema de transformar certos recursos energéticos em outro tipo, porém com relativa degradação devido a perdas de processo. Em ecossistemas naturais, por exemplo, a cadeia alimentar apresenta trocas e transformações energéticas através do processo básico da alimentação das espécies. Por este mesmo motivo, um dos principais e tradicionais conversores para a realização de trabalho e consumo energético é o conversor biológico ou animal, o que inclui a própria força humana. Neste sentido, distinguem-se os conversores energéticos endossomáticos (aqueles de origem biológica) e exossomáticos (técnicas, equipamentos e máquinas) que permitem a realização de trabalho por transformação e uso de fontes diversas de energia (alimentos, biomassa, carvão, recursos hídricos, etc.).

Na evolução histórica da energia, uma característica fundamental que explica o crescimento do consumo de energia pelo homem, dando-lhe vantagem frente ao universo animal, é sua capacidade de definir objetivos e construir meios energéticos para além das limitações endossomáticas de sua condição humana. Para a escala humana, a disponibilidade de fontes energéticas é infinita, surgindo limites apenas no que tange aos conversores disponíveis que possam gerar quantidades excedentes de energia, para a realização de trabalho de forma econômica e adequada aos seus usos finais.

De acordo com a IEA (2019), a oferta de energia primária total no mundo em 2016 foi de aproximadamente 576 EJ, onde 81,1% teve origem de combustíveis fósseis, 4,9% geração nuclear elétrica e 14% em fontes renováveis para usos diversos (eletricidade, aquecimento, biocombustíveis para transporte). A energia terrestre advém iminentemente do Sol, produzindo variadas fontes energéticas, seja por processos de fotossíntese ou mesmo na forma de ventos para a energia eólica. Os fluxos de energia solar na Terra, mesmo descontando 30% do que é refletido por nuvens e pela superfície terrestre, são cerca de quatro ordens de magnitude superiores que a oferta mundial anual (3,8 YJ contra 576 EJ), sendo que apenas uma pequena fração é de fato absorvida (SMIL, 2010). Apesar da grandeza dos fluxos renováveis, sua captação e conversão em forma de energia útil é, em larga medida, limitada. Por este motivo,

fontes de energia fóssil ganham vantagem com seu grande conteúdo calorífico/energético e pela economicidade de sua estocagem e transporte ainda em forma primária.

As trajetórias energéticas seguem o gradual desenvolvimento energético e estruturação de sistemas a partir da adoção de determinados conversores, estabelecendo dinâmica específica em cada localidade. Kander et al (2013), por exemplo, organizam a história da energia na Europa a partir das revoluções industriais e de “blocos de desenvolvimento”¹⁰. Tais blocos caracterizam-se por uma ou mais inovações tecnológicas centrais, promovendo transformações socioeconômicas, com consequentes transformações no cerne energético. Uma vez que estas inovações iniciais ocorrem, um conjunto de processos são necessários para gerar, de fato, impactos socioeconômicos relevantes.

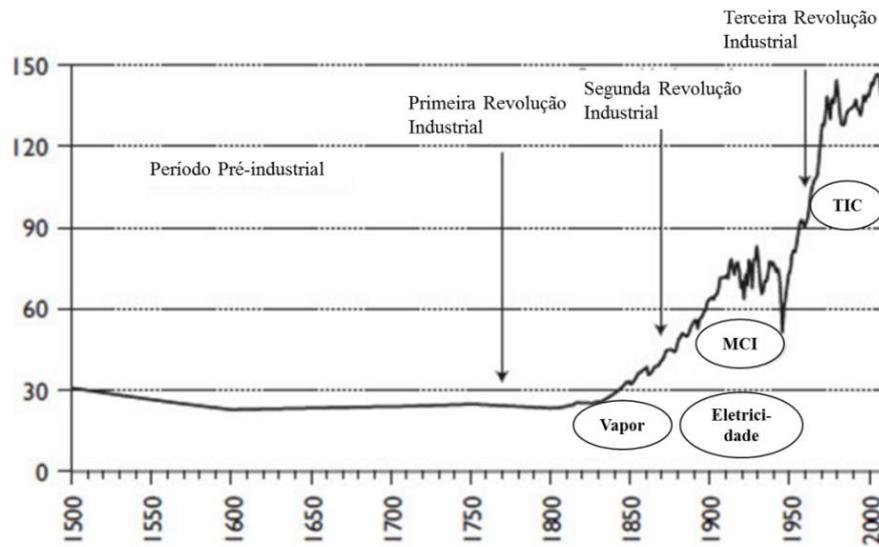
Assim, os autores argumentam que o bloco de desenvolvimento da primeira revolução industrial teria sido o que chamam de ‘**energo-expansivo**’, ou seja, consumidor de quantidades crescentes de energia. Isto se deve à importância da metalurgia e das máquinas a vapor, ampliando enormemente o uso de combustíveis fósseis. A segunda revolução industrial por sua vez, apresentaria dois tipos diferentes de blocos de desenvolvimento:

- (i) um bloco ao redor do petróleo e do sistema vapor/carvão/aço, tendo o mesmo caráter ‘energo-expansivo’ e;
- (ii) outro bloco em torno da eletricidade, aumentando a produtividade energética e sendo marcado por ser ‘**energo-poupador**’, ou seja, tratando-se de um sistema mais eficiente com menor consumo energético.

Para os autores, haveria ainda uma terceira revolução industrial, cujo bloco seria uma continuação do bloco elétrico, sendo ainda mais energo-poupador que o anterior graças às vantagens de eficiência das tecnologias de informação e comunicação (TIC) que marcam o período (Gráfico 1).

¹⁰ Mais detalhes quanto aos “blocos de desenvolvimento” no Capítulo 3.

Gráfico 1 – Consumo final de energia na Europa Ocidental, as três revoluções industriais e quatro blocos de desenvolvimento (1500 – 2000)



Nota: MCI – motor a combustão interna (derivados do petróleo);
TIC – Tecnologias de Informação e Comunicação

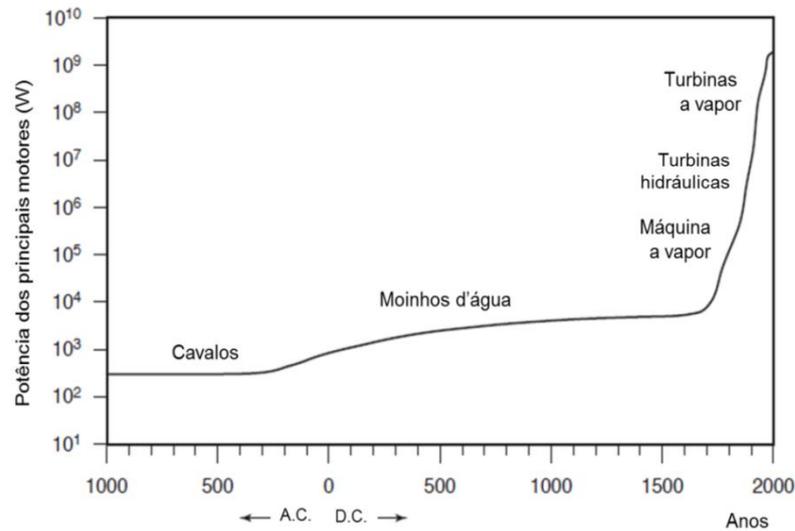
Fonte: Traduzido de Kander et al (2013)

Nesta mesma linha de raciocínio, de acordo com Rifkin (2011), a terceira revolução industrial seria um resultado direto de mudanças nos regimes de energia e TIC, transformando uma variedade de atividades humanas como os transportes (e.g. veículos elétricos) ou a manufatura (e.g. tecnologia de impressão 3D).

Por outro lado, para Smil (2004) haveriam pelo menos quatro grandes transições energéticas razoavelmente definidas ao longo da história. Tais transições estariam associadas a importantes avanços em conversores, que permitiram uma ampliação considerável na potência disponível para exercer trabalho, como mostram os Gráfico 2 e Gráfico 3.

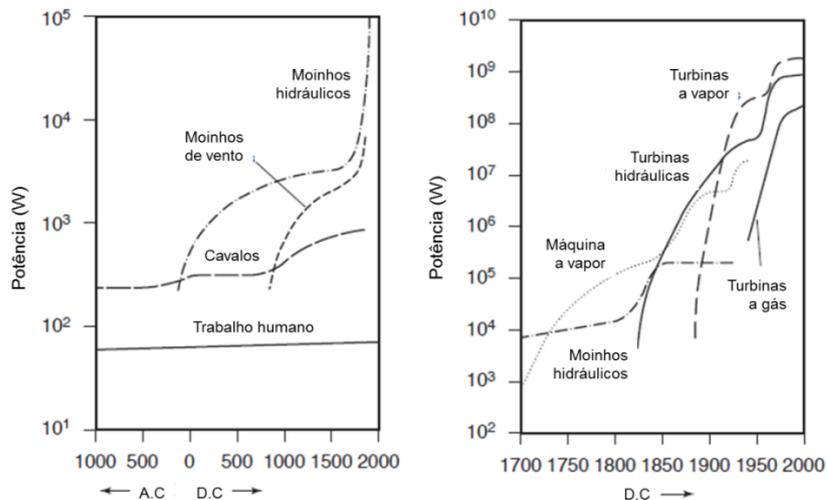
Para o autor, o início da história da energia (o que ele chama de primeira ‘Era da energia’) haveria começado há mais de 300.000 anos, quando a espécie humana (*homo sapiens*) diferencia-se de seus ancestrais (*homo erectus*), e continuando até o início das sociedades estabelecidas há 10.000 anos. Esta Era é marcada pelos fluxos energéticos limitados pelo metabolismo humano e o uso ainda ineficiente do fogo.

Gráfico 2 – Evolução da potência dos principais conversores energéticos (1000 A.C – 2000 D.C)



Fonte: Traduzido de Smil (2004)

Gráfico 3 – Evolução e diferenças em potência dos diversos conversores energéticos ao longo da história



Fonte: Traduzido de Smil (2004)

A primeira grande transição energética teria origem a partir da domesticação dos animais de tração e o melhor aproveitamento do fogo para a produção de metais e outros materiais duráveis, gerando excedentes de energia e caracterizando a formação das sociedades pré-industriais.

A segunda transição surgiria alguns milênios mais tarde, de forma não tão generalizada como a primeira. Esta transição teria origem da substituição do trabalho animal e humano por engenhos inanimados, ou seja, moinhos de água e vento, convertendo fluxos renováveis de energia e elevando potência e eficiência nas atividades (comumente agrícolas).

Por sua vez, a terceira grande transição energética, seria caracterizada pela substituição de equipamentos movidos a força animal por motores, e da substituição da biomassa por combustíveis fósseis. O processo se inicia na Europa e é acompanhado por todas as nações industrializadas ao longo do século XX.

Finalmente, a última transição energética identificada pelo autor, estaria ainda em andamento desde 1882, quando do surgimento das primeiras unidades de geração de eletricidade (movidas a carvão e usinas hidráulicas) na Inglaterra e nos Estados Unidos. Desde então, todas as economias modernas passaram a utilizar essa energia secundária – a eletricidade – que confere flexibilidade e eficiência em seus diversos usos finais. Ainda mais fundamental, outra transição que ocorre em paralelo ao da eletricidade, seria a do crescimento substancial do uso de hidrocarbonetos; primeiro, com o petróleo e, mais tarde, com o gás natural. Vale notar que parcela relevante do consumo de hidrocarbonetos é destinada à própria geração elétrica, adicionalmente à produção por outros conversores como os reatores nucleares (a partir de meados dos anos 1950) e, mais tarde, turbinas eólicas e conversores solares (e.g. células fotovoltaicas).

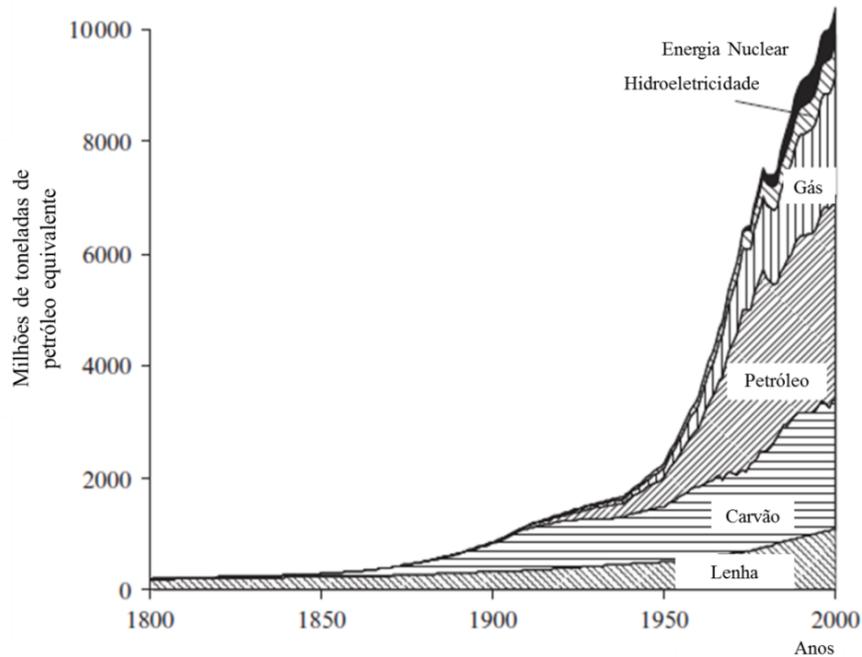
Na literatura de transições, comumente são analisadas as transformações na estrutura de consumo de energia primária a partir de sua composição percentual, ou seja, da mudança de participação de cada fonte medida em termos de consumo energético (Joules, equivalentes de petróleo ou carvão, watts, etc). Fouquet (2016), por exemplo, define que um período de transição é aquele quando determinado energético inicia com 5% de participação e atinge 80% do consumo de determinado serviço energético. Se o energético não atingir 80%, o autor considera o ápice da transição como o momento de seu pico de consumo.

No entanto, é preciso ressaltar, que a história das transições é marcada não pela substituição de conversores, mas na realidade pelo seu caráter aditivo, ou seja, com o consumo em escala superior de determinada fonte frente às demais. Este fato, evidencia o erro de perspectiva comum quando se analisa transições em termos absolutos e relativos. Por exemplo, em termos globais, a madeira nunca deixou de ser utilizada, mesmo depois do advento do uso intensivo do carvão, e o mesmo carvão não fora eliminado pelo posterior consumo dos derivados de petróleo (FOUQUET, 2009; FRESSOZ, 2014).

Este tipo de processo aditivo tornou-se mais evidente quando do consumo crescente de fontes energéticas exossomáticas, que ampliam as possibilidades e escala do uso da energia. Portanto, a história da energia foi marcada pela penetração de sucessivos novos conversores que adicionam quantidades crescentes de energia, com a manutenção ou redução percentual do consumo das demais fontes tradicionais. O Gráfico 4 demonstra que, desde o século XIX, houve

um crescimento exponencial do consumo de energia primária no mundo e a penetração de novos conversores, sem que houvesse necessariamente a redução do consumo dos demais.

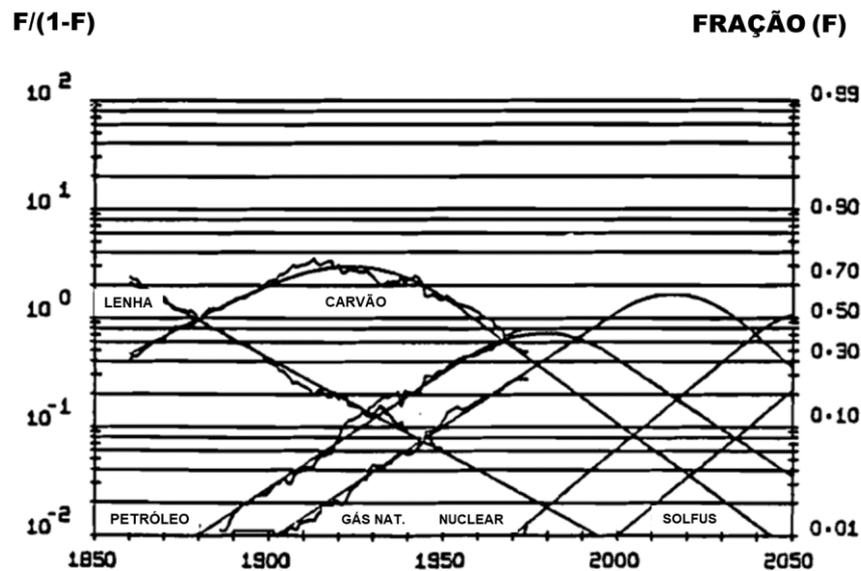
Gráfico 4 – Evolução do consumo de energia primária no mundo (1800–2000)



Fonte: Traduzido de Fouquet (2009)

Marchetti e Nakicenovic (1979) buscaram um modelo geral de penetração tecnológica que permitisse a inferência quanto ao futuro energético e quanto às transições. Aplicando o modelo Fisher-Pry, descreveram o que seria o processo de substituição de fontes de energia primária. Na teoria, cada tecnologia sofre três fases de substituição distintas: (i) crescimento; (ii) saturação; e (iii) declínio. Este modelo utiliza a função logística de dois parâmetros para descrever processos de substituição competitiva, onde se pressupõe que uma nova tecnologia ganha participação no mercado (f) sobre uma tecnologia tradicional ($1 - f$) e, ao atingir certo nível de participação, prossegue ao longo de uma curva de substituição logística ($f / 1 - f$). O Gráfico 5 apresenta o ajuste do modelo de Marchetti e Nakicenovic a dados históricos (*fitting curves*) e sua projeção determinística do futuro até 2050.

Gráfico 5 – Curva Fisher-Pry de transição da matriz de energia primária mundial



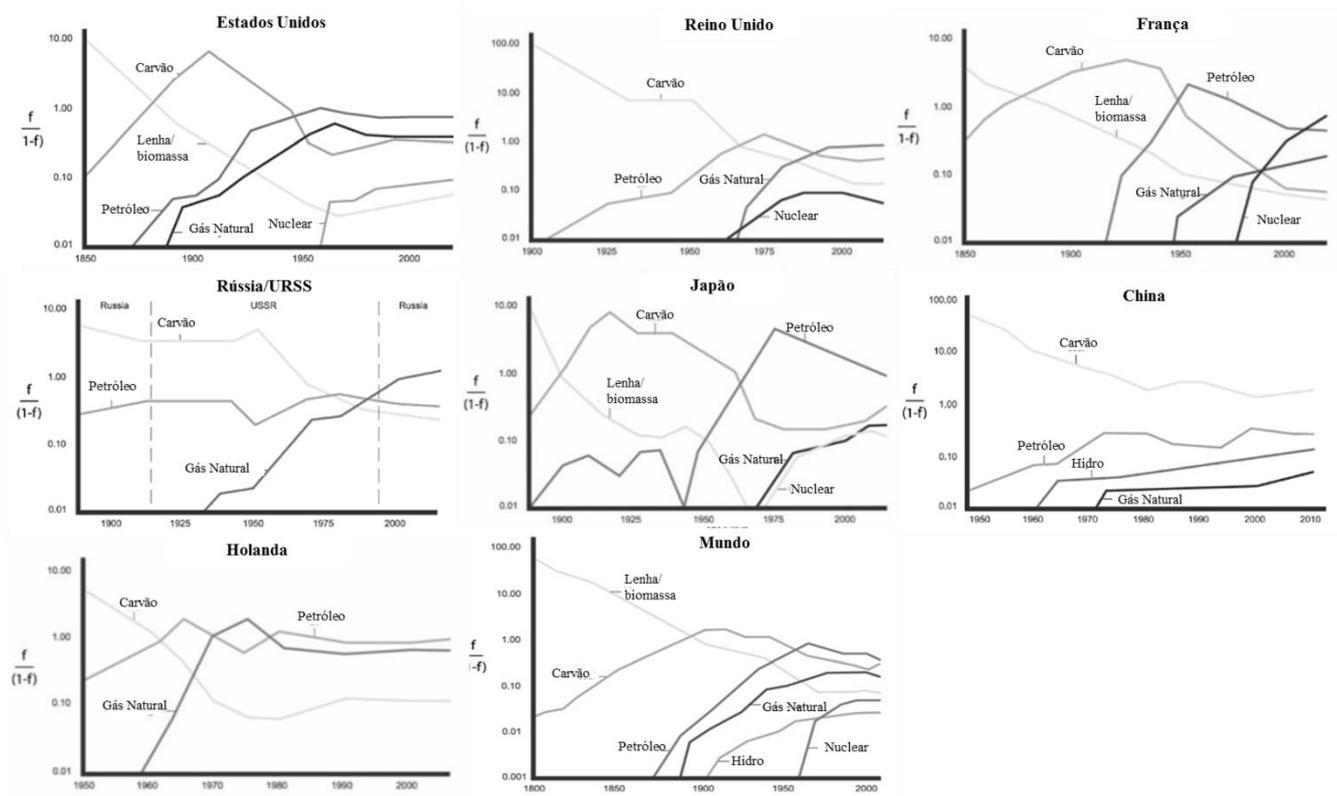
Nota: SOLFUS refere-se às fontes solar e fusão nuclear.

Fonte: MARCHETTI & NAKICENOVIC (1979)

Smil (2010) critica o determinismo energético deste modelo, pois este despreza fatores externos à dinâmica tecnológica como os influenciados por decisões e ações humanas. Curiosamente, serão justamente fatores externos que afetarão drasticamente a dinâmica energética na década de 1970 (em especial pelos choques do petróleo) e anos posteriores. Smil utiliza o modelo Fisher-Pry para o mundo e em sete países relevantes sob o ponto de vista energético (Gráfico 6). Realizando uma análise individual de cada país, o autor apresenta suas diferenças de trajetórias energéticas para contextos distintos, questionando o argumento de que o destino energético seria predeterminado e alheio a guerras, oscilações de preços e disponibilidade de recursos.

Transformações de sistemas energéticos levam tempo e normalmente são seguidas de transições longas e inerciais. A estrutura da sociedade, o uso e a disponibilidade de fontes energéticas ditam o comportamento de sistemas energéticos, seja na penúria ou na abundância, na prosperidade ou na recessão.

Gráfico 6 – Curvas Fisher-Pry de transições de energia primária no mundo e em países selecionados.



Fonte: Traduzido de Smil (2010)

Portanto, a análise dos fatores e condicionantes históricos é fundamental para se entender não apenas o surgimento dos conversores, mas também os motivos e velocidade pela qual são adotados.

1.2. A energia em retrospectiva: Origens e evolução

1.2.1. Os primeiros conversores

Hémery et al (1993) descrevem e problematizam a história da energia como parte indissociável da evolução das sociedades humanas, seja pela sua organização econômica (e.g. regimes feudais agrários, capitalismo industrial), seja pelas suas condições ambientais (e.g. disponibilidade de comida e recursos naturais exploráveis). Os autores não deixam de dar especial atenção à evolução de conversores ao longo do tempo, dando sentido às diferenças entre sociedades na história. É o caso do papel do fogo como elemento central da Pré-História onde, a partir da lenha, foi possível dominá-lo e, junto a ele, criar relações sociais pelo compartilhamento e relacionamento ao redor de fogueiras.

No entanto, neste período ainda é o próprio corpo humano que será o único conversor polivalente para a produção e reprodução das mais básicas necessidades da vida humana. Cerca

de 12.500 anos atrás, a revolução neolítica marcou a passagem do sistema caça/coleta ao sistema agricultura/pecuária. É a partir do controle dos conversores biológicos que se inicia a expansão demográfica da humanidade. Assim, o conceito de revolução neolítica trata também do domínio energético-alimentar do homem.

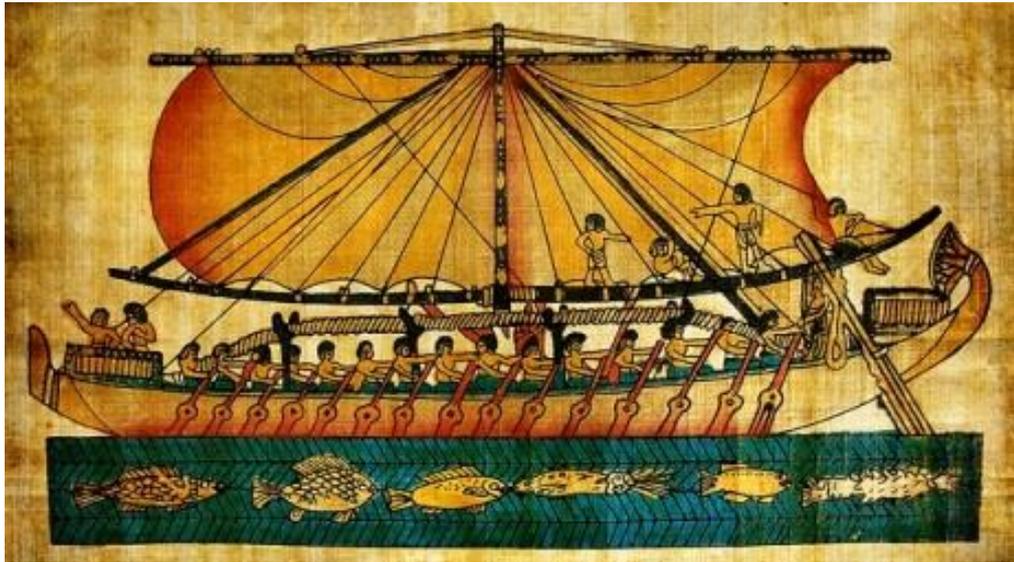
Já na Antiguidade (de 4.000-3.000 a.C. até a queda do Império Romano do Ocidente em 476 d.C.), sistemas de irrigação permitiram uma melhor utilização da terra para plantio. A água é, portanto, um fator dominante na organização das sociedades próximas a rios.

No Egito Antigo, a agricultura de submersão (a partir de inundação) era predominante, permitindo abundância nas colheitas e, por conseguinte, desenvolvimento demográfico. Assim, a regularização do Nilo era vista como um dos principais fatores de desenvolvimento na região. O império se sustentava sob o trabalho humano e qualquer ruptura nesse sistema político e energético se traduzia em fome e desestabilização do império. Com o aperfeiçoamento e a manutenção do uso da água, gerava-se prosperidade (mais riqueza, crescimento populacional, construções). Neste sentido, *“a chave da estabilidade do sistema energético é a estabilidade política do Estado centralizado egípcio ou da cidade-Estado mesopotâmica”* (HÉMERY et al, 1993, p.51).

A domesticação dos animais para tração e carga torna-se um processo inovador na produção de cereais, tendo como aliado na ampliação da capacidade de carga a posterior invenção da roda. O uso da água e do vento nos transportes promovem avanços consideráveis na navegação, tendo consequências de longo prazo. É pela água que os rios Tigre e Eufrates interligam Norte e Sul das cidades no interior da Mesopotâmia. Sua constância e sentido irão delinear a dinâmica das trocas e a assimetria das relações entre sociedades. A navegação ampliava as relações entre as diversas sociedades, não somente pelo comércio, mas também pela guerra. O transporte marítimo apresentava custos menores que por terra, o que levava a ser a melhor opção para o transporte de grãos às províncias mais distantes.

Como é ilustrado na Figura 1, a navegação é um bom exemplo do domínio da energia, onde diversos conversores estão aliados: (i) à energia metabólica humana (a partir dos remadores); (ii) à força da correnteza da água; e (iii) à captação do impulso dos ventos pelas velas.

Figura 1 – Navegação egípcia e o controle dos conversores de energia



Fonte: HISTORY¹¹

Na Idade Média (séculos V a XV) ocorreram alterações profundas na obtenção e uso de energia com o uso mais intensivo de animais e recursos naturais, multiplicando o trabalho que seria realizado via energia humana. Quem tinha o controle da energia motriz de máquinas e animais detinha vantagens econômicas e mesmo políticas.

Com o avanço do uso de rotação de culturas, das tecnologias de tração a cavalo (arreio e ferraduras) e arado de ferro, aumentou-se o rendimento agrícola, gerando excedentes energéticos e impulsionando o crescimento demográfico. Porém, não é só pelo progresso e uso mais intensivo do solo que a expansão demográfica europeia se baseou. A Idade Média foi marcada por grandes desmatamentos (meados do século XI e fim do XIII), onde a madeira era não só produto essencial para todo tipo de construção (habitação, fabricação de ferramentas, navios, etc.), mas também para o uso da lenha e carvão vegetal no aquecimento das cidades e uso em forjas. Porém, a exploração florestal não visava apenas ao uso da madeira, mas também a abertura de áreas de pasto para criação pecuária. Assim, surgem as primeiras estratégias de administração de Estado em defesa dos espaços florestais no fim do século XIII.

No século X, os moinhos de grãos se espalhavam pela Europa e continuaram a exercer papel fundamental ainda no século XIX. A revolução dos moinhos hidráulicos é marcante, podendo ser considerada a “revolução industrial” da Idade Média. Ela irá desenhar a organização da sociedade guiada pela geografia de rios e ribeirões. A variedade de aplicações e de seus sentidos (vertical e horizontal), marcam os limites técnicos para a manufatura. Ao mesmo

¹¹ Disponível em: < <https://seuhistory.com/noticias/hieroglifos-egipcios-sao-encontrados-na-australia> >. Acesso em 30/04/2017.

tempo em que impulsionam a produção, trazem certas irregularidades no processo produtivo, devido aos fluxos hidráulicos variáveis.

Entretanto, nem por isso a instalação de moinhos anexos aos rios deixou de se proliferar ao longo dos séculos. Quem os financiava, controlava e se apropriava desses conversores, estruturando assim o domínio de grupos sociais da época. Quando já se tornava difícil ou inviável a exploração de recursos hidráulicos, existiam ainda os moinhos de vento. Inicialmente utilizados como complemento, os moinhos eólicos tiveram uma importante expansão na Europa, dado que diferentemente das outras fontes (terra, floresta e água), o vento não tinha proprietário. Apesar de serem instalados frequentemente em terras servis (i.e. fora daquelas dos senhores feudais), os moinhos de vento eram, em sua maioria, instalados próximos às cidades.

Os avanços da metalurgia foram consideráveis quando da aplicação de rodas hidráulicas nas forjas e o aumento da potência dos sopradores, permitindo maior refinamento metálico. As necessidades impostas por esta atividade irão nortear a localização e a dinâmica das forjas, seja buscando rios para energia mecânica, seja explorando a lenha na obtenção de energia térmica.

Os transportes serão um dos fatores fundamentais para entender a sociedade feudal, com o objetivo de poupar custos energéticos. Conjuntos de população vão buscar o mar ou rios para se instalar próximo a áreas agrícolas, tanto para abastecimento alimentar, quanto por questões de custo de transporte para o comércio.

Além dos desenvolvimentos energéticos descritos, Hémerly et al (1993) também analisam o interessante caso chinês. Sua estrutura energética baseou-se na lógica da energia biológica e humana, mesmo na época em que o Ocidente já desenvolvia novas técnicas de uso da energia com a primeira revolução industrial. A demografia chinesa seguia de perto a dinâmica e disponibilidade de alimentos. Para além dos avanços nos rendimentos dos grãos, os autores ainda destacam os avanços técnicos que permitiram a penetração de outros conversores, como é o caso do uso da energia hidráulica. Ressaltam, ainda, a diversidade energética presente ao longo da história chinesa como a do transporte fluvial e marítimo (sendo fundamental ao suprimento dos cereais às capitais) e do uso precoce do carvão vegetal para aquecimento e metalurgia. No entanto, apesar da diversidade de conversores, estes não chegam a alterar a base do sistema energético humano-alimentar chinês, e assim da organização marcadamente agrícola da civilização chinesa.

Neste contexto fica claro que há de se ter em conta a existência de fatores específicos a cada sociedade, que determinarão quais os conversores dominantes e melhor adaptados às necessidades locais.

1.2.2. A Revolução Industrial e a dominância do carvão

Se por um lado, as revoluções agrícolas neolíticas e da Idade Média permitiram intensificar a produtividade e, portanto, permitiram o progresso humano e crescimento demográfico; por outro a chamada Revolução Industrial permitiu a remoção das restrições inerentes a natureza da terra, levando a intensificação do uso de fontes de energia não agrícolas, acelerando substancialmente o desenvolvimento das atividades humanas (FOUQUET, 2009).

A Revolução Industrial trata do rompimento de uma sociedade agrária e manufatureira para uma dominada pela indústria e pela manufatura por máquinas, dando origem à economia moderna. Comumente, ela é associada ao desenvolvimento vigoroso da indústria têxtil inglesa (na segunda metade do século XVIII); no entanto, experiências proto-industriais já eram observadas na Europa continental à época.

De acordo com Landes ([1969] 2003), são três os grandes avanços que se inter-relacionam na Revolução Industrial de origem inglesa:

- (i) substituição de habilidades humanas por dispositivos mecânicos;
- (ii) o uso de energia inanimada, em particular a do vapor, substituindo a força humana e animal; e
- (iii) uma notável melhoria na obtenção e tratamento das matérias-primas, especialmente nas atividades das indústrias metalúrgicas e químicas.

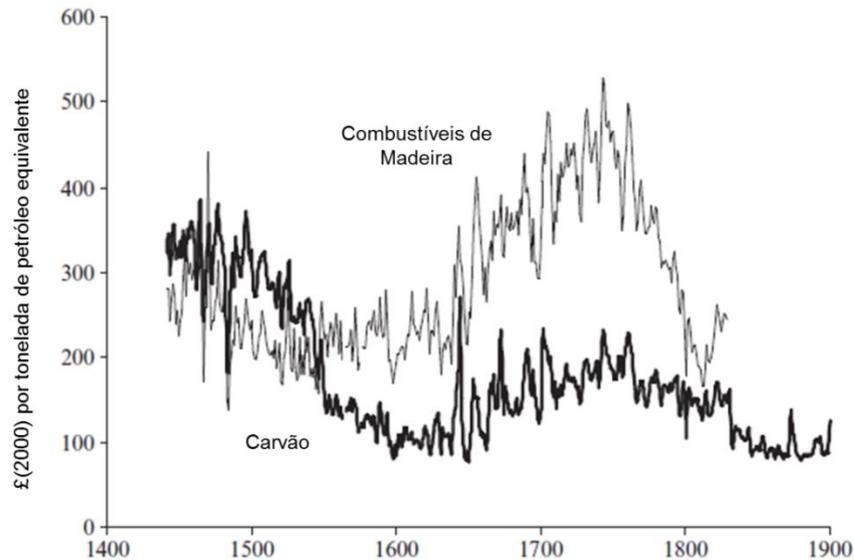
O pioneirismo britânico tem origem de quatro elementos essenciais que permitiram o processo de industrialização: (i) disponibilidade de capital; (ii) recursos naturais; (iii) ampliação de mercados; e (iv) transformação agrária. Com a ampliação da escala produtiva, as fábricas passam a ser entendidas como as unidades fundamentais do capitalismo industrial que se organizava. As atividades passam a ser cada vez mais consumidoras de energia, em especial consumindo carvão, que tem sua produção aperfeiçoada ao longo do período e seus custos de extração reduzidos.

O traço central da Revolução Industrial é a forma sustentada e cumulativa que ela possibilitou inovações nos ramos têxtil, aço, ferro, na química, em máquinas a vapor e transporte por trilhos (LANDES, [1969] 2003). Estas transformações se apresentam também como respostas aos desafios da constante escassez de energia, de terras e de recursos da Idade Média. Apesar da grande indústria ter surgido a partir dos antigos conversores (onde o moinho era o conversor industrial por excelência), diante dos limites da força hidráulica, a máquina a vapor pôde difundir-se para além de sua aplicação nas próprias minas de carvão.

Na Inglaterra, o carvão tinha a vantagem de ter um preço relativamente baixo na boca da mina e de baixo custo de transporte por via marítima, o que permitiu ampliar seu consumo industrial e para aquecimento, especialmente nos centros urbanos. Na Europa, principalmente

a partir do século XIX, o carvão terá um papel fundamental no desenvolvimento e ampliação do transporte terrestre pelas vias férreas, que também eram movidas pelo energético. A lenha, em vezes escassa e cara, era produzida cada vez mais longe do mar e, portanto, transportada por via terrestre de forma crescentemente dispendiosa (Gráfico7).

Gráfico 7 – Diferença de preços do carvão e dos combustíveis de madeira no Reino Unido (1400 - 1900)

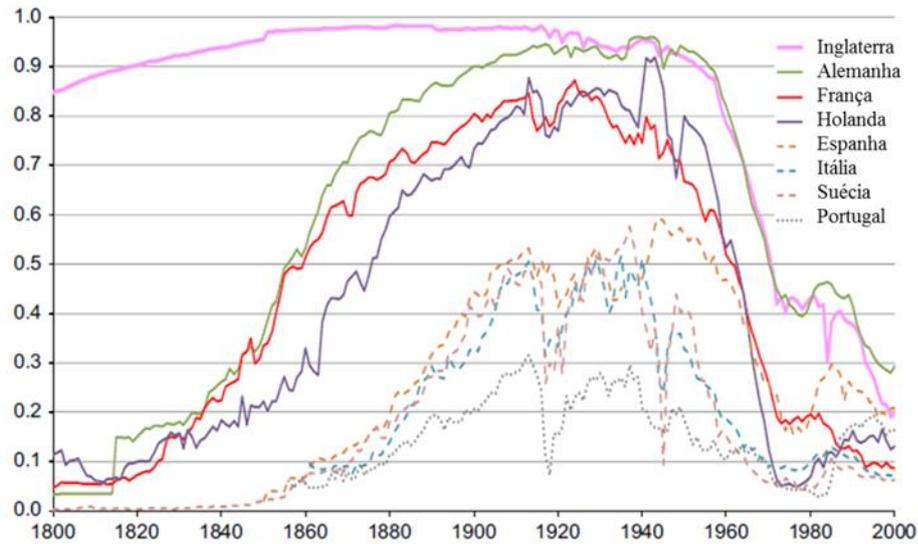


Nota: Combustíveis de madeira (do inglês *woodfuels*) incluem lenha e carvão vegetal.

Fonte: Traduzido de Fouquet (2009)

Kander et al (2013) avaliam a penetração e ritmos diferenciados do consumo do carvão entre as economias europeias ocidentais, distinguindo o Reino Unido e dois grupos de países “retardatários” relativamente à Revolução Industrial inglesa (Gráfico 8). A Inglaterra já se caracterizava por ter uma economia baseada no carvão antes mesmo de 1800; portanto, tendo uma transição precoce e prolongada.

Gráfico 8 – Evolução da participação do carvão no consumo de energia primária na Europa (1800 - 2000)



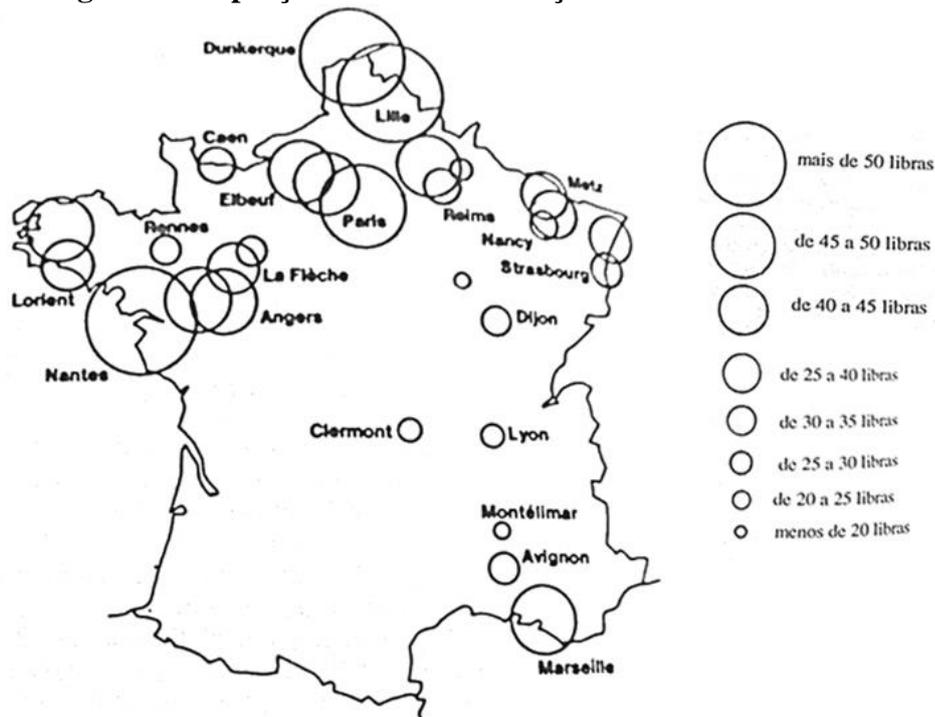
Fonte: Traduzido de Grubler (2012) com dados de Kander et al (2013)

O primeiro grupo de países retardatários apresenta uma tendência ascendente no consumo de carvão. No princípio, esta tendência é lenta e depois acelerada em meados do século XIX. Este grupo inclui a França, Alemanha e Holanda. Com uma dinâmica muito menos acelerada, Itália, Espanha, Portugal e Suécia compõem o segundo grupo analisado. Apenas quando o navio a vapor e as ferrovias trouxeram carvão a preços baixos é que esses últimos começaram uma trajetória em direção ao consumo do carvão. O desenvolvimento limitado da infraestrutura significava que o uso do carvão permanecia bastante restrito, em particular, próximo aos portos e para usos industriais específicos.

Se comparamos o processo de industrialização francês com o inglês, desde o início do século XV, a França já apresentava falta de lenha. Com a ampliação da produção para o mercado internacional e o crescente consumo interno, surgiram problemas quanto à disponibilidade do combustível.

O carvão mineral não era desconhecido pelos franceses, mas era pouco utilizado, e as instalações hidráulicas eram mais comuns para a indústria francesa. Assim, a causa determinante pela não adoção inicial do carvão, não foi sua indisponibilidade, mas o custo elevado de seu transporte ao longo do território francês, comumente por vias terrestres.

Figura 2 – O preço da lenha na França no fim do século XVIII



Fonte: Hémerly et al (1993)

O carvão inglês, por outro lado, beneficiava-se de custos muito baixos de transporte marítimo, passando posteriormente a ser consumido na maioria dos portos franceses. Neste sentido, não seria o esgotamento das florestas que teria causado o declínio do consumo da lenha na França, mas a elevação de seus custos de produção e de transporte (Figura 2) quando comparados aos do carvão, sobretudo depois da redução dos custos do transporte ferroviário. Paradoxalmente, dada a redução dos custos de transporte a partir do consumo do carvão, o uso da energia hidráulica pôde ser ampliado em conjunto ao processo de interiorização produtiva que as linhas férreas permitiram ao longo do continente europeu.

Em se tratando de concorrência inter-energética, o carvão apresentava vantagens pela sua abundância e pelo maior controle quanto ao fluxo de consumo (via formação de estoques). A energia eólica que era utilizada na navegação, por exemplo, era ilimitada em termos de disponibilidade, mas limitada em força e direção, variando de acordo com as condições climáticas e geográficas. O mesmo ocorre com as variações de vazões e fluxos de rios para os aproveitamentos hidráulicos, afetando a disponibilidade de força e eficiência das atividades dependentes desta fonte de energia. Neste contexto, entre as características fundamentais que irão dar aos combustíveis fósseis larga vantagem frente aos seus concorrentes biológicos (força humana e animal) e renováveis (força hidráulica e eólica) estão seu elevado conteúdo energético, transporte a custos razoáveis e capacidade de estocagem, que permitem maior controle, constância e potência para a realização de atividades industriais. Estes fatores

definirão a estruturação de cadeias industriais e de transportes, a criação e ampliação de mercados, além do desenvolvimento urbano e a geração de excedentes econômicos fundamentais para a consolidação do capitalismo industrial.

Importante ressaltar que apesar do consumo exponencial do carvão no século XIX, marcando o que seria a “sua” transição, na realidade ao longo do século o combustível dominante ainda era a biomassa. Em termos mundiais, o carvão chegará a ter uma participação relativa de cerca de 50% no total do consumo energético somente no final do século (SMIL, 2010).

1.2.3. O avanço e a dependência por hidrocarbonetos

Com sistemas a vapor, os transportes, seja aquaviário ou ferroviário, avançaram de forma significativa na integração de mercados com custos cadentes na Europa. No entanto, apesar de suas vantagens, o carvão ocupava parte importante da capacidade total de transporte dos navios e trens, especialmente no princípio de sua utilização pela menor eficiência das máquinas, resultando em um consumo extensivo.

A liderança inglesa no mercado do carvão se mantém até o início do séc. XX. Após esse período, Alemanha e Estados Unidos começam a exportar o recurso, e com a Primeira Guerra Mundial, o mercado se altera com a participação de outros países, como Índia, Austrália e África do Sul (sob controle inglês) também exportando o combustível (Hémery et al, 1993).

O desenvolvimento da iluminação artificial também relaciona-se com o desenvolvimento do mercado de carvão. A iluminação artificial propiciou a extensão de atividades ao longo do dia: primeiro, impactando a produtividade na indústria e, depois, a rotina das cidades. O carvão vegetal e a hulha também contribuíram nesta forma de serviço energético. No entanto, será o uso do querosene (subproduto do petróleo) que iniciará uma nova e importante concorrência interenergética. Assim, surgirá o petróleo como concorrente e complemento do gás de iluminação, substituindo óleos iluminantes de origem vegetal e animal, com preços competitivos e razoável disponibilidade em meados do século XIX.

The group thought that the rock oil¹² could be exploited in far larger quantities and processed into a fluid that could be burned as an illuminant in lamps. This new illuminant, they were sure, would be highly competitive with the ‘coal-oils’ that were winning markets in the 1850s. In short, they believed that, if they could obtain it in sufficient quantities, they could bring to market the inexpensive, high-quality illuminant that mid-nineteenth-century man so desperately needed. (YERGIN, 1990, p.19)

¹² O petróleo foi, inicialmente, chamado de “rock oil”, na busca por distinguí-lo dos demais óleos vegetais, animais e do carvão.

Yergin (1990) descreve, em obra célebre, o nascimento da indústria do petróleo nos Estados Unidos e sua posterior consolidação no mundo ao longo do século XIX e XX. Figuras como John D. Rockefeller marcam a história dessa indústria, buscando dominar a cadeia de transportes americana de petróleo (ferrovias e oleodutos) para, assim, conquistar a indústria de forma ampla. Sua companhia, *Standard Oil*, ganha tamanho e se internacionaliza, dominando o mercado mundial. Em 1900, já dominava mais da metade das vendas de petróleo no mundo. Posteriormente, com uma estratégia de produção geograficamente dispersa, outras empresas, como a *Royal Dutch Shell* (hoje conhecida como *Shell*) entram no mercado, obtendo vantagens no transporte do iluminante.

Por um longo período, os Estados Unidos dominaram o fornecimento de petróleo ao mundo, mas outros concorrentes surgiram do Oriente Médio, da América Latina e de outras partes do mundo. Interessante notar que, na América Latina, as primeiras descobertas de petróleo combinadas com o baixo desenvolvimento econômico fizeram com que o carvão jamais estabelecesse um papel predominante na região. Assim, a maioria dos países passou a consumir diretamente o petróleo (RUBIO et al., 2010).

Depois de 1890, a indústria do petróleo se transformou para atender novas demandas de gasolina, óleo combustível e lubrificantes, mudando a geografia do fornecimento de energia no mundo. Países com reservas importantes de carvão não necessariamente terão reservas de petróleo viáveis, como é o caso do Reino Unido e Alemanha, maiores países produtores de carvão à época. Nesse sentido, diferentemente do carvão, era menos comum que a localização geográfica da produção e consumo de petróleo fosse realizada nas proximidades locais.

A Tabela 1 apresenta a evolução e diversificação geográfica da produção de petróleo ao longo dos anos.

**Tabela 1 - Produção mundial de petróleo cru (1860 - 1945)
- mil barris por dia -**

Ano	Estados Unidos	México	Venezuela	Rússia/ União Soviética	Romênia	Índias Orientais	Pérsia/ Irã	Outros	Total
1865	6,8			0,2	0,1			0,3	7,4
1875	32,8			1,9	0,3			1,1	36,1
1885	59,9			38,2	0,5			2,2	100,8
1895	144,9			126,4	1,6	3,3		7,9	284,1
1905	369,1	0,7		150,6	12,1	21,5		35,3	589,3
1915	770,1	90,2		187,8	33,0	33,7	9,9	58,9	1.183,6
1925	2.092,4	316,5	53,9	143,7	45,6	70,4	93,3	112,8	2.928,6
1935	2.730,4	110,2	406,2	499,7	169,2	144,4	156,9	317,0	4.534,0
1945	4.694,9	119,3	885,4	408,1	95,3	26,6	357,6	521,6	7.108,8

Nota: Índias Orientais inclui Indonésia, Sarawak e Brunei.

Fonte: YERGIN (1990)

Será com o desenvolvimento de motores a combustão interna (MCI) e, em especial, durante a Primeira Guerra Mundial (1914-1918), que o petróleo, de fato, ganha sua importância estratégica, sendo utilizado como combustível para transportes terrestres, marítimos e aéreos. Os MCI tinham maior rendimento que as caldeiras a vapor, sendo mais leves e com maior autonomia. Assim, a gasolina passou de um rejeito de óleo iluminante, para um dos principais subprodutos petrolíferos automobilístico. A mesma importância pode se dar à invenção do motor diesel.

A movimentação do petróleo em grandes petroleiros e gasodutos reduziram rapidamente a necessidade de produção próxima ao consumo e, pela sua heterogeneidade de custos de produção, tornou-se possível a obtenção de elevadas rendas em seu comércio. É neste contexto de distanciamento e da geração de rendas que, para diversos economistas, descobertas de grandes reservatórios de hidrocarbonetos (ou outras reservas minerais) poderiam gerar efeitos negativos sobre o desenvolvimento econômico de países exportadores, encorajando a dependência por rendas extraordinárias geradas por recursos exauríveis, reduzindo investimentos em outros setores da economia e fragilizando instituições (chamada tese da ‘maldição dos recursos naturais’¹³). Na Europa, a primeira fase de expansão do consumo de petróleo ocorreu no período do entre-guerras, quando o energético atingiu 10% do total do consumo primário. Ainda assim, é apenas após a Segunda Guerra Mundial que seu consumo cresce exponencialmente. Interessante destacar que períodos de transição energética podem ocorrer de forma extremamente rápida, a depender do contexto que cada país se insere. É o caso, por exemplo, da Alemanha nazista que, pela escassez e falta de acesso ao petróleo, buscou formas alternativas de abastecer sua economia de guerra.

A indústria de combustíveis sintéticos desenvolveu-se em paralelo a Segunda Guerra Mundial (1939 a 1945). Nessa indústria, surgiram novas tecnologias de produção, melhores catalisadores, maior qualidade de produtos e a capacidade de utilização de uma variedade muito maior de tipos de carvão como matéria-prima. Durante a guerra, os combustíveis sintéticos chegaram a representar mais da metade da produção total de petróleo da Alemanha (Tabela 2), chegando a representar 92% do consumo de seus aviões. A maioria dos combustíveis sintéticos foi produzida por processos de hidrogenação e Fischer-Tropsch do carvão, mas também utilizou álcool, benzeno e produtos da destilação do alcatrão. A queda da produção no final da

¹³ Esta tese inclui sintomas de desindustrialização ou “doença holandesa” (ver CORDEN; NEARY, 1982) e/ou baixo crescimento e fragilidade institucional (ver SACHS; WARNER, 1995).

guerra refletiu a campanha de bombardeio dos Aliados nas plantas produtoras desses combustíveis, sendo fundamental para a derrocada do regime nazista alemão (YERGIN, 1990).

**Tabela 2 – Oferta de petróleo na Alemanha (1938 - 1945)
- barris por dia -**

Ano	Combustível Sintético	Outros	Total	Participação Sintético
1939	47.574	121.973	169.547	28,1%
1941	89.007	119.614	208.621	42,7%
1943	124.299	112.865	237.164	52,4%
1944				
<i>Q1</i>	131.666	100.782	232.448	56,6%
<i>Q2</i>	107.120	66.862	173.982	61,6%
<i>Q3</i>	48.473	40.245	88.718	54,6%
<i>Q4</i>	43.240	36.455	79.695	54,3%
1945				
<i>Q1</i>	5.437	17.726	23.163	23,5%

Fonte: YERGIN (1990)

Como qualquer sistema tecnológico emergente, o petróleo foi fortemente subsidiado, em especial no que concerne sua infraestrutura. Os fundos do Programa de Recuperação Europeia (plano *Marshall*) do pós-guerra foram utilizados para a construção de refinarias e de geradores elétricos a óleo, e subsidiaram mais da metade do petróleo fornecido à Europa naquela década (FREZZOZ, 2014). Neste sentido, a liderança americana no setor marcava seu posicionamento geopolítico, nutrindo o mundo com o energético e reforçando sua posição de potência.

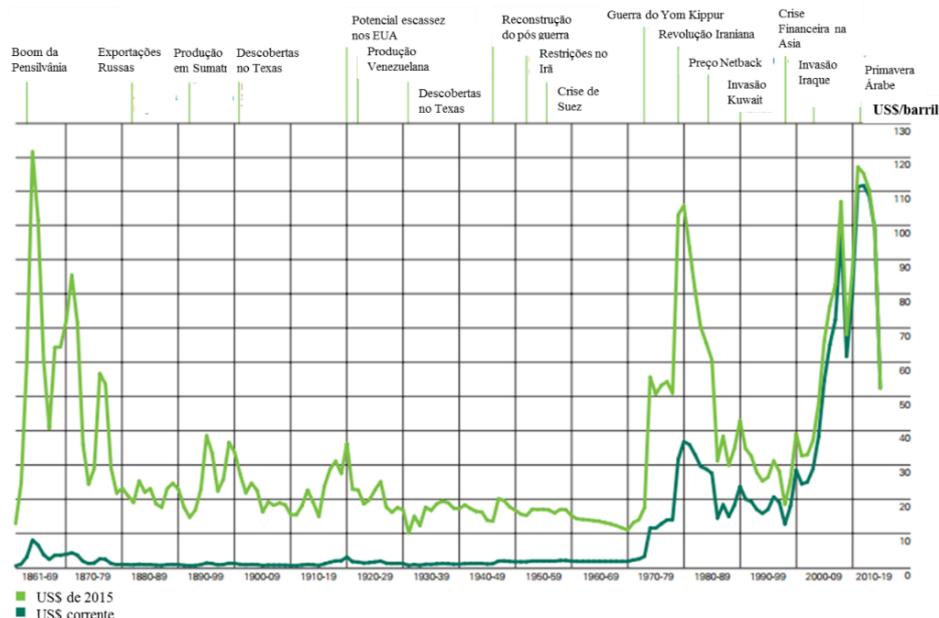
No início dos anos 1970, apesar de ser o maior produtor de petróleo do mundo, o consumo dos Estados Unidos superou sua oferta interna, resultando em uma exposição à volatilidade de preços e marcando o início de sua crônica dependência externa ao petróleo. Na década anterior, países com grande produção de petróleo já haviam se reunido para formar um

contraponto às grandes empresas que dominavam o mercado (as chamadas “Sete Irmãs”¹⁴), surgindo, assim, a Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP)¹⁵.

Em 1973, em decorrência da guerra de Yom Kippur (conflito entre o mundo árabe e Israel, que era apoiado pelo Ocidente), ocorre o embargo às exportações de petróleo aos Estados Unidos, Europa e Japão gerando o primeiro choque dos preços do petróleo. Os preços quadruplicam de US\$ 3,00 para US\$ 12,00 por barril. Em 1979, durante a crise política no Irã (que desorganizara o setor de produção iraniano) e seu conflito com o Iraque, ocorre um novo choque com aumento acentuado de preços, aumentando de US\$ 13,00 para US\$ 34,00 por barril (YERGIN, 1990).

O Gráfico 9 apresenta como os dois choques do petróleo foram disruptivos com relação aos preços observados desde o começo do século; preços estes particularmente baixos devido a organização da produção por grandes empresas internacionais.

Gráfico 9 – Evolução dos preços internacionais do petróleo cru e eventos marcantes na indústria do petróleo mundial (1861 - 2015)



Nota: preços do petróleo referem-se a média americana (1861- 1944); Arabian Light - Ras Tanura (1945-1983) e Brent Dated (1984-2014).

Fonte: Traduzido de BP (2016)

¹⁴ Enrico Mattei, diretor da companhia italiana de petróleo Agip-ENI, cunhou o termo “Sete Irmãos do Petróleo” referindo-se às maiores companhias de petróleo mundiais, que dominavam o mercado internacional até os anos 1960, antes da criação da OPEP. São elas: Anglo-Iranian Oil Company (hoje BP); Gulf Oil (hoje Chevron); Royal Dutch Shell (hoje Shell); Standard Oil Company da Califórnia (hoje Chevron); Standard Oil Company de Nova Jersey (hoje Exxon); Standard Oil Company de Nova York (hoje Exxon); Texaco (hoje Chevron).

¹⁵Os cinco membros fundadores em 1960: Irã, Iraque, Kuwait, Arábia Saudita e Venezuela. Posteriormente acompanhados por nove outros: Qatar (1961), Indonésia (1962), Líbia (1962), Emirados Árabes Unidos (1967), Argélia (1969), Nigéria (1971), Equador (1973), Angola (2007) e Gabão (1975). Ao longo dos anos, alguns foram suspensos e retornaram à organização. Hoje, apenas a Indonésia está suspensa da lista (desde 2016).

Segundo dados do Banco Mundial, na década de 1960, o PIB mundial crescia a taxas de 4 a 6% a.a., enquanto que, nos anos de choques do petróleo da década seguinte, essas taxas caíram para 1 e 2% a.a.. Nos Estados Unidos, geraram anos de recessão, com queda do PIB americano de -0,1% a -2%.

O petróleo estava associado e fortemente enraizado nas atividades das economias desenvolvidas, seja nos transportes, produção de calor, força motriz, eletricidade, indústria química, agrícola, etc. Os países não produtores de petróleo encararam restrições de balanço de pagamentos nunca experimentadas antes. Em 1980, por exemplo, a Índia consumiu 35% de suas receitas de exportação para poder pagar pelo petróleo importado, 50% no caso do Brasil, 60% na Turquia e 80% em Bangladesh. Por outro lado, aos produtores significou uma hipertrofia orçamentária que não necessariamente implicou em desenvolvimento (e.g. Venezuela, Argélia, México) (HÉMERY et al, 1993). Neste ponto, vale destacar que os países em desenvolvimento, em termos gerais, ainda se caracterizavam pela primazia das fontes biológicas (animal e biomassa) como motor de suas economias. Porém, a nível mundial de consumo energético, serão as economias industrializadas que ditarão a trajetória da matriz energética global por seus enormes volumes de energia consumidos.

Os dois choques do petróleo (1973-1974 e 1979-1981) criaram espaço para um ensaio de mudanças na participação relativa da matriz mundial. Não apenas por conta da necessidade de adaptar-se aos preços mais elevados, mas pela percepção de que a manutenção da exposição externa e do possível esgotamento das reservas petrolíferas iria impor um futuro complicado para suas economias. As preocupações com a segurança do fornecimento de energia geraram uma série de diferentes reações entre os países importadores (ver Capítulos 5 e 6). Enquanto alguns tentaram melhor se relacionar com países detentores de reservas, outros buscaram encontrar seu próprio petróleo, e muitos concentraram-se na pesquisa e no desenvolvimento (P&D) de outras fontes de energia. Exemplos de iniciativas neste contexto são políticas de promoção de outras fontes na geração elétrica, como a geração de energia nuclear (com enormes programas no Japão, França e Suécia) ou gás natural (Holanda), e de biocombustíveis para o transporte automobilístico (no caso do Brasil).

Por outro lado, nas décadas de 1980 e 1990, observou-se um período de contrachoque de preços com excesso de produção. Com preços baixos e economias emergentes em rápida expansão (particularmente na Ásia), o consumo mundial aumentou substancialmente. O contrachoque encerrou um período de esforços para o desenvolvimento de alternativas energéticas em diversos países. Será em meados da década dos anos 2000 que os preços do petróleo voltarão a se elevar e, consigo, os preços de outras *commodities* nos mercados internacionais.

Este movimento se dará a partir da crescente demanda mundial, instabilidade política no Oriente Médio (ainda a principal região exportadora de petróleo). e da maior inter-relação entre mercados, particularmente o financeiro. No entanto, apenas quando a economia global entra em uma profunda recessão e novas fronteiras de exploração se tornam realidade (produção não convencional americana e da produção *offshore* profunda e ultraprofunda), o ciclo se encerra. Os preços do petróleo voltam a cair, gerando mais um período de abundância de hidrocarbonetos no mercado mundial.

Ao longo do século XX, o petróleo foi, sem dúvida, um dos principais energéticos, moldando a vida moderna nos países avançados, abastecendo guerras (muitas vezes sendo motivo delas) e tornando a matriz de energia mundial cada vez mais dependente de seu consumo. No entanto, sua consolidação e liderança se dará apenas na segunda metade do século. Neste sentido, mesmo o petróleo, por sua elevada concentração calorífica, ter permitido o consumo de grandes quantidades de energia, no balanço geral do século XX, este ainda deve ser considerado o século do carvão mineral. Além disso, apesar de sua história ter sido gestada a partir da hegemonia na iluminação, o petróleo perde gradualmente espaço neste uso final a partir do desenvolvimento da eletricidade.

1.2.4. A diversificação e flexibilidade da eletricidade

A eletricidade em conjunto aos hidrocarbonetos redesenham as bases de consumo das sociedades modernas. O petróleo e a eletricidade são duas fontes de energia bastante flexíveis, porém diferentes entre si. O óleo cru é uma fonte primária que se encontra diretamente na natureza e apresenta flexibilidade no ponto de conversão, gerando uma diversidade de produtos energéticos (gasolina, diesel, querosene, GLP, combustíveis de aviação, óleo de aquecimento, etc.) e não energéticos (asfalto, graxas, lubrificantes, parafinas, etc.)¹⁶.

Enquanto o petróleo tem bastante flexibilidade em seus produtos finais, existem poucos bens substitutos a ele. A eletricidade, por outro lado, é flexível tanto na sua produção como no seu consumo. A eletricidade é uma fonte de energia secundária, ou seja, que é produzida por meio de alguma fonte primária (fonte hidráulica, eólica, nuclear, etc.). A flexibilidade da eletricidade no ponto de consumo final encontra-se em seus vários tipos de aplicações (iluminação, movimento, calor, etc).

A eletricidade no século XIX apresentava aplicações apenas locais por empresas. As redes elétricas concebidas por Thomas Edison irão surgir no final do século como concorrente

¹⁶ Vale destacar que as estatísticas de consumo primário de petróleo comumente incluem o que seria a parcela destinada ao processamento de produtos não energéticos, pois seguem a maneira como estatísticas energéticas nacionais se organizam quando tratam o comércio de óleo cru. Do ponto de vista analítico, para avaliar transições baseando-se no conteúdo energético consumido, o correto seria excluí-los, uma vez que não se tratam de parcela energética (KANDER et al, 2013).

do, ainda relativamente caro, gás de iluminação. Inicialmente, os sistemas elétricos puderam desenvolver-se apenas através de acordos políticos e financeiros, pois haviam custos elevados para a construção de infraestrutura adequada e para a operação de seus sistemas (HÉMERY et al, 1993). Grandes cidades na Europa recebem as redes elétricas, dando visibilidade e reconhecimento à tecnologia.

A eletricidade começa a ser utilizada em diversas partes da Europa. Porém, a padronização de corrente e tensão torna-se um problema, dificultando sua expansão. Outros desafios surgem para a eletricidade como: (i) o de resistência em localidades com sistemas a gás desenvolvidos; (ii) os ambientes rurais com população rarefeita e dispersa; e (iii) da eventual necessidade de concessões para explorar a atividade. No início do século XX, soluções para a diversidade dos sistemas são propostas pelos europeus e americanos, e observa-se um consumo crescente dessa energia secundária.

Com o desenvolvimento de sistemas elétricos à corrente alternada proposto por Nikola Tesla (que desafiava o domínio da corrente contínua de Edison¹⁷), abrem-se caminhos para a expansão das redes elétricas. Siemens desenvolve a ferrovia elétrica e as turbinas elétricas hidráulicas, apresentando-se como substituta à máquina a vapor. O uso da eletricidade gera eficiência e ritmo na produção industrial, reduzindo a necessidade do manuseio do carvão ou uso de correias para sua movimentação. A máquina a vapor perde sua predominância para o motor elétrico após as guerras mundiais.

A unificação técnica e financeira do setor elétrico americano, desde a produção da eletricidade ao motor elétrico, inicia-se pela fusão de empresas que vão constituir a *General Electric*. A operação oferta/demanda instantânea dos sistemas elétricos passava por conhecimento e elevada coordenação técnica. As redes elétricas vão sendo desenvolvidas ora pela concentração de empresas, ora pelos Estados que promoverão sua unificação, buscando padrões aos sistemas.

Na Europa é possível notar a grande diversidade de fontes de geração elétrica. A participação de tais fontes no continente variou ao longo do tempo e entre países, dependendo da dotação de recursos naturais (Tabela 3). No final do século XIX, a maior parte da eletricidade era gerada a partir do carvão ou da madeira, pelo simples fato de que a geração térmica era a tecnologia estabelecida inicialmente, mas logo em seguida a hidroeletricidade tornou-se extremamente importante nos países europeus com recursos hidráulicos relevantes, como a Suécia, Noruega, Suíça e Itália. Os demais seguiram o caminho da geração a carvão e, mais tarde, a óleo.

¹⁷ Esta disputa ficou conhecida como a “guerra das correntes”.

Tabela 3 – Evolução e diversidade de geração elétrica entre países europeus (1890 - 1960)

%	Inglaterra			Portugal		Suécia		Itália		
	Hidráulico	Térmico	Nuclear	Hidráulico	Térmico	Hidráulico	Térmico	Hidráulico	Térmico	Geotérmica
1890	0	100	0	n.a.	n.a.	32	68	10	90	0
1900	0	100	0	n.a.	n.a.	60	40	62	38	0
1910	0	100	0	n.a.	n.a.	68	32	79	21	0
1920	0	100	0	23	77	73	27	96	3	0
1930	1	99	0	34	66	74	26	97	3	1
1950	3	97	0	46	54	79	21	92	5	3
1960	1	97	2	95	5	80	20	88	7	5

Fonte: KANDER et al (2013)

Na história elétrica, casos interessantes de transição vigorosa a partir de políticas de Estado podem ser destacados, como é o caso do programa nuclear francês (ver Capítulo 5). Com a criação do *Commissariat à l'Énergie Atomique* (CEA) em 1945 pelo General *De Gaulle*, o país passa a desenvolver aplicações civis e militares de energia nuclear para garantir a sua independência energética e posicioná-lo na geopolítica do pós-guerra. Dez anos mais tarde, a Comissão *PÉON* (*Production d'Électricité d'Origine Nucleaire*) foi criada para desenvolver a estratégia eletronuclear francesa.

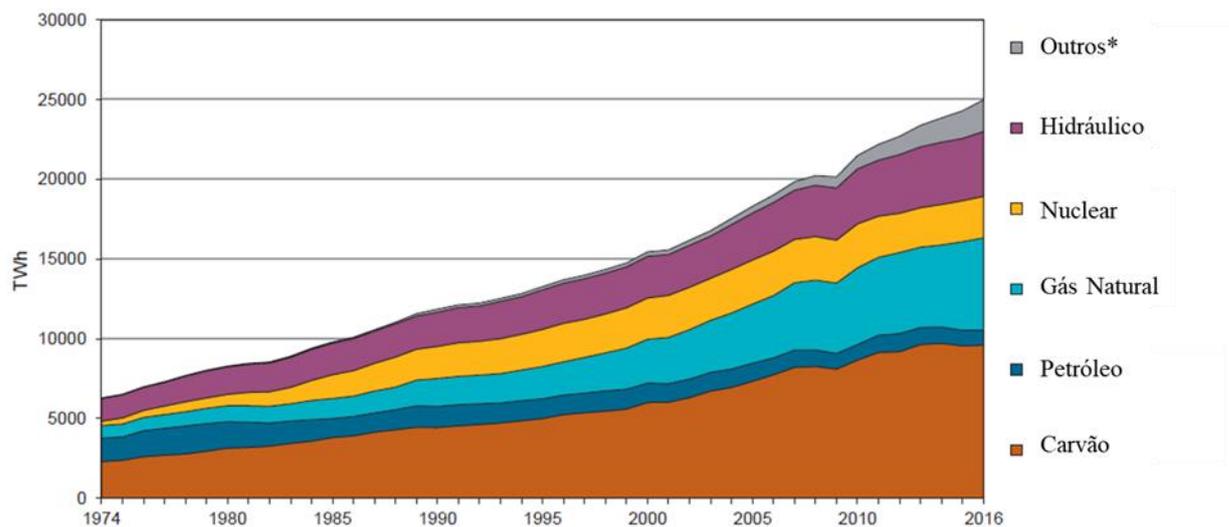
Já na década de 1970, com as discussões quanto ao futuro incerto das reservas fósseis no mundo e pela vontade de se reduzir a dependência energética, o programa nuclear francês é acelerado, buscando instalar três reatores por ano, tornando o país cada vez menos dependente do petróleo. A partir de 1973, meses antes do primeiro choque do petróleo, já haviam sido estabelecidas metas para a instalação de um programa ambicioso de 200 GW de capacidade nuclear instalada até o ano de 2000 (HÉMERY et al, 1993). A transição nuclear elétrica francesa conduziu à construção de 58 reatores, em 19 locais distintos para o fornecimento de 75% da produção de energia elétrica no país.

De acordo com Buttigieg (2016) outro caso interessante de resposta à crise do petróleo dos anos 1970-80 é o da Dinamarca, que lançou em 1976 uma série de medidas energéticas ambiciosas, incluindo: (i) projetos de exploração de petróleo e gás no Mar do Norte; (ii) a implementação de políticas de conservação de energia; e (iii) o desenvolvimento de energia eólica para geração elétrica. Neste último caso, vale destacar que hoje o país se coloca como um dos líderes mundiais na área, com grandes companhias como Vestas e Dong Energy, e capacidade instalada relevante (~5 GW), gerando cerca de 37,6% de seu consumo elétrico em 2016.

Mesmo com toda a flexibilidade, variedade de fontes, ampliação de usos e crescente importância do consumo elétrico, a diversificação do consumo de energia primária depois de 1970 não foi generalizada. Desde a década de 1960, além de seu uso para os transportes, o petróleo já tinha se tornado fonte importante para a geração de eletricidade junto com o carvão e hidroelétricas. Com os choques do petróleo será revelada essa dependência e vulnerabilidade.

O Gráfico 10 apresenta a evolução das fontes de geração de eletricidade na matriz mundial.

Gráfico 10 – Evolução da geração de eletricidade por combustível no mundo (1974 – 2016)



Outros inclui energias renováveis (solar, eólica, oceanos, geotérmica, biomassas como a lenha, resíduos e biocombustíveis).

Fonte: Traduzido de IEA (2018)

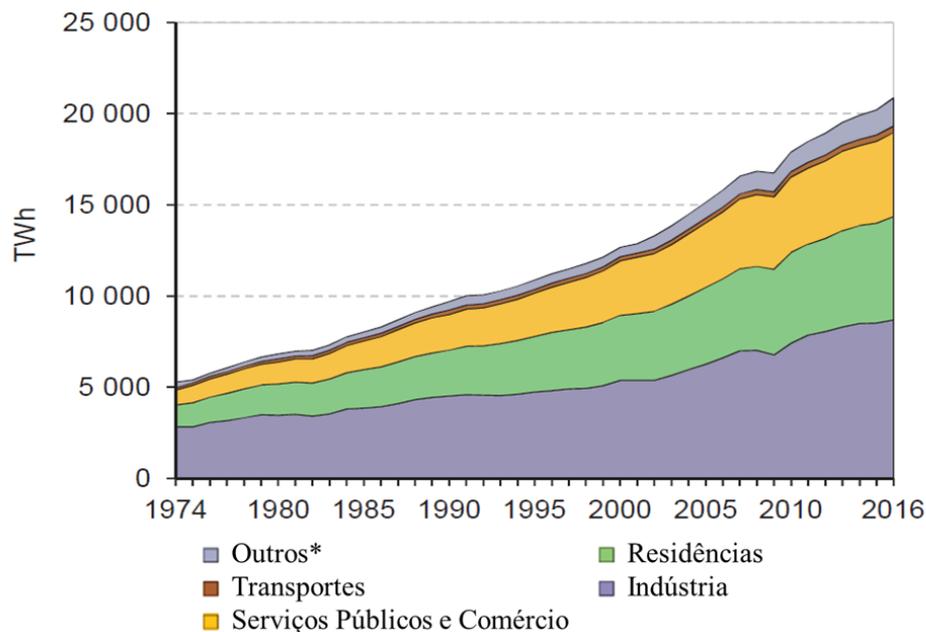
A década de 1980 foi marcada pelo crescimento e posterior estabilização da fonte nuclear em substituição, à parte, do consumo de produtos de petróleo. Na década de 1990, é possível notar um avanço considerável no consumo de gás natural, marcando avanços tecnológicos, elevando a eficiência das térmicas a gás (e.g. térmicas a ciclo combinado) e, também, marcando mudanças organizacionais de mercados elétricos que identificavam as plantas a gás natural como uma fonte promissora para investimentos de produtores independentes.

A partir da virada do século, é possível notar a manutenção do crescimento no consumo de gás natural para a geração, mas também o crescimento acelerado de outras fontes, compostas, grosso modo, por renováveis (e.g. eólica e biomassa). Vale ressaltar que a geração movida a carvão manteve seu crescimento sustentado ao longo desse período, apresentando

mudanças apenas no que tange sua localização geográfica, em especial com a adoção crescente por países asiáticos.

O Gráfico 11 apresenta a evolução do consumo final de eletricidade ao redor do mundo por tipo de consumidor.

Gráfico 11 – Evolução do consumo final de eletricidade por setor no mundo (1974 - 2016)



*Inclui agricultura, silvicultura, pesca e outros não especificados.

Fonte: Traduzido de IEA (2018)

Desde a década de 1970, grande parte do consumo de eletricidade dos países desenvolvidos (OCDE) concentrou-se nos setores residencial, comercial e serviços públicos, e só cresceu desde então (de 48,4% em 1974 a 63% em 2014). Em contraste, os países em desenvolvimento (não OCDE) apresentaram um peso maior no consumo elétrico industrial (52% em 2014). A parcela do consumo elétrico destes países em relação ao total mundial cresceu de forma consistente, saindo de 26% em 1973 para 53% em 2014¹⁸.

Com tamanha flexibilidade em termos de fontes, aliado às expectativas tecnológicas das novas fontes renováveis, não é à toa que a eletrificação das atividades seja considerada por muitos a solução para uma transição energética, permitindo com que a humanidade consuma energia evitando consequências desastrosas ao clima.

Com este panorama da literatura e histórico das transições passadas, foi destacado que uma “transição energética” trata de um processo influenciado por especificidades de cada sociedade, determinando as opções energéticas dominantes de acordo com as realidades locais.

¹⁸ Destes 53%, mais da metade é consumido por apenas quatro países: Rússia, Índia, Brasil e, especialmente, China.

Na história, somente a disponibilidade de recursos e tecnologia não implicou na adoção e desenvolvimento generalizado de uma ou outra forma de consumo de energia.

A busca por um determinismo histórico das grandes transições energéticas simplifica e obscurece as condições em que elas ocorreram. É certo que inovações tecnológicas foram marcadamente exitosas em transformar radicalmente as estruturas de sistemas energéticos e sociais, mas isto não resultou em sua adoção imediata, generalizada e em paralelo ao redor do mundo.

As primeiras inovações energéticas levaram milhares de anos para transformar os sistemas energéticos prevaletentes. No entanto, as inovações subsequentes diminuíram sucessivamente a duração das transições e aumentaram gradativamente o ritmo da adoção de novos conversores, à medida que o mundo tornava-se mais integrado comercialmente. No Reino Unido, por exemplo, após a Revolução Industrial, transições setor-específicas (i.e. transportes, aquecimento, iluminação) têm levado, em média, 50 anos para ocorrer (FOUQUET, 2016). A sobreposição de conversores e a imposição de novos e mais potentes organizou a história da energia até então.

Assim, é necessário analisar o que seria esta nova transição, suas origens, agendas-base e dinâmica. A partir dessa análise, será possível depreender quais seriam seus traços singulares *vis-à-vis* ao que já se observou no passado. Este será justamente o foco do próximo capítulo.

CAPÍTULO 2 - A AGENDA CLIMÁTICA E OS DESAFIOS PARA O FUTURO

The need for the ‘next’ energy transition is widely apparent as current energy systems are simply unsustainable on all accounts of social, economic, and environmental criteria. (GRUBLER, 2012, p.8)

Ao longo da história, a humanidade vivenciou mudanças sociotécnicas que alteraram o perfil de consumo de energia, em particular a partir das transformações ocorridas na Revolução Industrial. Apesar de se tornarem mais evidentes apenas nas últimas décadas, estas transformações serão motivo para estudos mais aprofundados, relacionando o desenvolvimento dos países com a produção e consumo de energia e, em paralelo, com a preocupação com a qualidade ambiental.

Na década de 1970, ocorreram grandes debates quanto à exaustão dos recursos fósseis disponíveis no planeta. Neste período, ganharam força teorias como a do “pico do petróleo”¹⁹. Nos países do norte da Europa, com a emergência de partidos verdes e das questões ambientais, o termo é utilizado em um contexto de movimentos antinuclear, mesmo sendo uma das vias mais promissoras para reduzir a dependência de combustíveis poluidores.

Se por um lado, haviam preocupações quanto à garantia do suprimento futuro das economias desenvolvidas (já fortemente dependentes de petróleo), por outro lado as discussões quanto à sustentabilidade ambiental das atividades humanas e o impacto da combustão de combustíveis fósseis ao meio ambiente tornavam-se, pouco a pouco, os principais temas de discussão em fóruns sobre energia a nível internacional. Cada vez mais reconhecia-se que os combustíveis fósseis impactam não apenas o meio ambiente, como também causam riscos à saúde. Problemas como a acidificação dos oceanos, eutrofização e aquecimento global revelaram-se como resultados diretos da combustão de combustíveis.

A intensidade destas temáticas variou ao longo do tempo e entre países, sendo influenciada por um fator que é decisivo não apenas para o percurso de desenvolvimento de países mas também de suas políticas. Trata-se do fator ‘contexto’.

Este capítulo subdivide-se em duas seções e tem como objetivo apresentar o contexto em que se insere o tema da TEBC, influenciado pela evolução da Agenda Internacional de

¹⁹ Apresentado por M. K. Hubbert para a Shell em 1956, o modelo de Hubbert avaliou que o pico do petróleo mundial ocorreria nos anos 2000 e o pico americano aproximadamente nos anos 1970. O modelo toma a quantidade de reservas potenciais e a evolução esperada da produção, estimando o ano em que novas adições de reserva (descobertas) não conseguiriam compensar a quantidade extraída (produção), a partir do ponto máximo de uma curva (ponto conhecido como “pico do petróleo”) (HUBBERT, 1956).

Sustentabilidade e do Clima. A primeira seção apresenta o porquê do foco da TEBC na redução de emissões de carbono, aliando-se à agenda climática. Esta seção apresenta os marcos da agenda diplomática da sustentabilidade e do clima, e o papel do carbono como orientação transitiva. A segunda seção, por sua vez, explora os programas emergentes de pesquisa nas áreas de sustentabilidade, clima, transições sociotécnicas e, especificamente, sobre a TEBC.

2.1. Uma nova agenda política: sustentabilidade, mudanças climáticas e transição de baixo carbono

Como exposto no Capítulo 1, ao longo do tempo os sistemas energéticos transformaram-se gerando desafios para o setor e para a sociedade, tendo sua sustentabilidade questionada em diversos momentos (e.g. desmatamentos, chuva ácida, acidentes). O debate mais recente da sustentabilidade no setor de energia tem sido orientado, sobretudo, em torno do desafio de mitigação de emissões de GEE e da concentração de carbono na atmosfera. E não seria por menos, pois as fontes de energia mais emissoras de carbono são justamente as que predominam no consumo, tendo sua distribuição (oferta e consumo) dada de forma desigual no mundo.

Levando em conta as origens históricas e as transformações que criaram os sistemas energéticos existentes, o planeta necessitaria de uma transformação energética radical para atingir os objetivos climáticos de limitar a concentração de GEE na atmosfera. Uma transformação que requer orientação e celeridade para que, até o final do século XXI, o risco de uma elevação média de temperatura acima de 2°C no planeta seja minorado (IPCC, 2014)²⁰.

Como será exposto a seguir, apesar da temática de mudanças climáticas ter origem na agenda mais ampla de sustentabilidade, esta última envolveria aspectos mais profundos da relação homem-natureza ao longo do tempo. Assim como o termo “transição energética”, a sustentabilidade tem diversas definições possíveis, além de apresentar um maior escopo e diversidade de critérios de avaliação. Para citar algumas dentre as diversas noções no ramo da sustentabilidade: (i) temporalidade (análise de mudanças no tempo); (ii) interação meio ambiente natural e sociedade humana; (iii) estabilidade sistêmica (e.g. análise de impactos); (iv) conflitos por bens comuns (rivais e não excludente); (v) disponibilidade de recursos, suficiência e inclusão; (vii) entre outros.

²⁰ Este nível foi considerado como um limite “seguro” para evitar efeitos catastróficos nos sistemas naturais. O IPCC para o próximo relatório (*Sixth Assessment Report – AR6*) passará a trabalhar com o valor de referência de 1,5° C.

Assim, mesmo tecnologias de baixo carbono (como energias renováveis) podem sofrer questionamentos do ponto de vista da sustentabilidade, tendo sua legitimidade contestada.

“[...] determinar a sustentabilidade de um sistema energético não é uma tarefa simples e depende não apenas do vetor energético em si, mas, fundamentalmente, do contexto de sua produção e utilização. Nesse sentido, em geral, é mais simples demonstrar a insustentabilidade de um sistema energético (não renovável, poluidor etc.) do que assegurar a sustentabilidade de sistemas baseados em energias renováveis [...]” (BNDES; CGEE, 2008, p.179)

Por esse motivo, apesar de evoluírem de forma relativamente conjunta, as diferenças entre agendas frequentemente geram dilemas importantes, particularmente em sistemas energéticos.

Desse modo, a TEBC baseia-se, explicitamente, nas metas de ordem climática e implicitamente em atributos da sustentabilidade, além de estratégias de nacionalismo energético, políticas industrial e tecnológica. Criar uma economia de baixo carbono é um objetivo amplamente desejável politicamente; no entanto, pressupõe condições robustas para ser factível. A adequação dos sistemas energéticos ao problema climático torna-se mais um objetivo de políticas energéticas, acompanhando as questões tradicionais de segurança do abastecimento e universalização do acesso²¹.

2.1.1. Os marcos da Agenda da Sustentabilidade e do Clima

A preocupação ambiental começou a ganhar destaque no cenário diplomático mundial na década de 1970. É na Suécia, que sofria sérios danos em lagos devido à chuva ácida (resultado da poluição da Europa Ocidental), que surge, em 1972, a primeira grande conferência internacional para tratar do tema. A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, ou Conferência de Estocolmo, reuniu tanto países desenvolvidos como em desenvolvimento (com exceção da União Soviética e muitos de seus aliados). Esta Conferência produziu uma Declaração de 26 princípios e um Plano de Ação com 109 recomendações, com metas específicas como a moratória à caça comercial de baleias, a prevenção de derramamentos de petróleo no mar e relatório sobre o uso da energia. A Declaração de Estocolmo e seus princípios constituíram o primeiro conjunto de *soft laws* no tema, ou seja, leis internacionais de cunho apenas intencionais, sem aplicação obrigatória.

Ainda em 1972, criou-se o *United Nations Environment Programme* (UNEP) e foi lançada a publicação do relatório do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) conhecido como Relatório do Clube de Roma (ou Relatório *Meadows*), alertando aos problemas do uso

²¹Ver Capítulo 4 quanto a discussão dos objetivos de política.

indiscriminado de recursos naturais em um planeta finito, e propondo ações de sustentabilidade sistêmica.

O processo de conscientização ambiental prosseguiu na década de 1980. A década foi marcada por acidentes ambientais graves, como o vazamento de gases letais na Índia, o grande derramamento de petróleo no Alasca (Estados Unidos) e o desastre nuclear em Chernobyl (Ucrânia). Em 1987, fruto do relatório *Our Common Future* (“Nosso Futuro Comum”)²², criou-se na Assembléia Geral da ONU, o conceito de desenvolvimento sustentável definido como “aquele que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações satisfazerem suas próprias necessidades” (WCED, 1987).

A partir desse conceito, a preservação do meio ambiente passou a ser parte integrante do novo modelo de desenvolvimento pretendido na esfera diplomática internacional.

Figura 3 – Principais marcos na Agenda Internacional da Sustentabilidade e do Clima



Fonte: Elaboração própria

Vale o destaque de que em 1989, instituiu-se o Protocolo de Montreal, com o objetivo de reduzir o uso de substâncias danosas à camada de ozônio na atmosfera, em particular as emissões de clorofluorcarbonos (CFCs). Este protocolo servirá como referência para diversas negociações e soluções propostas posteriormente no debate quanto ao clima.

A consolidação do conceito de desenvolvimento sustentável e da conscientização ambiental em escala global ocorre com a realização da “Cúpula da Terra”, ou ECO-92/Rio 92, realizada no Rio de Janeiro. Seu principal resultado foi a elaboração da Agenda 21, assinada por todos os 179 países participantes da conferência, servindo como guia para a implementação de políticas e instrumentos econômicos que visariam a integração entre o crescimento econômico, a justiça social e o respeito ao meio ambiente. Em resumo, a Agenda consistia em um plano de propostas, sem estabelecimento prévio de prazos e limites, no qual os países sig-

²² O relatório também é conhecido como relatório Brundtland, devido à primeira-ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland, que chefiou a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD).

natários se comprometeriam a elaborar políticas locais com vias ao desenvolvimento sustentável.

A ampla pauta da sustentabilidade envolve variados aspectos quanto às relações humanas para com o meio ambiente. Os processos de negociação geralmente são tratados em grupos temáticos, o que facilita a coordenação e foco à elaboração e promoção de iniciativas como os “Objetivos do Desenvolvimento Sustentável” lançados em 2015 (desdobramento dos Objetivos do Milênio de 2000) sob a liderança do *United Nations Development Programme* (UNDP), visando criar um quadro com pontos focais que se desmembram em metas quantitativas para questões do desenvolvimento (e.g. pobreza, nutrição, saúde, educação, etc.). Estas metas são, na medida do possível, mensuradas, e sua evolução acompanhada ao longo dos anos para permitir a avaliação da efetividade das ações propostas e compatibilidade com seus objetivos²³.

No entanto, apesar do aspecto multivariado de temas, fóruns e escopos, certos temas prevalecem na diplomacia internacional. Dentre os temas que ganharam força ao longo da agenda da sustentabilidade, a questão das mudanças climáticas como resultado antropogênico tem amplo destaque. Devido a seu alcance e impacto globais, o tema conseguiu incorporar diversos sub-temas (sejam eles diretamente associados aos problemas de emissões de GEE ou não), transformando-se em uma verdadeira bandeira diplomática para temas relativos ao meio ambiente.

O processo de discussão e ação internacional sobre a questão específica das mudanças climáticas inicia-se com a criação do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) em 1988²⁴. Em seguida, na Rio-92, a *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) foi estabelecida para coordenar ações sobre mudanças climáticas. Os países envolvidos passaram a se reunir anualmente desde 1995, no que passou a se chamar Conferências das Partes (COPs). A terceira COP, realizada em Quioto em 1997, foi um marco, pois culminou na formulação de protocolo como resultado da série de conferências realizadas até então.

O caráter inovador e decisivo do Protocolo de Quioto foi o estabelecimento de metas rígidas de redução de emissões de GEE, e criação de mecanismos de flexibilização para o atingimento das metas previstas. Segundo o acordo, os países desenvolvidos (chamados ‘Anexo

²³ Chamado desenvolvimento baseado em objetivos (*goal-based development*), esta abordagem em tese permite definir trajetórias gerenciáveis para objetivos, além de atrair pessoas a adotá-los, dando clareza ao propósito. Defende-se que esta abordagem ajuda a planejar, mobilizar recursos e talentos (SACHS, 2015).

²⁴ O IPCC foi criado para proporcionar uma visão científica sobre o tema, produzindo até o momento cinco grandes relatórios de avaliação (*Assessment Reports – AR*): em 1990, 1995, 2001, 2007 e 2013/2014. O sexto tem previsão de ser publicado em 2022.

I') deveriam reduzir seus níveis de emissões em pelo menos 5% em relação aos níveis de 1990, no período entre 2008 e 2012 (UNFCCC, 1997). Dentre as diversas atividades-alvo para a redução de emissões, o setor de energia foi, sem dúvida, um dos principais focos de ação pela sua variedade de alternativas de transformação. O Protocolo foi apenas ratificado em 2005, pois necessitava que o conjunto de seus signatários representasse pelo menos 55% das emissões de GEE no ano de 1990, ocorrendo após a ratificação da Rússia em 2004. Os Estados Unidos, maior emissor até aquele momento, recusou-se a assinar.

Stern (2015) considera o Protocolo como um marco, sendo uma tentativa louvável de governança climática global, buscando mecanismos de “controle” legal centralizado, predefinindo emissões dos países envolvidos. Com Quioto, e sob inspiração de Montreal, experiências de mercado surgiram através de seus mecanismos de flexibilização com a criação dos chamados mercados de carbono²⁵.

Em 2015, realizou-se a 21ª Conferência das Partes (COP 21) em Paris, seguindo os marcos históricos da agenda climática. O Acordo de Paris tratou-se do primeiro instrumento com vias à cooperação das partes de forma ampla (197 países) em torno da questão climática. Ele tem como meta limitar o aumento da temperatura média do planeta a um patamar inferior a 2° C em relação aos níveis de emissões pré-industriais. O Acordo estabelece as bases para que, a partir de 2020, por meio da adoção de contribuições nacionais (*Nationally Determined Contributions - NDCs*) e por revisões periódicas dos compromissos, seja fomentada a cooperação internacional para a prevenção de consequências drásticas no clima terrestre (UNFCCC, 2015).

Vale ressaltar que as NDCs são compromissos propostos individualmente por cada país, tendo em vista suas características específicas e possibilidades quanto às contribuições de redução de emissões. Schmidt e Sewerin (2017) argumentam que, diferentemente de Quioto, que tinha seu foco no desafio de combater maiores emissões, Paris trouxe um sentimento de busca por oportunidades trazidas pelos avanços tecnológicos, sobretudo pela queda acelerada de custos de tecnologias renováveis.

O Acordo de Paris entrou em vigor em outubro de 2016, quando foi ratificado por 144 países. Novamente, dentre as ações futuras propostas, as mais recorrentes e de destaque são aquelas que envolvem a transformação da produção e consumo de energia em bases menos emissoras de carbono.

²⁵Como se discutirá mais à frente, a criação de mercados de carbono visa à precificação e internalização de externalidades, alterando preferências de produção e consumo a partir de mudanças em preços relativos.

2.1.2. A transição energética e o papel central do carbono

É neste contexto de debate internacional do clima, que se desdobra o que chamamos de transição energética de baixo carbono (TEBC). Mesmo que o termo “transição energética” já tivera sido empregado, precedendo a agenda do clima, mas associado a questões da sustentabilidade, este tem sido incorporado ao proeminente debate climático e metamorfoseado pelas suas premissas explícitas. Assim, a ideia de transição energética vêm se consolidando na esfera de prioridades do setor energético, não apenas no intuito tradicional de trazer segurança ao abastecimento energético, mas com atributos ambientais fortemente focado em baixas emissões de GEE.

Diferentemente das demais transições, a TEBC apresenta objetivos explicitamente centrados no nível de concentração de carbono na atmosfera, e menos em um determinismo tecnológico para o suprimento de energia. Visto que os compromissos são datados e os sistemas energéticos inerciais por natureza, obviamente a busca por tecnologias líderes, que tenham a capacidade de alterar de forma quantitativa e qualitativa a produção e consumo energéticos, é desejável. Esta busca tecnológica é necessariamente uma resultante dos esforços em prol de uma transição almejada. Em essência, trata-se de um debate prospectivo de trajetória futura e não retrospectivo. No entanto, é necessário reforçar aqui que, em grande medida, é entendendo o passado e observando seus contrastes que estão as bases para as perspectivas, provendo os meios para inferir futuros possíveis.

As estratégias quanto a TEBC variam de acordo com países. Por exemplo, nos Estados Unidos a transição energética pode ser compreendida para além de seus atributos ambientais, mas também como meio para reduzir sua dependência externa do petróleo, em especial utilizando-se da produção e uso crescente de gás natural não convencional (*shale gas*) e da crescente penetração de fontes renováveis (e.g. solar fotovoltaica). Ou seja, a TEBC pode ser encarada como forma de garantir o crescimento do consumo com fontes de energia locais e/ou para o desenvolvimento industrial de tecnologias alternativas de energia.

Interessante notar que, desde a década de 1970, já era possível vislumbrar movimentos quanto ao debate em torno de uma TEBC, que se fortaleceram ao longo das décadas criando consenso em torno dos problemas ambientais a serem superados no setor energético. De acordo com Yergin (1990), entre os efeitos mais importantes do ‘consenso ambiental’ estaria uma nova ênfase na conservação de energia, não só pelos objetivos de segurança energética e exposição a preços (como ocorrera na década de 1970), mas como meio de mitigação de emissões. Outros *trade-offs* acabam por se apresentar de forma mais expressiva como em mudanças comportamentais ou da preferência por fontes, em particular quando tratamos da geração de eletricidade.

The clashes will take many forms: lifestyle versus the quality of life, markets versus regulation, controlled versus untrammelled development, economic use versus preservation, dependence versus autonomy, cooperation versus competition among nations—and security and economic growth versus the environment. Great amounts of money will be at stake, as will political standing and power, not only within nations, but in the world arena. And so will be the way we live. Indeed, with the fate of the planet itself seeming to be in question, the hydrocarbon civilization that oil built could be shaken to its foundations. (YERGIN, 1990, p.780 - comentando sobre os conflitos levantados pela agenda ambiental)

Apesar de ser chamado ‘consenso ambiental’, no âmbito de políticas energéticas estas agendas são frequentemente ofuscadas por questões econômicas e de segurança energética; assim, normalmente não há consenso. No entanto, com a escalada dos preços do petróleo e outras *commodities* na década de 2000 e início de 2010, o debate climático ganhou novamente força, tendo como desdobramento o Acordo de Paris.

Com a reversão dos preços da energia, abundância relativa dos combustíveis fósseis no mercado internacional e a expectativa de retomada do crescimento econômico após período recessivo das economias centrais do Ocidente, o desafio da agenda climática é manter os países em linha com os objetivos traçados até então, assim gerando as transformações necessárias para uma TEBC a nível global, cujas repercussões práticas serão observadas ao nível nacional e local de forma heterogênea, em transições locais.

Políticas têm dinâmica própria, o que afeta diretamente o nível de esforços dispensados para objetivos amplos de mudança estrutural de longo prazo. Apesar dos objetivos do clima estabelecerem suas bases em condicionantes científicas e materiais, deve-se considerar: (i) o horizonte de longuíssimo prazo; (ii) as percepções distintas e difusas das consequências no clima; e (iii) a busca de alternativas disruptivas competitivas para transformar os sistemas energéticos. Estes são desafios que a TEBC enfrenta em escala global. Pela relativa imaterialidade e incertezas desses desafios, o caráter do debate impõe ao processo uma dinâmica e velocidade que são próprios da esfera política, com momentos de ápice e outros de esquecimento.

No entanto, a resiliência e vigor da agenda da sustentabilidade ao longo de mais de quarenta anos, contados a partir de Estocolmo, demonstra sua força como uma diretriz de longo prazo.

Diferentemente das transições do passado, um dos fatores que diferencia a TEBC é o papel do carbono como elemento orientador e de promoção. Considerar o carbono como elemento transversal de diferentes fontes e, agora, o limitante dos sistemas energéticos, impõe restrições, sendo elas ambientais, sociais, políticas e econômicas. Enquanto no passado eram discutidas questões quanto à necessidade de se repensar o modelo econômico de desenvolvimento devido à possível exaustão de recursos minerais finitos e o pico do petróleo, atualmen-

te, com o avanço tecnológico e a abundância relativa de recursos energéticos, discute-se, por exemplo, até que ponto o atual consumo energético será mantido ao longo do século (tema chamado “pico da demanda”).

A transformação do perfil de consumo energético para que a TEBC ocorra a nível global, requer enormes transformações, pela superação de barreiras de custo, regulatórias, técnicas, entre outras, seja nos setores de eletricidade, força motriz, calor ou transportes. Além disso, existem razões específicas que explicam a grandeza deste desafio (SMIL, 2010):

- (i) a escala global que se pretende tomar de forma coordenada (em especial, na ordenação das maiores economias);
- (ii) a distribuição e magnitude drasticamente desigual de recursos energéticos renováveis pelo mundo;
- (iii) a natureza intermitente e, em grande medida, imprevisível da maioria dos fluxos de energia renovável;
- (iv) menor densidade energética dos combustíveis alternativos para substituir combustíveis fósseis sólidos e líquidos, e
- (v) densidades energéticas substancialmente mais baixas para aproveitar as energias renováveis.

Apesar desses desafios, de acordo com Smil (2010), em contraste a transições do passado, aparentemente as condições do mundo atual devem trazer à TEBC uma trajetória menos turbulenta. Ele elenca diversos fatores como o enorme conhecimento científico relevante acumulado, nenhuma escassez disruptiva de materiais imprescindíveis para conversores, capacidade de processamento e fabricação cada vez mais avançada (tornando protótipos em projetos rapidamente), possibilidades de economias de escala e mercados globais competitivos para todo tipo de técnicas e produtos. Assim, seria justificável a grande expectativa da sociedade quanto ao desenvolvimento tecnológico de alternativas renováveis de forma relativamente rápida, necessitando um esforço determinado que, pelo menos em suas fases iniciais, possa ser orientado e apoiado por intervenções governamentais de longo alcance. Por esse mesmo motivo, muitos governos estariam expressando suas expectativas através de metas de fontes renováveis em seus planos energéticos.

Finalmente, enquanto a estabilidade dos sistemas energéticos na Antiguidade tinha como determinante a estabilidade política, atualmente se pode observar o inverso, onde a estabilidade energética (e a consequente segurança do abastecimento de energia) é determinante na estabilidade econômica e política da sociedade moderna. E considerando o aqui exposto, cada vez mais será determinante na estabilidade ambiental.

A agenda do clima, então, agrega-se aos pilares e objetivos do desenvolvimento energético, exigindo adaptação e mudanças nos regimes sociotécnicos vigentes, que terão nas políticas fonte de orientação. Dentre os movimentos orientados por esta agenda, observa-se um crescente interesse pela comunidade científica nos desafios e busca por explicações e soluções ao problema.

Existem interpretações distintas, em particular nas ciências sociais, que explicam processos de mudança nos padrões de oferta e demanda em sociedades capitalistas, justificando instrumentos de política para a promoção de transições. Muitas destas interpretações darão as bases normativas para o racional econômico e positivas para a construção de análises e decisões quanto à organização de mercados e políticas públicas.

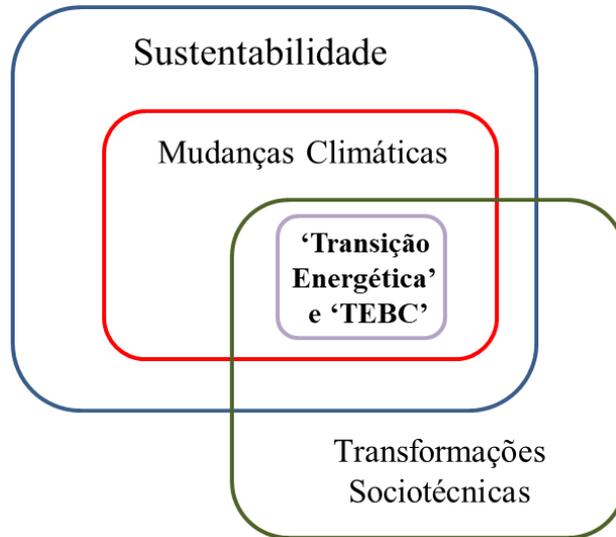
2.2. O programa de pesquisa da transição: uma literatura emergente

Em paralelo ao debate diplomático e político, a comunidade científica vem explorando as diversas facetas e consequências que transições sociotécnicas, em particular de sistemas energéticos, podem apresentar tomando os objetivos da agenda climática como referência.

É possível identificar grupos de literatura multidisciplinares (desde as ciências exatas e naturais, até ciências humanas e sociais) que dialogam entre si e com os temas de transição energética. Em particular, a literatura de ciências sociais desenvolve, em geral, temas sobre transformações sociotécnicas e sobre sustentabilidade (incluindo o tema mudanças climáticas).

A Figura 4, apresenta uma tipificação possível para estes conjuntos temáticos, onde a ‘transição energética’ e a TEBC se encontrariam na interseção da literatura da Sustentabilidade/Mudanças Climáticas com a de Transformações Sociotécnicas.

Figura 4 - Tipificação de temáticas das ciências sociais que lidam o subtema “transição energética de baixo carbono”



Fonte: Elaboração do autor

2.2.1. Sustentabilidade/Mudanças Climáticas

Os estudos sobre sustentabilidade atentam às questões ambientais e de arranjos sistêmicos, tendo um subgrupo focado em efeitos sociais, econômicos e ambientais das mudanças climáticas. Neste último caso, exploram os efeitos potenciais de desastres climáticos, elevação do nível do mar e o custo social e econômico do aquecimento terrestre.

No ramo da economia ambiental, os primeiros artigos sobre mudanças climáticas datam dos anos 1980 e início dos anos 1990. Variam desde modelos de avaliação integrados²⁶ (iniciados pelos trabalhos de Nordhaus), até análises de emissões de GEE como um problema de recursos naturais esgotáveis (*a la* Hotelling), ou ainda como um problema de externalidades necessitando soluções por impostos (*a la* Pigou) ou por mecanismos de mercado (*a la* Coase) (FANKHAUSER; STERN, 2016).

Provavelmente, o trabalho mais emblemático que mensura os custos econômicos para se evitar efeitos das mudanças climáticas é o Relatório Stern (STERN, 2007). Este Relatório, encomendado pelo governo britânico, estimou que seriam necessários investimentos da ordem de 1% do PIB mundial anualmente para evitar os piores efeitos das alterações climáticas²⁷.

No entanto, apesar de envolver questões energéticas, este tipo de literatura tem como objetivo analisar fundamentalmente elementos das mudanças climáticas e não de sistemas energéticos. Isto é resultado das fronteiras tênues entre estes temas. De acordo com Markard et

²⁶ No inglês *integrated assessment models* (IAM).

²⁷ Em 2008, o autor informalmente revisou esse número para 2%.

al (2012), os estudos de inovação e tecnologia voltados ao tema sustentabilidade receberam atenção crescente nas últimas décadas, com destaque ao campo que trata de transições sustentáveis, alcançando produção de 60 a 100 trabalhos acadêmicos anualmente.

2.2.2. *Transformações sociotécnicas*

O grupo que trata de transformações sociotécnicas tem como principais focos a análise da interação entre avanços tecnológicos com estruturas políticas, sociais e institucionais.

Segundo Sovacool e Hess (2017), no programa de pesquisa de transições sociotécnicas haveriam 96 teorias e conceitos que perspassam 22 disciplinas²⁸. Os autores delimitam cinco categorias de análise pelas quais tais teorias orientam suas estratégias analíticas:

1. **Agência:** abrange uma série de atores (indivíduos, organizações e grupos) e suas estratégias;
2. **Estrutura:** usada em sentido amplo, pois inclui a estrutura macrossocial (e.g. classes, raças, gêneros) e estrutura institucional (e.g. posição no campo social);
3. **Significado:** refere-se aos sistemas semióticos (cognitivos e normativos) que orientam a ação e são alterados por ela;
4. **Relações:** enfatiza relações sociais e as interações, ao mesmo tempo em que destacam as redes da estrutura social (teorias “híbridas” de agência, estrutura e significado);
5. **Normas:** busca responder se uma tecnologia é positiva ou negativa para a sociedade e os indivíduos através de critérios de avaliação (e.g. critérios éticos, morais, de justiça social ou ecologia política).

Em outro estudo sobre a literatura de transições, Geels (2010) identifica interpretações de ontologias das ciências sociais que diferem em suas hipóteses, e mecanismos para transições sociotécnicas visando à sustentabilidade. Dentre elas estão ontologias sobre escolha racional, teoria da evolução, estruturalismo, interpretativismo (antipositivismo), funcionalismo, conflito e luta por poder e sociologia relacional. Dentre tais ontologias, as de escolha racional e evolucionista advém principalmente da literatura econômica.

Existe um grupo de literatura que tem como foco a análise de políticas públicas intencionais, buscando gerar processos de transição sociotécnica, em particular por meio da promoção de inovações. São os casos de trabalhos nas linhas de ‘*Transition Management*’ (KEMP;

²⁸ Seriam 14 as abordagens mais utilizadas (SOVACOOL; HESS, 2017): (1) *sociotechnical transitions*; (2) *social practice theory*; (3) *discourse theory*; (4) *domestication theory*; (5) *large technical systems*; (6) *social construction of technology*; (7) *sociotechnical imaginaries*; (8) *actor-network theory*; (9) *social justice theory*; (10) *sociology of expectation*; (11) *sustainable development*; (12) *values beliefs norms theory*; (13) *lifestyle theory*; (14) *the unified theory of acceptance and use of technology*.

ROTMANS, 2005; MEADOWCROFT, 2009), ‘*Transformative innovation policy*’ (SCHOT; STEINMUELLER, 2018) e ‘*Mission-oriented Policies*’ (MAZZUCATO, 2018). Estas vertentes se diferenciam em grau de protagonismo estatal, estrutura de governança e se são baseadas em abordagem *top-down* ou *bottom-up*.

2.2.3. *Transição Energética e TEBC*

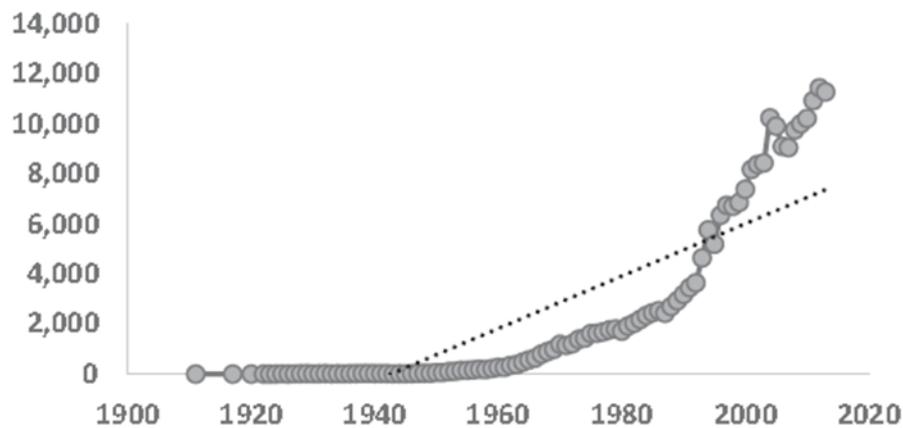
Araújo (2014) buscou entender melhor a emergência da literatura sobre transição energética. O Gráfico 12 apresenta o crescente interesse nesta agenda de pesquisa e suas origens históricas.

Interessante observar a correlação do volume de publicações com os marcos históricos discutidos até aqui, tanto no setor energético quanto da Agenda da Sustentabilidade e Clima. Apesar da expressão ‘transição energética’ no universo científico datar do início do século, será a partir dos anos 1960 e 1970 que ela ganhará fôlego inicial em paralelo as agendas internacionais de sustentabilidade e energia, centrando-se na substituição de combustíveis e na exaustão de recursos naturais.

Aparentemente, com a ascensão da agenda do clima nos anos 1990 e 2000, o tema ganha ainda mais força em uma crescente não mais linear, e sim exponencial. Deve-se atentar que esta relação é também afetada pelo crescente número de publicações disponíveis, e pelo caráter cumulativo que se espera da ciência, mas ainda demonstra o vigor do tema nos dias atuais. Destaca-se neste grupo questões não só de mitigação de emissões, mas também de transformações em economias, uso de energia e desenvolvimento tecnológico.

De acordo com a autora, as principais ideias que se inserem na natureza das publicações sobre transições energéticas são: (i) urgência; (ii) *tradeoffs*, e; (iii) inovação. O senso de **urgência** advém de pressões relacionadas à sustentabilidade, acesso, segurança e/ou confiabilidade energética, em diversas transições e, em especial, na TEBC. Por outro lado, os dilemas que surgem em processos de transição impõem a avaliação de *tradeoffs*. Torna-se imperativa a avaliação de custos e benefícios, especialmente quando as transformações necessárias são onerosas e suas vantagens são difusas. Já a análise da **inovação** atenta às possibilidades de quebra de paradigmas, ao seu potencial técnico, efeitos práticos, da forma de adoção, das condições sociotécnicas e das motivações que a promoveram.

Gráfico 12 – Número de publicações com o tema "transição energética"



Nota: baseado em títulos, *abstracts*, palavras chaves com “*energy transition*” ou temas relacionados a partir de dados da Scopus.

Fonte: Araújo (2014)

De acordo com Sovacool (2014), considerando os principais periódicos da área de energia²⁹ no horizonte 1999-2013, as categorias mais populares foram mercados de energia (16,2%), políticas públicas (13,4%), mudanças climáticas (12%) e precificação/preços (11,3%). O autor ainda aponta que mudanças climáticas, políticas públicas e segurança energética, foram as categorias que mais elevaram sua participação na atenção desses periódicos ao longo do período.

Quando tratamos especificamente da TEBC, encontramos um conjunto amplo de publicações de ciências aplicadas discutindo desde a penetração de energias renováveis em sistemas elétricos e eletrificação de transportes, até questões comportamentais, novos modelos de negócio e transformações nas cidades que se associam ao consumo mais eficiente. Mais recentemente, observa-se um volume crescente de trabalhos tratando dos desafios sistêmicos que tais transformações (e.g. introdução de energias variáveis) causam e o quanto isso poderia obstaculizar objetivos de transição.

Ainda mais numerosos são os livros e relatórios de organizações públicas e privadas que tratam do tema, seja ao nível local ou global, discutindo os desafios do presente e/ou projetando-os a futuro. Como é de se esperar, estes materiais são comumente baseados na ciência do clima e não necessariamente norteados pela ciência aplicada ao setor de energia.

Note que, enquanto o Capítulo 1 trouxe diversos elementos levantados na literatura de história de sistemas energéticos (GRUBLER, 2012; FOUQUET, 2016; SMIL, 2010), o pre-

²⁹ *The Energy Journal*, *Energy Policy* e *The Electricity Journal*.

sente capítulo teve como foco a literatura de transições sociotécnicas e aquelas que tratam dos desafios presentes e futuros.

Ao refletirmos e compararmos as transições históricas com uma potencial TEBC, podemos identificar diferenças marcantes. As principais características que a tornam distintiva estão em seus fundamentos, pois diferentemente de outras transições energéticas históricas, a TEBC:

- i. refere-se a uma transição energética esperada, prospectiva e aspiracional, que seria articulada, visando transformações ao nível global. Isto contrastaria com as transições históricas; fenômenos cuja construção de trajetórias ocorreu de forma relativamente localizada, autônoma³⁰ e diagnosticadas *ex-post*;
- ii. não trata da predominância e expansão do consumo de uma dada variedade energética (tecnologia-específica), mas concentra-se em um conjunto tecnológico; e
- iii. não está necessariamente baseada no processo aditivo de consumo, sendo desejável a substituição de conversores e até a redução do próprio consumo energético.

Estas características se associarão diretamente às dos regimes energéticos e as estratégias de políticas ao setor, com vias à construção de novos regimes (ver Capítulo 4).

Como se destacou neste capítulo, os temas da ‘transição energética’ e, em particular, da TEBC, são emergentes e profícuos, localizando-se na interseção de literaturas com foco na sustentabilidade, mudanças climáticas e transformações sociotécnicas.

Ademais, destacou-se que o debate da transição energética não ocorre no vácuo. Analisar o desenvolvimento da agenda diplomática climática é crucial para entender a orientação e dinâmica das políticas energéticas com relação a TEBC. Além disso, este capítulo trouxe os marcos históricos do debate ambiental com uma importante diferenciação de agendas-base para a TEBC. Cumpre reforçar, que a agenda climática surge como resultante da agenda mais ampla da sustentabilidade, ganhando dinâmica própria. Neste sentido, ela acaba por concentrar a atenção à questões de caráter global e mais difuso (e.g. eventos climáticos extremos)³¹, contrastando com questões de ordem local e específica. Sua força, em vezes, levanta contradi-

³⁰ É possível argumentar que a adoção mais generalizada do carvão ou do petróleo apresentou graus de planejamento por seus produtores (sejam grandes companhias ou Estados Nacionais), ampliando mercados e impondo padrões tecnológicos. No entanto, uma TEBC apresentaria abrangência de atores e objetivos temporais que não teria precedentes. Similarmente, Sovacool e Geels (2016) argumentam que as transições históricas foram mais orientadas por “oportunidades”, enquanto a TEBC seria mais orientada por um “problema”, no caso o problema das mudanças climáticas.

³¹ São variados os parâmetros pelos quais são debatidas as potenciais consequências do aquecimento global, o que causa confusão aos menos familiarizados. Em resumo, discute-se uma concentração de ~450ppm de CO_{2eq} até 2100, o que seria equivalente a uma elevação média da temperatura global em 2°C e consequentes efeitos adversos ao planeta em termos econômicos (e.g. PIB), sociais (e.g. doenças, migrações) e ambientais (e.g. biodiversidade).

ções quando contrastadas a questões da sustentabilidade, como na opção por fontes de baixo carbono, porém com grande potencial de impacto (e.g. usinas hidrelétricas ou nucleares).

Além de emissões, a sustentabilidade associa elementos do meio ambiente e sociedade, que se organiza e se desenvolve a partir de dinâmicas sociotécnicas. Serão estas dinâmicas inseridas em um contexto de transição energética o foco do próximo capítulo. O capítulo irá detalhar os conceitos da economia evolucionária (ROSENBERG, 1976; DOSI, 1982; FREEMAN, 1982; NELSON; WINTER, 1985) e do esquema analítico de perspectiva multinível da economia *quasi*-evolucionária (GEELS, 2002; RIP; KEMP, 1998).

CAPÍTULO 3 - A TEORIA EVOLUCIONÁRIA E AS TRANSIÇÕES SOCIOTÉCNICAS

A literatura econômica que trata o tema de transições energéticas, em geral, concentra-se nos fatores que possam promover sua factibilidade ou que façam superar barreiras estruturais dos sistemas energéticos e de comportamento das firmas e sociedade (GRUBLER, 2012; STERN, 2007). Inclui-se neste espectro de fatores, a evolução de preços relativos das variedades energéticas, disponibilidade de recursos, capacidade tecnológica, instrumentos de política, regimes de incentivo, contexto sociotécnico e institucional, além da compatibilidade com os diversos usos finais da energia.

As transições podem ser vistas a partir da óptica de alocação de fatores (com elementos de custo e preço, sistemas de escassez e padrões de substituição) e falhas de mercado (e.g. externalidades), evoluindo de forma automática e reagindo passivamente às condições de mercado e choques exógenos. Ou ainda, alternativamente, vistas sob uma óptica dinâmica, com componentes endógenos que alimentam sua transformação (através de inovações) e contextos sociotécnicos e institucionais que moldam suas trajetórias (e.g. políticas, comportamento).

A aparente dicotomia entre a primeira visão, de base neoclássica, e a segunda, de base evolucionária, expressa a complexa rotina do economista em interpretar a realidade, buscando identificar as causas dos fenômenos sociais. O contraste entre estas visões ajuda a refletir sobre a temática e entender argumentos em favor de um ou outro instrumento de política para a solução do problema das mudanças climáticas.

Nesta tese, as transições energéticas serão entendidas como mudanças iminente tecnológicas que coevoluem em um sistema sociotécnico. Logo, serão adotadas as concepções evolucionárias como meio de interpretar processos de transição energética. Para tal, os conceitos de paradigmas, trajetórias tecnológicas, ambiente de seleção e regimes (DOSI, 1982; NELSON; WINTER, 1985) serão os marcos fundamentais para a análise de transições.

Este capítulo, portanto, tem como objetivo descrever e destacar os elementos da teoria evolucionária que auxiliam na compreensão de transições energéticas (interpretadas como trajetórias tecnológicas em contextos sociotécnicos). A primeira seção do capítulo apresenta o surgimento e desenvolvimento do pensamento evolucionário na economia, com seus conceitos-chave de artefatos, paradigma tecnológico, ambiente de seleção, trajetória tecnológica e regime. Em seguida, a segunda seção irá explorar os desenvolvimentos mais recentes da chamada escola *quasi*-evolucionária, que incorpora conceitos sociológicos ao arcabouço evolucionário.

onário, apresentando linguagem e recursos analíticos úteis para a complexa análise de transições sociotécnicas.

3.1. A teoria evolucionária

A literatura evolucionária lida com processos dinâmicos que causam transformações qualitativas sociais e, principalmente, econômicas. Estas transformações seriam impulsionadas pela introdução de inovação tecnológica em suas diversas e multifacetadas formas, em processos ditos coevolutivos (GEELS, 2002; NELSON, 2009).

Ao resgatarmos suas origens, é a partir da década de 1980 que o papel da inovação para o crescimento econômico passou a despertar grande interesse teórico com trabalhos seminais de autores da chamada economia evolucionária (DOSI, 1982; FREEMAN; SOETE, 1997; NELSON; WINTER, 1985). Dentre dos elementos de origem, esta escola de pensamento surge da insatisfação com os modelos de crescimento desenvolvidos a partir dos modelos de Solow (1956). Com inspiração nas obras de Joseph Schumpeter, estes autores buscaram incorporar a mudança tecnológica como elemento fundamental à dinâmica e transformação da economia capitalista, sendo, assim, endógena ao processo de desenvolvimento.

De acordo com Possas (2008), a teoria evolucionária contesta a noção neoclássica de equilíbrio da economia e competição perfeita, tendo desequilíbrios como fenômenos intrínsecos, resultado da atuação empresarial e da inovação que gera instabilidade na dinâmica e estrutura da economia. A inovação é uma atividade iminentemente endógena, determinada por investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D ou P&D&I) por organizações, e influenciadas pelo crescimento da demanda e da produção através do aprendizado (*learning by doing*), economias de escala dinâmicas e incorporação de progresso técnico.

Inspirada por conceitos da biologia evolucionária darwiniana, esta literatura trata de processos em uma perspectiva evolutiva onde, a partir da competição entre variedades tecnológicas (SAVIOTTI, 2005) e práticas prevaletentes, vencedores e perdedores são determinados por testes, erros e mecanismos de seleção *ex-post* (DOSI; NELSON, 2013). Desta forma, avanços tecnológicos e inovação podem ser analisados para além de elementos isolados ligados a indivíduos ou grupos específicos em tempo determinado, mas também como um componente de processo, incluindo atores heterogêneos em horizontes temporais diversos.

A proposição de que a tecnologia evolui de forma orgânica ou sequencial não invalida ou minimiza o papel do propósito humano no processo (compreensão, técnica e orientação de

esforços ao desenvolvimento de tecnologias)³². Um ponto central desta teoria é a incerteza, onde os agentes econômicos não sabem *ex ante* qual tecnologia será bem sucedida, o que resulta em um comportamento distinto ao de maximizador neoclássico.

Em termos gerais, uma **tecnologia** é tratada como um meio concebido para atingir um fim particular, vinculando-se a *conhecimentos, procedimentos e artefatos* particulares. Trata-se de um conjunto de elementos do conhecimento, sejam eles práticos, teóricos, de métodos, processos, de experiências bem sucedidas e fracassadas, além de equipamentos e ferramentas físicas. Esses diferentes aspectos oferecem maneiras distintas de descrever as tecnologias.

Por sua vez, a **inovação** é considerada como um princípio normativo do pensamento schumpeteriano, e o processo que lhe dá origem considerado condição e consequência da remoção e/ou superação de restrições ao desenvolvimento econômico. Esta visão contrasta com a da economia neoclássica, cujo foco encontra-se na alocação eficiente de recursos, gerada pela diferença de preços relativos, em um sistema cuja informação está disponível aos agentes, que encaram um conjunto estabelecido de fatores e restrições para sua escolha racional.

Dessa maneira, para a escola evolucionária as inovações coevoluem com as condições e mudanças nos mercados, regulação, infraestrutura, cultura, redes e ciência. Seguindo tal lógica, o processo consiste em mudanças por interações pelo lado da heterogeneidade ou variedade (e.g. investimentos em P&D, construção de competências, fluxos de conhecimento, melhorias de desempenho e menor preço) e no ambiente seletivo (e.g. regulações mais estritas, alterações nas preferências) (GEELS, 2010).

Inovações técnico-sociais estariam endogenamente relacionadas com crescimento e desenvolvimento econômico, por trazerem transformações na conformação das atividades econômicas e sociais. Por este motivo, surge a crítica no debate quanto a modelos de crescimento, à concepção neoclássica, que considera que uma nova tecnologia surgiria como efeito exógeno ao sistema. Esta se difundiria instantaneamente na economia, com a velocidade de sua adoção limitada apenas pela taxa de investimento e incorporação de capital da economia (NELSON; WINTER, 1982).

Em outras palavras, Nelson (2009) considera que o crescimento de longo prazo é resultado de um processo coevolutivo do que ele definiu como tecnologias físicas (relacionadas ao conhecimento técnico e científico) e sociais (relacionadas às interações sociais), dentro de instituições aonde ocorrem as necessárias inter-relações e avanços. Assim, o interesse do

³² Dosi e Nelson (2013) afirmam que neste ponto, o processo se diferencia da biologia, onde muitas vezes a evolução é assumida como aleatória, como em casos de "mutação" biológica.

autor está na busca em identificar as características especiais que a propagação e preservação da informação geram em termos de criação de rotinas e introdução de inovações³³.

A escola evolucionária deu impulso significativo a estudos sobre inovação nas indústrias manufatureiras e suas repercussões no desenvolvimento dos países, entre o final da década de 1970 e o início da década de 1980. As contribuições seminais de Dosi, Freeman, Rosenberg, Nelson e Winter, entre outros, abriram uma nova direção de pesquisa e um novo conjunto de questões a serem investigadas. A nova perspectiva centrou-se em algumas das principais características do processo de mudança tecnológica e, em particular, sobre sua natureza paradigmática, cumulativa e específica quanto a tecnologias e setores (CASTELLACCI, 2007). A natureza paradigmática refere-se à existência de grandes tecnologias, que são alicerces de um contexto tecnológico temporalmente determinado, tendo a capacidade de criar um conjunto de desafios e oportunidades para atividades inovadoras e estratégias de negócios para agentes econômicos. Portanto, conceitos centrais neste âmbito são os de paradigma tecnológico e trajetórias.

3.1.1. Paradigmas e trajetórias tecnológicas

Como descrito, os evolucionários investigam os fatores que dão origem e condicionam o processo de geração e difusão de novas tecnologias. Comumente destacam inter-relações da introdução de tecnologias com a dinâmica industrial e estruturas de mercado.

Autores como Dosi, Nelson e Winter distinguem os esforços de inovação oriundos da prática e rotinas (*learning by doing*) daqueles com origem da compreensão profissional e pesquisa aplicada (P&D). Na prática, tecnologias e indústrias diferem quanto à quantidade de fundos investidos em P&D e quanto aos ganhos gerados a partir deste tipo de esforços, aplicação, uso e aprendizado.

Tratando inovações que geram repercussões heterogêneas na economia e em firmas, esses autores argumentam que haveria uma propriedade geral na qual o conhecimento codificado *ex ante*, quaisquer que seja, não é suficiente para estabelecer propriedades detalhadas de qualquer artefato ou processo de produção.

A afirmativa se fundamenta por três razões:

- (i) mesmo para os casos onde as ciências subjacentes à área do conhecimento envolvida estejam em nível avançado, parte do conhecimento (*know-how*) de seus

³³De tal sorte a contrastar com as premissas clássicas de retornos decrescentes de escala e da natureza da informação como bem público, entre outros aspectos.

profissionais, é adquirido através da experiência operacional, não através de treinamento formal;

- (ii) em qualquer caso, os esforços para inventar e resolver problemas tecnológicos inevitavelmente ultrapassam a gama de opções perfeitamente compreendidas; e
- (iii) empresas de uma mesma indústria tendem a diferir umas das outras nos detalhes de seus produtos e processos, no conjunto de clientes e fornecedores que conhecem, e em sua história passada de sucessos e falhas, influenciando sua rotinas.

Portanto, diferenças de conhecimento e de prática não necessariamente surgem de princípios de ciência ou de engenharia, mas sim de experiência idiossincrática. Apesar da heterogeneidade, a busca de diferenciação em certo espaço de possibilidades apresenta padrões, e são estes que caracterizam o que chamam de um paradigma tecnológico³⁴.

In broad analogy with the Kuhnian definition of a ‘scientific paradigm’, we shall define a ‘technological paradigm’ as ‘model’ and a ‘pattern’ of solution of selected technological problems, based on selected principles derived from natural sciences and on selected material technologies [...] It would perhaps be better to talk of ‘cluster of technologies’, e.g. nuclear technologies, semiconductor technologies, organic chemistry technologies, etc. (DOSI, 1982, p.152)

Um **paradigma tecnológico** define um contexto onde, a partir de certas necessidades, soluções serão investigadas e desenvolvidas. Os princípios científicos, materiais e técnicas utilizadas para esta tarefa estarão inseridos no paradigma. Um paradigma tecnológico envolve um *artefato*, que deve ser desenvolvido e melhorado (e.g. um carro, um circuito integrado, uma ferramenta), e um conjunto de *heurísticas*, i.e., de padrões específicos de busca por soluções para problemas técnico-econômicos (e.g. *o que utilizar? onde buscar? qual tipo de conhecimento necessário?*). Adiciona-se, ainda, aspectos normativos como critérios de avaliação de desempenho, objetivos para melhores práticas e exclusão de abordagens (DOSI, 1984).

Um paradigma tem consigo uma perspectiva (*outlook*), uma visão do estado das coisas, uma definição dos problemas relevantes que devem ser analisados e os padrões de como solucioná-los. Pressupõe-se uma visão das necessidades pelo lado dos usuários e das características e atributos de produtos ou serviços que suprem tais necessidades.

³⁴ Em analogia aos paradigmas científicos de Kuhn (1962).

Uma característica que distingue diferentes paradigmas é a cumulatividade de sucessos de inovação. A acumulação capta a natureza incremental da busca tecnológica e, fundamentalmente, varia muito em diferentes atividades inovadoras³⁵.

Nesta literatura, o surgimento e difusão de novos paradigmas tecnológicos é associado a inovações radicais, que geram produtos com potencial de uso em muitos setores da economia e impulsionam o desenvolvimento econômico por décadas. Assim, o conceito de paradigma tecnológico não descreve simplesmente um conjunto de características técnico-econômicas em um sentido estático, mas está relacionado com o comportamento dinâmico de um sistema e da evolução tecnológica associada a ele. Logo, não é apenas importante que um conjunto de inovações sejam introduzidas, mas sim que elas estejam estritamente interligadas e se disseminem, impulsionando o crescimento de setores da economia³⁶.

Nelson e Winter (1982) se utilizam da noção de paradigma no sentido microtecnológico (e.g. paradigma de semicondutores, do motor a combustão interna, etc.), pois estão interessados em analisar o comportamento e dinâmica das firmas. Tal noção micro de paradigma tecnológico contrasta com a noção macro de "paradigma técnico-econômico" elaborada por Freeman e Perez (1988). De acordo com estes últimos, mudanças de paradigma técnico-econômico (ou "revoluções tecnológicas") são aquelas que ocorrem nos sistemas de tecnologia, sendo tão abrangentes e de tão grande impacto que influenciam o comportamento de toda a economia. Elas afetam a estrutura de custos de insumos e as condições de produção e distribuição de todo o sistema. Mudanças desse tipo geram agrupamentos (*clusters*) de inovações radicais e incrementais, e podem incorporar outros sistemas tecnológicos.

Os autores reinterpretam as teorias de Schumpeter no que se refere aos longos ciclos e a "destruição criativa" como uma sucessão de mudanças de "paradigmas técnico-econômicos" em um quadro institucional, que surge após processo intenso de mudança estrutural. Exemplos de paradigmas técnico-econômicos são os paradigmas da eletricidade e das TIC.

Os paradigmas técnico-econômicos de Freeman e Perez se assemelham a concepção de "blocos de desenvolvimento" desenvolvido pelo sueco Érik Dahmén, já na década de 1950, e utilizado por Kander et al (2013) para organizar sua narrativa quanto às revoluções industriais e sua associação à história da energia (ver Capítulo 1). Segundo este autor, um bloco de

³⁵Uma maneira formal de capturar esta acumulação é a partir do uso de processos estocásticos (probabilidades futuras de sucesso condicionadas a realizações passadas). Este procedimento é fundamentado na hipótese de existência de retornos dinâmicos baseados no conhecimento.

³⁶Essa família de inovações denominada paradigma tecnológico, em Dosi (1982), também pode ser chamada de "sistema tecnológico" (FREEMAN; SOETE, 1997).

desenvolvimento é iniciado por uma ou mais macroinovações centrais³⁷. Inovações e complementaridades são os dois elementos centrais de blocos de desenvolvimento, onde as inovações criam as complementaridades (DAHMÉN, 1989; ENFLO et al, 2006).

A existência de complementaridades significa que elementos não funcionam sem outros, o que leva a interações sistêmicas. O autor, então, trabalha com os conceitos de “sucção de mercado” e “ampliação de mercado”. A sucção de mercado descreve a relação entre uma inovação e seus requisitos para recursos complementares, criando mercados pelo canal de demanda de insumos ou componentes (*demand pull*). Por sua vez, a ampliação de mercado trata da demanda pela inovação em si, geralmente por avanços na sua oferta pelo seu barateio e/ou melhor desempenho (*supply push*)³⁸.

A identificação de paradigmas tecnológicos (*a la* Nelson e Winter) é relevante em processos de transições sistêmicas, pois estes criam foco aos esforços para avançar em um dado tipo tecnológico; a isso se denomina **trajetórias tecnológicas**. Para a análise de uma TEBC, o conceito de trajetória será destacado, pois diversas das soluções existentes e em desenvolvimento na realidade incorporam o paradigmas técnico-econômicos (*a la* Freeman e Perez) ou blocos de desenvolvimento (*a la* Dahmén) existentes (e.g. eletricidade e TIC), sob um contexto sociotécnico que gera um viés a soluções menos intensivas em emissões.

As trajetórias tecnológicas apresentam os avanços gerados por agentes distintos, que podem ocorrer durante períodos de tempo significativos em direções relativamente invariantes, e com características técnico-econômicas centradas em determinados *artefatos* e *processos* de produção. Considera-se que, à medida que os paradigmas incorporam a identificação das necessidades e requisitos técnicos dos usuários, as trajetórias surjam, promovendo o aprimoramento tecnológico progressivo para atendimento da demanda.

We will define a technological trajectory as the pattern of “normal” problem solving activity (i.e. of “progress”) on the ground of a technological paradigm. [...] Once a path has been selected and established, it shows a momentum of its own [...], which contributes to define the directions towards which the “problem solving activity” moves. A technological trajectory, i.e. to repeat, the “normal” problem solving activity determined by a paradigm, can be represented by the movement of multi-dimensional trade-offs among the technological variables which the paradigm defines as relevant. Progress can be defined as the improvement of these trade-offs. (DOSI, 1982, p.152-154)

³⁷ Tais macroinovações podem (sem via de regra) assumir a forma de tecnologias de propósito geral, i.e., com uma ampla gama de aplicações na atividades sociais e econômicas.

³⁸ Nas revoluções da história da energia, o efeito de ampliação do mercado geralmente vem das transformações de transporte e comunicações inerentes aos blocos de desenvolvimento. Quando estes são barateados, o novo energético pode ser transportado a custos módicos a locais cada vez mais distantes, mesmo existindo substitutos. Tanto a sucção quanto a ampliação de mercado promovem a difusão do uso do energético de forma generalizada (KANDER et al, 2013).

Exemplos de trajetórias tecnológicas incluem o desenvolvimento de aeronaves, equipamentos agrícolas, automóveis, semicondutores, entre outras tecnologias. Uma trajetória tecnológica, portanto, apresenta aspectos cumulativos, i.e., conserva conhecimentos que elevam a probabilidade de futuros avanços. Surge, então, a noção de dependência da trajetória (*path dependence*), onde uma certa estrutura tenderá a ter ligação intertemporal com uma estrutura passada. Ou seja, novas ideias são baseadas em ideais precedentes que passam por processos e acumulam-se. De acordo com Dosi e Nelson (2013), as trajetórias apresentariam algumas propriedades, quais sejam:

1) *as trajetórias ordenam e limitam, mas não eliminam a geração persistente de variedade nos espaços de produto e processo*. Mesmo que o paradigma defina os limites próximos da viabilidade e molde a heurística da busca, inovações sempre poderão ser produzidas; e

2) *as trajetórias “extrapolam para frente” reduzindo a incerteza do futuro*. Na medida em que o conhecimento é compartilhado pela comunidade de empresas, profissionais e engenheiros, as representações e percepções do que o futuro provavelmente produzirá em termos de tecnologia será fortemente influenciada por elas.

O efeito exclusão gerado por paradigmas a certas bases de conhecimento restringem as direções de pesquisa, logo estreitando as possibilidades de desenvolvimento de trajetórias. As trajetórias tecnológicas aparentemente são conduzidas por ciclos, envolvendo componentes de seu núcleo. Estes componentes são relativamente invariantes, e promovem não apenas melhorias em si mesmos ao longo do tempo, mas também geram eventuais distúrbios e estrangulamentos na trajetória. A estes distúrbios, Rosenberg (1976) denomina de **desequilíbrios tecnológicos**. A qualquer momento, tecnologias serão sempre dependentes dos limites que seus componentes impõem ao seu atual nível de desempenho. Na busca por maior desempenho, qualquer substituição ou melhoria em componentes provavelmente criará novos obstáculos, sob a forma de limitações impostas por outros componentes. Assim, existe um sistema de busca que se retroalimenta pelas mudanças que experimenta; a cada superação de desafio, haverá a necessidade de novos avanços para aprimoramento tecnológico mais amplo.

Neste arcabouço teórico, a natureza paradigmática e cumulativa do conhecimento oferece trajetórias que canalizam a evolução tecnológica, enquanto as principais discontinuidades, geradas por inovações radicais, tendem a estar associadas a mudanças nos paradigmas. Portanto, a natureza das trajetórias é endógena, enquanto paradigmas podem reagir a circunstâncias exógenas. Mudanças no paradigma geralmente implicam em mudanças nas trajetórias.

There are, it is suggested, ‘**technological paradigms**’ which define clusters of ‘**technological trajectories**’ of progress. Scientific advances together with various institutional factors contribute to determine the timing and the nature of new paradigms, while markets perform as important selection environments. (DOSI, 1984 contra capa, grifo nosso)

A relação intrínseca entre paradigma e trajetória pode ser expressa em termos de regimes tecnológicos. Nelson e Winter (1982) definem regimes tecnológicos simplesmente como o ambiente tecnológico de uma indústria sob a qual as empresas operam. Tal ambiente difere em termos de oportunidades tecnológicas, propriedades da base, cumulatividade e condições de apropriação de conhecimento.

Portanto, uma tecnologia ou sistema tecnológico estão inseridos em um contexto de heurística (paradigma) e desenvolvimento (trajetória). No entanto, tal tecnologia para ser introduzida, estabelecer-se e permanecer como *artefato* relevante do ponto de vista socioeconômico, estará sujeita a mecanismos de incentivo e seleção no processo evolucionário da economia.

3.1.2. Ambiente de seleção e mecanismos de indução

Para a economia evolucionária, do mesmo modo que as espécies animais competem pela sua sobrevivência no ambiente natural, as empresas, por construção heterogêneas, competem no mercado. Elas buscam desenvolver e empregar técnicas mais avançadas com o objetivo de poupar custos e melhorar a qualidade de seus produtos relativamente a seus competidores, i.e., diferenciar-se para maximizar lucros.

O mecanismo de seleção em modelos evolucionários geralmente se baseia no desempenho dos agentes, em geral pela observação de lucros realizados por empresas. As bem sucedidas serão aquelas que obtêm maiores lucros e elevam sua participação de mercado sobre as de capacidade inferior (com menores lucros e que perdem parcela no mercado). Ao fim, estas últimas serão expulsas do mercado.

O processo de seleção por competição funciona de forma distinta em diferentes indústrias da economia. A seleção por parte das firmas (opções tecnológicas) e a seleção pelo mercado (produtos) são os motores dessa competição. Cada setor é caracterizado pelas interações complexas entre seus agentes heterogêneos, estrutura econômica, instituições e características tecnológicas, ou seja, por seu regime tecnológico.

Em momentos de surgimento de tecnologias, é comum observar novas empresas buscando explorar diferentes versões tecnológicas, almejando ganhos supranormais para o caso de sucesso comercial. A existência de atores que tomam riscos, em economias não planejadas, é

crucial para gerar o processo de tentativa e erro da busca de rotas tecnológicas. Assim, o critério de seleção das firmas é multidimensional, envolvendo mudanças tecnológicas ou econômicas que interferem nas suas oportunidades de crescimento e sobrevivência.

A seleção final do mercado é equiparada à seleção ambiental em mutações, onde, os mercados, a partir de um sistema de recompensas e penalizações, verificam e selecionam as alternativas, determinando quais permanecerão competindo.

Ao se levar em conta os mecanismos de seleção, considera-se que o avanço sistemático de uma tecnologia em uma trajetória não estará alheia às necessidades e preferências de seus usuários finais e das condições econômicas vigentes (e.g. preços relativos e demais condições de oferta e demanda). Como se expôs anteriormente, paradigmas levam consigo uma orientação quanto às necessidades dos usuários.

Existem razões pelas quais certas inovações tecnológicas são bem sucedidas comercialmente, enquanto outras não. Mudanças nos fatores do lado da demanda podem induzir a orientação de novas tecnologias. Este mecanismo ou canal de indução³⁹ altera a orientação da heurística de pesquisa dentro de um paradigma.

De acordo com Dosi e Nelson (2013), as fontes de indução podem ser:

- a) mudanças nas regras microeconômicas;
- b) mudanças na alocação de recursos para esforços de busca; e
- c) mudanças induzidas pelo mercado nos critérios de seleção.

Mecanismos de indução microeconômicos dependem das formas em que a produção se dá, das condições de mercado, e de sua influência nos incentivos e padrões comportamentais daqueles que trabalham na criação de novas tecnologias. As estratégias de alocação de recursos de busca (como gastos em P&D com temas específicos) também direcionam certos padrões. Finalmente, mudanças nos critérios de seleção fazem com que técnicas ou produtos sejam comparados com suas possíveis alternativas.

Os autores argumentam que, independentemente das fontes de indução, em uma escala mais longa de tempo, é o surgimento e o desenvolvimento de novos paradigmas tecnológicos que moldariam a direção, bem como a taxa de avanço tecnológico.

Por outro lado, em seu livro, Rosenberg (1976) busca contestar a ‘máxima dos preços relativos’, como mecanismo de indução e seleção tecnológica que se apresenta pelo viés pou-

³⁹ Noção desenvolvida anteriormente por Hirschman (1958), atribuída às forças que proporcionam incentivos à mudança técnica.

pador de fatores/custos das firmas (argumento recorrente da teoria neoclássica)⁴⁰. O autor não descredita o papel do mecanismo de preços, mas enfatiza que não é, de forma alguma, o único mecanismo, e muitas vezes tão pouco o mais importante. Considera que a visão coevolutiva a partir do *feedback* persistente entre inovação, difusão e geração endógena de oportunidades, é o principal pilar para o abandono de modelos lineares de inovação (seja conduzido por choques de demanda ou tecnológicos).

Assim, para o autor os mecanismos de indução seriam:

- a) busca por diferenciação e maiores lucros;
- b) desequilíbrios tecnológicos; e
- c) interrupção ou indisponibilidade de suprimento.

O primeiro mecanismo se associa à expectativa de lucro das firmas e à dinâmica microeconômica de diferenciação descrita anteriormente. Já no caso de desequilíbrios tecnológicos, como já exposto, estes motivam a atividade exploratória para acomodar novos requisitos gerados pelas próprias mudanças que realiza. Por fim, interrupções ou indisponibilidade de suprimento são indutores de mudança tecnológica, na medida em que não são atendidas certas necessidades pelo lado da demanda, gerando situações, às vezes, insuportáveis. Os exemplos mais claros de causas de interrupção seriam guerras ou greves. Em cada caso, a imposição ou a presunção de uma restrição insuperável levaria a busca por um substituto tecnológico satisfatório ou superior.

Existem outras variáveis mais específicas que funcionarão como forças de foco em direções definidas de desenvolvimento tecnológico, tais como (DOSI, 1982):

- a) os interesses econômicos das organizações envolvidas em P&D nas novas áreas tecnológicas;
- b) a história tecnológica, os campos de seus conhecimentos, etc.; e
- c) variáveis institucionais *stricto sensu* tais como agências públicas, militares, etc.

No último caso, uma trajetória tecnológica particular poderia ser direcionada por ações públicas (e.g. políticas direcionadas). Um exemplo disso é a eletrônica de semicondutores e computadores a partir de programas militares e espaciais no período pós-guerra, definindo metas tecnológicas e provendo financiamento público à pesquisa. Outro exemplo são políticas que afetem os preços finais de energia, alterando o espaço de preferências dos consumidores. Tais instrumentos de política se enquadram em objetivos de apoio direto à inovação (*technology push*) e criação de mercados (*market pull*).

⁴⁰A mudança tecnológica, quando abordada do ponto de vista da teoria econômica neoclássica, dá-se pelo ajuste passivo às pressões e sinais das forças econômicas, mediadas pelo mercado e através dos preços dos fatores em particular.

Dosi (1982) argumenta que, mesmo quando uma "focalização institucional" ocorre, é provável que existam variadas possibilidades tecnológicas, um processo de pesquisa incerto, com organizações, empresas e indivíduos distintos, configurando uma verdadeira "aposta" em soluções tecnológicas. Portanto, para o autor, ações institucionais sobre o surgimento de novas tecnologias não seriam regra geral, dada a existência de fraquezas nos mecanismos de seleção *ex ante* das direções tecnológicas, especialmente quando tratam-se de fases iniciais de uma indústria⁴¹ e da presença de incerteza.

Para enfatizar a relevância institucional nos mecanismos de seleção da inovação, Kemp (1994) usa o conceito de **ambiente de seleção** como um termo mais geral, sendo definido pelos desembolsos de capital, infraestrutura física, vínculos fornecedor/usuário, rotinas de produção, habilidades, padrões técnicos, regras governamentais, normas, preferências e crenças das pessoas. Neste sentido, o autor busca incorporar fatores que antes seriam tidos como exógenos ou, no limite, irrelevantes no processo evolucionário da economia para outros autores. Sem tais fatores, afastariam-se da análise elementos fundamentais de interação, limitando a observação mais holística do processo de coevolução.

3.1.3. Coevolução

É a partir da análise da interação entre os atores em um ambiente de seleção, do desenvolvimento das organizações e das relações econômicas, que surge o conceito de **coevolução**, emprestado da biologia. Nelson (1995) desenvolve este conceito demonstrando o papel fundamental de instituições (e.g. universidades, agências públicas e privadas, etc.) para a construção de variedades tecnológicas e estruturas industriais. Este padrão co-evolutivo, pode ter raízes nas estratégias institucionais adotadas e, em termos agregados, pode potencialmente estabelecer vantagens comparativas e competitivas⁴².

As direções e interações deste sistema interdependente de agentes e instituições impõem certo ritmo à dinâmica tecnológica e suas consequências práticas no mercado. Por exemplo, empregando os conceitos descritos ao fenômeno da inovação, podemos descrever uma dinâmica típica: (i) em um dado momento surge uma novidade ou prática tecnológica potencialmente vantajosa e lucrativa; (ii) esta gera um grande impulso no sub-sistema técnico-econômico para adotar a nova tecnologia; e (iii) a variedade se estabelece e predomina como melhor prática ou produto.

⁴¹ O autor argumenta que seria esta a razão pela necessidade de se criar instituições que façam a interseção entre a ciência "pura" e a pesquisa aplicada.

⁴²Ver também Porter (1990).

No entanto, o sistema socioinstitucional pode demorar até se ajustar ou ainda rejeitar as mudanças exigidas pela nova variedade tecnológica. O desajuste entre os dois subsistemas atrasa a introdução em grande escala de um novo paradigma, precisamente porque mudanças sociais, organizacionais e institucionais são necessárias antes que este possa se difundir para toda a economia (CASTELLACCI, 2007). A compatibilidade e complementaridade dos sistemas técnico-econômicos e socioinstitucionais se definem à medida que eles coevoluem.

A análise de processos de desenvolvimento a partir de mudança tecnológica em um dado país, comumente, leva à discussões dos mercados de trabalho, financeiros, políticas fiscais, monetárias e comerciais, e assim por diante. É difícil definir as fronteiras em torno dos aspectos relevantes de um processo de mudança tecnológica, dado que as organizações privadas e públicas interagem dentro de uma estrutura institucional e econômica complexa. Aspectos macro devem ser combinados com microprocessos em uma perspectiva coerente.

3.2. Transições sociotécnicas: a Perspectiva Multinível (PMN)

Como identificado nos capítulos anteriores, a literatura de transições é multidisciplinar, oferecendo ferramental diverso para analisá-las, buscando dar sentido a seus processos históricos. Adicionalmente, se considerarmos transições como fenômenos evolucionários e coevolutivos, o nível de complexidade da análise se elevará na medida que se amplia o número de agentes e interações no sistema sociotécnico descrito.

Comumente, os elementos centrais de análise na literatura de mudanças tecnológicas são *artefatos*, como é o caso de tecnologias que promovem as mudanças observadas. Porém, tais artefatos não explicam, *per se*, os fenômenos de transformação experimentados. Tecnologias podem ser utilizadas por usuários sem uma indicação de sua história, nem de seu funcionamento interno (como uma "caixa preta"), não havendo qualquer necessidade de questionamento de sua procedência. Portanto, *artefatos* devem ser entendidos, na realidade, como configurações materiais e socioculturais (RIP; KEMP, 1998). Por esta razão, é na consideração das relações humanas que tais artefatos se tornam relevantes, e assim definem-se os sistemas socio-técnicos.

Com o intuito de estabelecer um quadro analítico, Geels (2002) desenvolveu uma abordagem que visa entender processos de transição tecnológica e inovações sistêmicas a par-

tir de uma análise coevolucionária e sociotécnica; a esta abordagem⁴³ denominou de Perspectiva Multinível (PMN).

A PMN tem raízes em uma variedade de disciplinas, incluindo história, economia evolutiva, teoria institucional, estudos de ciência, tecnologia e sociologia da tecnologia. Com origem na escola *quasi*-evolucionária de Twente (Holanda), a PMN tem como objetivo compreender mudanças de regime tecnológicos em sistemas sociotécnicos e tornar os mecanismos de *variação/seleção/retenção* mais sociológico (GEELS, 2010)⁴⁴.

Esta escola é dita *quasi*-evolucionária pois segue Nelson & Winter colocando os processos de busca tecnológica como seu ponto de partida; porém, considera que a variação não é aleatória, mas orientada pela sua heurística. O ambiente de seleção também não é estável, sendo ativamente modificado, o que aumenta as chances de sobrevivência de um produto de pesquisa. Nesta escola, a relação entre variação e seleção pode se tornar institucionalizada em um nexos, canalizando processos de coevolução. Alianças e redes desempenham papel semelhante: quando as condições do regime emergem, elas modificam as decisões de busca e desenvolvimento tecnológico (RIP; KEMP, 1998).

Desta corrente teórica, que busca associar economia com outras disciplinas (sobretudo as de raízes sociológicas), surge a abordagem da PMN, descrevendo transições tecnológicas históricas para entender seus elementos promotores e dinâmica temporal.

Os diferentes níveis da PMN não são descrições ontológicas da realidade, mas sim conceitos analíticos e heurísticos que visam a compreensão da complexa dinâmica da mudança sociotécnica. Trata-se, portanto, de uma perspectiva, pois tem como objetivo a observação ordenada e descrição de fenômenos. A PMN fornece explicações narrativas, o que não implica contar histórias ou empirismo. O principal é que as explicações narrativas não necessariamente trabalham com causalção, variáveis dependentes e independentes, mas são explicadas em termos de **padrões de interação**⁴⁵. Pode-se dizer que se trata de uma linguagem por estabelecer conceitos, em particular aqueles de origem da economia evolucionária, e uma abordagem

⁴³ De acordo com Geels (2011), na realidade a PMN é tratada como uma teoria de médio alcance. Embora tenha seus fundamentos baseados em certas teorias, é possível a utilização de teorias auxiliares. A teoria evolutiva pode ser usada como uma estrutura aberta, acomodando conceitos econômicos e sociológicos.

⁴⁴ Nesta visão, a *variação* dependente de elementos cognitivos (expectativas, visões e crenças) guia processos de busca e inovação por atores intencionais. A *seleção* ocorre em um dado ambiente, que incorpora requisitos sociais, culturais e políticos. A *retenção* é conceitualizada como "regras" e não como rotinas (RIP; KEMP, 1998). Os atores não são passivos a elas; logo, há um processo interpretativo, negociado e contestado de institucionalização de regras.

⁴⁵ Esta noção do uso de padrões é derivada de "teorias do processo", que explicam resultados como produtos da seqüência de eventos, tempo e conjunturas. Grupos realizam movimentos, ações, e reagem entre si. Processos são entendidos como seqüências de eventos adotadas por atores situados (GEELS; SCHOT, 2007).

por trazer certas rotinas empíricas como a da identificação de atores e suas interações que culminam em transições.

Um dos objetivos deste tipo de abordagem é entender a estabilidade das configurações sociotécnicas e suas ligações (*linkages*), regimes, nichos e trajetórias. A PMN propõe que transições, definidas como mudanças de regime sociotécnico, ocorrem através de processos entre níveis. Mudanças de regime seriam atípicas, pois regimes existentes são caracterizados por sua estabilidade, aprisionamento tecnológico (*lock-in*) e dependência da trajetória (*path dependence*) (GEELS, 2010). Dentre os focos dessa abordagem estão a aprendizagem, coevolução, escala, estabilidade e estrutura. As expectativas também podem desempenhar um papel na articulação de processos de transição, tendo como elemento catalisador as configurações sociotécnicas específicas.

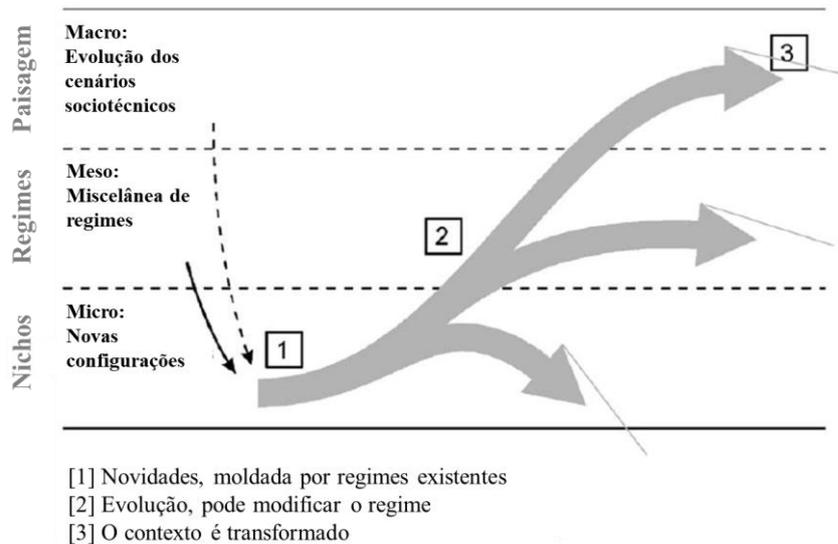
De forma genérica e simplificada, a abordagem descreve a partir de três níveis de análise, como se dá a dinâmica de mudanças de regime. O nível micro de nichos é o *locus* da geração e desenvolvimento de inovações radicais, sendo cruciais para induzir as transformações tecnológicas. O nível meso dos regimes sociotécnicos é onde ocorre o processo de estabilidade no desenvolvimento tecnológico e surgimento de trajetórias. Finalmente, o nível macro corresponde ao contexto e consiste em fatores externos de mudança lenta, proporcionando gradientes para as trajetórias.

The multi-level perspective argues that transitions come about through interactions between processes at these three levels: (a) niche-innovations build up internal momentum, through learning processes, price/performance improvements, and support from powerful groups, (b) changes at the landscape level create pressure on the regime and (c) destabilisation of the regime creates windows of opportunity for niche-innovations. The alignment of these processes enables the breakthrough of novelties in mainstream markets where they compete with the existing regime. (GEELS; SCHOT, 2007, p.400)

A Figura 5 apresenta, esquematicamente, como a PMN descreve processos de mudança tecnológica quando do surgimento de inovações a partir de nichos no nível micro, sendo influenciado por regimes e paisagens existentes. A relação entre os três níveis pode ser entendida como uma hierarquia aninhada, i.e., regimes são incorporados dentro de paisagens e nichos de regimes.⁴⁶ Múltiplos regimes coexistem em uma mesma paisagem e diferentes nichos, em um regime particular ou nas fronteiras de outros regimes.

⁴⁶“While [‘nested hierarchy’] is an attractive metaphor, most niches do not emerge within regimes, but often outside them (although niche actors are usually aware of regime structures). While the socio-technical landscape is an external context, the relation with regimes (and niches) is not necessarily hierarchical...” (GEELS, 2011, p 37-38)

Figura 5 - A dinâmica da mudança sociotécnica na perspectiva multinível



Fonte: Adaptado de Geels (2002)

3.2.1. Nichos

Nichos são cruciais para a inovação do sistema, pois fornecem elementos precursores de mudança. Como esboçado pela Figura 5, o surgimento de nichos é diretamente influenciado por regimes existentes (setas sólidas) e indiretamente pela paisagem (setas pontilhadas). É do alinhamento e convergência dos processos de desenvolvimento tecnológico entre níveis, de fatores contingentes, estratégias de atores e mecanismos sociais que se daria o sucesso de processos transitivos.

De acordo com Geels (2002), os **nichos** tecnológicos formam o nível micro onde emergem inovações radicais, e onde atores se encontram alinhados em redes para o desenvolvimento delas. Estas inovações emergem de forma ampla se as pressões dos níveis de paisagem e regime lhes permitir.

Geralmente, em seus estágios iniciais, invenções apresentam imperfeições, baixo desempenho, são pesadas, caras e sem escala. Nestes estágios, tecnologias não sobrevivem às condições regulares de mercados, precisando de algum ambiente protegido que seja propício a seu desenvolvimento. Nichos são, portanto, estes ambientes de incubação ativamente construídos por atores, que podem atrair outros atores (e.g. decisores políticos, usuários, fornecedores) a mobilizar recursos para o desenvolvimento da inovação.

Nichos podem ser ainda descritos de duas formas:

- 1) *nichos tecnológicos*: a proteção é fornecida no âmbito de subsídios públicos ou investimentos estratégicos por empresas; e

- 2) *nichos de mercado*: a proteção advém de requisitos particulares de desempenho para aplicações especiais e transações de mercado regulares, fornecendo recursos para sustentar o nicho.

Apesar de, geralmente, surgirem de forma sobreposta, estes nichos diferem em seu grau de estabilidade, onde os tecnológicos se mostram mais instáveis que os de mercado.

Nichos tecnológicos apresentam incerteza quanto à regras de *design*, quem serão os usuários e suas preferências, além da fragilidade ou ausência de redes de produtores e instituições de mercado que promovam a tecnologia. Processos de aprendizagem e coordenação são importantes para estabilizá-los, estabelecendo regras ao nível da aprendizagem, das redes de produção e articulação com usuários. A estabilização de nichos consome tempo e dinheiro, sendo dependente da disposição de seus atores ou de atores externos em apoiá-los.

Nichos de mercado, por sua vez, apresentam mais estabilidade pois comumente a tecnologia está suficientemente desenvolvida para produtores atuarem em escalas maiores que as de protótipos, podendo avançar comercialmente. Isso permite com que instituições básicas de mercado se desenvolvam (e.g. revendedores) e sejam mais claras as necessidades dos usuários. De toda a maneira, processos de aprendizagem ainda são necessários, mesmo para estes tipos de nichos.

Para a construção e desenvolvimento de nichos que geram inovações radicais, certos processos são necessários⁴⁷, como: (i) construção de redes de apoio social; (ii) processos de aprendizagem⁴⁸ para melhorar a relação custo-benefício das novas tecnologias e alinhamento em sistemas sociotécnicos mais amplos; e (iii) processos de articulação e ajuste de visões e expectativas.

Neste último caso, as expectativas tem como função dar direcionamento aos processos de aprendizagem e atrair a atenção de mais atores ampliando a rede. O nicho se expandirá e se estabilizará na medida que esses processos se reforçarem. Do contrário, o nicho poderá desaparecer.

3.2.2. *Regime*

Um **regime sociotécnico** é uma versão expandida dos **regimes tecnológico e paradigmas tecnológicos** da economia evolucionária tradicional, associado sobretudo às rotinas cognitivas compartilhadas pela comunidade científica, padronizando desenvolvimentos ao lon-

⁴⁷ Esta é uma linha de pesquisa de autores da chamada ‘gestão de nicho estratégico’ (*strategic niche management*).

⁴⁸Incluindo processos *learning by doing* (ARROW, 1962), *by using* (ROSENBERG, 1976) e *by interacting* (LUNDVALL, 1992).

go de **trajetórias tecnológicas**. No entanto, o que diferencia o regime sociotécnico é a adição de conceitos da sociologia da tecnologia como as contribuições de grupos sociais e seus alinhamentos (e.g. cientistas, políticos, usuários e grupos de interesse), regras formais (e.g. leis, regulamentos, padrões, estruturas de incentivo) e regras normativas (e.g. normas, expectativas, valores comportamentais) (RIP; KEMP, 1998). Assim, os regimes sociotécnicos estabilizam as trajetórias por via de regras institucionais e rotinas.

Regras são um recurso de orientação para ação e fontes de restrições. Sua aplicação e interpretação não é passiva, podendo ser modificadas para atender contingências práticas da realidade. As regras, portanto, têm efeitos habilitantes e restritivos, fornecendo estruturas de coordenação para a ação e interação humana que podem, inclusive, alterar estas mesmas regras ao longo do tempo. É a partir das regras e sua função de coordenação que surgem regimes estáveis.

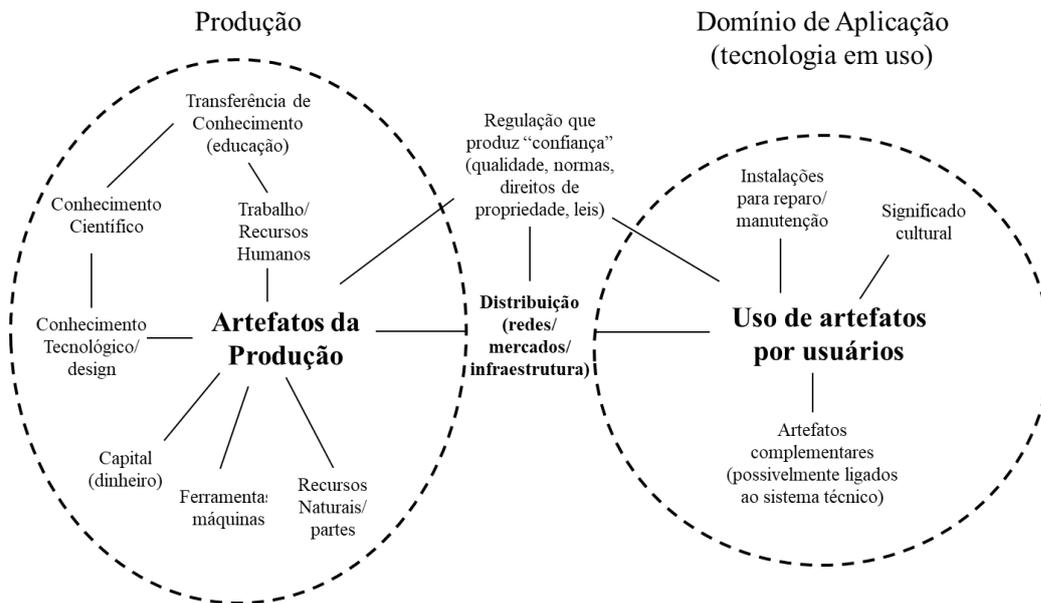
Neste sentido, os regimes sociotécnicos são a representação da estabilidade do desenvolvimento tecnológico, sem que com isso sejam regimes estáticos. Enquanto os atores se esforçarem para estabelecer regras em nichos, no nível de regime estas irão se tornar mais fortes. De fato, trata-se de um sistema dinamicamente estável, com inovações incrementais ao longo de trajetórias tecnológicas, mas que não deixam de ser passíveis à perturbações e desalinhamentos.

É importante notar que a PMN não prescreve quão amplo ou estreito seja o espectro empírico de um regime. Trata-se de um esquema analítico que pode ser aplicado a diferentes dimensões empíricas (e.g. combustíveis primários individuais ou sistemas elétricos inteiros). A definição das fronteiras empíricas implicarão na conceituação operacional de regime (atores, relações e regras/instituições). Estudos empíricos interessados mais nos macropadrões de transições que na dinâmica microssociológica comumente definem fronteiras de análise relativamente amplas e não diferenciam sistema de regime.

Um sistema se refere a elementos tangíveis e mensuráveis (artefatos, partes de mercado, infraestrutura, regulamentos, padrões de consumo, opinião pública), enquanto regimes se referem a estruturas intangíveis e subjacentes (crenças de engenharia, heurísticas, regras práticas, rotinas, paradigmas de políticas, visões, expectativas e normas sociais). Então, os regimes delinham atividades de atores que reproduzem elementos do sistema (GEELS, 2011).

A Figura 6 apresenta um esquema dos elementos e recursos de um sistema sociotécnico. Geels (2004) propõe analisar os regimes sociotécnicos como uma metacoordenação de regimes tecnológicos, científicos, de políticas, socioculturais e de mercados.

Figura 6 - Elementos e recursos básicos do sistema sociotécnico



Fonte: Traduzido de Geels (2004)

Vale notar que a maioria dos trabalhos desta área concentram-se em um único regime. No entanto, transições podem ser fruto de interações de múltiplos regimes, em particular se promovidas a partir de inovações de nó, como são as inovações precursoras das revoluções industriais.

3.2.3. Paisagem

A **paisagem** (no inglês *landscape*) corresponde ao nível macro, ou um ambiente exógeno, que vai além da influência direta dos atores de nicho e regime. A paisagem forma uma estrutura externa ou contexto para interações de atores. Está comumente associada a macroeconomia, padrões culturais, movimentos macropolíticos, geopolítica e etc.

De forma analítica, as trajetórias tecnológicas estariam aninhadas no espaço de paisagem, que apresentam um conjunto de tendências estruturais externas ao regime. Paisagens atuam como um "gradiente" para o desenvolvimento tecnológico, tornando mais fácil para as trajetórias tecnológicas entrarem em determinadas direções em detrimento a outras.

Enquanto o regime sociotécnico se associa às regras e rotinas, a paisagem refere-se a um "estado da arte" mais amplo da tecnologia, que não se altera facilmente pelos atores ao nível do regime. Mudanças de paisagem podem ser relativamente lentas (e.g. mudanças culturais, demográficas e ideologias políticas) ou rápidas (e.g. guerras, preços de *commodities* e depressões econômicas), geralmente identificadas como choques externos. A compreensão do papel do nível de paisagem é importante na abordagem da PMN, pois o sucesso de uma nova tecno-

logia não é apenas governado por processos dentro do nicho, mas também por desenvolvimentos ao nível do regime existente e/ou da paisagem sociotécnica.

Neste contexto, e referenciando-se o tema da TEBC, as mudanças climáticas podem, em décadas futuras, tornar-se uma mudança de paisagem tão perturbadora que desencadearia uma seqüência de transformações, afetando os regimes sociotécnicos como os que envolvem os sistemas de transportes e energia, por exemplo.

3.2.4. A PMN como recurso analítico

A PMN tem sido usada para entender a interação dinâmica entre múltiplos níveis, explicando o surgimento e difusão de novas tecnologias. Isso leva a várias proposições sobre inovação do sistema e transição tecnológica. De fato, a abordagem é um dispositivo heurístico que orienta a atenção a questões e problemas específicos e relevantes na narrativa dos porquês de certos fenômenos transitivos. Sua aplicação apropriada requer tanto conhecimento substantivo do domínio empírico quanto sensibilidade teórica na identificação de mecanismos e padrões.

Comumente, os estudos de caso desta literatura são nomeados pelas transformações de seus artefatos tecnológicos (e.g. ‘transição britânica do navio a vela para a vapor’ ou a ‘transição americana das carruagens puxadas a cavalos para automóveis’), retratando mudanças nos sistemas sociotécnicos como um todo. Os estudos de caso podem incluir diversos elementos narrativos, como: (i) mapeamentos quantitativos de *market-share* de tecnologias (sugerindo substituição e dinâmica temporal do processo); (ii) descrição dos elementos relevantes do sistema sociotécnico sob formas esquemáticas; e (iii) quadro dos principais grupos sociais envolvidos nos processos descritos.

É buscando responder a um conjunto de perguntas que se pode estruturar a narrativa pela PMN (GEELS, 2002):

- 1) *Quais foram os desenvolvimentos de paisagem relevantes?*
- 2) *Quais foram os principais desenvolvimentos no regime sociotécnico?*
- 3) *Quais novidades emergiram em quais nichos?*
- 4) *Quais os atores envolvidos?*
- 5) *Quais problemas encontrados e como superá-los?*
- 6) *Como as dinâmicas de nicho se relacionam com os níveis de regime e paisagem?*

Portanto, é fazendo um esboço não exaustivo do sistema sociotécnico e dos grupos sociais nele presentes que são construídas as narrativas nas quais os artefatos e atores desempenham papéis na história de transições. Como quadro analítico a PMN é bastante flexível para ser aplicada em diversas narrativas de transições históricas. Por este mesmo motivo, a abor-

dagem reúne uma série de críticas quanto a sua aplicação (GEELS, 2002;2011; SOVACOOOL; HESS, 2017). Vale destacar que, por ser uma abordagem, esta requer uma ou mais teorias para que sejam feitas suas análises.

Nesta tese, a linguagem e esquema analítico da PMN estarão presentes na descrição e narrativa dos processos e das políticas históricas ao setor energético. No entanto, não se pretende utilizar a PMN como abordagem, pois o objetivo da tese será restrito às questões referentes às políticas, e não na descrição das interações e fenômenos ao nível dos diversos grupos sociais envolvidos no sistema energético como um todo.

Em suma, este capítulo teve como objetivo apresentar o pensamento da economia evolucionária, destacando seus conceitos de paradigmas e trajetórias tecnológicas, que serão chave para entender os desenvolvimentos da temática da TEBC. Se transições energéticas podem ser entendidas como mudanças tecnológicas que coevoluem em um sistema sociotécnico, elas podem ser encaradas como trajetórias tecnológicas com paradigmas e ambiente de seleção próprios. A estrutura lógica da PMN se insere nesta proposição como um recurso analítico e de linguagem. Com suas subdivisões entre níveis de análise (nichos, regime e paisagem), ela organiza as transições a partir de artefatos (tecnologias) inseridos em um sistema sociotécnico (instituições, mercados, etc.), que tem seus regimes alterados por interações das mais diversas. Ao nível do regime, encontram-se as instituições e será justamente aonde as políticas atuam.

O foco de análise do próximo capítulo será o da conceituação de um regime de baixo carbono e da convergência das políticas energéticas para sua construção.

PARTE II

CAPÍTULO 4 - O REGIME DE BAIXO CARBONO E O PAPEL DAS POLÍTICAS ENERGÉTICAS

“By defining our goal more clearly—by making it seem more manageable and less remote—we can help all peoples to see it, to draw hope from it, and to move irresistibly toward it.” Presidente J.F. Kennedy - *‘Peace Speech’* (ESTADOS UNIDOS, 1963)

Processos de transição em sistemas energéticos são constituídos por transformações, geralmente, lentas e profundas, cujas raízes se apresentam tanto pelo lado de avanços tecnológicos quanto pelas condições de adoção e preferências do consumo. Como discutido, estes processos surgem a partir de novos paradigmas que, ao se fortalecerem, levam artefatos a compor e estruturar novos regimes. Este movimento de estruturação, formação de massa crítica e estabilização do regime, caracteriza uma transição ou, pela conceituação evolucionária, uma construção de trajetória.

Para a construção de uma dada trajetória, o sistema sociotécnico precisa apresentar características que atendam às novas condições de produção e uso dos novos artefatos tecnológicos. Políticas ao nível do regime fazem parte desta dinâmica, tendo o potencial de gerar tais condições particulares. Na medida que elas se justifiquem no sistema sociotécnico, poderão influenciar e potencializar o processo de construção e estabilização do regime.

Este capítulo está subdividido em duas seções, e irá se debruçar sobre os elementos da construção de um regime de baixo carbono e qual seria a orientação e o papel das políticas públicas para o setor de energia nesta construção. A primeira seção trata deste novo regime energético a partir de seu cerne: o critério de emissões de carbono. A decisão por uma ou outra opção energética estará baseada na noção de ‘adicionalidade’, norteador a escolha intertecnológica, seja na busca por soluções (paradigma), seja nas opções de produção e consumo (ambiente de seleção). A segunda seção, por sua vez, apresenta as bases para se analisar as políticas energéticas no processo de construção do regime de baixo carbono. A partir da análise cognitiva de políticas públicas, em particular do conceito de ‘referencial’ (MULLER, 2000), será estabelecida a metodologia de análise quanto a convergência de políticas energéticas à uma trajetória de baixo carbono.

4.1. O regime energético de baixo carbono

No centro do debate climático, a busca pelo controle e mitigação de emissões de GEE requer o acompanhamento e medição das emissões e concentração de carbono na atmosfera. Assim, a métrica de emissões de carbono torna-se o indicador chave para os objetivos climáticos.

Novas trajetórias tecnológicas surgem a partir de novos critérios para o processo heurístico tecnológico. Critérios de desempenho e preferências estabelecem-se na comunidade científica, nos negócios e na sociedade, permitindo o avanço das trajetórias. No contexto do debate climático, as emissões de carbono guiam a heurística científica e a seleção de mercado para além de medidas tradicionais por maior desempenho, menor custo, maior adaptabilidade ao uso final, entre outras. Com base neste novo critério, as tecnologias passariam por processos de seleção, constituindo nova trajetória e atendendo às metas climáticas.

4.1.1. O critério das emissões de carbono

Com o fortalecimento da agenda de mudanças climática, a mensuração de emissões de carbono generalizou-se, sendo aplicada em distintas dimensões.

Na dimensão micro, o critério é aplicado na avaliação do desempenho de equipamentos, processos, produtos e serviços. Produtos e serviços são avaliados, seja por suas emissões diretas ou por emissões ao longo de seu ciclo de vida⁴⁹. O método de ciclo de vida avalia todos os impactos ambientais de um produto (ou serviço), da produção e processamento inicial de matérias-primas até sua disposição final.

Em contrapartida, numa dimensão macro, a mensuração de emissões é utilizada na alocação geográfica dos compromissos de mitigação de impactos ao clima, para comparações (e.g. entre países), e para definir objetivos e linhas de ação de médio e longo prazo para atividades socioeconômicas. O maior exemplo da aplicação deste critério a nível macro seria o Acordo de Paris (ver Capítulo 2).

Em particular, o setor de energia é um dos principais focos de ação, tanto no nível micro quanto macro. Em ambas as dimensões e seguindo a lógica do método de ciclo de vida, a mensuração do impacto de emissões passa pelos processos de (AYRES, 1995):

⁴⁹ O desenvolvimento de métodos de ciclo de vida (*life cycle analysis* – LCA) para emissões surgiram por volta dos anos 1970, tendo como precursor métodos para avaliação de saldos energéticos (*net energy analysis*) (AYRES, 1995).

- 1) *Definição de escopo*: definindo as fronteiras de análise (atividades, períodos de tempo e limites geográficos);
- 2) *Elaboração de inventário*: compilando dados quantitativos sobre os insumos (materiais e energia) diretos e indiretos, e emissões de resíduos, tanto na produção quanto no descarte de um produto ou serviço;
- 3) *Avaliação de impacto*: classificando e caracterizando efeitos; e
- 4) *Avaliação de alternativas*: buscando melhorias com foco nas alternativas de ação possíveis e prioridades.

A métrica usual para emissões de GEE é expressa em termos de dióxido de carbono equivalente ($\text{CO}_{2\text{eq}}$), criando, assim, um denominador comum para diferentes gases a partir de seus níveis de forçamento radiativo, ou seja, da sua contribuição para a obstrução dos raios solares após reflexão na superfície terrestre, o que ocasiona o efeito estufa.

Exemplos como Potencial de Aquecimento Global (no inglês *Global Warming Potential - GWP*) e Potencial de mudança de temperatura global (no inglês *Global Temperature change Potential - GTP*) são métricas utilizadas para quantificar e comunicar as contribuições relativas e absolutas de regiões, países ou setores para diferentes tipos de gases nocivos ao clima (IPCC, 2013).

O GWP é a métrica mais comum para políticas climáticas. Ele considera o forçamento radiativo de uma dada substância em um horizonte de tempo definido (frequentemente 100 anos, pela longa permanência desses gases na atmosfera). Já o GTP é a razão da mudança na temperatura média global em um momento temporal específico da substância comparativamente ao que seria no caso de emissões de dióxido de carbono (CO_2). Ambas métricas apresentam incertezas e limitações, sobretudo no que se refere ao horizonte de tempo definido.

A Tabela 4 apresenta as características e a diversidade dos principais gases de efeito estufa.

Tabela 4 – Principais gases de efeito estufa suas fontes, GWP₁₀₀, tempo na atmosfera e concentração em 2011

Nome do Gás	Fontes	GWP ₁₀₀	Tempo na Atmosfera	Concentração em 2011 (ppb)
Dióxido de Carbono (CO₂)	<i>Combustão de combustíveis, Desmatamento, produção de cimento</i>	1	variável	390.000
Metano (CH₄)	<i>Produção de combustíveis, agricultura, aterros sanitários</i>	28	12,4 anos	1.803
Óxido nitroso (N₂O)	<i>Fertilizantes, combustão de combustíveis e biomassa, processos industriais</i>	265	121 anos	324
Clorofluorcarbono -12 (CFC-12)	<i>Refrigerantes</i>	10.200	100 anos	0,527
Hidrofluorcarbono -23 (HFC-23)	<i>Refrigerantes</i>	12.400	222 anos	0,024
Hexafluoreto de enxofre (SF₆)	<i>Transmissão de eletricidade</i>	23.500	3.200 anos	0,0073
Trifluoreto de nitrogênio (NF₃)	<i>Produção de semicondutores</i>	16.100	500 anos	0,00086

ppb - partes por bilhão

Fonte: IPCC (2013)

Um exemplo prático do uso da métrica é a mensuração do chamado “orçamento de carbono” (*carbon budget*) em estudos de mudanças climáticas. O conceito se refere ao nível máximo provável de emissões (“orçamento”) que o planeta estaria sujeito para que efeitos catastróficos no clima sejam evitados⁵⁰.

4.2.2. Práticas e tecnologias

Na ausência imediata de uma tecnologia central e disruptiva, cuja adoção seja generalizada à diversas atividades, a busca por soluções que atendam o novo critério de desempenho abre espaço para possibilidades. Como descrito no Capítulo 2, a TEBC é assim denominada justamente por colocar o elemento carbono em primeiro plano como elemento transversal. Assim, ela não necessariamente seria de exclusividade de uma dada tecnologia/conversor, mas sim de um conjunto tecnológico distinto dos que predominam nos regimes sociotécnicos atuais.

Neste contexto, há um conjunto variado de opções tecnológicas compatíveis aos objetivos climáticos. Este conjunto agrega tecnologias localizadas em sub-regimes (setor energé-

⁵⁰ De acordo com o IPCC, para o horizonte de 2100, o orçamento global de carbono é de 2.900 GtCO₂ ou uma concentração de cerca de 450ppm. De 1870 a 2011, 1.900 GtCO₂ já teriam sido emitidos para além da capacidade absorptiva do planeta (IPCC, 2014).

tico, transportes, residências, etc.), que ora competem entre si, ora são complementares. Exemplos atuais dessa relação inter-tecnológica para a TEBC são:

- 1) *Competição*: a adoção da eletricidade (por baterias ou por hidrogênio) e dos biocombustíveis nos transportes atualmente dominados por combustíveis fósseis; e
- 2) *Cooperação*: a penetração de energias renováveis com a complementação por fontes tradicionais, como grandes hidrelétricas ou térmicas a gás natural, para atenuar problemas oriundos da variabilidade renovável.

A associação e interação destas diversas tecnologias nos diversos sub-regimes constituiria um *'sistema energético de baixo carbono'*, adaptando-se aos objetivos do clima. A coexistência ou a substituição são processos em que as tecnologias se submetem ao passarem de nichos para o nível de regime e ao se difundirem. Os regimes têm seus próprios mecanismos de estabilização (e.g. *lock in, path dependence*), e assim serão perturbações que os fariam ceder à novidades. Diferentes são as perturbações que podem ocorrer no nível de nicho (inovações), regime (atores sociais, políticas) ou contexto (choques externos).

Além de não distinguir os tipos tecnológicos, os objetivos do clima também não distinguem as atividades. Assim, o *'sistema energético de baixo carbono'* ao incorporar os diferentes sub-regimes de produção e consumo energéticos, torna-se, na prática, um multiregime. Os sub-regimes de produção (e.g. extração mineral, produção de biomassa⁵¹ e geração elétrica) e consumo (e.g. agricultura, indústria, residências e transportes) de energia apresentam soluções das mais diversas.

A Tabela 5 apresenta uma lista não extensiva de principais práticas e tecnologias possíveis para um sistema energético de baixo carbono.

⁵¹ Biomassa inclui madeira, produtos agrícolas e material orgânico (resíduos vegetais, animais e urbanos).

Tabela 5 – Práticas e tecnologias no setor energético em um regime de baixo carbono

Produção	Consumo
<p>Produção e transporte de combustíveis fósseis e bioenergia</p> <ul style="list-style-type: none"> • Limites em emissões (“pegada de carbono”) <p>Geração de Eletricidade</p> <ul style="list-style-type: none"> • Renováveis <ul style="list-style-type: none"> ○ Solar: fotovoltaico, térmico ○ Eólica: onshore, offshore ○ Biomassa: variedade de insumos e processos de geração (incineração direta, biogás) ○ Hidráulica: pequenas, grandes centrais hidrelétricas ○ Ondas e marés ○ Geotérmica • Não renováveis <ul style="list-style-type: none"> ○ Gás Natural ○ Nuclear ○ Carvão (<i>clean coal</i>) <p>Soluções transversais/complementares</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eficiência e cogeração • <i>Carbon, Capture and Storage (CCS)</i> 	<p>Agricultura, Indústria e Residências</p> <ul style="list-style-type: none"> • Substituição de combustíveis e/ou materiais <p>Transportes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Compartilhamento • Substituição de modais • Transporte terrestre <ul style="list-style-type: none"> ○ Elétricos: a baterias, híbridos, hidrogênio ○ Biocombustíveis ○ Gás natural • Transporte aéreo <ul style="list-style-type: none"> ○ Biocombustíveis ○ Eletrificação ○ Hidrogênio • Transporte aquaviário <ul style="list-style-type: none"> ○ Biocombustíveis ○ Eletrificação ○ Hidrogênio ○ Gás liquefeito ○ Assistência dos ventos <p>Soluções transversais/complementares</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eficiência, racionalização e conservação • Novas formas de estocagem (e.g. baterias)

Fonte: Elaboração própria

Aqui vale destacar os adjetivos relativos “baixo” e “menor” que qualificam este novo regime. A eleição dos adjetivos demonstra o grau de polivalência deste regime, permitindo que tecnologias com emissões positivas possam ser consideradas no processo heurístico e seletivo. Este ponto é bastante controvertido no debate da TEBC.

A formação de um regime de baixo carbono perpassa pelas condições vigentes, onde tecnologias são avaliadas pelo critério de **adicionalidade** ao serem incorporadas ao sistema energético. O critério de adicionalidade é comumente utilizado em mercados de créditos de carbono (em particular, pelo mecanismo de desenvolvimento limpo - MDL, instituído pelo Protocolo de Quioto), distinguindo projetos que apresentam emissões mais baixas em comparação a opções de referência (*business-as-usual*)⁵². Como as referências são local-específicas,

⁵² Ao demonstrarem que são alternativas mais limpas, estes projetos recebem o direito de venda do diferencial de emissões que evitam no caso de referência.

as possibilidades de adicionalidade serão mais restritivas na medida em que o sistema é menos emissor, e vice-versa.

É neste debate que tecnologias como as da geração térmica por gás natural ou '*clean coal*' se situariam⁵³. Por exemplo, é nítido que a geração elétrica à gás natural apresenta vantagens em diversos sistemas energéticos, passando no teste de adicionalidade ao permitir o deslocamento de unidades térmicas a carvão ou a óleo mais poluentes. Por suas menores emissões relativas, o gás natural se apresenta, para muitos países, como o principal combustível para sua TEBC.

Outras controvérsias também surgem com outras tecnologias, frequentemente levantando considerações quanto à real sustentabilidade de fontes. São exemplos típicos as opções de bioenergia, hidráulica e geração nuclear.

No caso da bioenergia, considerações quanto à sua produção e destinação vêm à tona. A produção de biomassa gera debates quanto ao uso da terra, seja por questões de externalidades (expansão agrícola, impacto na qualidade do solo e uso de água), seja na competição entre a produção de comida e energia. Outra questão importante na bioenergia é seu nível efetivo de emissões. Pelo processo natural de absorção de dióxido de carbono da atmosfera, diversas biomassas utilizadas para uso energético são erroneamente consideradas neutras em emissões, quando consideradas apenas suas emissões diretas, e não seu ciclo de vida.

No segundo caso, o aproveitamento hidráulico para fins energéticos é frequentemente contestado devido aos seus impactos ambientais e sociais. A construção de reservatórios, a alteração de percurso e fluxo de rios, entre outros, causam alterações relevantes na configuração socioambiental local, que será maior ou menor a depender do projeto (ver Quadro 4, Capítulo 6).

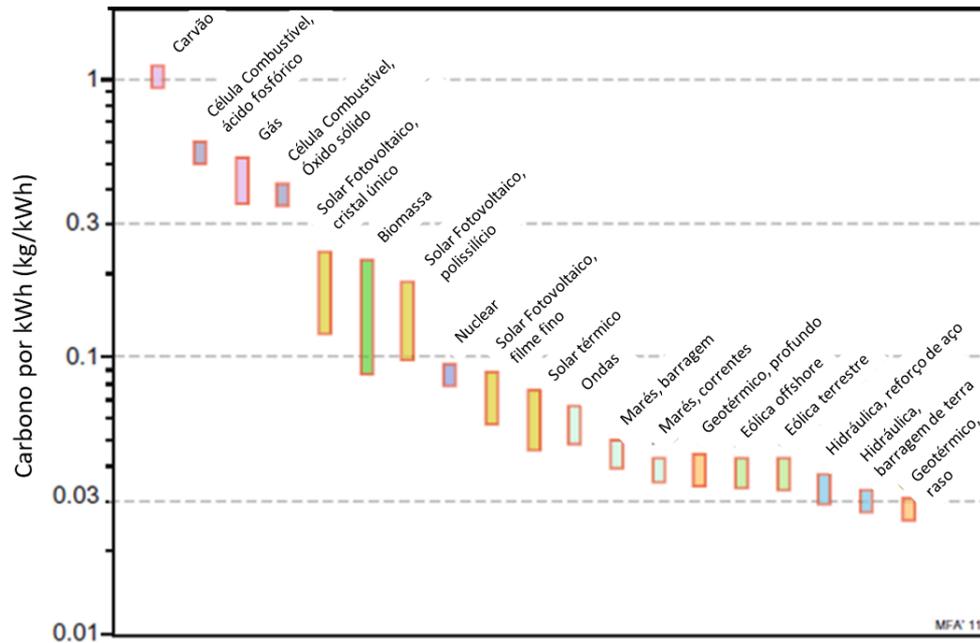
Finalmente, no caso nuclear, apenas pelo critério de adicionalidade, a tecnologia nuclear se mostraria como uma das opções mais promissoras. No entanto, pela dramaticidade das externalidades que pode causar (desastres nucleares) e pelos seus custos crescentes de construção e de mecanismos de segurança, a geração termonuclear é contestada politicamente e economicamente em diversos países.

Portanto, o critério da adicionalidade é necessário, porém não suficiente para determinar o desenvolvimento e difusão da tecnologia numa trajetória de baixo carbono, requerendo a observância de outros critérios de escolha tecnológica.

⁵³Tecnologias de carvão limpo (*clean coal*) têm por objetivo remover ou reduzir emissões através de técnicas como a lavagem química de minerais e impurezas do carvão, gaseificação, tratamento intensivo dos gases de combustão, CCS entre outros. Comparativamente às outras opções, as de *clean coal*, em geral, são objeto de desconfiança como alternativa prática.

O Gráfico 13 apresenta comparação dos níveis de emissões no ciclo de vida de diversas fontes de geração elétrica.

Gráfico 13 – Comparação entre emissões de carbono por fontes de geração elétrica

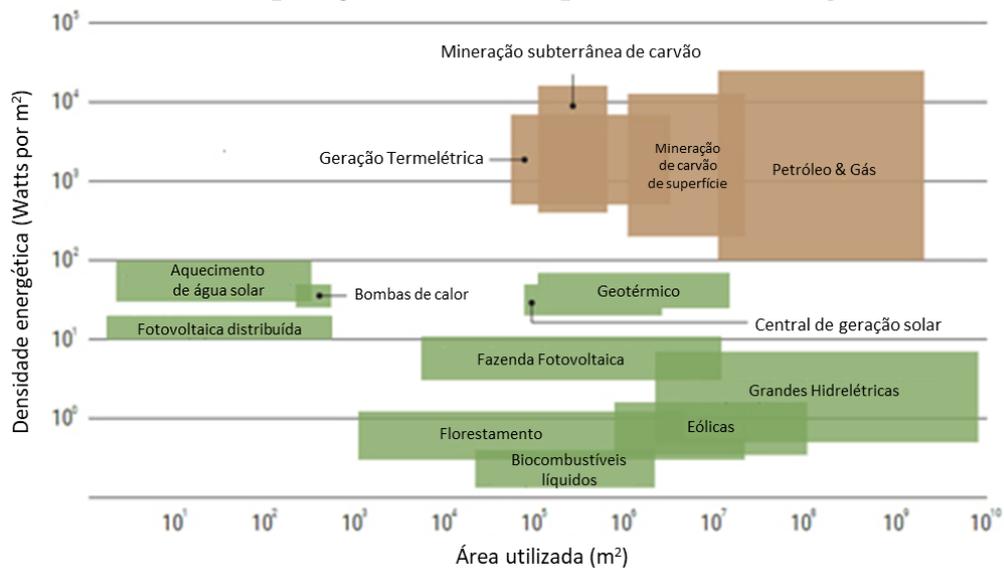


Fonte: Traduzido de ASHBY (2013)

Outro componente fundamental da TEBC, que romperia a lógica do consumo energético tradicional, seria a migração do consumo de fontes com alta densidade energética (fontes fósseis) para aquelas menos densas ou mais dispersas no ambiente (renováveis).

O Gráfico 14 apresenta a notável diferença das densidades energéticas entre fontes, assim como a comparação quanto à necessidade de áreas para a exploração dos recursos energéticos. Este gráfico demonstra que, no tocante à necessidade de áreas para se obter o mesmo nível energético, substituindo energias fósseis por renováveis, é necessário o uso mais intensivo de áreas.

Gráfico 14 – Comparação entre fontes por densidade energética e área



Fonte: Traduzido de SMIL (2015) apud VOOSSEN (2018)

Como apresentado na Tabela 5, existem práticas e tecnologias transversais ou complementares que, apesar de não serem estritamente fontes de energia, modificam a forma de produzir e consumir energia. Por exemplo, pelo lado da produção, a limitação de emissões na produção e transporte de combustíveis fósseis e bioenergia, e o aumento da eficiência ou adoção de CCS, requerem adaptações nas condições de produção que podem comprometer a competitividade de tecnologias incumbentes. Pelo lado da demanda, a substituição de materiais (e.g. isolamento térmico), o compartilhamento (e.g. carona), a eficiência, racionalização, estocagem e conservação são exemplos que alteram fluxos energéticos.

Neste âmbito de tecnologias complementares estariam o que Tavares et al (2018) chamam de ‘facilitadores da transição’. Para os autores “facilitadores técnicos” seriam “*melhorias técnicas que proporcionam um uso eficiente dos recursos do sistema, respeitando as especificidades locais*” (TAVARES et al, 2018, p.37). Para tanto, trabalham com esta ideia para o setor de eletricidade, onde a TEBC é vista comumente a partir do uso de fontes renováveis, que pressupõe maiores níveis de flexibilidade sistêmica⁵⁴. As fontes de flexibilidade dos sistemas elétricos seriam: (i) a infraestrutura de rede; (ii) a geração despachável; (iii) o armazenamento; e (iv) a integração pelo lado da demanda.

É a esta necessidade de desenvolvimento de elementos transversais e complementares a que Rosenberg (1976) referia-se como ‘desequilíbrios tecnológicos’, tratando da necessidade

⁵⁴ Os autores apresentam iniciativas quanto à busca por fontes de flexibilidade a partir estudos de caso em países da América Latina (Brasil, Chile e República Dominicana). Nesta mesma linha, IRENA (2018) apresenta os casos da Colômbia e Uruguai.

de avanços tecnológicos complementares para cada avanço dado a elementos tecnológicos particulares (ver Capítulo 3).

Tecnologias complementares e/ou transversais, assim como fontes, não estão isentas de contradições e questionamentos. Um exemplo, são as críticas às tecnologias de Captura e Estocagem de Carbono (na sigla em inglês *CCS*⁵⁵) com o argumento de que estas tecnologias, na realidade, reforçariam a situação de ‘*carbon lock-in*’, ao prolongarem o uso de combustíveis fósseis em um mundo restringido por emissões.

Em resumo, utilizando-se dos elementos da economia evolucionária, o regime de baixo carbono teria as seguintes características:

- *Artefato*: não um tecnologia específica, mas sim um conjunto tecnológico;
- *Paradigma tecnológico*: busca por tecnologias/soluções de baixo carbono a partir de critérios de desempenho de emissões (emissão direta, LCA, etc.);
- *Ambiente de seleção*: preferências de produção e consumo direcionadas para tecnologias mais limpas; e
- *Regime*: um 'sistema energético de baixo carbono' que incorpora diferentes sub-regimes (sistemas de produção e consumo).

Avanços tecnológicos, que se apresentem como custo competitivos e indutores de uma demanda energética qualitativamente nova, trariam bases concretas para o processo de transição ocorrer (HELM, 2016).

4.2. O papel das políticas

Políticas aqui serão entendidas como ações públicas. Na literatura de políticas públicas existe a distinção do termo *política* entre a esfera política (no inglês, *polity*), da atividade política (*politics*) e das ações públicas (*policies*) (MULLER, 2000; MULLER; SUREL, 2002). A primeira trata do mundo da política, da sociedade civil e suas fronteiras específicas. A segunda faz parte das atividades do sistema representativo que organiza os grupos sociopolíticos, retratando notadamente disputas de interesses. A terceira, no entanto, trata do processo pelo qual são elaborados e implementados programas de políticas públicas, i.e., instrumentos político-administrativos coordenados em torno de objetivos. Estas ações são criadas a partir de processos de decisão que resultam do equilíbrio de interesses, muitas vezes conflitantes, inerentes ao funcionamento do Estado. Neste sentido, *politics* sempre influencia *policies*, seja na sua formulação (*ex ante*) como na sua execução e manutenção (*ex post*).

⁵⁵ Mais recentemente ainda se inclui a modalidade de uso do carbono (*CCSU*).

Esta tese tem como foco de análise as políticas públicas (*policies*); contudo, na medida do possível, não deixará de considerar sua esfera (*polity*) e contexto político (*politics*) em que estão inseridas. Uma análise sistemática do impacto de todas essas variáveis está além do escopo desta tese.

4.2.1. A política pública e seus referenciais

As políticas públicas apresentam objetivos dos mais distintos, a depender do que se propõem. As políticas públicas não devem ser vistas apenas como ferramentas para resolver problemas pontuais, mas como uma maneira de construir estruturas de interpretação do mundo. O autor Pierre Muller (2009) caracteriza o processo cognitivo da construção de políticas públicas através de seus **referenciais**.

Políticas públicas seriam entendidas como tentativas em um domínio social com objetivos predefinidos, baseados em uma representação de um dado problema, suas consequências e as possíveis soluções para resolvê-lo. Portanto, sua dimensão cognitiva e normativa adiciona-lhe características para além de um processo de decisão, mas também uma representação de visão do mundo e da sociedade (MULLER, 2009). É na existência de um referencial orientando o raciocínio, que as políticas públicas tornam-se reais. A importância do referencial vem do fato de que, para cada problema, podem existir diferentes abordagens para enfrentá-lo⁵⁶ e, em havendo um referencial, as alternativas surgiriam em espaço mais restrito. Um exemplo é o referencial do desenvolvimento sustentável, onde certas alternativas de política se orientam e se legitimam pelos atributos sustentáveis que elas venham a apresentar.

Segundo Muller (2009), o referencial articula quatro níveis de percepção do mundo, os quais estariam inter-relacionados:

1. *Valores*: a representação mais básica do que é bom ou ruim, desejável ou indesejável. Os valores definem um quadro global de ação pública;
2. *Normas*: definem princípios de ação mais que valores, mostrando a lacuna entre a realidade percebida e a real desejada;
3. *Algoritmos*: são expressões de um processo causal de ação. Eles podem ser expressos na forma "*se ... então*"; e
4. *Imagens*: são vetores com valores implícitos, normas ou mesmo algoritmos. Esses são atalhos cognitivos que fazem sentido de forma imediata, servindo especialmente para vislumbrar possíveis resultados de ação.

⁵⁶ Diferentemente da economia onde, comumente, buscam-se soluções racionais e ótimas (de preferência, únicas ou equilíbrios), a política trata de um ambiente das possibilidades que buscam se legitimar.

Através de tais níveis simbólicos e de percepção, é possível notar que as políticas públicas servem como espaços (fóruns) nos quais as diversas partes interessadas construirão e expressarão sua interpretação do mundo. Referenciais não são imutáveis e tampouco homogêneos nos diversos níveis do Estado. Eles podem incorporar diferentes critérios de decisão; por exemplo, incluindo aspectos de sustentabilidade, justiça social, desenvolvimento econômico, etc. O domínio da formulação dos problemas, sua codificação e responsabilidade quanto às intervenções públicas, reflete a estrutura e dinâmica política no interior da governança estatal.

Em resumo, a formulação de políticas públicas é feita quando há compreensão suficiente sobre um dado referencial, permitindo alguma intervenção em sua esfera específica do corpo estatal, com vias a gerar resultados orientados. Com isso, os referenciais estruturam a base para a reflexão e construção de políticas.

Os referenciais podem ser explicitados por diretrizes. Diretrizes são recursos que auxiliam a orientação, não apenas daqueles que desenham, implementam e aplicam as ações públicas, mas também orientam a sociedade. Elas informam o sentido das ações comumente visando o longo prazo. Ao serem explicitadas, diretrizes tem o papel de legitimação das políticas, podendo ser criticadas, a depender do regime político tratado. Vale destacar que referenciais não precisam, necessariamente, de diretrizes ou que diretrizes sempre explicitem seus referenciais. É possível a existência de certas diretrizes que não refletem os objetivos latentes de um referencial. No entanto, o uso convergente entre referenciais e diretrizes constitui, no mínimo, um recurso relevante para tomadores de decisão implementarem políticas promovendo mudanças na sociedade.

Outro recurso que advém de referenciais é o planejamento. Enquanto as diretrizes são, comumente, uma representação dos referenciais vigentes, o planejamento seria uma instrumentalização do referencial. Diferentemente de diretrizes que, em geral, apresentam-se de forma mais ampla, genérica e, muitas vezes, abstrata; o planejamento tem como característica a sua concretude, identificando um foco temático e podendo apresentar metas, cenários, *trade-offs*, etc.

A partir do planejamento, pode-se construir uma sequência de políticas públicas diversas (programas, regras, mecanismos fiscais e tributários, etc.), buscando tornar seus elementos realidade. Este tipo de planejamento é chamado de ‘determinativo’, contrastando com o planejamento ‘indicativo’, que visa a orientação dos agentes envolvidos para um sentido de ação específico (assim como fazem as diretrizes). Este último, não necessariamente prescinde de política públicas, mas seu foco é a substituição do protagonismo estatal pela ação dos demais agentes.

Políticas públicas são, muitas vezes, questionadas por sua aplicação e eficácia, devido às limitações das autoridades públicas em relação à falta de informação, dependência temporal (e.g. ciclos eleitorais), etc. É importante notar que, para cada setor/área, haverá um conjunto de políticas possíveis e desafios em sua implementação, sendo importante para os formuladores de políticas não perder de vista a questão fundamental: *Qual problema estou tentando solucionar?*

O referencial da análise cognitiva de Muller serve para delimitar o espaço de possibilidades de respostas a esta pergunta. Por ter origem da lógica Kuhniana de paradigmas científicos, o conceito de referencial para políticas públicas pode ser tratado da mesma forma que os de paradigmas tecnológicos da escola evolucionária, dado que influenciam na delimitação do universo de possibilidades disponíveis. Isto posto, nesta tese iremos diferenciar o conceito de referencial dos demais elementos de um regime sociotécnico, para que possamos nos concentrar no objeto ‘políticas públicas’. Além disso, servirá para evidenciar que referenciais podem não convergir com trajetórias, o que pode tornar políticas públicas inócuas na estabilização de determinados regimes.

Numa perspectiva multinível, ao considerarmos que as políticas públicas encontram-se ao nível de regime, se seu referencial é convergente ao paradigma e ambiente de seleção vigentes, estas políticas atuam no sentido de reforçar os processos cumulativos e coevolutivos dentro da trajetória, com vias de estabilizar o regime sociotécnico associado. Vale destacar, que políticas públicas são um tipo de intervenção do Estado que apresenta condicionantes:

(i) *internos*: pelas características de desenvolvimento local, estrutura produtiva, grau de heterogeneidade da economia e dinâmica política; e

(ii) *externos*: pelo nível de integração à ordem econômica mundial, que condiciona seu espaço de ações e sua autonomia, e sua sensibilidade com relação a choques externos.

Assim, mesmo que políticas, como instrumentos de intervenção sejam similares ou idênticas em diferentes jurisdições/localidades, seus referenciais podem diferir, estando sujeitos a variações bastante particulares. Desta forma, políticas públicas estão sujeitas às variações do contexto local e externo, ou seja, sujeitas às variações em resposta às estruturas locais e de comportamento frente às mudanças de paisagem.

Mudanças paisagísticas radicais (e.g. choques externos gerando crises internas) comumente tornam urgentes as ações públicas como resposta a seus impactos. Neste contexto, o Estado pode utilizar de seus instrumentos e recursos para:

a) conter ou absorver crises (baixa de ciclo), direcionando a economia para saídas imediatas ou de mais longo prazo, ou

b) conduzir variáveis econômicas em momentos de *boom* econômico (alta de ciclo), buscando a absorção de benefícios.

Baixas e altas de ciclo são marcadas pela a geração de *momentum* para a tomada de ação por parte dos agentes públicos pois, ao gerarem pressões socioeconômicas diversas, legitimam ações que venham a absorver os efeitos de ciclos e promover transformações permanentes. Choques de suprimento de energia são exemplos típicos deste fenômeno, gerando *momentum* para políticas ao setor de energia. Não por acaso, assim como o surgimento do termo “transição energética”, é nos anos 1970, durante os choques do petróleo, que ganha corpo a literatura sobre “política energética”. Neste período, a política energética passou a ser tratada amplamente como um tipo específico e distinto das demais políticas econômicas.

4.2.2 Os objetivos de políticas energéticas

Dada a importância da energia como insumo básico para o desenvolvimento econômico e social dos países, as particularidades de suas cadeias determinam quais as políticas energéticas a serem adotadas (FERRAZ; TAVARES, 2018). Assim, no caso de políticas direcionadas ao setor energético, os referenciais elencados se relacionam não apenas a valores e normas, mas também a essas características físicas que dominam o espaço de possibilidades. Essas características são diferenciadas geograficamente. A expansão do comércio internacional e das transferências energéticas entre países e regiões reduz, em parte, essa diferenciação, mas não a elimina.

A literatura quanto às políticas energéticas destaca que seus principais objetivos são:

- (i) segurança energética;
- (ii) acesso universal a serviços de energia a preços razoáveis, e
- (iii) a produção e uso de energia de forma ambientalmente adequada.

O *World Energy Council* (WEC) denomina de ‘*Energy Trilemma*’ os *trade-offs* das políticas energéticas ao fazer frente a esses três objetivos que, frequentemente, contrapõem-se. Vale destacar que mais recentemente o objetivo ‘segurança energética’ tem sido associado, cada vez mais, a componentes de curto prazo (resiliência e confiabilidade) do que de longo prazo (dependência e estrutura sistêmica), predominantes no passado (IEA, 2018c). Além dos objetivos listados, existem ainda outros pontos focais de políticas, como promover a eficiência energética e novas tecnologias para produção e consumo (PINTO JR et al., 2016), além de enfrentar questões de cunho local como, por exemplo, problemas de saúde por poluição.

Como discutido no Capítulo 1, cadeias energéticas são estruturas geograficamente específicas que levam muito tempo para serem transformadas, tendo um componente inercial que não pode ser desprezado. Neste contexto, políticas para o setor energético tem a capacidade de orientar e alterar certas trajetórias, porém dificilmente de transformar o sistema como um todo. Vale lembrar que não só as esferas de Estado, mas a sociedade, empresas e demais instituições

têm papel nesta transformação, reforçando o caráter sociotécnico do sistema energético. É neste ambiente coevolutivo que surgem as trajetórias capazes de solucionar os mais diversos desafios da humanidade, dentre eles o desafio das mudanças climáticas.

Diferentemente das políticas tradicionais, políticas recentes orientadas aos objetivos climáticos apresentam novos contornos e instrumentos. Estes se refletem diretamente nas trajetórias construídas, mas não necessariamente são consistentes com os objetivos tradicionais da agenda energética. A harmonização entre estes diversos objetivos é uma tarefa complexa para tomadores de decisão.

4.3. As políticas para a construção do regime

Na perspectiva evolucionária, os meios para promover transformações sistêmicas se encontram no âmbito dos paradigmas tecnológicos e no ambiente de seleção. No âmbito dos paradigmas, estariam as estratégias associadas à promoção de inovação tecnológica. Programas de P&D seriam os principais instrumentos de política pública neste âmbito. Por sua vez, no âmbito do ambiente de seleção, as estratégias de políticas públicas para desenvolvimento energético são diversas.

Para distinguir as possíveis estratégias ao nível do ambiente de seleção, uma nova tipologia é aqui proposta. Esta tipologia é inspirada na terminologia de Kander et al (2013), que distingue as revoluções industriais pelos efeitos sistêmicos gerados por suas tecnologias centrais. Neste trabalho, os autores descrevem as revoluções como ‘energo-expansivas’ ou ‘energo-poupadoras’ (ver Capítulo 2).

Propõe-se aqui, utilizar essa terminologia em termos de ‘estratégias de desenvolvimento energético’, expressando objetivos quanto à evolução dos sistemas de energia. Tratam-se de “estratégias”, pois podem ser adotadas por outros atores além de entidades públicas⁵⁷. Adiciona-se, ainda, mais duas variedades de estratégias, chamadas ‘energo-substitutivas’ e ‘energo-reprodutivas’. O Quadro 1 apresenta as definições para esta nova tipologia.

⁵⁷ Neste tese, nos concentraremos nas estratégias de política pública.

Quadro 1 – Tipologia de Estratégias de Desenvolvimento Energético

▲ **Energo-expansiva** : *promove a expansão da Oferta Total de Energia Primária⁵⁸. Sendo traduzida em mais demanda ou mais produção doméstica para atender as necessidades energéticas.*

= **Energo-reprodutiva**: *promove a manutenção da estrutura da Oferta Total de Energia Primária a um dado nível e composição.*

≠ **Energo-substitutiva**: *promove a alteração da estrutura da Oferta Total de Energia Primária. Altera o tipo de tecnologia para atender um dado nível de demanda.*

▼ **Energo-poupadora** : *promove a redução da Oferta Total de Energia Primária. Sendo traduzida em menor demanda ou limitação da produção.*

Políticas energéticas que atuem no ambiente de seleção, ou seja, na estrutura de produção e consumo, deverão se associar a determinados tipo de estratégias de desenvolvimento energético.

Dentre as estratégias acima definidas, a estratégia energo-reprodutiva ou que poderia se chamar *status quo*, ao visar a manutenção do estado atual do sistema energético, não promoveriam transformações sistêmicas, inclusive frequentemente inibiriam outras estratégias. Esta estratégia é aderente a sistemas mais maduros, que apresentam pouca dinâmica e consumo mais estável. Um exemplo de estratégia energo-reprodutiva é a formação de estoques, reforma ou simples extensão da vida útil de unidades de produção de energia.

A estratégia energo-poupadora é a mais polivalente em termos de objetivos de política energética. Comumente representada por iniciativas de eficiência energética, atua em termos de redução de custo, aumento de segurança energética (reduzindo eventual dependência externa), e evita externalidades por efeitos negativos ao meio ambiente. Pelo lado do custo econômico, existe uma importante literatura quanto aos efeitos dinâmicos e de longo prazo de iniciativas de eficiência. Nesta literatura, destaca-se o debate do chamado ‘paradoxo de Jevons’. O paradoxo refere-se à situação em que, a partir de uma dada economia de consumo pelo uso mais eficiente ou produtivo de uma certa tecnologia, gera-se uma conseqüente expansão da renda disponível

⁵⁸ Oferta total de energia Primária (*Total Primary Energy Supply [TPES]*), é a soma da produção doméstica e das importações de energia, subtraindo-se as exportações e as variações de estoques.

pelos consumidores que, assim, teriam condições de expandir seu consumo; logo, pontencialmente reduzindo os efeitos líquidos dos ganhos da estratégia de eficiência.

Estratégias não devem ser confundidas com instrumentos de política *per se*. Os instrumentos representam e são meios para se atingir os objetivos da estratégia. Por exemplo, controle de preços de energéticos podem se inserir tanto em estratégias de energia-expansivas (quando ocorrem subsídios), quanto energia-poupadoras (quando se elevam os tributos).

Como se verá mais à frente, frequentemente diferentes estratégias são adotadas em paralelo. A depender de seu direcionamento, as estratégias poderão reforçar-se ou serem conflitivas. Em havendo referenciais bem definidos, há de se esperar que as estratégias estejam alinhadas.

4.3.1. Convergência e momentum de política energética

Como se pôde observar nos capítulos anteriores, ao longo da história as transições energéticas tiveram suas trajetórias baseadas em mudanças sociotécnicas que, em sua maioria, foram ditadas por adições de quantidades cada vez maiores de energia para um consumo igualmente crescente. Uma TEBC, por sua vez, estaria associada a uma trajetória de não emissão de carbono; no limite, uma trajetória de não consumo energético como o que conhecemos hoje.

Um fator a ser ressaltado quanto às políticas energéticas é a sua temporalidade. A compatibilidade temporal entre as ações de política no presente com os objetivos de longo/longuíssimo prazo (como são os objetivos climáticos) é intermediada pelo referencial. Neste sentido, diretrizes são importantes para apontar trajetórias aos agentes. Os objetivos e diretrizes de longo prazo de determinado país ou jurisdição podem ser similares, mas as ênfases e instrumentos de curto prazo são frequentemente diferenciados. Portanto, essas diretrizes e objetivos, tendo criado sua legitimidade a partir de suas bases (e.g. metas de emissões), permitem a estruturação de ações orientadas e eventualmente coordenadas. Dentre as ações possíveis estão: (i) o planejamento; (ii) programas setoriais; e (iii) mecanismos de mercado diversificados.

As ações e o planejamento não estão alheios a obstáculos como o da incerteza, inércia e da legitimidade dentro do sistema sociotécnico. Mecanismos de adaptação e flexibilidade são desejáveis neste âmbito.

An 'energy policy' is generally regarded as a carefully considered long-term plan, formulated and implemented by government or its agencies and intended to improve on what would otherwise be the market outcome. (ROBINSON, 2013, p.272)

Enquanto as transições históricas tratavam mais do desenvolvimento de "variações" (tecnologias), a TEBC tem uma componente forte de ajuste de "ambientes de seleção" (por meio de políticas, regulamentações e incentivos moldando mercados) (SOVACOOOL; GEELS, 2016).

Como discutido neste capítulo, a construção de um regime energético de baixo carbono, como o nome já indica, estaria baseada no objetivo de redução da intensidade de emissões em uma trajetória. Assim, para um regime de baixo carbono emergir e se estabilizar, as estratégias de desenvolvimento energético deverão ser específicas e estar alinhadas a este objetivo.

A partir da tipologia de 'estratégias de desenvolvimento energético' descrita anteriormente, para que haja alinhamento das políticas a esta nova trajetória, as estratégias deverão ser:

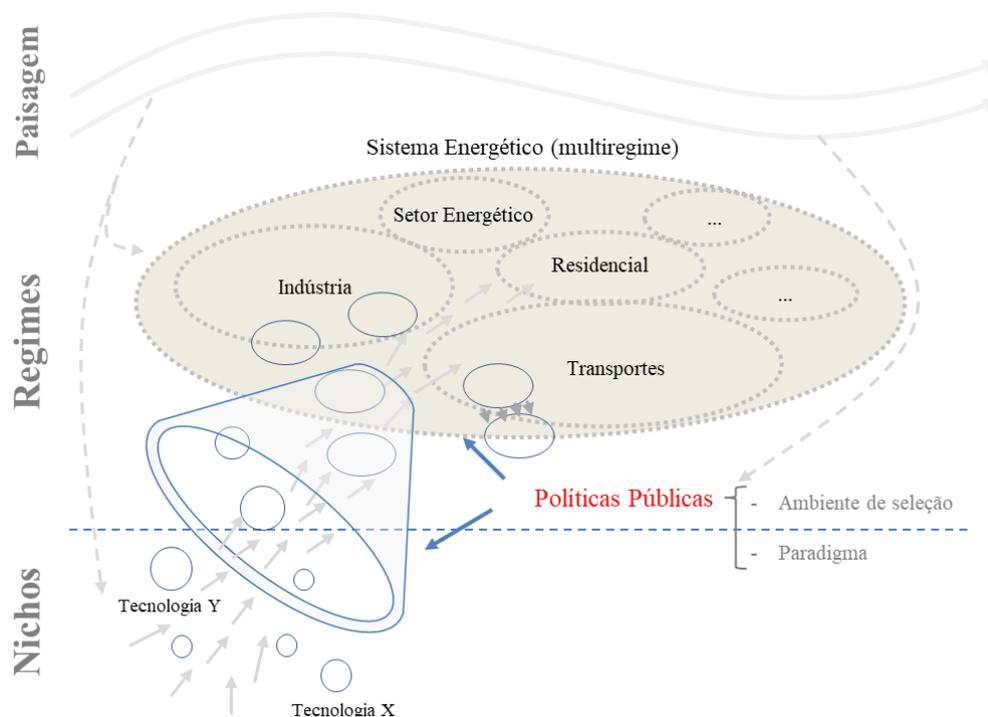
- (i) **Energo-expansivas**: com adições de fontes com menores emissões de carbono (seguindo o critério de adicionalidade);
- (ii) **Energo-reprodutivas**: manutenção de fontes pré-existentes de baixa emissão;
- (iii) **Energo-substitutivas**: substituição de fontes intensivas por outras menos intensivas em emissões; e
- (iv) **Energo-poupadoras**: redução do consumo a partir de maior eficiência e conservação energética.

Com a exceção da primeira e segunda estratégias com contribuição reduzida à novas emissões, as demais teriam o intuito de promover a redução do nível de emissões de carbono na atmosfera. As quatro vias têm repercussões muito distintas em termos energéticos, dado que, na ordem, expandem, mantêm e reduzem o volume de energia a ser utilizado pelo sistema.

Estas vias de transformação são candidatas naturais à identificação dos referenciais de política implícitos, que sejam convergentes ao atingimento de metas climáticas. Será este o critério adotado nos Capítulos 5 e 6, para distinguir a convergência ou não de referenciais de políticas na construção de um regime de baixo carbono.

A Figura 7 apresenta como se organizaria a construção de um regime de baixo carbono em um diagrama multinível. Note que, para o surgimento de uma nova trajetória tecnológica, são necessárias transformações nos regime existentes, agregando tecnologias que diferem entre os subsistemas, como os setores energéticos (produção de energia) e usuários (residencial, transportes, indústria, etc.).

Figura 7 – Perspectiva multinível da construção de um regime energético de baixo carbono



Fonte: Elaboração própria

Tecnologias de baixo carbono ao nível de nicho e aquelas já estabelecidas a nível comercial constroem sua trajetória de desenvolvimento orientado pela performance de emissões, sendo absorvidas por um ambiente de seleção propício para sua difusão. As tecnologias podem expandir a base do sistema, se manter ou substituir e expelir as tecnologias não adaptadas as novas condições do regime.

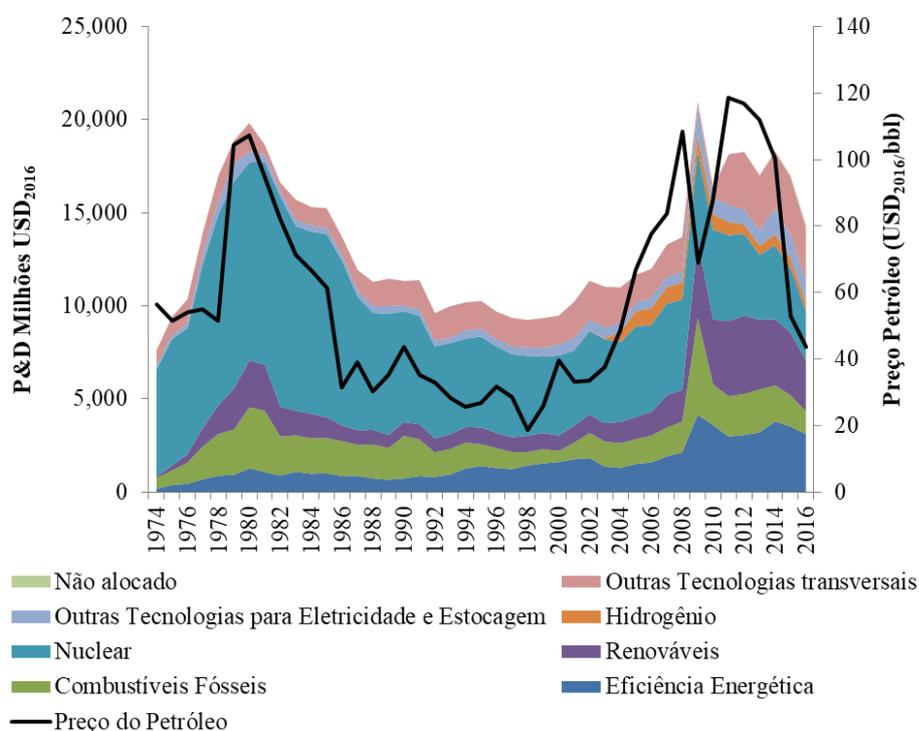
As políticas públicas, aqui simplisticamente consideradas como variável independente, interagem neste processo ao dar a orientação da heurística dentro do paradigma tecnológico e/ou nas condições de mercado que conformam o ambiente seletivo do sistema. As políticas, portanto, servem como um canal de indução para a conformação da trajetória ao longo dos diferentes níveis. Condições paisagísticas influenciam exógenamente em todos os demais níveis, assim como nas próprias políticas públicas.

Períodos intensos de construção de políticas, que geram massa crítica para transformações e institucionalização de necessidades, são aqui chamados de **momentum de política energética**. *Momentums* podem ser consequência de alterações no referencial de políticas. Estas alterações ora são relativamente rápidas, como em crises econômicas, ora duram longos períodos de tempo até serem processadas pelo regime sociotécnico. Os Gráfico 15 e Gráfico 16 caracterizam esse comportamento de intensidade das políticas temporalmente.

O Gráfico 15 apresenta o orçamento de programas de P&D no grupo de países da OCDE ao longo dos anos, representando uma medida de intensidade de políticas energéticas. Estes orçamentos, em grande parte, são definidos por aprovação política, ou seja, não sendo diretamente financiados, por exemplo, pela comercialização de produtos energéticos. O gráfico também apresenta a variação dos preços do petróleo no mesmo período. Note a forte correlação entre as duas variáveis, sugerindo que o componente de paisagem ‘preço de petróleo’ afetaria o processo de geração de massa crítica para decisões de política, criando *momentum*. Por ser destacado no mundo da energia, o petróleo torna-se um dos componentes críticos na tomada de ação por políticas, em particular quando ocorrem níveis de preço acentuados como no período de 1970-1985 e, mais recentemente, de 2000-2015.

A Tabela 7 – Correlação entre Orçamentos de P&D&D em Energia em países OCDE e o Preço do Petróleo 1974-2016 do Apêndice apresenta essa correlação estreita que existe na variação dos preços do petróleo e dos orçamentos para P&D nos países OCDE.

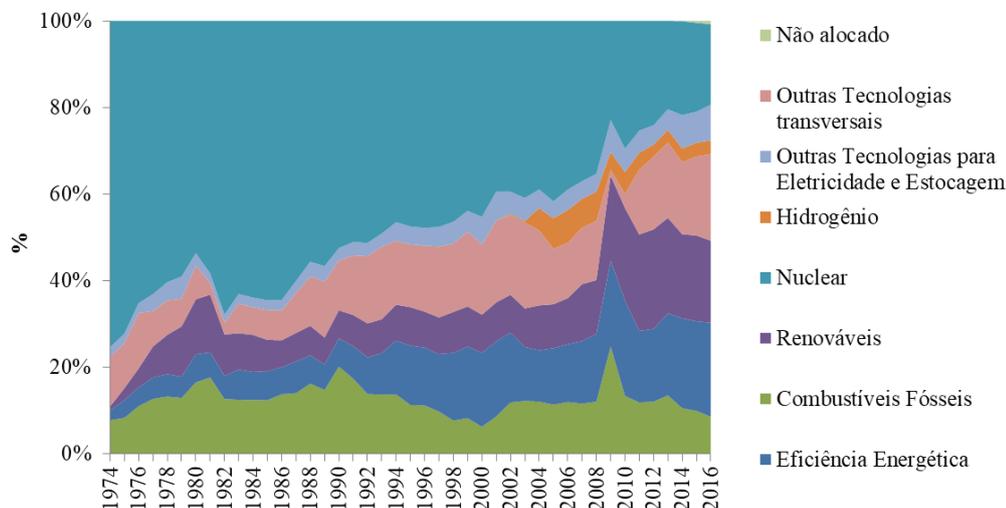
Gráfico 15 – Evolução do preço do petróleo e orçamento de países OCDE para P&D em energia por tecnologia



Nota: Preços Spot de Petróleo: 1974-1983 Arabian Light (Ras Tanura) e 1984-2014 Brent Dated.
Países: Austrália, Áustria, Bélgica, Canadá, República Tcheca, Dinamarca, Estônia, Finlândia, França, Alemanha, Grécia, Hungria, Irlanda, Itália, Japão, Coreia do Sul, Luxemburgo, Holanda, Nova Zelândia, Noruega, Polônia, Portugal, Eslováquia, Espanha, Suécia, Suíça, Turquia, Reino Unido, Estados Unidos.

Fonte: IEA Energy Technology RD&D Statistics (IEA, 2018d) e BP Statistical World Review (BP, 2018)

Gráfico 16 – Composição orçamento de países OCDE para P&D em energia por tecnologia



Fonte: IEA Energy Technology RD&D Statistics (IEA, 2018d)

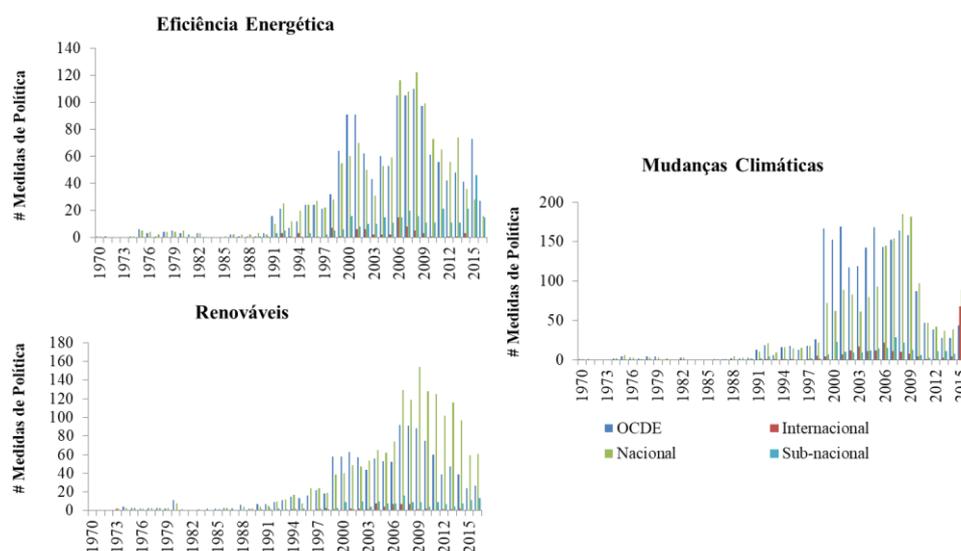
O Gráfico 16, por sua vez, apresenta a mudança de perfil temático do orçamento de P&D ao longo do tempo, sugerindo mudanças em referenciais de política em torno de novos paradigmas tecnológicos. Note que, na década de 1970, havia a predominância de investimentos em P&D na área nuclear que, além de ser visto como solução para o abastecimento energético, alinhava-se a estratégias de cunho militar no período de guerra fria. Ao longo do tempo, o interesse pela solução nuclear foi gradualmente sendo substituído por soluções renováveis, eficiência e tecnologias transversais.

Vale ressaltar que, ao se observar as pautas de pesquisa nacionais, é possível inferir seus referenciais e perspectivas quanto ao futuro energético desejado.

Outros indicadores de política que corroboram com esta delimitação de *momentum* e mudança de referencial são aqueles referentes às medidas de política energética nas áreas de eficiência, renováveis e clima⁵⁹ (Gráfico 17). Tais indicadores de intensidade sugerem uma concentração de ações políticas em período recente, justamente para temas que são caros a uma trajetória de baixo carbono.

⁵⁹ Criado em 1999, o IEA Policies and Measures Database é uma listagem não exaustiva sobre políticas relacionadas com energia, sejam elas executadas ou planejadas nas áreas de eficiência, redução de emissões de GEE (mudanças climáticas) e desenvolvimento de energias renováveis. Além das medidas dos países OCDE, os dados incluem informações sobre do Brasil, China, Índia, Rússia e África do Sul.

Gráfico 17 – Medidas de Política Energética associadas a Eficiência, Renováveis e Mudanças Climáticas



Nota: OCDE: medidas de países no grupo OCDE; Internacional: medidas de política externa (acordos internacionais); Nacional: medidas nacionais; Sub-nacionais: medidas em cidades, estados, regiões, etc.

Fonte: IEA Policies and Measures Database (IEA, 2018e)

Diversos autores buscaram analisar políticas energéticas, abordagens e estratégias ao longo de períodos específicos, vislumbrando capturar padrões e tendências. Para o Reino Unido, Robinson (2013) analisa a mudança de referencial de políticas energéticas, que passaram de uma tendência intervencionista no pós Segunda Guerra para práticas liberalizantes no início da década de 1980. Mais recentemente, haveriam manifestações de retorno à políticas de intervenção, em particular a partir de dois objetivos estratégicos relacionados às mudanças climáticas e à segurança energética. Analogamente, Kern et al. (2014) analisa o ano 2000 frente ao de 2011, também no Reino Unido, afirmando que durante o primeiro, as políticas priorizavam questões de concorrência e mercados, e o último incluiria considerações quanto à necessidade de intervenção estatal, resolvendo falhas de mercado e com preocupações quanto a mudanças climáticas. Ao considerarmos o padrão levantado pelos autores, outro fator decisivo para a formação de *momentum* de política energética (para além do preço do petróleo) estaria associado aos ciclos políticos, sejam eles liberalizantes ou de maior intervenção pública.

Por sua vez, Pollitt e Anaya (2016) destacam diferenças de abordagens quanto à políticas de incentivo a fontes renováveis no contexto de uma TEBC. Os autores analisam três jurisdições distintas, tipificando as abordagens em:

- (i) *"just do it"* (caso alemão): buscar primeiro adicionar novas fontes e depois fazer os ajustes necessários de mercado;
- (ii) centrada na descarbonização competitiva (caso britânico): onde, em vez do foco no desenvolvimento de renováveis *per se*, dar ênfase à utilização de mecanismos competitivos (leilão) para manter custos da descarbonização baixos; e
- (iii) descentralizada (caso de Nova Iorque): busca a promoção de tecnologias de menor escala (geração distribuída) ao nível da rede de distribuição.

Em trabalho seminal, Ikenberry (1986) analisa as respostas de quatro países desenvolvidos (Estados Unidos, França, Alemanha e Japão) aos choques de petróleo na década de 1970.

O autor distingue a existência de três estratégias distintas:

- (i) *Ajuste neo-mercantilista*: reduzir a dependência do petróleo, limitando importações e buscando atender às necessidades de energia por produção doméstica;
- (ii) *Ajuste acelerado competitivo*: aceitar preços mais elevados e dependência persistente, mas tornando o uso de energia mais eficiente e exportações mais competitivas; e
- (iii) *Defensiva por mercados*: levar à redução da dependência das importações de petróleo ou a mudanças nos padrões de negociação, sem envolvimento do governo, que só atuaria na retirada de barreiras ao mercado.

De acordo com o autor, a França teria seguido uma política ‘neo-mercantilista’ de autossuficiência energética nacional, com o governo anunciando controles (limitando as importações de petróleo) e promovendo um grande programa nuclear. Por sua vez, o Japão e a Alemanha Ocidental adotaram a estratégia ‘competitiva acelerada’, promovendo exportações e adaptando suas estruturas industriais via políticas públicas. Já os Estados Unidos definiram sua estratégia de ajuste como ‘defensiva por mercados’, apesar de propor políticas que pudessem se associar às demais categorias.

Reavaliando as estratégias de Ikenberry, Cherp et al. (2017) apontam que mesmo que Japão e Alemanha tenham adotado estratégias similares naquela época, estes claramente divergiram a partir dos anos 1990. Por outro lado, Jordan-Korte (2011) argumenta que, apesar de suas diferentes abordagens, Japão, Alemanha e os Estados Unidos desempenharam um papel pioneiro ao iniciar e apoiar diversos programas de energia renovável, sendo influentes nas decisões de política neste âmbito no mundo.

Para avaliar a convergência ou não do referencial de políticas nacionais para a construção de um regime de baixo carbono, serão estudados no próximo capítulo os casos de Estados Unidos, França, Alemanha e Japão. A escolha acompanha o trabalho seminal de Iken-

berry (1986), além do que, tratam-se de países de relevância energética, econômica e tecnológica a nível mundial.

Em seguida, no Capítulo 6, será analisado o caso do Brasil e sua trajetória. Os casos irão se concentrar nas políticas energéticas ao nível nacional em seus respectivos ‘momentums de política energética’, com especial atenção às políticas que se orientam ao paradigma tecnológico (P&D) e ambiente de seleção.

A formação de trajetórias e o papel das políticas nesse processo serão analisados a partir da convergência no âmbito da promoção de sua produção e consumo (ambiente de seleção) e da busca tecnológica (paradigma). A convergência do referencial de política reforçaria o processo coevolutivo de construção de uma trajetória e estabilização do regime de baixo carbono. Sua divergência, porém, criaria obstáculos para sua consecução.

CAPÍTULO 5 - A EXPERIÊNCIA INTERNACIONAL: HOUE CONVERGÊNCIA À TEBC?

As estratégias nacionais para lidar com os desafios e objetivos estruturantes de seus sistemas energéticos dependerão de fatores como disponibilidade de recursos energéticos, acesso a mercados, capital, conhecimento, tecnologia, aceitação social e política, entre outros. Assim, uma TEBC é vislumbrada como um processo aberto, cujo a estrutura varia entre países, tendo um direcionamento comum quanto às menores emissões.

Analisar a convergência de estratégias nacionais para um regime de baixo carbono será o foco deste capítulo. Se por um lado os esforços de mudanças paradigmáticas ao nível tecnológico indicam as aspirações futuras de transformação sistêmica, pelo lado do ambiente de seleção encontram-se políticas públicas que buscam alterar a conformação em que o setor energético se desenvolve e, assim, alterar sua estrutura.

Neste sentido, a comparação das experiências internacionais traz lições quanto à evolução dessas estratégias, indicando a convergência ou não às novas trajetórias na construção do regime de baixo carbono. Esta construção se daria a partir de uma trajetória para sistemas cuja a qualidade da energia em termos de intensidade de emissões seja reduzida.

Para tanto, no âmbito do ambiente de seleção, pela maior variedade de instrumentos, será adotada a tipologia de ‘estratégias de desenvolvimento energético’, e o critério de convergência será aquele estabelecido para estratégias compatíveis à uma TEBC, ambos propostos no Capítulo 4. Assim, as principais políticas serão organizadas por estratégias, e para o caso de não serem explicitadas políticas em determinada estratégia se adotará a sigla N/A (‘não aplicável’). Para isto, serão analisadas as mudanças de políticas energéticas promovidas em dois períodos distintos (momentum de política energética), quais sejam: 1970-1985 e 2000-2015. Os estudos de caso serão baseado em informações e dados estatísticos de instituições nacionais e internacionais (IEA, US EIA, BP, etc.), literatura secundária (artigos, relatórios, etc.) e documentos oficiais (leis, programas de política, etc.).

Em contrapartida, no âmbito dos paradigmas tecnológicos estaríamos interessados em identificar as estratégias associadas a promoção de inovações tecnológicas de baixo carbono. A composição temática de programas nacionais de P&D ao longo do tempo, dão indícios das possibilidades de desenvolvimento tecnológico presentes no momento em que os programas são executados, assim como de referenciais dos formuladores de política, indicando aspirações de qual futuro energético se pretende desenvolver. Esta composição temática será baseada a partir dos dados da Agência Internacional de Energia (IEA) de 1974 a 2016. Como se verá,

mudanças na composição temática dos programas de pesquisa ocorreram; a questão será se esta composição convergirá para tecnologias compatíveis com um regime de baixo carbono.

O capítulo está subdividido em quatro seções cobrindo, respectivamente, quatro países, quais sejam: Estados Unidos, França, Alemanha e Japão. A opção pelos casos segue a seleção de Ikenberry (1986), baseada na diferenciação de estratégias políticas no enfrentamento dos choques do petróleo. Além disso, a escolha se justifica pelo fato destes países serem relevantes do ponto de vista energético, econômico e tecnológico. Portanto, este capítulo apresentará as trajetórias dos países, avaliando a convergência de suas políticas energéticas na construção de um regime de baixo carbono.

5.1. A trajetória americana

“Over the past seven years, we’ve transformed the United States into the global leader in fighting climate change.(...) This agreement represents the best chance we have to save the one planet that we’ve got.” Presidente Barack Obama em discurso sobre o Acordo de Paris na Casa Branca. 12 dezembro 2015 (ESTADOS UNIDOS, 2015)

De acordo com Cochran et al. (2011), a “complacência” descreve a atitude dos americanos em relação às políticas energéticas nacionais e estratégias de proteção ambiental até a década de 1970. Estas não eram uma preocupação imediata, devido à abundância da oferta de energia a baixo custo, que contribuiu para o desenvolvimento econômico no país em detrimento à qualidade ambiental. É a partir do embargo do petróleo árabe, em 1973, que o setor de energia se torna foco de políticas específicas, desencadeando uma sequência de iniciativas do governo americano.

As políticas que anteriormente se relacionavam com energia tratavam, ora do incentivo ao setor privado na produção econômica de insumos e produtos a baixo custo, ora atuavam sobre questões de organização e concorrência de mercados⁶⁰. O país apresentava relativa abundância em recursos energéticos fósseis (carvão, petróleo e gás natural) que eram explorados, sobretudo, pelo setor privado. Além da oferta local, os americanos se beneficiaram de sua capacidade de razoável controle do abastecimento por recursos energéticos estrangeiros (e.g. campos petróleo no Oriente Médio e Norte da África), através de suas empresas⁶¹. Entretanto, para o caso do abastecimento de gás natural, esta abundância não era tão genera-

⁶⁰ Concessões de benefícios fiscais, intervenções contra cartéis, quotas de produção para controle de preços, entre outros, formaram o espectro de instrumentos de política pública ao setor de energia americano.

⁶¹ Em conjunto às companhias de petróleo européias, as empresas americanas exerciam controle sobre a produção, preço de mercado e lucros auferidos.

lizada (com escassez no centro-oeste e nordeste e abundância no sudoeste), levando a necessidade de reformas profundas no setor de gás nos anos 1970 (CHILDS, 2011).

Pode-se destacar como as leis federais mais importantes até a época: a *Federal Water Power Act* (1920), *Public Utility Holding Company Act* (1935), *Rural Electrification Act* (1936), *Natural Gas Act* (1938) e *Atomic Energy Act* (1946) (ver Apêndice, Tabela 8).

Childs (2011) aponta que duas forças moldariam a economia política da energia nos Estados Unidos a partir da década de 1970: a desregulamentação e o ambientalismo. A desregulamentação ganhou força, em parte, por ter raízes ideológicas e políticas, avessas ao papel proativo do Estado (desde o *New Deal*⁶²), mas também como uma resposta pragmática aos problemas com a regulamentação existente, que tornavam produtos e serviços burocráticos complexos e dispendiosos. Esta orientação irá se estender como força política ao longo das décadas até hoje.

No caso do ambientalismo, sua influência seguia a agenda da sustentabilidade descrita no Capítulo 2. Grupos de interesse exerceram pressão política para conter a poluição do ar, água e terra dado o aumento drásticos na poluição, em particular pela expansão econômica durante a Segunda Guerra Mundial e o pós-guerra.

No âmbito de políticas públicas, vale destacar as características do federalismo americano e sua tradição de descentralização de poder entre governo central e os Estados. Uma parte relevante da regulação das atividades econômicas tem origem ao nível estadual, onde Estados podem atuar de forma individual ou em bloco. Esta descentralização e fragmentação da responsabilidade política é consistente com a ênfase no desenvolvimento dos mercados no país, não havendo, em nenhum nível de governo, a responsabilidade pela determinação das opções generalizada de conversores energéticos.

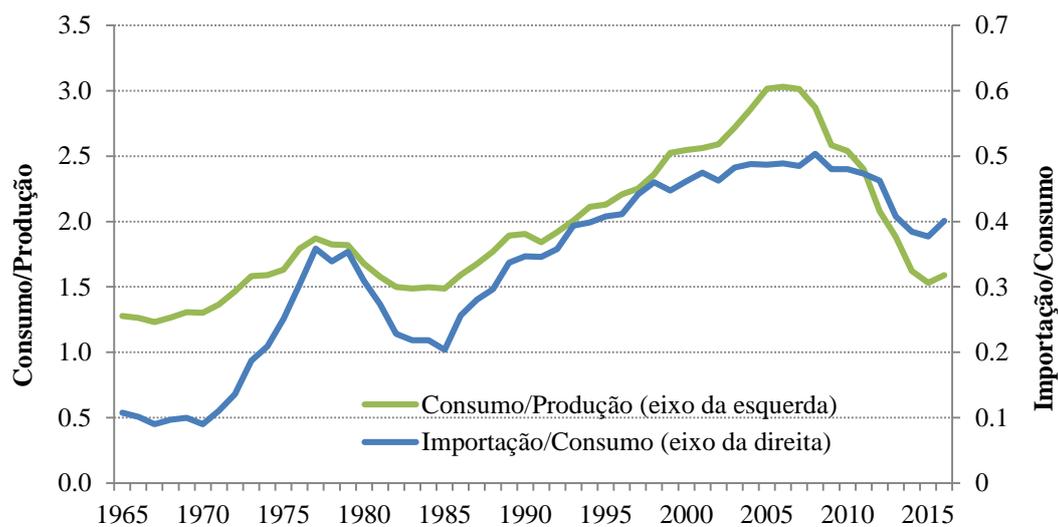
5.1.1. Primeiro momentum de política energética

O embargo árabe do petróleo aos países que apoiavam Israel, em 1973, marcou o início da preocupação americana quanto à segurança do abastecimento e quanto aos impactos potenciais da escassez de recursos energéticos. Esta questão foi tratada como uma questão de segurança nacional. Apesar da OPEP ter sido criada em 1960, dentre os fatores que limitaram seu poder de atuação como grupo estava o controle do mercado pelas *majors* e a produção de petróleo bruto em excesso frente a demanda internacional, o que dava poder de barganha aos demandantes e reduzia os preços e ganhos fiscais dos países produtores.

⁶² O *New Deal* tratou de uma série de programas entre 1933 e 1937, sob o governo do presidente Roosevelt, para a recuperação da economia norte-americana e os afetados pela “Grande Depressão”. As iniciativas tinham inspiração keynesiana quanto à importância da atuação do Estado na gestão da economia e promoção do crescimento.

No entanto, será na década de 1970 que tais fatores se invertem. Houve um forte crescimento da demanda americana para além da produção de petróleo interna, que atingira um pico de produção em 1970, declinando em seguida. Com isso, ampliou-se a razão entre consumo e produção de petróleo cru, com acelerada necessidade de importações (Gráfico 18).

Gráfico 18 – Razões volumétricas de consumo/produção e importação/consumo de petróleo cru nos Estados Unidos



Nota: Consumo considera a demanda interna, bunkers marítimo e de aviação internacional, assim como consumo e perdas de refinarias. O consumo de biocombustíveis (etanol, biodiesel e derivados de carvão e gás natural) também estão incluídos.

*Fonte: US Energy Information Administration (EIA, 2018) e
BP Statistical Review of World Energy (BP, 2018)*

O embargo em si não reduziu as importações de petróleo americanas de outras origens (e.g. Venezuela e Irã), mas serviu para revelar o poder de mercado da OPEP, que passou a coordenar controles sistemáticos de sua produção para elevar preços. Vale notar que, para proteger a produção nacional em 1959, o governo Eisenhower (1953-1961) criou quotas para importação, e será justamente em 1973 onde elas serão removidas pelo governo Nixon (1969-1973), instituindo um sistema de alocação de importações para assegurar o acesso a refinadores e comercializadores independentes.

Those two acts, coming one on top of the other, perfectly symbolized how circumstances had changed: Quotas were meant to manage and limit supplies in a world of surplus, while allocations were aimed at distributing whatever supplies were available in a world of shortage. (YERGIN, 1990 p. 590)

O termo "crise energética" aparece, então, na política americana em um cenário de rápido crescimento da demanda por todas as formas de energia. Parte do consumo, até então, era promovido por controles de preços, que serviam também como forma de combate à inflação.

Ainda em 1973, o Presidente Nixon anuncia o “*Project Independence*”⁶³ como estratégia para atingir a autossuficiência energética até 1980. Dentre os elementos levantados, estavam a redução da velocidade máxima em estradas, flexibilização dos requisitos para licenças de plantas nucleares, conversão de plantas de petróleo para carvão, aumento dos recursos para P&D em energia, redução do consumo dos órgãos públicos e pedido aos cidadãos em reduzir seus termostatos e compartilhar viagens de carros. A meta central do projeto se mostrou irrealista.

Mesmo depois do fim do embargo árabe, diversas iniciativas de política energética surgiram. Em 1975, no governo Ford (1974-1977), instuiu-se a *Energy Policy Conservation Act* estabelecendo regulações de: (i) padrões de eficiência para veículos (*Corporate Average Fuel Economy – CAFE standards*); (ii) programa de conservação de energia para produtos e equipamentos; e (iii) a criação de *Strategic Petroleum Reserve (SPR)*. Além disso, estabeleceu-se: (i) a proibição de exportação de petróleo cru, (ii) a restrição da construção de usinas térmicas a óleo ou gás natural, incentivos à construção de usinas a carvão, nuclear⁶⁴ e a fontes alternativas, e (iii) iniciou-se a retirada do controle de preços domésticos. Neste último ponto, a ideia da liberação dos preços era que, com o aumento do custo dos combustíveis, a demanda se reduziria, ao mesmo tempo em que se ampliariam os lucros dos produtores locais⁶⁵.

A política de eficiência americana mais relevante, sem dúvida, é a *CAFE standards*. Iniciada neste período e que se mantém até hoje, a *CAFE* estabeleceu metas de eficiência e padronização a montadoras, utilizando incentivos (créditos fiscais) e penalidades (multas). Seu objetivo é o de elevar a eficiência de consumo dos novos carros americanos, medida em milhas por galão (*mpg*) e pela média de produção de cada montadora.

O Gráfico 19 mostra a evolução das metas do *CAFE* e como a frota média americana acompanhou de perto sua evolução⁶⁶.

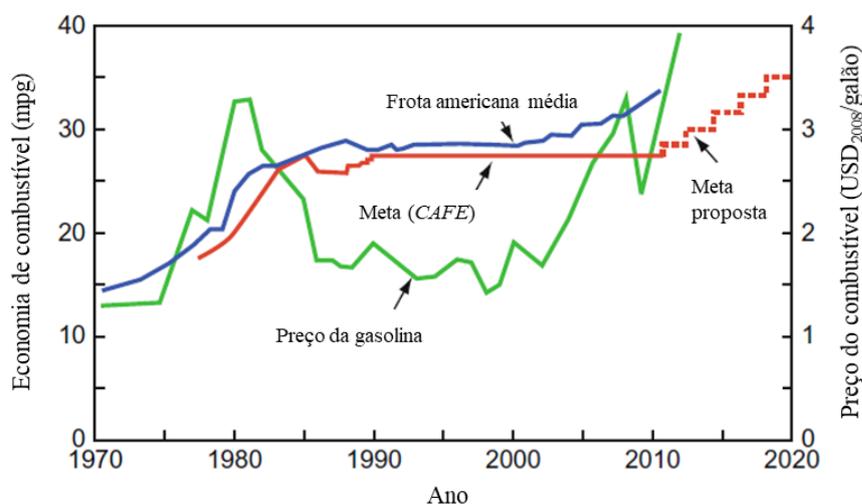
⁶³ Video “President Nixon's Energy Policy Address” November 25, 1973: <https://www.youtube.com/watch?v=0bUA-uFNAYc>. Acesso: 10.12.2018

⁶⁴ Os anos 1970 foram marcados pela construção e entrada em operação da maioria dos reatores no país. No entanto, em 1979, ocorre o acidente em *Three Mile Island* (Pensilvânia) e incidentes menos sérios em outras usinas, freando a contínua expansão da fonte nuclear nos anos subsequentes.

⁶⁵ Como forma de contrabalançar a oposição a esta medida, em 1980 foi criado imposto sobre o lucro do petróleo bruto, que incidia nos lucros dos produtores e direcionava suas receitas a grupos mais sensíveis ao custo da energia (pobres e idosos).

⁶⁶ Apesar de conduzir a produção local e regar as importações de automóveis, movimentando elevadas somas de créditos e penalidades, é possível argumentar que o fator que mais contribui para economias no consumo tem sido as elevações nos preços dos combustíveis.

Gráfico 19 – Economia de combustíveis nos Estados Unidos e *CAFE Standards*



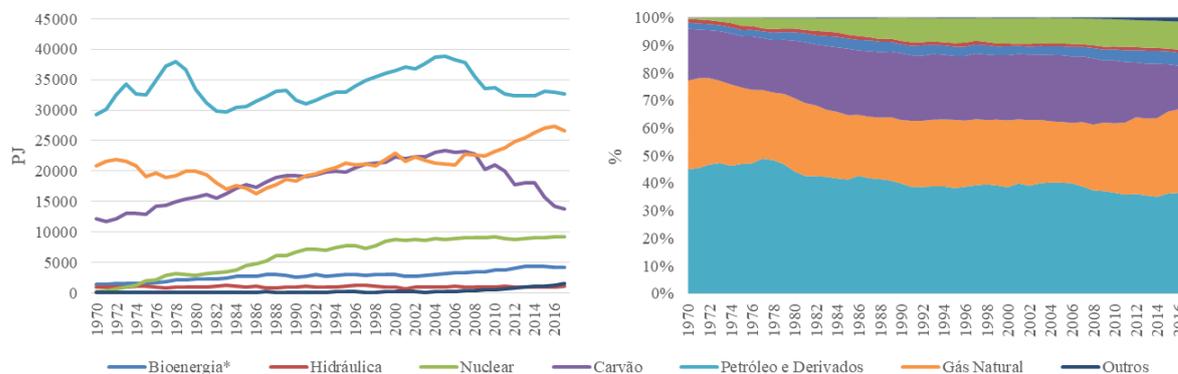
Fonte: Traduzido de ASHBY (2013)

As reservas estratégicas de petróleo (*SPR*) surgem no intuito de garantir um amortecedor para eventuais choques de abastecimento, além de ser mais uma ferramenta nas disputas geopolíticas com a OPEP. Assim, foi autorizada a criação de reservas de até 1 bilhão de barris, explicitando as situações a que essas reservas poderiam ser utilizadas e da necessidade de autorização presidencial para retiradas substanciais ou de sua totalidade. A *SPR* tem servido para cumprir as obrigações do acordo de criação da Agência Internacional de Energia (IEA) em 1974, exigindo a manutenção em estoque de 90 dias de importações de petróleo bruto e produtos (BORDOFF et al, 2018).

É no governo Carter (1977-1981), que o Departamento de Energia (DOE) é criado, assim como a instituição do *National Energy Act* (1978) com 5 leis abrangendo uma variedade de ações no sistema energético americano (ver Apêndice, Tabela 8). Destacam-se neste corpo legal: (i) a liberalização de preços de gás natural para incentivar a exploração; (ii) incentivos à conversão de termelétricas para carvão; (iii) mudanças na estruturas das tarifas elétricas; (iv) benefícios fiscais para incentivar a redução do consumo (medidas de eficiência em edifícios); e (v) incentivos para o desenvolvimento de fontes de energia renováveis e não fósseis (solar, eólica ou geotérmica).

Apesar dessas iniciativas, a dependência americana do petróleo, em particular de origem estrangeira, continuou. É interessante notar a trajetória energética dos Estados Unidos desde a década de 1970 até os dias de hoje: a participação dos produtos de petróleo no consumo final primário é relativamente estável em torno de 40%. Isso se deve, em grande medida, a ausência de concorrência interenergética, sobretudo no setor de transportes, pelo qual o modal rodoviário se tornou predominante no país.

Gráfico 20 – Consumo de energia primária nos Estados Unidos



*Bioenergia inclui biocombustíveis e resíduos. Outros incluem geotérmica, vapor, outras renováveis

Fonte: Elaboração própria com dados de IEA World Energy Balances Database (IEA, 2018a)

No governo Reagan (1981-1989), as estratégias de intervenção anteriores foram rejeitadas com a ideia de abundância energética no país, adotando, então, uma intensa desregulamentação e introdução de mecanismos de livre mercado. Dentre as principais medidas, estavam a liberação de preços, fim das quotas de importação, promoção da exploração de petróleo e gás *offshore* e em terras federais, abandono de programas de conservação e energia alternativas e relaxamento de padrões ambientais (COCHRAN et al., 2011). A partir de seu contracampo de preços, o mercado de petróleo apresentou razoável estabilidade nos anos posteriores, trazendo novamente a complacência ao posicionamento americano frente às questões energéticas. Encerra-se assim o primeiro momentum de política energética americano.

5.1.2. Segundo momentum de política energética

O segundo *momentum* americano pode ser descrito a partir do governo Bush (2001-2008), quando logo que assume cria uma ‘força tarefa para energia’ cuja função era “*desenvolver a política nacional energética desenhada para auxiliar o setor privado, e, quando necessário e apropriado, Estados e governos locais, em promover uma produção e distribuição de energia confiável, acessível e ambientalmente correta para o futuro*” (ESTADOS UNIDOS, 2001, tradução nossa).

Naquele momento, havia a preocupação quanto à necessidade de abastecimento e o tipo de diversificação energética. Haviam dúvidas quanto ao avanço desproporcional de novas térmicas a gás em detrimento as de carvão (o país detém grandes reservas) e nucleares. Este debate irá culminar no *Energy Policy Act* de 2005, tendo como objetivos:

- i. promoção da conservação e eficiência energética;
- ii. aumento da produção interna de energia;

- iii. diversificação do fornecimento de energia; e
- iv. modernização da infraestrutura energética.

A partir destes objetivos, surgiram programas de incentivos fiscais/tributários para a compra de equipamentos domésticos de alta eficiência, uso de energias renováveis e compra de veículos elétricos ou híbridos, além de apoio financeiro ao desenvolvimento de veículos a hidrogênio e geração nuclear.

Outro importante programa criado neste contexto, foi o *Renewable Fuel Standard (RFS)*, requerendo a adição de biocombustíveis nos combustíveis de transporte, com metas volumétricas crescentes anuais. O biocombustível americano advém de uma variedade de fontes de biomassa, porém sua produção está bastante concentrada no etanol de milho e, em menor proporção, biodiesel de soja. Na sequência, foi aprovado o *Energy Independence and Security Act* de 2007 com os objetivos:

- i. elevar as metas para *CAFE standards* até 2020 (Gráfico 19);
- ii. programas de incentivo a veículos elétricos e híbridos;
- iii. regras de conservação e emissões para frotas de veículos federais;
- iv. aumento das metas de mistura e pesquisa em biocombustíveis avançados;
- v. padrões de eficiência em equipamentos e iluminação (com efeito de quase banir lâmpadas incandescentes); e
- vi. eficiência em edificações residenciais, comerciais, federais, industriais e outras; além de outras provisões.

Este conjunto de leis manteve elementos tradicionais como o *CAFE standards* e a ênfase em fontes como petróleo, gás, carvão e nuclear, deixando relativamente marginalizadas as fontes renováveis. Vale notar o interesse na expansão da produção petrolífera, com a intenção de ampliar as atividades para áreas no Ártico.

Em uma nova fase, no governo Obama (2009-2017) surgem iniciativas de políticas energética que irão alterar a ênfase dada até então. Com uma abordagem mais conservacionista para com o meio ambiente que seu predecessor, particularmente após o vazamento de petróleo no Golfo do México em 2010, o governo Obama chegou a limitar a exploração *offshore* e em terras federais, mas nunca chegando a ser avesso à atividade.

Em seu governo, foram apresentadas várias iniciativas, dentre elas:

- i. *Clean Power Plan*: focado na redução de emissões nos Estados (em particular, na redução da queima de carvão em termelétricas, aumento do uso de gás e energias renováveis, e conservação de energia);
- ii. *CAFE standards*: revisão das métricas, com metas em média mais exigentes e crescentes num horizonte até 2025;

- iii. Menores emissões de metano pela indústria de petróleo e gás; e
- iv. Aumento do uso de biocombustíveis no setor de transporte (*RFS*);

O retorno da ideia da busca pela ‘independência energética’ iniciada por Bush, mas agora associada a considerações climáticas, levou a criação de uma ‘força tarefa de adaptação às mudanças climáticas’, além de programas de incentivo a energias renováveis. Além disso, reconsiderou-se o papel da energia nuclear (FELDER, 2013). Mesmo não tendo um objetivo explícito de desenvolvimento da fonte nuclear, ao propor medidas de incentivo a tecnologias de baixo carbono, indiretamente oferecia-se vantagens a esta fonte. Durante sua administração, a energia nuclear se manteve relevante como despesa em pesquisa (tanto energética, quanto militar), e foram avaliadas extensões às licenças vincendas de um grupo relevante de usinas construídas nas décadas de 1960 e 1970.

Paralelamente, será durante o governo Obama que a revolução dos hidrocarbonetos “não convencionais”⁶⁷ irá ocorrer, gerando rapidamente uma reversão de uma tendência estagnante da produção de petróleo e gás para uma trajetória exponencial da produção no país. Com este novo contexto, algumas das regras estabelecidas quando dos choques do petróleo foram revisitadas. Seriam os casos da retirada, em 2015, da proibição de exportação de petróleo e, mais recentemente, o retorno do debate quanto ao papel das reservas estratégicas (BORDOFF et al, 2018).

Dentre os principais símbolos de preocupação ambiental que influenciam a dinâmica energética no governo Obama estava o bloqueio de dutos: *Dakota Access* (duto de transporte de petróleo da Dakota do Norte para Illinois) e o *Keystone XL* (duto que levaria petróleo canadense até o Golfo do México). É durante seu governo que a grave crise financeira de 2009 ocorre. Como forma de combate a seus efeitos na economia, foi criado um pacote de estímulos econômicos através do *American Recovery and Reinvestment Act* (ARRA). Na área de energia, o ARRA destinou US\$ 21,5 bilhões para investimentos em infraestrutura energética e US\$ 24,2 bilhões em P&D em energia e eficiência. Com o ARRA, expandiu-se a concessão de créditos tributário à produção de eletricidade renovável (*Production Tax Credits – PTC*⁶⁸), importante particularmente para eólicas.

Finalmente, o acordo de Paris (2015) torna-se o marco definitivo da estratégia americana no período, frente aos desafios climáticos. Mesmo, ainda, persistindo muitas controversi-

⁶⁷ A partir de avanços tecnológicos em E&P onshore, reservas de *shale gas* e *tight oil*, antes custosas para se desenvolver, passaram a ser viáveis economicamente. Dada a estrutura de propriedade americana, disponibilidade de infraestrutura e recursos financeiros abundantes, o desenvolvimento nas áreas de não convencionais multiplicaram-se muito rapidamente sem intervenção federal.

⁶⁸ O PTC é um crédito tributário federal para produção de eletricidade renovável medido por quilowatt-hora (kWh) e ajustado pela inflação por um período, em geral, de 10 anos.

as geradas pelos opositores ao discurso do aquecimento global, o governo Obama conseguiu seguir em frente e ratificar o acordo. Apesar de, a nível nacional, não ter implementado mecanismos de internalização do custo de emissões, diversos Estados desenvolveram iniciativas próprias como a precificação via mercados de carbono ou ainda obrigações de compra de energia renovável (*Renewable portfolio standards - RPS*), além de créditos fiscais para instalação de fontes renováveis.

Após a rejeição americana do Protocolo de Quioto em 1997, o Acordo de Paris retirou o caráter isolacionista que os Estados Unidos vinham adotando em termos de uma estratégia ambiental nacional. O Acordo de Paris será o último grande movimento da administração Obama, encerrando também o segundo momentum de política energética americano.

5.1.3. *Convergência das políticas americanas*

Embora tenha mudado ao longo dos anos 1970, o ajuste americano acabou tomando a forma de uma resposta de mercado em torno de uma prioridade: o petróleo. O governo americano em três administrações apresentou uma profusão de iniciativas domésticas e internacionais, de mercado e não mercado. Inicialmente, procurou-se restabelecer a liderança e o controle do regime internacional de energia. No entanto, a dificuldade americana em mobilizar outras nações consumidoras industriais em torno de uma política comum, assim como de receber uma resposta favorável dos produtores, restringiram suas alternativas de política internacional e doméstica. Aos poucos, a política de liberalização passou a ser vista como a medida mais eficaz. É nesta linha que Ikenberry (1986) descreve o posicionamento americano como ‘defensivo por mercados’. O retorno aos preços de mercado, combinado com uma série de programas fiscais, constituiu a resposta americana defensiva aos desarranjos causados pela crise do petróleo.

Nesta defesa, os Estados Unidos adotaram diversas estratégias de desenvolvimento energético. É difícil distinguir quais foram as principais; no entanto, fica claro a prioridade de resolver os problemas da restrição dos produtos de petróleo, sem necessariamente superá-lo como principal fonte energética.

Neste sentido, no primeiro momentum americano, foram identificadas as seguintes estratégias:

- ***Energo-expansivas (▲)***: de incentivos à produção de petróleo, gás e carvão domésticos que pudessem evitar restrições no consumo americano. Também, foram dados incentivos à construção de usinas térmicas a carvão e nucleares. No entanto, a busca por fontes alternativas apresentou-se restrita (e.g. solar);

- **Energo-reprodutivas (=)**: com a criação das reservas estratégicas de petróleo (*SPR*);
- **Energo-substitutivas (\neq)**: associadas à conversão de térmicas a carvão, incentivos à substituição de combustíveis pela indústria e restrição a novas usinas térmicas a óleo e gás; e
- **Energo-poupadoras (\blacktriangledown)**: associadas ao racionamento do consumo, programas de eficiência e conservação (*CAFE standards*), e ao posterior abandono do controle de preços de combustíveis.

Vale destacar que a liberalização de preços dos combustíveis no período atuou de forma dual, incentivando produção local para consumo doméstico e reduzindo o ímpeto da demanda por combustíveis, sendo *expansiva* e *poupadora*, respectivamente.

Já no segundo momentum de política energética americano, destacam-se os desafios quanto a segurança energética (inicialmente buscando reduzir a dependência crescente de importações) e na mitigação de emissões de carbono.

Assim, no período foram identificadas as estratégias:

- **Energo-expansivas (\blacktriangle)**: associadas aos incentivos às fontes fósseis e carvão (especialmente, no período Bush) e renováveis (sobretudo no período Obama);
- **Energo-reprodutivas (=)**: associadas à extensão de licenças para unidades nucleares;
- **Energo-substitutivas (\neq)**: associadas à adição de biocombustíveis (RFS) e restrições às térmicas a carvão; e
- **Energo-poupadoras (\blacktriangledown)**: associadas ao aprofundamento de programas de eficiência e conservação (*CAFE standards*).

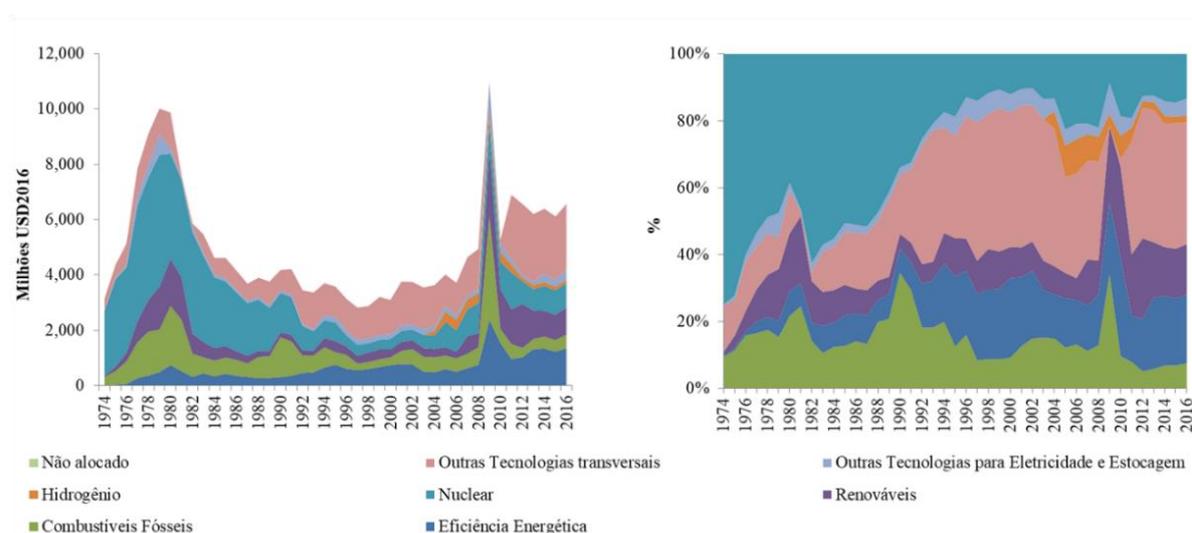
Comparativamente ao primeiro momentum, o segundo apresentou aprofundamento em iniciativas de baixo carbono e, em particular no governo Obama, orientou-se de forma mais explícita a objetivos climáticos, implicando em alguns enfrentamentos contra fontes emissoras.

No que se refere ao orçamento de P&D americano, assim como no grupo OCDE, observa-se uma mudança gradual de pauta de investimentos (Gráfico 21). Partindo de um foco predominante em energias nucleares nos anos 1970 (cerca de 75% do orçamento em 1974), os americanos gradualmente migraram para investimentos em pesquisa básica e em sistemas de energia (tecnologias transversais), eficiência e renováveis (em conjunto, 79% do orçamento em 2016).

Vale salientar que, do total acumulado dos investimentos em energia fóssil, cerca de 60% foram destinados estritamente ao carvão, 7% petróleo, 5% gás natural, 11% CCS, e o restante subdividido em pesquisas em áreas de equipamentos, metalurgia, gasodutos no Alasca, etc. (GALLAGHER; ANADON, 2017).

O Programa de Tecnologia de Mudanças Climáticas (*Climate Change Technology Program*), criado em 2002, surgiu para o desenvolvimento de pesquisa de longo prazo em mudanças climáticas, como programa multiagências, liderado pelo DOE (IEA, 2008). Note que em 2009, através do pacote do ARRA, houve uma injeção relevante de recursos em renováveis, eficiência e energias fósseis. Vale destacar que os investimentos classificados como ‘energia fósseis’ no ARRA foram direcionados para CCS e para o projeto *FutureGen* (para tecnologias de carvão com CCS).

Gráfico 21 – Pesquisa, desenvolvimento e demonstração (P&D&D) em energia nos Estados Unidos



Fonte: Elaboração própria com dados de IEA Energy Technology RD&D Statistics (IEA, 2018d)

Em resumo, o perfil do orçamento de P&D americano e suas diversas políticas setoriais sugerem uma mudança gradual de referencial das políticas energéticas no país. Por darem ênfase crescente a elementos como eficiência e renováveis em detrimento às alternativas de fontes tradicionais emissoras, as possibilidades quanto à construção de uma trajetória de baixo carbono se ampliam. Este movimento fica ainda mais claro quando analisadas as experiências de seus principais Estados, fora do escopo de análise aqui.

Em suma, ficou claro que o referencial de políticas americano convergiu a uma TEBC no que se refere ao paradigma tecnológico. No entanto, quanto ao ambiente de seleção, indícios de convergência só poderiam ser indicados a partir do governo Obama, na segunda metade de seu segundo momentum de política energética.

5.2. A trajetória francesa

“The time is past when humankind thought it could selfishly draw on exhaustible resources. We know now the world is not a commodity, is not a source of revenue; it’s a common good, it’s our heritage. And the consequences of climate change are fully known now – we’re not talking about theories anymore, we’re talking about certainties.” Presidente François Hollande em discurso sobre mudanças climáticas no World Economic Forum em Davos, 23 Janeiro 2015 (FRANÇA, 2015)

A história do desenvolvimento do setor energético francês é especialmente caracterizada pelas políticas energéticas associadas à estruturas tributárias e aquelas implementadas por suas empresas estatais.

O histórico de presença estatal no setor petrolífero remonta a década de 1920 (Primeira Guerra Mundial), quando o controle do energético mostrou-se estratégico geopoliticamente. Em 1924, a *Compagnie Française des Pétroles – CFP* (hoje Total) é parcialmente adquirida pelo governo e se estabelece o controle do investimento para a expansão no mercado doméstico. A empresa se torna a única empresa integrada de fato, do *upstream* ao *downstream* no país (SALUT, 2006)⁶⁹. Sendo dominante, mas não monopolista nacionalmente, acaba por se expandir sobretudo a nível internacional. Pelo limitado potencial do *upstream* nacional frente a suas necessidades internas, o país adotou uma estratégia de refino, na qual importa grandes quantidades de óleo cru e exporta parcela dos derivados que refina.

Mesmo antes do petróleo, a energia hidráulica já seria de interesse nacional quando da lei sobre as forças hidráulicas de 1919. No caso do gás e da eletricidade, a lei de nacionalização de 1946 reuniu diversas empresas privadas para a criação das empresas públicas *Électricité de France* (EDF) e *Gaz de France* (GDF, hoje Engie), num contexto de pós-guerra. Finalmente, neste mesmo ano, ocorre a nacionalização da produção carvoeira, quando da constituição da empresa *Charbonnages de France – CDF* (que será encerrada em 2007).

5.2.1. Primeiro momentum de política energética

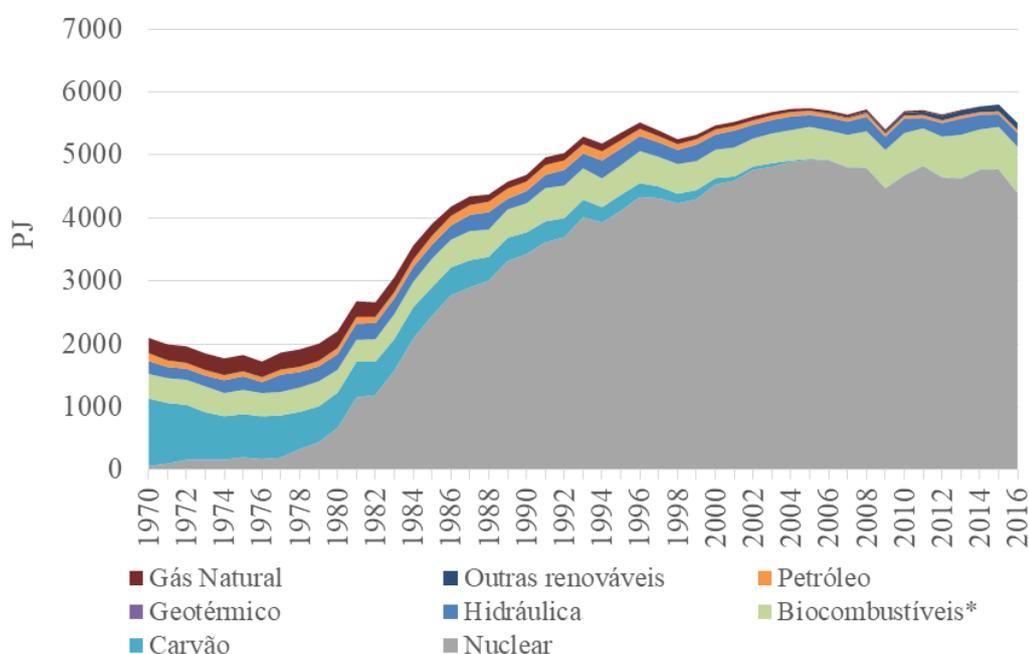
Como brevemente descrito no Capítulo 1, a França experimentou um dos processos de transição liderados por política mais emblemáticos da história recente. O avanço da energia nuclear como forma de reduzir a dependência energética, e como subproduto de pesquisas de cunho estratégico-militar, trouxe aos franceses um programa energético de grande escala, que transformou seu sistema com reflexos até os dias de hoje.

⁶⁹ Em 1992, o Estado retira-se de seu controle.

A estratégia foi gestada anos antes, mas teve seus objetivos reforçados pela situação econômica gerada pelos choques do petróleo na década de 1970, recebendo consigo maior prioridade e financiamento.

O Gráfico 22 apresenta a expansão radical do nuclear na produção de energia primária francesa. A energia nuclear serviu não apenas como um energético adicional, mas também substituiu fontes fósseis que gradualmente recuavam em produção (carvão e gás natural). A partir dos anos 2000, a fonte atingirá seu máximo, estabilizando-se no patamar de cerca de 80% do mix de produção primária.

Gráfico 22 – Produção de energia primária na França



*Inclui resíduos urbanos.

Fonte: IEA World Energy Balances Database (IEA, 2018a)

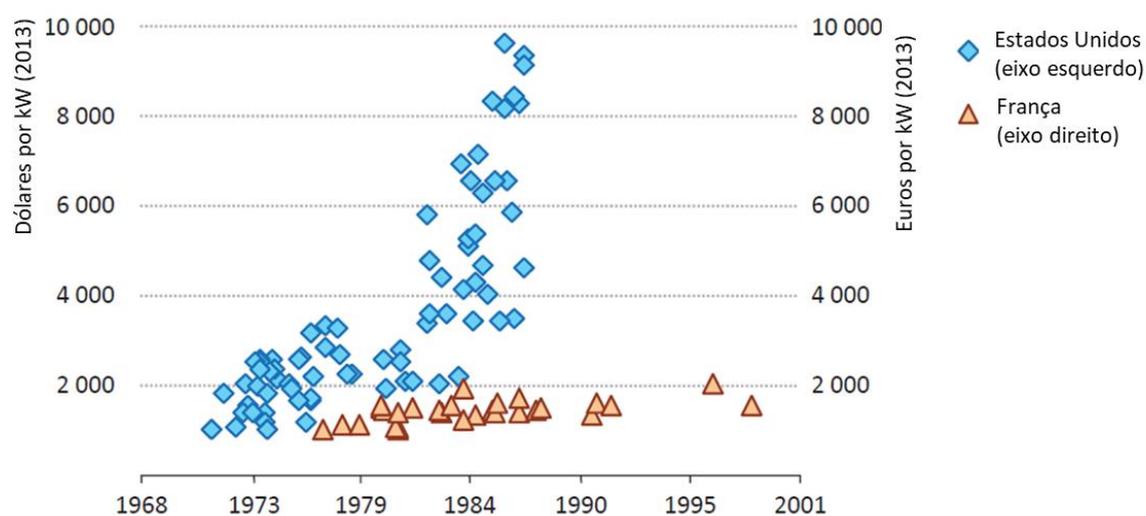
A indústria nuclear francesa passou por uma importante consolidação em 1975, quando a *Framatome* (posteriormente AREVA), produtor de reatores licenciado com tecnologia americana *Westinghouse*, passa a ser o único fabricante de reatores, tendo a estatal EDF como agente (responsável pelo *design* e engenharia) e principal (concessionária e operador) (GRUBLER, 2014). Ademais, o CEA torna-se o grande coordenador das capacidades industriais e de pesquisa do setor. Com o setor elétrico sob a égide estatal, a padronização e economias de escala foram bastante exploradas, acelerando o processo de transformação.

O Gráfico 23 apresenta a vantagem em custos que os franceses mantiveram ao longo dos anos em comparação aos custos de plantas nos Estados Unidos. Diferentemente do mode-

lo coordenado francês, nos Estados Unidos o desenvolvimento de variados modelos de reatores, diversificação de fornecedores e clientes, incremento em normas de segurança, acabaram por causar atrasos de muitas unidades, resultando em custos crescentes. Assim como os Estados Unidos, a França elevou seus requisitos de segurança, mas conseguiu mitigar parte de seu impacto no andamento e custos dos projetos (IEA, 2014) .

Ainda no setor de eletricidade, dado o declínio da produção de carvão francesa, além do promoção da energia nuclear, a exploração do potencial hidráulico remanescente matinha-se como foco e consenso entre políticos, líderes empresariais e sindicatos.

Gráfico 23 – Custo de capital histórico de unidades nucleares na França e nos Estados Unidos



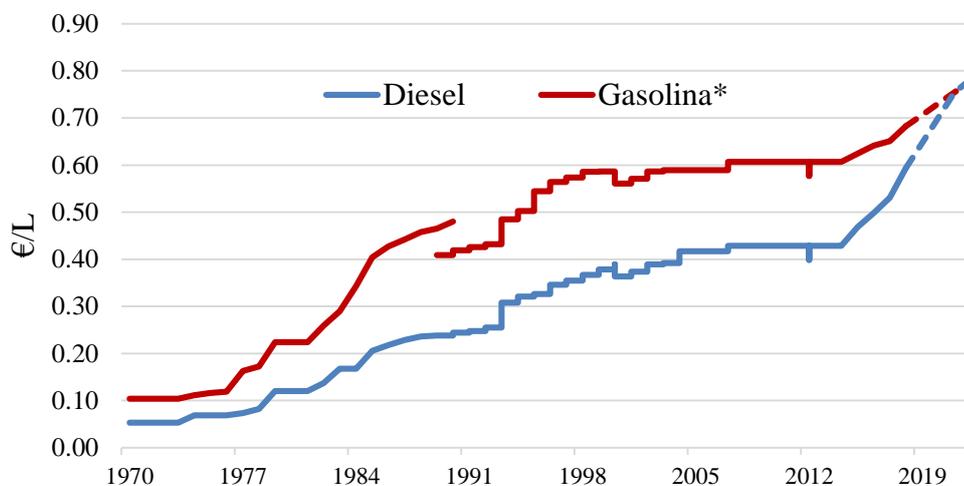
Nota: Custos de capital ('*overnight costs*') no ano em que inicia operação

Fonte: IEA (2014) a partir de diversas fontes.

No *front* do setor de petróleo, como resposta aos choques no período, o governo francês firmou uma série de acordos comerciais com produtores da OPEP, em especial o governo saudita. Dentre os mecanismos utilizados, estavam contratos governamentais e de comércio de longo prazo entre governos que envolviam empresas estatais (IKENBERRY, 1986). Ao mesmo tempo, a França tornou-se parte da recém criada IEA.

Pelo lado fiscal, alterações importantes nos impostos sob os produtos do petróleo irão reforçar a contenção do consumo de derivados ocasionada pelo aumento dos preços do petróleo (ver Gráfico 24 e Gráfico 25). O imposto específico aos produtos do petróleo (*Taxe Intérieure Pétrolière* – TIP), criado em 1928, é alterado para cima, como importante fonte de receitas fiscais em um período economicamente adverso. Mesmo após o contrachoque, esse padrão de elevação continuará, tomando contornos distintos já nas décadas de 2000 e 2010.

Gráfico 24 – Evolução de imposto sobre consumo de derivados de petróleo na França



Nota: Conversão 1 euro = 6,559 francs. Impostos em valores nominais.

*Gasolina: 1970-1990 refere-se a 'Essense Super', 1989-2017 a 'Essence sans plomb' (95 e 98).

Fonte: Elaboração própria com dados adaptados de (MATHIEU, 1991) para 1970-1990, dados de 1990-2013 da UFIP e 2013-2018 e projeções do Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire.

Gráfico 25 – Evolução do consumo de derivados de petróleo na França



Fonte: Elaboração própria com dados de IEA Energy Balances (IEA, 2018a)

5.2.2. Segundo momentum de política energética

Em seu segundo *momentum*, as políticas francesas ficam sujeitas a uma proliferação de leis e regulamentos gerados a partir de Diretivas Europeias, em particular quanto à abertura de mercados (colocando desafios à estrutura de organização energética francesa) e a conscien-

tização ambiental. De acordo com IEA (2010), o período é marcado por uma “plethora” de políticas e medidas para o setor de energia (ver Apêndice, Tabela 9).

Os quatro princípios-chave da política energética da França no período seriam (IEA, 2010): (i) segurança do suprimento de energia; (ii) oferta competitiva de energia; (iii) desenvolvimento de energia sustentável; e (iv) igualdade no nível de serviço energético para todos os territórios e todos os cidadãos.

Até o início dos anos 2000, o país orientou sua política energética a questões de balança comercial, fiscal e industrial. Tanto é o caso, que a Direção Geral de Energia e Clima (DGEC) irá se associar ao Ministério do Ambiente (MEEM) apenas em 2008, quando antes integrava o Ministério da Economia e Finanças (ANDRIOSPOULOS; SILVESTRE, 2017). As políticas de preços uniformes em território nacional (incluindo regiões chamadas de ‘ultramar’, fora do continente europeu), além do fortalecimento de ‘campeãs nacionais’⁷⁰ marcam a orientação a questões econômicas em oposição às energéticas e ambientais.

A partir das Diretivas Europeias visando a construção de um mercado interno comum competitivo, diversas das políticas nacionais tiveram de se adaptar às condições estabelecidas. A abertura e desverticalização dos setores de eletricidade e gás natural, no âmbito europeu, reorientaram a estratégia das grandes empresas francesas, incluindo a revisão de estruturas de tarifas elétricas (no caso da EDF), privatizações e maior internacionalização (no caso da GDF com sua fusão com a Suez).

Com relação às tarifas elétricas, pela abertura setorial e pela necessidade de adaptação ao potencial aumento de preços da eletricidade com a integração com outros mercados (de preços mais elevados), adotaram-se medidas de adaptação com prazo definido (e.g. tarifa de transição para ajuste de mercado de consumidores industriais, chamada “TaRTAM”).

O país passa então a enfrentar importantes desafios em seus eixos estratégicos como (i) no questionamento da manutenção da opção nuclear no longo prazo, (ii) na promoção de veículos elétricos, concorrendo com a indústria automotiva estabelecida no país, (iii) na manutenção do fornecimento de energia equalizado em todo território (na presença de grandes diferenciais de fontes e custos), e (iv) no novo ambiente de ampla concorrência contrapondo-se às suas políticas industriais autárquicas.

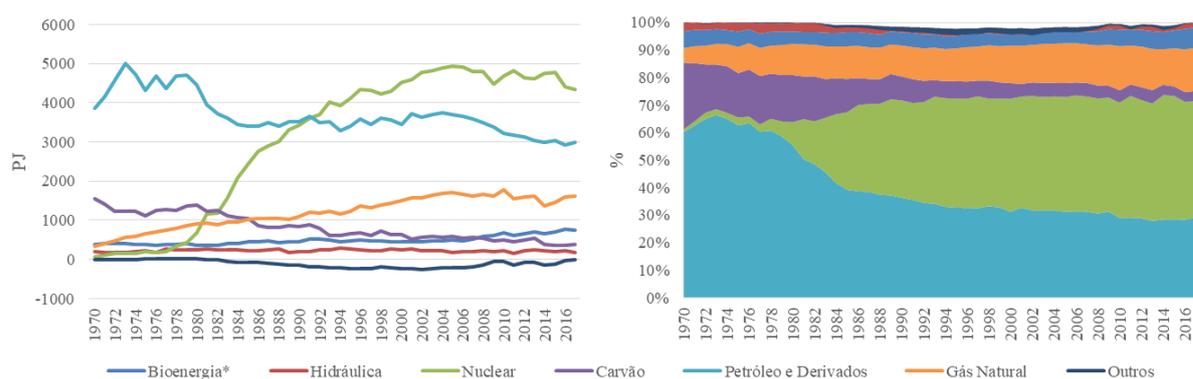
Enquanto a busca por independência energética foi o motivador da expansão da energia nuclear na década de 1970, neste segundo *momentum* tratou-se da dupla preocupação quanto

⁷⁰ Caracterizam-se como ‘campeãs nacionais’ empresas públicas ou privadas, que se formam ou se fortalecem por políticas públicas (implícitas ou explícitas) e que representam os interesses domésticos em setores estratégicos. É comum que estas sirvam para a criação de mercados e tenham domínio de parcela considerável deste, sendo capazes de competir internacionalmente com outras grandes empresas multinacionais (MAINCENT; NAVARRO, 2006). O termo é cunhado no contexto europeu por ser uma estratégia frequentemente utilizada.

à dependência de recursos fósseis importados e o combate as mudanças climáticas. Com uma tendência à queda do consumo energético per capita, aliado a um mix energético mais limpo (destacando a predominância da geração elétrica nuclear e a frota de veículos diesel), a França apresenta níveis de emissões de carbono significativamente menores que seus vizinhos europeus.

A estrutura energética francesa (Gráfico 26) manteve a predominância nuclear e do petróleo construída ao longo das décadas. Destaca-se, no entanto, a redução drástica da participação do carvão e o crescimento gradual de fontes renováveis no mix energético. Pelo lado da produção, enquanto ocorria a revolução dos petróleo e gás não convencionais nos Estados Unidos, a França decidiu por banir licenças para a exploração deste tipo de recursos em seu território, pela relutância quanto a seus impactos ambientais adversos.

Gráfico 26 – Oferta total de energia primária na França



*Bioenergia inclui biocombustíveis e resíduos. Outros incluem geotérmica, vapor, outras renováveis

Fonte: Elaboração própria com dados de IEA Energy Balances (IEA, 2018a)

Pelo lado da geração nuclear, o acidente de Fukushima em 2011 não resultou no abandono da opção, como no caso da Alemanha (ver seção 5.3), mas encareu a operação e eventuais novos projetos, fragilizando a legitimidade dos programas em curso, e culminando na decisão de limitar sua participação no mix elétrico até 2025, pela Lei de Transição Energética em 2015. Essa mesma lei propôs um piso de preço de carbono para a geração de energia térmica, tornando a operação daquelas movidas a combustíveis fósseis menos lucrativa.

Com relação a incentivos às fontes renováveis, adotaram-se os instrumentos de tarifas *feed-in (FIT)*⁷¹ reguladas, leilões e benefícios fiscais, incentivando a penetração de fontes como

⁷¹ Trata-se de remuneração determinada para um dado horizonte de tempo, referente à produção de energia de geradores independentes, comumente de pequeno porte e com produção distribuída.

eólica e solar. O custo desses instrumentos, como em outros países, se tornou uma preocupação importante, levando, por exemplo, a uma revisão significativa dos valores da FIT em 2008.

Vale lembrar, que a agenda de compromissos ambientais europeus e internacionais, em particular, com o marco da ratificação do Protocolo de Quioto (1997), inseriu-se na escala de prioridades das políticas francesas. A orientação climática vai caracterizar a organização institucional para com o meio ambiente ao longo do período, e até os dias de hoje. É neste contexto, por exemplo, que o Ministério responsável por estes temas adotará diversos nomes, explicitando suas agendas e refletindo o posicionamento político e composição dos sucessivos governos no poder. De “Ministério do Meio Ambiente” do começo do governo Chirac em 1995, este se tornará:

- Governo Jacques Chirac (1995-2007):
 - 1997: Ministério do Planejamento do Território e Meio Ambiente (*Ministère l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement*)
 - 2002: Ministério da Ecologia e Desenvolvimento Sustentável (*Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable*).
- Governo Nicolas Sarkozy (2007-2012):
 - 2007: Ministério da Ecologia, do Desenvolvimento e Planejamento Sustentáveis (*Ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement Durables*)
 - 2008: Ministério da Ecologia, Energia, Desenvolvimento Sustentável e do Mar (*Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer*)
 - 2010: Ministério da Ecologia, Desenvolvimento Sustentável, Transportes e Habitação (*Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement*).
- Governo François Hollande (2012-2017):
 - 2012: Ministério da Ecologia, do Desenvolvimento Sustentável e da Energia (*Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie*).
 - 2016: Ministério do Ambiente, Energia e Mar (*Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer*).

Em paralelo ao movimento interno pró-clima, em 2010, a Comissão Europeia estabeleceu sua estratégia *Energy 2020*, na qual buscou promover o desenvolvimento energético “competitivo, sustentável e seguro”, apontando cinco domínios prioritários aos Estados-Membros, incluindo a eficiência energética (em edifícios, produção distribuída, etc.) e o desenvolvimento de tecnologias de baixo carbono. Pelo *Climate-Energy Package* e pela diretiva de eletricidade (2009/72/CE), foram definidos objetivos vinculativos ao nível europeu até 2020:

- (i) 20% das energias renováveis no consumo total de energia;
- (ii) 20% de redução nas emissões de gases de efeito estufa em comparação com 1990;
- (iii) 20% de aumento na eficiência energética em comparação com as emissões atuais;
- (iv) normas de desempenho de emissões para veículos e para a qualidade do combustível;
- (v) avaliação de implantação de sistemas inteligentes de medição e redes inteligentes; e
- (vi) todos os novos edifícios deveriam ser “energia zero”, especialmente os públicos.

Anos antes, em 2005, fora introduzido o mercado de carbono europeu (EU ETS) para livre comércio e precificação de emissões. Posteriormente, por apresentar fragilidades quanto aos sinais gerados por este mercado, os franceses se tornarão vocais quanto às mudanças no desenho do mercado (por exemplo, na criação de um piso de preço). Em todo caso, o direcionamento político europeu para com o controle de emissões conduziu os Estados Membros a construir suas próprias iniciativas, reforçando as medidas que estavam, até então, sendo adotadas no contexto francês.

A Lei de Energia de 2005 e o programa *Grenelle de l'Environnement*⁷², que irá dar bases ao desenvolvimento da Lei *Grenelle I* (2009), propuseram metas ambiciosas para a redução de emissões no país. Dentre as metas, estabeleceu-se a divisão por quatro (o chamado *facteur 4*) das emissões de GEE até 2050, comparado às emissões em 1990. Estabeleceu, também, uma meta de 23% de participação de energias renováveis no mix total de consumo, e o Plano de Construção de Edifícios, orientando a construção de edifícios à "energia positiva"⁷³ até 2020. A Lei *Grenelle II* (2010) reforçou esses objetivos, incluindo a implantação de veículos elétricos e híbridos (TAVARES, 2013).

No setor de transportes, a lei *Grenelle* determinou novas infraestruturas para trens de alta velocidade, novas linhas de bondes e ônibus, uma taxa ecológica (*ecotax*) sobre fretes rodoviárias, aumento no uso de biocombustíveis (e.g. E10) e outras medidas pelo lado da demanda.

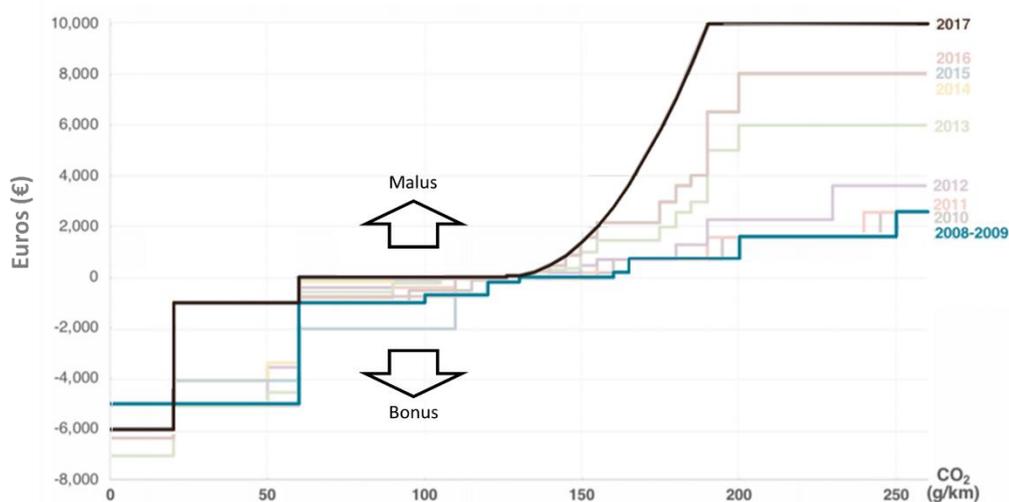
Foi introduzido um sistema de ‘*bonus-malus*’, baseado no desempenho em emissões de veículos. O esquema se baseia em dois impostos, cujo objetivo é penalizar os carros poluentes. São eles: (i) o imposto sobre o CO₂, aplicável aos veículos usados; e (ii) a penalidade ecológica aplicada a veículos novos, que acompanha seus níveis de emissões (CO₂/km).

⁷² O *Grenelle* surge em linha com o “Pacto Ecológico” proposto pela fundação do jornalista Nicolas Hulot para os candidatos presidenciais. Este pacto será, então, posteriormente apoiado por Nicolas Sarkozy em sua campanha eleitoral.

⁷³ Edificação bastante eficientes em termos de consumo energético, inclusive que gerem energia excedente com a instalação de geração distribuída (e.g. painéis fotovoltaicos).

O Gráfico 27, apresenta a evolução do sistema ao longo dos anos. Ao mesmo tempo que impõe custos extras aos veículos emissores ('malus'), oferece abatimento no custo da aquisição de veículos com baixas emissões ('bonus'), contribuindo para a economia de energia e redução de emissões no setor de transporte, apesar do custo da política ter excedido o previsto (IEA, 2010).

Gráfico 27 – Evolução dos parâmetros do sistema bonus-malus para veículos



Fonte: Adaptado de YANG (2018)

A tributação dos produtos e serviços energéticos na França é bastante diferenciada. A eletricidade, gás natural e GLP tem impostos de valor agregado (TVA) reduzidos, enquanto carvão, o gás natural e os derivados de petróleo estão sujeitos a outros impostos (FRANÇA. MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE, 2015)⁷⁴. Nesse período, o imposto TIP, passa a ser chamado de TIPCE (*Taxe Intérieure de Consommation sur les Produits Énergétiques*), incluindo outros produtos energéticos. Em 2011, a TICPE foi subdividida em produtos derivados de petróleo e não petrolíferos (ex. biocombustíveis). O imposto funciona de forma compartilhada com as regiões francesas, que podem estabelecer parte da alíquota cobrada.

⁷⁴ Além do TVA, existem ainda os seguintes impostos e contribuições sobre energia (i) Contribuição Tarifária de Transporte e Distribuição de Eletricidade e Gás (CTA); (ii) Contribuição para o Serviço Público de Eletricidade e Gás (CSPE e CSPG); (iii) Imposto sobre o Consumo Final de Eletricidade (TCFE); (iv) Imposto sobre o Consumo de Gás Natural (TICGN) e Carvão (TICC); (v) Imposto para os estoques estratégicos de petróleo (CPSSP); e (vi) Imposto sobre consumo interno sobre produtos energéticos (TICPE) e consumo das regiões de ultramar (TSC). Apesar de serem numerosos, igualmente extensa é a lista de exonerações que cada imposto apresenta.

De acordo com Chevalier et al. (2010), este imposto é o principal componente da tributação francesa da energia, com o objetivo de internalizar os custos próprios do tráfego rodoviário em termos de congestionamento e desgaste da infraestrutura, sendo uma ferramenta eficaz de receita do governo. Em 2014, instituiu-se ainda uma componente de carbono para o imposto. Em 2015, com a lei da “Transição Energética e Crescimento Verde”, determinou-se uma evolução progressiva ao longo do tempo, iniciando em 7 €/tCO₂ em 2014 até chegar a 100 €/tCO₂ em 2030⁷⁵.

Essa mesma Lei colocou novos objetivos ao país até 2030, sendo posteriormente traduzidos no Plano Plurianual de Energia (FRANÇA. MINISTRE DE L’ENVIRONNEMENT, DE L’ENERGIE ET DE LA MER, 2016). Dentre as novas metas estão: (i) a redução do consumo primário de energias fósseis em 30% (em relação a 2012); e (ii) apresentar 32% de participação de renováveis no consumo final bruto.

No âmbito da eficiência energética, desde 2005, criaram-se os chamados ‘certificados de economia de energia’, impondo obrigação aos fornecedores de energia (eletricidade, gás, aquecimento, GLP, etc.) a buscar soluções, sejam elas próprias ou estimulando seus clientes a serem eficientes em seu consumo. As obrigações são definidas trienalmente, e podem assumir a forma de contribuições financeiras a programas elegíveis de economia da energia.

5.2.3. *Convergência das políticas francesas*

De acordo com Ikenberry (1986), o governo francês, em seu primeiro momentum, recorreu às suas empresas estatais na área de petróleo e nuclear como instrumento para suas políticas de transformação energética, numa ‘resposta neomercantilista’ para reduzir a dependência do petróleo. Essa estratégia teria sido possível graças às relações complexas institucionais entre a indústria (petróleo e nuclear) e governo, apresentando interesses comuns em um mix de políticas empresariais e nacionais. A estratégia neomercantilista francesa tornou-se possível por elos de elite complexos e relações institucionais não presentes nos outros países. Executivos da indústria e do governo, com formação educacional e antecedentes comuns, reforçaram uma identidade mútua de interesses na definição da política nacional de petróleo e nuclear. Por exemplo, a expansão consistente da opção nuclear foi facilitada por políticas públicas estáveis e condições de mercado alinhadas.

Em seu primeiro momentum, a França apresentou estratégias:

⁷⁵ Vale notar que instrumentos como esse geram a elevação do custo de combustíveis no país, com implicações distributivas importantes. Em 2018, o movimento dos ‘Coletes Amarelos’ (*gilets jaunes*) surgiu em protesto a elevação da TIPCE, em um contexto de redução do poder aquisitivo da população.

- ***Energo-expansivas*** (▲): programa nuclear;
- ***Energo-reprodutivas*** (=): criação de reservas de petróleo (no âmbito da IEA);
- ***Energo-substitutivas*** (≠): eletrificação aliada ao programa nuclear, substituindo carvão e gás que declinavam em produção; e
- ***Energo-poupadoras*** (▼): elevação do impostos sobre combustíveis (TIP).

De acordo com Andriosopoulos e Silvestre (2017), as políticas públicas com vias à transição francesa foram variáveis, em um movimento gradual e não linear. O país gradualmente mudou seu posicionamento engajando-se em políticas de transição energética (Lei de Energia, Leis de *Grenelle* e Lei de Transição Energética e Crescimento Verde). No entanto, o conceito de transição permaneceu ambíguo durante o ‘Debate Nacional’ sobre a transição energética promovido em 2012, dando origem a diferentes interpretações e críticas às estratégias traçadas no país.

As estratégias observadas em seu segundo momentum foram:

- ***Energo-expansivas*** (▲): incentivo diversos a fontes renováveis (e.g. FIT);
- ***Energo-reprodutivas*** (=): N/A⁷⁶
- ***Energo-substitutivas*** (≠): programa de mistura de biocombustíveis (E10), sistema *bonus-malus* para veículos a partir de suas emissões, início do mercado de carbono europeu (EU ETS), proposta de piso ao preço de carbono para geração térmica fóssil; e
- ***Energo-poupadoras*** (▼): elevação de impostos sobre combustíveis (TIPCE incluindo componente de carbono), introdução de certificados de eficiência, programas de eficiência em edificações.

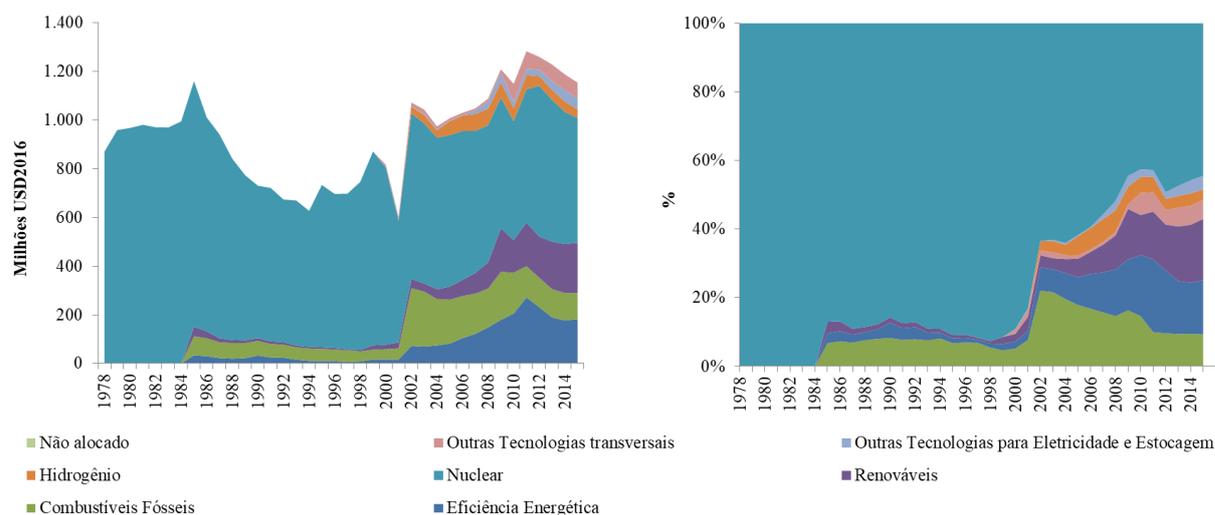
Assim, pode-se inferir que houve uma convergência ao longo do tempo frente a uma TEBC, a partir das iniciativas descritas no segundo momentum francês.

Ao analisarmos as políticas de investimentos em P&D francesa, não é de surpreender a predominância da energia nuclear como a principal pauta de interesse (Gráfico 28). No entanto, essa pauta veio se diversificando gradualmente, em particular a partir dos anos 2000. Em 2002, ocorre um pico para o grupo de combustíveis fósseis (em especial, para pesquisa em recuperação avançada de petróleo [EOR]) que se torna declinante ao longo dos anos. Interessante notar a alocação crescente de recursos para temas como eficiência energética, renováveis e em menor medida tecnologias transversais, hidrogênio e estocagem. Em 2015, o orçamento para renováveis e eficiência em conjunto representou 34% do total. Diferentemente da maioria dos países do grupo OCDE, o país apresentou mais estabilidade no volume de

⁷⁶ Optou-se pela nomenclatura “não-aplicável” (N/A) pois, apesar de ser discutida a extensão da vida útil de plantas nucleares francesas, não foram identificadas políticas explícitas voltadas para esta questão no período.

recursos em pesquisa ao longo do tempo, apesar de ainda apresentar crescimento do orçamento nos dois períodos analisados até aqui.

Gráfico 28 – Pesquisa, desenvolvimento e demonstração (P&D&D) em energia na França



Fonte: *Elaboração própria com dados de IEA Energy Technology RD&D Statistics (IEA, 2018d)*

De forma geral, os franceses tem buscado avançar no referencial da TEBC, com políticas explícitas quanto à mitigação de emissões. Com a construção a partir dos anos 1970, de uma base menos emissora que os demais países europeus, os franceses tem o desafio de avançar, ao mesmo tempo garantindo a manutenção da sua estrutura energética, em meio a questionamentos quanto a legitimidade da fonte nuclear.

5.3. A trajetória alemã

“We must now agree on a binding review mechanism under international law, so that this century can credibly be called a century of decarbonisation.”
Chanceler Angela Merkel em discurso sobre mudanças climáticas no Bundestag. 25 novembro 2015 (ALEMANHA, 2015)

Dentre os aspectos mais marcantes do setor energético alemão, destacam-se a importância do nível local determinando sua estrutura, e de estratégias que criam desafios como incentivo ao fortalecimento da economia alemã.

Com respeito a dimensão local, os municípios têm o dever de garantir serviços de interesse geral a nível local (incluindo o fornecimento de eletricidade). Esta estrutura levou à criação de conselhos comunais, onde em algumas cidades chamaram-se também atores privados para garantir o serviço público (*Daseinsvorsorge*). Além disso, os municípios e estados federativos (*Länder*) têm as infraestruturas necessárias para o transporte de energia, e concedem

concessões às empresas (*Wegemonopol*). Com esta estrutura de predominância local, constituíram-se monopólios regionais.

Em relação às estratégias, encontra-se um posicionamento proativo (em contraposição a intervenções reativas) na definição dos caminhos da economia alemã, criando objetivos normativos encarados de forma pragmática que, às vezes, vão de encontro com as estruturas estabelecidas.

O setor energético foi construído em torno do Ato de Indústria Energética (*Energiwirtschaftsgesetz - EnWG*) de 1935 que destinava-se a garantir a segurança do abastecimento, em particular quanto ao abastecimento do carvão (HAZOUARD, 2015). Com a concorrência do carvão estrangeiro, a partir da construção da Comunidade Europeia do Carvão e do Aço (CECA) e de períodos de preços baixos do petróleo, surge a necessidade de formulação de políticas energéticas a nível federal.

Como no caso americano, até meados da década de 1960, o setor de energia não era tratado como um campo específico para políticas. O sistema energético alemão fazia parte da política econômica, atendendo as necessidades macroeconômicas, sobretudo na reconstrução do pós-guerra (KAS, 2015).

Em 1949, a divisão do país em Alemanha Ocidental e Oriental passou a demarcar o tipo de desenvolvimento econômico e político das partes. A reunificação se dará apenas em 1990, após enfraquecimento do Partido Socialista Unificado (*SED*) da Alemanha Oriental, e na posterior queda do muro de Berlim. Quando divididas, as opções energéticas das duas Alemanhas distinguiam-se, sobretudo, quanto ao acesso a recursos e tecnologias externas. Quando unificada, a Alemanha irá enfrentar desafios quanto à geopolítica energética para seu abastecimento, e na coordenação de políticas com seus vizinhos europeus.

5.3.1. Primeiro momentum de política energética

Com o advento dos choques do petróleo na década de 1970 e num contexto de aumento da dependência energética, as Alemanhas adotaram estratégias que combinaram a exploração do carvão doméstico, incentivos à eficiência, gestão da demanda e promoção da energia nuclear.

A Alemanha Oriental explorava de forma intensiva suas reservas de carvão, pois tratava-se de um recurso de produção estável e de baixo custo. Com isso, o carvão abastecia cerca de 70% de sua demanda de energia (incluindo eletricidade, calor e transporte). A energia nuclear, projetada pelos soviéticos, compreendia cerca de 10% dessa demanda. Sua rede elétrica era planejada e centralizada com grandes usinas de geração.

Pelo lado da Alemanha Ocidental, o carvão também predominava, sendo a base que abasteceu o chamado “milagre econômico” desde a década de 1950. No entanto, a maior competitividade do carvão estrangeiro e do petróleo, iniciou processos de substituição do carvão na indústria, ocasionando uma crise, com fechamento de minas e unidades siderúrgicas, com importantes implicações sociais (e.g. desemprego).

O petróleo importado da OPEP correspondia a 96% das importações feitas pela Alemanha Ocidental. Assim, com os choques, ela lançou-se na busca por fornecimento no Reino Unido, Noruega e União Soviética (URSS). A Alemanha Ocidental precisou colocar o abastecimento como prioridade política e diplomática, arriscando criar conflitos com seus aliados ao negociar e importar energia dos soviéticos (BÖSCH, 2014).

A URSS passou a ser um importante competidor global no fornecimento de petróleo, gás, carvão e urânio enriquecido, não apenas aos seus aliados, mas também aos países da Europa Central. Novos contratos expandiram o negócio de dutos, ampliando as exportações de petróleo soviético para a Alemanha Ocidental. Em 1975, Ruhrgas e GDF iniciaram a construção do gasoduto *Mittel-Europäische-Gasleitungsgesellschaft* (MEGAL) para transportar gás natural da URSS para o sul da Alemanha e para a França.

Como resposta ao primeiro choque, tentou-se restringir o consumo de energia a partir de racionamentos nos transportes, eletricidade e aquecimento, além de campanhas de conservação. Medidas como a proibição de se dirigir em domingos ou da adoção de horário de verão tiveram duração e efeito limitados. Assim, aprovou-se o *Energy Security Act* em 1973 e o *Energy Conservation Act* em 1976, guiando os esforços de contenção do consumo em uma Alemanha Ocidental restringida (HEINRICH BÖLL FOUNDATION, 2016).

Já na Alemanha Oriental, nos primeiros anos pós primeiro choque, não houve grandes consequências econômicas, graças à proximidade com o bloco dos soviéticos. No entanto, ao enfrentar desafios econômicos na década seguinte, a URSS altera as condições de fornecimento para o bloco, elevando os preços do petróleo fornecido e impondo uma crise de escassez do energético na Alemanha Oriental.

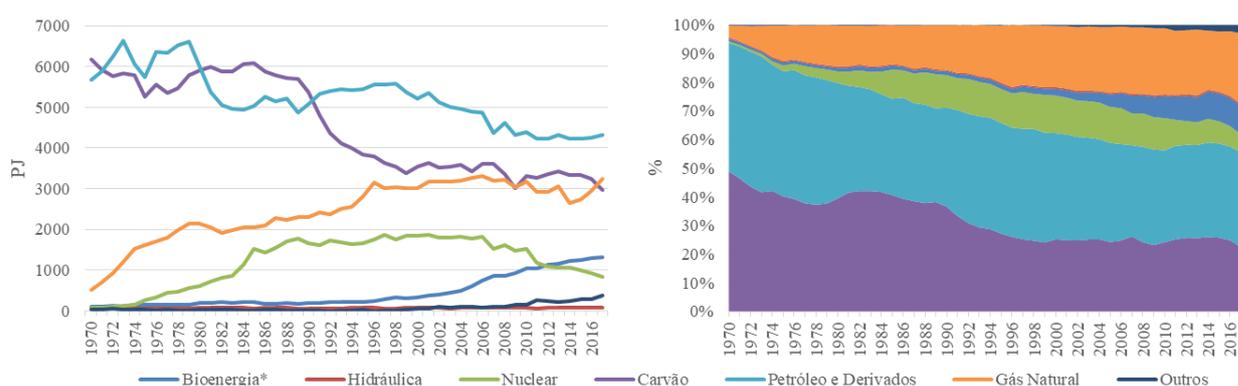
Assim como o carvão, a energia nuclear foi vista pelas Alemanhas como uma saída às restrições de abastecimento. No entanto, movimentos antinuclear surgiram nesta mesma década. Um exemplo foi a tentativa de se construir uma planta nuclear na vila de *Wyhl* (*Kaiserstuhl*), mas que foi acometida e impedida de continuar por intensos protestos. Mais tarde, com o acidente da usina de *Chernobyl* (Ucrânia, 1986), as políticas de expansão da fonte foram abandonadas, encerrando seu crescimento em meados da década de 1980 (Gráfico 29).

O movimento antinuclear e agenda ecológica e da sustentabilidade serão o embrião para o que mais tarde será chamado de transição energética (*Energiewende*). A ideia em torno do

Energiewende foi registrada em livro de 1982 (com subtítulo "Crescimento e prosperidade sem petróleo e urânio"), tratando de uma proposição holística de desenvolvimento energético, incluindo energias renováveis e eficiência energética. Essas ideias irão enraizar-se na sociedade alemã com repercussões até os dias de hoje.

Por sua vez, a promoção de energias renováveis restringiu-se a relativamente modestos investimentos em pesquisa e apoios pontuais a projetos. Em 1983, a Alemanha Ocidental irá encomendar seu primeiro parque eólico, como uma primeira tentativa de ganhar liderança do segmento no continente europeu. Incentivos à eficiência, sobretudo na indústria, foram perseguidos para ganhos de competitividade e como meio de reduzir a necessidade de importação de energia.

Gráfico 29 – Oferta total de energia primária na Alemanha



*Bioenergia inclui biocombustíveis e resíduos. Outros incluem geotérmica, vapor, outras renováveis

Fonte: Elaboração própria com dados de IEA Energy Balances (IEA, 2018a)

Ikenberry (1986) descreve que a reação Alemanha Ocidental envolveu, em muitos aspectos, uma intensificação da política econômica do pós-guerra, incentivando a indústria de exportação de forma a lhe dar estabilidade e torná-la competitiva. Esta posição seria um esforço maior e de mais longo prazo em manter a economia competitiva, incluindo o apoio e incentivos à adaptação industrial. Assim, a orientação era pela busca por absorver os choques de preços, com a geração de superávits comerciais. Na visão do autor, sua resposta seria de 'ajuste competitivo acelerado', enfatizando a competitividade industrial e dando menor enfoque à segurança do abastecimento.

5.3.2. Segundo momentum de política energética

Assim que as Alemanhas foram unificadas, foi imposto ao lado Oriental: (i) uma maior concorrência no setor energético; (ii) a redistribuição do mercado entre empresas da Ale-

manha Ocidental; (iii) a modernização de infraestruturas; e (iv) a desativação de diversos reatores nucleares de origem soviética. Pela introdução da nova dinâmica de mercado, muitos agentes tiveram dificuldades de se manter, o que deu espaço para a ação de cooperativas de energia buscarem solucionar seus problemas de fornecimento. Mais à frente, no final da década de 1990 e início de 2000, a concorrência setorial será ainda mais ampla, com as medidas de abertura promovidas a nível europeu.

Na virada do século, a Alemanha era liderada pela coalisão do Partido Social-Democrata (*SPD*) e o Partido Verde, o que determinou diversas iniciativas na área energética e institucionalizando a ideia do *Energiewende*. Em 2000, a Lei de Energia Renovável (*Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG*) foi aprovada, emendada ao longo dos anos (2004 e 2008) e foi criada uma série de leis subsequentes, que foram revisadas para se adaptar aos objetivos e condições da promoção de renováveis no país⁷⁷. A EEG incentiva a expansão e adoção de energia limpa, em particular, na produção eólica e energia solar distribuída. Através dessa Lei, tarifas *feed-in* (*FIT*)⁷⁸ foram revisadas e se popularizaram, elevando a velocidade em que fontes renováveis penetravam nos sistemas elétricos. Essa penetração passou a contestar (juntamente com a concorrência europeia) a posição dominante de grandes empresas (E.ON, EnBW, Vattenfall e RWE).

Na mesma época, instituiu-se a chamada taxa ecológica (*ecotax*), incidente em combustíveis fósseis. Introduzida a partir de reformas em 1999-2000, a *ecotax* foi concebida para incentivar a redução de consumo de fontes poluidoras, ao mesmo tempo que gerava recursos que severiam, sobretudo, para o fortalecimento do mercado de trabalho alemão (redução dos custos de mão-de-obra, previdenciários, seguro-desemprego, etc.)⁷⁹.

Os mecanismos de incentivos a renováveis (*FIT*, linhas de financiamento preferenciais⁸⁰, etc.) resultaram num crescimento formidável da capacidade instalada renováveis. Porém, consigo surge um aumento acentuado dos custos, que se reverteram em tarifas elétricas mais altas, criando insatisfação na sociedade alemã com problemas distributivos. Mais à

⁷⁷ A emenda de 2008 estabeleceu objetivos ambiciosos, estabelecendo que até 2020, 25-30% da eletricidade produzida deverá ter origem renovável e, no horizonte 2050, 50% da energia primária deverá ser renovável.

⁷⁸ A *FIT* foi introduzida em 1991 na Alemanha pela Lei *Feed-in* de Eletricidade, sendo o primeiro sistema para energias limpas do mundo com foco em energia eólica e fotovoltaica, também abrangendo biomassa (incluindo cogeração), hidroeletricidade e energia geotérmica.

⁷⁹ A orientação deste tipo de tributação segue a hipótese do *'duplo dividendo'*, onde o aumento dos impostos sobre atividades poluidoras fornece ao mesmo tempo melhorias ao meio ambiente e na eficiência econômica com uso dos recursos tributários na redução de outros impostos (e.g. impostos de renda).

⁸⁰ A provisão de empréstimos especiais é realizada, sobretudo, pelo Instituto Alemão de Crédito para Reconstrução (KfW). Um exemplo foi o 100.000 *roof program*, orientado para instalação de painéis fotovoltaicos em residências.

frente, surgem revisões para baixo dos valores dos subsídios e novas propostas para a adoção de outros mecanismos de mercado (e.g. leilões) para atender os objetivos energéticos e climáticos do país.

Ademais, com a penetração de renováveis, restrições ao nível da transmissão e distribuição de eletricidade se agravaram. A partir de 2012, planos para o desenvolvimento integrado da rede de transmissão elétrica alemã passaram a ser desenvolvidos pelos operadores regionais⁸¹. Do mesmo modo, cresceu a necessidade de investimentos de redes nos 870 sistemas de distribuição, dado que grande parte da geração renovável encontra-se ao nível de distribuição (IEA, 2013).

A nível europeu, a Estratégia 2020, em conjunto com algumas diretivas, destacam-se no contexto de transição alemão, assim como no caso francês (ver seção 5.2). A Estratégia 2020 apresentada em 2010, surge num contexto de crise econômica visando a recuperação da região em bases sustentáveis. As prioridades quanto à energia e clima foram chamadas de “20/20/20”, ou seja: 20% de redução (ou até 30%) de emissões de gases de efeito de estufa (relativamente aos níveis de 1990); 20% de participação de energias renováveis; e 20% de aumento em eficiência energética.

Na área de eficiência energética, as Diretivas de Serviços Energéticos (2006/32/CE) e Diretiva de Eficiência Energética (2012/27/CE) tratam de metas e instrumentos de incentivo à eficiência, além das Diretivas de Performance Energética de Edificações (2002/91/CE e 2010/31/EU), tratando de códigos para a construção civil. Para o setor de transportes, a regulação (Regulação 443/2009) trata do desempenho dos veículos produzidos na União Europeia em termos de emissões de CO₂.

A introdução de um mercado de carbono (EU ETS) em 2005, pela Diretiva 2003/87/CE, alterou decisões de investimento em unidades intensivas em emissões no país, sobretudo no início de sua vigência. Outro fator importante na dinâmica energética alemã decorreu da queda dos preços do gás natural, iniciada nos Estados Unidos, tendo efeitos de baixa nos preços do carvão, e alterando novamente as condições de competitividade para esta fonte emissora.

No tocante a energia nuclear, em 2001, após longas negociações com as grandes concessionárias elétricas, chegou-se a um calendário de desativação e descomissionamento gradual de usinas até 2021, estabelecendo limites à vida útil das unidades (32 anos) e a proibição da construção de novas usinas. Este acordo será alterado a partir do chamado “Conceito de Energia” (*Energiekonzept*) em 2010, após a vitória da coalizão do Partido Democrata Cristão

⁸¹ A rede alemã é organizada por quatro operadores de transmissão: 50Hertz, Amprion, TenneT, TransnetBW.

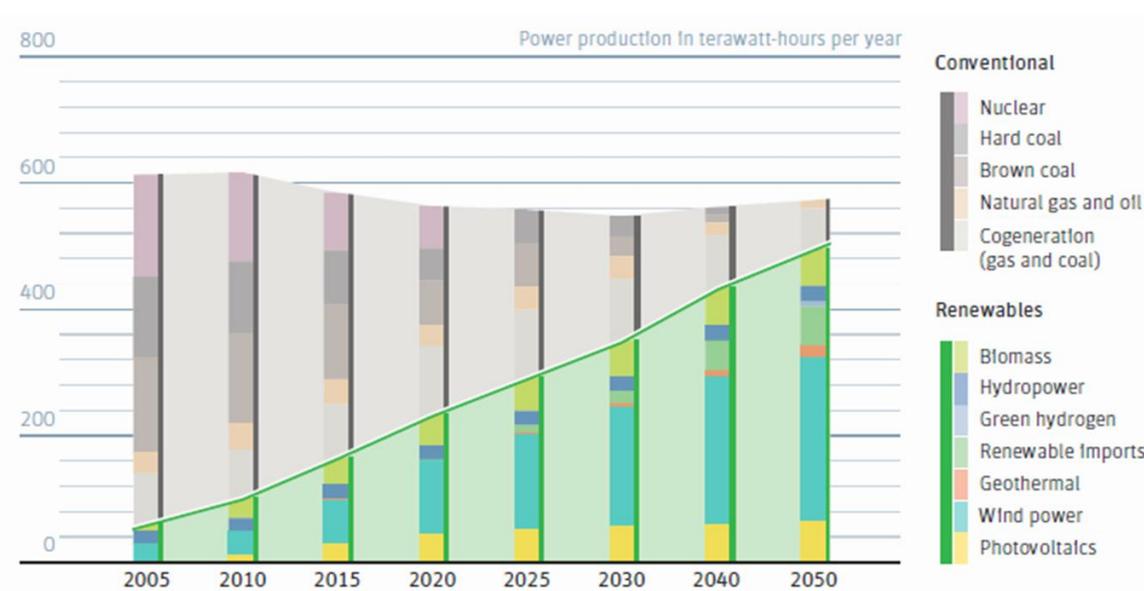
(CDU) e Partido Democrático Liberal (FDP), sob a liderança de Angela Merkel, adiando o encerramento para a década de 2030.

No entanto, com o advento do acidente das usinas nucleares em Fukushima (Japão) em 2011, a pressão social e política foi tão grande que o prazo foi novamente revisado para 2022, além do fechamento imediato de oito unidades. Neste momento, estudos foram encomendados para entender como o país poderia garantir o suprimento de eletricidade com uma retirada de capacidade tão substancial. Estes estudos indicavam a necessidade de um posicionamento agressivo na promoção de renováveis e eficiência energética, ainda considerando a importância de unidades a gás, carvão e eventualmente, óleo combustível, como fontes para uma TEBC. Retorna-se, portanto, ao direcionamento do *Energiewende*.

Em relação à produção de carvão, em 2007, decidiu-se suspender gradualmente os subsídios à produção doméstica, levando a desativação de diversas minas no país. No entanto, pelo lado da geração elétrica, novas usinas a carvão continuam a ser construídas, porém movidas a carvão importado.

O “Conceito de Energia” de 2010 e o Pacote de Energia de 2011, apresentaram os princípios de uma trajetória energética integrada, priorizando o desenvolvimento de fontes renováveis, redes elétricas e eficiência energética. As duas políticas reforçaram a posição proativa do governo federal quanto ao futuro energético alemão.

Gráfico 30 – Histórico e projeção do consumo elétrico na Alemanha no contexto do *Energiewende*



Fonte: Heinrich Böll Foundation (2016)

O Gráfico 30 apresenta a trajetória da geração de eletricidade pretendida pelo *Energiewende*. Observe que nesta trajetória, aliam-se: (i) uma demanda mais eficiente ao longo do tempo; (ii) ao incremento sustentado de fontes renováveis domésticas e importadas; e (iii) à redução e substituição de fontes tradicionais emissoras. Não será por acaso que as estratégias de política para uma TEBC irão se concentrar nestes efeitos.

5.3.3. Convergência das políticas alemães

Cherp et al. (2017) destaca que apesar da Alemanha Ocidental, entre 1960-1980, ter adotado uma estratégia similar a do Japão (ver seção 5.4) com foco em uma indústria competitiva, a partir da década de 1990, os países adotarão posicionamentos bastante distintos quanto a seus setores de energia. A Alemanha passou a buscar intensamente a liderança em energias renováveis, limitando a energia nuclear, enquanto o Japão manteve-se tímido quanto às renováveis, mas ampliando sua base nuclear.

A Alemanha se vê como a “protetora climática” (*Klimaschützer*) (JORDAN-KORTE, 2011), seguindo uma abordagem de “estado verde de bem-estar social” (SCHREURS, 2003), buscando as necessidades de bem-estar social (e.g. redução do desemprego) e protegendo o meio ambiente (por regulação, tributação e programas). Apesar da relevância da esfera local e dos estados (*Länders*) na governança do setor energético, esse posicionamento será emanado sobretudo do governo federal, com medidas de promoção de fonte renováveis.

Com semelhanças e diferenças, devemos analisar as estratégias das políticas energéticas das duas Alemanhas no primeiro momentum de política energética de forma conjunta, pois estas políticas servirão de base para o desenvolvimento posterior da Alemanha unificada.

Assim, as estratégias energéticas no período foram:

- ***Energo-expansivas*** (▲): programas nucleares e apoio à produção de carvão doméstico;
- ***Energo-reprodutivas*** (=): criação de reservas de petróleo (no âmbito da IEA);
- ***Energo-substitutivas*** (≠): N/A; e
- ***Energo-poupadoras*** (▼): racionamento nos setores de transportes, eletricidade e aquecimento, além de programas de eficiência e conservação.

Em linhas gerais, em seu segundo momentum de política energética, os esforços alemães estariam ligados a um direcionamento multidimensional de: (i) combater as mudanças climáticas; (ii) abandono à energia nuclear; (iii) reduzir importações de energia e fortalecer a segurança energética; (iv) estimular a uma economia verde e a inovação; e (v) fomentar a justiça social e apoiar o desenvolvimento econômico local.

Assim, a Alemanha, agora unificada, apresentou as seguintes estratégias:

- **Energo-expansivas (▲)**: forte incentivos a energias renováveis (e.g. *FIT*);

- **Energo-reprodutivas (=)**: N/A;

- **Energo-substitutivas (≠)**: descomissionamento e retirada gradual de unidades de geração nuclear. Retirada, também, gradual dos subsídios à produção de carvão doméstico. Aplicação de mecanismos de precificação de carbono (EU ETS); e

- **Energo-poupadoras (▼)**: programas diversos de eficiência e conservação. Taxação sobre fontes poluentes (*ecotax*).

A partir dessas estratégias, percebe-se a clara priorização aos elementos compatíveis a uma TEBC como o incentivo às energias renováveis, descomissionamento e abandono do carvão e mecanismos de eficiência.

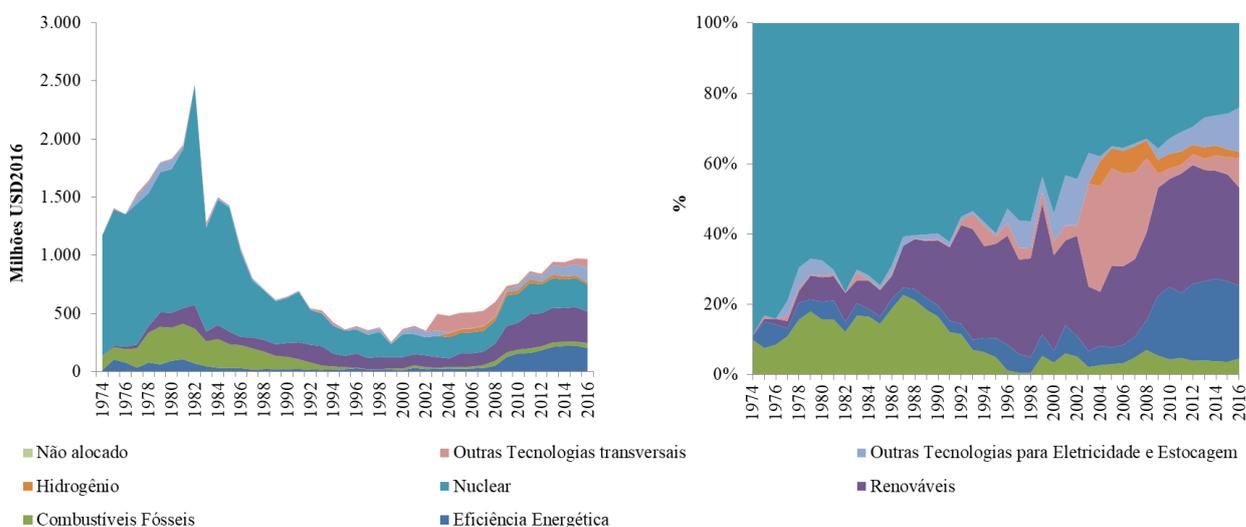
Analisando o orçamento alemão dedicado a pesquisa em energia, é possível observar grandes movimentos ao longo do tempo. O orçamento, já deflacionado, reduz-se gradualmente ao longo dos anos com mudança de perfil de investimentos, onde retira-se recursos do tema nuclear (89% do orçamento em 1974) e prioriza-se temas como eficiência e renováveis (49% em 2016).

Se desconsiderarmos os valores investidos em energia nuclear, é possível observar que os montantes nos dois *momentums* alemães atingem picos em níveis similares. No entanto, com uma clara mudança de perfil, inicialmente com foco em pesquisas para combustíveis fósseis, posteriormente concentrando-se em energias renováveis e eficiência.

A energia nuclear, que recebera grandes investimentos nos anos 1970, tem seus recursos rapidamente reduzidos nos 1980, em particular a partir do abandono das políticas de desenvolvimento de novas usinas.

Mais recentemente, os programas e financiamento de pesquisa seguiram a dinâmica das políticas mais abrangentes como o “Conceito Energético” e o Pacote de Energia em 2010 e 2011, respectivamente. As principais fontes de financiamento incluem o orçamento federal e o Fundo de Energia e Clima. O Fundo de Energia e Clima foi estabelecido pelo governo federal em 2011, para investimento exclusivo em projetos de renováveis e eficiência.

Gráfico 31 – Pesquisa, desenvolvimento e demonstração (P&D&D) em energia na Alemanha



Fonte: *Elaboração própria com dados de IEA Energy Technology RD&D Statistics (IEA, 2018d)*

A avaliação do caso alemão é a de clara mudança de referencial ao longo dos períodos, com estratégias explícitas, arrojadas e convergentes à construção de um regime de baixo carbono. Os elementos defendidos em seu *Energiewende* expressam, de forma objetiva, o referencial de políticas adotado.

5.4. A trajetória japonesa

“The world will make a new start to tackle the challenging problem of global warming. (...) Japan will promote the key to this theme, namely, the development of innovative technologies in the fields of the environment and energy.” Primeiro Ministro Shinzō Abe em discurso durante a COP 21 em Paris. 13 dezembro 2015(JAPÃO, 2015)

O setor energético japonês é marcado pelo controle de grandes instituições em seu desenvolvimento e pelos necessários ganhos de eficiência ao longo do tempo para minorar sua dependência energética por importações. O Japão é considerado um país pobre, do ponto de vista de recursos energéticos tradicionais (petróleo, gás e, em parte, o carvão). Assim, a política energética japonesa concentra-se sobretudo na garantia da segurança energética, buscando fontes de menor custo, mas que garantam estabilidade em seu fornecimento. A ‘angústia japonesa’ (CALDER, 2008) advém de uma consciência de vulnerabilidade energética, e urgência na atuação proativa do desenvolvimento de recursos energéticos. Isto se amplifica pelo seu isolamento geográfico, tipo de estrutura burocrática, organização de seu setor privado, confi-

guração do poder político (centrado no Partido Liberal Democrático - PLD [自由民主党]) e a operação de suas mídias de massa, distinguindo-se de seus pares do Ocidente.

Dentre as fontes energéticas que mais se destacam no caso japonês, a energia nuclear é a principal do ponto de vista tecnológico e sociopolítico. Apesar das experiências traumáticas com as explosões nucleares durante a guerra, o país mantém relações intrincadas e fascinantes com o desenvolvimento desta fonte.

5.4.1. Primeiro momentum de política energética

No decorrer das duas guerras mundiais (1914-18 e 1939-45) e da Guerra da Coreia (1950-53), a estrutura do sistema energético japonês alterou-se profundamente. Por exemplo, o setor elétrico passou de 700 empresas elétricas para apenas uma estatal (Nihon Hatsusoden Co.) na geração e transmissão, e nove empresas de distribuição. Em 1951, novas reformas privatizaram as empresas, surgindo assim nove empresas regionais privadas. Em 1972, uma décima companhia adiciona-se ao grupo (Okinawa Electric Power Co.) (FEPC, 2008). Em meados da década de 1990, a geração passa por um processo de liberalização, onde produtores independentes passam a ser autorizados a vender eletricidade no atacado e, gradualmente, a fornecer aos consumidores de menor tensão. Não obstante, o papel governamental junto às empresas é visível, o que permite a gestão quanto à trajetória do sistema japonês.

Apesar da necessidade de intervenção do Estado no setor no entre guerras, o planejamento energético japonês irá se tornar uma prática apenas a partir de 1967, onde a cada dois ou cinco anos um plano de longo prazo é lançado, porém não sendo determinativo (DUFFIELD; WOODALL, 2011).

O programa de energia nuclear foi oficialmente lançado a partir da ‘Lei Básica de Energia Atômica’ (1955), estabelecendo os critérios para o desenvolvimento tecnológico para fins pacíficos na área. Centralizadamente, o governo financiou e coordenou o programa com as grandes concessionárias. A estratégia nuclear se coadunava com a orientação do governo (de hegemonia do PLD) de transformar o país em uma economia forte, exportadora e tecnologicamente avançada, utilizando-se de instrumentos de política industrial diversos (subsídios, altas tarifas de importação para proteção do mercado interno, etc.).

O país passou por um processo exuberante de modernização na sua reconstrução no pós-guerras, alcançando patamares de liderança em setores industriais chave (eletrodomésticos, automóveis), com o progresso técnico como o principal motor do fortalecimento nacional. A noção intrínseca do posicionamento japonês sempre esteve na superação da dependência por recursos naturais, a partir do desenvolvimento de recursos tecnológicos. Pelo lado sociopolítico, a construção de uma mentalidade de auto sacrifício ao longo dos anos colocou a opção

nuclear como um mal necessário para alcançar a prosperidade (VALENTINE; SOVACOOOL, 2010).

Neste contexto, a escolha pelo programa nuclear ganhou força e legitimidade, sobretudo quando da restrição externa causada pelos choques do petróleo, dando início ao primeiro momentum de política energética japones.

Nos anos 1970, o Japão era um dos países mais dependentes do petróleo árabe (mais de 70% tinha origem do Oriente Médio). Como os demais países membros da IEA, o Japão criou suas reservas estratégicas de petróleo, administrada pela Corporação Nacional de Petróleo, Gás e Metais do Japão. Apesar do país já buscar diversificação com suas empresas na busca por fontes e participação em projetos no exterior (SINHA, 1974), os choques evidenciariam a necessidade de ampliar seu poder de negociação. Isto foi feito a partir da companhia de petróleo do governo para compras de petróleo de forma bilateral (governo a governo).

Com a crise de fornecimento, surgem diversas das principais medidas na área de energia nesta década. Dentre elas, estavam a busca vigorosa pela conservação de energia. Nesta frente, setores público e privados atuaram conjuntamente na redução da intensidade energética, em particular no consumo dos produtos do petróleo. Várias indústrias japonesas (incluindo as concessionárias elétricas e siderúrgicas) substituíram seu consumo de petróleo pelo carvão, que apesar da existência de produção doméstica, já era, em grande, medida importado. A redução das indústrias energo-intensivas (alumínio e petroquímica) e fortalecimento da indústria exportadora como prioridade para conter os efeitos adversos dos choques, delineou a estratégia japonesa de ‘ajuste acelerado competitivo’ (IKENBERRY, 1986).

Since 1973, Japan's industrial structure has changed in three main directions. First, the share of manufacturing industries in total production and employment decreased, while that of the tertiary industries increased significantly. Second, raw and intermediate materials industries, such as steel and aluminum, decreased in importance, and processing industries, such as machinery and Pharmaceuticals, became relatively larger. Third, structurally depressed industries emerged, in need of adjustment and restructuring. This whole process can be seen as movement from a high energy-consuming economy toward a more energy conserving and more energy-efficient system... (MURAKAMI, 1982, p. 143 *apud* IKENBERRY, 1986)

Seguindo os choques do petróleo, em 1974, foi iniciado o projeto “*Sunshine*” pelo Ministério do Comércio Internacional e Indústria (MITI) para desenvolver novas tecnologias energéticas como solar, geotérmica, carvão, hidrogênio e outras pesquisas (TAKAHASHI,

1989)⁸². Em 1978, outro projeto chamado “*Moonlight*” é criado para aumentar os esforços na conservação de energia.

Em 1980, a Organização de Desenvolvimento de Nova Energia e Tecnologia Industrial (NEDO) e a Nova Fundação de Energia (NEF) foram criadas para promover o desenvolvimento e introdução de tecnologias energéticas no âmbito das políticas públicas promovidas pelo MITI. No mesmo ano, foi aprovada a ‘Lei de Energia Alternativa’, apoiando a energia solar e outras "alternativas" através de recursos financeiros, apoio técnico e regulação.

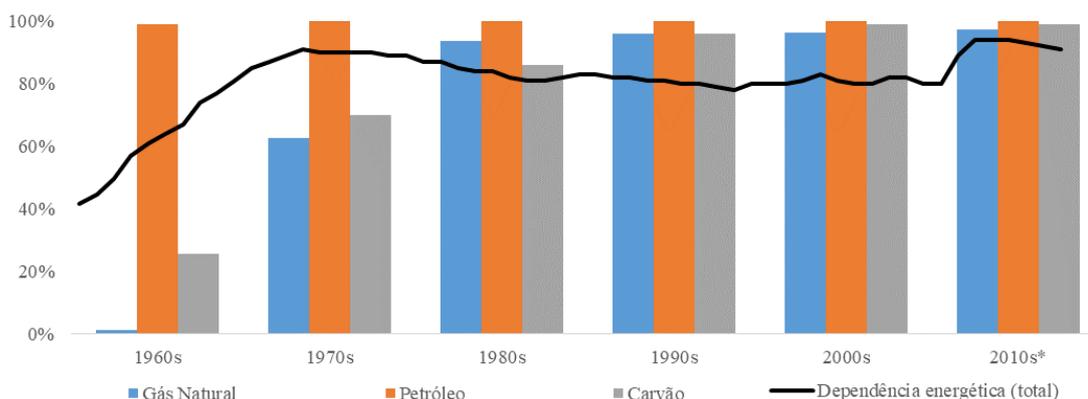
O uso do carvão doméstico para geração de eletricidade foi gradualmente declinando após 1970, tornando-se insignificante em 2000. Dessa maneira, diferentemente de países carvoeiros, o setor não apresentava apoio político para buscar incentivos à sua manutenção, apesar da grande necessidade (CHERP et al., 2017). Outras políticas de segurança energética à época incluíram a busca por diversificação de fornecedores (incluindo carvão e gás australianos), a aquisição de ativos externos na área de energia e uma diplomacia mais ativa na região asiática.

5.4.2. Segundo momentum de política energética

Apesar de muitas das regras e programas do setor energético japonês terem sido criados em resposta aos choques de petróleo nos anos 1970, medidas posteriores irão passar a se associar, sobretudo, às preocupações quanto à mudança climática, tendo como marco fundamental dessa dinâmica o Protocolo de Quioto (1997).

A preocupação quanto à segurança do abastecimento do petróleo no anos 1970 se estendeu ao longo do tempo para outras *commodities* energéticas (carvão, gás), como mostra o Gráfico 32. Na virada do milênio, permaneceram e aprofundaram-se as questões quanto ao *trade-off* entre os riscos de acidentes da energia nuclear contra a segurança de abastecimento e estabilidade econômica.

⁸² Este projeto será atualizado apenas nos anos 1990, chamando-se “*New Sunshine Project*”, integrando programas anteriores e dando origem a uma série de outros para incentivo, não apenas a pesquisa, mas ao investimento em energias renováveis.

Gráfico 32 – Evolução da dependência energética no Japão

*até 2017

Fonte: *Elaboração própria com dados de IEA Energy Balances (IEA, 2018a)*

O Japão passou a ver com preocupação a estabilidade na importação física de petróleo, dado o novo arranjo geopolítico entre as nações produtoras e consumidoras nesse período⁸³. A segurança na balança comercial japonesa é extremamente dependente de superávits em produtos manufaturados. Assim, se ocorrerem choques nos preços de *commodities* energéticas (e.g. petróleo e GNL), que não sejam superados pelos superávits de manufaturados, graves problemas econômicos vêm a tona, não restringindo-se apenas ao setor energético.

Depois do acidente dramático do complexo nuclear de Fukushima Dai-ichi⁸⁴ e a posterior desativação das geradoras nucleares pelo país, a preocupação quanto aos riscos econômicos do desabastecimento elevou-se rapidamente. Pela escassez de oferta de eletricidade após o desastre e desligamento dos reatores, a administração da crise incluiu a gestão da demanda de pico, blecautes programados e utilização de usinas térmicas com outros combustíveis (como carvão e gás natural). Após o acidente, os preços de GNL na região elevaram-se vertiginosamente.

Até então, o planejamento energético no Japão tinha natureza indicativa. No entanto, em 2002, o governo criou uma estrutura de planejamento de políticas de energia com a “Lei Fundamental sobre Medidas de Política Energética”, ou Lei Básica da Política Energética (Lei

⁸³ A revolução dos hidrocarbonetos não convencionais nos Estados Unidos levou a uma menor necessidade de presença militar americana na região do Oriente Médio para garantir a estabilidade do fornecimento. A China vem ampliando sua presença na região. Existem discussões quanto a necessidade que o Japão faça o mesmo. Com a necessidade de re-interpretar sua constituição que proíbe a criação de capacidade militar ofensiva no país desde a segunda guerra.

⁸⁴ Em 11 de março de 2011, um terremoto (magnitude 9,0) seguido por um tsunami, atingiu a costa da região japonesa de Tōoku, causando um colapso na usina nuclear de Fukushima Dai-ichi.

n.71). Esta Lei, além de clarificar a estrutura de governança do setor, definiu as futuras diretrizes para a política energética, estabelecendo três objetivos gerais (IEA, 2008): (i) garantir um fornecimento estável de energia; (ii) garantir a sustentabilidade ambiental; e (iii) utilizar mecanismos de mercado. A responsabilidade quanto à revisão dos planos básicos de políticas foi dada ao Ministério da Economia, Comércio e Indústria (METI, antigo MITI).

Já em 2003, o primeiro Plano Básico de Energia (PBE) é desenvolvido, tendo como destaques a geração nuclear, fornecimento estável de petróleo e liderança na agenda de conservação e mudanças climáticas. O plano chega a ser revisado em 2006, porém o METI irá emitir, em 2007, a chamada “Nova Estratégia Nacional de Energia”, com foco na segurança energética, em um contexto de preocupação com a elevação dos preços do petróleo em uma geopolítica internacional instável.

Em paralelo, a agenda climática ganha espaço e desloca novamente o foco das políticas japonesas nos anos seguintes. Em 2007, o primeiro ministro Shinzo Abe anuncia a iniciativa “*Cool Earth 50*”⁸⁵ e, em 2008, um “Plano de Ação para uma Sociedade de Baixo Carbono” determinando as medidas a serem adotadas em diversos âmbitos, seja tecnológicos, regras e mercado de emissões e iniciativas em cidades, entre outros (JAPÃO, 2008).

As expectativas quanto à contribuição da fonte nuclear para as metas climáticas eram grandes até o acidente em Fukushima. Um relatório do METI, publicado/divulgado em 2011, chegou a declarar a mudança de trajetória quanto ao desenvolvimento nuclear. O que poderia ter sido um grande ponto de inflexão no referencial de política japonês, foi logo revertido em 2014, quando o governo anunciou uma nova revisão do PBE, reintroduzindo a energia nuclear na sua estratégia, priorizando, sobre todos os aspectos, sua segurança operacional. Assim, pelo lado da oferta a orientação foi pela continuidade dos esforços de médio e longo prazos da utilização de renováveis, nuclear (como recurso quasi-doméstico), hidratos de metano e demais recursos *offshore*. Pelo lado da demanda, o plano orientou para a redução do consumo médio de energia a partir da construção de edifícios e casas altamente eficientes (‘zero energia’) até 2030 (JAPÃO. MINISTÉRIO DA ECONOMIA, COMÉRCIO E INDÚSTRIA DO JAPÃO, 2014).

As energias renováveis tiveram um papel relativamente coadjuvante nas políticas japonesas. Em 2003, a partir da Lei de *New & Renewable Portfolio Standard* (RPS), instituiu-se exigências quanto à parcela da eletricidade gerada ter origem de energias novas e renováveis. Já em 2012, a partir da Lei de Energia Renovável, adotou-se um programa de FIT para reno-

⁸⁵ O *Cool Earth 50* foi um plano visando a redução das emissões globais de CO₂ em 50% até 2050, sendo uma possível continuação das metas acordadas no Protocolo de Quioto.

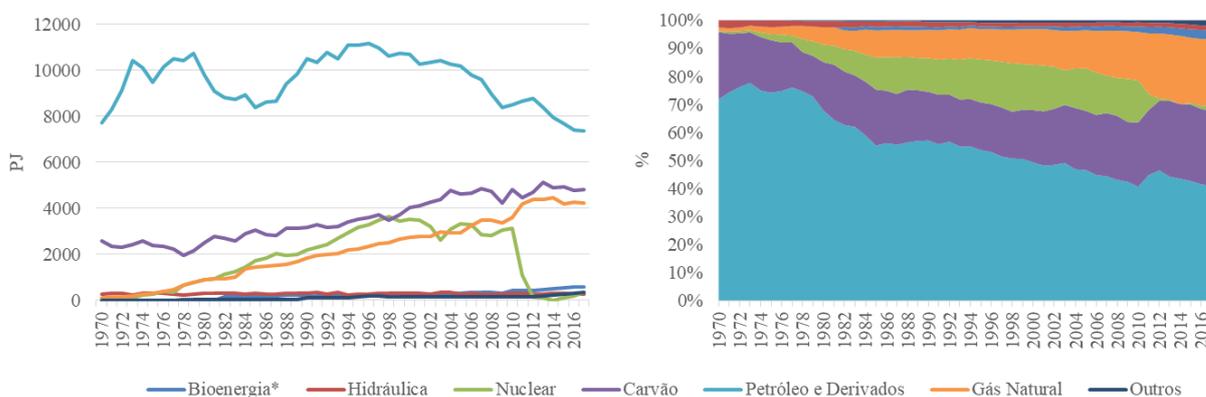
váveis e financiamento para redes de distribuição. Apesar do apoio no consumo (RPS) e no investimento (FIT), as fontes renováveis ainda representam uma parcela ainda pequena do mix energético nacional (Gráfico 33).

Curiosamente, a indústria de células fotovoltaicas japonesa havia sido a maior do mundo, a partir de sua forte indústria de eletrônicos (com empresas como Sharp, Sanyo e Kyocera), até ser superada por outros países, como Alemanha e China. O setor eólico nunca deslanchou, em parte por características técnicas adversas. Com a FIT, essa fonte finalmente atraiu a atenção de investidores, oferecendo valores bastante favoráveis ao investimento, que irão trazer problemas quanto aos custos da política posteriormente.

Vale citar que iniciativas quanto às aplicações com hidrogênio também estiveram presentes no caso japonês.

Ainda em 2012, o governo introduziu uma taxa de carbono (‘imposto de mitigação das mudanças climáticas’) para combustíveis fósseis usados na geração térmica e veículos. Sua alíquota é crescente ao longo do tempo, e sua receita dirigida para esforços de mitigação do aquecimento global como medidas de conservação de energia, infraestrutura, desenvolvimento de tecnologias de estocagem, etc.

Gráfico 33 – Oferta total de energia primária no Japão



*Bioenergia inclui biocombustíveis e resíduos. Outros incluem geotérmica, vapor, outras renováveis

Fonte: Elaboração própria com dados de IEA Energy Balances (IEA, 2018a)

Desde o final da década de 1990, o Japão prefere se referir à busca por “novas energias” ao invés de energias renováveis. A Lei da Nova Energia (1997) visava a promoção de novas energias definidas como “energias alternativas ao petróleo no uso industrial, geração elétrica e outros usos”, incluindo uma gama diversa de fontes (solar fotovoltaica, eólica, térmica solar, resíduos, biomassa, entre outros).

De acordo com Lovins (2014), apesar da orientação e reformas com vias à promoção de renováveis, o setor de eletricidade ainda é pouco aberto para a concorrência, permitindo com que as concessionárias rejeitem o acesso a produtores independentes, alegando prejuízo à estabilidade da rede. Além da concentração das concessionárias elétricas, o apoio político a renováveis é prejudicado pela força de grandes fornecedores japoneses da cadeia nuclear (como Mitsubishi, Hitachi e Toshiba).

Em 2006, havia sido publicada a “Nova Estratégia Energética” visando à expansão do programa nuclear com a meta de atingir 40% da geração nacional até 2030, legitimando-se não apenas pela segurança do abastecimento, mas agora como o meio de se atingir as metas de emissões japonesas.

Com relação a eficiência energética, o país figura entre os países avançados mais eficientes quanto ao consumo de energia. Campanhas governamentais fortalecem essa cultura já arraigada na sociedade japonesa⁸⁶. Além das raízes culturais, o elevado preço da energia contribui para esse comportamento, tornando iniciativas em eficiência bastante lucrativas, particularmente em edificações.

No Acordo de Paris, o INDC japonês apresentou o compromisso de reduzir em 26% as emissões de GEE de 2013 a 2030, sob a hipótese de uma participação em 2030 de aproximadamente 20 a 22% de geração nuclear; 22 a 24% renovável; 26% carvão; e 27% gás natural.

5.4.3. *Convergência das políticas japonesas*

Apesar da turbulência gerada por eventos fora do controle (choques do petróleo, terremoto e tsunami), as estratégias energéticas japonesas apresentaram-se bastante resilientes ao longo dos dois momentums descritos. O referencial japonês em torno de um futuro baseado no nuclear apresentou-se estável ao longo do tempo.

No primeiro momentum, o ‘ajuste competitivo acelerado’ que o Japão irá dar aos choques do petróleo (competitividade industrial e ganhos de eficiência para minimizar os efeitos econômicos) não estará dissociado da busca por diversificação do energético.

Assim, as estratégias energéticas no período foram:

- ***Energo-expansivas* (▲):** intensificação do programa nuclear. Incentivos a energias alternativas;
- ***Energo-reprodutivas* (=):** criação de reservas de petróleo (no âmbito da IEA);

⁸⁶ Exemplos de campanhas de conscientização são o *Cool Biz* e o *Warm Biz* direcionados a promover a redução do consumo por climatização, seja por instruções ao uso de ar condicionados, seja pelo incentivo ao uso de roupas apropriadas para temperaturas adversas.

- ***Energo-substitutivas* (≠)**: substituição do petróleo por carvão (empresas elétricas e indústria); e
- ***Energo-poupadoras* (▼)**: programas de eficiência e conservação.

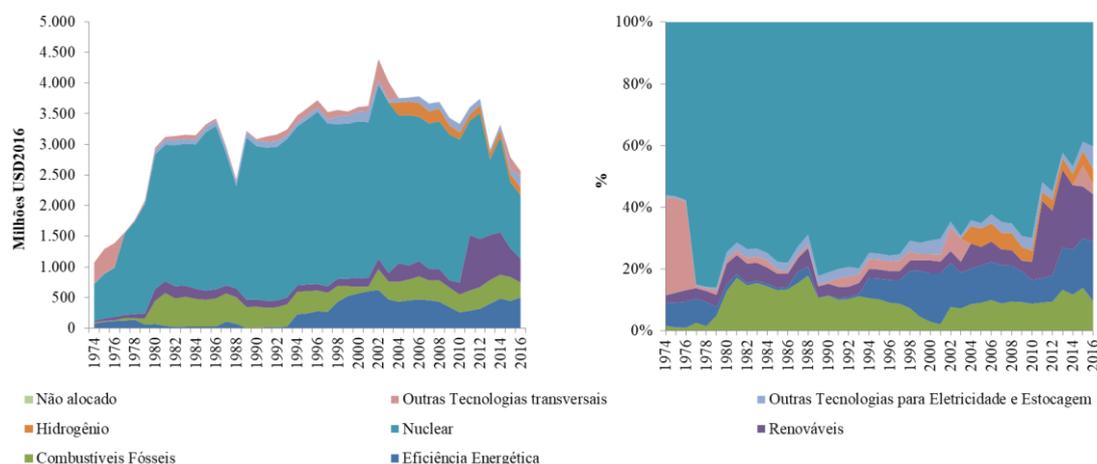
Como aponta Cherp et al. (2017), a estratégia japonesa em seu segundo momentum de política energética destoa daquela adotada pelos alemães. Apesar dos acontecimentos em Fukushima que colocaram à prova a fonte nuclear, as condições de recursos energéticos, institucionais, políticos e culturais reforçaram seu posicionamento frente à esta opção energética ao longo do tempo. Mesmo tendo a capacidade industrial e sendo conhecido como a ‘Terra do Sol Nascente’, o Japão estaria ainda em estágios iniciais de um processo de expansão da sua capacidade de geração solar fotovoltaica.

Assim, as estratégias japonesas no período foram:

- ***Energo-expansivas* (▲)**: construção de novos reatores nucleares. Incentivos a fontes renováveis (e.g. RPS e FIT);
- ***Energo-reprodutivas* (=)**: (expectativa de) extensão de licenças de usinas nucleares existentes;
- ***Energo-substitutivas* (≠)**: desligamento (temporário) de plantas nucleares; e
- ***Energo-poupadoras* (▼)**: esforços de redução de demanda de pico e blecautes programados (pós-Fukushima). Imposto sobre combustíveis emissores (taxa de mudanças climáticas). Campanhas de conservação (e.g. *Cool* e *Warm Biz*).

No caso japonês, considerando que a fonte nuclear é encarada como sua principal alternativa de baixas emissões, seu posicionamento apresenta indícios de convergência quanto ao referencial de políticas a uma TEBC. O governo japonês é o ator principal no desenvolvimento tecnológico nuclear, em particular, pela provisão de recursos para pesquisa, tornando-se ao longo do tempo um dos maiores programas de pesquisa nuclear no mundo. O resultado foram um grande número de pesquisadores, cientistas, engenheiros e técnicos, além de grandes fabricantes (VALENTINE; SOVACOOOL, 2010).

Diferentemente dos demais países da OCDE, o orçamento para pesquisa japonês não variou ao sabor do contexto internacional. Este padrão foi sustentado pelo orçamento estável e contínuo nos investimentos em energia nuclear (69% de todo o orçamento no período). Apesar da razoável estabilidade, como nos demais casos, o orçamento para renováveis e eficiência teve visíveis acréscimos em anos recentes. Em 2016, 15% do total do orçamento foi destinado às energias renováveis e 19% à eficiência.

Gráfico 34 – Pesquisa, desenvolvimento e demonstração (P&D&D) em energia no Japão

Fonte: Elaboração própria com dados de IEA Energy Technology RD&D Statistics (IEA, 2018d)

Em suma, o caso japonês é interessante de ser analisado, pois apesar da estabilidade quanto ao referencial, os elementos levantados sugerem uma gradual convergência a uma trajetória de baixo carbono, pela orientação por baixa emissões e alta eficiência. No entanto, como se verá no próximo capítulo, os avanços dessa orientação foram, em parte minados pela piora de seu desempenho em emissões, especialmente após o acidente de Fukushima.

A energia nuclear segue sendo considerada como tecnologia a ser explorada, como solução aos problemas de abastecimento e, atualmente, para os problemas referentes ao clima. Neste aspecto o Japão difere drasticamente do caso alemão que, por outros critérios em seu referencial (dentre eles, alguns de sustentabilidade), não considera mais a fonte como válida para sua trajetória energética. A França se aproximaria mais do Japão neste aspecto, porém, mesmo os franceses têm tido dificuldades em legitimar escolhas por esta tecnologia.

Este capítulo apresentou quatro casos distintos de trajetórias energéticas e estratégias para políticas energéticas. Os Quadro 2 e Quadro 3 apresentam o resumo das estratégias elencadas para a comparação dos casos. Note que, apesar de diversos os posicionamentos em seus momentums de política energética, do ponto de vista dos paradigmas (perfis de P&D) e ambiente de seleção (políticas energéticas), os elementos levantados sugerem que os países teriam incorporado, em velocidade e grau distintos, critérios em seus referenciais que estão alinhado com um regime de baixo carbono.

O próximo capítulo, por sua vez, irá tratar do caso brasileiro. Este caso busca trazer novos contrastes quanto às trajetórias energéticas e convergência de referencial de políticas ao analisarmos um país em desenvolvimento, cuja relevância energética tem se ampliado.

Quadro 2 – Resumo comparativo dos estudos de caso de Estados Unidos e França

Países	Estratégias	1º Momentum de Política Energética (1970-1985)	Estratégias	2º Momentum de Política Energética (2000-2015)
Estados Unidos	Energio-expansivas	- Incentivos a produção de petróleo, gás e carvão domésticos - Incentivos a construção de térmicas à carvão e nuclear - Incentivos a fontes alternativas ainda restrita (e.g. energia solar)	Energio-expansivas	- Incentivo a fontes fósseis e nuclear - Incentivos a fontes renováveis
	Energio-reprodutiva	- Criação das reservas estratégicas de petróleo (SPR)	Energio-reprodutiva	- Extensão de licenças vincendas de usinas nucleares
	Energio-substitutivas	- Conversão para térmicas a carvão - Incentivos à conversão na indústria - Restrição a novas usinas térmicas a óleo e gás	Energio-substitutivas	- Biocombustíveis (RFS) - Restrições à térmicas a carvão
	Energio-poupadoras	- Racionamento - Programas de eficiência e conservação (e.g. <i>CAFE standards</i>) - Abandono do controle de preços de combustíveis	Energio-poupadoras	- Aprofundamento de programas de eficiência e conservação
França	Energio-expansivas	- Programa Nuclear	Energio-expansivas	- Incentivo a fontes renováveis
	Energio-reprodutiva	- Criação de reservas de petróleo (no âmbito da Agência Internacional)	Energio-reprodutiva	N/A
	Energio-substitutivas	- Programa Nuclear (substituindo carvão e gás com produção em pleno declínio)	Energio-substitutivas	- Biocombustíveis (E10) - Incentivos fiscais a veículos menos emissores (sistema bonus-malus) - Mercado de carbono (EU ETS) - Piso ao preço de carbono para geração térmica fóssil
	Energio-poupadoras	- Impostos sobre combustíveis (TIP)	Energio-poupadoras	- Impostos sobre combustíveis (TIPCE + taxa de carbono) - Certificados de eficiência - Programas de eficiência em edificações

Nota: N/A ('não aplicável') para políticas não explicitadas em determinada estratégia.

Fonte: Elaboração própria

Quadro 3 – Resumo comparativo dos estudos de caso de Alemanha e Japão

Países	Estratégias	1º Momentum de Política Energética (1970-1985)	Estratégias	2º Momentum de Política Energética (2000-2015)
Alemanha	Energo-expansivas	- Expansão da produção nuclear, carvão	Energo-expansivas	- Incentivos a energias renováveis
	Energo-reprodutiva	- Criação de reservas de petróleo (no âmbito da Agência Internacional)	Energo-reprodutiva	N/A
	Energo-substitu-tivas	N/A	Energo-substitu-tivas	- Abandono da geração nuclear - Retirada de subsídios à produção de carvão - Mercado de carbono (EU ETS)
	Energo-poupadoras	- Racionamento transportes, eletricidade e aquecimento - Programas de eficiência e conservação	Energo-poupadoras	- Programas de eficiência e conservação
Japão	Energo-expansivas	- Expansão da produção nuclear. Incentivos a energias alternativas	Energo-expansivas	- Expansão da produção nuclear. Incentivos modestos a fontes renováveis (e.g. <i>RPS</i> e <i>FIT</i>)
	Energo-reprodutiva	- Criação de reservas de petróleo (no âmbito da Agência Internacional)	Energo-reprodutiva	- Extensão de licenças vincendas de usinas nucleares
	Energo-substitu-tivas	- Substituição do petróleo por carvão (empresas elétricas e indústria)	Energo-substitu-tivas	- Desligamento (temporário) de plantas nucleares. Substituição por térmicas à carvão e gás natural
	Energo-poupadoras	- Programas de eficiência e conservação	Energo-poupadoras	- Esforços de redução de demanda de pico e blecautes programados (pós-Fukushima) - Imposto sobre combustíveis emissores (taxa de mudanças climáticas) - Campanhas de conservação

Nota: N/A ('não aplicável') para políticas não explicitadas em determinada estratégia.

Fonte: Elaboração própria

CAPÍTULO 6 - A EXPERIÊNCIA BRASILEIRA: SEUS DILEMAS E NOVOS RUMOS

O Brasil por sua base e diversidade de recursos energéticos, gera bastante interesse na análise de uma TEBC. O caso brasileiro é emblemático pelas experiências vivenciadas durante o período dos choques do petróleo (em particular, no que tange políticas para biocombustíveis) e pela matriz predominantemente renovável de geração de eletricidade.

Quando tratamos de países em desenvolvimento, devemos atentar às suas condições diferenciadas, sejam elas econômicas ou tecnológicas, em relação a países desenvolvidos, como aqueles estudados no capítulo anterior. O caso do Brasil não foge à regra. As escolhas feitas no país ao longo do tempo, por exemplo, na adaptação aos efeitos dos choques do petróleo, são bastante distintas das adotadas por países desenvolvidos (TOLMASQUIM, 1990). Algumas acabaram por se tornar exemplo de sucesso de descarbonização sistêmica, fruto de condições específicas presentes ao longo da trajetória energética brasileira. Assim, o caso brasileiro serve de contraste às trajetórias até aqui analisadas.

Para a análise de convergência de referenciais, inclui-se no caso brasileiro a análise temática de suas políticas externas ao longo do tempo, como meio complementar de entender seus referenciais de política. Para as políticas visando o ambiente de seleção, como nos casos anteriores, será utilizada a tipologia de ‘estratégias de desenvolvimento energético’ para organizá-las, buscando mudanças no referencial de políticas. Diferentemente dos casos anteriores, as informações quanto aos gastos em pesquisa brasileiros (paradigma) são setorializados, o que não permite uma avaliação equivalente do perfil temático de desenvolvimento de tecnologias ao longo do tempo. Informações e dados estatísticos de instituições nacionais e internacionais (EPE, IEA, ONS), literatura secundária (artigos, relatórios, etc.) e documentos oficiais (leis, programas de política, etc.) servirão de fontes de conteúdo para a análise.

Este capítulo se subdivide em quatro seções, e tem como objetivo analisar a trajetória brasileira e avaliar a convergência de suas políticas para uma TEBC. A primeira seção apresenta a evolução histórica da energia no país no século XX, e breve diferenciação entre a trajetória energética e de emissões brasileira frente aos países estudados no capítulo anterior. A segunda seção analisa as políticas do primeiro momentum de política energética brasileiro, evidenciando sua vanguarda em certas opções de política e a condição de atraso para os padrões energéticos da época. A terceira seção analisa o segundo

momentum de política energética com os dilemas enfrentados pelo país, frente a uma agenda do clima em ascensão e a desarranjos econômicos prioritários. A última seção avalia a convergência do referencial brasileiro frente a TEBC.

6.1. A trajetória brasileira

A trajetória energética brasileira no século XX difere dos países anteriormente analisados, em estrutura e dinâmica. Um país que vai experimentar processo de industrialização consistente apenas em meados do século, enquanto seus pares ‘desenvolvidos’ já haviam experimentado e avançavam na fronteira tecnológica internacional. O Brasil, até os anos 1930, apresentava características energéticas de um sistema arcaico e dualista. Arcaico pelo fato de que praticamente todas as necessidades energéticas eram supridas por uma oferta abundante de recursos florestais (biomassa) e do uso intensivo de energia animal. Dualista, pois apresentava, em paralelo, concentrações urbanas pontuais que consumiam outros energéticos como carvão, produtos de petróleo (sobretudo importados) e eletricidade das centrais existentes (MARTIN, 1966).

O país era considerado pobre com relação a recursos energéticos para seu desenvolvimento, em particular desprovido de recursos petrolíferos e carvão. Com reservas abundantes de recursos vegetais, o uso da lenha se estenderá por muito mais tempo se comparado aos países industrializados. Por outro lado, os recursos hídricos, também abundantes, irão estabelecer sua primazia como principal fonte de geração elétrica, inicialmente deslocando o querosene de iluminação e, posteriormente, ampliando seus usos.

Não tendo o carvão assegurado no Brasil posição preponderante no século XIX e no princípio do século XX, em face da esmagadora presença da lenha passou ele a sofrer a concorrência crescente da energia hidráulica (desde 1890) e do petróleo (desde 1905). (LEITE, 2007, p. 59)

Nos anos 1930, o Estado brasileiro, buscando a modernização da economia, passou a se preocupar com o abastecimento energético criando órgãos responsáveis (Conselho Nacional do Petróleo e Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica⁸⁷), no intuito de valorizar as bacias sedimentares (petróleo e gás natural), carboníferas e hidrográficas do país (IBGE, 1990).

⁸⁷ Vale destacar que, em 1934, promulgou-se o Código de Águas, dando a responsabilidade ao governo federal de legislar e emitir permissões para a exploração do serviço público de eletricidade.

A expansão da opção rodoviária como modal preferencial na interiorização e movimentação de carga e passageiros, determinou o avanço do consumo de derivados do petróleo. Esse processo acompanhou a expansão da indústria automobilística nas economias desenvolvidas e, posteriormente no processo nacional de industrialização, onde montadoras passaram a instalar suas fábricas em território nacional. Paralelamente, no transporte ferroviário, marítimo e em algumas indústrias, o carvão era substituído pelos produtos do petróleo e, posteriormente, tais produtos ampliam demanda quando do desenvolvimento da aviação no país. O gás liquefeito de petróleo (GLP) difundiu-se a partir dos anos 1950, deslocando o uso da lenha em residências. A evolução da oferta desses produtos será caucada nas importação, dado que a produção interna era marginal comparada a dinâmica de crescimento exponencial do consumo ao longo dos anos.

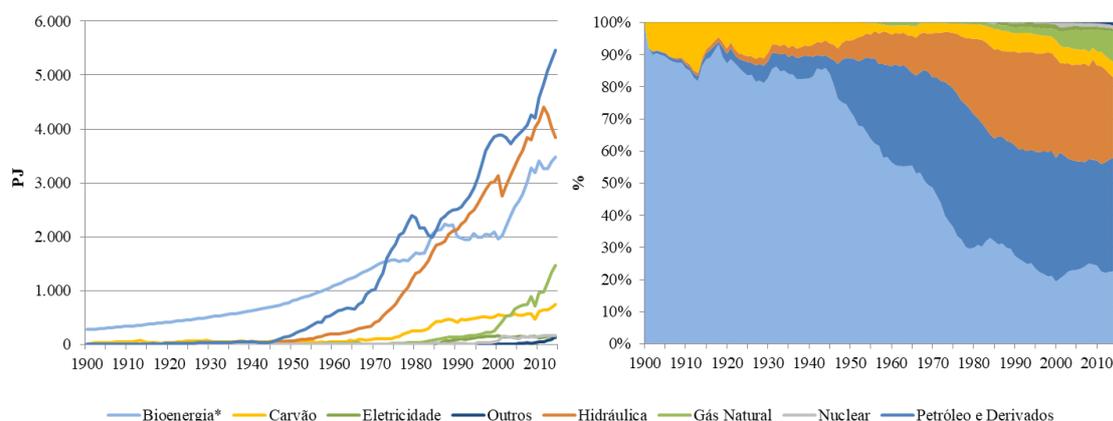
Essa dinâmica expansiva criou gargalos para o suprimento interno de combustíveis. A estatal Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras) foi criada, em 1953 (Lei nº 2004/1953) como monopolista do setor, inicialmente, com foco no *downstream* (refino e distribuição), sendo responsável por atender e garantir o abastecimento nacional.

Por outro lado, no setor elétrico, enfrentavam-se dificuldades para a expansão e superação de conflitos de sua complexa economia política (PINTO JR et al., 2016). Apesar de ser um setor mais maduro e diverso em termos de agentes que o setor de petróleo, optou-se pela criação de subsidiárias regionais federais e uma empresa *holding* compondo o Sistema das Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobras), em 1962 (Lei nº 3.890-A/1961)⁸⁸. Estas empresas serão fundamentais para a posterior integração dos sistemas no âmbito regional e, mais tarde, nacional. Mais à frente, algumas distribuidoras irão também ser federalizadas sob o controle da Eletrobras (TAVARES, 2011).

O Gráfico 35 apresenta a evolução da energia primária no século XX e início do XXI. Pode-se observar que o século XX no Brasil é o século da bioenergia, em particular da lenha, tanto em termos relativos como absolutos. Mais recentemente, a bioenergia será marcada pelo uso da cana-de-açúcar para diferentes produtos energéticos, notadamente o etanol e o bagaço. A lenha será superada pelos produtos da cana no consumo energético apenas na década de 1990 (Apêndice, Gráfico 52).

A abundância de recursos florestais por si só não explicaria a longevidade da fonte como principal energético no país, já que apresenta, em geral, baixo poder calorífico, logística mais complexa e baixos rendimentos.

⁸⁸ Subsidiárias regionais: Nordeste – Chesf, em 1945; Sudeste – Furnas, em 1957; Sul – Eletrosul, em 1968; Norte – Eletronorte, em 1973. Holding: Eletrobras, em 1962.

Gráfico 35 – Oferta total de energia primária no Brasil

*Bioenergia inclui biomassa, resíduos, Outros inclui vapor, solar, eólica e outros.

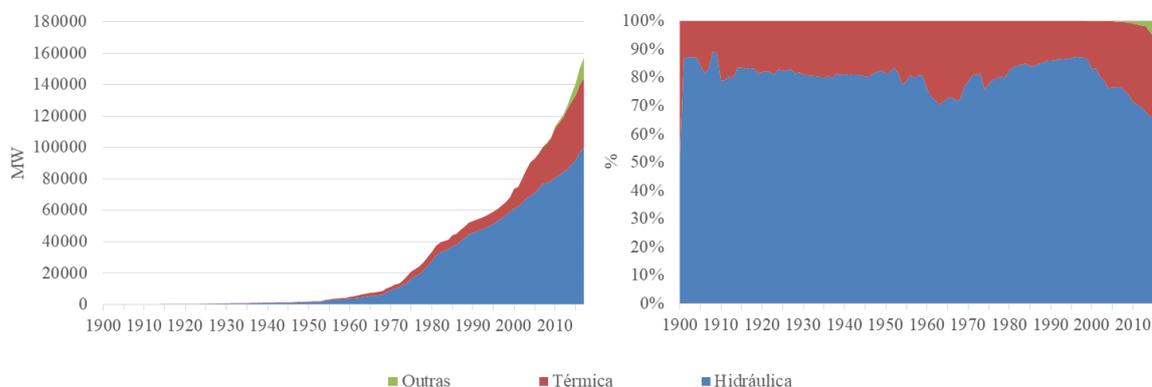
Fonte: IIASA (DE STERCKE, 2014)

A industrialização e urbanização serão dois grandes promotores das transformações energéticas brasileiras, abrindo espaço para os produtos de petróleo e eletricidade.

De acordo com Martin (1966), a abundância hidráulica não seria suficiente para um processo de desenvolvimento e o tipo de industrialização almejados, pois não atendia às necessidades mecânicas e térmicas das atividades da época a um custo de capital compatível. Neste sentido, haveria a necessidade, naquele momento, de se expandir o consumo de fontes fósseis para que fosse possível o desenvolvimento do país.

Mas assim como a evolução do consumo do petróleo e seus derivados, o aproveitamento do grande potencial hidráulico também acompanhará, mas de forma defasada, o processo modernizante da economia brasileira, seja pelo avanço industrial, seja pela urbanização. Será na década de 1970 que sua evolução se dará de forma mais acentuada.

O Gráfico 36 apresenta a primazia das hidrelétricas na geração de eletricidade brasileira, que remonta às origens dessa indústria no país. Durante todo o século XX, a fonte hidráulica respondeu por cerca de 80% da capacidade instalada existente. No entanto, no final do século, haverá uma tendência de redução da sua participação relativa, com aumento da presença de fontes térmicas (óleo combustível, gás natural e nuclear) e, posteriormente, nos anos 2000-10, com a penetração de outras fontes renováveis (sobretudo eólicas).

Gráfico 36 – Evolução da capacidade Instalada de geração elétrica no Brasil

Outras inclui solar e eólica. Térmica inclui biomassa, carvão, óleo combustível, gás natural e nuclear.

Fonte: Elaboração própria com dados IBGE (1990) e EPE

Se analisarmos a trajetória energética brasileira da década de 1970 até hoje, iremos constatar que o setor elétrico apresentou mudanças significativas. De um lado, pela sua tendência de mudança de composição, a partir da introdução de maior capacidade térmica e de outras fontes. De outro, da ampliação da eletrificação da economia, seja pela ampliação do acesso à eletricidade em todo o território nacional, seja pela maior intensidade do uso da eletricidade (urbanização, indústria, serviços, etc.).

A Tabela 6 (que resume os Gráfico 37 a Gráfico 40) apresenta essa trajetória comparada com os países analisados no Capítulo 5, ao longo de quase cinco décadas. Se tomarmos como referência seus níveis de emissões por consumo de energia (CO_2/TJ), é possível entender suas trajetórias energéticas avaliando as diversas estratégias de descarbo-nização⁸⁹.

⁸⁹ Os valores de emissões são aqueles referentes a gases gerados pela combustão de combustíveis. Não estão incluídas emissões de outras fontes (e.g. mudança do uso da terra).

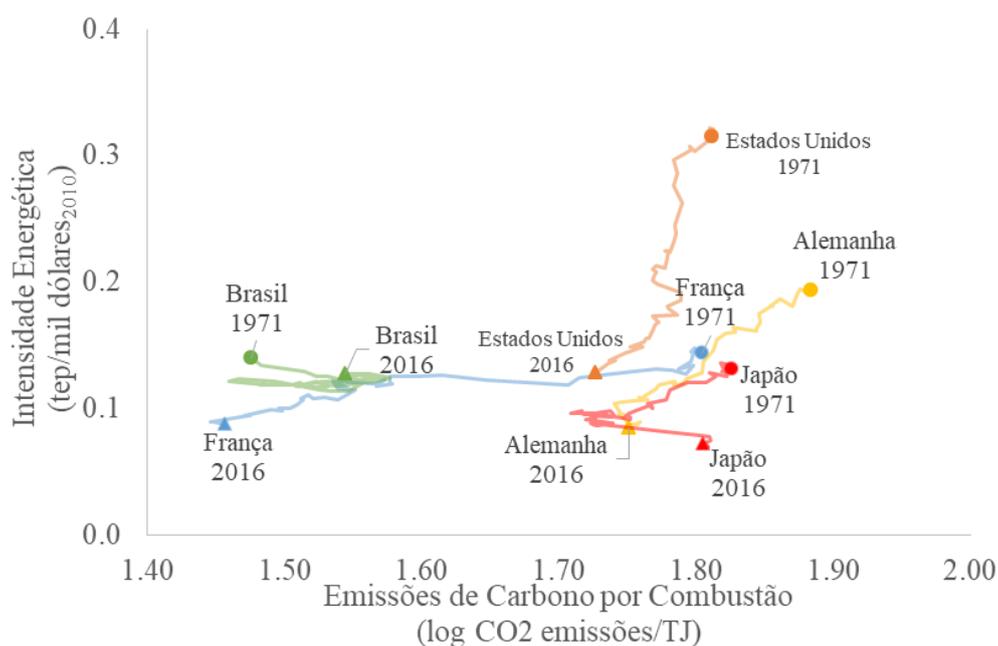
Tabela 6 – Comparação entre países de trajetórias energéticas por indicadores chave. 1971-2016

	Emissões (tCO ₂ /TJ)	Intensidade Energética (tep/PIB)	Intensidade Elétrica (kWh/PIB)	% Renováveis* (RES/Energia Primária)	% Renováveis* (RES/kWh)
Brasil	+17% ▲	+9% =	+157% ▲	-14 p.p. ▼	-5 p.p. ▼
Estados Unidos	-17% ▼	-60% ▼	-22% ▼	4 p.p. ▲	-1 p.p. =
França	-55% ▼	-40% ▼	30% ▲	1 p.p. =	-14 p.p. ▼
Alemanha	-27% ▼	-58% ▼	-25% ▼	11 p.p. ▲	+24 p.p. ▲
Japão	-4% =	-47% ▼	-6% =	3p.p. ▲	-7 p.p. ▼

Nota: Ver gráficos das trajetórias Gráfico 37 a Gráfico 40). *Variação em pontos percentuais. Símbolos: crescimento (▲), redução (▼), manutenção (=).

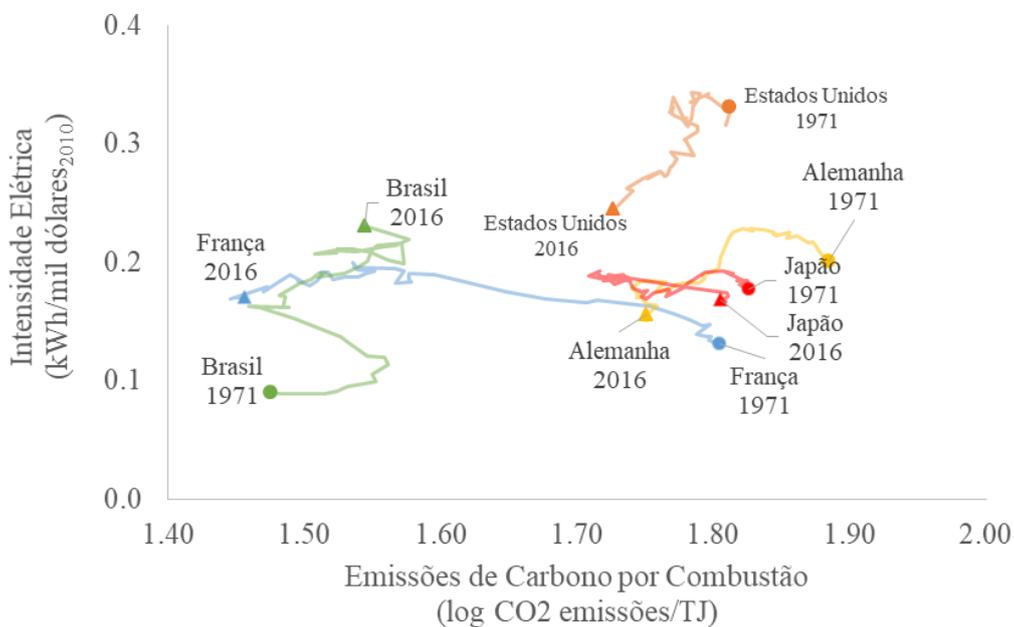
Fonte: Elaboração própria com dados da IEA World Energy Balances (IEA, 2018a)

Gráfico 37 – Evolução intensidade energética e emissões no Brasil, Estados Unidos, França, Alemanha e Japão



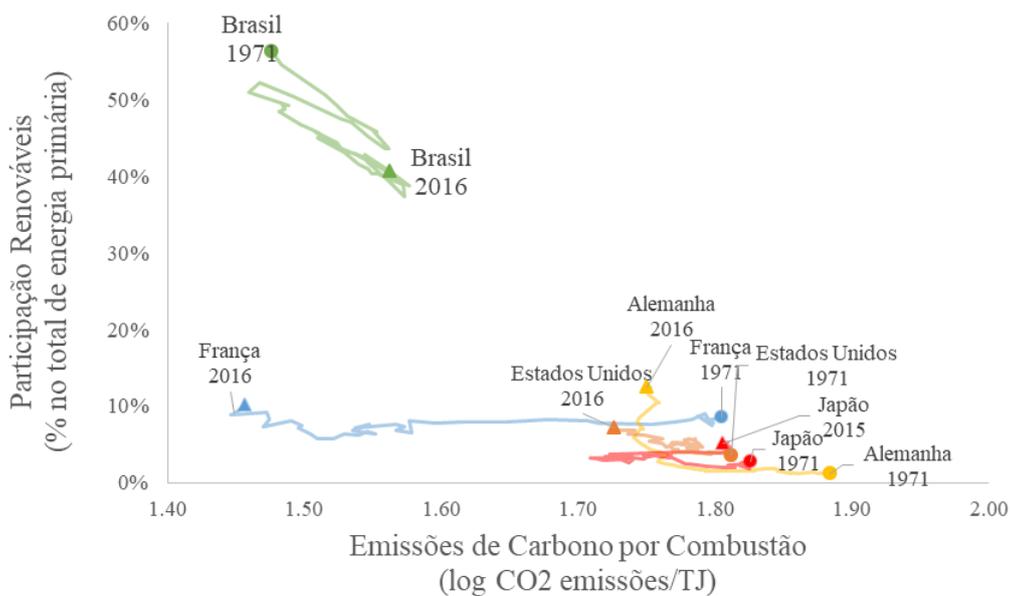
Fonte: Elaboração própria com dados da IEA World Energy Balances (IEA, 2018a)

Gráfico 38 – Evolução eletrificação e emissões no Brasil, Estados Unidos, França, Alemanha e Japão



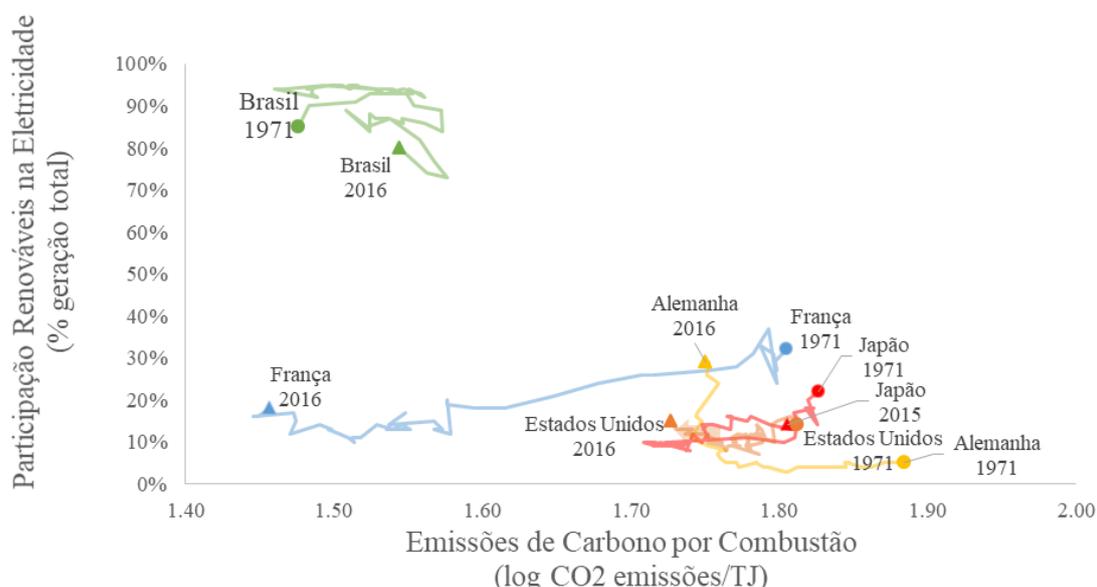
Fonte: Elaboração própria com dados da IEA World Energy Balances (IEA, 2018a)

Gráfico 39 – Evolução participação renováveis e emissões no Brasil, Estados Unidos, França, Alemanha e Japão



Fonte: Elaboração própria com dados da IEA World Energy Balances (IEA, 2018a)

Gráfico 40 – Evolução participação renováveis na eletricidade e emissões no Brasil, Estados Unidos, França, Alemanha e Japão



Nota: Renováveis inclui hidráulica, geotérmica, solar PV, solar térmico, ondas, maré, oceanos, eólica, resíduos, bioenergia sólida, líquida e gasosa.

Fonte: *Elaboração própria com dados da IEA World Energy Balances (IEA, 2018a)*

Analisando a dinâmica destes países ao longo das décadas, nota-se uma grande diversidade de trajetórias. O caso brasileiro, por exemplo, é emblemático. O país parte de um nível bastante reduzido de emissões na década 1970 para uma tendência gradual de aumento de suas emissões ao longo do tempo.

Note que, apesar dos demais países terem reduzido suas emissões (com exceção do Japão), apenas a França consegue atingir o patamar brasileiro dos anos 1970, em termos de emissões por unidade de energia consumida. Este fato está associado, em grande medida, pelo aumento da eficiência e da opção pela energia nuclear. O Japão vinha obtendo bom desempenho em reduzir suas emissões na combustão de combustíveis fósseis, no entanto, por conta dos eventos em Fukushima, suas emissões retornaram rapidamente a seu nível inicial (década de 1970).

Novamente, apesar de partir de um nível mais reduzido, o Brasil também não avançou significativamente na eficiência de seu consumo (ou seja, na redução da sua intensidade energética) como os demais países fizeram (Gráfico 37). Como já mencionado, sua economia intensificou o uso da eletricidade pela ampliação do acesso e usos diversos (Gráfico 378). Neste quesito, os demais países variaram de posicionamento, onde apenas a França apresentou crescimento neste indicador, enquanto os demais países apresentaram queda. O indicador de intensidade elétrica captura não apenas a mudança de estrutura dos usos energéticos da economia em direção à eletricidade, mas também os

benefícios desta no aumento da eficiência de seus diversos usos finais. Sendo este último, provavelmente, o efeito que domina nos Estados Unidos, Alemanha e Japão.

Pelo lado das fontes renováveis (Gráfico 379), houve redução de sua participação no consumo brasileiro, não só na eletricidade, mas na oferta de energia primária. Isto se deve à penetração e crescimento do consumo de gás natural, além da introdução de outras fontes no período como a fonte nuclear. Apenas a França não apresentou aumento significativo nas opções renováveis para energia primária e para seu setor elétrico. A participação das renováveis existentes no país (sobretudo hidráulicas) decresceu a longo do tempo com o avanço da fonte nuclear e do gás natural. Por outro lado, a Alemanha tem destaque pelo aumento do consumo por renováveis, enquanto Japão e Estados Unidos apresentaram crescimento moderado.

Em todos os casos, nenhum desses países alcançou o patamar de fontes renováveis que o Brasil se encontra (Gráfico 40). Portanto, para estes países (com exceção da França), uma transição de baixo carbono requer um foco e esforço expressivos no intuito de superar as estruturas criadas em torno do consumo energético mais intensivo e baseado em fontes emissoras de carbono. Este esforço será fortemente baseado em suas respectivas capacidades e recursos disponíveis, delineando trajetórias distintas cujo foco é compartilhado⁹⁰.

Resta entender como se deu o processo de desenvolvimento energético brasileiro e suas estratégias ao longo desse período que possam explicar sua trajetória.

6.2. Pioneirismo e atraso: experiências brasileiras de políticas (*primeiro momentum de política energética*)

Como nos demais casos analisados, os choques do petróleo também afetaram as políticas para o setor de energia no Brasil, inaugurando seu primeiro momentum de política energética. As duas elevações dos preços do petróleo e a restrição financeira externa gerada por um contexto internacional turbulento afetaram drasticamente a economia

⁹⁰ Losekann e Tavares (2019) fazem exercício comparativo análogo, porém comparando o grupo dos BRICS e chegam na conclusão “*não haveria uma estratégia única para se obter um desempenho superior em termos de intensidade de carbono. Seria, portanto, a combinação dessas estratégias associadas aos contextos locais que gerariam os impactos de mitigação de emissões decorrente da transição energética*”.

brasileira. O Brasil era fortemente dependente de importações⁹¹, assim os choques levaram a uma forte escassez de divisas, endividamento e aumento generalizado de custos e preços.

Desde 1964 até 1985, sob regime militar⁹², a condução de políticas centralizava-se na esfera federal, com uma forte orientação para o crescimento econômico e na expansão necessária de infraestruturas ao longo do território nacional. Nesta linha, destacam-se nos anos 1970, os Planos Nacionais de Desenvolvimento (I PND [1972 - 1974] e II PND [1975 -1979]).

As empresas estatais federais, atores principais no desenvolvimento dos setores de energia, atuaram na expansão da capacidade de abastecimento energético e, quando capazes financeiramente, na contratação de empréstimos externos para um Estado combalido pela crise econômica, sobretudo na década de 1980.

No setor de petróleo, sob a responsabilidade da Petrobras, foram lançadas intensas campanhas exploratórias em terra e, posteriormente, depois do primeiro choque, na plataforma continental, que serão particularmente importantes na busca por reduzir os efeitos dramáticos do custo de importação de petróleo durante o período. Paralelamente, decidiu-se que a Petrobras deveria realizar associações no exterior, além da instituição da modalidade de “contratos de risco”, permitindo a participação de capitais estrangeiros privados na exploração em território nacional, buscando acelerar o processo, antes declinante, de descobertas de reservas petrolíferas.

No carvão, novas iniciativas tomaram corpo, sobretudo no sul do país, em especial a partir da reorganização setorial com a criação da Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM), em 1970. Analogamente, criou-se para o setor nuclear a Companhia Brasileira de Tecnologia Nuclear (CBTN), em 1971, logo transformada em Empresas Nucleares Brasileiras S.A. (Nuclebrás), em 1974.

Desde o governo Juscelino Kubitschek (1956-1961) havia-se instituído a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), responsável por regular o uso, o P&D e a aplicação de tecnologias nucleares. Apesar da atenção precoce, o potencial hidráulico ainda a ser explorado reduzia o interesse pela opção nuclear devido aos seus custos mais elevados. No entanto, diferentemente das reservas petrolíferas, as expectativas quanto às reservas de urânio eram favoráveis.

⁹¹ O índice de dependência energética por petróleo e derivados no início da década de 1970 era cerca de 70%, e 83% em 1980 (Fonte: EPE)

⁹² Composta pelas presidências dos generais Castelo Branco (1964-1967), Costa e Silva (1967-1969), Médici (1969-1974), Geisel (1974-1979) e João Figueiredo (1979-1985).

Assim, a partir da década de 1970, inicia-se o Programa Nuclear Brasileiro. Em um primeiro momento, o foco principal era a exploração mineral de produtos fósseis e, gradualmente, alterou-se para o desenvolvimento das capacidades técnicas necessárias na produção e instalação de equipamentos de usinas nucleares. Com o apoio dos militares, a primeira usina do Programa Nuclear Brasileiro, Angra I (640 MW), foi encomendada do exterior, com sua construção iniciada em 1972 e início de operações em 1984. Angra II (1,3 GW), por sua vez, teve início de construção em 1976, e entrou em operação apenas em 2001, por problemas na construção, na previsão da demanda futura e, principalmente, graves problemas de recursos financeiros para sua finalização. Similarmente, Angra III (1,3 GW), com os equipamentos já adquiridos, só teve suas obras iniciadas em 2010, aliando os mesmos fatores descritos e adicionando-se a fragilidade de apoio político para sua consecução.

Seja na produção do petróleo, do carvão ou no desenvolvimento da energia nuclear, o país buscava seguir as opções energéticas estabelecidas naquele momento a nível internacional. Com conhecimento relativamente escasso de suas potencialidades e capacidades, sua condição consciente de atraso constituía motivação para as iniciativas de desenvolvimento nessas diversas áreas. Por outro lado, no setor elétrico haviam muitas oportunidades na frente de exploração de nova capacidade hidrelétrica, o que daria grandes vantagens ao país. No entanto, as preocupações financeiras destacavam-se no setor. As crises inflacionárias deterioravam o valor das tarifas, que geravam situações de insolvência às concessionárias. Tais situações exigiam reavaliação sistemática na remuneração das empresas e endividamento. Ademais, em 1974 decidiu-se pela gradual equalização tarifária em território nacional (como já ocorria nos preços de derivados de petróleo, responsabilidade do Conselho Nacional de Petróleo [CNP] desde sua criação [1938]).

Em paralelo, consolida-se a governança do setor a partir das recém criadas subsidiárias regionais da Eletrobras (Eletronorte e Eletrosul) e na aquisição de ativos pelo grupo (LEITE, 2007). Neste mesmo período, ocorrem as tratativas diplomáticas com o Paraguai no desenvolvimento da usina hidrelétrica de Itaipu⁹³ (12,6 GW, mas hoje 14 GW) e os trabalhos do consórcio Canambra⁹⁴. Ambos serão marcos, não apenas na visão

⁹³ A partir do Tratado de Itaipu, assinado em 1973, instituiu-se as condições para o aproveitamento hidrelétrico do Rio Paraná pelo Brasil e Paraguai. A usina binacional de Itaipu foi construída entre 1975 e 1982, e inaugurada em 1984.

⁹⁴ *Canambra Engineering Consultant Limited* foi constituído por empresas canadenses e americanas que, junto ao governo brasileiro, representou a primeira experiência de planejamento integrado do setor elétrico brasileiro.

quanto a expansão hidráulica, mas também, e principalmente, na busca por integração do sistema nacional.

Com a restrição externa dos anos 1970, os problemas financeiros irão permanecer, e na década de 1980 (“década perdida”) irão agravar-se com: (i) o aumento das taxas de juros das dívidas contraídas pelas empresas; (ii) a restrição de crédito externo; e (iii) na redução e até o congelamento de tarifas (na segunda metade da década) como política de controle de inflação.

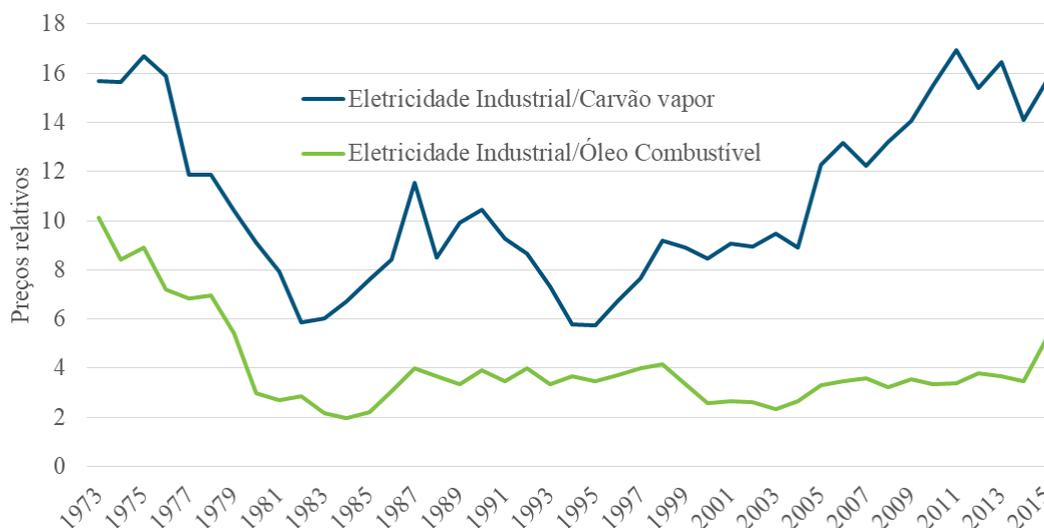
Para incentivar a adaptação da indústria e reduzir os efeitos macro e microeconômicos causados pela importação de derivados, adotaram-se medidas como a redução de 10% no uso de óleo combustível e estabelecimento de cotas de consumo na indústria. Além disso, criaram-se programas de conservação (CONSERVE) e substituição de combustíveis por eletricidade (eletrotermia), com incentivos tarifários diversos a conversão à eletricidade⁹⁵. Estes programas promoveram, por exemplo, a substituição de caldeiras a óleo por caldeiras elétricas, que justificavam-se apenas pela competitividade induzida pelo menor custo da energia, pois tratava-se de um investimento em capital considerável.

O Gráfico 41 apresenta os preços relativos para a indústria da alternativa elétrica frente às opções de óleo e carvão. Com a reversão posterior dos preços relativos, em muitos casos já não haviam mais vantagens econômicas na eletrotermia.

⁹⁵ Foram criadas tarifas temporárias especiais (LEITE, 2007):

- (i) Energia Sazonal Não-Garantida (ESNG), em 1979;
- (ii) Energia Garantida por Tempo Determinado (EGTD), em 1981;
- (iii) Energia Elétrica Excedente para Substituição em Baixa Tensão (ESBT), em 1982;
- (iv) Energia Excedente para Produção de Bens Exportáveis (EPEX), em 1982; e
- (v) Energia Firme para Substituição (EFST) e Energia Temporária para Substituição (ETST), em 1985.

Gráfico 41 – Evolução dos preços relativos entre eletricidade e substitutos na indústria



Nota: Razão entre valores do custo de eletricidade, carvão e óleo combustível expressos em US\$/bep.

Fonte: Elaboração própria com dados EPE

Pelo lado da conservação e eficiência energética, eram crescentes as preocupações com o meio ambiente e quanto ao desperdício de energia em um contexto de escassez. Assim, teve destaque o Programa de Mobilização Energética (Resolução CNE n° 4/1980), dando diretrizes para as ações nos âmbitos da conservação de energia, além do incentivo à produção de carvão e substituição do consumo dos produtos petrolíferos (Proálcool). Também se destacam o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE)⁹⁶ e Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL)⁹⁷(SOUZA et al., 2011).

Pelo lado dos transportes, a estratégia adotada para a crise de abastecimento durante o período dos choques foi a do racionamento de derivados e substituição por outros combustíveis líquidos. Para o racionamento decidiu-se pelo fechamento de postos de gasolina nos finais de semana. Para a substituição dos combustíveis, o programa mais emblemático e pioneiro internacionalmente foi o Proálcool.

O Programa Nacional do Álcool – PROÁLCOOL – (Decretos n° 76.593/1975 e n° 83.700/1979) inicialmente buscou intensificar o uso do etanol anidro como aditivo e, posteriormente em sua segunda fase, lançar a opção do etanol hidratado como substituto

⁹⁶ Inicialmente na área automotiva, depois se expandindo para equipamentos com consumo elétrico.

⁹⁷ Direcionado à pesquisa e desenvolvimento tecnológico, promoção de assistência tecnológica à indústria, promoção e fomento a pesquisa do mercado consumidor e da conservação de energia elétrica por normalização, padronização e certificação.

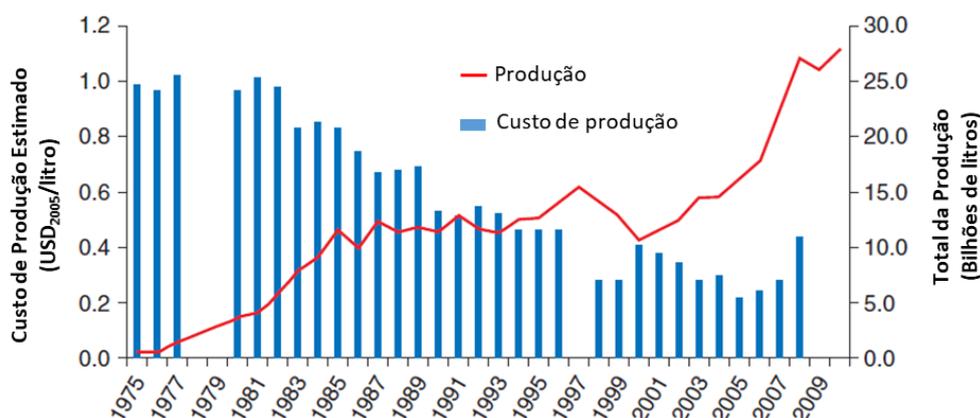
direto à gasolina, engajando a indústria automobilística na produção de veículos dedicados ao produto.

De acordo com Meyer et al. (2014), três fundamentos históricos explicam a iniciativa e a constituição das redes de atores necessários para o sucesso do programa:

- 1) a localização e concentração da indústria açucareira brasileira;
- 2) uma longa história de produção de etanol durante os períodos de crise, e como forma de combater as volatilidades do preço do açúcar; e
- 3) a economia política do Brasil, na qual as políticas industriais e energéticas foram fortemente influenciadas por governos militares.

O etanol anidro já era misturado à gasolina como oxigenante desde a década de 1930. Sua produção, a partir da cana-de-açúcar, sempre foi encarada como uma alternativa à produção no mercado de açúcar. Com o Proálcool, incentivou-se a produção e a demanda simultaneamente, com a ampliação da capacidade instalada de produção, com uma forte redução de custos (Gráfico 42) e ampliação da mistura com a gasolina. Como uma política clássica de substituição de importação, o Proálcool utilizou-se de diversos subsídios de crédito aos produtores de cana e destilarias, e tributação favorável⁹⁸ a veículos movidos a etanol.

Gráfico 42 – Evolução dos custos e da produção de etanol no Brasil



Fonte: Traduzido de MEYER et al. (2014)

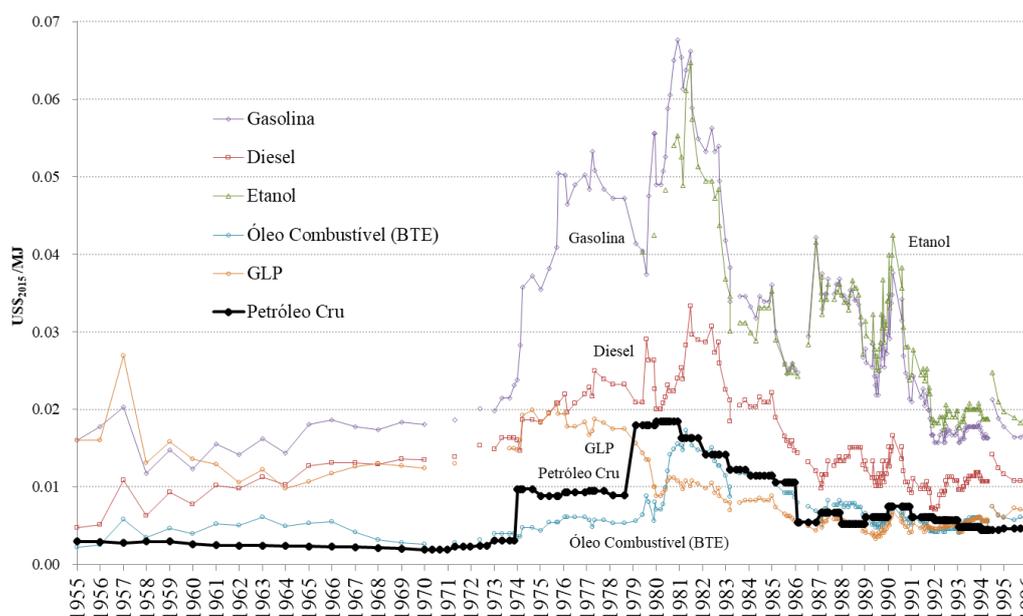
Apesar do necessário enfrentamento da crise de abastecimento, a ambição do programa pagou seu custo, seja na mobilização para uma expansão da capacidade industrial

⁹⁸ Reduções no Imposto de Produtos Industrializados (IPI) e Taxa Rodoviária Única (TRU, posteriormente IPVA), e isenção do Imposto Único sobre Combustíveis Líquidos (IUCLG).

e promoção de um novo mercado a nível nacional, seja na manutenção de subsídios, mesmo em períodos de desvantagem de preços (e.g. contrachoque de preços do petróleo). Serão por esses motivos que o programa irá se enfraquecer, em paralelo à fragilização política e econômica do Estado brasileiro (SCHUTTE; BARROS, 2010). O programa será extinto no governo Collor (1990-1992), após ter vivenciado estagnação da produção de etanol, períodos de desabastecimentos e importação do produto no final da década de 1980. A venda dos veículos movidos a etanol foi praticamente interrompida, por não fazer mais sentido comercial.

O Gráfico 43 apresenta a comparação entre os preços de combustíveis líquidos ao longo tempo. Os choques do preço do petróleo cru irão reverberar nos preços de seus derivados de forma distinta.

Gráfico 43 – Evolução dos preços internacionais do petróleo e combustíveis líquidos no Brasil.



Nota: Preços Internacionais do Petróleo: 1955-1983 refere-se ao Arabian Light em Ras Tanura. De 1984 em diante refere-se ao Brent dated. Preços Nacionais de Combustíveis: preço de gasolina sem etanol anidro. Alguns outliers foram retirados por distorções de câmbio e troca de moedas (Cruzado [1986], Cruzado Novo [1989], Cruzeiro Real [1993] e Real [1994]).

Fonte: *Elaboração própria com dados da BP (2018), Conselho Nacional do Petróleo (BRASIL, 1978), Departamento Nacional de Combustíveis (BRASIL, 1995) e Gazeta Mercantil (1999).*

Como já mencionado, a formação de preços nacionalmente seguia orientações das políticas vigentes, determinando repasses ou não de custos da matéria-prima ao consumidor final. Basta notar o caso contrastante entre os preços do GLP (para consumo de resi-

dências) e o óleo combustível (indústrias, transportes e térmicas) nas décadas de 1970 e 1980.

Outro destaque é a correlação perfeita entre os preços do etanol e de gasolina, desde o Proálcool até os anos 1990 (com a liberalização dos preços dos combustíveis). A política vigente de precificação do etanol tinha, como referência, o preço da gasolina e a equivalência energética do etanol frente ao derivado de petróleo (65% a 67% do poder energético da gasolina). Neste sentido, os preços do etanol não refletiam atributos de concorrência sucroalcooleiro, tão pouco de seus ganhos produtividade, colocando abaixo qualquer hipótese quanto a uma “transição” brasileira ao etanol, liderada pela vantagem econômica da fonte (“máxima dos preços relativos”). Vantagens haviam, sobretudo, na compra e manutenção dos veículos a etanol. Será por esta ainda frágil, competitividade frente a gasolina, que quando ocorre a reversão dos preços do petróleo e abandono do Proálcool, que o setor sucroalcooleiro irá sofrer sua retração.

Portanto, desde os choques do petróleo, até a “década perdida”, o país apresentou uma grande variedade de iniciativas de políticas para o setor de energia, seja para reduzir seu atraso relativo, seja pelo seu pioneirismo com soluções utilizando recursos e estruturas autóctones. Tais políticas objetivaram não apenas solucionar os problemas do abastecimento energético, mas também, e em especial, lidar com os desarranjos econômicos que o país experimentou no período. Assim, com a redemocratização, encerra-se o primeiro momentum de política energética brasileiro.

6.3. Uma transição de baixo carbono? Dilemas energéticos (*segundo momentum de política energética*)

Com o final da década de 1990, novos desafios surgem para a economia brasileira. Após a estabilização da inflação e moeda pelo Plano Real, a economia volta a sofrer choques externos no final da década. A década foi marcada pela orientação por abertura comercial, abandono de políticas industriais e privatizações para reequilíbrio fiscal, subvertendo a lógica estatal imposta no período militar. No entanto, parcela relevante das empresas estatais federais de energia permanecerão sob controle do Estado, e serão novamente acionadas para as políticas estabelecidas a partir da virada do novo milênio.

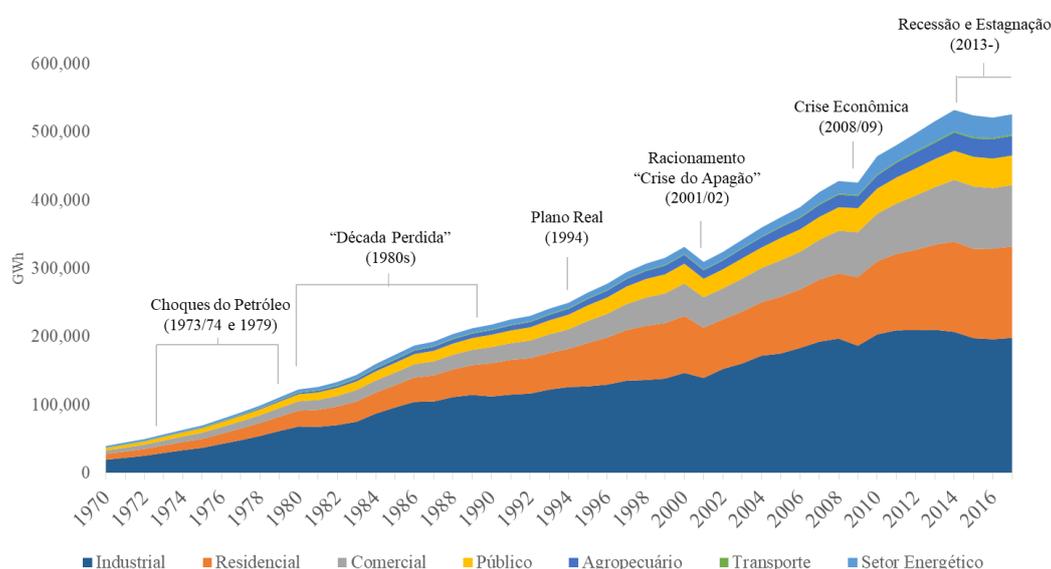
O segundo momentum de política energética brasileiro se inicia bastante turbulento. Já em 2001, é declarado um racionamento de energia elétrica. A crise do racionamento elétrico surge a partir de um regime de chuvas desfavorável, e como consequência da falta de investimentos para a expansão de capacidade de geração frente a uma

demanda que voltava a crescer com vigor. Os fatores que explicariam a retração dos investimentos encontram-se nas indefinições quanto às reformas de liberalização setorial (e.g. desverticalização e criação de um novo mercado atacadista), e no impasse quanto às privatizações dos ativos da Eletrobras, resultando em adiamento de novos investimentos (PINTO JR et al., 2016).

A “crise do apagão”, como ficou conhecida, foi decisiva para a reavaliação do modelo proposto e, inclusive, na ascensão da oposição ao governo Fernando Henrique Cardoso (1995-2003), a partir do governo Lula (2003-2011).

O Gráfico 44 apresenta a forte retração do consumo de eletricidade nacional nos anos de 2001 e 2002. Não havia precedentes de tão forte retração na história brasileira até o momento. As crises anteriores tiveram o efeito de atenuar o crescimento (em especial no setor industrial), enquanto o racionamento será uma quebra de tendência, com efeitos comportamentais de conservação que irão perdurar por alguns anos. Mais à frente, a demanda apresentará tendência de crescimento ainda mais forte, com interrupção pela crise econômica em 2008-2009 (devido à crise financeira internacional) e, finalmente, um período prolongado de estagnação a partir de 2013.

Gráfico 44 – Evolução do consumo de eletricidade por tipo de consumidor



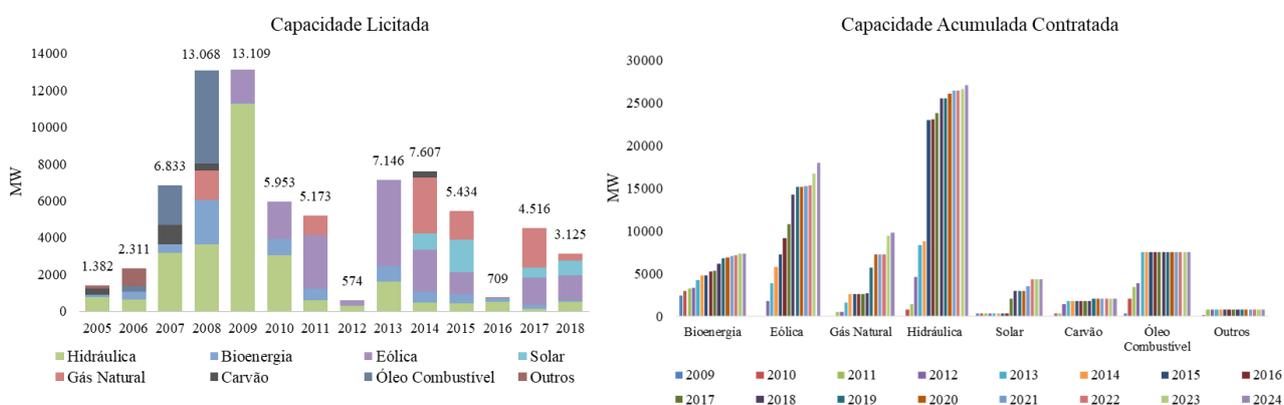
Fonte: *Elaboração própria com dados do Balanço Energético Nacional 2017 (BRASIL, 2017)*

O racionamento, portanto, foi o estopim para mais uma tentativa de reestruturação do setor elétrico. Um novo modelo setorial foi estabelecido (Leis nº 10.847/2004 e nº 10.848/2004, Decreto nº 5.163/2004), trazendo um marco regulatório com os objetivos de segurança do abastecimento e universalização do suprimento com modicidade tari-

fária. As motivações principais eram estimular os investimentos necessários para evitar gargalos para o crescimento nacional. Os instrumentos utilizados foram o (i) a retomada do planejamento, agora indicativo⁹⁹, com a criação da Empresa de Pesquisa Energética (EPE); (ii) um sistemático conjunto de leilões para contratação de longo prazo pela menor tarifa (geração e transmissão); e (iii) a participação das subsidiárias da Eletrobras em grandes empreendimentos, comumente em consórcio com agentes privados.

O Gráfico 45 apresenta a evolução da capacidade instalada a partir dos leilões de geração. Note a predominância da opção hidráulica no período, com destaque aos leilões das hidrelétricas do Rio Madeira (Santo Antônio [3,1 GW] e Jirau [3,3 GW], em 2007 e 2008) e Belo Monte (11,2 GW em 2009), além do crescimento gradual da capacidade eólica e bioenergia (em grande medida, usinas a bagaço de cana-de-açúcar). As opções emissoras de carbono (gás natural, carvão e óleo combustível) surgiram esporadicamente dentro da sequência de leilões na modalidade de disponibilidade¹⁰⁰. A opção solar surge apenas em 2014. Com relação aos leilões de concessão para linhas de transmissão, de 1999 a 2018, foram contratados um total de quase 100 mil km de linhas.

Gráfico 45 – Evolução da capacidade instalada contratada nos leilões de geração

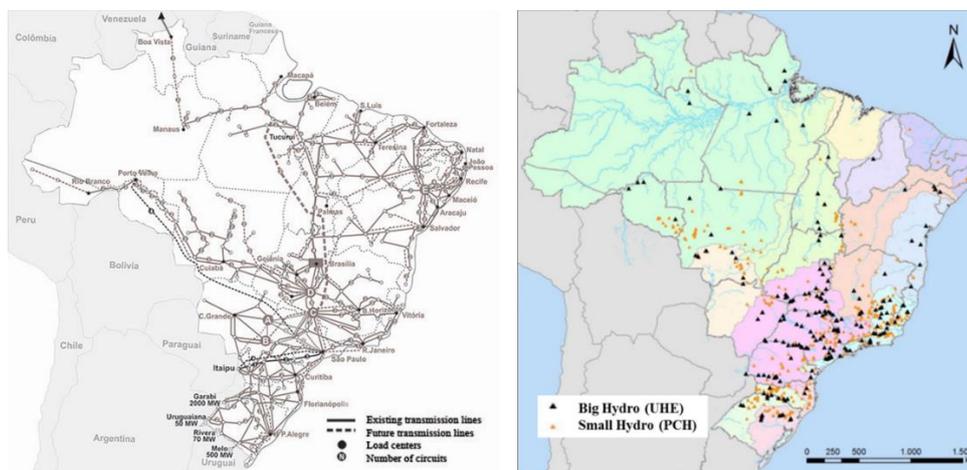


Fonte: Elaboração própria com dados da ANEEL

A Figura 8 apresenta os mapas das redes de transmissão do Sistema Interconectado Nacional (SIN) e as diversas usinas hidrelétricas pelo território brasileiro, que irão nortear a expansão do SIN.

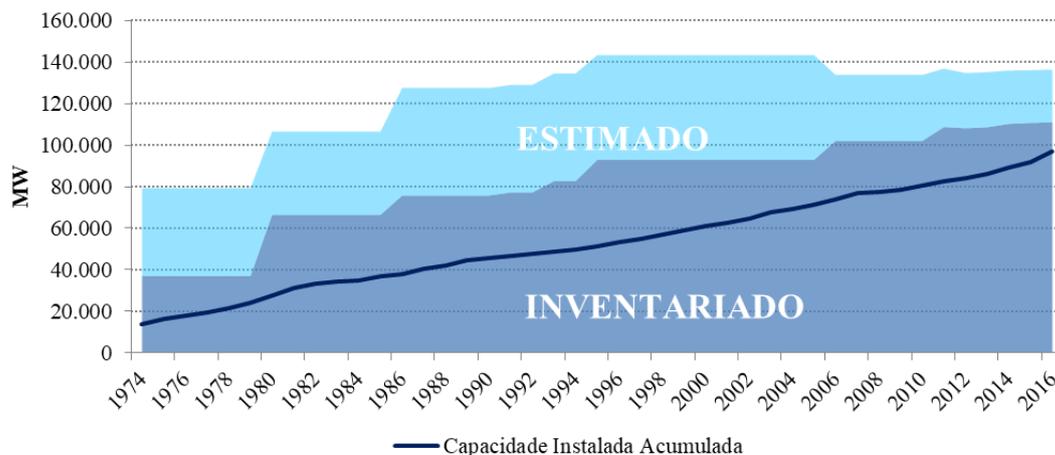
⁹⁹ Anteriormente, o papel do planejamento era responsabilidade da Eletrobras de forma determinística. Com algumas ressalvas, é possível afirmar que o atual planejamento é, na realidade 'quasi-determinístico', dado que o principal canal de expansão de capacidade tem sido os leilões.

¹⁰⁰ Inclui uma remuneração fixa ao agente gerador, independente do que for efetivamente gerado por ele. A outra modalidade de leilão é a por 'quantidade', aplicada comumente à usinas hidráulicas, remunerando montante fixo de energia média a um determinado preço.

Figura 8 – Mapa de Transmissão e Hidrelétricas no Brasil

Fonte: ONS [Mapa de Transmissão à esquerda] e Tolmasquim (2016) [Mapa de hidrelétricas à direita]

Durante o período, a participação da Eletrobras em consórcio com outras empresas foi uma estratégia para a viabilização de grandes usinas hidrelétricas em ambientes politicamente sensíveis, como aqueles da região Amazônica. Apesar da existência de potencial remanescente a ser explorado por novos aproveitamentos hidrelétricos (Gráfico 46), a questão da expansão hidráulica permanece como um dilema no setor elétrico brasileiro (Quadro 4). O tema coloca em conflito questões socioambientais e a lógica hidráulica na qual o setor foi construído e opera.

Gráfico 46 – Recursos hidráulicos e capacidade instalada acumulada

Nota: Valores expressos em energia firme. O potencial inventariado, mais preciso que os valores estimados, compreende as usinas em operação ou construção e os aproveitamentos disponíveis aos níveis de inventário, viabilidade e projeto básico.

Fonte: Elaboração própria com dados de EPE

Quadro 4 - A questão das grandes hidrelétricas

O tema das grandes hidrelétrica no Brasil (e no mundo) tem sido tema de questionamento quanto à sua legitimidade política e justificação em termos de sua viabilidade (tendo em conta seus impactos multivariados). Como grandes obras de infraestrutura, se bem desenvolvidas, podem fortalecer as capacidades industriais locais, canalizar grandes investimentos, aumentar o conhecimento dos ecossistemas, criar empregos e desenvolvimento regional (SGARBI et al., 2019). No entanto, de acordo com Leite (2007), a condenação aos grandes aproveitamentos hidrelétricos teriam quatro origens principais:

- a necessidade de deslocamento de populações e de atividades econômicas rurais;
- os danos à flora e à fauna, especialmente em áreas onde se encontram reservas biológicas de valor;
- as modificações que se processam na água dos próprios reservatórios em função da vegetação remanescente submersa; e
- a alteração do regime dos rios e a jusante da barragem.

Além disso, mesmo o argumento da competitividade do custo da energia hidráulica pode ser questionável quando ocorrem sobrecustos, comuns em grandes projetos (KÖBERLE et al., 2018).

Assim, como no questionamento da energia nuclear, existe um conflito intrínseco entre estratégias com atributos da sustentabilidade e objetivos de mudanças climáticas. Enquanto o primeiro tem características mais amplas, que incluem preservação das condições naturais e reprodução de atividades socioambientais, o último concentra-se nos impactos na atmosfera quanto às emissões de carbono que, ultimamente, afetariam o clima terrestre com efeitos sem precedentes. No caso brasileiro, acrescenta-se a este debate seu histórico de construção setorial baseado na fonte. Como descrito no Capítulo 3, apesar de interseções entre as duas agendas, elas não são de todo complementares, gerando conflitos. Este é justamente o caso do conflito sociopolítico em torno da construção de grandes usinas hidrelétricas (e nucleares). Sob o ponto de vista da agenda climática, as usinas hidrelétricas são uma excelente opção de baixo carbono para atender as necessidades energéticas¹⁰¹, além de permitir a penetração de outras fontes renováveis quando utilizam-se de flexibilidade operacional e reservação de água. No entanto, o próprio risco climático é uma preocupação por alterar a capacidade de geração de energia desta fonte ao longo do tempo.

Como a fronteira de expansão brasileira é a região amazônica, áreas preservadas, como unidades de conservação, terras indígenas e quilombolas, podem ser afetadas, tornando crucial o escrutínio ambiental e a clara delimitação de terras.

¹⁰¹ O consumo de energia per capita do Brasil é relativamente baixo, com cerca de 2.500 kWh/habitante em 2015, nível comparável com outros países em desenvolvimento.

A estatal também foi encarregada pela coordenação junto às distribuidoras do Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica (Decreto n° 4.873/2003), mais conhecido como “Luz para Todos”. O intuito principal foi o de entregar energia elétrica às regiões rurais e isoladas¹⁰². O resultado do programa foi da expansão da cobertura do serviço de eletricidade, evoluindo de cerca de 87%, em 1990, para sua universalização nos dias de hoje.

Outro programa de coordenação da estatal foi o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA (Lei n° 10.438/2002), com o objetivo de desenvolver projetos de fontes alternativas e renováveis (pequenas centrais hidrelétricas, usinas eólicas e térmicas a biomassa), ainda em fase de amadurecimento tecnológico e comercial à época. O programa previa a instalação de 144 usinas (eólicas, pequenas centrais hidrelétricas e biomassa) e cerca de 3.300 MW de capacidade instalada.

Além da expansão da capacidade, no final do período houve a preocupação quanto à extensão das concessões das usinas existentes. Entre 2015 e 2017, estariam para vencer concessões de um total de 22 GW de capacidade instalada na geração (cerca de 20% no país à época) e 69 mil km de linhas de transmissão (cerca de 67% do total nacional), além de 44 contratos de distribuição (35% do total). Grande parte desses totais estavam nas mãos de empresas estatais (federais e estaduais) (LOSEKANN, 2012; 2014).

Através da Medida Provisória 579 de 2012, esses contratos foram prorrogados, ora pelo custo do serviço (em particular, os ativos da Eletrobras), ora através de nova licitação. Utilizada como uma “janela de oportunidade” para a redução do custo final da eletricidade (20% em média), seus efeitos iniciais acabaram sendo revertidos por uma conjunção de desbalanço de contratos¹⁰³, pluviometria desfavorável e crise política e econômica. Ao final do período, o aumento das tarifas superou, e muito, a redução anunciada a partir da medida.

Por sua vez, o setor de petróleo e gás experimentou diversas mudanças de ordem política e regulatória ao longo do período. Nos anos 1990, instituiu-se o fim do monopólio legal da Petrobras (Lei n° 9.478/1997, “Lei do Petróleo”) na exploração e produção

¹⁰² Em 2000, de acordo com o IBGE, existiam dois milhões de domicílios rurais (aproximadamente 10 milhões de pessoas) sem acesso ao serviço.

¹⁰³ Pelo lado setorial, os atrasos da negociação da MP contribuíram para uma situação onde distribuidoras pelo país careciam de contratos de suprimento. Este fato, aliado a um período de seca prolongada, deixaram as distribuidoras (e demais consumidores) expostas a preços muito acima do que poderiam suportar, criando um desarranjo no mercado de contratos. Ademais, a forte redução da remuneração das usinas das concessionárias federais, durante um grande ciclo de investimentos, gerou uma grave crise financeira no Sistema Eletrobras.

(E&P), buscando atrair novos agentes. Neste segmento, foi criado o regime de concessões de exploração e estruturaram-se as chamadas “Rodadas de Licitações” de blocos exploratórios, organizadas pela recém criada Agência Nacional do Petróleo, Gás e Biocombustíveis – ANP (lei nº 9.478/1997), órgão regulador responsável pelas normas e fiscalização do setor. A 1ª Rodada foi realizada em 1999, e a partir deste ano foram realizadas rodadas periodicamente até 2008. Foram introduzidas políticas de conteúdo nacional, no intuito de fomentar não apenas a produção de hidrocarbonetos, mas o suprimento industrial necessário para as atividades de E&P. Assim, os incentivos à cadeia foram concentrados nestes certames ao longo do tempo. No entanto, as rodadas serão interrompidas a partir da descoberta de possíveis campos gigantes nas bacias do Espírito Santo, Campos e Santos.

Em novembro de 2007, o governo federal decidiu, em reunião do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), pela retirada de 41 blocos da 9ª Rodada de blocos por conta de indícios de grandes volumes de óleo em reservatórios da camada Pré-sal¹⁰⁴. Esta medida baseou-se no argumento do reduzido risco geológico e alta produtividade, que mudariam o paradigma da indústria no país. Assim, após a 10ª rodada, em 2008, houve uma paralisação das rodadas para a formulação de um novo marco regulatório para as áreas do Pré-sal. Optou-se pelo regime fiscal de partilha de produção (Lei nº 12.351/2010), substituindo a modalidade de contratos de concessões nos casos de áreas estratégicas, incluindo o *cluster* do Pré-sal. Neste novo arcabouço legal:

- (i) criou-se a Pré-Sal Petróleo S.A. – PPSA (Lei nº 12.304/2010), para a gestão e monitoramento dos novos contratos;
- (ii) determinou-se, inicialmente, a condição de que a Petrobras seria a única operadora dos campos (posteriormente, regra alterada para a condição de preferência a ser exercida pela estatal [Decreto nº 9.041/2017]);
- (iii) alterou-se a alíquota de *royalties* e distribuição entre os entes federativos; e
- (iv) criou-se o Fundo Social, com o objetivo de financiar áreas como saúde e educação.

Pelo imbróglgio político gerado durante a aprovação do novo quadro legal e, sobretudo, fiscal da partilha, novas rodadas de licitação só foram retomadas em 2013 (Rodadas de Concessão 11 e 12, e 1ª de Partilha no Pré-Sal), ou seja, as rodadas de licitação ficaram

¹⁰⁴O Pré-sal brasileiro se refere a reservatórios de petróleo abaixo de uma camada espessa de sal, em profundidades que variam de 1.000 a 2.000 metros de lâmina d'água e entre 4.000 e 6.000 metros de profundidade no subsolo.

suspensas por 5 anos. Com a falta de novas áreas, a atividade exploratória irá declinar já em 2012, num contexto de preços elevados.

No final de 2014, com a queda acentuada dos preços do petróleo, o setor foi pressionado a rever seu portfólio de projetos, buscando reavaliar investimentos e reduzir custos. A queda do preço internacional expôs a vulnerabilidade da Petrobras quanto a seus planos de investimento, com postergação e cancelamentos de projetos considerados estratégicos (e.g. refinarias) em meio a uma forte crise financeira e de endividamento, somada a complicações no âmbito político-criminal e ético da companhia¹⁰⁵. Portanto, assim como no setor elétrico, a crise setorial se abateu no setor petróleo com a contração da atividade e incertezas futuras trazidas com: (i) a queda dos preços; (ii) a crise financeira da Petrobras; e (iii) a reduzida atividade exploratória já em curso.

No que se refere aos derivados do petróleo, provavelmente as políticas mais importantes foram as de incentivos à compra de veículos e aquelas referentes à gestão dos preços dos derivados, de forma a divergir acentuadamente dos preços internacionais.

Durante o período, em particular nos anos de crise econômica, adotaram-se incentivos fiscais (e.g. redução do IPI e taxas de juros), a aquisição de veículos novos como meio de estímulo ao emprego do setor automobilístico nacional, e gozando da elevação de renda sustentada. Apesar da possibilidade de ganhos de eficiência pela renovação da frota brasileira, o que se observou foi o crescimento agregado no consumo de derivados nacionalmente.

Já com relação aos preços dos combustíveis, apesar de sua liberalização nos anos 1990, a Petrobras seguiu detendo a quase totalidade dos ativos de refino do país e, assim, o controle dos preços. Com isso, a política de controle de preços de combustíveis era frequentemente utilizada, amortecendo choques de preços externos e evitando efeitos potencialmente nocivos à dinâmica da inflação doméstica. O controle da inflação, neste período, foi provavelmente o principal objetivo de política econômica no país, sobrepondo-se aos demais objetivos setoriais.

Dessa forma, a Petrobras utilizou-se de seu caixa para subsidiar o que seria o repasse dos custos crescentes da aquisição de petróleo cru para refino e venda às distribuidoras (OLIVEIRA et al, 2015). Nos períodos elevados dos preços do petróleo, por um lado a estatal tinha ganhos extraordinários no E&P e, por outro, suportava perdas bilio-

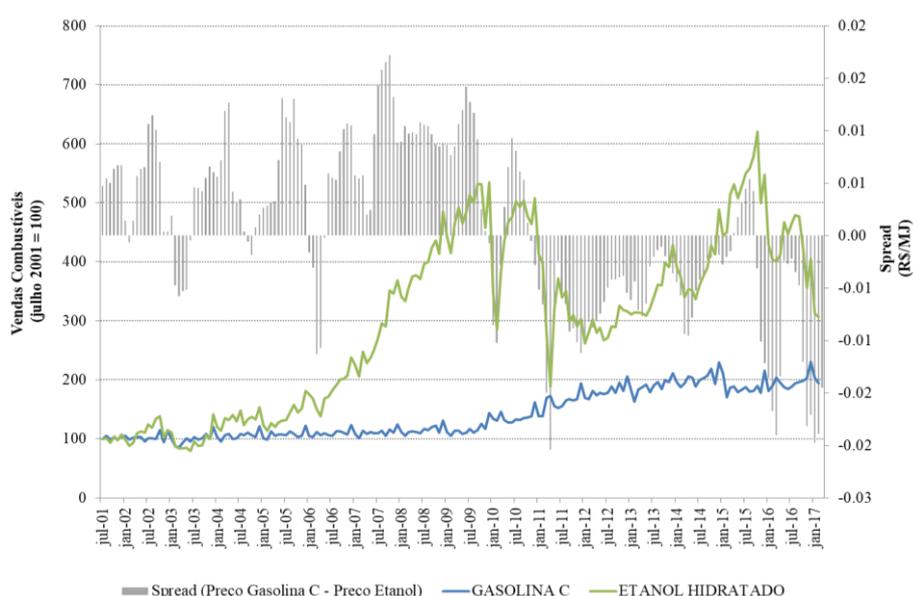
¹⁰⁵A chamada “Operação Lava-Jato” revelou diversos esquemas de corrupção, relacionando a Petrobras, grandes empreiteiras e partidos políticos. O processo teve início em março de 2014 em um posto de gasolina, onde investigava-se um grande esquema de lavagem e desvio de dinheiro.

nárias no refino, em particular entre 2011 e 2013 (MORAES; TAVARES, 2016). Esta condição contribuiu por parte importante dos desarranjos financeiros da companhia. A partir de 2014, com a nova queda dos preços internacionais, a situação se inverte, e a estatal passa a praticar preços acima dos internacionais buscando recuperar-se economicamente. O controle de preços terá efeitos colaterais na produção e venda de biocombustíveis.

A partir da retomada dos programas de incentivos para biocombustíveis (etanol e biodiesel), o setor se expandiu rapidamente. De 2000 a 2015, a mistura do etanol anidro na gasolina elevou-se de algo em torno de 20% a 24% para 27%. Já o etanol hidratado foi impulsionado por incentivos tributários, apoio governamental e desenvolvimento de inovações automotoras. Com a descontinuidade dos veículos dedicados a etanol e adoção massiva dos novos veículos *flex-fuel*, os consumidores passaram a eleger entre a gasolina (já adicionado o etanol anidro) e o etanol hidratado de acordo com suas preferências. Assim, as diferenças de preços entre as duas opções irão influenciar de forma drástica as vendas do etanol hidratado.

O Gráfico 47 apresenta a evolução das vendas dos combustíveis e seu diferencial de preços. Os preços flutuaram ao longo do tempo, seguindo as condições do setor petróleo e das safras canavieiras. No entanto, a partir de 2010, a gasolina passa a apresentar preços muito abaixo daqueles do etanol hidratado, situação que se mantém nos anos subsequentes, interrompendo os planos de expansão do setor sucroalcooleiro que vinha ampliando de forma sustentada sua produção e capacidade instalada.

Gráfico 47 – Evolução das vendas e spread entre gasolina e etanol hidratado



Fonte: Elaboração própria com dados ANP

No caso do biodiesel, este teve sua mistura com o diesel introduzida pelo Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) (Medida Provisória nº 214/2004, depois Lei nº 11.097/2005). Inicialmente pensado para incentivar pequenos produtores, o biodiesel é produzido, sobretudo, a partir da produção em larga escala da soja e de gorduras animais advindas da pecuária. Mesmo com vantagens de escala e logística, a soja, por exemplo, não seria a fonte mais vantajosa se considerados outros fatores como o balanço energético e sua produtividade agro-industrial (NOGUEIRA, 2011). A mistura do biodiesel evoluiu de 2005 até 2014, de 2% (B2) para 7% (B7), elevando-se ainda mais em 2018 (10%, B10).

Pelo lado de políticas de eficiência, valem alguns destaques: (i) o aprimoramento do PROCEL; (ii) os recursos do Programa de Eficiência Energética da ANEEL (Lei nº 9.991/2000); (iii) a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia (Lei nº 10295/2001); e (iv) do Plano Nacional de Eficiência Energética em 2011. A Política Nacional de 2001 surge como resposta ao racionamento de eletricidade, buscando regradar as especificações de equipamentos e criar mecanismos para especificar níveis de consumo. Já o Plano Nacional de Eficiência de 2011, surge no contexto dos trabalhos do Plano Nacional de Energia (PNE 2030) apresentando estudo abrangente das condições e possibilidades de avanços na eficiência e na conservação nos mais diferentes setores da economia brasileira.

Finalmente, e assim encerrando o momentum de política energética brasileiro, no Acordo de Paris o país se comprometeu a reduzir 37% de suas emissões de sua economia como um todo até 2025 (relativamente a 2005) e, de forma indicativa, reduzir 43% até 2030 (BRASIL, 2015). Além de metas de mitigação, compromete-se a adotar medidas de proteção florestal e controlar os impactos da mudança de uso do solo (maiores fontes de emissões de carbono no país). Na área de energia estabelecem ainda as metas de:

- (i) aumentar a participação de biocombustíveis sustentáveis no mix de energia brasileiro para cerca de 18% até 2030, expandindo o consumo de biocombustível (etanol, biodiesel e biocombustíveis de segunda geração);
- (ii) atingir 45% de energias renováveis no mix energético até 2030 (entre 28% a 33% de energia renováveis não hidráulicas no mix; e na matriz elétrica pelo menos 23%, com 10% de ganhos de eficiência);
- (iii) no setor industrial, promover novos padrões de tecnologia limpa e medidas de eficiência energética e infraestrutura de baixo carbono; e
- (iv) no setor de transportes, promover medidas de eficiência e melhorar a infraestrutura de transporte e transporte público em áreas urbanas.

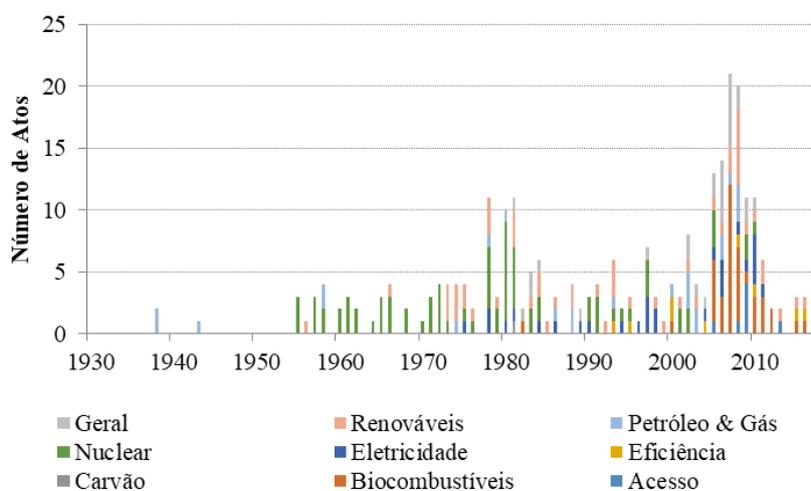
6.4. Convergência das políticas brasileiras

Como descrito ao longo deste capítulo, a trajetória brasileira ao mesmo tempo que foi exitosa no desenvolvimento de sua base de recursos energéticos, apresentou contratempos e retrocessos que impactaram a economia nacional.

A análise dos referenciais de política é necessária para entender se haveria, de fato, a convergência da trajetória brasileira a um regime de baixo carbono. Inicialmente, ao analisar a dinâmica e estrutura de seus atos de política externa¹⁰⁶, é possível identificar alguns padrões associados à trajetória da política brasileira. A caracterização dos momentums brasileiros pode ser feita a partir da evolução de sua política externa, tomando-se o número de atos como um indicador de intensidade diplomática. Apesar de haver bastante heterogeneidade entre os atos em termos do tipo, extensão e relevância, sua quantidade é um bom indicativo das motivações e foco de interesse nacional nos períodos associados. Obviamente, o interesse nacional não está desconectado de agendas internacionais, mas pelo exercício de sua soberania, os atos seus expressam interesses internos e externos.

No Gráfico 48 é possível identificar a maior intensidade de atos na área de energia nas décadas de 1970-1980 e 2000-2010, confirmando a escolha dos períodos analisados até agora, dada sua relevância do ponto de vista de políticas para o setor de energia.

Gráfico 48 – Evolução dos atos de política externa brasileira na área de energia por tema

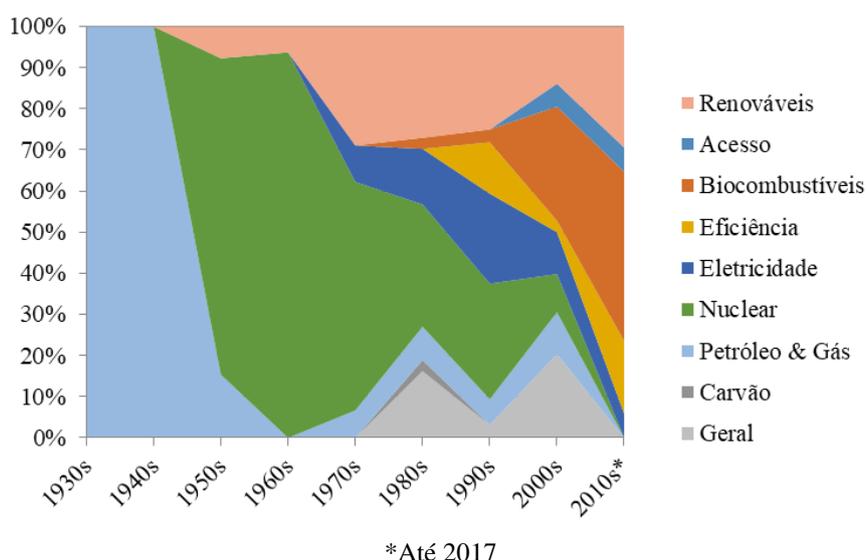


Fonte: Fonte: Elaboração própria com dados da base Concordia/Itamaraty

¹⁰⁶ Atos internacionais correspondem, segundo a prática brasileira, a tratados, acordos, memorandos de entendimento, ajustes complementares, convenções ou protocolos que criem normas e regulamentos.

O Gráfico 49 apresenta a composição temática destes atos. Uma alteração de pauta de política externa se explicita ao longo das décadas, indicando mudança do referencial das políticas nacionais.

Gráfico 49 – Composição dos atos de política externa brasileira na área de energia por década e tema



Nota: *Acesso* - associado a ampliação do acesso, em especial, o acesso a eletricidade em ambientes rurais; *Biocombustíveis* - associado a produção e consumo de biocombustíveis líquidos (etanol e biodiesel), assim como carvão vegetal e biomassa; *Carvão* - associado quanto a produção e consumo de carvão mineral; *Eficiência* - associado a eficiência energética, assim como racionalização e conservação de energia; *Eletricidade* - associado sobretudo a interconexões, mercados elétricos e conhecimento na área elétrica; *Nuclear* - associado ao desenvolvimento tecnológico, produção mineral e adoção para fins pacíficos da tecnologia; *Petróleo & Gás* - associado a produção e consumo de seus produtos; *Renováveis* - associado ao desenvolvimento, produção e consumo de energias renováveis (incl. hidroeletricidade, solar, eólica e outras); *Geral* - questões amplas do setor de energia, de cunho generalista que objetivam tratar de diversos temas na área energética

Fonte: *Elaboração própria com dados da base Concordia/Itamaraty*

Os primeiros atos brasileiros na área de energia concentraram-se na cooperação à pesquisa de petróleo com a Bolívia nas décadas de 1930-40, seguidas pelas diversas tratativas no domínio nuclear, sobretudo com os Estados Unidos e países europeus nas décadas seguintes. Dentre os atos referentes a energias renováveis, destacam-se aqueles que tratam da energia hidráulica, em particular aqueles com o Paraguai, que culminarão no Tratado de Itaipu em 1973 (ver Apêndice, Gráfico 53).

Nos anos 2000 em diante, cresceu acentuadamente a presença de atos cujos temas referiam-se a ‘biocombustíveis’, ‘eficiência’, ‘acesso’, além de ‘fontes renováveis’. O tema ‘biocombustíveis’ alinhou-se à “diplomacia do etanol” brasileira (BASSO, 2018). Esta estratégia diplomática buscou construir uma liderança do país em temas de energia

e sustentabilidade, a partir do desenvolvimento de parcerias, desenvolvimento tecnológico no cultivo agrícola e criação de novos mercados consumidores para os biocombustíveis. Pelo lado do tema ‘acesso’, as experiências exitosas do programa de universalização de eletricidade (“Luz para todos”) serviram como elemento de diálogo internacional para compartilhamento de melhores práticas. No âmbito das ‘renováveis’ e ‘eficiência’, estudos, parcerias técnicas e acordos quanto ao aproveitamento conjunto foram os principais desse período. Destacam-se, nestes temas, os diversos atos com contraparte alemã.

A partir da análise da evolução temática da política externa brasileira, aparentemente haveria convergência quanto a um referencial de políticas para uma trajetória de baixo carbono. Resta saber se os elementos paradigmáticos e de ambiente de seleção seguiriam o mesmo padrão.

Na década de 1970, os choques do petróleo desencadearam uma série de políticas para o setor de energia no Brasil. Os governos militares encararam o desafio, buscando estabilizar a economia, com graves problemas financeiros, e garantir a segurança energética. Com programas de escopo nacional, surgiram iniciativas ambiciosas e amplas que poderiam ser consideradas convergentes a um regime de baixo carbono (etanol, hidrelétricas, nuclear), mas claramente seus objetivos intrínsecos eram o da garantia do suprimento e estabilidade macroeconômica.

É importante aqui distinguir a convergência com objetivos da TEBC com os objetivos reais das políticas executadas. No caso do Proálcool, a literatura de transições energéticas comumente os considera um exemplo de sucesso (TORRES, 2018). Apesar de propiciar mudanças importantes no consumo energético nacional com vias a uma trajetória descarbonizada, o programa foi concebido para enfrentar o desabastecimento e a restrição externa, não havendo naquele momento as motivações ambientais que poderiam legitimá-lo atualmente. Portanto, apesar de representar, de fato, uma trajetória exitosa em bases menos emissoras, o referencial daquele momentum tinha atributos de curto prazo (resolver a crise) e médio prazo (fortalecer e estimular a produção doméstica de combustíveis) associados à ideia de estabilidade e desenvolvimento econômico. A visão se associava aos recursos existentes (produção sucroalcooleira) e recursos institucionais para promover uma transformação a nível de país.

A partir do exposto neste capítulo, em seu primeiro momentum de política energética, foram identificadas as seguintes estratégias:

- ***Energo-expansivas* (▲):** expansão da geração hidráulica, programa nuclear, E&P *offshore* (petróleo e gás);
- ***Energo-reprodutivas* (=):** N/A¹⁰⁷;
- ***Energo-substitutivas* (≠):** biocombustíveis (Proálcool), conversão da indústria (eletrotermia);
- ***Energo-poupadoras* (▼):** racionamento de combustíveis, programas de eficiência e conservação (PROCEL).

Com o avanço da Agenda Internacional da Sustentabilidade e do Clima, as políticas brasileiras ganharam bastante visibilidade, dada a variedade de opções energéticas (em particular, opções renováveis) que passaram a ser incorporadas à base de recursos do país. De uma condição de país pobre energeticamente, o Brasil evolui para uma referência internacional em energia. Em seu segundo *momentum* de política energética, as políticas brasileiras seguiram o seguinte perfil:

- ***Energo-expansivas* (▲):** incentivos à produção de fósseis (petróleo e gás), incentivos à produção de renováveis, controle de preços de combustíveis, incentivos à aquisição de veículos e universalização do acesso à eletricidade;
- ***Energo-reprodutivas* (=):** extensão das concessões de hidrelétricas;
- ***Energo-substitutivas* (≠):** mistura de biocombustíveis (etanol e biodiesel); e
- ***Energo-poupadoras* (▼):** racionamento de eletricidade

Das diversas estratégias presentes, muitas seriam convergentes com o referencial de baixo carbono. No entanto, como se observa, muitas delas estão associadas à expansão do consumo e produção, em particular, de fontes fósseis. Adicionalmente, note que, apesar da tentativa de retomada da construção de Angra III em 2010, esta não se configurou necessariamente como o retorno do programa nuclear brasileiro.

Basso (2018) irá argumentar que as políticas brasileiras entre 2000 e 2010 não estariam alinhadas com o debate de mudanças climáticas, por três motivos: (i) a conservação de energia não seria realmente uma prioridade; (ii) os efeitos climáticos não estão incorporados no planejamento; e (iii) haveria um *carbon lock-in* por motivos domésticos e internacional.

¹⁰⁷ Optou-se pelo “não-aplicável” (N/A), pois não se identificaram políticas explícitas nesta estratégia. Por exemplo, diferentemente dos países OCDE, o Brasil não optou por constituir estoques estratégicos de petróleo, dando a prerrogativa quanto à gestão dos volumes de petróleo no país à Petrobras.

O Quadro 5 abaixo apresenta o resumo da evolução das estratégias de desenvolvimento energético brasileiras.

Quadro 5 – Resumo do estudo de caso do Brasil

País	Estratégias	1º Momentum de Política Energética (1970-1985)	Estratégias	2º Momentum de Política Energética (2000-2015)
Brasil	Energio-ex-pansivas	- Expansão da geração hidráulica - Programa nuclear - Expansão petróleo, gás e carvão	Energio-ex-pansivas	- Incentivos à produção de combustíveis fósseis - Incentivos à produção de renováveis - Controle de preços de combustíveis - Incentivos a aquisição de veículos - Universalização do acesso a eletricidade
	Energio-re-protutiva	N/A	Energio-re-protutiva	- Extensão das concessões de hidrelétricas
	Energio-sub-stitutivas	- Biocombustíveis (Proálcool) - Conversão da indústria (eletrotermia)	Energio-sub-stitutivas	- Mistura de biocombustíveis (etanol e biodiesel)
	Energio-poupadoras	- Racionamento de combustíveis - Programas de eficiência energética e conservação (PROCEL)	Energio-poupadoras	- Racionamento de eletricidade

Nota: N/A ('não aplicável') para políticas não explicitadas em determinada estratégia.

Fonte: Elaboração própria

Quanto aos aspectos de pesquisa liderados por políticas federais, estes estão, até hoje, bastante associados às iniciativas no âmbito das estatais federais e das universidades públicas. Enquanto, internacionalmente, políticas nessa área, ora são concentradas por ações ministeriais (e.g. França), ora descentralizadas através de órgãos governamentais diversos (e.g. Estados Unidos), no Brasil optou-se por uma estratégia mista com enfoque setorial (BASTOS, 2003). O Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) coordena e gerencia fundos setorializados¹⁰⁸, cuja origem dos recursos advém dos setores que, ao final, determinarão o foco de pesquisa científica. Por sua vez, o Ministério da Educação mantém as Universidades Federais subsidiando indiretamente as atividades de pesquisa. Em paralelo, as estatais federais assumem investimentos em P&D alinhados

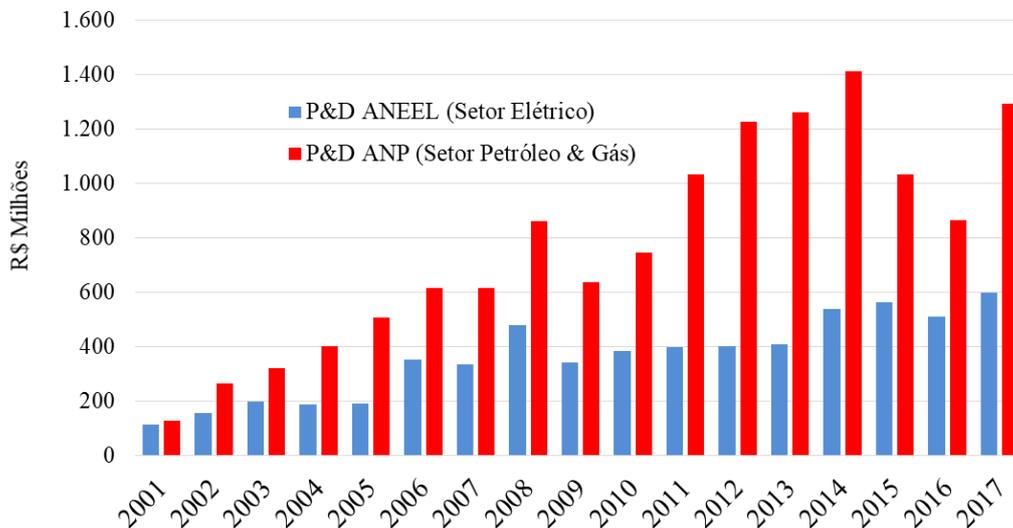
¹⁰⁸ O Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT), criado pelo Decreto-Lei nº 719/1969, cobre os Fundos Setoriais (criados apenas em 1998), que servem como instrumento financeiro para promoção de ciência e tecnologia com políticas de desenvolvimento nacional. Dentre os fundos, incluem-se o CT-Infra, CT-Petro, CT-Energia, entre outros.

com suas atividades produtivas, destacando-se o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL [1974], da Eletrobras) e Centro de Pesquisas Leopoldo Américo Miguez de Mello (CENPES [1963], da Petrobras).

Pelo lado das estatais, o investimento em pesquisa estará, em maior medida, associado às suas atividades fins, com seu montante atrelado comumente a performance econômica da atividade. No caso da Petrobras, nos anos 1970-80, a prioridade de explorar o potencial *offshore* brasileiro requereu investimentos que alcançaram 0,7% de seu faturamento (FUCK et al., 2007) e 1% a 1,2% nos anos 1990 (ERBER; AMARAL, 1994), enquanto na Eletrobras atingiram cerca de 0,5% de seu faturamento.

Criaram-se contribuições para pesquisa nos contratos de produção de petróleo e gás e para os agentes do setor de eletricidade (Lei 9.991/2000), a serem coordenados por seus respectivos órgãos reguladores¹⁰⁹. Estes recursos são auferidos a partir do faturamento dos agentes dos setores¹¹⁰. Assim, o volume de recursos disponível segue, em grande medida, a dinâmica econômica setorial (Gráfico 50).

Gráfico 50 – Recursos das cláusulas de P&D da ANEEL e ANP



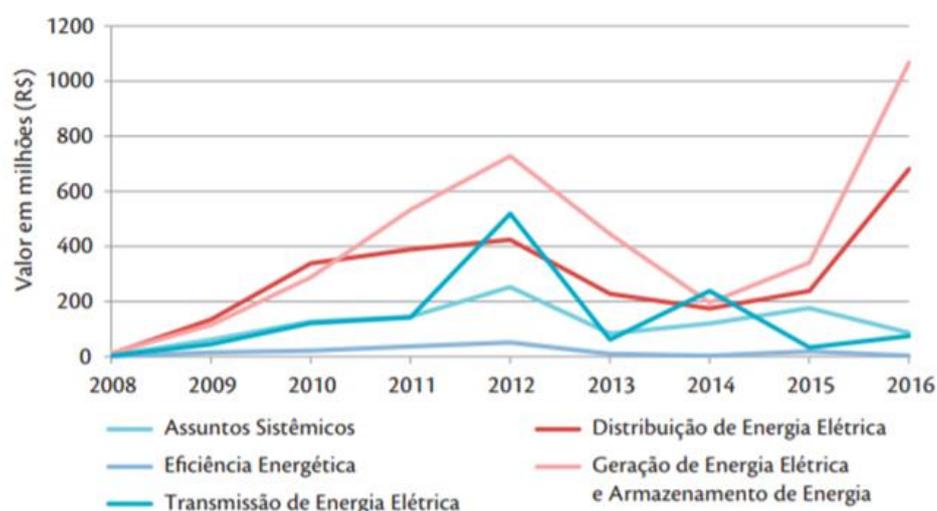
Fonte: Elaboração própria com dados da ANEEL e ANP

¹⁰⁹ Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

¹¹⁰ As regras variam entre os setores e de agente para agente. No setor elétrico, tradicionalmente, os agentes de geração e transmissão contribuem mais que os de distribuição. No setor petróleo, a contribuição ocorre apenas sob o faturamento dos campos de maior produtividade e naqueles sob o regime de partilha e cessão onerosa.

No caso do setor de petróleo, grande parte dos recursos da cláusula da ANP teve origem das operações da Petrobras, assim seguindo suas estratégias de pesquisa (ROCHA, 2015). Por outro lado, se observarmos a estrutura dos projetos financiados pelo ciclo mais recente de projetos do programa da ANEEL (Gráfico 51), podemos notar a predominância de recursos destinados à pesquisa na área de geração e armazenamento.

Gráfico 51 – Recursos investidos nos projetos de P&D da ANEEL por grupo temático



Fonte: CGEE (2017)

Do total dispendido neste grupo, 39,2% referiam-se ao tema ‘hidrelétricas’, 31,5% termelétricas (renováveis ou não), 17,8% energias alternativas (oceanos, eólicas e solar), 0,2% nuclear e 5% armazenamento. Vale destacar que, apesar dos volumes reduzidos investidos no tema ‘eficiência energética’ pelo programa de P&D da ANEEL, o tema da ‘eficiência’ está sujeito a outro programa associado às distribuidoras, movimentando uma média de recursos de R\$ 500 milhões anuais. Portanto, a pesquisa brasileira neste setor permanece priorizando soluções de geração de baixo carbono e a eficiência energética está aliada diretamente às soluções no consumo (ambiente de seleção).

Apesar da diversidade de fontes de financiamento para a pesquisa setorial, muitos desses recursos acabam por não ser executados. De acordo com o IBP (2017), de 1998 a 2015, o CT-Petro (fundo setorial do MCTI) teria arrecadado cerca de R\$ 13 bilhões, porém teria realizado pouco mais de R\$ 900 milhões no período.

O Brasil tem uma posição privilegiada em termos de descarbonização. Sua trajetória histórica, baseada em recursos naturais renováveis, lhe coloca o desafio de ampliar sua ambição quanto às conquistas no *front* do clima. Se no passado, o país era considerado

uma nação pobre em recursos energéticos, hoje tornou-se, e amplia sua condição, de potência energética, produzindo petróleo, gás, biocombustíveis e eletricidade com as mais diversas fontes.

No que se refere a estrutura do consumo primário e seus tipos de fontes, observou-se grandes avanços naquelas de baixo carbono (biocombustíveis, fontes renováveis de eletricidade), mas o desempenho brasileiro em termos de emissões vem piorando. Ao desenvolver-se e manter estruturas energéticas mais emissoras, o Brasil vem perdendo suas vantagens relativas.

A transformação do setor de eletricidade para um sistema cada vez mais hidrotérmico, nunca foi uma novidade para seus agentes (TAVARES, 2016). No entanto, mesmo conscientes da tendência, não foi possível acompanhar as mudanças tecnológicas e de contextos sociais, ambientais e políticos vigentes para permitir que o setor percorresse uma trajetória menos turbulenta, sem esbarrar em estrangulamentos e crises econômicas.

Apesar da grande turbulência no setor petróleo, a partir da queda dos preços e a crise na Petrobras nos anos 2010, as perspectivas de crescimento da produção nacional nas próximas décadas mantêm o interesse dos formuladores de política no desenvolvimento do setor. A visão de um Brasil petrolífero, que se tornará exportador de petróleo cru, cristaliza-se nos planos de longo prazo. Esta visão, mesmo que, porventura, atenuada pelo consumo interno de biocombustíveis, tende a estar em desacordo com o posicionamento nacional frente às questões do clima. Mesmo com tal visão, é possível afirmar que os desafios ante a uma agenda climática que, em essência, tem sua liderança comumente encarada como exógena (uma agenda externa ao nível de 'paisagem'), repercutem nas estratégias de desenvolvimento nacional e de inserção internacional. Os dilemas e desafios para a formulação das políticas compatíveis com esta agenda estão presentes, destacando-se as questões sobre a legitimidade de novas hidrelétricas e o avanço na produção de petróleo e gás.

Tratando-se de mitigação de emissões, o desafio brasileiro permanece concentrado na área florestal e de uso do solo. A adoção de energias renováveis, incluindo os já mencionados leilões de capacidade (voltados para renováveis) e os mandatos de mistura de biocombustíveis (etanol e biodiesel) para transportes, são os principais instrumentos na área de energia para um aprofundamento da condição de baixo carbono existente. Apesar desses esforços, a tendência é de piora no quesito descarbonização, sugerindo que as condições sociotécnicas não têm convergido a uma TEBC ao longo do tempo. E com tais condições, não fica clara a convergência do referencial de políticas brasileiro a uma estratégia de longo prazo que tenha a TEBC como prioridade.

CONCLUSÕES

Esta tese analisou a transição energética de baixo carbono (TEBC) sob uma perspectiva evolucionária; qual seja, da transição que se materializa por trajetórias tecnológicas. Estas trajetórias, por sua vez, surgem da interação de novos paradigmas tecnológicos e ambiente de seleção em sistemas sociotécnicos, culminando na construção de um novo regime; no caso, o regime energético de baixo carbono. Foram ainda, utilizadas as literaturas de história dos sistemas energéticos e de políticas públicas (análise cognitiva) para entender como se dá a dinâmica de transições e como as políticas se articulam em contextos transitivos.

Antes de mais nada, buscou-se estabelecer uma definição de trabalho para entender a ‘transição energética’, na tentativa de superar problemas associados às definições variadas que permeiam o debate atual. Reforçou-se a opção pela definição da ‘transição energética de baixo carbono’ (foco no ‘baixo carbono’) como a que melhor define as transformações almejadas pelos fóruns de debate.

Destacou-se que em sendo obtusas as definições quanto a ‘transições energéticas’, estas geram contraditórios e dilemas, em especial quando relacionadas a temas como o da sustentabilidade. A própria “sustentabilidade” padece de problema definicional, incorporando atributos diversos que acabam por enfraquecer sua consistência como ‘ideia’, limitando a criação de consensos em seu entorno. Neste ponto, mesmo que a agenda climática tenha origem de debates quanto à sustentabilidade, é frequente a contraposição das opções energéticas que atendam as duas agendas simultaneamente. Tal como se apresentou, a construção de grandes usinas hidrelétricas ou de usinas nucleares são exemplos práticos dos possíveis dilemas encontrados ao se buscar fontes menos emissores, mas que podem não se justificar do ponto de vista da sustentabilidade.

Esta dicotomia vale igualmente para outras opções tecnológicas (e.g. geotérmica, soluções de captura e estocagem de carbono, “carvão limpo”, entre outros). Assim, a avaliação de *tradeoffs* entre opções se torna crítica no desenvolvimento energético, e acaba por ser orientada a partir dos critérios de escolha existentes de cada regime sociotécnico. Tais contradições reforçam a importância do exercício de estabelecer um ponto de partida definicional, mesmo que não consensual, para auxiliar na busca por possíveis linhas de ação.

Em seguida, foi realizada a síntese de alguns conjuntos de literatura que têm como foco a ‘transição energética’ e/ou a TEBC. Pela necessidade iminente de soluções concre-

tas para os problemas climáticos, e dada a dificuldade em transformar sistemas complexos como o energético, esta literatura ganha abrangência e vitalidade, sendo um desafio organizá-la. Identificou-se que os temas de ‘transições energéticas’ e TEBC seriam subconjuntos próprios e estariam na interseção das literaturas de sustentabilidade/mudanças climáticas e transformações sociotécnicas.

Por sua vez, o debate da TEBC foi contextualizado a partir dos marcos históricos das agendas internacionais da sustentabilidade e de mudanças climáticas. O exame da evolução dessas agendas, nos levou à pergunta: *A transição de baixo carbono responderia a agenda de sustentabilidade ou apenas a do clima?*

A TEBC está explicitamente orientada pela agenda climática e dela se nutre de legitimidade. No entanto, a agenda da sustentabilidade (mais ampla), pressupõe critérios adicionais que não necessariamente estão explícitos no debate. Critérios de sustentabilidade estarão implícitos nos regimes sociotécnicos e, por sua vez, nos referenciais que nortearão as políticas públicas. Em grande medida, estes mesmos critérios serão fonte de legitimidade às próprias políticas. A vantagem que a agenda climática construiu na diplomacia internacional está, possivelmente, relacionada ao fato de ter apresentado uma definição de critério de avaliação aparentemente simples e geral (emissões) a ser negociado entre as partes. No entanto, o que esta agenda irá se defrontar ao longo do tempo serão as escolhas complexas que este critério (supostamente) simples irá impor.

A partir da literatura de história dos sistemas energéticos, depreendeu-se que as transições são processos comumente lentos e que estão intrinsecamente conectados com o desenvolvimento tecnológico, mas especialmente determinados pela evolução de estruturas de sociedade. Em seguida, o exame das agendas-base da TEBC revelaram suas origens e a concentração de seus objetivos na agenda do clima.

Na avaliação e comparação das transições energéticas históricas com a TEBC, buscamos responder à pergunta: *A transição energética de baixo carbono se diferencia ou é similar às transições históricas?*

A TEBC se diferencia das transições históricas por três motivos fundamentais:

- (i) O primeiro está relacionado à sua característica prospectiva, de futuro, com objetivos explícitos (objetivos climáticos), mesmo que suas possíveis trajetórias estejam ainda formação. As transições energéticas históricas ocorreram com trajetórias dispersas, em grande medida autônomas, que somente serão diagnosticadas *ex-post* em seu processo de transformação;
- (ii) A segunda fonte de diferenciação está no fato que a TEBC não requer uma tecnologia específica, mas sim variedades tecnológicas de baixa emissão de

carbono (como o próprio nome já define). Neste sentido, o adjetivo relativo ‘baixa’ se associa ao critério de ‘adicionalidade’, que está baseado na comparação entre alternativas, i.e., a partir de opções energéticas de referência a nova opção deverá apresentar maior desempenho; no caso, menores emissões. Note que este critério, por sua vez, é local-específico, abrindo a possibilidade para que uma TEBC seja um processo heterogêneo, gradual e, eventualmente, lento, como as transições energéticas do passado. Esta última é uma característica que pode gerar frustrações quanto à urgência de se enfrentar os efeitos climáticos. Ademais, por se tratar de um processo heterogêneo e “aberto a possibilidades”, a TEBC, mais que as transições históricas, limita o determinismo tecnológico para variedades singulares de conversores energéticos; e

- (iii) A terceira diferença revelada é de que a TEBC não seria necessariamente aditiva, ou seja, diferentemente das transições energéticas do passado, ela não pressupõe a expansão do consumo energético de determinadas fontes superando a evolução do consumo das fontes incumbentes. Na realidade, é inclusive desejável que a TEBC ocorra, não apenas incluindo fontes de energia de baixo carbono, mas substituindo e deslocando fontes poluidoras existentes e/ou promovendo um consumo energético mais sóbrio, a partir de soluções de eficiência e conservação de energia.

A partir do marco teórico da economia evolucionária e *quasi*-evolucionária, elaborou-se um quadro analítico, que destaca os elementos-chave que caracterizariam a construção de trajetórias tecnológicas para a construção de um regime energético de baixo carbono. Os elementos e suas características seriam:

- *Artefato*: não necessariamente uma tecnologia específica, mas sim um conjunto tecnológico;
- *Paradigma tecnológico*: busca por tecnologias/soluções de baixo carbono a partir de critérios de desempenho de emissões (emissão direta, LCA, etc.);
- *Ambiente de seleção*: preferências de produção e consumo direcionadas para tecnologias mais limpas; e
- *Regime*: tratando-se de um 'sistema energético de baixo carbono', que incorpora diferentes sub-regimes (sistemas de produção e consumo de energia).

Desta maneira, ao mesmo tempo em que o ‘artefato’ relevante da TEBC seria um conjunto tecnológico, sua heurística e paradigma girariam em torno do critério de ‘adici-

onalidade' quanto ao desempenho de emissões. Como se demonstrou nas transições energética históricas e na conjectura evolucionária, o desenvolvimento tecnológico é necessário, porém não suficiente para explicar trajetórias energéticas. As condições e dinâmica dos regimes sociotécnicos precisam estar alinhadas para que transições ocorram. O desenvolvimento de tecnologia líderes, cuja a produção e consumo se torne generalizada, acelera este processo, mas novamente requer que outros elementos do regime (como sociedade e instituições) estejam em condições de se adaptar as transformações geradas. Para além da competitividade por custos ("máxima dos preços"), existem canais de indução que podem promover mudanças no regime (e.g. políticas). Por exemplo, se considerarmos o lado do contexto ('paisagem'), no futuro as mudanças climáticas poderão gerar efeitos tão perturbadores que desencadeariam uma seqüência de transformações nos regimes, abrindo espaços diversos de oportunidade para novas tecnologias e conformações sociotécnicas.

Paralelamente ao paradigma, o mesmo critério de desempenho seria incorporado nas preferências dos agentes do sistema energético (ambiente de seleção); sistema este entendido como um regime múltiplo, reunindo os subsistemas de produção de energia (e.g. extração mineral, produção de biomassa e geração elétrica) e consumo (e.g. agricultura, indústria, residências e transportes). Quando paradigmas e ambiente de seleção interagem a partir de elementos comuns, são criadas as trajetórias tecnológicas, fonte de transformações que caracterizariam as transições energéticas.

É dentro deste contexto dinâmico que as políticas surgiriam, concebidas a partir dos chamados referenciais, cujas bases advém dos recursos disponíveis e visões de mundo dentro do Estado (MULLER, 2000). Sendo gradientes cognitivos, referenciais geram respostas distintas de políticas mesmo que para problemas e objetivos similares. É no contexto das políticas que se concentram os estudos de caso propostos. Foram realizados estudos de caso dos países: Estados Unidos, França, Alemanha, Japão e Brasil.

Partiu-se da hipótese de que com referenciais de política convergentes aos objetivos da TEBC, as políticas atuariam guiando e promovendo trajetórias tecnológicas compatíveis. Estas trajetórias, ao coevolurem nos sistemas sociotécnicos, permitiriam a construção e estabilização de um novo regime energético de baixo carbono. Logo, mesmo que relevantes, as políticas seriam apenas um elemento do complexo sistema sociotécnico.

Para avaliar se os referenciais de política de fato têm convergido para uma TEBC, seria necessário avaliar se políticas têm priorizado a pesquisa por tecnologias de baixo carbono e/ou facilitado sua adoção nos sistemas energéticos. No primeiro caso, programas de pesquisa são os melhores exemplos de políticas em paradigmas tecnológicos. Já no

segundo caso, um conjunto amplo de iniciativas podem estar presentes, buscando modificar o ambiente de seleção sociotécnico.

Na avaliação dos referenciais de políticas no ambiente de seleção, políticas nacionais foram organizadas a partir de uma nova tipologia de ‘estratégias de desenvolvimento energético’, e comparadas entre períodos chamados ‘momentums de política energética’ (1970-1985 e 2000-2015).

A identificação da convergência de referenciais a uma TEBC ocorreria ao surgir uma concentração de políticas em um grupo restrito de ‘estratégias de desenvolvimento energético’. São elas:

- (i) ***Energo-expansivas***: com adições de fontes que estejam de acordo com o critério de desempenho, i.e., focadas em opções de baixo carbono;
- (ii) ***Energo-reprodutivas***: manutenção de fontes preexistentes de baixa emissão;
- (iii) ***Energo-substitutivas***: substituição de fontes intensivas por outras menos intensivas em emissões;
- (iv) ***Energo-poupadoras***: redução do próprio consumo de energia por avanços em eficiência e conservação (minorando as pressões quanto a emissões).

Assim, com os estudos de caso buscou-se responder a pergunta: *Houve mudança dos referenciais de políticas nos países?*

A partir dos estudos de caso dos países desenvolvidos (Estados Unidos, França, Alemanha e Japão), demonstrou-se que em todos os casos haveria convergência no âmbito dos paradigmas tecnológicos. Esta convergência seria explicada pela observância da mudança de perfil de seus programas de P&D para o setor de energia. Da predominância da pesquisa em tecnologia nuclear e, para alguns países, energias fósseis nos anos 1970, houve migração dos esforços de pesquisas em direção a energias renováveis, eficiência e tecnologias transversais em anos recentes. Aqui, valem dois comentários importantes quanto à fonte nuclear: (i) a pesquisa quanto à tecnologia nuclear, em especial à época, tem motivações não só energéticas, mas também militares, o que obscurece seus reais objetivos quanto despesas públicas; e (ii) não haveria unanimidade nos referenciais de política quanto a considerar a fonte nuclear como solução de baixo carbono, devido a fatores políticos e, em particular, critérios implícitos de sustentabilidade (como discutido anteriormente).

Ademais, no que tange os esforços em tecnologias transversais, vale o destaque que muitas das tecnologias recentes requerem atributos que os sistemas energéticos não apresentam, e tampouco foram destinados a suportar quando de sua concepção. O exemplo mais evidente seria a da incorporação de fontes renováveis variáveis em sistemas elé-

tricos, requerendo maior grau de flexibilidade operativa. Os ‘desequilíbrios tecnológicos’ (ROSENBERG, 1976), gerados por estas novas tecnologias, demandam esforços cada vez maiores de adaptação às suas características distintas.

Para o caso das políticas orientadas ao ambiente de seleção, observou-se uma maior heterogeneidade. Alguns países apresentaram estratégias convergentes ao longo do tempo, outros não.

Os americanos apresentaram ganhos com relação à emissões, muito influenciado pelos recursos não convencionais, e pelo ativismo a nível de seus principais Estados. Quiçá sua “complacência” quanto às políticas energéticas tenha sido deixada no passado, tendo agora o debate da TEBC como estímulo. Assim, no caso americano, indícios mais fortes de convergência foram observados somente a partir do final de seu segundo momentum de política energética.

Já os franceses tiveram avanços na redução de emissões ao longo do tempo e têm explicitado seu interesse pela agenda do clima, com o desafio de gerir suas vantagens relativas adquiridas no passado, fortemente associada à opção nuclear. De forma geral, os franceses avançam quanto à convergência de referencial, apresentando políticas explícitas quanto à mitigação de emissões. No entanto, o desafio dos franceses é avançar nesta convergência, garantindo a manutenção da sua estrutura energética sob questionamento, i.e., devido às dúvidas quanto à legitimidade da fonte nuclear.

Os alemães estão claramente comprometidos em avançar nessa agenda, tendo efeitos visíveis na sua estrutura energética. Suas políticas passaram a seguir estratégias explícitas quanto aos objetivos climáticos, sendo um desafio constante a implementação de objetivos cada vez mais ambiciosos.

Os japoneses, por sua vez, pouco mudaram sua estratégia ao longo do tempo, com a convicção de que a opção nuclear estaria alinhada não apenas aos objetivos de segurança do abastecimento, mas também aos seus objetivos climáticos. Por este e outros motivos, mesmo sendo vanguarda na tecnologia solar, não se tornaram liderança em sua produção. Vale o destaque, que apesar de sua “angústia” frente aos desafios da dependência energética, a cultura japonesa orientada para o longo prazo, pode gerar soluções aderente às necessidades energéticas e compromissos do clima.

Restaria, então, a avaliação do caso brasileiro, como caso contrastante aos países desenvolvidos analisados. No caso brasileiro, seriam ainda fracos os indícios de convergência de seu referencial de políticas. Apesar da convergência quanto à estratégia de inserção internacional brasileira (caracterizada pelas mudanças de perfil de sua pauta de política externa) e de seus objetivos explicitados na assinatura do Acordo de Paris, ainda

não estaria clara a estratégia de longo prazo para o setor de energia brasileiro, que coloque de fato o clima em primeiro plano.

No âmbito dos paradigmas tecnológicos, os esforços de pesquisa no Brasil têm sido orientados pelas dinâmicas setoriais (eletricidade, petróleo e gás). Se antes tinha-se como destaque as iniciativas de empresas estatais federais, hoje tem-se como destaque os incentivos de regulação setorial. Neste sentido, apesar de algumas tentativas de influenciar temáticas de pesquisa¹¹¹, as políticas nacionais se abstiveram de pautar as escolhas tecnológicas.

Por outro lado, no que se refere ao ambiente de seleção, foram desenvolvidas diversas políticas alinhadas aos objetivos do clima, seja no setor elétrico (e.g. leilões de capacidade com predomínio de energias renováveis), seja no setor de transportes (e.g. misturas de biocombustíveis). Ao mesmo tempo, estarão presentes outras políticas que acabaram por contribuir para a piora no desempenho global brasileiro em emissões no setor de energia (e.g. subsídios a combustíveis, incentivos à aquisição de veículos).

Questões como uma TEBC, tornaram-se subsidiárias na agenda brasileira de políticas, sobretudo ao se defrontarem a desafios de mais curto prazo, sejam eles econômicos ou políticos. Além disso, as perspectivas quanto à produção de petróleo e gás são promissoras, incorporando-se na visão de longo prazo nacional. Esta visão, mesmo que, porventura, atenuada pela expansão interna de biocombustíveis e exportação de petróleo cru, está em desacordo com o referencial da TEBC.

Finalmente, nos restaria retornar à nossa questão central da tese: *Existiria um novo padrão de políticas para uma transição energética de baixo carbono?*

Apesar do fortalecimento da agenda climática e do aprofundamento da globalização (integrando economias, comunidade científica, e internacionalizando empresas), permitindo a difusão mais acelerada de novas tecnologias, não haveriam respostas de política padronizadas (i.e., homogêneas) aos problemas climáticos. Isto é resultado, como se viu, de referenciais de política nacionais bastante variados.

Assim, similarmente ao que demonstrou Ikenberry (1986) no caso de respostas aos choques do petróleo, foram identificadas estratégias distintas entre os países, apesar de seus desafios serem semelhantes. O que podemos afirmar é que haveriam "estratégias de desenvolvimento energético" compatíveis aos objetivos do clima. A partir da observância dessas estratégias é possível identificar se os referenciais de política são conver-

¹¹¹ Um exemplo é a proposta de lei (PLS n° 696, de 2015) que visa o uso obrigatório dos recursos das cláusulas de P&D da ANEEL e ANP para pesquisa em fontes alternativas.

gentes a uma TEBC; logo, promovendo a construção de um regime de baixo carbono. Obviamente, convergências de referenciais a dados objetivos não são imutáveis, podendo variar a partir de mudanças de prioridade das políticas, o que coloca o desafio de acompanhar de perto as pautas políticas e seus objetivos intrínsecos ao longo do tempo.

Vale reforçar que as políticas energéticas estão inseridas no universo das políticas públicas, que são direcionadas por múltiplos objetivos, instrumentos e instituições (BICALHO et al., 2007). Aparentemente para uma transição energética desta magnitude ocorrer, será cada vez mais importante integrar outras políticas (econômica, ambiental, tecnológica, social, industrial) como meio de atender as transformações em vista, tornando cada vez mais heterogêneas as possibilidades de políticas para o setor.

O fato dos objetivos climáticos estarem baseados no longuíssimo prazo, impulsiona os países a estabelecerem diretrizes e estruturarem seu planejamento energético. Os objetivos finais e diretrizes de longo prazo podem ser similares, mas as ênfases e instrumentos de curto prazo são bastante diferenciados. A forma em que cada país encara desafios é necessariamente diferente, dependendo da disponibilidade de recursos naturais, humanos, de capital, institucionais e das condições existentes.

Portanto, as diretrizes e objetivos de longo prazo, tendo criado sua legitimidade política a partir de suas premissas (e.g. metas de emissões), permitem a estruturação de estratégias de desenvolvimento energético na direção de trajetórias tecnológicas.

Dentre as limitações da análise realizada até aqui, temos que, ao nos concentrarmos em políticas no âmbito nacional, perdemos de vista iniciativas em prol de uma TEBC ao nível subnacional que têm se mostrado bastante relevantes. Ademais, não se avaliou em profundidade a eficácia das políticas em transformar os sistemas energéticos (*ex post*), dado que a análise teve como foco uma etapa anterior, a de suas estratégias e referenciais (*ex ante*). Limitações quanto às omissões também podem se fazer presentes, em particular quando da revisão da ampla literatura de transições e de eventuais elementos históricos aqui não descritos (e.g. como políticas não explicitadas).

Com os elementos e conceitos trazidos por esta tese, abrem-se algumas linhas de investigação a serem exploradas. A primeira delas seria analisar, por exemplo, processos transitivos em outros países, adotando a tipologia das “estratégias de desenvolvimento energético” e, assim captando não somente referenciais de política, mas também comportamentos de outros atores do sistema sociotécnico (como os da sociedade civil ou empresas).

Outra frente de pesquisa seria a de se estudar as causas e características da formação dos ‘momentum de política energética’ identificados nesta tese. Além disso, poderiam

ser estudados casos que explicitem os dilemas da dicotomia das agendas do clima e sustentabilidade na escolha de fontes energéticas; ou ainda, estudos mais aprofundados das trajetórias energéticas dos países, em particular a do Brasil. Neste último caso, sugere-se avançar na análise de sua trajetória ao longo do século XX, analisando não apenas suas opções energéticas em termos de consumo (quantidades), mas também em termos de preços, suas iniciativas temáticas em pesquisa, assim como seus referenciais nos diversos regimes políticos do século.

Conclui-se que, no contexto de busca por transformações profundas nos sistemas energéticos, as políticas nacionais precisam realizar sua própria “transição”. Uma transição que se associa não só a objetivos para além da esfera nacional (como os climáticos), mas também frente a desafios impostos por mudanças de paradigmas tecnológicos e organizacionais de sua própria sociedade.

Finalmente, a transição energética de baixo carbono, como processo aberto por natureza, será fonte perene de dúvidas e desafios. Mesmos que trajetórias, ou mesmo regimes de baixo carbono, não tenham se tangibilizado nos sistemas de energia, o movimento de transformação em direção a TEBC passa a ser visível no âmbito de pesquisa, com consequências de médio e longo prazos. Este fato reforça o interesse em estudá-la, contribuindo para esta temática ampla, emergente e desafiadora.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEMANHA. CHANCELER (2005-PRESENTE: ANGELA MERKEL). **World must secure “binding” climate deal in Paris: Merkel - Business Insider** Bundestag, 25 nov. 2015. Disponível em: <<https://www.businessinsider.com/afp-world-must-secure-binding-climate-deal-in-paris-merkel-2015-11>>. Acesso em: 31 mar. 2019

ANDRIOSOPOULOS, K.; SILVESTRE, S. French energy policy: A gradual transition. **Energy Policy**, v. 106, p. 376–381, 1 jul. 2017.

ARAÚJO, K. The emerging field of energy transitions: Progress, challenges, and opportunities. **Energy Research & Social Science**, v. 1, p. 112–121, 1 mar. 2014.

ARROW, K. J. The Economic Implications of Learning by Doing. **The Review of Economic Studies**, v. 29, n. 3, p. 155–173, 1962.

ASHBY, M. F. (ED.). **Materials and the Environment**. 2nd Edition ed. Boston: Butterworth-Heinemann, 2013.

AYRES, R. U. Life cycle analysis: A critique. **Resources, Conservation and Recycling**, Life Cycle Management. v. 14, n. 3, p. 199–223, 1 set. 1995.

BASSO, L. D. S. **Domestic determinants of international cooperation : an analysis of the intricate relationship between energy politics and climate change mitigation**. Tese de Doutorado em Relações Internacionais—Brasília: Universidade de Brasília, 14 set. 2018.

BASTOS, V. **Fundos Públicos para Ciência e Tecnologia**. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, dez. 2003. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/revista/rev2008.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2019.

BICALHO, R. et al. **Ensaio sobre Política Energética**. Rio de Janeiro: Grupo de Economia da Energia, Instituto de Economia, UFRJ. Interciência: IBP, 2007.

BNDES; CGEE. **Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável**. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2008.

BORDOFF, J.; HALFF, A.; LOSZ, A. NEW REALITIES, NEW RISKS: RETHINKING THE STRATEGIC PETROLEUM RESERVE. **Columbia Center on Global Energy Policy**, p. 68, 2018.

BÖSCH, F. Energy Diplomacy: West Germany, the Soviet Union and the Oil Crises of the 1970s. **Historical Social Research / Historische Sozialforschung**, v. 39, n. 4 (150), p. 165–185, 2014.

BP. **BP Statistical review of world energy 2016**. London: British Petroleum Co., 2016.

BP. **Statistical Review of World Energy**. Disponível em: <[/content/bp/business-sites/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html](https://www.bp.com/content/bp/business-sites/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html)>. Acesso em: 31 mar. 2019.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO PETRÓLEO. **Anuário Estatístico 1978**. Brasília: Conselho Nacional do Petróleo, 1978.

BRASIL. ITAMARATY. **Base Concórdia**. Disponível em: <<https://concordia.itamaraty.gov.br/>>. Acesso em: 2 abr. 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Anuário estatístico do departamento nacional de combustíveis**. Brasília: Departamento Nacional de Combustíveis - DNC. Ministério de Minas e Energia, 1995.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional 2017**. Brasília: Empresa de Pesquisa Energética, 2017. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>>. Acesso em: 31 mar. 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada: para consecução do objetivo da Convenção-quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Ministério do Meio Ambiente, , 2015. Disponível em: <http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2019

BUTTIGIEG, S. **Transition énergétique : stratégies d'innovation des groupes électriques européens**. thesis - Paris Sciences et Lettres, 30 set. 2016.

CALDER, K. E. Japan's Energy Angst: Asia's Changing Energy Prospects and the View from Tokyo. **Strategic Analysis**, v. 32, n. 1, p. 123–129, 27 fev. 2008.

CASTELLACCI, F. Evolutionary and New Growth Theories. Are They Converging? **Journal of Economic Surveys**, v. 21, n. 3, p. 585–627, 2007.

CGEE. **Prospecção tecnológica no setor de energia elétrica: Diagnóstico da CT&I no setor elétrico brasileiro**. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2017. Disponível em: <https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/aneel_2017_1-8.pdf/4363cc8a-d56b-4004-925d-fe72180f2257?version=1.4>. Acesso em: 29 mar. 2019.

CHERP, A. et al. Comparing electricity transitions: A historical analysis of nuclear, wind and solar power in Germany and Japan. **Energy Policy**, v. 101, p. 612–628, 1 fev. 2017.

CHEVALIER, J.-M. et al. **Les effets d'un prix du pétrole élevé et volatil**: Rapport Direction de l'information légale et administrative. Paris: Documentation Française, 2010.

CHILDS, W. Energy Policy and the Long Transition in America Origins: Current Events in Historical Perspective. v. 5, n. 2, 2011.

COCHRAN, C. E. et al. **American Public Policy: An Introduction**. 10 edition ed. Boston, MA: Wadsworth Publishing, 2011.

CORDEN, W. M.; NEARY, J. P. Booming Sector and De-Industrialisation in a Small Open Economy. **The Economic Journal**, v. 92, n. 368, p. 825–848, 1982.

DAHMEËN, E. ‘Development Blocks’ in Industrial Economics. In: CARLSSON, B. (Ed.). **Industrial Dynamics: Technological, Organizational, and Structural Changes in Industries and Firms**. Studies in Industrial Organization. Dordrecht: Springer Netherlands, 1989. p. 109–121.

DE STERCKE, S. **Dynamics of Energy Systems: A Useful Perspective**: IIASA Interim Report. Laxenburg, Austria: IIASA, jul. 2014. Disponível em: <<http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/11254/>>. Acesso em: 29 mar. 2019.

DOSI, G. Technological paradigms and technological trajectories: A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. **Research Policy**, v. 11, n. 3, p. 147–162, 1 jun. 1982.

DOSI, G. Technical Change and Industrial Transformation: The Patterns of Industrial Dynamics. In: DOSI, G. (Ed.). **Technical Change and Industrial Transformation: The Theory and an Application to the Semiconductor Industry**. London: Palgrave Macmillan UK, 1984. p. 86–217.

DOSI, G.; NELSON, R. R. The Evolution of Technologies: An Assessment of the State-of-the-Art. **Eurasian Business Review**, v. 3, n. 1, p. 3–46, 1 jun. 2013.

DUFFIELD, J. S.; WOODALL, B. Japan’s new basic energy plan. **Energy Policy**, v. 39, n. 6, p. 3741–3749, 1 jun. 2011.

EIA. **U.S. Energy Information Administration (EIA)**. Database. Disponível em: <<https://www.eia.gov/>>. Acesso em: 31 mar. 2019.

ENFLO, K.; KANDER, A.; SCHÖN, L. **Development blocks and the second industrial revolution – Sweden 1900-1970**: Papers in Innovation Studies. Lund University, CIR-CLE - Center for Innovation, Research and Competences in the Learning Economy, 1 out. 2006. Disponível em: <https://ideas.repec.org/p/hhs/lucirc/2006_010.html>. Acesso em: 29 mar. 2019.

ERBER, F.; AMARAL, L. Os centros de pesquisa das empresas estatais: um estudo de tres casos. In: SCHWARTZMAN, S. (Ed.). **Estado atual e papel futuro da ciência e tecnologia no Brasil**. Rio de Janeiro: FGV/PADCT/MCT, 1994. p. 78.

ESTADOS UNIDOS. **National Energy Policy: Reliable, Affordable, and Environmentally sound energy for America’s future**. Disponível em: <<https://trid.trb.org/view/753699>>. Acesso em: 31 mar. 2019.

ESTADOS UNIDOS. PRESIDENTE (1961–1963: JOHN F. KENNEDY). **“Peace Speech”** Washington, D.C., 10 jun. 1963.

ESTADOS UNIDOS. PRESIDENTE (2009-2017: BARACK OBAMA). **Statement by the President on the Paris Climate Agreement** Casa Branca, Washington D.C., 12 dez. 2015. Disponível em: <<https://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/2015/12/12/statement-president-paris-climate-agreement>>. Acesso em: 31 mar. 2019

FANKHAUSER, S.; STERN, N. **Climate Change, Development, Poverty and Economics**. Centre for Climate Change Economics and Policy, 2016.

FELDER, F. A. Nuclear Power in the Second Obama Administration. **The Electricity Journal**, v. 26, n. 2, p. 25–31, 1 mar. 2013.

FEPC. **Electricity review Japan 2007**. Tokyo, Japan: The Federation of Electric Power Companies of Japan (FEPC), 2008. Disponível em: <http://www.fepec.or.jp/english/library/electricity_eview_japan/_icsFiles/afieldfile/2008/09/11/20071.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2019.

FERRAZ, C.; TAVARES, F. Economia, Indústria e Geopolítica Energética. In: SANTOS, T.; SANTOS, L. (Eds.). . 1ed. ed. Rio de Janeiro: Grupo Editorial Nacional - GEN, 2018. v. 1p. 166–182.

FOUQUET, R. A brief history of energy. In: EVANS, J.; HUNT, L. C. (Eds.). **International Handbook on the Economics of Energy**. Cheltenham: Edward Elgar, 2009.

FOUQUET, R. Historical energy transitions: Speed, prices and system transformation. **Energy Research & Social Science**, v. 22, p. 7–12, 1 dez. 2016.

FRANÇA. MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE. **Tableau de bord de la fiscalité énergétique. Document de travail**. Commissariat Général Au Développement Durable. Service de l'observation et des statistiques., 2015.

FRANÇA. MINISTRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE L'ENERGIE ET DE LA MER. **Programmation Pluriannuelle de l'Énergie - Synthèse**. Relations internationales pour le Climat, , 2016.

FRANÇA. PRESIDENTE (2012-2017: FRANÇOIS HOLLANDE). **Discurso no World Economic Forum's Annual Meeting**. Davos, 2015. Disponível em: <<https://www.weforum.org/agenda/2015/01/13-quotes-from-francois-hollande-at-davos-2015/>>. Acesso em: 31 mar. 2019

FREEMAN, C. **The Economics of Industrial Innovation**. MIT Press, 1982.

FREEMAN, C.; PEREZ, C. Structural crises of adjustment: Business cycles and investment behavior. In: DOSI, G. et al. (Eds.). . **Technical change and economic theory**. London: Pinter Publishers, 1988. p. 38–66.

FREEMAN, C.; SOETE, L. **The Economics of Industrial Innovation**. MIT Press, 1997.

FRESSOZ, J.-B. **Pour une histoire désorientée de l'énergie**. (D. Thevenot, Ed.)25èmes Journées Scientifiques de l'Environnement - L'économie verte en question. **Anais: Journées Scientifiques de l'Environnement**.Créteil, France: fev. 2014 Disponível em: <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00956441>>. Acesso em: 28 mar. 2019

FUCK, M. et al. P&D de interesse público? Observações a partir do estudo da empresa e da Petrobras. **Engevista**, v. 9, n. 2, p. 85–99, dez. 2007.

GALLAGHER, K.; ANADON, L. **DOE Budget Authority for Energy Research, Development, and Demonstration Database**.The Fletcher School, Tufts University; Department of Land Economy, University of Cambridge; and Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School, 2017.

GAZETA MERCANTIL. **Análise Setorial: A Indústria do Petróleo**. Volume III. São Paulo. abr. 1999

GEELS, F. W. Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. **Research Policy**, NELSON + WINTER + 20. v. 31, n. 8, p. 1257–1274, 1 dez. 2002.

GEELS, F. W. From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. **Research Policy**, v. 33, n. 6, p. 897–920, 1 set. 2004.

GEELS, F. W. Ontologies, socio-technical transitions (to sustainability), and the multi-level perspective. **Research Policy**, Special Section on Innovation and Sustainability Transitions. v. 39, n. 4, p. 495–510, 1 maio 2010.

GEELS, F. W. The multi-level perspective on sustainability transitions: Responses to seven criticisms. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, v. 1, n. 1, p. 24–40, 1 jun. 2011.

GEELS, F. W.; SCHOT, J. Typology of sociotechnical transition pathways. **Research Policy**, v. 36, n. 3, p. 399–417, 1 abr. 2007.

GRUBLER, A. Energy transitions research: Insights and cautionary tales. **Energy Policy**, Special Section: Past and Prospective Energy Transitions - Insights from History. v. 50, p. 8–16, 1 nov. 2012.

GRUBLER, A. The French Pressurised Water Reactor Programme. In: GRUBLER, A.; WILSON, C. (Eds.). **Energy Technology Innovation: Learning from Historical Successes and Failures**. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.

HANSEN, J.-P.; PERCEBOIS, J. **Énergie: Economie et politiques**. Première Édition ed. Bruxelles: De Boeck, 2015.

HAZOUARD, S. **Les politiques énergétiques française et allemande des années 1970 à la transition énergétique** Les carnets de recherche du CIERA, 2015. Disponível em: <<https://ciera.hypotheses.org/788>>. Acesso em: 29 mar. 2019

HEINRICH BÖLL FOUNDATION. **Energy Transition: The German Energiewende**. Germany. 2016

HELM, D. The future of fossil fuels—is it the end? **Oxford Review of Economic Policy**, v. 32, n. 2, p. 191–205, 15 abr. 2016.

HÉMERY, D.; DEBEIR, J. C.; DELÉAGE, J. P. **Uma história da energia**. UNB, Brasília, 1993.

HIRSCHMAN, A. O. **The Strategy of Economic Development**. New Haven: Yale University Press, 1958.

HUBBERT, M. **Nuclear Energy and the Fossil Fuels**. Houston, United States: Shell Development Company, Exploration and Production Research Division, 1956. Disponível em: <<http://www.hubbertype.com/hubbertype/1956/1956.pdf>>. Acesso em: 28 mar. 2019.

IBGE. **Estatísticas Históricas do Brasil. Séries Econômicas, Demográficas e Sociais de 1550 a 1988**. 2ed. ed. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 1990.

IBP. **Arrecadação e execução de fundos para o CT-PETRO (1998 – 2015)**IBP, 2017. Disponível em: <<https://www.ibp.org.br/observatorio-do-setor/arrecadacao-e-execucao-de-fundos-para-o-ct-petro/>>. Acesso em: 3 abr. 2019

IEA. **Energy Policies of IEA Countries: The United States. 2007 Review**. Paris: International Energy Agency. OECD, 2008.

IEA. **Energy Policies of IEA Countries: France 2009 Review**. Paris: International Energy Agency. OECD, 2010.

IEA. **Energy Policies of IEA Countries: Germany 2013 Review**. Paris: International Energy Agency. OECD, 2013.

IEA. **World Energy Outlook 2014**. Paris: International Energy Agency. OECD, 2014.

IEA. **IEA World Energy Balances**. Paris: International Energy Agency. OECD, 2018a.

IEA. **Electricity Information Statistics 2018**. Paris: International Energy Agency. OECD, 2018b.

IEA. **World Energy Outlook 2018**. Paris: International Energy Agency. OECD, 2018c.

IEA. **Energy Technology RD&D Statistics**. Database. Paris: International Energy Agency. OECD, 2019d.

IEA. **Policies and Measures Databases**. Paris: International Energy Agency. OECD, 2019e.

IKENBERRY, G. J. The irony of state strength: comparative responses to the oil shocks in the 1970s. **International Organization**, v. 40, n. 1, p. 105–137, 1986.

IPCC. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2013

IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Geneva, Switzerland: IPCC, 2014.

IRENA. **Power System Flexibility for the Energy Transition**. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2018.

JAPÃO. **Action Plan for Achieving a Low-carbon Society**, 2008. Disponível em: <<https://japan.kantei.go.jp/policy/ondanka/final080729.pdf>>. Acesso em: 29 mar. 2019

JAPÃO. MINISTÉRIO DA ECONOMIA, COMÉRCIO E INDÚSTRIA DO JAPÃO. **Strategic Energy Plan**, 2014.

JAPÃO. PRIMEIRO MINISTRO (2012-PRESENTE: SHINZŌ ABE). **Discurso durante a COP 21 em Paris. 13 dezembro 2015**. Paris, 13 dez. 2015.

JORDAN-KORTE, K. **Government Promotion of Renewable Energy Technologies: Policy Approaches and Market Development in Germany, the United States, and Japan**. Gabler Verlag, 2011.

KANDER, A.; MALANIMA, P.; WARDE, P. **Power to the People: Energy in Europe over the Last Five Centuries**. Princeton University Press, 2013.

KAS. **History of Energy and Climate Energy Policy in Germany: CDU perspectives 1958-2014**. EKLA-KAS Programme. Konrad Adenauer Stiftung, 2015. Disponível em: <https://www.kas.de/c/document_library/get_file?uuid=57153b6c-1ac9-6dd4-4048-b7e8732ba709&groupId=252038>. Acesso em: 29 mar. 2019.

KEMP, R. Technology and the transition to environmental sustainability: The problem of technological regime shifts. **Futures**, v. 26, n. 10, p. 1023–1046, 1 dez. 1994.

KEMP, R.; ROTMANS, J. The Management of the Co-Evolution of Technical, Environmental and Social Systems. In: WEBER, M.; HEMMELSKAMP, J. (Eds.). **Towards Environmental Innovation Systems**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2005. p. 33–55.

KERN, F.; KUZEMKO, C.; MITCHELL, C. Measuring and explaining policy paradigm change: the case of UK energy policy. **Policy & Politics**, v. 42, p. 513–530, out. 2014.

KÖBERLE, A. C. et al. Are conventional energy megaprojects competitive? Suboptimal decisions related to cost overruns in Brazil. **Energy Policy**, v. 122, p. 689–700, 1 nov. 2018.

KUHN, T. S. **The Structure of Scientific Revolutions**. Chicago, IL: University of Chicago Press, 1962.

LANDES, D. S. **The Unbound Prometheus: Technological Change and Industrial Development in Western Europe from 1750 to the Present**. 2 edition ed. Cambridge, UK ; New York: Cambridge University Press, 2003.

LEITE, A. **A Energia do Brasil**. 2 ed. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

LOORBACH, D.; FRANTZESKAKI, N.; AVELINO, F. Sustainability Transitions Research: Transforming Science and Practice for Societal Change. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 42, n. 1, p. 599–626, 17 out. 2017.

LOSEKANN, L. **MP 579: Prorrogação das concessões e apropriação da renda inframarginal** Blog **Infopetro**, 8 out. 2012. Disponível em: <<https://infopetro.wordpress.com/2012/10/08/mp-579-prorrogacao-das-concessoes-e-apropriacao-da-renda-inframarginal/>>. Acesso em: 29 mar. 2019

LOSEKANN, L. **Impactos da crise elétrica e as próximas páginas do setor elétrico brasileiro** Blog **Infopetro**, 9 jun. 2014. Disponível em: <<https://infopetro.wordpress.com/2014/06/09/impactos-da-crise-eletrica-e-as-proximas-paginas-do-setor-eletrico-brasileiro/>>. Acesso em: 29 mar. 2019

LOSEKANN, L.; TAVARES, F. **Política energética nos BRICS: Desafios da transição energética**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA, 2019.

LUNDEVALL, B.-Å. **National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning**. Pinter Publishers, 1992.

MAINCENT, E.; NAVARRO, L. **A policy for industrial champions: from picking winners to fostering excellence and the growth of firms**. Industrial Policy and Economics Reforms Paper. DG Enterprise and Industry: European Commission, 2006.

MARCHETTI, C.; NAKICENOVIC, N. **The Dynamics of Energy Systems and the Logistic Substitution Model**: IIASA Research Report. Laxenburg, Austria: IIASA, 1979. Disponível em: <<http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/1024/>>. Acesso em: 28 mar. 2019.

MARKARD, J.; RAVEN, R.; TRUFFER, B. Sustainability transitions: An emerging field of research and its prospects. **Research Policy**, Special Section on Sustainability Transitions. v. 41, n. 6, p. 955–967, 1 jul. 2012.

MARTIN, J.-M. **Industrialisation & Developpement Energetique du Brésil**. Paris: Université de Paris, 1966.

MATHIEU, C. Fiscalité pétrolière: quelles marges de manœuvre pour la politique économique? **Revue de l'OFCE**, v. 37, n. 1, p. 51–77, 1991.

MAZZUCATO, M. Mission-oriented innovation policies: challenges and opportunities. **Industrial and Corporate Change**, v. 27, n. 5, p. 803–815, 1 out. 2018.

MEADOWCROFT, J. What about the politics? Sustainable development, transition management, and long term energy transitions. **Policy Sciences**, v. 42, n. 4, p. 323, 11 jul. 2009.

MEYER, D. et al. Brazilian ethanol: Unpacking a success story of energy technology innovation. In: GRUBLER, A.; WILSON, C. (Eds.). **Energy Technology Innovation: Learning from Historical Successes and Failures**. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.

MORAES, T.; TAVARES, F. **Análise Metodológica e Empírica acerca da Importância do “Setor Petróleo & Gás” na Economia Brasileira**. ResearchGate. Anais. In: RIO OIL & GAS EXPO AND CONFERENCE. Rio de Janeiro: 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/311297048_Analise_Metodologica_e_Empirica_acerca_da_Importancia_do_Setor_Petroleo_Gas_na_Economia_Brasileira>. Acesso em: 29 mar. 2019

MULLER, P. L'analyse cognitive des politiques publiques : vers une sociologie politique de l'action publique. **Revue française de science politique**, v. 50, n. 2, p. 189–208, 2000.

MULLER, P. **Les politiques publiques**. Presses Universitaires de France, 2009.

MULLER, P.; SUREL, Y. **A Análise das Políticas Públicas**. Pelotas: Educat, 2002. v. 3

MURAKAMI, T. The Remarkable Adaption of Japan's Economy. In: YERGIN, D.; HILLENBRAND (Eds.). **Global Insecurity**. [s.l: s.n.]. p. 142.

NELSON, R. R. Co-evolution of Industry Structure, Technology and Supporting Institutions, and the Making of Comparative Advantage. **International Journal of the Economics of Business**, v. 2, n. 2, p. 171–184, 1 jul. 1995.

NELSON, R. R. **An Evolutionary Theory of Economic Change**. Harvard University Press, 2009.

NELSON, R. R.; WINTER, S. G. **An Evolutionary Theory of Economic Change**. Belknap Press: An Imprint of Harvard University Press, 1982.

NOGUEIRA, L. A. H. Does biodiesel make sense? **Energy**, ECOS 2009. v. 36, n. 6, p. 3659–3666, 1 jun. 2011.

OLIVEIRA, P. V. D.; ALMEIDA, E. L. F. D.; LOSEKANN, L. Impactos da contenção dos preços de combustíveis no Brasil e opções de mecanismos de precificação. **Brazilian Journal of Political Economy**, v. 35, n. 3, p. 531–556, set. 2015.

PENNSYLVANIA STATE UNIVERSITY. **History of Major Energy Policy Landmarks**. Disponível em: <<https://www.e-education.psu.edu/geog432/node/116>>. Acesso em: 2 abr. 2019.

PINTO JR, H. Q. et al. **Economia da Energia**. 2ed. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Academic, 2016.

POLLITT, M. G.; ANAYA, K. L. Can current electricity markets cope with high shares of renewables? A comparison of approaches in Germany, the UK and the State of New York. **The Energy Journal**, v. 37, n. 01, 1 set. 2016.

PORTER, M. E. **The Competitive Advantage of Nations**. New York: Free Press, 1990.

POSSAS, M. L. Economia evolucionária neo-schumpeteriana: elementos para uma integração micro-macrodinâmica. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 281–305, 2008.

RIFKIN, J. **The Third Industrial Revolution: How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy, and the World**. St. Martin's Press, 2011.

RIP, A.; KEMP, R. Technological change. **Human choice and climate change. Vol. II, Resources and Technology**, p. 327–399, 1998.

ROBINSON, C. Energy policy: a full circle? In: FOUQUET, R. (Ed.) . **Handbook on Energy and Climate Change**. Cheltenham, UK. 2013

ROCHA, C. F. **Recursos naturales como alternativa para la innovacion tecnologica petroleo y gas en Brasil**. CIEPLAN, 2015. Disponível em: <http://www.cieplan.org/media/publicaciones/archivos/369/Recursos_naturales_como_alternativa_para_la_innovacion_tecnologica_petroleo_y_gas_en_Brasil.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2019.

ROSENBERG, N. **Perspectives on Technology**. CUP Archive, 1976.

RUBIO, M. D M. et al. Energy as an indicator of modernization in Latin America, 1890–1925. **The Economic History Review**, v. 63, n. 3, p. 769–804, 2010.

SACHS, J. D. Goal-based development and the SDGs: implications for development finance. **Oxford Review of Economic Policy**, v. 31, n. 3–4, p. 268–278, 1 jan. 2015.

SACHS, J. D.; WARNER, A. M. **Natural Resource Abundance and Economic Growth**. National Bureau of Economic Research, dez. 1995. Disponível em: <<http://www.nber.org/papers/w5398>>. Acesso em: 28 mar. 2019.

SALUT, S. Politique nationale du pétrole, sociétés nationales et « pétrole franc ». **Revue historique**, v. 638, n. 2, p. 355–388, 2006.

SAVIOTTI, P. Crescimento da variedade: implicações de política para os países em desenvolvimento. In: LASTRES, H.; CASSIOLATO, J.; ARROIO, A. (Eds.). . **Conhecimento, sistemas de inovação e desenvolvimento**. Rio de Janeiro: UFRJ: Contraponto, 2005.

SCHMIDT, T. S.; SEWERIN, S. Technology as a driver of climate and energy politics. **Nature Energy**, v. 2, p. 17084, 26 maio 2017.

SCHOT, J.; STEINMUELLER, W. E. Three frames for innovation policy: R&D, systems of innovation and transformative change. **Research Policy**, v. 47, n. 9, p. 1554–1567, 1 nov. 2018.

SCHREURS, M. A. **Environmental Politics in Japan, Germany, and the United States**. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.

SCHUTTE, G. R.; BARROS, P. S. A Geopolítica do etanol. **Boletim de Economia e Política Internacional - IPEA**, n. 1, p. 33–43, jan. 2010.

SGARBI, F. DE A. et al. An assessment of the socioeconomic externalities of hydropower plants in Brazil. **Energy Policy**, v. 129, p. 868–879, 1 jun. 2019.

SINHA, R. P. Japan and the Oil Crisis. **The World Today**, v. 30, n. 8, p. 335–344, 1974.

SMIL, V. World History and Energy. In: **Encyclopedia of Energy**. Elsevier, 2004. p. 549–561.

SMIL, V. **Energy Transitions: History, Requirements, Prospects**. ABC-CLIO, 2010.

SMIL, V. **Power Density: A Key to Understanding Energy Sources and Uses**. The MIT Press, 2015.

SOLOW, R. M. A Contribution to the Theory of Economic Growth. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 70, n. 1, p. 65–94, 1 fev. 1956.

SOUZA, A. DE; GUERRA, J. C. C.; KRUGER, E. L. Os programas brasileiros em eficiência energética como agentes de reposicionamento do setor elétrico. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v. 7, n. 12, 13 jun. 2011.

SOVACOOOL, B. K. How long will it take? Conceptualizing the temporal dynamics of energy transitions. **Energy Research & Social Science**, Energy Transitions in Europe: Emerging Challenges, Innovative Approaches, and Possible Solutions. v. 13, p. 202–215, 1 mar. 2016.

SOVACOOOL, B. K.; GEELS, F. W. Further reflections on the temporality of energy transitions: A response to critics. **Energy Research & Social Science**, v. 22, p. 232–237, 1 dez. 2016.

SOVACOOOL, B. K.; HESS, D. J. Ordering theories: Typologies and conceptual frameworks for sociotechnical change. **Social Studies of Science**, v. 47, n. 5, p. 703–750, 1 out. 2017.

STERN, N. **The Economics of Climate Change: The Stern Review**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

STERN, N. **Why Are We Waiting? The Logic, Urgency, and Promise of Tackling Climate Change**. The MIT Press, 2015.

TAKAHASHI, K. Sunshine project in Japan - solar photovoltaic program. **Solar Cells**, v. 26, n. 1, p. 87–96, 1 fev. 1989.

TAVARES, F. **Building Public Policies for Solar Mobility in France: a multicriteria analysis**. Dissertação de Mestrado. Orientador: Yannick Perez. Mestrado Erasmus Mundus Economics And Management Of Network Industries.—Paris: Université Paris Sud XI, 2013.

TAVARES, F. **Uma análise crítica do Plano 2015 Eletrobrás** Blog Infopetro, 2 maio 2016. Disponível em: <<https://infopetro.wordpress.com/2016/05/02/uma-analise-critica-do-plano-2015-eletobras/>>. Acesso em: 29 mar. 2019

TAVARES, F. B. **O Novo Posicionamento Estratégico das Empresas Estatais: O Caso do Sistema Eletrobras**. Monografia de Bacharelado em Ciências Econômicas—Rio de Janeiro: Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.

TAVARES, F.; LISBONA, D.; OLIVEIRA, P. Facilitadores da Transição Energética: Soluções Técnicas Para Países Latino-Americanos. **Revista Brasileira de Energia**, v. 24, n. n2, 2 Trim, p. 36–51, 2018.

TOLMASQUIM, M. (ED.). **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2016.

TOLMASQUIM, M. T. **Energie et mode de développement : la stratégie brésilienne d'adaptation aux chocs pétroliers : une comparaison avec la France et le Japon**. thesis—Paris, EHESS, 1 jan. 1990.

TORRES, A. **A Transição para a Sustentabilidade: O Caso do Etanol no Brasil**. Tese de Doutorado em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento—Rio de Janeiro: Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.

UNFCCC. **Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change**, 1997. Disponível em: <<https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>>. Acesso em: 28 mar. 2019

UNFCCC. **Paris Agreement**, 2015.

VALENTINE, S. V.; SOVACOOOL, B. K. The socio-political economy of nuclear power development in Japan and South Korea. **Energy Policy**, Special Section: Carbon Reduction at Community Scale. v. 38, n. 12, p. 7971–7979, 1 dez. 2010.

VOOSEN, P. **Meet Vaclav Smil, the man who has quietly shaped how the world thinks about energy** Science | AAAS, 21 mar. 2018. Disponível em: <<https://www.sciencemag.org/news/2018/03/meet-vaclav-smil-man-who-has-quietly-shaped-how-world-thinks-about-energy>>. Acesso em: 31 mar. 2019

WCED. **Our common future** World Commission on Environment and Development, , 1987. Disponível em:

<<https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>>. Acesso em: 28 mar. 2019

YANG, Z. **Practical lessons in vehicle efficiency policy: The 10-year evolution of France's CO2-based bonus-malus (feebate) system** International Council on Clean Transportation, 3 dez. 2018. Disponível em: <<https://www.theicct.org/blog/staff/practical-lessons-vehicle-efficiency-policy-10-year-evolution-frances-co2-based-bonus>>. Acesso em: 31 mar. 2019

YERGIN, D. **The Prize: The Epic Quest for Oil, Money & Power**. Simon and Schuster, 1990.

APÊNDICE

Tabela 7 – Correlação entre Orçamentos de P&D&D em Energia em países OCDE e o Preço do Petróleo 1974-2016

País	1974-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010	2011-2016	1974-2016	% Total Orçamento
Australia	**	0.43	0.38	0.52	0.77	0.53	1%
Áustria	-0.25	0.75	-0.64	0.58	-0.01	0.72	0%
Bélgica	-0.34	0.84	-0.44	**	0.44	0.50	1%
Canadá	0.53	0.58	0.30	0.66	0.81	0.73	4%
República Tcheca	**	**	**	0.53	0.89	0.67	0%
Dinamarca	0.54	-0.57	0.02	0.74	0.81	0.56	1%
Estônia	**	**	**	**	0.54	0.54	0%
Finlândia	**	**	-0.49	0.68	0.40	0.82	1%
França	**	0.56	0.10	0.51	0.88	0.80	5%
Alemanha	0.77	0.87	0.38	0.67	-0.77	0.47	7%
Grécia	0.68	0.52	-0.08	0.47	**	0.37	0%
Hungria	**	**	**	0.91	0.52	0.66	0%
Irlanda	0.91	0.84	**	0.83	-0.92	0.49	0%
Itália	0.99	0.27	0.43	0.53	0.18	0.10	5%
Japão	0.85	0.25	-0.23	-0.56	0.83	-0.03	24%
Coréia do Sul	**	**	**	0.73	-0.27	0.63	1%
Luxemburgo	**	**	**	**	**	**	0%
Holanda	0.56	0.66	-0.22	0.27	0.25	0.17	2%
Nova Zelândia	0.85	0.81	-0.26	0.83	0.79	0.68	0%
Noruega	0.74	-0.07	0.23	0.40	-0.11	0.49	1%
Polônia	**	**	**	-0.72	0.76	0.31	0%
Portugal	**	0.00	0.35	-0.34	-0.44	0.00	0%
Eslováquia	**	**	**	-0.58	0.76	0.69	0%
Espanha	0.84	0.58	0.33	0.47	0.40	0.42	1%
Suécia	0.77	0.96	0.47	0.19	-0.87	0.59	1%
Suíça	0.82	-0.68	-0.06	0.07	-0.95	-0.02	1%
Turquia	**	-0.32	-0.23	0.32	-0.40	0.22	0%
Reino Unido	0.21	0.84	0.39	0.60	-0.32	0.40	4%
Estados Unidos	0.67	0.92	0.29	0.28	0.36	0.62	39%
TOTAL	0.74	0.90	0.30	0.47	0.79	0.77	100%

Nota: Preço do Petróleo se refere-se a 1974-1983 Arabian Light (Ras Tanura) e 1984-2014 Brent Dated.

Fonte: *Elaboração própria com dados de IEA Energy Technology RD&D Statistics (IEA, 2018d) e BP Statistical World Review (BP, 2018)*

Tabela 8 – Políticas energéticas destacadas nos Estados Unidos

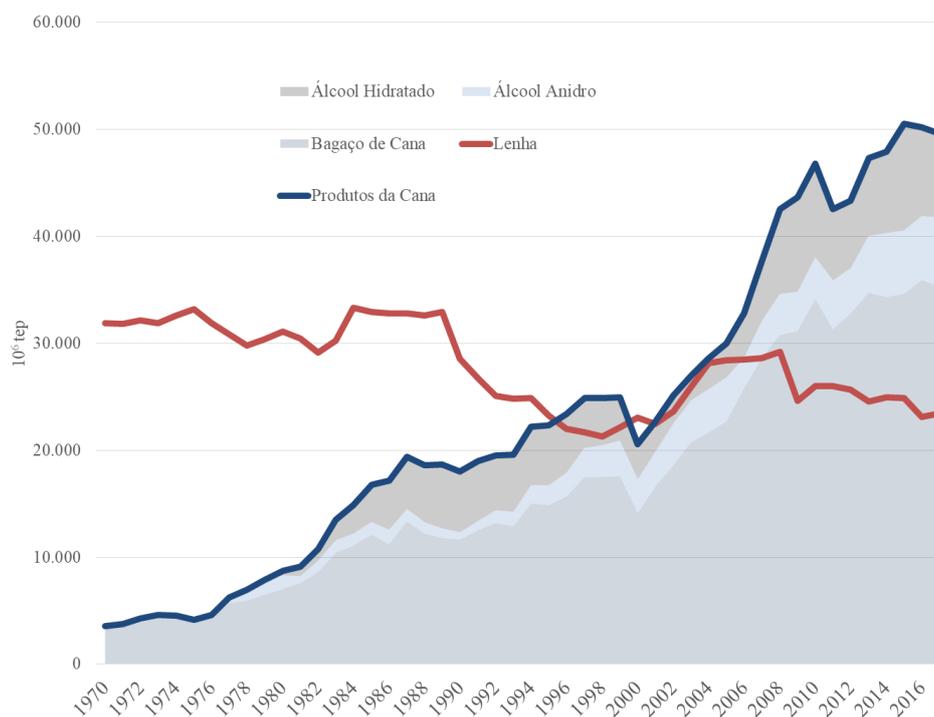
Ano	Descrição
1920	Federal Water Power Act : incentivou projetos de hidrelétricas, estabeleceu a Federal Power Commission
1935	Public Utility Holding Company Act : regulamentou a atividade de concessionárias de eletricidade e gás natural
1936	Rural Electrification Act : expandiu o acesso a eletricidade a partir de empréstimos federais
1938	Natural Gas Act : regulamentou o setor de gás (e.g. tarifas de transporte e venda de gás)
1946	Atomic Energy Act : trouxe ao domínio civil o desenvolvimento e gerenciamento de energia nuclear
1974	Energy Reorganization Act : reorganizou as atribuições entre os organismos referentes a armas e energia nuclear
1975	Energy Policy and Conservation Act : estabeleceu a Strategic Petroleum Reserves (SPR), padronização de economia de combustíveis para veículos, estendeu do controle de preços do petróleo
1977	Department of Energy Organization Act : criou o Departamento de energia (DOE) e a Comissão Federal Reguladora de Energia (FERC)
1978	National Energy Act : Incentivos e desincentivos fiscais estabelecidos, programas de combustíveis alternativos, iniciativas de eficiência energética e outras iniciativas regulatórias e baseadas no mercado em resposta à crise do petróleo no início da década. Compreendendo 5 Leis: Energy Tax Act, Natural Gas Policy Act, National Energy Conservation Policy Act, Power Plant and Industrial Fuel Use Act e Public Utility Regulatory Policies Act.
1980	Energy Security Act : leis de combustíveis sintéticos, energia de biomassa, renováveis, geotérmica, metas energéticas, programa de chuva ácida e definições quanto ao SPR.
1980	Ocean Thermal Energy Conversion Act : Promoveu o desenvolvimento da conversão de energia térmica oceânica.
1982	Nuclear Waste Policy Act : Diretrizes quanto aos resíduos radioativos nucleares
1992	Energy Policy Act : cria regulamentação do atacado de eletricidade, expansão do uso do gás e incentivos a alternativas energéticas.
2002	Farm Security and Rural Investment Act (Farm Bill) : programas energia e segurança nacional, desenvolvimento econômico rural e sustentabilidade ambiental à luz dos impactos da mudança climática
2005	Energy Policy Act : programas de eficiência, redes inteligentes, biocombustíveis e autoprodução.
2007	Energy Independence and Security Act : elevação dos objetivos do CAFE standards e outros programas de eficiência e conservação
2008	Food, Conservation, and Energy Act (Farm Bill) : provisões para biocombustíveis e energia rural
2009	The American Recovery and Reinvestment Act of 2009 : estímulo econômico em meio a crise. Créditos fiscais para programas de pesquisa, eficiência e infraestrutura energética.
2015	The Clean Power Plan : plano abrangente quanto a emissões de carbono nacional

Fonte: Adaptado de US DOE e PennState

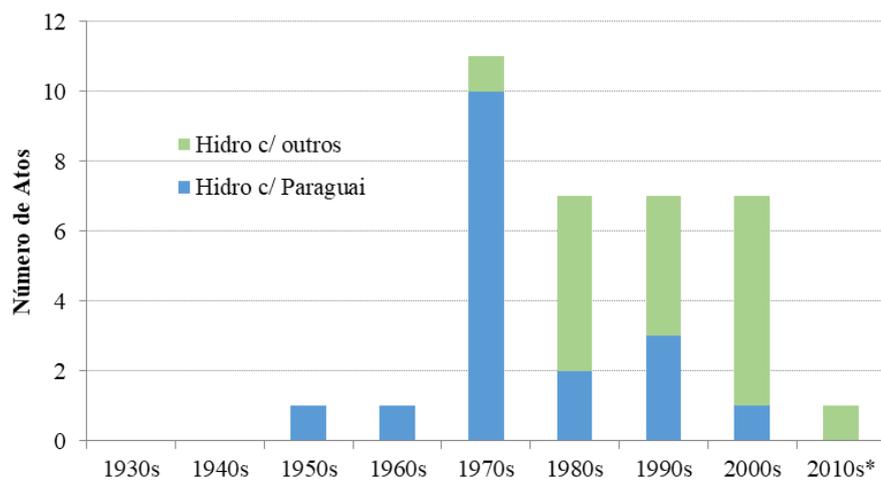
Tabela 9 – Políticas energéticas de destaque na França

Ano	Políticas e Medidas
2000-2004	• Transposição de directivas de liberalização da UE
	• Lei 2004-803 relativa ao serviço público das empresas de electricidade e gás
	• Plano Climático 2004-2012
2005	• Lei de Energia de 2005 (Lei 2005-781 de 13 de Julho de 2005, intitulada “Programme fixant les orientations de la politique énergétique - POPE”)
2006	• Duas novas leis sobre a Energia nuclear para a criação de uma autoridade de segurança independente e a gestão de materiais radioativos e resíduos
	• Revisão do Plano Climático 2004-2012
	• Lei 2006-1537 sobre incentivos financeiros para a energia
2007-2008	• Programa Grenelle de l'environnement definindo políticas e medidas e boas práticas em matéria de ambiente
	• Introdução do esquema 'bonus-malus' para emissões de veículos
2008- 2009	• Lei Grenelle I
	• Nova revisão do Plano Climático 2004-2012
2010	• Lei Grenelle II
2014	• Introdução da componente de carbono na TIPCE
2015	• Lei Transição Energética e Crescimento Verde

Fonte: Elaboração própria como adaptação e atualização de de (IEA, 2010)

Gráfico 52 – Evolução do consumo final de bioenergia por fonte no Brasil

Fonte: Elaboração própria com dados de séries completas do Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2017)

Gráfico 53 – Atos da política externa brasileira com o tema hidroelétricas

Fonte: Elaboração própria com dados da base Concórdia/Itamaraty