

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO - UFRJ
INSTITUTO DE ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM POLÍTICAS PÚBLICAS,
ESTRATÉGIAS E DESENVOLVIMENTO - PPED

ADRIANA CAZELGRANDI TORRES

A EVOLUÇÃO DO ETANOL NO BRASIL: UMA ANÁLISE A PARTIR DA
PERSPECTIVA MULTINÍVEL

Rio de Janeiro. RJ
2018

ADRIANA CAZELGRANDI TORRES

A EVOLUÇÃO DO ETANOL NO BRASIL: UMA ANÁLISE A PARTIR DA
PERSPECTIVA MULTINÍVEL

Tese apresentada ao Corpo Docente do
Instituto de Economia da Universidade
Federal do Rio de Janeiro como parte dos
requisitos necessários à obtenção do título
de Doutora em Ciências em Políticas
Públicas, Estratégias e Desenvolvimento.

Orientadores: Prof. Dr. José Vitor Bomtempo
Prof. Dr. Caetano Christophe Rosado Penna

Rio de Janeiro, RJ.
2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO - UFRJ
INSTITUTO DE ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM POLÍTICAS PÚBLICAS,
ESTRATÉGIAS E DESENVOLVIMENTO - PPED

ADRIANA CAZELGRANDI TORRES

**A EVOLUÇÃO DO ETANOL NO BRASIL: UMA ANÁLISE A PARTIR DA
PERSPECTIVA MULTINÍVEL**

Tese de DOUTORADO Aprovada pela Seguinte Comissão Examinadora:

Prof. Dr. José Vitor Bomtempo, *D.Sc.*
Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ
Orientador

Prof. Dr. Caetano Christophe Rosado Penna, *Ph.D*
Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ
Coorientador

Prof. Dr. Helder Queiroz Pinto Jr., *D.Sc.*
Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ

Prof. Dr^a. Flávia Chaves Alves, *D.Sc.*
Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ

Prof. Dr. André Tosi Furtado, *Ph.D*
Universidade Campinas, UNICAMP

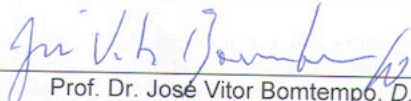
Prof^a. Dr^a. Maria de Fatima Ludovico de Almeida, *Ph.D*
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO - UFRJ
INSTITUTO DE ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM POLÍTICAS PÚBLICAS,
ESTRATÉGIAS E DESENVOLVIMENTO - PPED

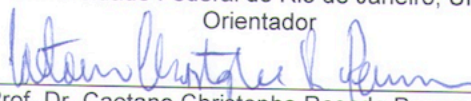
ADRIANA CAZELGRANDI TORRES

A EVOLUÇÃO DO ETANOL NO BRASIL: UMA ANÁLISE A PARTIR DA
PERSPECTIVA MULTINÍVEL

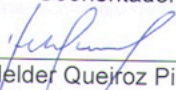
Tese de DOUTORADO Aprovada pela Seguinte Comissão Examinadora:



Prof. Dr. José Vitor Bomtempo, *D.Sc.*
Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ
Orientador



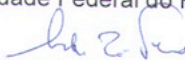
Prof. Dr. Caetano Christophe Rosado Penna, *Ph.D*
Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ
Coorientador



Prof. Dr. Helder Queiroz Pinto Jr., *D.Sc.*
Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ



Prof. Drª. Flávia Chaves Alves, *D.Sc.*
Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ



Prof. Dr. André Tosi Furtado, *Ph.D*
Universidade Campinas, UNICAMP



Profª. Drª. Maria Fatima Ludovico de Almeida, *D.Sc.*
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-Rio

FICHA CATALOGRÁFICA

T676 Torres, Adriana Cazelgrandi
A evolução do etanol no Brasil: uma análise a partir da perspectiva multinível
/ Adriana Cazelgrandi Torres. – 2018.
236 p. ; 31 cm.

Orientador: José Vitor Bomtempo Martins.

Coorientador: Caetano Christophe Rosado Penna.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Economia, Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas,

Estratégias e Desenvolvimento, 2018.

Bibliografia: f. 203 – 219.

1. Etanol. 2. Transição sociotécnica. 3. Perspectiva multinível. I. Martins, José Vitor Bomtempo, orient. II. Penna, Caetano Christophe Rosado, coorient. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Economia. III. Título.

CDD 662.88

Ficha catalográfica elaborada pelo bibliotecário: Lucas Augusto Alves Figueiredo CRB 7 – 6851 Biblioteca Eugênio Gudín/CCJE/UFRJ

Dedico esta tese aos meus filhos, marido e pais que tanto me apoiaram nessa caminhada. Aos meus filhos, por serem minha inspiração, amor, leveza e força para ser cada dia melhor. Ao meu marido, meu porto seguro, companheiro de amor e vida, por ter me apoiado nesta jornada e suportado junto com as crianças minhas ausências e momentos difíceis. Aos meus pais, que me deram as bases do amor, respeito, integridade e formação que são O alicerce para a jornada da vida. Enfim, dedico a cada um de vocês que contribuíram para tornar os momentos mais felizes e leves, com todo meu afeto.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus orientadores José Vitor e Caetano. Ao José Vitor por ter me dado a oportunidade de retornar ao mundo da economia, pelos conhecimentos passados, aprendizados vividos e me apoiado sempre que precisei. Ao Caetano por ter me conduzido com maestria neste universo teórico, que me fez, de forma crítica, construir meu caminho. A todo pessoal administrativo, Joseane (pelo apoio logístico e pessoal), Guilherme (que não se encontra mais conosco), ao Fábio e a Elizabeth pelo ambiente prestativo e de apoio mútuo. Aos meus colegas de doutorado pelas risadas, desabafos das angústias compartilhadas e trocas de conhecimento. Aos meus colegas de trabalho da FAETEC, professores, que compartilham das lutas e buscas diárias nessa profissão. Aos meus colegas de trabalho da Estacio, que com força e determinação ajudam a deixar os dias mais leves. Ao Sandro, um carinho especial a esse grande amigo pessoal, profissional e de coração que a vida trouxe e tanto me apoiou e ajudou nestas descobertas do universo do etanol e na confecção desta tese. A Patrícia, minha amiga de fé e irmã camarada de todas as horas. A Carol, que com determinação apresentou o seu apoio profissional, sem o qual não chegaria até aqui. Ao Daniel, querido amigo de longa data que prontamente disponibilizou seus conhecimentos profissionais. A todos que de uma forma ou de outra me apoiaram nesta caminhada. Ao Eduardo, meu companheiro de vida. Aos meus filhos, Gabriela, Victor Hugo e Catarina que são tudo que uma mãe poderia desejar. E ao Nico, que mesmo sem saber, me acompanhou e ouviu em quase todos os momentos da escrita desta tese.

“Todo esforço é recompensado”

“As palavras são objetos magros incapazes de conter o mundo. Usamo-las por pura ilusão. Deixámo-nos iludir assim para não perecermos de imediato conscientes da impossibilidade de comunicar e, por isso, a impossibilidade da beleza. Todas as lagoas do mundo dependem de sermos ao menos dois. Para que um veja e o outro ouça. Sem um diálogo não há beleza e não há lagoa”.

Valter Hugo Mãe

RESUMO

TORRES, A.C. A Evolução do Etanol no Brasil: uma Análise a Partir da Perspectiva Multinível. Tese (Doutorado em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento) – Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento, Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2018.

O uso do etanol como combustível automotor já ocorre há mais de um século no Brasil, mas seu uso em escala e como opção energética efetiva no país data do Próalcool. Desde então, o processo de transição sociotécnica do regime do etanol intercala momentos de euforia e sucesso, assim como, de fragilidade e descrédito. Hoje, é considerado um regime estabelecido e estruturado, mas pouco usado no país, excetuando o uso obrigatório estabelecido em lei, o que por si só já indica uma investigação. Trata-se de um caso de transição sustentável requerendo uma análise em sua trajetória para que se reveja relações e interações entre diferentes sistemas em múltiplos níveis. Diante do exposto, esta tese visa explorar o processo de transição rumo à sustentabilidade do combustível etanol a partir da abordagem da perspectiva multinível. A estrutura metodológica se baseou na teoria de processos e nas estratégias de mapa visual, assim como na narrativa histórica. A construção da narrativa histórica a partir da abordagem teórica da Perspectiva Multinível (MLP) com a contribuição da estrutura das cinco dimensões permitiu construir a abordagem empírica. Essa abordagem foi contrastada com a teórica, construída a partir da contribuição da abordagem de fases. A comparação entre as duas abordagens permitiu reconstruir a transição sociotécnica do etanol e refletir sobre o caminho percorrido pelo regime. A partir dos resultados desta pesquisa, pode-se verificar que essa transição não representou uma mudança efetiva de paradigma dominante, o que implica que apesar de ser um sistema completo não deve ser aceito como uma transição completa do sistema rumo ao renovável. Diferentes questões investigadas confirmam essa configuração, tais como: o desenvolvimento desigual multinível nos subsistemas reconfiguram o regime para o que parece ser a complementariedade; o alinhamento de eventos em torno da construção do sistema sociotécnico ocorreu de forma sistemática, mas o tipo de tecnologia adotado deixa dúvidas quanto à eficiência competitiva quando comparado com outros regimes; as questões de nicho de mercado *versus* nicho tecnológico indicam que a não especificidade da escolha tecnológica vencedora dificulta a competição com a gasolina; somado a isso, era de se esperar que a escolha por uma tecnologia e um mercado baseado em um combustível renovável se tornasse dominante em um ambiente profíquo a transição sustentável, mas a estabilização do mercado não permite concluir uma tendência; o papel do *landscape* em direcionar trajetórias tecnológicas é lento mas vem reforçando as escolhas rumo a sustentabilidade, como o etanol. Assim, o etanol segue como um regime adjacente e a sua transição rumo à sustentabilidade ainda está em curso. Os esforços dos agentes sociais e do sistema sociotécnico ainda são necessários para que o regime se configure como uma opção energética dominante.

Palavras-chave: etanol, sistema sociotécnico, transição sociotécnica, perspectiva multinível, combustível automotivo, transição para a sustentabilidade.

ABSTRACT

TORRES, A.C. The Evolution of Ethanol in Brazil: an Analysis from the Multilevel Perspective. Thesis (Doctorate in Public, Strategies and Development Policies) - Graduate Program in Public Policy, Strategy and Development, Institute of Economics, Federal University of Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2018.

The use of ethanol as an automotive fuel has been taking place for more than a century in Brazil, but its use in scale and as an effective energy option in the country dates from Próalcool. Since then, the process of sociotechnical transition of the ethanol regime intersperses moments of euphoria and success, as well as of fragility and discredit. Today, it is considered an established and structured regime, but little used in the country, except for the mandatory use established by law, which in itself already indicates an investigation. It is a case of sustainable transition requiring an analysis in its trajectory to review relationships and interactions between different systems at multiple levels. In view of the above, this thesis aims to explore the process of transition towards ethanol fuel sustainability from the approach of the multilevel perspective. The methodological framework was based on process theory and visual map strategies, as well as on historical narrative. The construction of the historical narrative from the theoretical approach of the Multilevel Perspective (MLP) with the contribution of the structure of the five dimensions allowed to construct the empirical approach. This approach was contrasted with the theoretical one, built from the contribution of the phase approach. The comparison between the two approaches allowed to rebuild the socio-technical transition of ethanol and to reflect on the path taken by the regime. From the thesis, it can be verified that this transition did not represent an effective change of dominant paradigm, which implies that although it is a complete system, it should not be accepted as a complete transition from the system to the renewable one. Different issues investigated confirm this configuration, such as: uneven multilevel development in subsystems reconfigures the regime for what appears to be complementarity; the alignment of events around the construction of the socio-technical system occurred systematically, but the type of technology adopted leaves doubts as to the competitive efficiency when compared with other regimes; the niche market versus the technological niche issues indicate that the non-specificity of the winning technological choice makes it difficult to compete with gasoline; In addition, it was expected that the choice of a technology and a market based on a renewable fuel would become dominant in a profitable environment the sustainable transition, but the stabilization of the market does not allow to conclude a trend; the role of the landscape in directing technological trajectories is slow but it has reinforced choices towards sustainability, such as ethanol. Thus, ethanol follows as an adjacent regime and its transition towards sustainability is still ongoing. The efforts of social agents and the socio-technical system are still necessary for the regime to be configured as a dominant energy option.

Keywords: ethanol, socio-technical system, socio-technical transition, multilevel perspective, automotive fuel, sustainability transition.

Lista de Gráficos

Gráfico 1 – Consumo Total de Derivados de Petróleo e de Gás Natural (10 ³ tep).....	95
Gráfico 2 – Consumo de Combustíveis no Setor de Transportes.....	96
Gráfico 3 – Consumo Final Energético por Fonte (%).....	97
Gráfico 4 – Endividamento, Câmbio e Receita do Setor Sucroenergético.....	107
Gráfico 5 - Evolução do Número de Projetos e da Capacidade Produtiva no Período do Proálcool.....	128
Gráfico 6 - Consumo de Combustíveis Líquidos no Brasil no Período de 1975 a 1985.....	129
Gráfico 7 – Produção por Combustíveis – 1975/2016.....	134
Gráfico 8 – Investimentos em unidade produtiva de etanol.....	134
Gráfico 9 – Produção de Açúcar e Etanol.....	135
Gráfico 10 – Produção de Etanol Hidratado, Anidro e Total no Brasil (Safras de 1974/75 a 2001/2002) – Milhões de Litros.....	136
Gráfico 11 - Produção de Anidro e Hidratado no Brasil.....	143
Gráfico 12 – Produção de Açúcar e Etanol.....	143
Gráfico 13 – Preço do Etanol, Gasolina e Açúcar.....	146
Gráfico 14 – Evolução da Produtividade de Cana-de-Açúcar por Região.....	147
Gráfico 15 – Número de fusões e Aquisições do Etanol.....	147
Gráfico 16 – Entrada/Fechamento de Usinas no Brasil.....	148
Gráfico 17 – Mapa da Distribuição Espacial, por Região, das Unidades Produtoras de Açúcar, Etanol e Energia Elétrica Ativas no Território Brasileiro.....	149
Gráfico 18 – Área Total Colhida (ha) e Rendimento Médio da Produção de Cana (Kg/ha) de 1974 a 2016	151
Gráfico 19 – Destinação do ATR de Cana para o Açúcar e Etanol.....	152
Gráfico 20 – Volume de Produção do Etanol Anidro e Hidratado Mix de Produção (Açúcar e Etanol).....	186
Gráfico 21 - Demanda do Ciclo Otto e Participação dos Diferentes Combustíveis.....	187

Lista de Figuras

Figura 1 – A Dinâmica da Perspectiva da MLP.....	43
Figura 2 – Sistema Sociotécnico dos Transportes Rodoviários.....	48
Figura 3 – Grupos Sociais que Participam de Sistemas Sociotécnicos.....	49
Figura 4 – Terceira Fase da Transição.....	54
Figura 5 - Quarta Fase da Transição.....	55
Figura 6 – Estratégia Metodológica.....	82
Figura 7 - Sistema SocioTécnico dos Combustíveis Automotivos.....	92
Figura 8 – Grupos Sociais presentes no Regime do Etanol.....	94
Figura 9 – Sistema Integrado de Logística para o Etanol.....	100
Figura 10 – Segmentação do Regime Agroindustrial.....	103
Figura 11 – Cana no Brasil (dados 2016).....	105
Figura 12 – Diagrama de Fluxo da Produção do Açúcar e Etanol de Cana.....	106
Figura 13 – Instituições e Empresas Envolvidas em P&D em Etanol de Primeira e Segunda Gerações.....	111
Figura 14 – Divisão em Períodos da Análise Empírica	115
Figura 15 – Análise Comparativa das Estruturas Empírica e Teórica.....	180

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Principais Assuntos e Fontes de Informação para o Mapeamento dos Eventos em Etanol.....	75
Tabela 2 – Evolução tecnológica do setor industrial de 1975 a 2013.....	109

Lista de Quadros

Quadro 1 - Abordagens de Pesquisa em Transição Sustentável.....	34
Quadro 2 – Estrutura das Quatro Fases.....	51
Quadro 3 – Visão Crítica e Reflexões da Tese.....	68
Quadro 4 – Critérios de Seleção de Artigos – Portal CAPES.....	74
Quadro 5 – Passos Metodológicos da Tese.....	89
Quadro 6– Divisão em Períodos da Abordagem Teórica.....	157
Quadro 7 – Fase 3 – De 1975 a 1979.....	160
Quadro 8 – Fase 4 – De 1979 a 1986.....	164
Quadro 9 – Fase 3 – De 1987 a 1990.....	166
Quadro 10 – Fase 3 – De 2002 a 2004.....	170
Quadro 11 – Fase 4 – De 2005 a 2010.....	172
Quadro 12 – Fase 3 – De 2011 a 2015.....	174

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGU	Advocacia Geral da União
AIE	Agência Internacional de Energia
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
ANP	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
APEX-Brasil	Agência Brasileira de Promoção de Exportações e Investimentos
APTA	Agência Paulista de Tecnologias dos Agronegócios
ATR	Açúcar Total Recuperável
BBA	Bolsa Brasileira de Álcool
BEN	Balanco Energético Nacional
BIOEN	Programa Fapesp de Pesquisa em Bioenergia
BM&FBOVESPA	Bolsa de Valores, Mercadorias e Futuros
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BRIICS	Brasil, Rússia, Índia, Indonésia, China e África do Sul
CADE	Conselho Administrativo de Defesa Econômica
CAEC	Comitê de Comercialização de Álcool Etílico Combustível
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CARB	<i>California Air Resources Board</i>
CENAL	Comissão Executiva Nacional do Álcool
Cenbio-USP	Centro Nacional de Referência em Biomassa
CENPES	Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello
CETENE	Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste
CIDE	Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico
CIMA	Conselho Interministerial do Açúcar e do Álcool
CINAL	Comissão Especial e da Comissão Interministerial do Álcool
CMN	Conselho Monetário Nacional
CNA	Comissão Nacional do Álcool
CNAL	Conselho Nacional do Álcool
CNP	Conselho Nacional do Petróleo
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
COALBRA	Coque e Álcool de Madeira S/A
CODETEC	Companhia de Desenvolvimento Tecnológico
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
COP	Conferência do Clima
CPI	Comissão Parlamentar Mista de Inquérito
CTA	Centro Técnico Aeroespacial
CTBE	Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol
CTC	Centro de Tecnologia Canavieira
EACF	Estação Antártica Comandante Ferraz
EECM	Estação Experimental de Combustíveis e Minérios
EECP	Estação Experimental de Cana-de-açúcar de Piracicaba
EISA	<i>Energy Independence Security Act</i>

EIST	<i>Environmental Innovation and Societal Transition</i>
EMBRAER	Empresa Brasileira De Aeronáutica
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENCTI	Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação
EPA	<i>Energy Policy Act</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ESALQ/USP	Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz
FAO	Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação
FAPESP	Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo
FGV	Fundação Getúlio Vargas
FIESP	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FTI	Fundação de Tecnologia Industrial
GEE	Gás de Efeito Estufa
IAA	Instituto do Alcool e Açúcar
IAC	Instituto Agrônômico de Campinas
IAE	Instituto de Aeronáutica e Espaço
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
ICSB	Consórcio Internacional para a Biotecnologia da Cana-de-Açúcar
IEA	Instituto de Economia Agrícola
IFC	International Finance Corporation
INCT	Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
INT	Instituto Nacional de Tecnologia
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IRENA	International Renewable Energy Agency
ITC	<i>International Trade Commission</i>
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MCTI	Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação
MDA	Secretaria Especial de Agricultura e Desenvolvimento Agrário
MDIC	Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
MST	Movimentos Sociais Dos Sem Terra
MTBE	Metil-Terc-Butil-Éter
OECD	<i>Organisation for Economic Cooperation and Development</i>
OMC	Organização Mundial do Comércio
PACTI	Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação
PAISS	Plano Conjunto de Apoio a Inovação Tecnológica Industrial dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico
PDE	Plano Decenal de Energia
PEN	Política Energética Nacional
PIPE	Programa Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas
PITE	Programa de Apoio à Pesquisa em Parceria para Inovação Tecnológica

PME	Programa de Mobilização Energética
PMN	Perspectiva Multinível
PNE	Plano Nacional de Energia
PNMC	Política Nacional sobre a Mudança do Clima
PROCANA	Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar do IAC
RBBiotec	Rede Brasileira de Biotecnologia
RFS	Renewable Fuel Standard
RIDESA	Rede Interuniversitária de Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro
SAPCana	Sistema de Acompanhamento da Produção Canavieira
SBBiotec	Sociedade Brasileira de Biotecnologia
SMA	Secretaria do Meio Ambiente
STI/MIC	Secretaria de Tecnologia Industrial do Ministério da Indústria e Comércio
STRN	<i>Sustainability Transitions Research Network</i>
UNICA	União da Indústria da cana-de-Açúcar
ZAE	Zoneamento Agroecológico

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	19
1.1. Breve Histórico do Etanol.....	21
1.2. Contextualização do Problema de Pesquisa	24
1.3. Objetivos.....	26
1.3.1. Objetivo Geral.....	26
1.3.2. Objetivos Específicos.....	27
1.4. Estrutura do Trabalho.....	27
 2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	 30
2.1. Introdução.....	30
2.2. Ponto de Partida: Transição para Sustentabilidade (Ts).....	32
2.3. Trabalhos que Organizam o Tema Transição e suas Abordagens.....	33
2.4. Escolha da Abordagem Teórica da MLP.....	37
2.5. Desenvolvimento das Bases Teóricas da MLP.....	40
2.5.1. Estruturação da MLP.....	41
2.5.2. Regime.....	44
2.5.3. Nicho.....	45
2.5.4. <i>Landscape</i>	46
2.5.5. Sistema SocioTécnico.....	48
2.5.6. Os Agentes na Transição.....	49
2.6. Fases na Inovação de Sistemas	50
2.7. Aplicação da MLP.....	56
2.8. Revisão Crítica à MLP.....	59
2.9. Conclusão.....	69
 3. METODOLOGIA.....	 70
3.1. Introdução.....	70
3.2. Tipo de Pesquisa.....	70
3.3. Levantamento Bibliográfico.....	72
3.4. Perspectiva Metodológica.....	75
3.4.1. Seleção de Caso.....	76
3.4.2. Abordagem da Teoria de Processos.....	79
3.4.3. Metodologia Adotada no Trabalho.....	80
3.4.3.1. Seleção e Construção dos Dados.....	83
3.4.3.2. Protocolo do Estudo de Caso e da Estrutura Teórica.....	86
3.5. Fases da Pesquisa.....	88
3.6. Conclusão.....	89
 4. CONTEXTUALIZAÇÃO DO SISTEMA SOCIOTÉCNICO DO ETANOL.....	 91
4.1. Introdução.....	91
4.2. Configuração do Sistema Sociotécnico do Etanol.....	92
4.3. Grupos Sociais Envolvidos no Sistema Sociotécnico.....	93
4.4. Conclusão.....	112
 5. ESTUDO DE CASO - A ANÁLISE HISTÓRICA	 114
5.1. Introdução.....	114

5.2.	Abordagem Qualitativa: Estrutura Empírica.....	114
5.2.1.	1875 -1974 - Surgimento e Construção do Regime.....	116
5.2.2.	1975 - 1985 – Proálcool, Emergência e Expansão	120
5.2.3.	1986-2002 - Estagnação Industrial.....	130
5.2.4.	2002-2015 - Retomada e Expansão.....	137
5.3.	Conclusão.....	154
6.	DISCUSSÃO À LUZ DA TEORIA.....	156
6.1.	Introdução.....	156
6.2.	Abordagem Qualitativa: Estrutura Teórica.....	156
6.3.	Conclusão.....	176
7.	RESULTADOS.....	178
7.1.	Introdução.....	178
7.2.	Comparação Entre as Análises Histórica e de Fases.....	178
7.3.	Conclusão.....	193
8.	CONCLUSÃO.....	196
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	203
	APÊNDICE A – MAPA VISUAL.....	220

1. INTRODUÇÃO

O processo de transição¹ da matéria-prima fóssil para a renovável é tema central na questão energética. A valorização das fontes renováveis para produção e geração de energia tem sido considerada como uma importante opção para o segmento de transportes, especificamente o de combustíveis automotivos, bem como uma forma de diversificar a matriz energética e atender a critérios de sustentabilidade em todo o mundo. Dentro deste contexto de diversificação, a indústria de biocombustíveis se expande como um substituto próximo ao petróleo e seus derivados.

Em 2016, o Brasil se destacou no cenário internacional em razão da participação da cana de açúcar na matriz energética nacional, chegando a atingir 17,5% de toda oferta de energia interna, e o etanol, 19% do consumo de combustíveis líquidos (BEN, 2017). Esse direcionamento para o renovável “etanol” não foi consequência de um planejamento para esse fim, mas de adequação do país a uma situação de escassez. Em momentos de choque de oferta, como ocorrido na década de 70, a busca foi por alternativas que garantissem segurança energética, como o caso do próprio etanol (IEA, 2011; SCHUTTE & BARROS, 2010; BEN, 2016).

A volatilidade dos preços da energia fóssil e as discussões sobre as mudanças climáticas fortalecem o mercado dos renováveis no mundo e no país. Nesse contexto de transição, do fóssil aos renováveis, o potencial dos biocombustíveis no Brasil se destacou por sua posição regional (perfil agrário) e influência global (produção em escala e tecnologia desenvolvida). É, nesse processo de transição, que o presente trabalho se desenvolve, em razão da importância que o etanol ganhou nas fronteiras nacionais e internacionais.

A análise da evolução do etanol, enquanto cadeia produtiva, toma diferentes rumos à medida que o tempo transcorre e as tecnologias se desenvolvem. Diversos trabalhos na literatura procuraram mapear historicamente e/ou tecnologicamente a evolução do etanol (MACEDO & NOGUEIRA, 2004; GOLDEMBERG *et al.*, 2004; BACCARIN, 2005; HARVEY &

¹ Segundo Grin, Rotmans e Schot (2010) “transições” são processos que se desdobram ao longo do tempo envolvendo mudanças estruturais não lineares. Segundo STRN (2017), um objetivo central das transições é “conceitualizar e explicar como mudanças radicais ocorrem na maneira como as funções sociais são cumpridas”.

MCMEEKIN, 2010; HOLLANDA, 2013; PEREIRA, 2015; CORTEZ, 2016; SANTOS, 2016; BENNERTZ & RIP, 2018). Dessa forma, compreender o espaço da energia renovável no mundo atual requer um esforço considerável em diferentes e múltiplas frentes, o que motiva tanto o desenvolvimento desta tese como suas escolhas teóricas e metodológicas. Neste trabalho, o desafio é reconstruir e entender a transição rumo à sustentabilidade considerando inovações de sistemas e cadeias produtivas no ambiente do combustível automotivo etanol.

O estudo das transições sustentáveis não trata apenas da mudança de um “estado” (forma de organização da indústria) para outro, mas de transformações estruturais em diferentes dimensões que levam a novos arranjos tecnológicos e sociais. Assim, as mudanças vão além das estruturas da indústria, porque afetam também os domínios sociais. Esse aspecto amplo é que permite identificar as transições sustentáveis e, especificamente no caso do etanol, como sóciotécnicas, conforme descrito por Geels (2004). Este trabalho se desenvolve por entender a indústria do etanol como um importante ator no processo de transição em direção a produção de uma energia mais limpa, a partir da construção de um sistema produtivo como um todo.

No segmento de biocombustíveis, o etanol é estudado e explorado inicialmente como um caso de sucesso e, ainda, em transição, embora possa haver visões mais críticas. Pode-se citar diferentes trabalhos na literatura que descrevem o caso do combustível renovável como um sucesso para o Brasil e para o mundo (JOHNSON & SILVEIRA, 2013; MENDONÇA, 2014; MARX *ET AL.*, 2016; BENNERTZ & RIP, 2018; dentre outros. Mediante esse cenário, a revisão do caminho² em transição considerado nesta pesquisa, justifica a relevância empírica da investigação.

A pesquisa visa entender a trajetória tecnológica do combustível etanol e os diferentes mecanismos que determinam sua estrutura no Brasil. É possível descrever sua composição em termos de mercado e agentes na atualidade, porém, mais importante é compreender o caminho percorrido. Essa revisão da

² O termo “caminho” é empregado no presente estudo em sentido de “trajetória”. Em outras palavras, “caminho” deve ser considerado como o percurso de um processo de transição de um modelo sociotécnico conhecido para outro ainda desconhecido. Importante destacar que Geels e Schot (2007) e Geels *et al.* (2016) desenvolvem análise via perspectiva multinível, no entanto, as propostas de tipologias de caminhos desenvolvidas por estes autores são diversas das apresentadas nesta tese.

trajetória do sistema de forma ampla é que permite, com algum grau de confiabilidade, explicar os mecanismos atuantes identificando forças e fragilidades do processo. Nesse sentido, a pesquisa se justifica, também, como forma de contribuição no entendimento desses mecanismos e revisão das políticas de longo prazo adotadas.

A revisão histórica objetiva reconstruir os passos da indústria do etanol no Brasil, dentro do processo de transição sustentável³, e todos os desafios e dilemas que envolvem as inovações associadas. Assim, a transição rumo à sustentabilidade do combustível automotivo etanol justifica uma análise acurada das mudanças sistemáticas e as alterações em configurações em geral.

1.1 Breve Histórico do Etanol e a Perspectiva de Análise

A introdução do etanol na matriz energética brasileira se deu inicialmente em 1931 pelo Decreto-Lei Nº 737, quando tornou-se compulsória a mistura de álcool etílico anidro à gasolina como oxigenante. Anteriormente, a indústria canaveieira tinha como principal direcionamento a produção de açúcar, em que o etanol não possuía nenhuma expressão. Somente a partir do início do século XX surgem registros de experimentos locais de uso do etanol como subproduto do açúcar. Especificamente, a partir da década de 1920 é que os primeiros estudos, de forma estruturada, deram início à pesquisa do etanol como combustível a fim de substituir parcialmente a gasolina.

Assim, o Decreto de 1931 indicou um passo em direção à construção da indústria do etanol. A partir de então, movimentos voltados ao combustível ocorreram no setor sucroalcooleiro de forma mais ampla, em alguns momentos por intermédio do governo; e em outros de forma restrita, chegando mesmo a não existir, como aconteceu durante a Segunda Guerra Mundial. Posteriormente, foi deflagrado com a crise do petróleo na década de 70 um novo direcionamento para o setor, em que o etanol passou a ser uma alternativa energética de perfil estratégico e econômico, substituindo a importação do petróleo. Estudos

³ O termo “transição sustentável”, segundo STRN (2017), é usado a partir do “reconhecimento de que muitos problemas ambientais, como mudanças climáticas, perda de biodiversidade e esgotamento de recursos são grandes desafios relacionados ao consumo e à produção insustentável”. Observa-se que, para que esses problemas possam ser resolvidos, são necessárias melhorias mais que incrementais, é preciso um esforço em direção a transformações de novos sistemas, sendo a transição sustentável uma importante via (MARKARD, RAVEN & TRUFFER, 2012).

confirmam que foi essa necessidade de diversificação da “cesta” energética o que realmente impulsionou o país nesta direção. Como resultado dessa nova orientação, tem-se a criação do Programa Nacional do Álcool, mais conhecido como o Próálcool, que teve seu lançamento no ano de 1975, com o aumento da mistura de etanol anidro à gasolina. Em seguida, o etanol etílico hidratado passou a ser utilizado em veículos cujos motores foram especialmente desenvolvidos para este combustível (SANTOS, 2016).

Constatam-se, historicamente, as idas e vindas da produção do etanol após o Próálcool. Tanto fatores externos como internos explicam o processo de transição desse mercado até os dias de hoje. A exemplo, no âmbito externo, após a crise do petróleo da década de 70, o combustível fóssil chegou a patamares de preço que inviabilizavam a competição com demais recursos energéticos, como o etanol. Já no âmbito interno, diversos fatores se destacaram, mas o efeito prático detectado foi a quase eliminação dessa nova opção energética. A crise de abastecimento ocorrida em 1989 reduziu, em um curto espaço de tempo, o número de veículos a etanol para cerca de 2%, estatística que manteve-se neste patamar até o início de 2003 (IPEA, 2010).

A partir de 2003, tem-se a retomada no uso do combustível etanol no país com o lançamento dos veículos bicomcombustíveis - *flex fuel*. Essa mudança de rumo deu um novo dinamismo ao mercado, impulsionado por incentivos tributários, pelo apoio governamental e pelo desenvolvimento de inovações tecnológicas no segmento (BASTOS, 2012). Em 2005, segundo dados da ANFAVEA (2018), esses veículos chegaram a representar aproximadamente 53% das vendas de carros novos. Desde então, constata-se um aumento na demanda por veículos *flex* no mercado interno, que responde pela maior parte dos veículos usados no país, tendo atingindo 85% da produção em 2017 (ANFAVEA, 2018).

É certo que a obrigatoriedade da mistura do etanol à gasolina estabelecida pelo Governo foi um importante instrumento de estímulo ao combustível, além de ser um sinal claro para o mercado quanto à escolha de política pública (BASTOS, 2012). O que se verifica na indústria de etanol, na atualidade, fora o uso obrigatório no mercado de combustíveis, é a possibilidade de escolha do consumidor pelo combustível fóssil e/ou renovável. Apesar da boa aceitação dos carros *flex* no mercado, segundo Santos (2016), a opção do

consumidor tem sido pelo combustível fóssil. Esse cenário de escolha desfavorável ao etanol evidencia a necessidade de rever aspectos conjunturais e de reestruturação do mercado, estas que serão revisitadas a partir da análise longitudinal a ser desenvolvida na presente tese.

O processo de transição sustentável da indústria do etanol tem aspectos que precisam ser analisados para que se estabeleça, e se garanta, o papel competitivo do segmento (BAJAY *et al.*, 2011). Segundo Santos (2016), os preços não competitivos são reflexo de alguns fatores, dentre os quais: a forte elevação dos custos de produção agrícola; a elevação dos custos de crédito (externo principalmente); a redução das margens por questões regionais e tributárias; o controle do preço da gasolina; a redução da competitividade do próprio etanol; o descompasso entre aumento de produção; e o lento ganho de produtividade no processo produtivo. Todos esses fatores precisam ser interpretados ao longo do tempo, investigação que compete a este estudo.

No etanol, mais recentemente, outras questões também indicam a importância de se rever trajetórias do processo. Por exemplo, na década passada, o ciclo de crescimento da produção de cana de açúcar ocorreu em função de questões externas e internas, no entanto, houve uma ruptura com o ritmo apresentado até então. Conforme dados da UNICA (2016) e do FIESP (2013), a produção de cana de açúcar variou em média 2% ao ano de 2009 a 2015, após ter crescido, entre 2001 e 2009, a uma taxa de 10,6% ao ano em média. Essa reversão de tendência deve ser novamente analisada e contrastada com uma série de fatores, dentre os quais destacam-se: as quedas de produtividade; a mecanização; os problemas climáticos; a política de defasagem do preço da gasolina praticada pelo governo; dentre outros. Algumas dessas razões ressaltam a fraca competitividade frente ao combustível fóssil, já outras implicam na elevação dos custos de produção no Brasil.

Essa retrospectiva indica que o processo de transição do segmento de etanol, para ser compreendido, requer uma análise detalhada ao longo destes anos de existência (BOMTEMPO & ALVES, 2013). O etanol foi incentivado por questões de segurança energética, e, posteriormente, ganhou apoio por questões ambientais, sendo que hoje continua requerendo cuidados para que se efetive competitivo em relação ao combustível fóssil. Os desafios são diversos por se tratar de trajetórias em uma cadeia produtiva em que estão presentes

diferentes mercados correlatos, desde o agrícola, passando pela logística até o de combustíveis. Mesmo diante de tais desafios, segundo Hollanda (2013), “a cana de açúcar apresenta as melhores perspectivas de desenvolvimento econômico mediante o aumento da eficiência energética e agregação de valor na sua cadeia de transformações e usos”.

1.2. Contextualização do problema de pesquisa

A indústria de biocombustíveis ganhou apoio de políticas públicas em diversos países (como nos EUA e em alguns países europeus) em razão da constatação de que a produção destes combustíveis requer pesados investimentos da sociedade para que seja viável como solução energética e sustentável (NYKO *et al.*, 2010). Ao mesmo tempo, mais recentemente, a União Europeia passou a discutir a possibilidade de revisar suas metas quanto a obrigatoriedade dos combustíveis de primeira geração⁴, em função dos efeitos adversos, como a competição por recursos agrícolas e desmatamento florestal. Em contrapartida, montadoras e petroleiras da União Europeia defendem o uso de biocombustíveis como uma estratégia eficaz e barata para reduzir emissões de gases do efeito estufa (ROLAND BERGER, 2016). O caso brasileiro tem relevância para o cenário mundial, pois é reconhecidamente um exemplo de construção de novas indústrias (OECD, 2018; IEA, 2018a e b; IRENA, 2018). A compreensão de tal transição trará lições para a indústria do etanol no mundo, reforçando, assim, a importância de se estudar e investigar, no Brasil, o emprego do etanol.

Esse processo de mudança da governança da energia nos países é reflexo das alterações dos objetivos de longo prazo, em que a segurança energética estaria aliada às políticas climáticas e socioambientais. Nesse contexto, a abordagem de sistemas sociotécnicos pode contribuir para apresentar um diagnóstico, direcionar políticas e esforços sociais, principalmente de investimentos em grande escala, como ocorre com a cadeia do etanol. As pesquisas relacionadas ao tema das transições têm explorado a dinâmica de

⁴ São considerados biocombustíveis de primeira geração (ou convencionais) aqueles produzidos de fontes agrícolas primárias, como o biodiesel de oleaginosas, e o etanol de milho ou cana-de-açúcar.

longo prazo de mudanças estruturais em sistemas intensivos em capital (BOLTON & FOXON, 2015), o que é o caso do etanol. O foco que será dado nesta pesquisa será de redirecionar ou rever caminhos para trajetórias sustentáveis ao longo do tempo.

Não se trata apenas de uma descrição do caminho percorrido, mas de uma construção de relações e interações entre diferentes sistemas que caracterizam o aspecto multidimensional e co-evolutivo que existe. Nesse ponto, justifica-se o uso da abordagem da Perspectiva Multinível (MLP) de Geels (2002), escolhida por esta tese. A partida teórica para escolha dessa estruturação se baseia, inicialmente, em duas questões. Primeiro, no fato de que toda estrutura criada no entorno de uma inovação é mais ampla que a associação e alinhamento de uma cadeia produtiva, são as configurações sociotécnicas. Segundo, todos os elementos de infraestrutura de uma inovação não são apenas planejados e implementados, mas são resultados de múltiplas interações, em diferentes níveis, que se acumulam ao longo do tempo. As transições ocorrem na MLP por intermédio de interações entre os níveis sociotécnicos: *landscape* (ambiente em geral, contexto exógeno), regime (práticas dominantes no sistema) e nicho tecnológico (domínio da inovação).

No caso do etanol, o ambiente para os combustíveis renováveis e em muitos casos seus co-produtos, ainda está em construção. Os *inputs* do processo produtivo — as matérias-primas, as tecnologias, os modelos de negócio e os atores envolvidos — vêm se transformando com o progresso tecnológico e os novos arranjos organizacionais, além de sofrerem influência do *landscape*. Assim, a MLP deve permitir explicar como as mudanças no ambiente sociotécnico do etanol ocorreram apoiadas na sua estrutura.

Dessa forma, a presente pesquisa pretende, justamente, explorar o potencial desta abordagem, relativamente recente, de perspectiva multinível (GEELS, 2005e) como base na construção teórica. O fato é, pois, compreender como a natureza da transição tecnológica do modelo atual do combustível automotivo etanol tornou-se particularmente importante em função das grandes mudanças que se delineiam na forma como a energia é obtida, convertida e utilizada neste século (BENNETT, 2012).

No caso, a seguinte questão norteadora da pesquisa foi formulada, como segue:

Questão 1 - Como se estruturou o processo de formação do sistema sociotécnico do etanol no Brasil?

Com base na análise dos últimos cento e quarenta anos do setor do etanol no país, é possível avaliar o sistema sociotécnico reconhecendo as diferentes dimensões que isto implica. Na literatura sobre transições sustentáveis, como descrito por Geels (2005e), as transições são complexas, formadas em um processo de longo prazo e envolvidas por múltiplos atores. Nesse aspecto multidimensional, e de mudanças estruturais que as transições sociotécnicas assumem, direciona-se o trabalho para a abordagem da MLP de Geels (2005e) a partir do seu *frame* analítico (*landscape*, regime e nicho).

Metodologicamente, este trabalho de pesquisa se propõe partir da revisão histórica e da aplicação do *frame* da MLP. A metodologia se utilizará da análise longitudinal com o método qualitativo, e da estratégia de estudo de caso, e, valendo-se ainda, do recurso da abordagem da narrativa dividida em períodos e mapas visuais.

Essa estratégia metodológica deverá permitir estudar como as políticas e iniciativas advindas do *landscape*, do próprio regime e do nicho influenciaram o processo de estruturação e configuração do regime do etanol no Brasil. Usar a MLP para compreender a introdução do setor de combustível automotivo etanol representa analisar os arranjos institucionais que implicaram no desenvolvimento da cadeia produtiva como um todo. Não se trata apenas de inovações no setor energético, mas também, da viabilização dessas ao longo do processo produtivo de modo que possam estabelecer-se como alternativa econômica. Como descrito por Surtherland *et al.* (2014), o etanol é considerado uma das rotas na direção dos renováveis e destaca-se pelo importante papel que desempenhou em termos de segurança energética, justificando-se uma análise acurada.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo geral

O trabalho de tese tem por objetivo rever, investigar e avaliar o processo de transição sociotécnico e multissistêmico do combustível automotivo etanol no

Brasil, considerando o período que abrange de 1875 a 2015.

1.3.2. Objetivos específicos

- Construir uma base de dados para subsidiar o estudo e identificar os caminhos de transição;
- Explicar e aplicar a MLP e a metodologia de análise identificando os instrumentos capazes de qualificar o processo;
- Rever os caminhos de transição do etanol e investigar o seu encadeamento, baseando-se na análise indutiva e temporal a partir da MLP;
- Identificar e delimitar o sistema e os atores envolvidos a partir de uma análise atual da indústria do etanol no Brasil;
- Avaliar de que forma as mudanças do sistema sociotécnico podem levar à transição sob a perspectiva multinível de forma sustentável, comparando a análise histórica (empírica) com a de fases (teórica) e verificando as etapas do processo.

1.4. Estrutura do Trabalho

Uma variedade de caminhos tecnológicos em biocombustíveis tem sido foco da ciência e de políticas públicas nos últimos anos, quer seja no Brasil ou no âmbito internacional. A segurança energética e o perfil de um futuro que abranjam conceitos de sustentabilidade vêm modificando rotas e investimentos no mundo todo. Nesse sentido, o trabalho foca no papel do regime do etanol em função de sua importância no processo de transição das energias renováveis.

Nesse cenário, observa-se a necessidade de se avançar para o adequado enquadramento do processo de transição. A vantagem do etanol sobre outras alternativas de combustíveis refere-se ao fato de este poder ser usado em veículos convencionais correntes⁵ e ainda pode ser distribuído nos moldes de infraestrutura e logística já existentes. As limitações quanto às restrições quantitativas de adição aos motores de ciclo Otto e a necessidade de construção de uma infraestrutura logística própria (dutos e caminhões) implicam em custos relevantes para a sociedade. Assim, a proximidade de arranjo estrutural e

⁵ Em contrapartida aos carros elétricos, por exemplo.

logístico com o combustível fóssil, o fato de ser líquido e manter a forma de combustão interna, explica, em parte, as escolhas feitas no decorrer do tempo, mas de maneira alguma são determinantes do processo de transição rumo aos renováveis.

A tese organiza-se estruturalmente em oito capítulos. O primeiro, a introdução, apresenta a visão global do regime do etanol hoje e a contextualização do problema de pesquisa. Inclui as questões norteadoras e os objetivos da pesquisa.

O Capítulo 2 apresenta o referencial teórico em que o trabalho se fundamentou. Os trabalhos sobre transições para sustentabilidade são muito amplos e abrangem diferentes áreas do conhecimento. O estudo minucioso desta vasta literatura, que apesar de nova ganha espaço e evidência no ambiente acadêmico, foi realizado a fim de embasar o tema de pesquisa e compreender o estado da arte na literatura. O fato do tema “transições” ter conquistado lugar nos últimos vinte anos pela sua amplitude e abrangência, ao mesmo tempo que permite atender diferentes áreas do conhecimento, acaba por criar inúmeras oportunidades de pesquisa. Assim, o capítulo se caracteriza por delimitar os horizontes de estudo na temática “transições”, reconstruir seus caminhos de pesquisa, descrever as bases teóricas usadas neste trabalho e ainda discutir as lacunas teóricas e empíricas das abordagens.

O Capítulo 3 descreve a metodologia de pesquisa usada na tese. O seu objetivo é analisar o problema de pesquisa e identificar o critério ou método que melhor se adequa ao presente estudo. A escolha do método de pesquisa surge do processo de exploração das transições a partir, inicialmente, de uma coleta de dados históricos que, posteriormente, foram estruturados e organizados conforme a metodologia de pesquisa e teoria indicadas. O capítulo descreve a estratégia metodológica adotada ao longo da pesquisa compreendendo as abordagens empírica e teórica, estas usadas como base para a pesquisa das transições do combustível automotivo etanol.

Já o Capítulo 4 desenvolve a contextualização empírica do sistema sociotécnico do etanol no Brasil. A construção da configuração do sistema e a descrição dos agentes, ou grupos sociais envolvidos, permite entender a visão multissistêmica e multirregimes que envolve a transição do regime etanol. As

representações gráficas em mapas visuais permitem compreender o processo de transição e a complexidade sistêmica deste regime.

O Capítulo 5 descreve o estudo de caso a partir da narrativa histórica com base no *frame* de Geels (2005e) e a contribuição de Freeman e Louçã (2001). A análise cronológica empiricamente estruturada visa permitir construir caminhos e rever trajetórias.

Na sequência, o Capítulo 6 descreve e analisa a narrativa histórica a partir da abordagem teórica de fases de Geels (2005e). Com base na revisão dos eventos cronológicos a partir da análise modulada por diferenciações na estrutura do processo de transição, reconstroem-se os eventos.

Em seguida, no Capítulo 7 é elaborada uma reflexão sobre os conteúdos dos capítulos quinto e sexto, com o desenvolvimento de resultados e análise. Os resultados foram obtidos por meio da análise cronológica teórica (de fases) contrastada com a análise empírica (MLP). Essa abordagem permitiu rever o processo de transição à luz das questões norteadoras desta pesquisa.

Por fim, o Capítulo 8, revisita o problema de pesquisa e os contrapõe aos resultados da investigação. O capítulo ainda apresenta as conclusões, contribuições para o conhecimento e as limitações da pesquisa, o que abre espaço para trabalhos futuros. As transições sistêmicas implicam em coevolução e interações multidimensionais entre indústrias, tecnologias, mercados, sociedade, cultura e governo. Ao analisar e responder a questão norteadora evidencia-se a importância da introdução do etanol como parte de um novo sistema tecnológico que implicou em esforços sociotécnicos para que se estabelecessem os primeiros movimentos na direção da estruturação do regime.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Introdução

O objetivo deste capítulo é apresentar as bases teóricas que sustentam o desenvolvimento deste trabalho e permitiram construir a estrutura para a aplicação do estudo de caso do combustível etanol. Os problemas e objetivos norteadores da tese passam por um eixo central de interpretação dos caminhos adotados pelo país rumo ao combustível renovável etanol. Assim, a busca por um embasamento de cunho teórico caminhou na direção de rever essa trajetória, explorar os caminhos percorridos e interpretar seu movimento. Os argumentos e teorias escolhidos e aqui abordados estão imersos nesse debate para contribuir para a transição rumo à sustentabilidade.

O ponto de partida para a escolha do embasamento teórico desta tese são os grandes desafios que este século presencia quanto às limitações da abordagem econômica/energética frente às questões ambientais. É preciso direcionar esforços em inovação devido à necessidade de desenvolver enfoques e teorias multidisciplinares e flexíveis que consolidem trajetórias em energia em um ambiente estabelecido e sujeito a restrições ambientais, principalmente em arranjos cujos padrões dos sistemas sociotécnicos se encontram na infraestrutura, a exemplo dos combustíveis automotivos no Brasil.

As pesquisas sobre as transições de sustentabilidade em diversos domínios do conhecimento ganharam força e destaque nos últimos vinte anos, principalmente pelos desafios que os problemas ambientais trouxeram para a agenda de pesquisa do meio acadêmico. Sobre o tema, o que se verifica na literatura é uma grande amplitude de estudos aplicados a diferentes setores da economia e com diferentes abordagens. Inicialmente, foi preciso estruturar a teoria devido à dificuldade em se relacionar temas de diferentes áreas do conhecimento de forma coordenada para que fosse possível atender ao objetivo da tese. Dessa forma, este capítulo se organiza a fim de introduzir a abordagem da transição partindo de uma análise geral sobre o tema para o contexto específico do estudo.

No capítulo anterior, foram apresentados os elementos norteadores desta pesquisa, quando se evidenciaram lacunas no campo teórico-empírico do etanol. Nesse sentido, existe um aparente consenso na literatura de que o caso do

etanol no Brasil é um exemplo de sucesso sob diferentes enfoques. Assim, esta investigação parte de dois aspectos: i) rever a trajetória percorrida e ii) avaliar se é um caminho seguro rumo à sustentabilidade. A contribuição desta tese é desenvolver um novo modelo teórico-empírico que permita reavaliar os caminhos e escolhas adotadas pelas incertezas que as transições sustentáveis implicam.

Assim, verifica-se hoje que o enfoque das inovações não é apenas introduzir tecnologias mais limpas em um ambiente desafiado pelas questões climáticas, mas em como introjetar grandes mudanças em múltiplos aspectos em sistemas complexos; sistemas esses que passam pela energia, transporte, agricultura e urbanização, entre outros. Os modelos teóricos estudados para o desenvolvimento desta tese levaram a transições sociotécnicas em razão de sua ampla característica de analisar processos pelo enfoque social e tecnológico e poder incorporar a estrutura longitudinal. Assim, o objetivo desta revisão de literatura é mostrar a origem das bases teóricas sobre transições sustentáveis (TS), as diferentes abordagens trazidas na literatura para lidar com esta questão e apresentar a MLP como escolha teórica.

Nos estudos de TS, diversos trabalhos foram desenvolvidos ao longo do tempo, mas constata-se que a estrutura teórica da MLP em transições sociotécnicas é a que tem se destacado. A MLP tem como premissas: i) analisar processos complexos e não lineares de longo prazo; ii) incluir múltiplos atores que se conectam em redes; e iii) ter como base uma estrutura hierárquica e multinível. Essas características, inicialmente, se enquadram no estudo de caso desta tese e direcionam para a MLP. Serão discutidas ainda as limitações dessa abordagem e as estratégias adotadas para lidar com ela. Uma proposta desta tese para contornar essas lacunas é incluir uma análise comparativa com a implementação da estrutura de fases da transição de sistemas. Assim, o ambiente das transições pode ser revisto sob outro enfoque de análise. Embora o objetivo seja contribuir para o entendimento do processo de transição de sustentabilidade do combustível automotivo etanol, o desenvolvimento teórico traz uma contribuição original para o campo de estudo de casos em sistemas complexos.

Inicialmente, no que se refere à estrutura do capítulo, este item situa o tema TS na literatura como forma de estruturar as bases teóricas. Posteriormente, são

apresentados alguns trabalhos que procuram descrever os instrumentos e abordagens adotadas na literatura para lidar com as transições sustentáveis. Ademais, são apresentadas abordagens consideradas centrais para a teoria das TS, dentre as quais se destaca a MLP em razão de seu uso nesta tese. Assim, das abordagens apresentadas, o capítulo explica a escolha da MLP como caminho teórico para este trabalho. Em seguida, é desenvolvida uma revisão histórica das contribuições de pesquisas nos estudos de TS. Após entender o contexto histórico da teoria da MLP, é apresentado especificamente como essa abordagem, fonte e base para o desenvolvimento deste trabalho aparecem na literatura. É também apresentada parte dos conceitos que serão mobilizados para o marco teórico-analítico: o referencial teórico, a formatação do sistema sociotécnico e a composição dos agentes na transição. Em seguida, é apresentado o marco teórico-analítico das fases da transição de sistemas que se refere às diferentes etapas que o processo de transição apresenta e segue. Na continuação do capítulo, são elencados alguns casos de emprego da MLP na literatura com o intuito de demonstrar seu amplo campo de aplicação, limitações em casos práticos e as metodologias adotadas. Finalizando, o capítulo apresenta uma revisão crítica da abordagem adotada a partir de trabalhos teóricos na literatura e reflexões desta tese.

2.2. Ponto de Partida: Transição para Sustentabilidade (TS)

A abordagem da transição para sustentabilidade apresenta aspectos diferentes que permitem construir diversas formas de lidar com esse processo de mudança, a começar pelo próprio conceito de transição. O uso do termo transição no caso das transições sustentáveis não se trata apenas da passagem de um estado para outro conhecido, mas está relacionado às transformações em algo ainda não conhecido. Para Van Den Bergh, Truffer & Kallis (2011), trata-se de mudanças estruturais, desenvolvimento econômico, modernização ecológica, inovações radicais e muito mais. Para os autores, o termo transição é conhecido de outras áreas de pesquisa, mas, neste caso, trata-se da transição sociotécnica sustentável.

Já no trabalho de Markard, Raven & Truffer (2012), a transição leva a mudanças em diferentes dimensões que envolvem um largo espectro de agentes e tipicamente um amplo espaço de tempo. As transições implicam o surgimento

de novos arranjos, que em parte se complementam aos já existentes e em outra parte os substituem. Isso ocorre porque as estruturas institucionais e tecnológicas mudam, assim como as percepções dos consumidores. Exemplos simples como a introdução de tubulação de água nas cidades (GEELS, 2005a) ou a substituição de fossas por infraestrutura de base com sistema de esgotos (GEELS, 2006a) permitem entender esse processo como de transição.

Segundo o STRN - *Sustainability Transitions Research Network* (2017), os grandes desafios relacionados à sustentabilidade na produção e no consumo partem das questões ambientais e desembocam na revisão de padrões pré-estabelecidos. A solução para esses problemas requer esforços de inovação que não podem ser resolvidos por melhorias incrementais, mas por mudanças radicais. Nesse sentido, as alterações implicam transformações sociotécnicas radicais em sistemas tais como eletricidade, energia, transporte e agricultura. Esse aspecto amplo se dá por meio de características especiais das transições de sustentabilidade, dentre as quais se destacam multidimensionalidade e coevolução, processo multiator, alternância entre estabilidade e mudança, processo de longo prazo e muitas opções de caminhos e incertezas, além de requerer atenção das políticas públicas. Essa multiplicidade de aspectos implica que as transições envolvem, segundo Markard, Raven & Truffer (2012), mudanças em diferentes dimensões e com uma grande variedade de atores. Assim, a academia vem produzindo estruturas analíticas afim de atender essas características.

Na busca pela fundamentação teórica, foram constatados na literatura alguns trabalhos que identificaram nos estudos de transição diferentes abordagens conceituais que descrevem caminhos teóricos; trabalhos esses que apresentam as estruturas analíticas e suas bases teóricas para enfrentar o desafio de lidar com as TS. Assim, segue a descrição dos trabalhos que abordam os *frameworks* teóricos usados como instrumento de estudo das transições sustentáveis.

2.3. Trabalhos que Organizam o Tema da Transição e suas Abordagens

A análise do arcabouço teórico das transições permitiu destacar alguns

trabalhos⁶ que podem ser considerados seminais em aspectos teóricos e que organizaram o tema da transição ressaltando os caminhos e as diferentes abordagens desenvolvidas. Os trabalhos usados como fonte são: STRN⁷ (2010, 2017), Markard , Raven & Truffer (2012), Van Den Bergh, Truffer & Kallis (2011) e Foxon, Pearson & Hammond (2008). O Quadro 1 foi construído a partir dessa literatura sobre TS, em que os autores detalham as abordagens de pesquisa centrais para o estudo do tema. Cada um dos trabalhos e suas abordagens de pesquisa são detalhados em seguida.

Quadro 1 – Abordagens de Pesquisa em Transição Sustentável

Publicação	Abordagem de Pesquisa
STRN (2010, 2017)	• Gerenciamento de Transições - <i>Transition Management</i> (TM) • Sistemas tecnológicos de inovação - <i>Technological Innovation System</i> (TIS) • Perspectiva multinível (MLP) • Gerenciamento de Nichos Estratégicos - <i>Strategic niche management</i> (SNM)
Markard, Raven & Truffer (2012)	• Gerenciamento de transições (TM) • Sistemas tecnológicos de inovação (TIS) • Perspectiva multinível (MLP) • Gerenciamento estratégico de nicho (SNM)
Van Den Bergh, Truffer & Kallis (2011)	• Gerenciamento de transições (TM) – Sistemas Complexos • Sistemas tecnológicos de inovação (TIS) • Perspectiva multinível (MLP) • Sistemas evolucionários
Foxon, Pearson & Hammond (2008)	• Perspectiva multinível (MLP) • Sistemas tecnológicos de inovação (TIS) • Dinâmica da coevolução.

Fonte: Autoria Própria

A Sustainability Transitions Research Network - STRN (2010, 2017) descreve que a razão das pesquisas em transição está no reconhecimento de que existem problemas ambientais. Esses problemas são desafios sociais que

⁶ Os trabalhos foram usados, pois, do ponto de vista da tese, conferem contribuição teórica e, do ponto de vista acadêmico, apresentam mais de 100 citações (em bases como Google Scholar e Science Direct), e/ou são seminais no tema abordado.

⁷ STRN é uma rede de pesquisa independente. “O grupo trabalha para melhorar a compreensão científica quanto às transições de sustentabilidade através de um programa em rede e coordenação de pesquisas. A rede tem como objetivo proporcionar um espaço onde os pesquisadores podem se envolver em uma troca sobre os desafios da sustentabilidade e encontrar ajuda e apoio no acesso a recursos, abordagens de investigação e público para sua pesquisa.” (STRN, 2017)

requerem mudanças estruturais profundas em sistemas-chave na sociedade tais como energia, transporte e agricultura. O reconhecimento de que já existem sistemas em funcionamento dificulta a estabilização em um novo sistema por questões de *lock-in* e *path dependence*. Para a STRN (2010), “em pesquisa de transição, o reforço do processo mútuo é chamado de regime sociotécnico”. Isso implica que os regimes existentes geram reforços “naturais” para se manterem. Logo, o problema central nas transições é desconectar os mecanismos de *lock-in* estabilizados sob dimensões amplas como econômica, técnica, política, científica e cultural.

Todos esses aspectos reforçam que as pesquisas em transição proveem respostas multidimensionais. Para o desenvolvimento conceitual e teórico, quatro importantes *frameworks* são apresentados: a perspectiva multinível (MLP), o Gerenciamento de Nichos Estratégicos - Strategic niche management (SNM), os sistemas tecnológicos de inovação (Technological Innovation Systems – TIS) e o Gerenciamento de Transições (Transition Management – TM).

Segundo o STRN (2010, 2017), a MLP tem suas origens nos trabalhos de Rip e Kemp, (1998), Geels (2002) e Smith *et al.* (2005), e sua base teórica se estrutura nos três níveis analíticos: “nicho, lócus das inovações radicais; regime sociotécnico, que está fechado e estabilizado em diversas dimensões, mas que aceita inovações incrementais; e *landscape* sociotécnico exógeno.” O processo de interação entre esses níveis pode criar pressões e tensões, gerando janelas de oportunidades.

Já a abordagem TIS tem suas origens nos trabalhos de Bergek *et al.* (2008), Jacobsson e Johnson (2000), Hekkert *et al.* (2007) e Negro *et al.* (2008). Nesse caso, o foco é no surgimento de uma inovação tecnológica. Para o STRN (2010), o sistema tecnológico de inovação é definido “como uma rede de agentes interagindo nas áreas econômica e industrial sob uma infraestrutura institucional particular e envolvida na geração, difusão e utilização da tecnologia.” E ainda descreve que o surgimento de uma nova tecnologia depende de sete funções: atividades empresariais, desenvolvimento do conhecimento, difusão do conhecimento através das redes, guia de busca, formação do mercado, mobilização de recursos e criação da legitimidade.

O Gerenciamento de Nichos Estratégicos (SNM) é outro *framework* usado

na literatura para analisar o aparecimento de inovações. Os trabalhos de Kemp et al. (1998), Geels & Raven (2006) e Schot & Geels (2008) são a base para essa abordagem. O objetivo é concentrar os estudos em várias dimensões de processos de aprendizagem, redes de atores, visões e expectativas.

O Gerenciamento de Transições se refere ao aspecto de orientação estruturada de políticas públicas direcionadas à transição através de uma governança. A sequência de etapas descrita para a sua implementação dada pelo STRN (2017) inclui: i) identificar potenciais caminhos e estruturar atividades estratégicas para isso; ii) desenvolver atividades táticas que de forma concreta atendam a agenda de implementação; iii) descrever as atividades operacionais direcionadas à implementação e iv) acompanhar a implementação por meio de atividades de monitoramento e reavaliação de projetos adotados. Os trabalhos indicados como fonte são Rotmans *et al.* (2001) e Loorbach (2010).

Os trabalhos de Markard, Raven & Truffer (2012) e Van Den Bergh, Truffer & Kallis (2011) apresentam uma estrutura muito parecida da divisão das pesquisas conceituais para estudar a transição sustentável. Os dois trabalhos identificaram quatro abordagens e três delas coincidem. As três abordagens que coincidem consideradas centrais para a concepção da teoria das transições sustentáveis foram o gerenciamento de transições, os sistemas tecnológicos de inovação e a perspectiva multinível (MLP). O quarto instrumento de análise dos autores é o gerenciamento estratégico de nicho (SNM) para Markard, Raven & Truffer (2012) e a abordagem de sistemas evolucionários para Van Den Bergh, Truffer & Kallis (2011).

A publicação de Foxon, Pearson & Hammond (2008) apresenta três abordagens de pesquisa para o tema, que incluem várias vertentes. São elas: perspectiva multinível (MLP), sistemas tecnológicos de inovação (TIS) e dinâmica da coevolução. Segundo os autores, as pesquisas em MLP têm suas origens em trabalhos realizados por holandeses como Elzen *et al.* (2004) e Geels (2005a), que combinaram pesquisas técnicas, sociais e análises históricas sobre o passado e sobre transições correntes usando um *framework* analítico baseado nas interações entre os três níveis da MLP.

Nos sistemas de inovação, Foxon, Pearson & Hammond (2008) destacam que as pesquisas focaram em detalhar o entendimento do processo de inovação em uma perspectiva de sistemas. Segundo os autores, os primeiros trabalhos

nessa linha foram realizados por Freeman (1988), Nelson (1994) e Lundvall (1992); trabalhos esses que compararam o processo de inovação em diferentes países e avaliaram de que forma isso refletia nas interações dos diversos atores. Posteriormente, muitos trabalhos têm focado no sistema de inovação tecnológico especificamente. Os sistemas de inovação incluem os atores, as redes e as instituições. O objetivo é entender como se dá o processo de inovação dentro das empresas, cuja definição é dada por “redes de atores interagindo em uma área específica da tecnologia sob uma infraestrutura institucional específica com o propósito de gerar, difundir e utilizar tecnologia” (CARLSSON & STANKIEWICZ, 1991).

A terceira fonte de pesquisa para Foxon, Pearson & Hammond (2008) é a abordagem coevolucionária como um processo de longo prazo de estabilização e mudanças mútuas que envolvem sistemas. Um *frame* analítico foi desenvolvido para analisar o processo coevolucionário das interações que envolvem tecnologia, instituições e estratégias comerciais. A questão é identificar as interações causais que envolvem os sistemas. Para Foxon, Pearson & Hammond (2008), alguns autores - a exemplo de Nelson (1994, 2005) - usaram essa estrutura para estudar os sistemas de inovação e o crescimento econômico. Para os autores, é preciso na coevolução estudar as transições em quatro sistemas que se encontram no mesmo grau de prioridade, entre os quais, os sistemas tecnológicos, as instituições, as estratégias de negócios e as práticas dos usuários.

Esses trabalhos contribuem para entender a amplitude das TS, e pesquisá-los indica que diferentes abordagens podem e têm sido usadas para interpretar e analisar os problemas ambientais, além de reforçar o aspecto de que não há um caminho convencionado na academia para os estudos. Por isso, escolhas devem ser baseadas em estruturas de pesquisa.

2.4. Escolha da Abordagem Teórica da MLP

As diferentes estruturas analíticas apresentadas possuem uma abrangência e amplitude que permitem conceituar as transições como processos longitudinais, multidimensionais e multiatores (STRN, 2017). Porém, a busca por identificar e contextualizar o caminho teórico desta tese a partir das TS direciona a abordagem para a MLP por diferentes motivos se comparado com as

abordagens apresentadas.

Primeiro, a MLP é um marco teórico em que a dimensão sistêmica das transições e a tensão entre estabilidade e mudança são centrais para essa abordagem. No caso desta tese, a interação entre diferentes graus de estruturação e a configuração multinível de análise permite entender os movimentos do sistema sociotécnico do etanol. A escolha por essa abordagem se adéqua ao processo dinâmico e alternado da introdução desse combustível que sofreu reveses em diversos momentos.

Segundo, o sistema tecnológico de inovação (TIS) concentra sua abordagem mais no surgimento da inovação do que na modulação dos sistemas existentes. O enfoque parte da teoria de inovação que, segundo Markard, Raven & Truffer (2012), coloca os estudos de TIS com foco maior em tecnologias específicas, que é diferente dos estudos iniciais baseados em tecnologias genéricas como base em suas análises. No caso do etanol, o trabalho desta pesquisa de tese não tem por objetivo tratar do surgimento de uma inovação específica, mas do processo de transformação e da dinâmica em si sob um aspecto mais amplo.

Terceiro, o gerenciamento de nicho estratégico (SNM) combina elementos da sociologia da inovação com economia evolutiva. Concentra-se, segundo STRN (2017), nas interações entre processos de aprendizagem (sob diferentes aspectos), redes de atores, visões e expectativas. O aspecto importante dessa abordagem, para Kemp, Schot & Hoogma (1998), é o enfoque no aprendizado que cria uma espaço protegido para uma tecnologia promissora. Esse aspecto de foco na aprendizagem é o que torna essa abordagem limitante na análise do amplo caso do combustível automotivo etanol.

Quarto, o gerenciamento de transições (TM) se refere à governança das transições, ou seja, a importância de uma estrutura orientada por políticas públicas a serem implementadas por um processo de etapas sequenciais. Essa visão de caminhos percorridos em etapas estruturadas dificulta a análise da transição dos combustíveis automotivos, na medida em que a pesquisa busca entender o processo histórico e a partir dele analisar a situação. Além disso, não apenas o aspecto de políticas públicas é o interesse, mas sim entender os diferentes atores e as diversas interações.

Quinto, tanto a dinâmica da coevolução como os sistemas evolucionários

mencionados nos trabalhos que abordam as TS fazem parte das ideias que a MLP combina (STRN, 2017 e Van Den Bergh, Truffer & Kallis, 2011). Nesse sentido, para Foxon, Pearson & Hammond (2008), a MLP foi “desenhado” sob um dos pontos da análise coevolucionária, por isso possuem pontos de tangência. Mas para os autores, a abordagem coevolucionária identifica as instituições, tecnologias, práticas de usuários e estratégias de negócio como a base para entender as mudanças econômicas e industriais. Já a MLP engloba conceitos de economia evolucionária e, ampliadas por uma visão de multiníveis, essas abordagens se encontram inseridas intrinsecamente.

Essa análise comparativa entre as abordagens teóricas delimita a escolha da MLP para avaliar o sistema complexo do estudo de caso em questão. Este trabalho está, portanto, embasado no conceito e abordagem da MLP como um instrumento analítico do processo de transição sustentável do combustível etanol. Os caminhos históricos evidenciados pela abordagem da MLP contribuem para o entendimento de seus contextos e, portanto, justifica-se a decisão acadêmica dessa estrutura analítica. Assim, o próximo passo tratará do desenvolvimento das bases teóricas da MLP.

2.5. Desenvolvimento das bases teóricas da MLP

Na construção das bases teóricas da MLP verifica-se, segundo Sorrel (2017) e Grin, Rotmans & Schot (2010), que a perspectiva multinível deve ser entendida conforme a teoria de processo e não da variância. De acordo com os autores, a MLP emprega os estilos explicativo e narrativo, característicos da teoria de processo. Já na teoria de variância, as mudanças das variáveis são fundamentadas pela relação de causa e efeito, na qual os resultados são produtos de variáveis independentes que atuam sobre variáveis dependentes. Essa comparação permite entender a MLP como uma estrutura que fornece explicações que harmonizam descrição com interpretação a fim de compreender as interações co-evolucionárias de trajetórias sustentáveis. Ademais, as transições são o resultado de cadeias de eventos e sequências temporais que podem levar a diferentes trajetórias. Tal metodologia, portanto, foi considerada como adequada para o caso desta pesquisa.

Esse enquadramento, na teoria de processos, se reforça sob diferentes aspectos, uma vez que: i) as transições são realizadas por diferentes grupos

sociais; ii) os atores mudam suas percepções, interesses, preferências e identidade durante as transições; iii) o momento dos eventos e as ligações de vários níveis é vital, pois influencia o tipo de caminho de transição; iv) as explicações na MLP são detalhadas e envolvem o rastreamento de voltas e alinhamentos de sequências e trajetórias de eventos; e v) a MLP tem generalidade porque é versátil e mantém seu caráter básico em diferentes estudos de caso e caminhos de transição. Além disso, a MLP⁸ deve ser considerada uma teoria de processos porque suas “bases fundamentais (teoria da evolução e estruturação) são teorias históricas que se concentram intrinsecamente nos desenvolvimentos ao longo do tempo” (GRIN, ROTMANS & SCHOT, 2010).

Outro aspecto importante a se destacar, como consequência desse embasamento que fundamenta a MLP, é o direcionamento de sua aplicação, dentro das pesquisas de transição, a fim de compreender como as transições históricas e contemporâneas se dão. Dessa forma, diversas pesquisas de transição canalizam esforços para analisar como este conhecimento (MLP) poderia ser aplicado em direção e apoio à inovação dos sistemas sociotécnicos (Smith *et al.*, 2010).

Outrossim, os sistemas sociotécnicos⁹ implicam em interações entre elementos sociais e técnicos e não são apenas em inovações do sistema. A configuração desses elementos sociais é desvendada e reconstituída e, assim como os elementos técnicos, podem se tornar obsoletas e ser substituídas. Abordar a co-evolução de elementos sociais e técnicos requer a observação do equilíbrio, do tempo e da intensidade de forças e de rupturas abrangentes que a MLP permite apurar.

Verifica-se na literatura que as pesquisas em inovações sustentáveis e suas tecnologias têm recebido cada vez mais atenção nos últimos vinte anos. Os desafios em lidar com as modernizações e com os esforços para o processo

⁸ Destaca-se o aspecto da MLP ter sido desenvolvida, na literatura acessada por esta pesquisa, para analisar casos históricos, de transições tecnológicas completas em países desenvolvidos.

⁹ Os estudos da abordagem sociotécnica surgiram na Inglaterra em razão dos diferentes problemas ambientais e sociais que o processo de produção nas minas de carvão implicavam. Esses estudos buscavam descrever e relacionar aspectos técnicos e sociais do trabalho, de forma a atingir um melhor desempenho na organização alinhada com a satisfação e qualidade de vida dos operários. Esses dois aspectos, social e técnico, se tornam um sistema e sua otimização é base para a organização atingir resultados mais eficazes (EMERY & TRIST, 1960; TRIST, 1981).

de mudança em direção de um ambiente sustentável (tanto de produção, quanto de consumo) ganharam enfoque no meio acadêmico, empresarial e governamental. Assim, dentro do contexto de desenvolvimento acadêmico-científico-empírico descrito, surgiu o *framework* da MLP desenvolvido por Geels (2002, 2004) e apresentado em seguida.

2.5.1. Estruturação da MLP

Segundo Geels (2010), as transições representam desafios sociais enormes, além de requererem profundas mudanças estruturais. Essas mudanças estruturais sistêmicas são chamadas de transições sociotécnicas porque envolvem alterações na configuração geral e, por consequência, em específicas. Logo, as transições são processos complexos e de longo prazo que compreendem múltiplos atores.

Conforme descrito no item anterior, os estudos sobre tecnologia passaram a ver as mudanças técnicas como um processo dinâmico não-linear em que o resultado desses sistemas passou a não ser determinado exclusivamente pelo mercado, mas formatado por questões sociais. Assim, as transições sociotécnicas se diferenciam das transições tecnológicas porque incluem práticas mais amplas, englobando tecnologias complementares e inovações não técnicas. Para a transição sociotécnica as mudanças vão além das estruturas dos sistemas e afetam também domínios sociais tais como formas de viver, morar, trabalhar, produzir, planejar e fazer políticas (MARKARD, RAVEN & TRUFFER, 2012).

Nesse sentido, alguns conceitos ainda requerem uma diferenciação. Para Markard, Raven & Truffer (2012), o sistema sociotécnico é um conjunto composto de rede de atores, instituições, artefatos materiais e conhecimento. Esses diferentes elementos do sistema interagem e, juntos, proveem serviços específicos para a sociedade. Portanto, o conceito de sistema indica uma grande variedade de elementos que se encontram intimamente relacionados e dependentes uns dos outros. A dinâmica do sistema possui crucial implicação para as transformações ao longo do tempo. As funções sociais são a parte tangível, ou seja, o grupo de atores e entidades sociais e técnicas que coletivamente são denominados de sistema sociotécnico (SORREL, 2017). Assim, a transição sociotécnica é um conjunto de processos que levam a

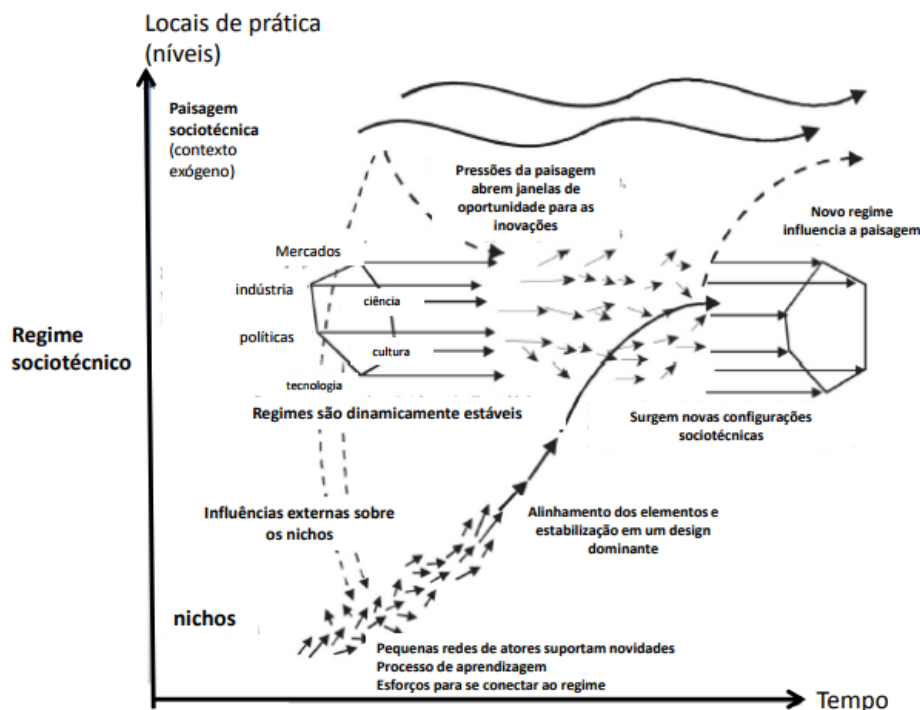
mudanças fundamentais no sistema sociotécnico.

Segundo Geels (2010) a MLP é uma teoria de médio alcance que conceitua padrões dinâmicos globais em transições sociotécnicas. Segundo Geels and Schot (2010) a transição sociotécnica é um conjunto de processos que levam a mudanças fundamentais no sistema sociotécnico. Para Bolton & Foxon (2015), as contribuições não estão direcionadas à construção de sistemas e do seu ambiente social, mas à transformação desses sistemas maduros sob um contexto novo de mudanças climáticas e segurança energética.

O *frame* analítico da MLP combina diversos conceitos e pressupostos a serem explorados. Especificamente, o sistema sociotécnico para Geels (2004), que consiste em um conjunto de elementos, inclui tecnologia, regulação, práticas de mercado e usuários, cultura, infraestrutura, redes de relacionamento e redes de fornecedores. Para estruturar esse sistema, Geels (2002) propõe um quadro analítico para estudar os processos de transição, a metodologia da perspectiva multinível. A MLP explica como as mudanças no ambiente sociotécnico acontecem a partir da inter-relação dos processos em três níveis: *landscape*, regime e nicho.

Os níveis (nicho, regime e *landscape*), conforme a Figura 1 descreve, ajudam a construir e analisar a dinâmica da inovação. Isso porque a transição tecnológica é um processo que deve incluir mudanças em diferentes aspectos relevantes, no sentido de romper o isolamento das iniciativas com alto potencial inovador para que assim possa ser colocada em prática, e talvez se transformar em um *design* dominante (Utterback, 1996).

Figura 1 – A dinâmica da Perspectiva da MLP



Fonte: Adaptado de Geels, 2002.

A dinâmica da perspectiva da MLP, desenvolvida na figura 3, procura explicar e entender a natureza, característica e modo de funcionamento do sistema sociotécnico, além dos processos por meio dos quais podem ocorrer transições para novos sistemas sociotécnicos. A revisão de casos histórico-aplicados mostra que tecnologias incrementais podem direcionar sistemas para mudanças, mas uma TS implica mudanças radicais em múltiplos níveis, fatores e atores. Para uma inovação incremental sair do nicho e chegar a constituir um sistema sociotécnico, é preciso obter ou apresentar vantagens para ser reconhecida como dominante. Além disso, deve estimular mecanismos de retroalimentação que levem a configurar um novo sistema e estruturar um novo regime sociotécnico. Essa inovação, sustentável, por exemplo, quando radical e vencedora, ultrapassa a “inércia” do nicho e pode constituir um novo regime sociotécnico estimulado ainda por pressões do *landscape*. Assim, a MLP é resultado de interações entre os três níveis de análise: nicho, regime e *landscape*, desenvolvidos em seguida.

2.5.2. Regime

O regime sociotécnico se refere às práticas dominantes, regras e tecnologias que garantem estabilidade e reforçam os sistemas sociotécnicos existentes. Segundo Sorrel (2017), o sistema sociotécnico “refere-se às tecnologias, infraestruturas, indústrias, cadeias de suprimento e organizações dominantes associadas ao fornecimento de uma determinada função social”, logo, corresponde ao aspecto tangível. Dessa função social, têm-se grupos reproduzindo e criando esses sistemas a partir de regras (regulativas, normativas e cognitivas), significados compartilhados e rotinas que representam os elementos mais intangíveis, que corresponde ao regime sociotécnico. Diversos atores podem ser os responsáveis por alterar, manter e reproduzir o regime sociotécnico vigente. As inovações competem com as tecnologias que se beneficiam justamente de sistemas sociotécnicos bem desenvolvidos do regime. Para Geels (2012), nos regimes a inovação é principalmente incremental e dá origem a trajetórias estáveis em função de mecanismos de *lock-in*¹⁰ e *path dependence*¹¹.

Segundo Geels (2005a), regimes são um conjunto de regras semicoerentes, pois podem estar alinhadas, tensionadas ou mesmo desalinhadas. Ao mesmo tempo, essas regras ou rotinas compartilhadas por diferentes agentes é o que permite ou restringe as atividades dentro das comunidades sociais. As relações entre atores e regras são ativas e requerem ação e criatividade. Apesar de serem ativas, proveem coordenação e interações que representam justamente a estabilidade do desenvolvimento tecnológico. Assim, os regimes tecnológicos são dinamicamente estáveis, em que as inovações são incrementais e devem ocorrer para melhorar o *design* dominante, deixando as regras básicas intactas.

Os grupos de atores atuantes no regime são muitos e de interesses variados. Os *stakeholders* envolvidos possuem papéis e forças difusas no processo de transição. Para Teece (1986), as empresas parecem ter o maior

¹⁰ Arthur (1989) explora como a dinâmica da alocação de recursos em uma economia com retornos crescentes pode fazer com que essa se “prenda” a um resultado não necessariamente superior às alternativas existentes, pelas dificuldades em se alterar caminhos (*lock-in*).

¹¹ David (1985) usa como exemplo os teclados de máquina de escrever para reforçar o entendimento de como mudanças tecnológicas se estabelecem como padrões mesmo que não representem a melhor escolha. O autor sugere que o autorreforço, neste caso, por treinamento levou ao *path dependence* do progresso tecnológico em determinadas soluções que não são necessariamente as mais desejáveis.

peso nos estudos de inovação, já para Geels (2012), é preciso superar essa crença e entender todos os atores como importantes para o regime. O autor complementa que o regime é um conceito interpretativo que requer uma análise investigativa profunda por trás da estrutura e das atividades do segmento em questão a ser analisado.

2.5.3. Nicho

O nicho de inovação pode ser definido como um domínio específico em que atores assumem riscos em inovação apoiados por instituições específicas. Por exemplo, laboratórios de P&D, projetos subsidiados pelo governo e atores com exigências especiais dispostos a apoiar inovações emergentes, como no caso de projetos militares e armamentos.

É importante destacar que na MLP descrito por Geels e Schot (2007) as transições tecnológicas partem de inovações que surgem em nichos. Logo, são essenciais para o processo de transição porque fornecem as bases para a mudança sistêmica. Para a inovação passar do nicho para o regime, pode ocorrer coexistência ou substituição. Em ambos os casos não é fácil, porque o regime existente é estabilizado por diversos mecanismos de *lock-in* e *path dependence*¹² (GEELS, 2004). Os movimentos nesses níveis devem ser compreendidos em inovações de sistemas, conforme a Figura 3 apresenta.

Segundo Geels (2004), se os regimes sociotécnicos forem estáveis e alinhados, inovações radicais de nicho têm pouca chance de romper com o paradigma existente no regime, fazendo com que essa inovação de nicho se mantenha limitada ao próprio nicho. Para romper, é preciso que haja tensões nas atividades dos grupos sociais e nos regimes sociotécnicos. Para se estruturar um novo regime sociotécnico, diferentes razões podem levar a essa ruptura, conforme a Figura 3 apresenta. Dentre os motivos, Geels (2004) destaca mudanças no *landscape*, problemas técnicos internos, externalidades negativas que afetam outros sistemas, mudanças nas preferências dos usuários, questões competitivas e estratégicas entre empresas.

Além disso, para Geels (2005), o desenvolvimento no nicho pode ocorrer

¹² Rosenberg (1976) relaciona *lock-in* com *path dependence* ao afirmar que a interdependência entre os componentes de dada tecnologia, sendo esta rígida, impõe necessariamente que não seja possível fazer alterações isoladas em um componente sem comprometer sua compatibilidade com a totalidade do sistema.

de duas formas: nicho tecnológico e nicho de mercado. O nicho tecnológico possui um grau de estabilização considerado instável e incerto. Não há uma rede de produtores e nem instituições de mercado conhecida. A rede de proteção para seu funcionamento é fornecida sob a forma de subsídios públicos ou investimentos estratégicos de empresas. O processo de aprendizagem e articulação se dá na expectativa de um futuro promissor. Já o nicho de mercado possui um grau de estabilização um pouco maior, dado pelo desenvolvimento da tecnologia, presença de empresas no mercado e preferências de usuários. A rede de proteção vem de requisitos de desempenho para aplicações de mercado, como rentabilidade. O processo de aprendizagem e articulação pode ser fortalecido por melhorias tecnológicas, participação de usuários e adaptação de regras e regulamentos. Ultrapassar estas limitações requer que o nicho se expanda e se torne mais estável.

No caso de tensões no nicho tecnológico ou de mercado, é possível que alguma vantagem surja a ponto de ganhar mercado, a partir de uma competição com o sistema existente e que assim se estabeleça um novo regime (Figura 3). Este deverá ser acompanhado de diversas mudanças como políticas, infraestrutura, práticas dos usuários, possível participação de novos entrantes e inclusão de novos regimes não presentes anteriormente. Se esse processo de transição do regime for capaz de gerar mudanças efetivas, um novo sistema e regime formar-se-ão. Destaca-se aqui a importância da rede social, pois o grupo social diferente ou ampliado acompanha o processo, gerando um sistema sociotécnico que transformará o regime, o nicho e o *landscape* em graus a serem analisados caso a caso.

2.5.4. *Landscape*

A paisagem sociotécnica (ou *landscape*) inclui aspectos dos valores sociais que são intangíveis e tangíveis e se refere ao ambiente externo. É o aspecto mais amplo, no sentido de estar fora do controle dos atores individuais. Sob o aspecto teórico seriam os arranjos institucionais (NORTH, 1990)¹³.

¹³ A definição dada por North (1990) é de que as instituições fazem parte das restrições formais e informais (convenções, códigos de conduta), que determinam as regularidades, reduzem as incertezas e proporcionam uma estrutura para o funcionamento da economia e da sociedade que ajuda a compreender o contexto e a importância deste nível.

O *landscape* pode ser entendido como um ambiente ou cenário para o desenvolvimento da trajetória tecnológica. Pode contribuir para tornar mais fácil que essa trajetória caminhe para uma direção, e não para outra. Isso porque, para Geels (2005), as trajetórias tecnológicas se situam no *landscape* e correspondem ao conjunto de tendências estruturais profundas externas ao regime.

O conteúdo do *landscape* é heterogêneo e inclui aspectos diversos tais como crescimento econômico, migração, coalizões políticas, valores culturais e normativos, questões ambientais, escassez de recursos, preços de recursos com peso geopolítico (petróleo) e guerras. Inclui ainda contextos materiais em grande escala da sociedade como arranjos materiais e espaciais da vida urbana, fábricas, rodovias e infraestrutura elétrica, dentre outros. Essa descrição de aspecto literal do *landscape* o define, segundo Geels (2005), como um nível que possui “dureza” material, no sentido de estabilidade.

Essa estabilidade, aparentemente incontornável, para os atores do regime pode ser alterada de forma relativamente mais lenta por mudanças culturais, demográficas e questões amplas como políticas e ideológicas. Ou pode ser alterada por mudanças mais rápidas e choques de curto prazo como eventos extremos, dentre os quais se destacam as guerras, crises econômicas, e mudanças abruptas em *commodities*-chave, como o petróleo. No caso desta tese, verifica-se uma pressão, sob o aspecto ambiental de mudança do clima, cada vez maior sobre o sistema de combustíveis em direcionar esforços para combustíveis mais limpos.

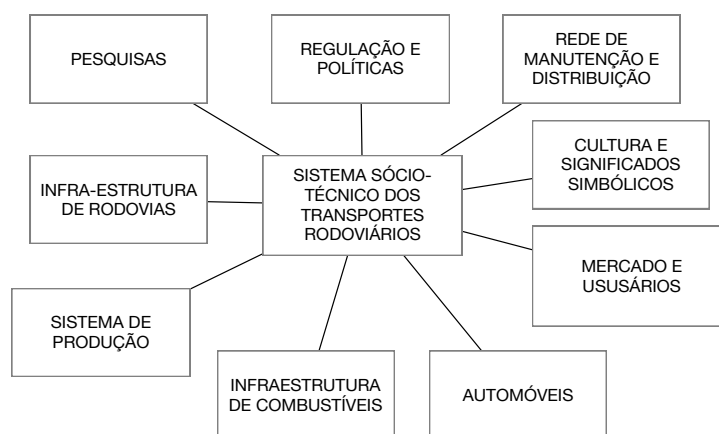
Essas características indicam que o *landscape* é mais difícil de alterar do que o regime, mas é possível ser alterado. A questão é que tal mudança foge do controle dos atores do regime. Ou seja, é um elemento externo à dinâmica orgânica das atividades locais. Por isso, a paisagem fornece uma estruturação mais forte, que é compartilhada entre os agentes e difícil de remodelar. Além da “dureza” estrutural, esse aspecto indica também que a presença de alguns elementos pode favorecer a transição. Estudar esse nível permite compreender o surgimento ou mesmo o desenvolvimento de uma inovação em determinadas situações.

2.5.5. Sistema Sociotécnico

Geels (2005) procura analisar as transições de sistemas sociotécnicos com diferentes exemplos para identificar os principais e mais relevantes elementos do processo. A construção de um quadro analítico do sistema sociotécnico tem por fim criar uma estrutura que permita analisar como os elementos e as ligações interativas se correlacionam ou coevoluem.

Os casos analisados e apresentados por Geels (2005) como, por exemplo, a descrição do sistema sociotécnico para transporte rodoviário, conforme a Figura 2 mostra, indicam a presença de diferentes regimes, a atuação do *landscape* e a ebulição do conhecimento nos nichos. O exemplo não apenas se relaciona ao tema da tese, mas mostra a complexidade de dimensões envolvidas com o aparecimento de uma nova tecnologia. O exemplo apresentado em Geels (2005) pela Figura 2 tratou da transição das carruagens para os carros automotivos. A quantidade e qualidade dos diferentes atores envolvidos no sistema sociotécnico indicam que os caminhos e trajetórias adotados levam à estruturação do regime.

Figura 2 – Sistema Sociotécnico dos Transportes Rodoviários



Fonte: Geels, 2005.

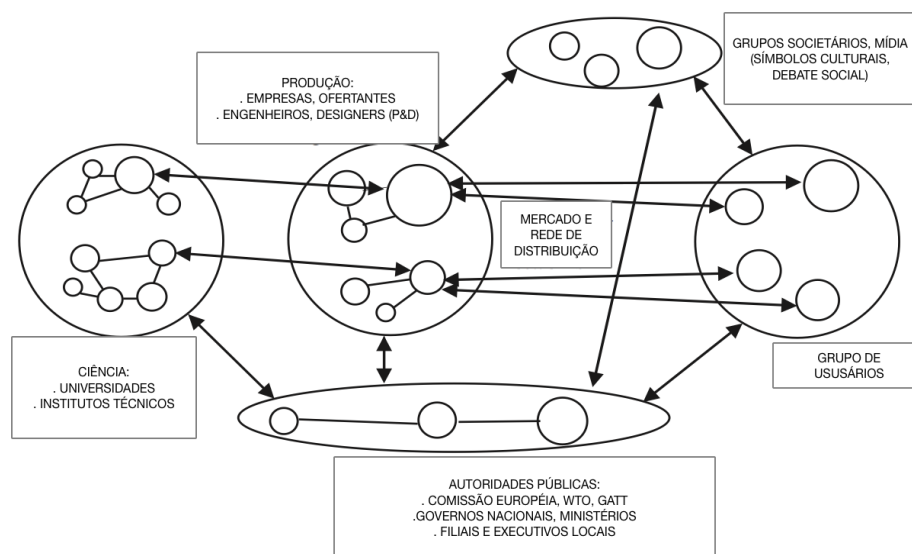
Todas as mudanças sob diferentes aspectos que passam pela demanda, oferta, valores, questões econômicas, leis, etc., influenciam a transição em muitas direções, e a MLP permite analisar e estruturar esse processo. As interações de nicho, regime e *landscape* procuram explicar o momento e o direcionamento da inovação no sistema. Já a construção e a identificação dos elementos envolvidos no próprio sistema de combustível automotivo renovável,

o etanol, estudo da presente tese, reflete o processo e a magnitude das mudanças pelo número de atores em rede, caso a ser demonstrado nos próximos capítulos.

2.5.6. Os Agentes na Transição

A contrapartida do sistema sociotécnico é a construção dos grupos sociais ou agentes envolvidos no novo sistema emergente. Ao longo do processo, diferentes grupos podem surgir, participar e desaparecer. Essa seria a descrição dos caminhos da transição. Neste caso, a Figura 3 indica uma descrição teórica dos agentes do regime, nicho e *landscape* de um regime sociotécnico em um determinado momento. Entender o processo requer analisar os fatos ao longo do tempo e as interações entre esses grupos destacados (Figura 3).

Figura 3 – Grupos Sociais que Participam de Sistemas Sociotécnicos



Fonte: Geels, 2002.

Divididos em grandes grupos, como apresentado na Figura 3, os grupos sociais permitem estruturar os principais atores no regime. Afinal, a transição ocorre porque as relações entre grupos sociais mudam através do tempo e novos grupos emergem. Assim, as definições de limites empíricos podem ser um instrumento de análise importante para o estudo.

A delimitação dos atores permite constatar que eles possuem autonomia e composições diferenciadas. O exercício empírico indica que se agrupam por características e por uma série de “linguagens” que os definem. Mas é importante que se acrescente que há coordenação entre os grupos de um sistema porque seus membros compartilham das regras cognitivas, formais e normativas (GEELS, 2005).

Essa rede de interação cria dependências mútuas, apesar das características próprias dos atores. O aspecto de coordenação entre os grupos indica que existem ligações entre diferentes regimes. Por isso, Geels (2005) propõe o conceito de regime sociotécnico e afirma que possuem autonomia e interdependência ao mesmo tempo.

A construção do *frame* analítico dos grupos sociais permite construir e rever trajetórias e visualizar atores na transição de sistemas pela introdução de uma inovação. Assim, é possível entender a dinâmica da interação entre os regimes, as regras, os atores e os sistemas.

A descrição do sistema sociotécnico e do grupo de agentes envolvidos no sistema é parte do processo de descrição empírica organizada ao longo do tempo. Em seu trabalho, Geels (2005) analisa diferentes exemplos práticos, e os divide em etapas históricas para refazer os caminhos da transição. Uma estratégia teórica por ele desenvolvida para analisar as TS foi estudar as fases de transição dos ao longo do tempo. As fases da inovação de sistemas permitem entender o processo de criação da inovação e da sua passagem de nicho para a construção e estabelecimento do novo regime, entendendo que o novo regime sofre influência do *landscape* e sua difusão depende de múltiplos fatores que podem ser compreendidos melhor a partir de uma análise temporal.

2.6. Fases na Transição de Sistemas

Segundo Geels (2005), a MLP elimina a simples causalidade em inovações de sistemas, pois não há uma única causa, mas um processo simultâneo em múltiplas dimensões e níveis. Há um aspecto de causalidade circular em inovações que ocorrem quando processos se ligam e se reforçam mutuamente. Aqui se ressalta o aspecto de hierarquia e coevolução presentes na MLP.

A inovação não ocorre simplesmente porque foi motivada pela novidade no nicho, mas seu avanço e difusão dependem de processos e circunstâncias do regime e *landscape*. Assim, inovações radicais não conseguem sair do nicho quando o regime sociotécnico é estável. Ainda que tensões ocorram no regime, não há garantia de que a inovação perdure e se sobreponha ao regime. Em diversas situações, os problemas do regime podem ser resolvidos com inovações incrementais dentro dele próprio, enquanto nichos novos podem falhar.

Esse processo de aprendizagem ocorre em dimensões tais como tecnologia, preferências dos usuários, políticas, infraestrutura e significado simbólico. Para que os nichos sejam bem sucedidos, os processos são alinhados gradualmente, levando a uma maior estabilidade e convergência até que se estabeleça um *design* dominante. Para estudar essa transição, Geels (2005e) propõe que o processo se dê em diferentes etapas, com características também distintas, e que o processo de construção da inovação e solidificação como um regime esteja dividido em quatro fases, conforme o Quadro 2 apresenta.

Quadro 2 – Estrutura de Fases

MLP	FASE 1	FASE 2	FASE 3	FASE 4
PERSPECTIVA MULTINÍVEL	SURGIMENTO DA INOVAÇÃO	ESPECIALIZAÇÃO TÉCNICA EM NICHOS DE MERCADO	AMPLA DIFUSÃO E COMPETIÇÃO COM O REGIME ESTABELECIDO	SUBSTITUIÇÃO DO REGIME E IMPACTOS NA SOCIEDADE
CARACTERÍSTICAS GERAIS	ETAPA EMBRIONÁRIA COM MOVIMENTOS NOS NICHOS POUCA VISIBILIDADE PARA O REGIME		INOVAÇÃO GANHA ESPAÇO E Atinge o REGIME	
LANDSCAPE				
REGIME			. VISIBILIDADE DA NOVA TECNOLOGIA COM AVANÇO SOBRE O MERCADO CONVENCIONAL E O SURGIMENTO DA COMPETIÇÃO . DOIS FATORES EXPLICAM A DINÂMICA DESTA FASE: -> CIRCUNSTÂNCIAS EXTERNAS - QUE CRIAM JANELAS DE OPORTUNIDADE PARA DIFUSÃO -> DRIVERS INTERNOS - PERSPECTIVA ECONÔMICA E/OU PERSPECTIVA SOCIOTÉCNICA	. QUESTIONAMENTO QUANTO A SUBSTITUIÇÃO . FATORES QUE LEVAM A EFETIVAÇÃO DESTE NOVO CENÁRIO SÃO: -> RELAÇÃO ENTRE CUSTO E DESEMPENHO -> CONSTRUÇÃO DE UM NOVO REGIME SOCIOTÉCNICO -> DOMÍNIOS SOCIAIS -> INTENSIDADE DO CAPITAL EXIGIDO
NICHO	. REALIZADA POR TÉCNICOS PIONEIROS E PROJETOS DEDICADOS DE P&D . NOVAS TECNOLOGIAS SÃO INTERPRETADAS COMO ASSOCIADAS À TECNOLOGIA ANTIGA . SITUAÇÕES POTENCIAIS DE INOVAÇÕES REVOLUCIONÁRIAS PODEM NÃO SER RECONHECIDAS . INOVAÇÃO EMERGE DE NICHOS TECNOLÓGICOS OU DE MERCADO	. FASE DE ESPECIALIZAÇÃO TÉCNICA EM PEQUENOS NICHOS DE MERCADO . CRIAÇÃO DE REDE SOCIAL . PRESENÇA DE EXPLORAÇÃO E APRENDIZAGEM . ROMPIMENTO DO VELHO REGIME REQUER: ->COMERCIALIZAÇÃO OU SUBSÍDIOS DO GOVERNO -> AVANÇO GRADUAL DE DESEMPENHO -> COMERCIALIZAÇÃO EM NICHOS . A MEDIDA QUE AS REGRAS SE ESTABILIZAM A NOVA TECNOLOGIA SE DESENVOLVE	CONTINUAM OS MOVIMENTOS DE NICHOS	CONTINUAM OS MOVIMENTOS DE NICHOS

Fonte: Autoria Própria (baseado em Geels, 2005e)

Na 1ª e 2ª fases, os processos sociológicos e sociotécnicos são mais importantes, pois a ênfase se dá nas percepções e regras que permitem o alinhamento de aspectos heterogêneos para o codesenvolvimento do novo regime. Na 3ª e 4ª fases, o regime se instala de modo tal que a competição econômica desempenhe um papel mais importante devido à presença da concorrência e da substituição como etapa da inovação no sistema. Assim, segue a delimitação de desenvolvimento em cada uma das fases. A estrutura apresentada por Geels (2005e) se baseia em uma sequência em que a inovação segue uma trajetória que parte da fase 1 até atingir a fase 4. Este mecanismo de difusão e fixação de uma inovação segue um padrão conforme apresentado no Quadro 4 e descrito em seguida.

Na 1ª e 2ª fases não será apresentado nenhum quadro analítico descritivo dessas etapas, pois seu caráter embrionário e de inovação ainda está no nicho tecnológico ou de mercado. Nas fases 3ª e 4ª, a inovação ganha espaço e atinge o *status* de um regime, por isso sua análise é mais robusta e requer uma avaliação mais estruturada e ampla. Assim, nessas etapas será apresentado um quadro teórico de análise.

A primeira fase é chamada de surgimento ou emergência da inovação e parte da ideia de que “inovação é uma solução à procura de problemas” (GEELS, 2005). A inovação nessa fase emerge de nichos tecnológicos ou nichos de mercado, onde os atores sociais improvisam com base em regras do regime existente e se adéquam àquilo que os usuários desejam. Esta fase é realizada por técnicos pioneiros e projetos dedicados de P&D. As novas tecnologias são interpretadas como regras e categorias associadas à tecnologia antiga. Por isso, em muitas situações potenciais, inovações revolucionárias podem não ser reconhecidas nesta fase.

A segunda fase é a de especialização técnica e ocorre em pequenos nichos de mercado. A rede social que apoia a inovação pode se transformar em uma comunidade direcionada e focada, composta por engenheiros e produtores. Nesse caso, suas atividades visam melhorar a tecnologia e descobrir mais sobre as preferências dos usuários, legislação e redes de apoio. O caráter de exploração e aprendizagem está presente. A nova tecnologia se emancipa do antigo regime porque os novos grupos técnicos se especializam. Os grupos sociais aparecem no entorno da inovação, e são criadas associações de

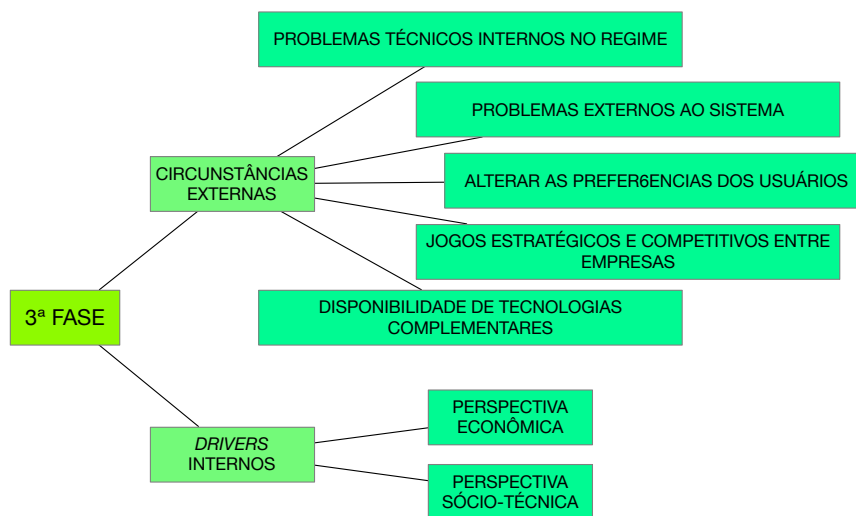
profissionais, revistas especializadas, novos locais de comunicação e conferências. Romper com o regime existente e sair do nicho requer comercialização ou subsídios do governo, além de avanço gradual de desempenho, o que impacta o direcionamento de recursos. À medida que as regras se estabilizam, a nova tecnologia desenvolve uma trajetória tecnológica própria.

Entretanto, o desempenho da nova tecnologia avança melhora gradualmente se houver recursos suficientes para incentivar o processo. Enquanto na primeira fase os projetos são realizados por técnicos pioneiros e atividades dedicadas de P&D, na segunda fase é preciso que haja alguma comercialização em nichos. Inicialmente, as novas e antigas tecnologias se relacionam. Com o passar do tempo, novos conceitos e interpretações passam a fazer parte da nova atividade de forma gradual. Por isso, a estabilização de regras no entorno da nova tecnologia é uma pré-condição para sua ampla difusão.

Na prática, essas duas fases ocorrem em nichos particulares e são relativamente invisíveis para atores do regime. Se o avanço da nova tecnologia ocorrer de forma ampla, caracterizando um ambiente de difusão e competição com o regime estabelecido, tem-se o surgimento da terceira fase.

A terceira fase se caracteriza pela visibilidade da nova tecnologia a partir do seu avanço sobre o mercado convencional e o surgimento da competição. Para Geels (2005), dois fatores podem explicar a dinâmica desta fase: as circunstâncias externas e os *drivers* internos, conforme a Figura 4 descreve.

Figura 4 – Terceira Fase da Transição



Fonte: Adaptado de Geels, 2005e.

Circunstâncias externas são aquelas que criam janelas de oportunidade para a difusão da inovação. Como exemplos de circunstâncias externas, têm-se problemas técnicos internos ao regime, problemas externos ao sistema, mudança de preferências dos usuários e jogos estratégicos e competitivos entre empresas, que podem criar oportunidades e disponibilidade de tecnologias complementares para as novas tecnologias. Essas circunstâncias externas podem ainda ser influenciadas por desenvolvimentos no *landscape* como mudanças culturais e problemas que requerem atenção da sociedade: questões ambientais, por exemplo.

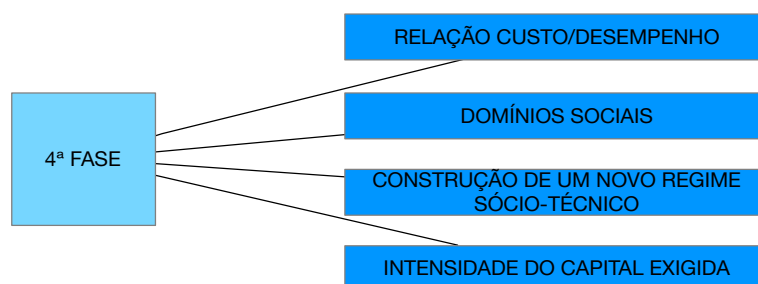
Já os *drivers* internos se dividem em perspectivas econômicas e/ou perspectivas sociotécnicas. As perspectivas econômicas relacionam preço com desempenho da inovação como uma forma de impulsionar a difusão pela sua dinâmica interna. A melhoria da relação preço/desempenho se traduz em melhoria de produto e processo produtivo. Os retornos crescentes levam ao *path dependence* a partir da construção do processo em si, pelo *learning by doing*, externalidades de redes, economias de escala e inter-relações tecnológicas. Sob o enfoque da perspectiva sociotécnica, como descrito por Rip & Kemp (1998), a difusão se dá pela criação de vínculos entre elementos heterogêneos que criam irreversibilidade e dependências mútuas. Essas ligações ocorrem de forma

desigual em decorrência de ajustes entre diferentes estruturas, como grupos sociais, instituições, artefatos, máquinas, fábricas e infraestruturas.

A terceira fase se estabelece e cria ligações que podem levar à irreversibilidade e dependências mútuas (*path dependence*). Embora o processo seja desigual e requeira ajustes, a substituição gradual pode ocorrer e levar à quarta fase.

A quarta fase implica a substituição gradual do regime estabelecido e configuração de impactos mais amplos na sociedade. Surge então o questionamento quanto ao fato da nova tecnologia ser efetivamente um substituto da antiga. Os fatores que levarão à efetivação deste novo cenário são descritos por Geels (2005), de acordo com a Figura 5: i) a relação custo/desempenho do novo melhora gradualmente com as inovações incrementais; ii) o domínio da sociedade pela nova tecnologia pode requerer tempo, pois pode implicar muitos e diferentes critérios de seleção; iii) a construção de um novo regime sociotécnico pode requerer uma ampla transformação que leva tempo, sob diversos aspectos, como nova infraestrutura, novas práticas de usuários, novas políticas e novas organizações iv) intensidade de capital exigida. Devido a esses quatro motivos, as tecnologias podem permanecer em nichos por um longo período, com o novo e antigo coexistindo. Afinal, impactos e mudanças não podem ser atribuídos a causas únicas, nem mesmo a um conjunto de fatores apenas, conforme a premissa teórica da MLP. As transições emergem do próprio processo em que impactos são coproduzidos. Assim, se dá a coevolução dos processos de transição.

Figura 5 – Quarta Fase da Transição



Fonte: Adaptado de Geels, 2005.

A estrutura de análise para rever o caminho de transição sociotécnica é uma estrutura de aplicação à MLP usada em alguns trabalhos do próprio autor. Nesses estudos (GEELS, 2005e), a abordagem de fases é direcionada da fase 1 à fase 4, apresentando um caminho estabelecido e reconhecido como de implantação de uma inovação. Esse aspecto, de estrutura sequencial padrão, indica o percurso “rígido” (linear) de uma inovação até a sua fixação, que segue seu direcionamento ainda que enfrente obstáculos e contratempos advindos do regime, do *landscape* e do nicho. A transição em direção à inovação deve ser revista a cada caso, já que o processo de construção do sistema sociotécnico requer uma investigação a longo prazo em que a sequência dos eventos e a sua multidimensionalidade possam ser indicadores determinantes de sua trajetória. Muitos outros trabalhos vêm se utilizando da abordagem da MLP e reconstruindo caminhos a partir de diferentes estruturas. Assim, em seguida serão apresentados alguns desses trabalhos como forma de entender sua amplitude teórico-aplicada.

2.7. Aplicação da MLP

A MLP é uma abordagem ampla que, como descrito por Safarzynska, Frenken & Van Den Bergh (2012), permite explorar diferentes mecanismos de força de grupos de atores, além de analisar hábitos e rotinas de padrões de comportamento produzidos nos processos de transição. Essa amplitude na estrutura analítica garantiu seu uso em diversos trabalhos que alinham diferentes teorias e investigação científica.

Dentro do contexto dos limites da abordagem teórico-aplicada, diversos trabalhos foram acessados por essa tese em diferentes momentos. Alguns conferiram contribuição teórica e metodológica ao estudo, além de permitirem entender a diversidade da aplicação teórica/empírica da MLP. Esses trabalhos¹⁴ são apresentados de forma resumida e descritos neste item, dentre os quais: Smith, Stirling & Berkhout (2005); Foxon, Pearson & Hammond (2008); Geels & Schot (2007); Geels et al. (2016); Kern (2011); Bennett (2012) e Penna e Geels (2014).

¹⁴ Os trabalhos foram usados ou porque do ponto de vista da tese, conferiram contribuição teórica, ou do ponto de vista acadêmico, apresentaram mais de 100 citações (em bases como Google Scholar e Science Direct).

O estudo de Smith, Stirling & Berkhout (2005) endereça esforços para entender os caminhos da transição, o que inclui a análise da MLP, ao qual chamam de tipologia das transições, ao introduzir dois conceitos e descrevê-los em um gráfico com dois eixos. O primeiro eixo são os recursos, que podem vir do ambiente interno ou externo. O segundo eixo trata do tipo de coordenação desses recursos disponíveis como sendo alta ou baixa. Os autores destacam, nos quatro quadrantes criados a partir desses dois eixos, as diferentes tipologias que uma inovação de nicho pode percorrer, dentre as quais se destacam renovação endógena, reorientação de trajetórias, transformação emergente e transições intencionais. Os autores afirmam que entender essas nuances é importante no direcionamento das intervenções para determinados objetivos. O papel do poder e dos atores na governança da transição do regime são analisados, pois identificar a tipologia do caminho dominante pode levar ao desejado sucesso da transição.

A natureza multidimensional e a dinâmica estrutural permitiram que a literatura usasse a MLP em diferentes caminhos. Foxon, Pearson & Hammond (2008) desenvolveram estudos sobre transições e seus caminhos tendo como foco analisar as transições em energia no Reino Unido. Segundo os autores, a MLP foi usado como fonte em três áreas de pesquisa: a) transição, cenários e análise histórica, b) Gestão da transição energética e c) transição em Sistemas. Tal divisão contribui para confirmar a amplitude que a estruturação teórico-empírica enseja ao tema.

O trabalho de Geels & Schot (2007) amplia a visão inicial de que as transições ocorrem por meio da interação dos três níveis, *landscape*, regime e nicho, e que a direção seria quase sempre nicho-regime. Logo, tão importante quanto identificar os níveis de análise é investigar as interações entre esses níveis para que se compreenda a forma como a transição ocorre. Para os autores, a análise unicamente via perspectiva multinível não engloba as interações que levam à emergência de novos sistemas, por isso é preciso conhecer as trajetórias da transição. Os autores apresentaram uma ampliação da MLP ao sugerirem que diferentes tipos de alinhamentos levam a diferentes caminhos de transição e incluíram no modelo original duas dimensões: o tempo (e sua cronologia) e a natureza das interações. Com isso, ampliaram o modelo

para quatro caminhos: substituição tecnológica, transformação, reconfiguração e rede-alinhamento.

Posteriormente, Geels *et al.* (2016) propõem uma reformulação dessa tipologia de caminhos de Geels & Schot (2007), no sentido de mudanças durante o processo de transição desses caminhos. Para Geels *et al.* (2016), essa tipologia anterior deu pouca atenção às agências e instituições porque o papel do *Landscape* não depende apenas do tempo, mas também das interpretações e mobilização dos atores envolvidos. Assim, a reformulação e diferenciação dos caminhos de transição se ampliaram com o conceito de categorias advindas de Geels (2004) que incluem atores e grupos sociais, instituições, regras, tecnologias e sistemas sociotécnicos ampliados.

A reformulação da tipologia apresentada por Geels & Schot (2007) em Geels *et al.* (2016) permite ampliar a visão de caminhos tanto pelos elementos (ator, tecnologia e instituições) como pela possibilidade de incluir variações e mudanças ao longo do tempo. Assim, como descrito por Geels *et al.* (2016), essa reformulação vai além da tradicional dicotomia e provê uma nuance analítica para analisar processos de transição.

O trabalho de Kern (2011) inclui a análise das políticas públicas neste processo de transição. O trabalho procurou compreender as políticas adotadas em um determinado programa implementado pelo governo inglês e avaliou a sua efetiva contribuição para o processo de transição rumo à sustentabilidade. Como descrito, o objetivo era “pensar sobre o potencial de um instrumento particular de política para contribuir para um processo de transição melhor”. Dessa forma, o autor revisita o *framework* analítico da MLP e separa a sua análise. Cada um dos componentes da MLP é estudado sob determinados enfoques, a partir de entrevistas semiestruturadas e avaliação do desempenho e do histórico das medidas políticas adotadas, com o objetivo de entender se a direção traçada inicialmente foi alcançada. Assim, a partir desse *framework* analítico, cada uma das variáveis é avaliada qualitativamente, em termos de graus, a partir de contribuições de diversos participantes do mercado, demonstrando como as políticas em inovação e seus impactos foram importantes para a MLP. O trabalho de Bennett (2012) foi avaliar o processo de transição da indústria química/combustíveis baseada em matérias-primas renováveis no Reino Unido. O autor tinha uma preocupação histórica de rever caminhos e prospectiva,

assim, uniu a MLP a entrevistas, cenários, diagramas causais e modelos dinâmicos. O objetivo era analisar a transição tecnológica e identificar pontos para lançar o regime em uma trajetória mais sustentável, além de identificar uma dinâmica sociotécnica de ruptura do regime pela presença das biorrefinarias e biocombustíveis, logo, com a existência de projetos concorrentes.

O trabalho de Penna e Geels (2014) analisou o problema das mudanças climáticas e como a indústria automotiva americana se posicionou diante disso. Além da MLP, a análise longitudinal e o modelo *Dialectic Issue LifeCycle* (modelo DILC) foram usados. Para os autores, a indústria vem se adequando às tecnologias de baixo carbono, porém lentamente, em função do enfraquecimento das pressões do meio ambiente que seriam importantes para direcionar o comprometimento com mais afinco. .

Todas estas abordagens, mesmo que de forma diferente, aplicam e/ou constroem novas configurações para a MLP, além de contribuírem decisivamente para os estudos das transições sustentáveis. A análise desses trabalhos aplicados à MLP abre espaço para uma revisão crítica da teoria, na medida em que alguns pontos se verificam pelos trabalhos: i) todos apresentam teorias acessórias para construir caminhos, ii) a falta de instrumentos analíticos para prever caminhos, iii) a presença dos agentes no processo de transição não destaca o papel das políticas públicas e iv) a falta de um padrão de caminhos parece ser um fator crítico para alguns autores. Esses são apenas alguns dos elementos a serem investigados na análise crítica a seguir.

2.8. Revisão Crítica à MLP

A perspectiva multinível (MLP) permite uso amplo de sua abordagem, dadas às características de amplitude e versatilidade. Nessa linha de análise acadêmica e revisão teórica, alguns trabalhos destacam críticas que permitem rever seu uso para as transições sociotécnicas da sustentabilidade. Parte destas críticas foi respondida pelo próprio Geels (2011) e outras foram destacadas e ampliadas por Sorrell (2017). As contribuições desta tese de forma textual ocorrem em seguida às críticas, apresentando contribuições ou as ampliando. .

Geels (2011) responde a sete críticas que foram feitas ao seu *framework* da perspectiva multinível. Além de formular respostas, apresenta sugestões para

futuras pesquisas. Destacam-se as seguintes críticas: (1) *Lack of agency*, (2) problemas de operacionalização dos regimes, (3) tendência para modelos de mudança *bottom-up*, (4) abordagem heurística e estilo explicativo, (5) ontologia e metodologia, (6) paisagem sociotécnica como categoria residual e (7) ontologias planas versus níveis hierárquicos.

Já Sorrel (2017) volta a alguns temas descritos no trabalho de Geels (2011) e amplia suas críticas e abordagem. O autor apresenta alguns pressupostos explícitos e implícitos à MLP, e o seu trabalho destaca os seguintes pontos críticos: (1) a distinção ambígua entre sistemas e regimes, (2) a concepção problemática da estrutura social, (3) o uso da teoria como um dispositivo heurístico em vez de uma explicação causal, (4) a ambição de desenvolver uma estrutura extremamente versátil em vez de testar explicações concorrentes, (5) a tendência de incorporar um número cada vez maior de ideias teóricas ao mesmo tempo em que presta atenção insuficiente à necessidade ou contingência de mecanismos particulares (6) a dependência de estudos de caso únicos e históricos com pouco uso de métodos comparativos e (7) a rejeição de metodologias potencialmente úteis tais como a modelagem baseada em agentes.

Inicialmente, é importante destacar que, para Geels (2011), a MLP é uma teoria de médio alcance que conceitua padrões dinâmicos globais em transições sociotécnicas. Seu quadro analítico combina diversos conceitos, como economia evolucionária, *Sciency & Technology Studies* (STS), teoria da estruturação e teoria neoinstitucional. Assim sendo, para o autor, nem todas as críticas podem ser resolvidas, porque algumas se relacionam com as diferenças de pressupostos ou estilos acadêmicos.

A primeira crítica se refere ao *lack of agency*, em que a falta de estruturação da participação social com interação de atores é destacada. Para Geels (2011), não há como não levar em consideração a participação dos atores, pois trajetórias e alinhamentos multiníveis são sempre promulgados por grupos sociais. O autor concorda que alguns atores são menos desenvolvidos e aceita que teorias auxiliares poderiam contribuir para a ampliação do médio alcance da MLP.

Sorrel (2017) chama a atenção para sua crítica nesse aspecto sobre o debate da sociologia entre a relação da estrutura social com a agência individual. Para o autor, a MLP incorpora ideias de diferentes teorias, o que parece lhe conferir ambiguidade em algumas situações, mas ao mesmo tempo flexibilidade suficiente para que seja interpretado e desenvolvido de várias maneiras.

Nesta tese, a reflexão sobre a crítica é de que buscar por uma estrutura mais rígida, no que refere ao papel dos agentes, é uma tendência na ciência como forma de padronizar movimentos e direcionar caminhos rumo à sustentabilidade. A presença de um instrumento descritivo, como a composição dos agentes, atende em parte à análise, já que a MLP é uma estrutura aberta a partir de qualquer sistema sociotécnico, mas que, ao mesmo tempo, dificulta a construção de caminhos mais realistas, na medida em que o processo de aprendizagem pode ocorrer de forma flexível, não estruturada, o que dificulta a replicação do processo na busca por evitar insucessos. Assim, desenvolver teorias auxiliares seria importante para transições sociotécnicas. No caso da tese, esta crítica não foi um fator limitante, pois não havia a intenção de destacar o papel de nenhum agente específico ao longo da TS, mas entender o processo e identificar agentes atuantes.

A segunda crítica se refere à operacionalização e especificação dos regimes. Quanto à operacionalização, para alguns pesquisadores "não está claro como esses níveis conceituais devem ser aplicados de forma empírica". Ou seja, a mudança de regime em um nível pode ser vista apenas como uma mudança incremental, mas para um regime mais amplo, uma alteração em outro nível. Segundo Geels, a crítica poderia ser resolvida pela delimitação do objeto de análise, que é o papel do analista, e os casos concretos eliminam esse problema, pois cada caso é um caso. Quanto à especificação, a crítica se refere primeiro à falta de rigor conceitual, pois regime por vezes são regras e outras são sistemas. Para eliminar essa questão, o autor define sistema como elementos tangíveis e mensuráveis, e regimes com estruturas intangíveis e profundamente subjacentes. A segunda crítica é sobre o regime ser apresentado como homogêneo ou monolítico, o que para Geels (2011) é um fato para os estudos que se concentram em nichos de inovação e como eles lutam contra os regimes existentes. Geels (2011) defende seu *framework* afirmando que tal conceituação de homogeneidade e alinhamento interno dos regimes seria uma

questão empírica e não uma suposição. Em terceiro, a crítica é em relação aos processos de transição em que a maioria do trabalho parece se concentrar em um único regime, que enfrenta pressões dos nichos de inovações e desenvolvimentos do *landscape*. Para Geels, o tema de influência de outros regimes analisado é promissor e pouco estudado.

Para Sorrel (2017), o debate também se dá sob o contexto de ambiguidade que o conceito de regime e o sistema apresentam na formulação da MLP. Além disso, o autor afirma que há sobreposições e fronteiras imprecisas entre sub-regimes (por exemplo, sub-regime econômico da agroindústria e sub-regime tecnológico da indústria automobilística), entre diferentes regimes sociotécnicos e entre regimes e sistemas. Para o autor, se não fosse dada qualquer prioridade ao regime (definido como regras), e definido que os sistemas sociotécnicos derivam de alinhamentos e interligações dentro e entre artefatos físicos, grupos sociais e regras intangíveis, o problema seria solucionado.

Para a tese, a delimitação dos regimes é um fator importante para análise na medida em que do processo de interação multiníveis é que se dá a transição. Nesse sentido, a construção de um quadro analítico, incluindo os diferentes regimes que atuam na transição do regime em questão, pode contribuir para resultados promissores. Nesta tese, foi adotada a estratégia de inclusão de elementos concretos na análise longitudinal, como delimitar a MLP pela política, economia, cultura, ciência e tecnologia. Assim, foi possível incluir uma delimitação no instrumento de análise não apenas no regime, mas em cada um dos níveis atuantes nos diferentes regimes eram importantes para o processo.

A terceira crítica se refere à tendência da MLP para um *framework* de mudança *bottom-up*. Para Geels, os trabalhos iniciais realmente enfatizaram essa dinâmica, e para superar essa questão, diferenciou a MLP variando tempo e natureza de interações multiníveis, o que levou a quatro caminhos de transição (GEELS & SCHOT, 2007): transformação, reconfiguração, substituição tecnológica e de alinhamento e realinhamento. Geels acredita que modelos de mudança mais amplos podem ser um campo para futuras pesquisas.

A crítica pode ser atenuada também quando analisado o processo de transição a partir de estruturas que o configurem. A proposta desta tese foi usar as fases de transição (item 2.7). Inicialmente, elementos de nicho são o fator de diferenciação para um processo de transição. Enquadrar transições

sustentáveis, que ocorrem no longo prazo em padrões definidos, parece no mínimo reducionista. Como descrito anteriormente, uma saída poderia ser dividir a análise em fases com o intuito de captar a riqueza dos movimentos a cada período, como proposto.

A quarta crítica se refere à tendência da MLP a uma abordagem heurística e um estilo de explicação narrativa. Geels confirma a abordagem heurística, mas salienta que esta abordagem é mais adequada que a abordagem das variáveis para o estudo de fenômenos complexos, pois fornece ao analista um quadro para identificar as questões relevantes. Ele acrescenta que a MLP é baseado na economia evolucionária e, portanto, constitui um modelo aberto à contribuição de teorias auxiliares para a conceituação dos mecanismos dinâmicos. Quanto ao estilo de narrativa, o autor observa que é uma tradição dos estudos históricos e sociológicos, em que a sequência de eventos é um aspecto crítico da explicação dos fenômenos, e que a MLP fornece um quadro para estruturar a narrativa como uma narrativa causal.

A análise crítica de Sorrell (2017) indica que o uso da teoria como dispositivo heurístico em vez de explicação causal ocorre porque a MLP identifica uma ampla gama de mecanismos causais e há a necessidade de alinhamento entre eles. Assim, parece haver uma “notável” adaptação dadas as variações nos limites espaciais e temporais. Inclusive, Sorrell (2017) afirma que a MLP não é comparado nem testado em relação a outras teorias, mas elaborado para acomodar evidências de diferentes estudos de caso. Dessa forma, para Sorrell (2017), esta característica aproxima a MLP de um dispositivo heurístico (ou “estrutura de organização livre”), em que as explicações causais perdem força. Para o autor, esta possibilidade de acomodação e modificação da MLP enfraquece o argumento de que um sistema sociotécnico deve ser considerado uma entidade emergente e causal que alinha diferentes processos em interações a partir de nicho, regime e *landscape*, para que a transição ocorra.

Destaca-se na tese a estruturação longitudinal como um poderoso instrumento de confirmação da MLP como mecanismo causal. Para ser estruturado em termos de transição sociotécnica, a MLP exige uma organização temporal e causal de eventos que permitam entender o processo. Nesse sentido, a aplicação concreta da abordagem não permite desconectar a MLP de uma narrativa causal. Entender os caminhos de uma transição de longo prazo requer

um esforço de reconstrução que permeia a abordagem narrativa. As diferentes pesquisas em MLP confirmam a estrutura. Portanto, o enfoque recai sobre o pesquisador, que deverá selecionar os eventos diante de um universo de dados a serem analisados. Tal aspecto subjetivo é recorrente em pesquisas qualitativas, em que os dados escolhidos direcionam os caminhos.

A quinta crítica se refere à tendência da MLP de priorizar a ontologia com relação à metodologia. Geels observa que o foco da MLP sobre as dinâmicas complexas reduz a propensão a utilizar os métodos convencionais (tais como técnicas de regressão padrão e análise comparativa). Ele admite que o uso de outras técnicas analíticas poderia ser útil, mas adverte que isso não deve ser em detrimento da riqueza ontológica, transformando a MLP em uma teoria de variância.

A busca por padronizar e direcionar caminhos em transições sociotécnicas deve ser feita de forma criteriosa. A MLP é uma abordagem ampla, os estudos de caso concreto vêm mostrando a dificuldade em enquadrar modelos matemáticos delimitantes da riqueza e da complexidade da realidade em estruturas rígidas de análise. O uso conjunto desses instrumentos qualitativos e quantitativos deve ser para enriquecer a abordagem e não reduzir a aplicação do instrumento teórico. Nesta tese, essa amplitude foi suplantada pela abordagem de processos, pela inclusão das dimensões de análise na narrativa causal e pela construção de uma estrutura de fases da transição a fim de captar as nuances do processo.

A sexta crítica se refere à tendência da MLP de conceituar a paisagem como uma categoria residual, que acomoda todos os tipos de influência ambiental. Geels acredita que é uma crítica justificada e indica algumas possíveis melhorias: tornar o conceito de paisagem mais dinâmico por meio da identificação e do estudo dos fatores de estabilização e de desestabilização, e investigar a causalidade inversa, isto é, a forma com que os passos do regime influenciam as mudanças na paisagem.

A delimitação de um quadro analítico de dados (eventos) componentes dos diferentes níveis da MLP, como proposto por esta tese, elimina esta visão de categoria residual. A construção de uma narrativa histórica dos diferentes eventos pertinentes ao *landscape* destaca o seu papel e ressalta a sua importância.

A sétima crítica se refere ao tipo de ontologia próprio da MLP, ou seja, o fato de o ambiente social ser visto como multinível e hierárquico. Em particular, Geels (2011) descreve uma abordagem diferente da teoria da prática social, baseada em ontologia plana e movimento horizontal dos elementos sociais. Nas práticas sociais, o modelo de mundo é plano, e as relações é que são múltiplas. Para explicar as transições, a teoria da prática diferencia as práticas sociais estabelecidas das práticas sociais novas. As transições deveriam ser estudadas nas práticas novas, pois são instáveis e passíveis de estabilização com o tempo. Já as práticas estabelecidas por serem rotineiras e previsíveis são estáveis, o que não abre campo de estudo para as transições. Geels aponta que as duas teorias conceituam as transições de forma diferente, mas há semelhanças: as práticas estabelecidas podem ser vistas como regimes, e as novas como nicho. Ele acrescenta que o verdadeiro conflito é sobre a ideia de hierarquia, mas indica que a caracterização hierárquica é das formulações mais antigas da MLP. Conclui que a teoria das práticas sociais é promissora, mas que, sendo menos desenvolvida e logo menos estruturada do que a MLP, no estado atual, presta-se menos à aplicação empírica.

Essa crítica é a base da abordagem da MLP. Sua estrutura ampla e versátil é o que aparentemente tem o tornado tão usado em diferentes casos de análise. Assim, é justamente na crítica que se encontra a riqueza da abordagem. O fato de conseguir alinhar complexidade da realidade com simplicidade da abordagem permite enfrentar essa crítica. As estruturas multiníveis e hierárquicas elaboradas na tese permitiu reconstruir os caminhos da TS.

Algumas críticas à MLP são acrescentadas por Sorrell (2017). Assim, das sete críticas apresentadas, quatro ainda requerem uma ampliação. Três serão analisadas em conjunto, e a quarta posteriormente. Dentre as três, a primeira se refere à tendência da MLP de incorporar um número cada vez maior de ideias teóricas. O segundo se refere à tendência de incorporar estudos de caso únicos e históricos com poucos métodos comparativos. O terceiro item é que, para Sorrell (2017), a MLP rejeita metodologias úteis como a modelagem baseada em agentes. Estas três críticas podem ser unidas em uma só; em como lidar com teorias adjacentes e casos comparativos. A MLP depende de uma interpretação de um conjunto de observações empíricas dentro do *frame* teórico particular com o objetivo de estabelecer conexões e relações entre os eventos. Assim, a MLP

inclui elementos de modelos de inferência científica de dedução, indução, abdução e retrodução (SORREL, 2017). Para o autor, essa tendência de amplitude cria para o pesquisador desvantagens difíceis de desvencilhar. A fim de contornar o problema, ele sugere usar a abordagem contrafactual, a abordagem de comparação entre dois ou mais estudos de caso e a modelagem dinâmica baseada em agentes ou sistemas. O próprio autor, porém, afirma que a complexidade, o alcance e a duração das transições sociotécnicas representam um desafio mesmo para essas abordagens por serem "ferramentas reducionistas".

Essa crítica procede, já que para o pesquisador essa amplitude dificulta encontrar pontos de "nós" teórico-empíricos que justifiquem as análises. O problema, além da complexidade, alcance e duração da transição, é extrair dela informações que contribuam para efetivamente direcionar caminhos. Alguns fatores se destacam como questões a serem observadas pelo pesquisador a partir dessas críticas: i) amplitude de eventos do caso concreto a selecionar, ii) a seleção de fatos entre primários e secundários a serem incluídos e iii) a estrutura teórico-metodológica é importante para organização dos dados. A proposta desta tese para lidar com essa crítica foi comparar visões a partir de abordagens diferentes sobre o mesmo tema. Essa crítica em parte é direcionada à MLP pelas suas características e em parte permeia os estudos de caso longitudinais.

Por último, Sorrel (2017) reflete sobre a teoria de processos e narrativas. Para o autor, a MLP é uma teoria de processos e não uma teoria de variância. Na teoria de processos, a mudança se estabelece como um processo de desdobramento composto por uma sequência de eventos que acontecem em um arranjo institucional, levando a um determinado resultado. Na teoria de variância, as mudanças ocorrem em termos de variável independente e variáveis dependentes, em que uma explica as demais (POOLE et al. 2000 & ABBOTT, 1992 APUD SORREL, 2017). Assim, a explicação depende da identificação de eventos e suas relações. A sequência é foco de análise, deixando para o autor a ideia de que o processo se concentra no aspecto empírico e não em estruturas e mecanismos. Sorrell (2017) afirma que a MLP é descrito como uma forma de "explicação narrativa", termo cunhado da teoria de processos. As explicações narrativas características da MLP combinam descrição e interpretação em que o

grau de informalidade na estruturação dos eventos pode ser crucial para uma pesquisa. Para Sorrel (2017), uma forma de mitigar o problema dar-se-ia por meio do uso de técnicas mais formais tais como a estrutura de eventos (concentração nos próprios eventos e não em mecanismos adjacentes) ou da análise de estrutura de eventos, que leva em consideração juízo e conhecimento do analista dos eventos no tempo e das relações causais. Ainda para o autor, a causalidade é procurada de forma global na MLP.

De fato, a MLP se adéqua à teoria de processos e narrativas, que partem de uma revisão de trajetórias históricas adotadas. A reconstrução dos caminhos percorridos nesta tese comprova esta crítica, que mais se enquadra em uma constatação. A amplitude da MLP se destaca pela sua adequação a diferentes casos, mas o limita nas teorias. Os trabalhos de pesquisa vêm sistematicamente se utilizando de teorias adjacentes para estruturar os estudos de maneira formal. Trata-se de um fator limitante experimentado na presente tese, e o estudo de caso analisado sob o instrumento teórico das fases de transição foi a abordagem adotada.

A contribuição desta tese amplia em mais um item a análise crítica em relação à MLP. A crítica se refere à dificuldade de usar esse instrumento como uma abordagem prospectiva, em que rever o passado é importante para entender o presente, mas não necessariamente aponta caminhos para o futuro. Muitos estudos e pesquisas das transições são no sentido de apontar caminhos para o futuro sustentável. Nesse sentido, outros instrumentos devem ser usados se a análise não produzir tendências e reflexões quanto aos caminhos percorridos.

Em resumo, o Quadro 3 descreve as propostas desta tese para lidar com questões críticas. Algumas foram resolvidas por meio de desenvolvimento teórico, outras resolvidas pela metodologia - a ser apresentada - aplicada ao estudo de caso, enquanto outras não fazem parte do escopo do trabalho resolver.

Quadro 3 – Visão Crítica e Reflexões da Tese

Proposta de Resolução da tese	Críticas Geels (2011)	Críticas Sorrel (2017)
Abordagem Teórica	Tendência para modelos de mudança <i>bottom-up</i>	
	Priorizar ontologia em relação a metodologia	
		Teoria de processos e narrativa - estrutura versátil
		Tendência de incorporar um número cada vez maior de idéias teóricas
		Dependência de estudos de caso únicos e históricos
Abordagem Metodológica		Rejeição de metodologias potencialmente úteis
	Problemas de operacionalização dos regimes	Distinção ambígua entre regime e sistema
	Abordagem heurística e estilo explicativo	Uso da teoria como um dispositivo heurístico em vez de uma explicação causal
	Paisagem sócio-técnica como categoria residual	
Não é enfoque	Ontologias planas versus níveis hierárquicos	
	<i>Lack of agency</i>	Concepção problemática da estrutura social

Fonte: Autoria Própria

No que refere ao desenvolvimento teórico, a proposta foi o uso da abordagem de fases de transição em sistemas a fim de lidar com problemas tais como tendência para modelos de mudança *bottom-up*, priorizar ontologia em relação à metodologia, tendência de incorporar um número cada vez maior de ideias teóricas, dependência de estudos de caso únicos e históricos, rejeição de metodologias potencialmente úteis e teoria de processos e narrativa (estrutura versátil).

No que se refere ao desenvolvimento metodológico, a proposta foi a inclusão das dimensões (economia, política, cultura, ciência e tecnologia) em cada um dos níveis da MLP, com um quadro analítico, construindo a estrutura multiníveis e hierárquica, e a aplicação da abordagem de narrativa causal e mapa visual ao caso concreto, para lidar com os problemas: a) de operacionalização dos regimes e distinção entre regime e sistema, b) abordagem heurística e estilo explicativo, c) paisagem sociotécnica como categoria residual e d) ontologias planas versus níveis hierárquicos.

As estruturas que não fizeram parte do escopo deste trabalho, ou seja, que não foram fatores delimitantes ou enfoque para o desenvolvimento do trabalho, foram: 1) quanto à crítica ao *lack of agency*, não fazia parte do trabalho analisar especificamente agentes da MLP, mas seus caminhos ao longo do tempo, pois uma análise a partir de teorias auxiliares pode ser importante; 2) dificuldade teórica/empírica de uso da MLP para análises prospectivas, que também não era o enfoque da tese, mas requer inclusão de teorias adjacentes.

2.9. Conclusão

Este trabalho de tese procura contribuir com a reflexão a respeito da amplitude do *frame* MLP e das colaborações teóricas e metodológicas de pesquisa que ainda podem acrescer seu uso e direcionar caminhos. A partir dos aspectos teóricos abordados neste capítulo, confirma-se que a MLP se apresenta como um instrumento amplo e flexível, de forma a acomodar mudanças em pressupostos. Esse aspecto generalista se reflete na gama de usos em diferentes métodos de pesquisa que vêm fazendo parte do ambiente das transições sociotécnicas. Logo, este capítulo destaca a versatilidade e amplitude de uso ao descrever todo o histórico de construção dos estudos em transições sustentáveis nos últimos vinte anos. Tal levantamento não foi desenvolvido com o intuito de apenas enriquecer o embasamento teórico, mas principalmente para, por meio da reconstrução dos caminhos da própria teoria de transição, ser possível direcionar os estudos e estruturar este trabalho de tese.

A revisão mostra a origem das bases teóricas sobre transições sustentáveis, além das diferentes abordagens trazidas na literatura para lidar com esta questão e da escolha e desenvolvimento teórico da MLP. Ademais, destaca as lacunas teóricas dessa abordagem.

A construção da metodologia deste trabalho surge do amadurecimento do conhecimento teórico frente à análise empírica, especificamente do combustível automotivo etanol no Brasil. O próximo capítulo apresenta a metodologia utilizada nesta tese para responder as questões por ela trazidas.

3 .METODOLOGIA

3.1. Introdução

O presente capítulo visa descrever a metodologia adotada nesta pesquisa para investigar do processo de transição da economia baseada no combustível automotivo fóssil para os recursos renováveis, com foco na indústria de etanol. Serão descritos: (i) a estratégia de investigação; (ii) os métodos de pesquisa; e (iii) os processos de pesquisa (Creswell, 2007).

Uma análise mais detalhada implica na descrição da estratégia de investigação de forma específica, indicando o tipo de corte realizado no estudo, de que forma a pesquisa foi desenhada ao longo do tempo (MILLER, 1978), além das técnicas aplicadas. Assim, a organização deste capítulo contempla: o tipo de pesquisa; o procedimento adotado no levantamento bibliográfico; a perspectiva metodológica; estratégia metodológica e a comparação crítica com trabalhos anteriores sobre transições em etanol.

3.2. Tipo de Pesquisa

Uma vez formulado o problema de pesquisa, parte-se para a etapa de estudo e especificação das informações necessárias para atender à investigação. De acordo com Yin (1989), não existe método melhor ou pior, mas aquele que se adequa aos objetivos e condições nas quais a pesquisa se encontra.

Este trabalho, portanto, pode ser classificado segundo o critério, ou método, qualitativo e quantitativo. De acordo com Godoy (1995), o método qualitativo avalia um fenômeno que pode ser melhor compreendido quando dentro de seu próprio contexto em “uma perspectiva integrada”. Assim, cabe ao pesquisador ir a campo para entender o fenômeno à luz dos enfoques envolvidos. Dessa forma, o estudo sob o método qualitativo parte “de questões amplas que vão se aclarando no decorrer da investigação”. Já no método quantitativo, para Godoy (1995), é preciso classificar e analisar as informações segundo algum critério, técnica e método estatístico de investigação. Nessa análise, o objetivo é a comprovação e não a interpretação, como no caso qualitativo. Assim, as estratégias e procedimentos de pesquisa se distanciam. No método quantitativo há uma proposta estruturada e uma forma baseada em critérios numéricos e estatísticos. O qualitativo, por sua vez, apresenta ênfase

maior no conteúdo e evolução do aprendizado no contexto examinado, criando uma situação de maior flexibilidade, o que se revelou mais adequado à proposta desta tese.

A metodologia, segundo Creswell (2007), descreve uma direção determinada para a pesquisa selecionada. A partir de informações e pesquisas, mesmo que iniciais sobre o tema, os caminhos são estabelecidos. No presente caso, por se tratar de uma pesquisa que estuda e compara caminhos e estratégias em transições sócio-técnicas, o método de pesquisa utilizado foi o qualitativo, exploratório e longitudinal.

A pesquisa qualitativa exploratória parte da necessidade de se investigar um assunto pouco explorado sobre determinado tema. O estudo é o meio pelo qual se obtém o primeiro contato com a situação pesquisada, já que o objetivo é a descoberta que se desenvolve em um processo. O fito desta pesquisa é estudar de forma exploratória como o processo de transição sócio-técnica do regime de combustíveis automotivos no Brasil se deu sob o enfoque da indústria de etanol.

No que se refere ao tempo, o corte da pesquisa é o longitudinal. Sob o aspecto teórico, os estudos da transição sócio-técnica se evidenciam na literatura por meio de referências por diversas publicações (GEELS, 2005, GEELS *et al.* 2016; MENDONÇA, 2014), com ênfase em produções dos últimos vinte anos no que tange ao uso da MLP. Já, quanto o aspecto empírico da análise, o estudo sobre transição na indústria do etanol se dá desde antes da origem de seu uso e comercialização. Por isso, a descrição de um corte longitudinal da pesquisa em etanol, que neste trabalho se situa no período que abrange de 1875 a 2015. A revisão histórica deve ser entendida como um processo em que a análise de suas origens e os debates adjacentes contribuam para investigar as opções de caminhos futuros que se delinearam.

A pesquisa qualitativa, pois, se propõe a analisar o fenômeno e para tal requer instrumentos que colaborem para uma análise de pesquisa integrada. De acordo com Godoy (1995), os três tipos mais conhecidos e utilizados de pesquisa qualitativa são: documental, estudo de caso e etnografia. O presente estudo se utilizará do estudo de caso aplicado.

A fim de compreender o processo de transição da indústria de etanol brasileira para maior utilização dos renováveis foi preciso investigar nas

iniciativas, quer sejam públicas ou privadas, os diversos materiais que indicassem a presença de mudanças de sistemas sociotécnicos. E ainda, averiguar se esses indicariam possíveis caminhos ou apenas esforços em determinada direção.

Segundo Godoy (1995), no estudo de caso o objeto da pesquisa é uma unidade que se submete a uma análise profunda que visa obter um exame detalhado, quer esse seja do ambiente, do indivíduo, ou de uma situação particular. Assim, o presente trabalho versa sobre a indústria de etanol no Brasil.

O enfoque exploratório e descritivo (SAMPIERE, COLLADO & LUCIO, 2006) os “como” e “por quês” das mudanças do sistema sociotécnico e a maneira que esses podem levar à transição, sob a perspectiva multinível, devem ser analisados sob a égide de contexto dos fatos e observações. Para Godoy (1995), as observações são um instrumento de aprendizagem que, no caso das transições, devem permitir rever as trajetórias. Nesta perspectiva, a análise das observações (documental) tem como objetivo detalhar os caminhos, identificar escolhas realizadas neste mercado, levantar quais atores estão atuando no mesmo e verificar as perspectivas nesse processo de construção de transição.

Segundo Yin (1989), o estudo de caso é indicado para questões tangentes a eventos atuais, sobre os quais o investigador tem pouco ou nenhum controle. Ainda que não seja possível produzir conclusões generalizáveis, na medida em que estuda um caso típico, permite-se verificar a adequação de conceitos, expandindo e confirmando teorias que podem servir de referência para estudos futuros. A maior riqueza do método se encontra na possibilidade de análise da realidade a partir de um referencial teórico estabelecido. No caso das transições, a teoria escolhida foi a da MLP com complementações para ampliar as observações. Assim, com base nas fases da pesquisa descritas por Denzil & Lincoln (2006), o trabalho será desenvolvido de forma a construir a metodologia envolvendo a perspectiva teórica, as estratégias de pesquisa e os métodos de coleta de dados. Essa estrutura irá fornecer uma base de informações para posterior análise indutiva da transição de sistemas.

3.3. Levantamento Bibliográfico

Para Creswell (2007), o pesquisador deve usar a literatura de forma consistente com as “suposições de aprendizado do participante, e não para

prescrever as questões que precisam ser respondidas sob o ponto de vista do pesquisador”. No caso do estudo exploratório, como o objeto se trata de uma novidade, estar sob este enfoque exige aprender e construir um entendimento baseado em ideias e fatos obtidos a partir da pesquisa. Assim, a investigação sistemática das referências no campo a ser estudado forneceu um substrato útil à questão que gerou a necessidade da pesquisa, pois o enquadramento do problema depende em grande parte dos estudos disponíveis (CRESWELL, 2007).

A tese, dessa forma, estuda os processos de transição do combustível automotivo etanol no Brasil. Para organizar e percorrer esse objetivo ao longo do trabalho foram realizadas pesquisa e revisão de literatura. A pesquisa utilizou a base de informações acadêmicas a partir de diferentes fontes. A principal fonte utilizada foi o Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

A primeira fase do levantamento bibliográfico foi realizada por intermédio de um conjunto de palavras-chave em português e inglês, dentre as quais se destacam: “matérias-primas renováveis”, “perspectiva multinível (MLP)”, “transição em etanol”, “multi-regime”, “transição sociotécnica”, “política de inovação”, “reorientação etanol”, “tipologia de caminhos de transição”, “co-evolução”, “transição para sustentabilidade”, “indústria de etanol”, “etanol” e “legislação”.

Em segundo momento, foi efetuada a busca na mesma base de dados da CAPES, porém com as palavras-chave combinadas. A base da CAPES ainda permite realizar refinamentos nas pesquisas, de modo que, o refinamento selecionado nesta pesquisa teve a indicação de, na árvore de citações dos trabalhos, considerar os mais relevantes e os revisados por pares. Outro refinamento utilizado foi quanto ao tempo de pesquisa, de forma que, para o tema “MLP” foi limitada à busca dos anos 2000 a 2018 e, para o etanol de 1875 a 2015. Outra ferramenta de busca específica foi o uso das bases *Web Of Science* e *Scopus* dentro do próprio Portal CAPES. Dentre as palavras combinadas usadas nesse recursos de busca destacam-se em português (e também em inglês): “etanol AND Brasil”, “etanol AND transição sóciotécnica”, “etanol AND legislação”, “etanol AND co-evolução” e “etanol AND transição energética”.

Conforme apresentado no Quadro 3, para a seleção dos artigos, foi preciso que atendessem a um ou mais dos seguintes critérios:

- a) Apresentar informações sobre a história do etanol;
- b) Apresentar legislação e indicadores de desempenho do etanol;
- c) Destacar estudos que descrevem a situação do etanol no Brasil e suas perspectivas;
- d) Verificar em outros países estudos sobre transição em etanol.
- Para estratégia metodologica:
 - a) Apresentar metodologias de estudo para abordar a análise longitudinal e a MLP;
 - b) Destacar estudos em que a análise da transição foi aplicada em setores;
 - c) Destacar estudos em que a MLP foi aplicada.

A partir dos critérios a cima apresentados, foi elaborado o Quadro 4 que expressa, em números, as etapas de busca, filtros, análise e seleção:

Quadro 4 – Critérios de Seleção de Artigos – Portal CAPES

Etanol	AND	Legislação	220	19
Etanol	AND	Brasil	1560	280/7
Etanol	AND	transições sociotécnicas	165	9
Etanol	AND	Co-evolução	-	-
Etanol	AND	Transições energéticas	-	-

* Palavras-Chave em português e inglês

Fonte: Autoria própria

A construção dos critérios de levantamento bibliográfico permite identificar caminhos pela exploração do tema a partir da literatura disponível. Além disso, foi realizada uma pesquisa direcionada para diferentes temas no que se refere ao etanol, conforme a Tabela 1 destaca as informações obtidas e as suas respectivas fontes.

Tabela 1 - Principais Assuntos e Fontes de Informação para o Mapeamento dos Eventos em Etanol

ASSUNTO	PRINCIPAIS FONTE DE INFORMAÇÃO
Atividades realizadas pelas instituições de pesquisa, pelos fornecedores de cana e pela agroindústria do açúcar e do etanol (período de 1875 a 2015)	Dissertações publicadas pela Unicamp, UFRJ, destacando-se: Szmrecsányi (1991, 2001), Baccarin (2005b), Dunham (2009), Ollinaho (2012), Chen Chen (2015), Pereira (2015), Gonzalez (2016) e Oliveira Filho (2017). Onde encontrar: Biblioteca Central da Unicamp, UFRJ e internet. Publicações diversas. Principais fontes de informações: UNICA, FGV, NovaCana, www.biodieselbr.com.br (site especializado em informações sobre biocombustíveis), IAA, EPE, MMA, FAPESP, IBGE, CONAB, MC&T, Estudos da Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados.
Atividades realizadas pela indústria automobilística e equipamentos.	Base de dados, publicações especializadas e relatórios publicados pela ANFAVEA, DBFZ, BNDES e Ministério do Meio Ambiente. Onde encontrar: internet
Atividades de pesquisa e desenvolvimento	Oliveira Filho (2013), Cortez (2016), Santos (2016) FAPESP, BNDES, IRENA e IPEA. Onde encontrar: internet, Biblioteca do BNDES
Informações sobre o desenvolvimento, a produção e o uso do etanol como combustível	Baccarin (2005b), Macedo (2004), Dunham (2009), Relatórios: MAPA (SAPCANA), Conab, ANP, EPE, entre outros Onde encontrar: internet.
Legislação federal	A base da legislação federal disponível na internet traz textos completos de todos os atos em diversos documentos (leis, decretos, cartas régias, etc..) Onde encontrar: www.planalto.gov.br/legislacao

Fonte: Autoria própria

3.4. Perspectiva Metodológica

Na perspectiva metodológica, a pesquisa compreende as seguintes etapas: o processo de construção de eventos, a reconstrução dos caminhos históricos com suas devidas periodizações e foco nas fases de evolução do processo de transição. A elaboração dessas etapas, em conjunto com a estratégia de pesquisa, permitiu construir a base de dados para o trabalho. A sequência desta seção permitirá reconstruir os caminhos de investigação desenvolvidos por esta tese. Assim, a perspectiva metodológica é composta: 1º) da seleção do estudo de caso; 2º) da apresentação da abordagem da teoria de processos e os métodos usados dessa estratégia, a narrativa histórica e o mapa visual; 3º) é apresentada a metodologia adotada no trabalho. A metodologia, por sua vez, foi subdividida em: seleção e construção da base de dados fundamentada na teoria de processos e o protocolo utilizado como padrão no estudo de caso.

3.4.1. Seleção do Estudo de Caso

A seleção do estudo de caso do etanol vem em linha com todo o debate quanto à importância da “pegada” ambiental. Hoje o mundo acena de forma clara para necessidade de mudanças de paradigmas em diferentes aspectos da vida em sociedade. Nesse sentido, a energia tem sido considerada como um importante aliado para enfrentar as questões ambientais globais. A escolha inicial do objeto de estudo foi por direcionar esforços para ajudar a responder às questões relacionadas aos desafios ambientais e ao enfoque energético do país. Assim, a questão inicial foi a escolha da indústria a ser analisada. Flyvbjerg (2006) sugere que a seleção de casos deve ser feita com base em quatro estratégias genéricas: i) casos extremos ou atípicos, considerados casos incomuns; ii) casos de variação máxima, requerendo a escolha de dois casos extremos ou opostos; iii) casos críticos, podendo ser definidos como tendo importância estratégica em relação ao problema geral (sendo válido para o caso em estudo, o será para os demais); e iv) casos de paradigmas, representam uma nova fronteira teórica de investigação.

Diante das abordagens apresentadas, a investigação desta pesquisa elegeu um caso extremo e crítico: a indústria do etanol no Brasil. O caso é entendido como extremo por se tratar da indústria de combustíveis líquidos renováveis no Brasil, que está relacionada, na atualidade, às questões ambientais, às escolhas energéticas e por ser um exemplo único (originalmente). Assim, ao analisar esta indústria, pode-se gerar informações elucidativas de rumos e forças na direção da transição sustentável da energia. O caso é crítico no aspecto global por se tratar de uma opção considerada mundialmente estruturada em que o Brasil é visto como um exemplo nas transições para a sustentabilidade. Além disso, no aspecto local, a opção pelo renovável tem um viés prático de mobilização de recursos em um país em desenvolvimento, mas que procura soluções dentro de suas competências e habilidades na indústria agrícola. O custo de oportunidade social dessa escolha estratégica representa uma avaliação de uma opção que, inicialmente, foi dada por questões locais energéticas e, hoje, atende a critérios de sustentabilidade, que podem ser revistos como tal (ou não) no país ou por outros casos semelhantes.

Assim, a presente pesquisa foi baseada em um estudo de caso único, no

qual foi analisada a transição para a sustentabilidade do combustível etanol. A justificativa para a realização de um estudo de caso único, de acordo com Yin (2005), está apoiada no fato do estudo ser revelador. Isso significa uma oportunidade para analisar um fenômeno difícil de ser investigado cientificamente. Ainda, segundo o autor, os estudos de caso permitem que uma investigação preserve as características e significados dos eventos da vida real, portanto, se mostra como uma estratégia adequada a examinar acontecimentos contemporâneos.

Mesmo sendo essa uma estratégia de investigação empírica, algumas críticas são feitas ao uso desses estudos de caso. Para Yin (2005), a primeira refere-se a falta de rigor que pode estar presente nesse tipo de pesquisa. A segunda seria de que fornece pouca base para generalizações científicas. Já a terceira se refere ao fato dos estudos serem normalmente muito longos, portanto, apresentarem inúmeros documentos a serem analisados, sendo alguns inelegíveis. Os critérios adotados para seleção de um estudo de caso se originam em razões teóricas ou metodológicas (YIN, 2005). Dentro dos propósitos desta tese, elementos teóricos e metodológicos justificaram a escolha e permitem enfrentar as críticas.

A falta de rigor característica dessa estratégia de pesquisa foi aqui enfrentada por meio de alguns critérios: i) delimitação do tema em análise para o combustível automotivo líquido do etanol, estabelecendo, assim, um foco; ii) delimitação do contexto de análise para as transições de sustentabilidade e o caminho percorrido pelo Brasil a fim de atender a esses quesitos de adequação; iii) delimitação do escopo teórico de instrumentação da investigação por meio da MLP; iv) uso de um protocolo de análise para interpretar os eventos descrito nesse capítulo.

A crítica quanto à questão da dificuldade de generalizações é um tema muito debatido, mas que encontra nas Ciências Sociais e Políticas ambiente suficiente de rejeição. Portanto, é preciso entender o ambiente em que se insere o estudo de pesquisa, com as questões norteadoras e a proposição do estudo de caso (YIN, 2005). No caso do etanol, o potencial de generalização pode ser limitado por questões específicas. Algumas características peculiares desse combustível automotivo no Brasil podem dificultar sua capacidade de generalização, dentre as quais destacam-se: i) o fato de se tratar de um caso em

um país em desenvolvimento; ii) o elevado grau de intervenção do poder público no regime do etanol e de seu competidor direto; iii) ser um ambiente dominado por agentes com alto poder político; iv) o país ser reconhecido no mundo pelo seu potencial agrícola; e v) as dúvidas quanto ao real engajamento da sociedade em causas relacionadas a transição para a sustentabilidade.

Segundo Yin (2005), o desenvolvimento de uma estrutura teórica robusta e coleta de dados adequada ajudam na definição do projeto, mas “também se torna o veículo principal para a generalização dos resultados do estudo de caso”. Assim, nesta tese, a definição do arcabouço teórico da MLP como estrutura base para lidar com transições de sustentabilidade em casos de combustíveis renováveis foi a primeira etapa cumprida. Posteriormente, a estratégia de usar outro enfoque para rever os caminhos percorridos a partir de uma estrutura teórica de fases criou o ambiente de comparação. Dessa forma, o mesmo estudo de caso pôde ser avaliado sob outra lente de análise. Além disso, a organização e estruturação da coleta de dados auxiliou a enfrentar a crítica da seguinte maneira: i) limitando o número de variáveis a serem investigadas por meio da estratégia de divisão dos dados em cinco dimensões; e ii) adotando um protocolo de busca e seleção por se tratar de um caso histórico.

A terceira crítica se refere ao fato de que o estudo apresentaria inúmeros documentos em que alguns poderiam ser ilegíveis. É fato que a construção do regime do etanol teve suas bases no regime do açúcar, que, por sua vez, teve seu início ainda no século XIX. O desafio de pesquisa foi o enfoque longitudinal de análise. Para lidar com esta importante limitação as estratégias utilizadas foram: i) usar diversas fontes como base de coleta; ii) estruturar o banco de dados através de um protocolo de separação e seleção; e iii) rever os procedimentos e fontes. A crítica é intrínseca ao estudo de caso longitudinal, no entanto, desde o início foi entendida como importante para a construção do projeto de pesquisa e desenvolvimento da tese.

Além das críticas apresentadas, são destacadas outras no que tange especificamente à estratégia metodológica de narrativa histórica e mapa visual. A combinação destas abordagens, segundo Langley (1999), permite avaliar a acuracidade, simplicidade e a capacidade de generalização. Ao descrever o uso dessas estratégias tem-se a possibilidade de avaliar, segundo o método, suas forças e fraquezas. Assim, os procedimentos de pesquisa implicam *tradeoffs* que

devem ser avaliados pelo uso conjunto de estratégias.

Para Langley (1999), o mapa visual possui acuracidade, simplificação e generalização mediana. Já a narrativa histórica possui um alto nível de acuracidade e baixo de simplificação e generalização. Como se trata do estudo de caso do etanol, a generalização e simplificação são rebatidas no sentido de que o objetivo é conhecer o contexto em que o fenômeno ocorreu, por se tratar de um estudo de caso único. Logo, sua formatação não está consolidada e definida em procedimentos. Nesta situação, atende-se ao critério destacado por Yin (2005), de que são desenhos de pesquisa que dependem da estruturação e do entendimento do pesquisador. Dessa maneira, a combinação dessas estratégias permite a construção da pesquisa na direção das questões norteadoras e proposições do estudo de caso (YIN, 2005).

A análise dos dados deve atender ao objetivo do estudo de caso que, segundo Gondim *et al.* (2005), “é uma estratégia de pesquisa que foca sobre o entendimento da dinâmica presente dentro de um contexto ou cenário singular”. Para as transições no regime do etanol, a dinâmica do presente é a revisão histórica e o cenário singular é dado pelo método qualitativo empregado na pesquisa pela aplicação da teoria de processos. Além da análise qualitativa, nesta tese, ainda foi usada como estratégia a inclusão de alguns dados quantitativos, considerados ilustrativos, como acessórios a elaboração do estudo.

Após analisar a fundamentação da escolha do estudo de caso e possíveis críticas quanto à estrutura do projeto de pesquisa, segue a descrição da abordagem da teoria de processos, que embasou o desenvolvimento desta tese.

3.4.2. Abordagem da Teoria de Processos

Segundo Langley (1999), a teoria de processos explora os eventos em termos sequenciais de modo a identificar possíveis padrões no desenvolvimento destes caminhos. A dificuldade em analisar e manipular as informações ao longo do tempo leva a pesquisa na direção da teoria de processos.

A complexidade do mundo real faz emergir esta abordagem ao identificar algumas características: (i) os pesquisadores precisam aprender a lidar com a sequência de eventos que não lhe são familiares; (ii) frequentemente a análise envolve múltiplos níveis e unidades cujos limites são ambíguos (nebulosos); (iii)

as informações muitas vezes variam em termos de precisão, duração e relevância; e (iv) tende a ser eclética com a possibilidade de incluir diferentes tipos de desenhos e interpretações.

Para abranger essas características, são identificadas diferentes abordagens dentre as quais Langley (1999) destaca: a narrativa, a quantitativa, os modelos de estratégias alternativos, a estratégia teórica fundamentada, o mapa estratégico visual, a estratégia temporal *backtesting* e a estratégia sintética. No caso desta pesquisa, os métodos de processos utilizados foram a narrativa e o mapa visual.

A estratégia narrativa histórica é muito usada e em razão de diferentes propósitos. No presente caso, a escolha se origina no fato de a análise cronológica contribuir de sobremaneira para o entendimento das sequências de eventos através de diversos níveis de análise. Ademais, essa estratégia tem a vantagem de conseguir reproduzir a ambiguidade que existe em situações observáveis, evitando que se tenha de realizar definições limitadas. A escolha da abordagem narrativa, como descrito por Poole *et al.* (2000), foi baseada nas descrições, pois viabiliza construir uma linha de tempo preenchida por eventos significantes para o processo de transição. A narrativa, portanto, é uma sequência de fatos analisada a partir da escolha de eventos cruciais para interpretar mecanismos e estruturas em processos ao longo do tempo. Segundo Langley (1999), o elemento chave nesse caso é o tempo.

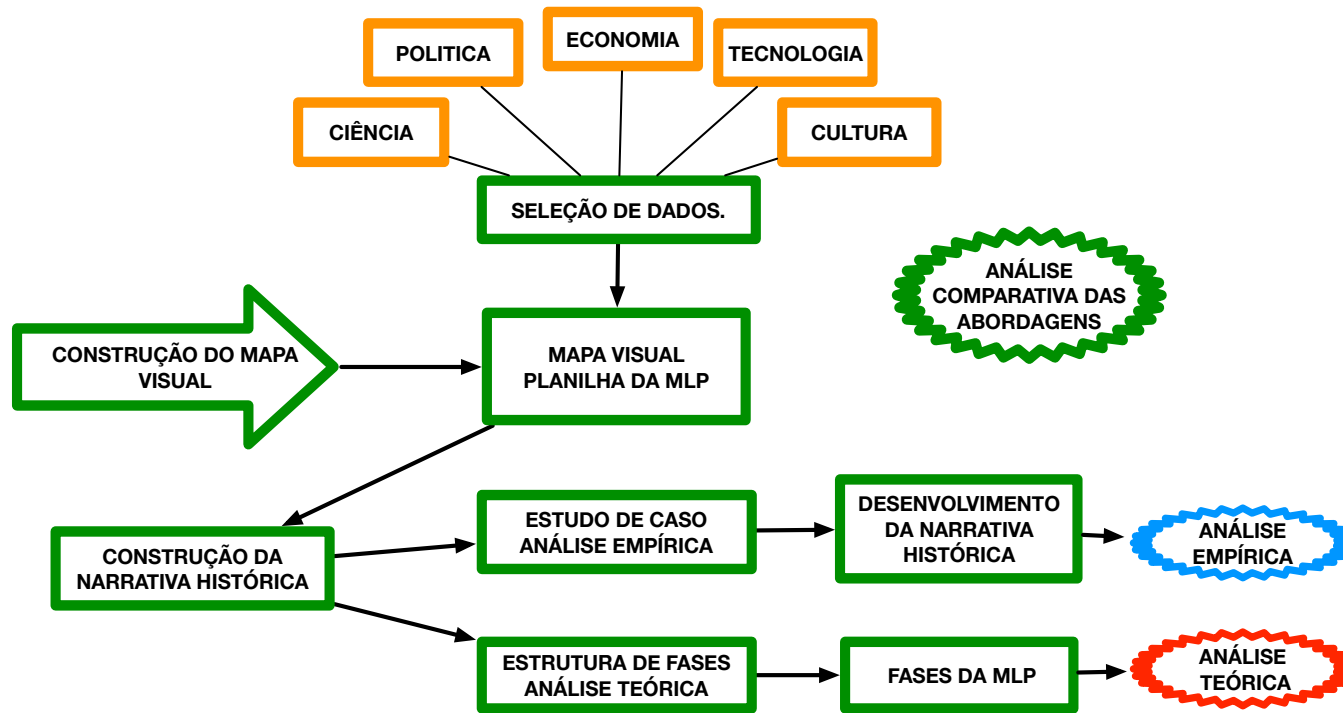
A estratégia de mapa visual é uma abordagem gráfica que se destaca por permitir uma representação simultânea de um grande número de dimensões e, ainda, por mostrar precedência, paralelos de processos e a própria passagem do tempo. A abordagem do mapa visual identifica de forma simples e transparente os eventos, possibilitando ao pesquisador estabelecer relações para a construção da narrativa. Assim, construir a narrativa com a estruturação de um mapa visual (inicialmente) permite entender o processo de transição como um “estudo de caso em profundidade” (PETTIGREW, 1990).

3.4.3. Estratégia Metodológica

No caso em estudo, a premissa é de que o desenvolvimento da metodologia deve atender a critérios de representação simultânea de um grande número de eventos e suas diversas abordagens. Para que se contemple um

grande número de dados e que se avalie a coevolução e coordenações dos eventos, a estratégia metodológica foi desenvolvida segundo a Figura 6. As etapas constantes na Figura 6 estão apresentadas nas subseções “Seleção e Construção dos Dados” e “Protocolo do Estudo de Caso”.

Figura 6 – Estratégia Metodológica



Fonte: Autoria Própria

3.4.3.1. Seleção e Formatação dos Dados

Tanto a seleção quanto a formatação dos dados históricos demandaram esforços de pesquisa consideráveis. Para as informações históricas foi realizado um levantamento dos dados do regime de etanol por meio de consultas a relatórios setoriais, documentos federais, legislação, revistas específicas, dissertações de teses e demais fontes necessárias. Especificamente, foi elaborado um banco de dados para o levantamento da base histórica. De acordo com Benett (2009), a construção de uma ferramenta de banco de dados a partir de um quadro analítico, codificando as participações nos diversos níveis da MLP, além de ajudar a ganhar familiaridade com a história de determinada situação, ainda permite entender a sua direção estratégica.

A intenção específica de aplicar uma retrospectiva à MLP é fornecer uma base para a prospecção tecnológica e social. Isso inclui incorporar dinâmicas de transição multinível que permitam rever as formulações políticas para a sustentabilidade (Kemp *et al.*, 1998). A construção da retrospectiva histórica vem em linha com a perspectiva metodológica a ser descrita.

Para que a pesquisa abranja este universo, a presente pesquisa parte da identificação de diferentes dimensões para seleção de dados, conforme Figura 8 destaca. A classificação dos eventos foi realizada em cinco dimensões, como apresentada por Freeman e Louçã (2005), e permitiu analisar a coevolução entre subsistemas a partir da ciência, da tecnologia, da economia, da política e da cultura. Para cada uma dessas dimensões, foi construída uma planilha em que foram selecionados os dados relacionados ao etanol e estruturados cronologicamente. Logo, ao final desta etapa, havia cinco planilhas organizadas cronologicamente para cada uma das dimensões.

A tipologia/classificação proposta por Freeman e Louçã (2001) das cinco dimensões, têm por objetivo analisar processos de crescimento econômico e revelam grande influência sobre os movimentos na economia de forma independente, ou não. Assim, o estudo detalhado dessas variáveis contribui para identificar “problemas de falta de sincronia e harmonia ou, em alternativa, à integração harmoniosa e a efeitos de círculo virtuoso no crescimento econômico”. A proposta dos autores é aprofundar cada ramo dessas dimensões e identificar suas independências, interdependências, perdas e ganhos de integração e reintegração ao longo do caminho.

A compreensão e delimitação do estudo de cada uma das dimensões requerem um detalhamento inicial para que se construa o foco de análise. A dimensão “ciência” refere-se às instituições e subsistemas da sociedade que atuam no conhecimento sobre os fenômenos acerca do objeto no mundo. A dimensão “tecnologia” é representada pelos “artefatos, técnicas, atividades dos indivíduos, grupos, instituições e subsistemas da sociedade que atuam na concepção, desenvolvimento, aperfeiçoamento, assim como no registro e disseminação do conhecimento utilizado nessas atividades”. Já a dimensão “economia” se refere a indivíduos, instituições e subsistemas da sociedade que atuam na produção, distribuição e consumo de bens e serviços. A dimensão “política”, em seu turno, é representada pelos indivíduos, instituições e subsistemas que atuam na gestão da sociedade por meio de regulação, legislação e políticas públicas das três esferas, além de estar presente em contextos internacionais. Por fim, a dimensão “cultura” corresponde aos valores, tradições, costumes, expressões artísticas e religiosas que acabam influenciando o modo de vida da sociedade como um todo.

Dessa forma, cada uma das cinco planilhas, com as dimensões dispostas cronologicamente, foi analisada. Em seguida, foram selecionados os eventos considerados mais relevantes¹⁵ em cada uma dos cinco esquemas e colocados de forma resumida em uma única planilha. Nesse documento único, cada evento foi organizado segundo a abordagem da MLP, estratificados em: nicho, regime e *landscape*, para compor o Mapa Visual posteriormente. Além da MLP, a planilha foi estratificada com o item “institucional”, em razão deste ser considerado um elemento caro ao estudo, com a sua possibilidade de compreensão de mudanças institucionais para o objeto investigado, o etanol. A análise dos dados revelou diversas mudanças institucionais que impactam os agentes sociais e, portanto, foi considerado um importante item a ser destacado. Além de organizados cronologicamente, cada dado foi introduzido na planilha única com uma cor segundo a dimensão que pertencia. Assim, dados de economia receberam a cor roxa, dados de cultura a cor laranja, dados de política a cor amarela, dados de ciência a cor verde e dados de tecnologia a cor azul. Essa construção e distribuição dos dados de forma estruturada levou à criação do

¹⁵ A relevância foi identificada pelo pesquisador a partir de diferentes fontes de trabalhos selecionados.

mapa visual, conforme o Apêndice A.

A análise dos dados processuais a partir do mapa visual, com a segmentação das dimensões e da MLP, permitiu mostrar as precedências, os paralelismos de processos e ainda possibilitou a construção da narrativa histórica da evolução no tempo. A organização dos dados nesta forma expositiva e resumida permitiu visualizar temporalmente os movimentos na direção da implementação do regime do etanol e o seu processo de transição sócio-técnico conforme o Apêndice A descreve. Assim, a formatação dos eventos viabilizou que se atingisse o objetivo desta estratégia, que é representar simultaneamente um grande número de dimensões, mostrar precedências, paralelos de processos e a própria passagem do tempo.

Importante destacar que a divisão dos eventos das dimensões no mapa visual foi realizada segundo as características dos níveis da MLP descritos no item 2.6. A delimitação do posicionamento de cada uma das dimensões na MLP parte de uma análise individualizada de cada evento que compõe a planilha.

As dimensões de ciências e tecnologias foram enquadradas em diversas situações no nicho em razão das dificuldades de fixação no regime ao longo do tempo. Ambas são fatores determinantes para o nicho tecnológico e de mercado e; quando conseguem ultrapassar o nicho, passam a fazer parte do regime mantendo e ampliando-o. No mapa visual, essas dimensões foram incluídas mais recentemente no regime por sua “aparente” fixação e amplitude de atuação. Insta destacar que, tanto ciência quanto tecnologia, são importantes fatores de marcação do regime para sua estruturação. A dimensão econômica, por sua vez, ocupou o regime, o nicho e o *landscape* conforme desenvolvimento e estruturação do mesmo. Já no caso da dimensão da cultura, esta se situou em grande parte no *landscape* e no regime, agindo ora como fator de apoio à fixação do etanol, ora como desarticulação. A dimensão política, em seu turno, ganha força tanto para a construção do regime, quanto para sua fixação, em razão da atuação de uma tutela estatal flutuante. Ainda, no enfoque da dimensão política, o *landscape* recebe reforços para uma plausível busca energética. Assim, o posicionamento das dimensões na MLP permite identificar e investigar, em eixos, as diversas influências incidentes no etanol no Brasil durante período analisado.

Desse modo, em seguida à construção empírica da base de dados com o

mapa visual, foi possível construir a narrativa histórica. Essa estratégia permitiu descobrir e conhecer caminhos até então não revelados. Com o mapa visual foram construídas duas abordagens de análise: i) a estrutura histórica; e ii) a de fases, a partir da construção de uma narrativa histórica. O protocolo de análise das estruturas histórica (empírica) e de fases (teórica) será detalhado na seção seguinte.

3.4.3.2. Protocolo do Estudo de Caso e da Estrutura Teórica

A estratégia de pesquisa de estudo de caso, segundo Gondim *et al.* (2005), é indicada nas situações em que o caso é, ao mesmo tempo, objeto e campo de estudo. O estudo de caso procura conhecer o contexto em que o fenômeno ocorre com suas múltiplas variáveis e seus pesos significativos. O presente trabalho se identifica com estes critérios a serem estruturados.

Esta estruturação precisa estar contemplada porque os estudos de caso não possuem uma formatação consolidada e definida de procedimento, por isso, são apresentados distintos desenhos de pesquisa que dependem da formatação e do entendimento do pesquisador (YIN, 2005). No caso das transições, parte do trabalho é a montagem do desenho de pesquisa e parte é a definição da rota da investigação para partir para a análise dos dados.

A partir do desenho de pesquisa da coleta dos dados, parte-se para a rota de investigação. De posse do mapa visual, o protocolo de pesquisa para a construção da narrativa histórica foi elaborado, conforme figura 8 em duas direções, a saber: a análise histórica (empírica) e a estrutura de fases (teórica).

A análise histórica (empírica) foi desenvolvida segundo o seguinte protocolo de desenvolvimento padrão:

- i) Desenvolvimento da narrativa pela cronologia;
- ii) Divisão da estratégia narrativa baseada em períodos de análise. A escolha por essa estrutura foi fundamentada na análise evolutiva da curva de produção do etanol e alterações institucionais consideradas importantes, conforme Harvey & McMeekin (2010) e Shikida & Perosa (2012) descrevem. Assim, foram criados quatro períodos de análise: 1º) 1875 a 1974 – Surgimento e Construção do Regime; 2º) 1975 a 1985 - Emergência e Expansão, que, por sua vez, foi subdividido em dois

subperíodos: de 1975 a 1979 – Preponderância do Etanol Anidro e de 1979 a 1985 – Preponderância do Etanol Hidratado; 3º) 1986 a 2001 - Estagnação Industrial; e 4º) 2002 a 2015 - Retomada e Expansão.

- iii) O primeiro período foi descrito sem um protocolo de análise, porque o etanol se encontrava no nicho tecnológico. Não havendo, dessa forma, sentido fazer qualquer estratificação pela característica ainda embrionária do regime sociotécnico.
- iv) O segundo, terceiro e quarto períodos foram subdivididos em um protocolo de análise narrativo em: regime na dimensão política e *landscape*; atores e instituições governamentais, dinâmica do regime e nicho renovável. Essa estratificação deveu-se ao fato do etanol ter saído do nicho e atingido o *status* de regime. Em parte, a subdivisão desse protocolo, deveu-se à estrutura da MLP e, em parte, à escolha da estrutura de organização dos dados (pesquisador). A primeira divisão foi o regime na dimensão política e *landscape*. Essa subdivisão procurou analisar o papel do *landscape* e da dimensão política em conjunto para que se operasse uma ligação especificamente do *landscape* com o regime. Trata-se de uma escolha de análise em que, de forma robusta, se possam destacar os eventos do *landscape* e integrá-los ao regime caracterizando-se as interrelações. A segunda divisão foi a dos atores e instituições governamentais. Essa surgiu do papel de destaque que os agentes ocupam no sistema sociotécnico para a formatação e desenvolvimento do regime. A terceira e quarta divisão fazem parte da estrutura da MLP. Essa divisão, além de caracterizar a modulação do regime, destaca os eventos que se sobrepõem em uma formatação que permitiu ao pesquisador melhor triangular a análise.

A estrutura de fases (teórica) partiu da abordagem baseada nas fases da MLP, apresentada no capítulo de referencial teórico. Essa abordagem procurou entender o processo de transição do etanol a partir de um viés de análise diferente, baseado nas fases de transição de sistemas, dividida em quatro fases. Essas quatro etapas dividem-se em: primeira fase, do surgimento da inovação; segunda fase, do desenvolvimento nos pequenos nichos de mercado; terceira fase, do avanço, ampla difusão e competição com o regime estabelecido; e

quarta fase, da substituição gradual do regime estabelecido pelo novo e avaliação desses impactos na sociedade. Essa estrutura, bem desenvolvida na parte teórica, (capítulo 2) classifica os eventos históricos do mapa visual nas diferentes fases de acordo com características singulares apresentadas pelo regime, nicho e *landscape*. Assim, essa descrição narrativa, a partir do mapa visual, foi construída também cronologicamente, mas referendada por uma estrutura teórica na qual as fases de inovação do sistema passam a nortear o desenvolvimento da pesquisa.

Posteriormente, o trabalho de pesquisa buscou interpretar os eventos ao comparar a trajetória histórica (empírica) com a abordagem teórica de fases. Assim, de posse da análise histórica e de fases, desenvolveu-se de forma comparativa e combinada o estudo de caso. Essa comparação permitiu entender como efetivamente o processo rumo à sustentabilidade ocorreu e ajudou a responder as questões de pesquisa.

3.5. Fases da Pesquisa

O trabalho de pesquisa tem como base para sua formatação teórica o trabalho de Geels (2005e). Conforme descrito no Quadro 5, o método passo a passo permite entender o encadeamento da pesquisa e as informações necessárias para seu desenvolvimento.

Quadro 5 – Passos Metodológicos da Pesquisa

	<i>Passos da Pesquisa</i>	<i>Descrição / Comentário</i>
1	<i>Levantamento Bibliográfico e Análise Documental</i>	<i>Busca em bancos de dados, revistas, sites, teses, livros e outras publicações sobre a indústria do etanol no Brasil abrangendo os períodos de 1875 a 2015. A busca para a MLP foi de 2000 a 2018.</i>
2	<i>Perspectiva Teórica</i>	<i>Estabelecimento da fundamentação teórica na qual a tese se desenvolveu. Base em diferentes trabalhos que tratam da transição para a sustentabilidade.</i>
3	<i>Método de Coletas de Dados</i>	<i>Estruturação do banco de dados de acordo com o ano do evento e criação de grupos, conforme a coleta de dados baseando-se nas cinco dimensões de Freeman e Louçã (2005), obtidas em diferentes fontes da literatura.</i>
4	<i>Perspectiva Metodológica</i>	<i>As representações gráficas dos eventos históricos devem expressar uma sequência de fatos que permitam inferir quanto o processo de transição. Uso da abordagem da Teoria de Processos (Langley, 1999) e as estratégias de mapa visual e narrativa histórica (LANGLEY, 1999; POOLE ET AL., 2000; e PETTIGREW, 1990).</i>
5	<i>Estratégia de pesquisa - Estudo de caso</i>	<i>Construção de perfis que representam a transição com base em conjuntos de dados estruturados em níveis (MLP) que revelam as mudanças de acordo com as fases sugeridas pela MLP (GEELS, 2005e) e por Harvey & McMeekin (2010) e Shikida & Perosa (2012), com a contribuição de Freeman e Louçã (2005). Desenvolvimento das abordagens empírica e teórica.</i>
6	<i>Análise dos Dados</i>	<i>Essa sequência de análise indutiva e temporal foi avaliada pela MLP e pelas contribuições apresentadas ao longo da pesquisa. Assim, foi possível estudar o processo de transição do etanol pela descrição histórica à luz do enquadramento deste, nas fases de inovação do sistema. Comparação dos critérios empírico (histórico) com o teórico (fases) estudados.</i>

Fonte: Autoria Própria.

3.6. Conclusão

A estratégia metodológica adotada nesta pesquisa foi usar a abordagem da teoria de processos, com as estratégias de mapa visual e narrativa histórica,

aplicadas a MLP, e comparar com a estrutura de fases de transição. Essa metodologia será aplicada e testada para o estudo de caso do regime do etanol no Brasil. Ainda, essa estratégia metodológica é, em si, ela é original e sua aplicação ao estudo de caso do etanol também. A escolha por esse caminho metodológico foi na direção de atender algumas lacunas apontadas por este estudo de pesquisa.

Assim, nesta tese, os dados e informações consubstanciados em um ambiente de transição da sustentabilidade precisam ser revistos para que a real dimensão da transição seja identificada como um processo de sucesso. A perspectiva sólida de fixação do regime, influenciada pelo nicho e *landscape*, configura trajetórias e investimentos que representam custos de oportunidade para a sociedade. Entender as forças e fraquezas atuantes indicará caminhos a serem reforçados, ou não. Dentro deste contexto de análise ampla sobre o tema das transições, com o presente enfoque sobre o combustível automotivo etanol, é que a retrospectiva histórica e de fases é construída. Esse cenário traçado permite rever como se encontra hoje o regime sociotécnico e os agentes atuantes de forma direta e indireta. Dessa forma, o próximo capítulo descreverá o perfil do regime como se encontra hoje.

4. CONTEXTUALIZAÇÃO DO SISTEMA SOCIOTÉCNICO DO ETANOL

4.1. Introdução

A perspectiva e contextualização do sistema sociotécnico permitem reconstruir os caminhos de uma inovação no sistema até a sua difusão. A difusão pode ser conceituada como um processo em que vínculos se estabelecem entre elementos homogêneos e heterogêneos (RIP & KEMP, 1998). Os vínculos, por sua vez, se estabelecem sob amplo aspecto, inclusive considerando os grupos sociais. As relações e inter-relações entre esses grupos, institucionais, artefatos, máquinas e infraestruturas fortalecem a construção e permanência da inovação. Apesar do processo se dar de forma desigual, o número crescente de interseções e reconfigurações levam a irreversibilidade e dependências construindo o *path dependence*.

À medida que o processo de transição avança, há o alinhamento e coordenação das atividades dos grupos sociais. Segundo Geels (2005e), o grau de alinhamento e tensão das redes de regras¹⁶ estabelecidas entre os grupos é um indicador de estabilidade das ligações do sistema sociotécnico. Os elementos do sistema não funcionam por si, mas são criados, ativados e mantidos pelos atores que se encontram em grupos sociais. Ainda, para Geels (2005), os sistemas sociotécnicos, seus atores e regras, e instituições do regime podem ser distinguidos analiticamente apesar de se encontrarem inter-relacionados na prática.

No estudo de caso do regime do etanol, as instabilidades do regime do petróleo vigente abriram janelas de oportunidades para o surgimento da inovação. Assim, como o sistema sociotécnico é dinâmico, as mudanças incrementais nas atividades dos grupos ocorrem de forma contínua, aproveitando essas oportunidades.

Nessa etapa, em que o regime se encontra estabelecido, é possível descrever o sistema sociotécnico e entender os grupos sociais atuantes no processo de inovação e construção do etanol. Assim, o capítulo se estrutura apresentando a configuração do sistema sociotécnico e os grupos sociais envolvidos no regime do etanol. O esforço empírico desta construção permite, de forma analítica, entender a transição do combustível automotivo etanol., uma

¹⁶ Regras formais (leis), normativas (valores) e cognitivas (cultura). (GEELS, 2005e).

vez que,, o que se tem hoje é reflexo dessas interações e coordenações operadas ao longo do tempo.

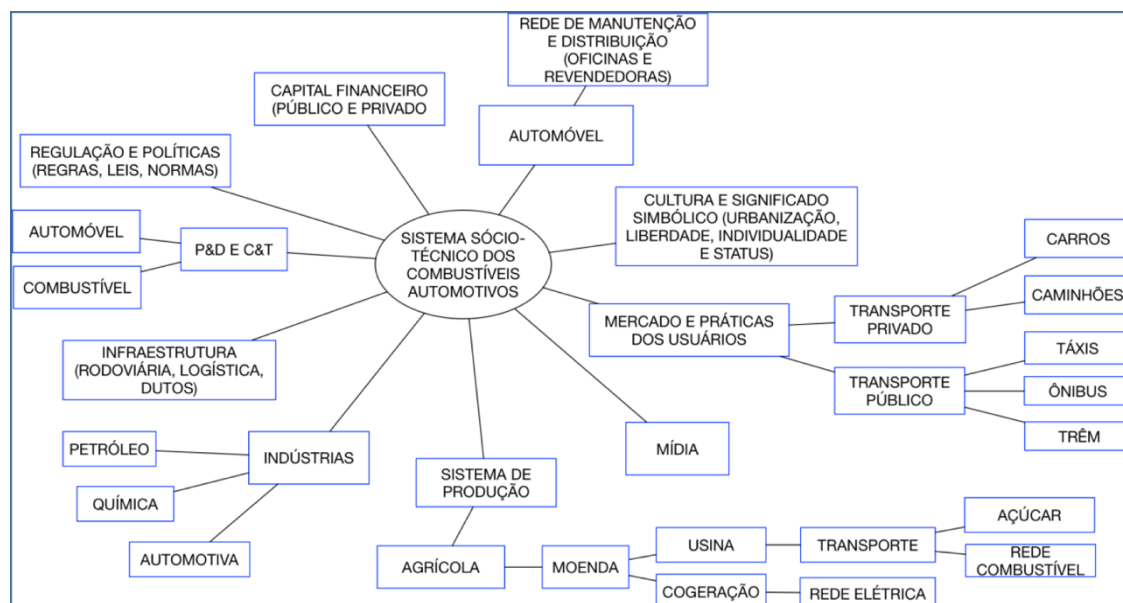
4.2. Configuração do Sistema Sociotécnico do Etanol

A configuração descreve os elementos relevantes do sistema sociotécnico. A Figura 10 representa o resultado do processo de transição com a indicação dos elementos envolvidos. Esse quadro analítico foi construído para 2015 como reflexo de adições ao longo do tempo.

A transição dos combustíveis fósseis para o etanol representou inicialmente, quando da constituição do regime, uma substituição de caminhos que se reconfigurou ao longo do tempo. Atualmente, essa configuração de automóveis *flex* permanece, mas o sistema se tornou mais complexo por envolver um número maior de atores, elementos e regras.

Para Geels (2004a), a análise sociotécnica só é possível a partir das interações entre o sistema sociotécnico, as regras e instituições e os grupos sociais ou atores. Assim, a Figura 7 fornece alguns indicativos do processo de transição ao destacar o sistema com seus elementos relevantes. Cada um dos componentes teve sua introdução no regime em diferentes momentos e a partir de configurações estruturadas que serão descritas na abordagem narrativa (Capítulo 5).

Figura 7 – Sistema Sociotécnico dos Combustíveis Automotivos



Fonte: Autoria Própria

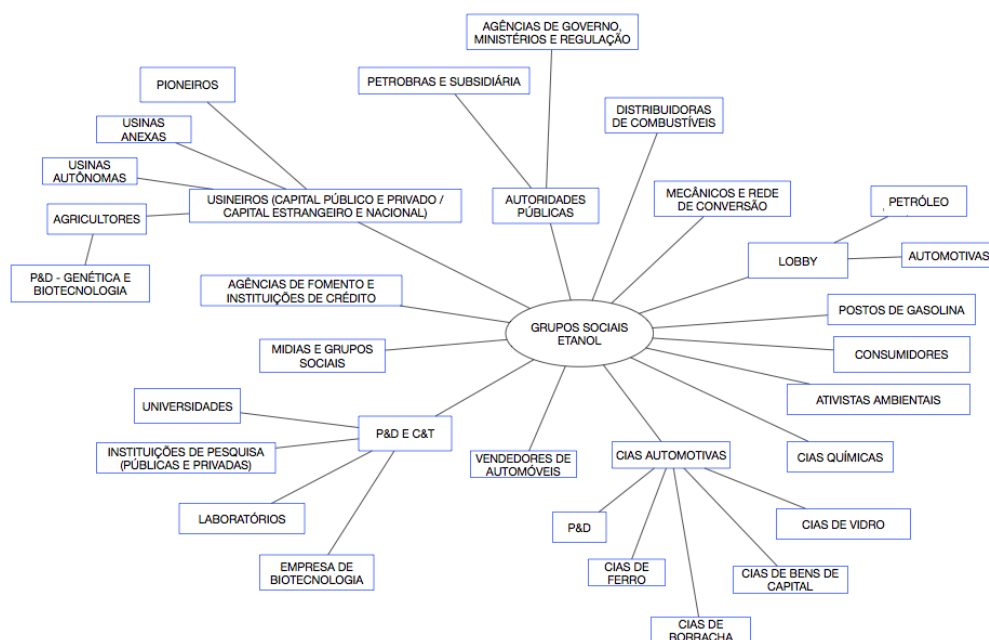
Os elementos que compõem o sistema só existem em conjunto, a partir de interações e co-evoluções. A análise desses elementos heterogêneos é direcionada pelas interações de uns com outros: como as mudanças em um elemento levam a mudanças nos demais e como os desenvolvimentos do regime gradualmente se ligam.

A narrativa histórica a ser desenvolvida explica o processo de transição até o estabelecimento do sistema como descrito. No caso do regime do etanol, em razão de seu processo dinâmico, insta destacar que a análise e construção do sistema sociotécnico também são passíveis de alterações e, portanto, requerem uma revisão ao longo do tempo e da sua história. Importante notar que esta estrutura se mantém e se retroalimenta a partir de seus componentes.

4.3. Grupos Sociais envolvidos no Sistema-Sociotécnico

Um sistema sociotécnico não funciona por si, mas é ativado, criado, transformado e mantido pelos atores que se encontram em grupos sociais (GEELS, 2005e). Assim, entender os canais e passos dos grupos ao longo do tempo é uma etapa importante do processo de análise. Como descrito por Geels (2005e), os grupos produzem e reproduzem sistemas. No caso do etanol, por se tratar de um regime estabelecido, os grupos sociais em combustíveis automotivos estão destacados não apenas no regime e sistema, mas também no nicho e *landscape*, que permite construir a rede de atores conforme a Figura 8 apresenta.

Figura 8 – Grupos Sociais Presentes no Regime do Etanol



Fonte: Autoria Própria

A partir da Figura 8, e tomando por base os trabalhos em que esta pesquisa foi realizada, este capítulo traz uma breve descrição dos principais grupos sociais e sistemas sociotécnicos relevantes para o desenvolvimento do regime do etanol no Brasil. Dentre os quais se destacam:

- 1) Sistema Energético
- 2) Sistema de Logística
- 3) Sistema Automobilístico
- 4) Sistema Agroindustrial
- 5) Instituições de Pesquisa e Biotecnologia

1) Sistema Energético

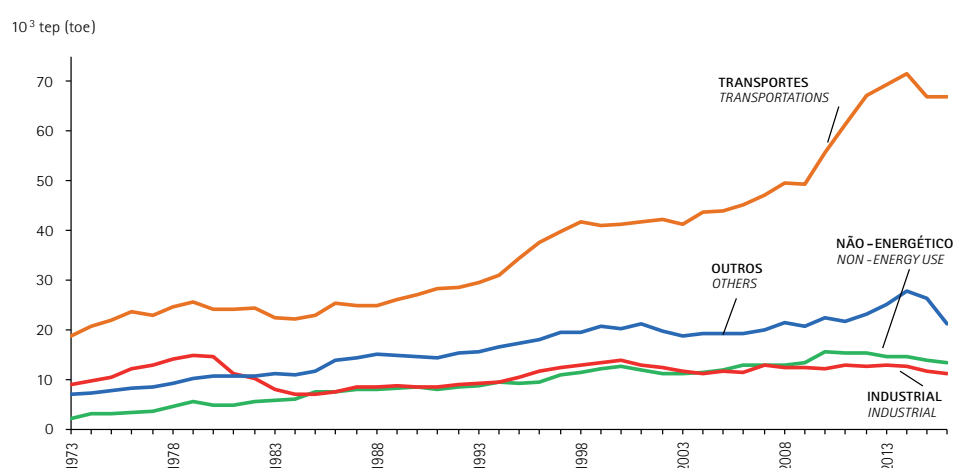
O setor do etanol faz parte do setor energético e compreender sua importância neste segmento permite delimitar sua participação na matriz energética do país. Construir este quadro inicial é basilar para estruturar a composição dos grupos sociais e suas relações.

A matriz energética brasileira é uma das mais limpas do mundo, com 41,5% de energias renováveis e 58,5% de não renováveis (EPE, 2017). Apesar

deste aparente cenário positivo, e da não dependência externa de energia, o Brasil ainda é importador de energia fóssil. A exemplo, no ano de 2016 foram importadas mais de 15 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep) e mais de 2,2 milhões tep de gasolina. A produção de petróleo nacional foi de 172,540 milhões tep e os produtos da cana (como um todo) 50,658 milhões de tep (EPE, 2017).

O setor de transporte é o principal consumidor dos derivados de petróleo, responsável por aproximadamente 60%, seguido do setor industrial, com 10% do consumo (Gráfico 1 ilustra em termos de tep). No setor de transportes o segmento rodoviário consome 92% dos derivados, o aéreo 5%, o ferroviário 1%, e o hidroviário 1%.

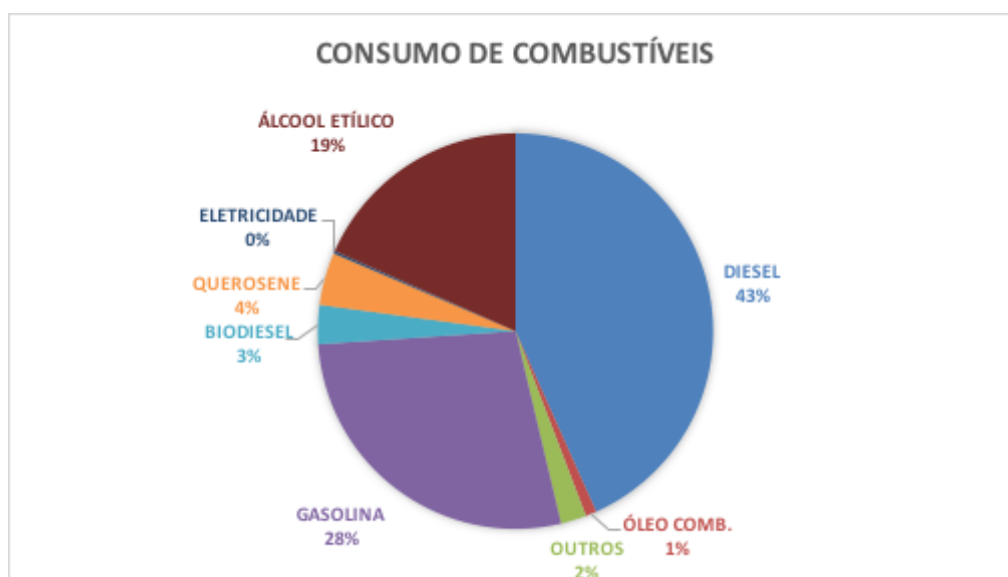
Gráfico 1 – Consumo Total de Derivados de Petróleo e de Gás Natural (10^3 tep)



Fonte: BEN, 2017.

A análise dos dados aponta que no consumo do setor energético em transportes o diesel retém com a maior parte, com 43%, seguido da gasolina, com 28%, e do etanol, com 19%, conforme Gráfico 2. Os dados indicam haver espaço para crescimento do sistema sociotécnico do etanol, visto que a gasolina é o seu competidor direto. A possibilidade de substituição abre lugar para um grande mercado consumidor, o que confirma a importância do regime do etanol para o setor energético.

Gráfico 2 – Consumo de Combustíveis no Setor de Transportes

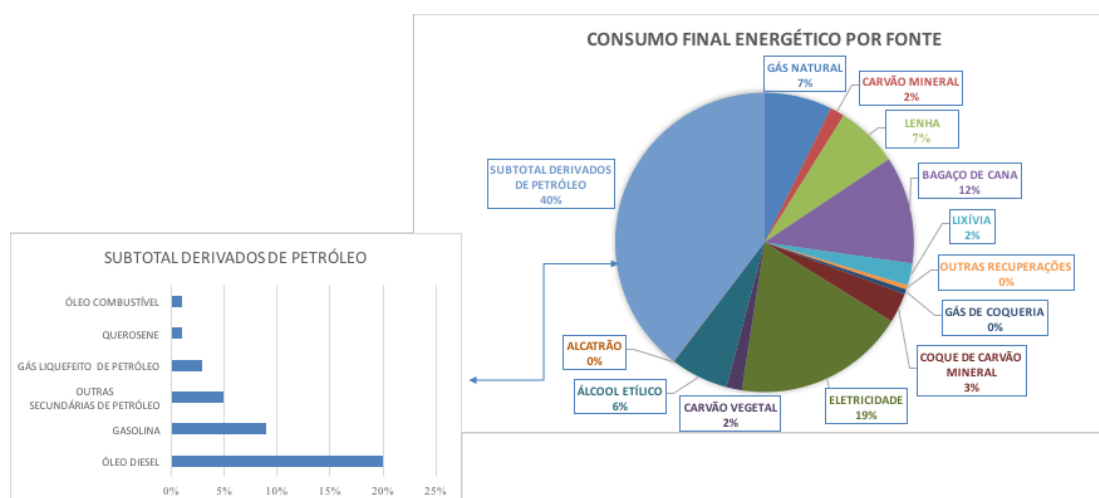


Fonte: BEN, 2017.

Os dados de produção do regime do etanol também reafirmam seu destaque no setor de transporte rodoviário. Dos 30,3 milhões de m³ produzidos em 2015, 29,75 milhões m³ de etanol foram para consumo energético, dos quais 29,73 foram para o setor de transportes (rodoviário). Observa-se que 38% da produção foi de etanol anidro e 62% de etanol hidratado (BEN, 2017).

Já no consumo energético final por fonte, os derivados de petróleo ficam com 40%; seguidos da eletricidade com 19%; do bagaço de cana com 12%; do gás natural, da lenha com 7%; e, por fim, do etanol com 6%. Considera-se que, dos 40% dos derivados de petróleo, o óleo diesel fica com 20% e a gasolina com 9%, conforme Gráfico 3 apresenta.

Gráfico 3 – Consumo Final Energético por Fonte (%)



Fonte: BEN, 2016.

Esses dados permitem inferir que do amplo universo da indústria de energia o regime do etanol possui um papel relevante com possibilidade de ampliação. Acrescenta-se que diversos *players* fazem parte desse setor e diferentes grupos sociais são atuantes no regime.

Pelo lado da demanda, o setor energético é subdividido de acordo com o consumo: residencial, comercial, público, agropecuário, transportes e industrial. Nesse contexto, o bagaço é usado para geração de energia elétrica e fonte para indústrias químicas, alimentícias, de bebidas, papel e celulose, entre outras de menor impacto. O melaço e o caldo de cana, que são usados para produção de etanol, é fonte para o transporte. Essas fontes e usos demonstram a amplitude pelo lado da demanda de energia em termos de grupos atuantes.

No lado da oferta de energia no regime do etanol, pode-se destacar as indústrias de petróleo e usinas. Nesse ambiente, verifica-se a interação de grupos sociais privados (nacionais e internacionais) e públicos. Dessa interação, surgem as políticas de governo, no que tange a energia, com suas previsões, perspectivas e direcionamentos. Por ser a energia um segmento estratégico para os países, o caminho da transição do etanol faz parte das políticas públicas energéticas. Nessa conjuntura, os derivados de cana respondem por 17,5% da oferta interna de energia e o petróleo e seus derivados respondem por 36,5%.

A preocupação ecológica internacional e nacional é outro horizonte estratégico das nações que afeta importantes grupos sociais que compõem o

regime do etanol. Acordos internacionais do Brasil vem redirecionando esforços quanto a transições para a sustentabilidade. Na COP22, Conferência do Clima em Marraquexe em 2016, o país se comprometeu internacionalmente e, por consequência, nacionalmente com um projeto ambicioso na direção dos biocombustíveis, a Plataforma Biofuturo¹⁷. Segundo informações da EPE (2016), outra contrapartida na direção da sustentabilidade é o Programa Renovabio¹⁸ lançado no final de 2016 que pretende expandir a produção de biocombustíveis no país. Essa medida indica direcionamentos para o setor do etanol fundamentado na criação de um novo marco regulatório que, segundo BNDES (2017), deve levar a retomada de investimentos na produção do etanol.

Ainda, de acordo com o BNDES (2017), as expectativas para 2030 são de que o Brasil aumente as importações em torno de 20 bilhões de litros de gasolina por ano para atender a demanda interna. Se o país produzisse etanol no lugar de importar essa gasolina, deveria aumentar a produção nacional em 15 bilhões de litros, ou seja, crescimento de 50% na produção. Para o estudo, há ainda pressões de demanda e/ou oferta sobre o etanol pelo aumento de venda dos carros *flex*, a ausência de projetos para refinarias dedicadas à gasolina, limitações de infraestrutura para importação da mesma e metas ambiciosas de participação da bioenergia sustentável na matriz energética. Assim, o estudo indica um cenário de um possível “colapso” em combustíveis, o que poderia ser resolvido com o etanol.

O destaque que o regime do etanol possui na matriz energética chama atenção para o papel do Estado na regulação, fiscalização e incentivos. Assim,

¹⁷ Lançada pelo Brasil, e mais 20 países, a Plataforma Biofuturo cria eixos de desafio a inovação direcionados para energias limpas e com foco na redução de emissão de carbono. Um desses eixos, são os biocombustíveis sustentáveis, o que significa acelerar o desenvolvimento e implantação de biocombustíveis avançados e biomateriais como alternativa ao fóssil (EPE, 2017, PDE 2026).

¹⁸ Iniciativa lançada pelo Ministério de Minas e Energia, como política de Estado, que reconhece o papel estratégico de todos os tipos de biocombustíveis na matriz energética brasileira. O Programa está “fundamentado na previsibilidade e sustentabilidade ambiental, econômica e social” (EPE, 2017). Segundo BNDES (2017), o objetivo é “criar um sistema de metas de redução de emissões de CO₂ baseado no consumo de combustíveis certificados”.

o agente social Governo se destaca neste subitem como autoridade pública responsável por alinhar estratégias e programas que contemplem o regime.

2) Sistema de Logística

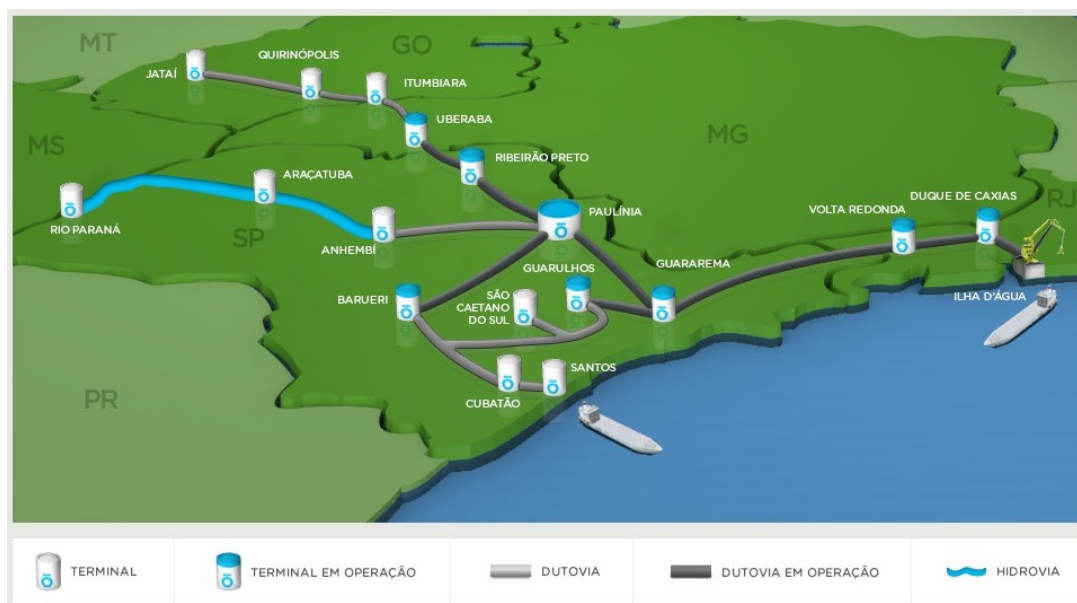
Uma das etapas da cadeia produtiva do etanol requer que se estabeleça a estrutura de escoamento da produção. Geralmente, os fatores de maior custo nas usinas de cana são nas operações de corte, carregamento e transporte por representar de 20% a 40% do custo de produção. A logística da cadeia do etanol demanda equipamentos multiuso e que, pelo seu custo, devem ser eficientes (CORTEZ, 2016). No entanto, o setor de logística se encontra baseado no modal rodoviário de transporte na maior parte do país, o que demanda maiores custos (PDE, 2018). A predominância deste modal deve-se a sua competitividade em rotas curtas e o baixo volume de carga. Afinal, em geral, as usinas não possuem escala de produção o suficiente que viabilize investimentos em diferentes modais.

A logística do processo produtivo é composta por: usinas, distribuidoras e postos ou exportação. Em alguns casos de acordos comerciais há a possibilidade de escoamento das usinas diretamente para os postos. Quando as distâncias são maiores há a necessidade de haver a concentração da carga nas bases de distribuição, o que pode até viabilizar outro modal. Observa-se que, de maneira geral, 80% do etanol parte das distribuidoras para os postos.

Nas exportações, o modal usado também é o rodoviário na maioria dos casos, em função do alto custo e dos problemas de infraestrutura intermodais. Esse cenário reforça um modelo que precisa ser revisto. Mas, para tanto, são necessários investimentos consideráveis em infraestrutura.

Já os modais de escoamento hidroviário e dutoviário vêm nos últimos anos ganhando espaço. Os investimentos em infraestrutura requerem muitos recursos, o que acaba surgindo por intermédio de parcerias, como o projeto Logum Logística (Figura 9). Esse foi o primeiro álcoolduto brasileiro criado pela Petrobras com as empresas: Cosam, Copersucar, Odebrecht, Camargo Corrêa e Uniduto.

Figura 9 – Sistema Integrado de Logística para o Etanol



Fonte: Logum Logística S.A., 2017.

Um dos objetivos do projeto era ligar as regiões produtoras de etanol dos estados de Mato Grosso do Sul, Goiás, Minas Gerais e São Paulo ao principal ponto de armazenamento de distribuição em Paulínia (SP), conforme Figura 9. Outra intenção foi criar um sistema multimodal, o que inclui polidutos e hidrovias. (CORTEZ, 2016). A construção começou em fins de 2010, e a capacidade dos terminais de transporte é de até 22 bilhões de litros de etanol e a de armazenamento é de 920 mil m³. Até 2017 havia 67% do projeto planejado instalado (EPE, 2017).

Além dos dutos, outro importante modal é o portuário, principal estrutura de exportação do etanol. Esse representou 99,9% dos volumes exportados em 2016, que somaram 1,8 bilhão de litros. O porto de Santos registrou o maior volume, com 92%, seguido de Paranaguá, com 7%, e Suape, com 0,5%. Já a importação, teve as regiões Norte e Nordeste como bases de entrada em 2016. Os dados se referem a biocombustíveis em geral (etanol e biodiesel) e apresentam São Luís (MA) como o maior ponto com 80,8% de importação, depois Santos (SP) com 7,6%, Recife (PE) com 5,2% e Aratu (BA) com 2,4% (EPE, 2017).

O transporte aquaviário, em seu turno, é basicamente realizado na região da Amazônia. A Bacia Amazônica é a principal rota para atender o consumo dos

estados do Amazonas, Acre e Roraima. Os terminais aquaviários vêm, na maioria das vezes, das regiões Norte e Nordeste a considerar distância e proximidade.

Por fim, outro modal, de menor peso na estrutura logística, é o ferroviário. Esse sofreu recentemente ampliação nos trechos das ferrovias Norte-Sul, Centro Atlântica, e reestruturação de 264 km na malha do estado de São Paulo. No entanto, para se tornar viável economicamente, é preciso investimentos que ultrapassem barreiras técnicas como: a falta de vagões-tanque e de tração das locomotivas; uma melhora na manutenção das linhas; a baixa velocidade dos trens; os horários limitados para o tráfego; a falta de terminais de transbordo; e a dificuldade de integração entre as concessionárias. (MILANEZ *et al.*, 2010)

O setor de logística se destaca, portanto, por ajudar a tornar o sistema mais eficiente ao escoar a produção e melhorar a competitividade, quer seja no mercado nacional ou internacional. Investimentos na infraestrutura logística são necessários, pois as usinas se situam em diferentes regiões e é preciso ligar o produtor ao vendedor. Para tal, a diversificação dos modais implica em um esforço social e custos de oportunidade que requerem coordenação entre os agentes para que se otimize os esforços envolvidos. Os diversos grupos de interesse e de diferentes áreas geográficas acabam sendo impactados pela construção de uma rede de conectividade para o regime do etanol o que amplia a sua importância.

3) Sistema Automobilístico

O setor automobilístico já desempenhou diversos papéis no regime do etanol. Em cada uma das etapas de sua história diferentes grupos de empresas surgiram e desapareceram ao longo do tempo. Inicialmente quando o regime se estabelece, tem-se uma fase de desenvolvimento e adaptação dos motores para o melhor uso do etanol. Esse período durou de 1975 a aproximadamente 1990 com o fim do Proálcool. Segundo Dunham (2009), sob o aspecto específico da indústria automobilística, alguns problemas podem ser destacados, como os de ordem mecânica, os desincentivos de mercado, os incentivos dados aos carros populares movidos a gasolina, e priorização de carros que pudessem ser comercializados internacionalmente, sendo esses apenas alguns dos fatores que levaram ao declínio do uso do etanol. O regime do etanol só se reergue com

força a partir de 2001 com o aparecimento dos carros *flex fuel*, o que se mantém até hoje.

Ao longo do tempo, os grupos sociais se alteram, e hoje o setor é formado pelas empresas produtoras de peças e componentes e pelas montadoras de veículos automotores. A relação do regime do etanol com o setor surge em razão do etanol ser utilizado como combustível líquido para veículos automotivos. O etanol substitui totalmente ou parcialmente a gasolina nos motores de ciclo otto. Esse combustível é produzido pelo setor agroindustrial (agroindústria sucroalcooleira) para os veículos da indústria automotiva.

Para que o etanol se tornasse um combustível eficiente foi preciso desenvolver as dimensões técnicas e econômicas dos automóveis. Assim, o desenvolvimento do sistema sociotécnico do combustível etanol está intimamente relacionado ao setor automobilístico.

Em 2015, segundo a Anfavea (2016, 2018), a participação do setor no PIB era de 4%, empregando direta e indiretamente aproximadamente 1,3 milhão de pessoas. O Brasil é o décimo produtor de autoveículos no ranking mundial e oitavo no mercado interno, sendo que o país exportou em 2016, em autoveículos e autopeças, US\$ 17,9 bilhões e importou US\$ 17,8 bilhões, gerando um superávit da balança comercial de US\$ 0,1 bilhão. Ainda, dados de 2016, indicam que o setor registrou um faturamento de US\$ 46,9 bilhões e geração de tributos diretos de R\$ 45 bilhões. A indústria conta hoje com 27 fabricantes, 446 empresas de autopeças e 5.535 concessionárias; possui 65 plantas industriais, distribuídas em 10 estados e 42 municípios. A distribuição das plantas por região é de 36 no Sudeste, 23 no Sul, 3 no Centro-Oeste e 3 no Nordeste. A capacidade instalada é de 5,05 milhões de autoveículos.

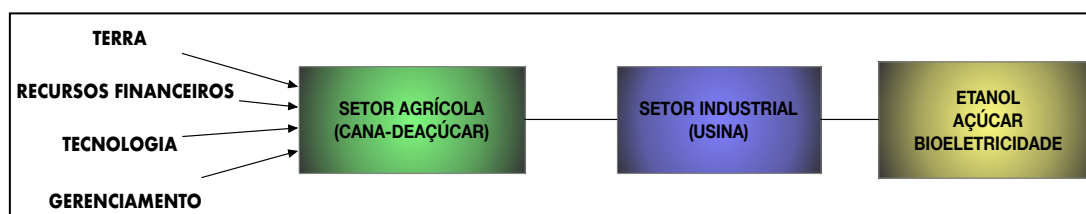
O setor é dinâmico e importante para o país. Ao longo da história do etanol diversos acordos entre a indústria e o governo garantiram a existência e o desenvolvimento de tecnologias que propiciaram o uso do combustível. Hoje, segundo a Anfavea (2018), 85% dos automóveis produzidos são veículos *flex fuel* (1,923 milhões de unidades), 14% a gasolina (316,009 mil unidades) e 1% a diesel (31,682 mil unidades). Esses dados confirmam o retorno do etanol combustível. De acordo com Dunham (2009), o desenvolvimento de tecnologias para as indústrias de equipamentos e automotivas nos carros *flex* criou o cenário atual de *lock-in* em uma tecnologia em que o consumidor gerencia seu mix de

consumo. Desse modo, a rigidez estrutural foi reduzida neste cenário pela possibilidade de escolha entre a gasolina e o etanol.

4) Sistema Agroindustrial

O setor agroindustrial engloba um grande número de subsetores e grupos sociais que se inter-relacionam. Dentre eles destacam-se, o setor agrícola, o setor industrial e ainda a indústria de equipamentos. A Figura 10 descreve a segmentação do regime e da cadeia produtiva do etanol.

Figura 10 – Segmentação do Regime Agroindustrial



Fonte: Adaptado de PNE 2030, 2017.

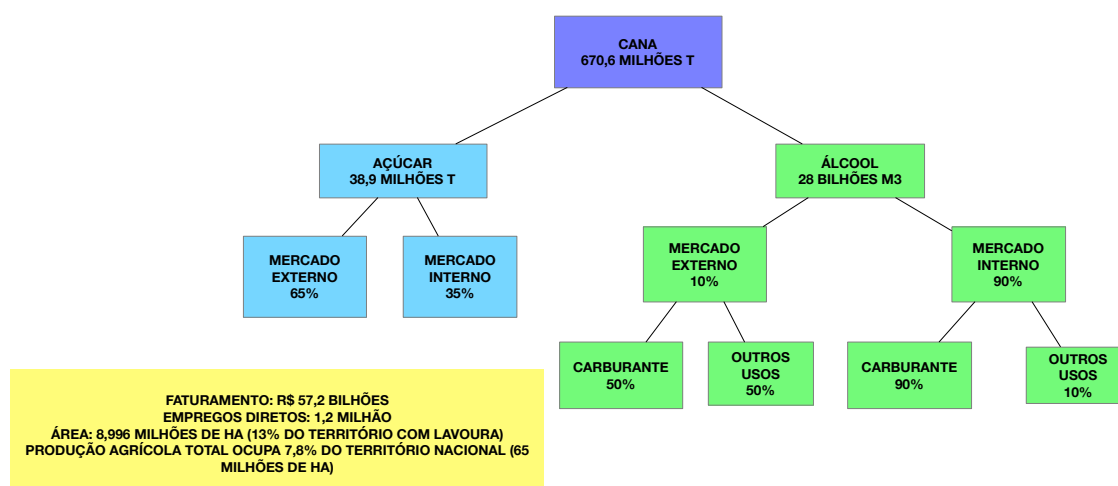
A agroindústria sucroalcooleira corresponde às empresas produtoras de etanol/açúcar a partir da matéria-prima cana-de-açúcar. São empresas que atuam na cadeia produtiva do etanol, quer seja de forma vertical, na fase agrícola e industrial, ou apenas na fase agrícola ou industrial. As empresas da fase industrial são conhecidas como “usinas” e podem pertencer a empreendedores ou empresários atuantes do setor. As usinas ainda estão divididas em usinas autônomas, que produzem apenas etanol, e usinas anexas, que produzem açúcar e etanol.

As empresas da fase agrícola da cana compreendem as companhias e pessoas físicas que fornecem a matéria-prima para a indústria. Assim, nesse setor, se encontram agentes sociais da fase agrícola de produção. Quanto a produção, sabe-se que a área ocupada pelo setor sucroalcooleiro expandiu 3,8 milhões de hectares de 2000 para 2015, com uma elevação média de 4% ao ano. Dessa área ocupada, ou de plantio destinada à cana, na safra 2016/17 foi registrado 1,020 milhão ha plantados e 9,049 milhões ha de área colhida; a produção foi de 657,2 milhões de toneladas no período (CONAB, 2018b). A

elevação da área ocupada foi impactada pelo crescimento da demanda do etanol pelos carros *flex* e pelo aumento da demanda do açúcar no período. Dados da EPE (2018) indicam que a cana processada expandiu 411 milhões de toneladas entre 2000 e 2015, uma taxa de crescimento de 6,6% ao ano. A taxa de crescimento da produtividade da cana atingiu 76,9 tc/ha em 2015, uma taxa de 3,5% a.a. de 2011 para 2015. Essa taxa de produtividade atingiu o seu máximo em 2009, com 81,6 tc/ha, tendo crescido 2,1% a.a. entre 2000 e 2009. Para a EPE (2018), os fatores que levaram a essa queda da produtividade são: a mecanização da colheita descompassada da mecanização do plantio, o manejo agrícola inadequado; questões climáticas e problemas de endividamento pós- crise de 2008. O fato é que a produtividade hoje é menor do que há dez anos.

O que determina o direcionamento da produção para etanol ou açúcar são os fatores conjunturais e estruturais do mercado interno e externo, uma vez que, tanto um quanto o outro possuem uma destinação de consumo para o mercado interno e outra para ser exportado, conforme Figura 11. A produção de açúcar em 2015/16 foi de 39 milhões de toneladas, com uma taxa de crescimento anual entre 2000 e 2015 de 5,2% e exportação de aproximadamente 1,5 milhão de ton. Já a produção de etanol em 2015 (anidro mais hidratado) foi de 30,461 bilhões de litros, sendo 11 bilhões de anidro e 19 bilhões de hidratado. A exportação de etanol contabilizou 1,9 bilhões de litros, mas já havia atingido 5,1 bilhões de litros em 2008 (EPE, 2018). Segundo dados da EPE (2018), as importações de etanol passaram a fazer parte da balança comercial brasileira a partir de 2010, com uma taxa média anual de importação de 0,7 bilhão de litros. Destaca-se que o país foi importador líquido de etanol em alguns meses, no entanto, dados anuais indicam que apenas em 2017 essa situação se caracterizou. Nesse ano, as importações contabilizaram 1,8 bilhão de litro e as exportações 1,4 bilhão de litros, registrando um saldo devedor líquido no volume de 0,4 bilhão de litros.

Figura 11 – Cana no Brasil (dados 2016)



Fonte: EPE (2017), ANP (2016), CONAB (2018).

O mercado internacional, segundo EPE (2017), deve manter o movimento de baixos volumes para o etanol. Alguns fatores são considerados responsáveis por essa redução do consumo mundial do combustível, como: a busca pela independência energética, a melhora de eficiência do consumo/energia, o desenvolvimento tecnológico e o protecionismo econômico. Já em relação ao açúcar as expectativas são de que o país aumente sua participação no comércio mundial, podendo chegar a 45% em 2030, implicando um aumento da produção de açúcar de 3,2% a.a. no período.

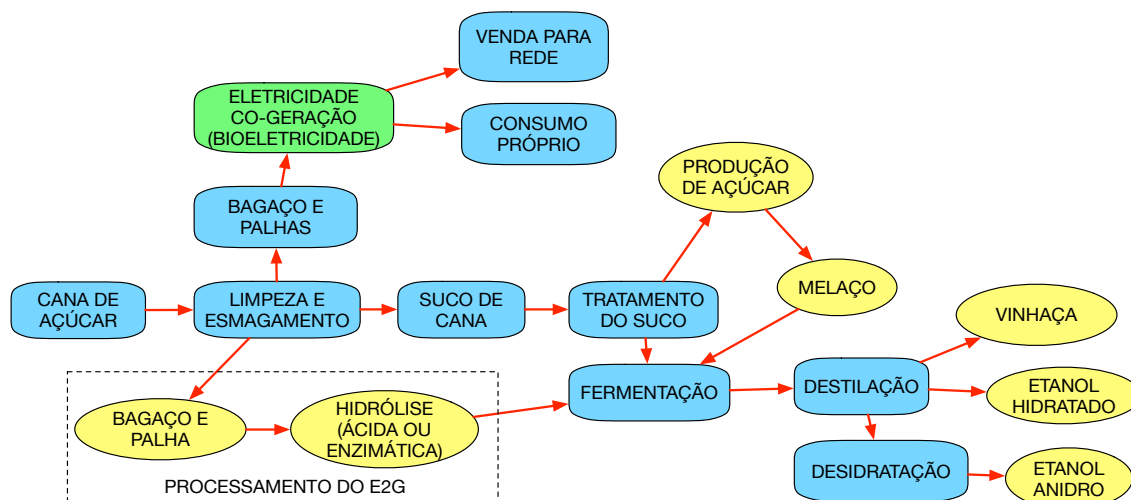
A Figura 12 descreve as rotas para a produção do etanol, ao detalhar a cadeia produtiva em termos de fluxo de produção. Essa é outra forma de se visualizar a estrutura do regime e os possíveis grupos sociais envolvidos a partir do fluxo produtivo e a respectiva rota tecnológica. A possibilidade de integração dos setores agrícola, biotecnológico e industrial fica exemplificada pelos caminhos para se chegar ao combustível líquido. O encadeamento do processo produtivo a partir dessas rotas permite formular estratégias de desenvolvimento sustentável energético a partir de diagnósticos.

A evolução das rotas tecnológicas, principalmente a partir da biotecnologia industrial e agrícola, vêm sendo aplicadas na indústria do etanol. Segundo BNDES (2017), as inovações em processos para produção de biocombustíveis, a química verde, a alcoolquímica e a sucroquímica¹⁹ envolvem

¹⁹ Segundo BNDES (2017) “torna possível a conversão de etanol e açúcares da cana em produtos e intermediários químicos, como farneseno, o eteno e o butanol.”

plataformas científicas de fronteira (biotecnologia), instigando empresas a participarem e a se instalarem no Brasil pelas possibilidades representadas pela cana.

Figura 12 – Diagrama de Fluxo da Produção do Açúcar e Etanol de Cana

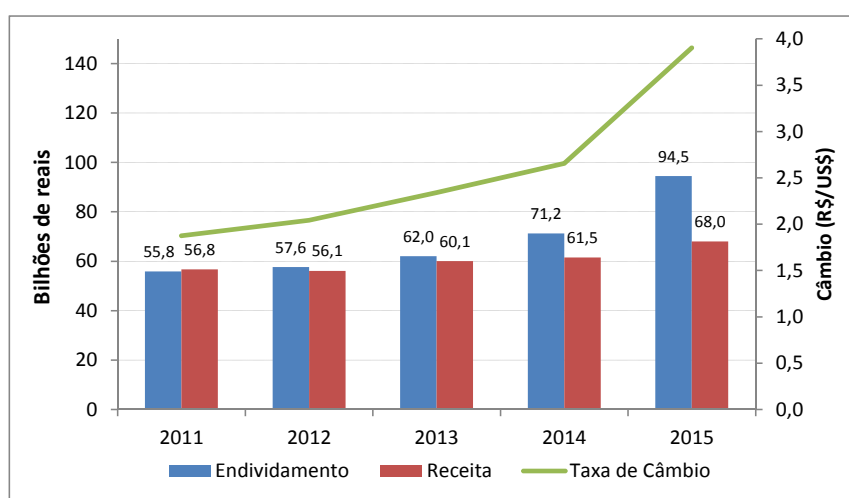


Fonte: Valdes, 2011.

No setor industrial, as usinas são a base de constituição. De acordo com o BNDES (2017), o predomínio da integração vertical nas usinas e destilarias é consequência de uma necessidade de proximidade entre usinas e plantação. Segundo o estudo, esse fato está relacionado à limitação técnica de que após o corte da cana é preciso processá-la em até 36 horas para não comprometer sua produtividade na geração de açúcar e etanol, limitando o estoque. Em 2016, o número de unidades em operação era de 378, com capacidade de moagem de 765 milhões ton, e a taxa de ocupação foi de 88% (MAPA, 2017b). A ANP (2018b) contabilizou capacidade de produção de anidro de 120 mil m³/dia e hidratado 219 mil m³/dia. A EPE (2016) registrou, entre 2005 e 2015, que o número de unidades implantadas aumentou em 136, desativadas 95 e reativadas 13 unidades. Essa elevação deveu-se ao crescimento da demanda pelos carros *flex* e pelo açúcar. Até 2010 havia uma tendência de aumento das unidades implantadas e, após esse período, o cenário se reverteu e ocorreu a maior parte dos fechamentos observados nos anos de 2011 e 2012 (19 e 20 unidades respectivamente). Alguns fatores respondem por este cenário, conforme Gráfico 4 descreve, como elevado endividamento do setor,

desvalorização cambial (dívidas em dólar), clima desfavorável, preço defasado da gasolina em relação ao mercado internacional, elevação do preço internacional do açúcar. Dados de 2015 indicam uma pequena reversão dessa tendência e, em 2016, não houve registro de fechamentos de unidades. (EPE, 2017).

Gráfico 4 – Endividamento, Câmbio e Receita do Setor Sucroenergético



Fonte: EPE, 2016.

O movimento da década dos anos 2000 foi na direção de fusões e aquisições com a presença de capital estrangeiro aumentando a produção. Unindo-se a isso, alguns estados registraram aumento de sua participação no regime, como: Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso. A região Sudeste possuía 211 plantas, seguida da Centro-Oeste com 69, Nordeste com 64 e Sul com 33. Observa-se que São Paulo é o maior produtor (quase 3 vezes o segundo colocado), seguido de Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso. Ao longo do tempo houve um deslocamento da região Nordeste e crescimento da Centro-Oeste (ANP, 2018b).

O processo produtivo do etanol gera coprodutos, entre os quais: bagaço e palha, melaço, açúcar, etanol anidro²⁰ e etanol hidratado²¹. Todos fazem parte da cadeia, mas para serem aproveitados é preciso uma indústria de equipamentos ativa que contribua para o uso amplo destes subprodutos. A indústria de equipamentos corresponde ao conjunto de empresas que desenvolvem e produzem bens de capital. Para o etanol, seus produtos incluem equipamentos e tecnologia para a moagem da cana, beneficiamento do caldo, fermentação do mosto, destilação do álcool e outras operações (DUNHAM, 2009).

O desenvolvimento tecnológico foi importante para melhorar rendimentos dos processos e escala de produção. A empresa Dedini (do Grupo Dedini) se destaca, no passado, como um importante *player* dentre o grupo social do etanol e com o desenvolvimento de tecnologias próprias. Segundo Dunham (2009) o estreito relacionamento da agroindústria com a de equipamentos criou um ambiente próprio que se desenvolveu sem a participação de instituições de pesquisa inicialmente. Verifica-se que o segmento da indústria de equipamentos teve seus avanços em razão de parcerias entre o setor privado e centros públicos de pesquisa. O principal indutor deste desenvolvimento foi o próprio mercado e, mais recentemente, a influência do anseio ambiental com a importância que o debate da sustentabilidade ganhou no mundo. A Tabela 2 descreve dados da evolução tecnológica industrial que acabou resultando no desenvolvimento de equipamentos para o regime (CORTEZ, 2016).

²⁰ A composição é puramente de etanol, não inclui a água. O etanol anidro é misturado à gasolina para uso como combustível em veículos, conforme determinações de percentual definidas pelo governo.

²¹ A composição é etanol com água. Pode ser usado nas indústrias farmacêuticas, alcoolquímica, de bebidas, de produtos de limpeza e combustível automotivo.

Tabela 2 – Evolução tecnológica do setor industrial de 1975 a 2013.

	Produtos Dedini	Início do Proálcool	Estado da arte
1. Aumento de capacidade de produção/equipamento			
Capacidade de moagem (TCD) – 6 × 78"	Desfibrador vertical/Tandem de moendas	5.500	15.000
Tempo de fermentação (h)	Fermentação batelada/Contínua	24	6-8
Teor alcoólico do vinho (°GL)	Ecoferm	6,5	até 16
2. Aumento de eficiência/rendimento			
Rendimento extração (% aç. cana) – 6 ternos	Tandem de moendas/Difusor modular	93	97/98
Rendimento fermentativo (%)	Ecoferm	80	92
Rendimento da destilação (%)	Destiltech	98	99,5
3. Consumo/eficiência energética			
Consumo total de vapor (kg/t cana)	Tecnologia Dedini	600	320
Consumo vapor-anidro (kg/L)	Split-feed + Membrana/Peneira molecular	4,5	2,0
Caldeira-Eficiência (% PCI)	AZ/AT/Single-drum	66	89
Pressão (bar)/Temperatura (°C)	AZ/AT/Single-drum	21/300	120/540
Biometano a partir de vinhaça (Nm³/l etanol)	METHAX	–	0,1
4. Parâmetros globais			
Rendimento total (L ál.c.hidr./t cana)	Tecnologia Dedini	66	87
Bagaço excedente (%) – usina de etanol	Tecnologia Dedini	até 8	até 78
Eletricidade excedente para a rede, usina de etanol, 12.000 TCD, combustível: bagaço, unidade: MW	Tecnologia Dedini	–	50,7
Eletricidade excedente para a rede, usina de etanol, 12.000 TCD, combustível: bagaço + 50%/100% palha, unidade: MW	Tecnologia Dedini	–	84/112
Produção de vinhaça (L vinhaça/L etanol)	Ecoferm/DCV	13	5,0/0,8
Consumo de água (L água/L etanol)	Usina de água	187	(–) 3,7

Fonte: Olivério; Boscariol, 2013.

O desenvolvimento da indústria de equipamentos ocorreu em pequenos estágios, com inovações incrementais e contínuas, o que resultou em melhoras no desempenho como um todo. O desafio da sustentabilidade é hoje um importante eixo que vem impactando cada vez mais no regime com efeitos sobre a indústria de equipamentos. Os novos desafios dessa indústria estão atrelados ao regime do etanol. Segundo Cortez (2016), o direcionamento é melhora de produtividade, eficiência, rendimento, sustentabilidade, fomento à integração com outros processos e produtos e desenvolvimento de produtos de maior valor agregado. Assim, será possível atender este mercado com capacitação e competitividade em relação a uma visão global.

5) Instituições de Pesquisa e Biotecnologia

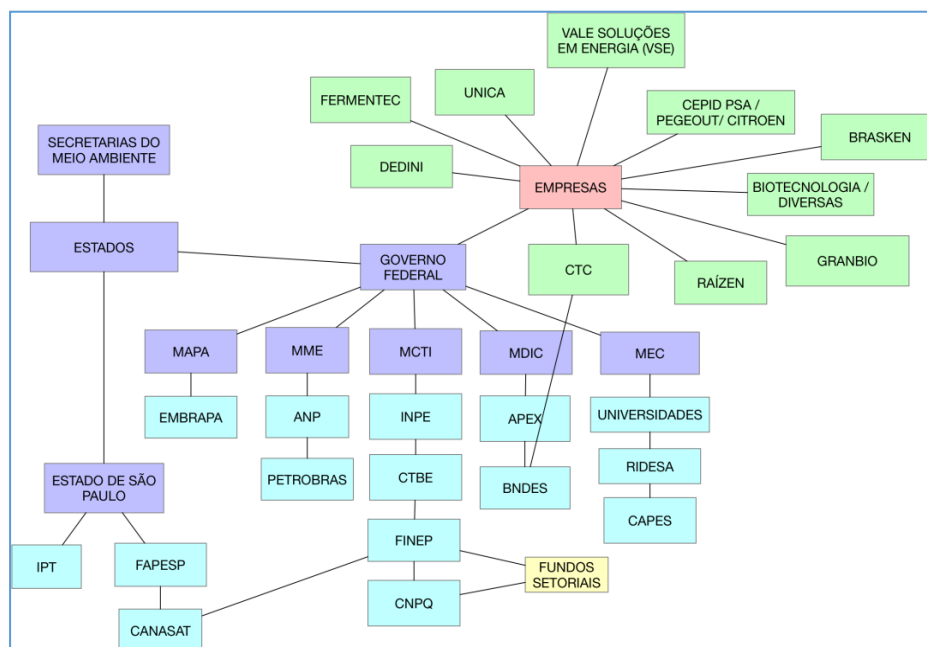
As instituições de pesquisa e biotecnologia são compostas por redes de pesquisa e desenvolvimento que incluem universidades, institutos de pesquisa

e empresas, quer seja de natureza pública ou privada, que desenvolvem pesquisas, básicas e aplicadas, nas tecnologias e nos domínios do conhecimento do regime do etanol.

A análise histórica permite verificar que diferentes grupos de pesquisa se destacaram no regime no seu início, como Planalsucar/IAA, CTC e IAC, em áreas que vão desde sementes, passam pela eficiência, manejo e mecanização agrícola e chegam até a logística de colheita e transporte. Na atualidade esta é uma rede complexa e interligada com grande pluralidade de agentes em função do arrefecimento tecnológico do regime.

Hoje, a bioenergia vem tomando espaço no mundo²² e no Brasil²³. Os investimentos em pesquisa e biotecnologia permitiram que o etanol se mantivesse como uma solução. Ainda, o número de instituições públicas e privadas de pesquisa e empresas envolvidas é um universo em rede nacional e internacional. A Figura 13 ilustra esta rede de grupos sociais envolvidos.

Figura 13 – Instituições e Empresas Envolvidas em P&D em Etanol de Primeira e Segunda Gerações



Fonte: Autoria Própria.

²² A bioenergia moderna (etanol e bagaço de cana) no mundo, responde por cerca de 2,3%, enquanto a bioenergia tradicional (extrativismo de madeira e carvão vegetal) responde por cerca de 8%, segundo a Agência Internacional de Energia (CORTEZ, 2016).

²³ Dos 2,3%, 1,3% se divide entre etanol de milho dos EUA com 0,8% e etanol de cana do Brasil com 0,5% restantes (CORTEZ, 2016).

A presença do Estado em suas diferentes dimensões junto com as empresas de mercado propiciou um ambiente tecnológico estruturado e fundamentado que levou o país a uma posição de destaque no mercado mundial do etanol. A presença do Estado se dá em diferentes frentes que incluem instituições de ensino, empresas/instituições de fomento acadêmico e financeiro, empresas de marketing, órgãos reguladores, empresas da área agrícola, ministérios, secretarias estaduais, estados da Federação e órgãos correlatos nesses estados. Além disso, insta destacar as empresas privadas que também são atuantes, como: as empresas de petroquímica, empresas de energia, empresas de petróleo, empresas automobilísticas, empresas de máquina e equipamentos, empresas de biotecnologia, dentre outros.

As empresas privadas destacadas na Figura 15 são algumas das que apresentam envolvimento em P&D relacionados ao etanol sob diferentes aspectos. Segue breve descrição. A Brasken é uma empresa petroquímica, mas que no entanto, vem ampliando o mercado de bioplásticos no país, lançando linhas de polietileno verde de baixa densidade (PEBD) e alta densidade (PEAD). Já a Vale Soluções em Energia²⁴ (VSE) possui um centro de pesquisa e desenvolvimento para a área de energia, no qual há destaque para o projeto de geração de energia elétrica a partir do etanol. A GranBio é uma empresa brasileira de biotecnologia industrial que possui um centro de pesquisas e produz biocombustíveis e bioquímicos de segunda geração. A empresa foi a primeira a ter uma planta no Brasil (Empresa Bioflex) de biocombustíveis de segunda geração a partir do etanol, além de desenvolver uma nova variedade de cana chamada cana-energia²⁵. A Raízen é uma empresa produtora de etanol (*Joint Venture* entre a Shell e Cosan) que vem investindo em tecnologia de segunda geração. O Centro de Pesquisas e Inovação da Fapesp (CEPID) é um centro virtual de laboratórios associados a fim de realizar P&D em motores a etanol. A Única é uma organização representativa do setor do açúcar e bioetanol no país,

²⁴ A empresa terminou sua operação em 2016. <http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/Ativos-VSE-doados-Instituto-Tecnologico-Vale-universidades.aspx>

²⁵ Cruzamento genético de sementes de cana-de-açúcar gerando espécies mais resistentes e produtivas. Segundo BNDES (2017) tem cerca do dobro da produtividade tradicional, se adapta a ambientes mais adversos de clima e solo, mas é uma tecnologia ainda em desenvolvimento não usada em escala.

com importância na articulação dos agentes. Possui 120 companhias associadas de todo o mundo que representam mais de 50% do etanol e 60% do açúcar produzidos no país. A Fermentec é uma empresa de bases tecnológicas em processo industrial de fermentação alcoólica e controle laboratorial das etapas de produção do açúcar e etanol. A companhia presta consultoria, realiza transferência de tecnologia e *networking* na área. A Dedini é uma empresa tradicional de equipamentos para as usinas de cana-de-açúcar. O Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) é controlado pelas empresas Raízen, Copersucar, São Martinho, Guarani (Tereos), Bunge e Usina Coruripe. Trata-se de um centro de pesquisa privado de cana-de-açúcar (empresa de biotecnologia) com expertise em melhoramento genético e etanol celulósico e é referência mundial. Essa diversidade de fontes e objetivos indicam um regime profícuo para inovação e desenvolvimento (BNDES, 2017).

Esse ambiente rico, quer seja no nicho tecnológico ou no nicho de mercado, vem ampliando os agentes do regime do etanol dos combustíveis de primeira geração para o de segunda geração. Não obstante, existem ainda outros grupos sociais no regime de bioenergia destes combustíveis, que mesmo pequenos são relevantes, tais como: Odebrecht Agroindustrial, Usina São Manoel (ligada à Coopersucar) e a GranBio.

4.4. Conclusão

O Brasil se envolveu em uma “corrida” de inovações para o desenvolvimento do regime do etanol. Inovações em sentido amplo que permitiram estabelecer o sistema sociotécnico e os grupos sociais envolvidos, como descrito.

A interação entre desenvolvimento tecnológico, dinâmica de mercado, ações políticas, problemas e tensões permitiram que uma inovação de nicho emergisse para a construção do regime. Logo, o desenho dessa estruturação empírica só é possível de ser construído a partir do estudo do caminho percorrido. Principalmente quando o mercado é fortemente fechado por uma tecnologia socialmente aceita e fortalecida econômica e financeiramente tanto no país quanto no exterior.

A elaboração deste capítulo foi consequência da análise temporal dos fatos sob diferentes gradientes de enfoque. A identificação desses componentes é um trabalho de ação e interpretação e, mesmo sendo essencial, esconde toda a riqueza tecnológica e esforço social que foram despendidos para esse resultado. Desta forma, a MLP passa a ser usado para entender o surgimento e difusão do regime do etanol como o conhecemos.

Assim, o próximo passo deve ser entender quais caminhos foram percorridos para que o etanol tenha se estabelecido nesta formatação e com esses grupos atuantes. Não se trata de uma escolha de caminhos fortuita, mas de processos que se interligaram em múltiplos níveis. Dessa forma, a Perspectiva Multinível, como descrito por Geels (2005), não é um modelo formal, mas uma teoria apreciativa e permitirá reconstruir trajetórias. Já a organização e divisão de acontecimentos ao longo do tempo, além de permitir construir uma visão global do sistema sociotécnico e dos grupos sociais envolvidos do regime do etanol, direcionará a análise para as questões da pesquisa. Esse capítulo é, portanto, o resultado final da estruturação do regime do etanol, após todo o desenvolvimento e construção do sistema sociotécnico. Em seguida, no próximo capítulo, será desenvolvida a narrativa histórica com o processo de transição do etanol desde sua criação até a formação do sistema sociotécnico e a formatação dos grupos contemporâneos atuantes apresentados nesse capítulo.

5. ESTUDO DE CASO - A ANÁLISE HISTÓRICA

5.1. Introdução

O capítulo se organiza com o objetivo de analisar o processo de transição do etanol a partir da análise histórica. Como descrito na metodologia, a abordagem baseia seu desenvolvimento no mapa visual e na narrativa histórica. A análise da transição do etanol é construída a partir do Mapa Visual, conforme Apêndice A, pela união da estratégia narrativa (LANGLEY, 1999), com a abordagem das transições (GEELS, 2005e) e a estrutura das cinco dimensões (política, economia, cultura, ciência e tecnologia) apresentada por Freeman e Louçã (2005).

O mapa visual foi confeccionado de forma longitudinal, com os eventos das cinco dimensões descritos resumidamente e organizados a partir da MLP em *landscape*, regime e nicho. A organização dos dados nesta forma expositiva e resumida possibilitou visualizar temporalmente os movimentos na direção da implementação do regime do etanol e o seu processo de transição sociotécnico. Essa formatação dos eventos permite que se atinja o objetivo deste trabalho, que é apresentar simultaneamente um grande número de informações e suas relações. Assim, o capítulo se desenvolve apresentando a estrutura empírica.

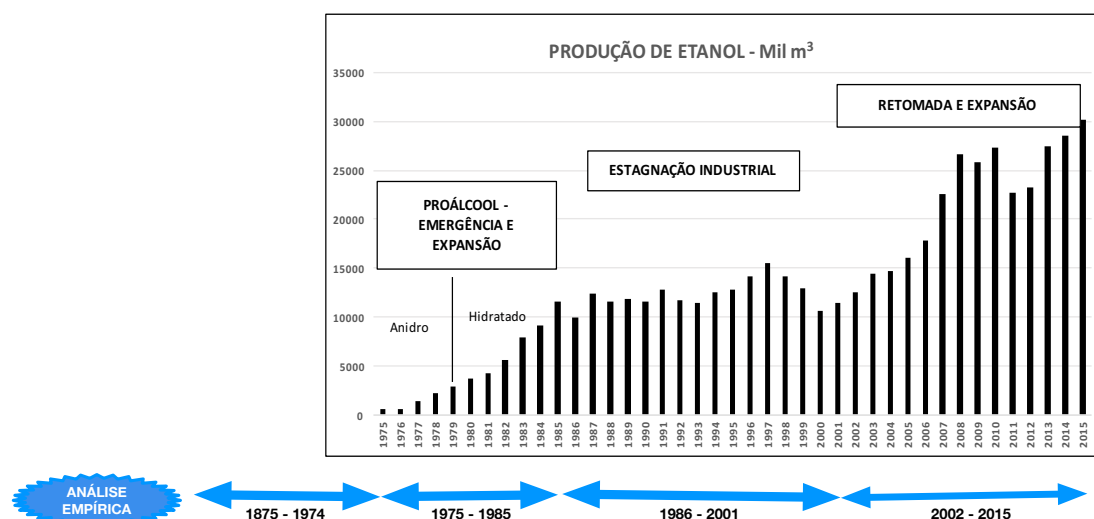
5.2. Abordagem Qualitativa: Estrutura Empírica

A análise empírica é feita de 1875 até 2015 e dividida longitudinalmente em quatro períodos. Os primeiros cem anos da narrativa, de 1875 a 1974, foram analisados como a etapa do Surgimento e Construção para o regime. O etanol combustível é analisado a partir do ano de 1975 com a instituição do Programa Nacional do Álcool – Proálcool, com o decreto 76.593. De 1975 a 1985, o Período do Proálcool ficou descrito como de Emergência e Expansão e foi subdividido em dois períodos: de 1975 a 1979 – Preponderância do Etanol Anidro, e de 1980 a 1985 – Preponderância do Etanol Hidratado. Já de 1986 a 2001 foi o Período de Estagnação Industrial, e de 2002 a 2015, o Período de Retomada e Expansão²⁶. Essa demarcação foi baseada na análise evolutiva da curva de

²⁶ Nos anos 2011 e 2012 houve uma redução da produção que retomou os níveis anteriores a partir de 2013. Mesmo não tendo mantido os mesmos níveis de crescimento do começo do período, o período 2002 a 2015 pode ser caracterizado como de Retomada e Expansão.

produção de etanol e de mudanças institucionais importantes na configuração do setor, conforme Harvey & McMeekin (2010) e Shikida & Perosa (2012) descrevem. A Figura 14 mostra o nível de produção do etanol ao longo do tempo, bem como a divisão temporal descrita e escolhida pela tese na estrutura empírica.

Figura 14 – Divisão em Períodos da Análise Empírica



Fonte: Harvey & McMeekin (2010) e Shikida & Perosa (2012)

Além da divisão em períodos, a estrutura empírica inclui a análise detalhada de cada etapa a partir do mapa visual, conforme Apêndice A. Para cada período, foram discutidos o regime, o *landscape* e o nicho. Apenas na fase de surgimento e construção (1875 a 1974) é que a análise é feita em conjunto pela divisão quase inteira do mapa visual em nicho. Os demais períodos de análise estão divididos conforme protocolo apresentado na metodologia: regime na *dimensão política e landscape*, atores e instituições governamentais atuantes no regime, a dinâmica do regime propriamente dita e o nicho renovável.

Serão destacadas ainda as cinco dimensões nesta análise que tiveram algum desenvolvimento, conforme sugerido por Freeman & Louçã (2005). É importante destacar que a cada período de análise será apresentado o mapa visual em tamanho reduzido de forma ilustrativa para que o leitor se situe no tempo, e para visualização em tamanho aumentado, o mapa se encontra no Apêndice A. Vale lembrar que a revisão histórica permite reconstruir caminhos e entender escolhas de políticas e anseios da sociedade.

5.2.1. De 1875 a 1974 - Surgimento e Construção do Regime

Os eventos ocorridos neste período foram basicamente no nicho, pois os processos de aprendizagem alinharam-se gradualmente, levando a uma maior estabilidade e convergência na direção do regime do etanol. Por se tratar da introdução de uma inovação do sistema, foi preciso que o nicho se desenvolvesse para depois conquistar o mercado e se ligar a processos do regime de combustíveis em geral. Assim, esta etapa de análise foca em movimentos do nicho com participação do *landscape*, criando uma janela de oportunidade para o próximo período. O mapa visual desse período permite verificar o movimento de forma ilustrativa, conforme a Apêndice A item a apresenta. Os movimentos identificados fora do nicho ocorreram basicamente no regime do açúcar e no *landscape*.

Os primeiros indícios do processo de modernização da agroindústria sucroalcooleira têm início na década de 1870, com o movimento de um pequeno grupo de senhores de engenho de Pernambuco. Além disso, no período, o próprio Império decidiu subsidiar o processo produtivo do setor açucareiro com financiamentos para que se estabelecessem grandes usinas de açúcar centrais. Apesar de o objetivo não ter sido atingido, o movimento acabou por resultar em uma consequência que se tornou importante para o etanol: a separação entre as fases agrícola e industrial da produção de açúcar.

Até 1900 o etanol era considerado um subproduto sem valor algum para os agentes do regime do açúcar. A busca por usos alternativos para a cana tem início em 1903, com a Sociedade Nacional de Agricultura – SNA, que promoveu a Exposição Internacional de Aparelhos de Álcool e o Congresso Internacional do Álcool; eventos que, pela primeira vez, indicam uma proposta de uso do etanol nos carros automotivos. Mas o Brasil possuía uma frota mínima, o que, na prática, representou um movimento sem expressão.

O cenário de baixo investimento e não atualização tecnológica se estende do início de século XX até meados da década de 1920, com a Crise do Mosaico²⁷ e com o direcionamento da pesquisa agrícola a fim de superá-la. A Estação Experimental de Cana-de-açúcar de Piracicaba (EECP) teve um papel de

²⁷ A presença de um tipo de vírus na plantação difícil de ser controlado.

destaque nessa crise ao direcionar esforços e substituir as variedades suscetíveis ao mosaico para uma taxa de 85% em 1929 e 99% em 1932. Essa crise foi importante para aproximar os usineiros do açúcar da fase industrial da fase agrícola (DUNHAN, 2009).

A possibilidade de substituição do combustível automotivo gasolina pelo etanol começa a ganhar contorno na década de 1920 com os movimentos de nicho por meio de dois congressos: o 3º Congresso Nacional de Agricultura em 1922 e o Congresso da Agricultura do Nordeste em 1923. Os dois trouxeram de forma objetiva sugestões para o uso do etanol como combustível e indicaram que o combustível deveria ser considerado de utilidade pública e de interesse nacional. A crise do açúcar, à época, explica esse movimento. Havia uma superprodução, e o próprio Governo indicava a substituição do uso da gasolina pelo então chamado álcool-motor²⁸. Assim era o regime do açúcar tentando, a partir de um movimento do nicho, resolver suas dificuldades.

Em 1925, as pesquisas da Estação Experimental de Combustíveis e Minérios (EECM) resultaram na adaptação de um motor Ford Modelo T para rodar com o etanol. O movimento empreendedor permaneceu ao longo dessa década, tendo em 1927 sido registrado o lançamento do primeiro combustível nacional de álcool-motor com 55% de etanol hidratado e 45% de éter, na Usina Serra Grande, Alagoas.

A crise mundial de 1929, um evento do *landscape*, agravou ainda mais os problemas do regime do açúcar. Agora, além da superprodução, seria preciso enfrentar o problema internamente, pois não havia como contar com recursos externos. Com o objetivo de defender o regime do açúcar, em 1931 o Estado acaba por direcionar caminhos para o etanol ao determinar a obrigatoriedade da mistura do etanol à gasolina e adotar uma série de medidas de isenção de impostos e estímulos na produção e consumo. No quesito financiamentos, porém, não houve mecanismos que o viabilizassem.

Os esforços do Governo ocorreram através da Estação Experimental de Combustíveis e Minérios (EECM) para construir um arcabouço legislativo e técnico de viabilização do uso nos motores. O objetivo era adaptar o combustível aos motores existentes, e essas medidas criaram oferta e demanda para o

²⁸ Nome dado, antes do Proálcool, à mistura do etanol anidro com gasolina.

etanol. Ademais, os usineiros do açúcar passaram a dispor de destilarias anexas capazes de produzir etanol anidro.

Além do desenvolvimento do mercado, o período da década de 1930 e 1940 manteve o movimento de nicho de P&D agrícola através do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e da EECF, com pesquisas na direção de desenvolver um sistema de seleção, criação e melhora de variedades. Esse movimento aconteceu em São Paulo, já que nem o Nordeste nem o Norte Fluminense possuíam esse movimento de P&D sendo estruturado.

Outro evento de destaque, presente no *Landscape*, foi a Segunda Guerra mundial (1939), que alterou a configuração do setor. Antes da Guerra, a Região Nordeste abastecia o país de açúcar, e com a Guerra o governo flexibilizou a instalação de usinas na região de São Paulo, que aproveitou o momento, inclusive com produtores de café mudando de ramo. As usinas de SP seguiram a trajetória de ganhos de escala, aumentando a competitividade e reduzindo custos de produção, além de colocar o Estado em posição de destaque no regime do açúcar (FURTADO *et al.*, 2011).

Nas décadas de 1960 e 1970, foram criados o Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar (Planalsucar), o Centro de Pesquisa Copersucar (CTC) e o Programa de Apoio à Agroindústria Açucareira. Esse movimento foi na direção de fortalecer a produtividade agroindustrial de São Paulo e aumentar a produção de açúcar por meio de práticas mais eficientes.

Em termos de mercado, o regime açucareiro registra um movimento de expansão no mercado interno e externo nas décadas de 1950, 60 e 70. A região Nordeste passa a atender as exportações brasileiras, e a região de São Paulo cobre o mercado interno. Na década de 1960, tem-se o Plano de Expansão da Indústria Açucareira, cuja estratégia consistia no desenvolvimento setorial, e assim as exportações e a produção nacional passaram a fazer parte de um projeto de desenvolvimento. No início da década de 1970, o açúcar se transformou no principal produto exportado pelo Brasil. Seu preço voltava a ser destaque no mercado internacional, e seu volume exportado representava cerca de 30% da produção total brasileira. No que se refere ao etanol, houve crescimento da produção, mas apenas 1% da cana-de-açúcar moída pelas usinas destinava-se à produção de etanol. Esse etanol era obtido do processamento do mel residual, parte de que não se extrai açúcar (sobra do

açúcar), logo, mantinha-se como subproduto (BACARIN, 2005).

O preço do açúcar se elevou até 1974 por questões de mercado (conjuntural e especulativo). Naquele ano, o preço era de US\$1.388/t, mas em 1975 iniciou-se um período de queda vertiginosa, e o preço bateu US\$336/t. Essa queda nos preços de quase 75% criou um cenário de reversão completa de tendência, mas acabou por representar uma mudança de rumos para o setor, que viu na produção do etanol uma saída para o quadro que se instalava (BACCARIN, 2005). Com a possibilidade de redirecionamento produtivo industrial, abriu-se uma janela de oportunidades dentro da indústria do açúcar. Esse cenário, unido ao evento do *landscape* da crise do petróleo, permitiu mudanças estruturais.

5.2.2. De 1975 a 1985 – Proálcool, Emergência e Expansão

O período é chamado de Emergência e Expansão devido ao crescimento rápido da produção durante essa fase. É possível identificar uma subdivisão desse período de acordo com a preponderância do uso do etanol anidro misturado à gasolina e hidratado usado diretamente como combustível renovável nos automóveis. Em função de mais esse foco de análise, tem-se a separação desse período em dois: com o etanol anidro, entre 1975 e 1979, e posteriormente com o etanol hidratado, entre 1980 e 1985, conforme apresentam a Figura 16 (no início do capítulo).

De 1975 a 1979 – Preponderância do Etanol Anidro

O período do etanol anidro apresenta a configuração ilustrativa do mapa visual do Apêndice A item b, indicando o movimento na direção da construção do regime.

Regime na *dimensão política e landscape*

No contexto nacional, o Proálcool surge em 1975 como uma política de governo com o decreto 76.593. Foi implementado após o II Plano Nacional de Desenvolvimento (II PND), que, por sua vez, foi lançado em fins de 1974 com o objetivo de substituir as importações e estimular a produção de matérias-primas, bens de capital, alimentos e energia. Particularmente, a indústria de etanol estava entre os beneficiados desse evento do *landscape*, e o II PND, direcionado

para a estratégia de autossuficiência energética do país e investimentos em fontes alternativas de energia. Este quadro direcionava esforços para a indústria sucroalcooleira pelo seu histórico e oportunidade.

A implementação do Proálcool se desenvolve com a inclusão de questões de ordem prática sobre a execução do programa e as fontes e usos de recursos para financiar e ampliar a oferta do etanol. Isso implicava uma política pública de preços e financiamentos subsidiados e de determinação de compra de etanol pelo governo para dar garantia ao novo mercado. Além disso, o Proálcool se estabelece dentro de um contexto internacional, em 1973, de primeiro choque do petróleo; evento que mudou o cenário vigente de política energética. O aumento do preço do petróleo de US\$3,40 em 1972 para US\$15,50 em 1974 influenciou a economia do país e encareceu a energia, o que refletiu nos preços e na inflação. Assim, o programa surge como uma forma de estabelecer a segurança energética e evitar evasão de divisas, já que havia uma dependência do mercado externo de petróleo de 80% até final dos anos 1970 (BEN, 2016).

Ainda no contexto internacional, o questionamento quanto ao modelo de crescimento estabelecido e suas consequências ao meio ambiente surge nessa década, com o relatório “Limites do Crescimento” (MEADOWS *et. al.*, 1972). O *landscape* acena pela primeira vez, de forma documental, que a comunidade científica e acadêmica repensa a dinâmica de crescimento do mundo moderno e suas consequências para o meio ambiente e a sociedade.

Na *dimensão política* de direcionamento para a construção do regime do etanol, a adição de percentuais de etanol à gasolina foi uma das formas adotadas pelo governo para indicar ao mercado o apoio do poder público ao programa e a consolidação do Proálcool. Essa política de misturar etanol anidro à gasolina já existia desde 1966, porém, respeitando-se o limite de 25%, pois para valores maiores haveria a necessidade de adaptações dos motores. Mas só em 1975, com o Proálcool, o direcionamento é dado de forma direta com foco em mercado, ou seja, construção de oferta e demanda estruturada.

Outra medida foi a política de subsídios de preços, que se iniciou ainda meses antes da promulgação do Programa, com o tabelamento de 44 litros de etanol anidro correspondendo a 60kg de açúcar cristal *standard*, e o preço do açúcar tabelado pelo governo. Além da paridade de preço, a medida incluía a compra por parte do governo do etanol e a venda à Petrobras pelo preço da

gasolina. Era a *dimensão da política* atuando sobre a empresa do governo no regime sob o enfoque da *dimensão econômica*.

As críticas ao programa vinham de pressões de grandes multinacionais de petróleo, da Petrobras e da desconfiança do próprio setor automotivo, que mesmo com seus problemas técnicos, acabou por ceder e participar desse processo inicialmente de forma discreta. Esse ambiente tutelado pelo Estado permitiu o desenvolvimento do mercado de etanol combustível.

Em 1979, o *landscape* influencia novamente o regime e tem-se o segundo choque do petróleo no cenário internacional, reforçando ainda mais a produção do etanol. Ainda nesse ano, o percentual de adição do etanol anidro na gasolina passou a ser mandatória, no valor de 15%, e a produção de carro estritamente a etanol criou o ambiente para que o governo fomentasse o uso do etanol hidratado.

Atores e instituições governamentais atuantes

A implementação do Proálcool surge com a criação de uma estrutura burocrática com a participação de diferentes ministérios e atribuições. Em 1975, foi criada a Comissão Nacional do Álcool (CNA), presidida pelo Ministério da Indústria e do Comércio e formada por representantes de outros órgãos do governo. A CNA tinha por atribuição a execução do Proálcool. No Proálcool, o Conselho Nacional do Petróleo (CNP) passou a ter participação na escrituração e gestão dos recursos arrecadados para subsidiar os preços do etanol.

Outros agentes do Estado passaram a fazer parte da política de concessão dos financiamentos para a instalação de unidades de produção de etanol a partir de alguns bancos federais e estaduais. O próprio Conselho Monetário Nacional (CMN) também tinha participação na política de crédito, definindo as condições finais dos empréstimos e as fontes de recursos que seriam utilizadas. Com o Programa, uma nova estrutura organizacional foi estabelecida para o Instituto do Álcool e Açúcar (IAA). Com o Proálcool, foi atribuído ao IAA um papel secundário, que o tirou das decisões de controle sobre a produção e deixou as funções principais para a CNA.

Em 1979, tem-se uma nova estrutura burocrática de gestão adotada com a criação do Conselho Nacional do Álcool (CNAL) com a atividade-fim de formular e fixar políticas e diretrizes para o Proálcool. O CNA foi substituído pela

Comissão Executiva Nacional do Álcool, a CENAL, A CENAL que exerceria uma função executiva e consultiva ao CNAL. As atribuições da CENAL incluíam análise dos projetos de modernização e ampliação e instalação de destilarias de etanol. Junto com essas medidas, surgem as alterações do IAA, que já vinha perdendo espaço. Ainda em 1979, o Governo Federal decidiu criar a Coque e Álcool de Madeira S/A (COALBRA), uma empresa estatal para atuar na produção de etanol e outras fontes de energia alternativas ao petróleo. A empresa é considerada uma das primeiras iniciativas declaradas em desenvolver etanol celulósico (E2G) no país com base em tecnologia estrangeira. Foi feita uma planta piloto, mas sua extinção deu-se em novembro de 1986.

Dinâmica do Regime

Um importante ponto do Proálcool foi vincular a produção do etanol aos interesses da política de combustíveis automotivos, deixando claro o papel do bem substituto. Como se tratava da introdução de um novo regime, diversas foram as medidas ao longo do tempo para garantir sua construção, desde a matéria-prima até a sua distribuição.

Com o Proálcool, o mercado ofertante se estabeleceu com o crescimento da capacidade produtiva a partir do parque agroindustrial instalado e a introdução de mecanismos de financiamentos subsidiados por bancos públicos para instalação de destilarias e financiamento de safras. No início, a estratégia estava fundamentada no aproveitamento da capacidade ociosa de destilarias anexas às empresas produtoras de açúcar para a expansão da produção de etanol. Para atender rapidamente a essa nova estrutura, inicialmente havia o predomínio de destilarias anexas, e a estratégia adotada era a de adição do etanol anidro à gasolina. Com o crescimento do parque agroindustrial instalado, em 1975, 225 usinas produtoras, das quais 4% eram destilarias autônomas e 57% eram anexas. Em 1979, 65% das destilarias eram anexas e 35% eram autônomas.

No período de 1974/75 a 1978/79, com o Proálcool, a produção total de etanol passou de 625 milhões de litros para 2.491 milhões de litros, um crescimento de 299%. Nessa mesma fase, de 1974/75 a 1978/79, predominou a produção de etanol anidro, que cresceu 868%, enquanto a produção de etanol

hidratado sofreu uma pequena queda de 3%. A produção do açúcar no período aumentou 9%. O objetivo era ampliar o uso do etanol anidro principalmente durante as crises do petróleo, e o etanol aumentou sua participação de 0,6% para 7% no período (MAPA, 2007 e BACCARIN, 2005).

O início do Proálcool foi caracterizado por uma política de direcionamento para a indústria do etanol que requeria esforços também em outras dimensões. A indústria automobilística precisava participar desse processo, pois havia questões técnicas a serem ajustadas. Assim, em 1975 o Governo Federal assinou o primeiro protocolo de cooperação com a indústria automotiva para dar suporte ao desenvolvimento tecnológico dos motores. Inicialmente, o ambiente era de relativa distância e pouca importância para o regime em construção, situação essa que se alteraria a partir de 1979.

As empresas do regime em construção, tais como o agroindustrial, sucroalcooleiro e automotivo, responderam positivamente a esse período de euforia do Proálcool de incentivos governamentais. No setor sucroalcooleiro, isso se verifica pela apresentação de projetos de expansão e instalação de unidades ao longo do tempo. No setor automotivo, havia um esforço artesanal para adaptar peças de modelos a gasolina, mas esses esforços culminam em 1978 com a FIAT produzindo o primeiro carro realmente a etanol e não convertido, e em 1979 lançou o modelo FIAT 147 no mercado nacional para ser vendido em escala comercial.

O programa contava com o apoio explícito do governo mesmo sob severas críticas da imprensa de que o combustível não seria sustentável por apresentar um custo até seis vezes mais caro que a gasolina. Assim como a imprensa, o setor automotivo acabou por se render. Depois de resistências a mudanças, por meio de um protocolo de cooperação, em 1979 a indústria automotiva (empresas FIAT, VW, Mercedes-Benz, GM e Toyota) e o governo assinaram o segundo acordo, em que a indústria se comprometia a produzir veículos com motores dedicados ao uso do etanol (CHEN, 2015). Com esse cenário de carros a etanol, a indústria automotiva e o governo acordaram metas de produção de 250 mil veículos para 1980, 300 mil para 1981 e 350 mil para 1982. Havia sido criado o mercado para o combustível líquido etanol.

A determinação governamental de criar e solidificar o setor aparentemente direcionou os esforços. O uso do aparato institucional público foi

o caminho, com a Petrobras desempenhando papel relevante para a rede de distribuição. Essa rede se iniciou com a empresa BR Distribuidora (subsidiária da Petrobras) instalando em 1979 as 35 primeiras bombas de etanol hidratado no Rio de Janeiro, São Paulo, Sergipe e Pernambuco. A instalação da infraestrutura do biocombustível para sua introdução no sistema de abastecimento facilitou a adoção da tecnologia de carros a etanol.

Nicho Renovável

A formação do mercado foi combinada também com investimentos em C&T e a participação de empreendedores e empresas já estabelecidas. O propósito das ações institucionais na época era promover o crescimento do setor em seus diferentes aspectos, seja regional ou produtivo, e, assim, colher como resultados a manutenção e a ampliação do programa.

O Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar (PLANALSUCAR) teve início em 1971 e tomou força com o Proálcool, e seu objetivo era a melhoria dos rendimentos da cultura tanto no campo como na indústria. Nesse programa, havia também a intenção de criar incentivos para o melhoramento genético. Outros programas fizeram parte do esforço e estímulo ao setor em construção, a saber: o Programa de Racionalização da Indústria Açucareira (1971 a 1975) e o Programa de Apoio à Indústria Açucareira (1973).

Os incentivos se dão por parte do governo em 1975 através de investimentos em pesquisa para melhoramento genético, com a ampliação de uma rede de pesquisa de cinco para 31 unidades, além de desenvolvimento de tecnologia como a encomenda de estudos ao departamento de motores do Centro Técnico Aeroespacial (PMO/CTA) e um programa de ensaio de veículos a etanol. Havia um esforço artesanal por parte dos agentes para adaptar as peças de modelos à gasolina para o etanol, e era preciso ultrapassar essa limitação.

Em 1979, o Instituto Nacional de Tecnologia (INT) se destacou no desenvolvimento de tecnologias para viabilizar o uso do motor a etanol por meio de pesquisas sobre corrosão, da criação da empresa Fermentec (ESALQ/USP) especializada em fornecer tecnologia de fermentação ao setor sucroalcooleiro e do Projeto Hidrocon, conduzido pela Companhia de Desenvolvimento Tecnológico (CODETEC - criada em 1976) em parceria com a Universidade

Estadual de Campinas (UNICAMP) para desenvolver o processo de hidrólise ácida a partir do bagaço da cana e palha de arroz, dando origem ao etanol (base para o E2G).

A partir de 1979, tem-se um período de conversão dos motores a gasolina para o etanol. Nessa etapa, a indústria automotiva deveria dar cobertura e prazo de garantia igual para os modelos a gasolina e etanol, e esse acordo foi estabelecido no protocolo assinado com o governo. Assim, formou-se a Rede de Centros de Apoio Tecnológico pela determinação da Secretaria de Tecnologia Industrial do Ministério da Indústria e Comércio (STI/MIC). A criação dessa rede destaca o enfoque do governo de que a substituição da frota não seria realizada apenas por carros novos, e é considerada a passagem do período artesanal para uma semipadronização.

De 1980 a 1985 - Preponderância do Etanol Hidratado

No período de emergência e expansão, a segunda subdivisão do período, de 1980 a 1985, refere-se à preponderância do etanol hidratado, conforme Apêndice A item c. Nessa etapa, são levantados os fatores decisivos para se optar pela produção do etanol, que deveria ser usado diretamente no motor do carro, quer em automóveis convertidos ou produzidos especificamente para o combustível.

Regime na *dimensão política e landscape*

Nesse período, diversos movimentos da *dimensão política* estão presentes como forma de garantir o desenvolvimento e a solidificação do regime. As medidas de apoio monetário adotadas em 1978 ganharam reforços em 1980 com a destinação específica de subsídio para diferentes finalidades tais como transporte, pesquisa e desenvolvimento. O mais importante foi o Fundo Especial de Reajuste da Estrutura dos Combustíveis e Lubrificantes, cujos recursos eram utilizados para subsidiar parte do preço final do etanol hidratado.

Mantendo a política de incentivo ao consumo do combustível automotivo renovável, em 1981 o governo estabeleceu a isenção do Imposto dos Produtos Industrializados (IPI) sobre o etanol hidratado, medida essa que se estendeu no ano seguinte para veículos de passageiros a etanol usados por taxistas. Como forma de confirmar ao mercado o novo direcionamento do setor, em 1982 o

governo determinou o uso obrigatório do etanol pelos taxistas, medida que gerou muitas críticas e controvérsias.

Ainda nesse ano, foi feito o lançamento do Programa de Mobilização Energética (PME-1982), em que o governo reforçava medidas e ratificava o direcionamento para o etanol combustível. O PME também possuía a diretriz de, mais especificamente, incentivar a produção de veículos a etanol e indicava o uso do combustível renovável para veículos que eram tradicionalmente a diesel, destacando a conversão de caminhões, ônibus pequenos e médios e tratores agrícolas.

Em 1982, foi publicado um ato normativo que permitiu ao governo fornecer concessões para a construção e operação de dutos de etanol, identificando a logística de transportes como um gargalo no processo de distribuição. Em 1983, O governo estabeleceu que a Petrobras tinha a obrigação de acumular estoques de segurança no volume mínimo de um mês de consumo para o anidro e dois meses de consumo para o hidratado. Em termos de infraestrutura, essa medida impactava o sistema e reforçava o regime.

O *landscape* se destaca no ano de 1985 pelas dificuldades internas e especificamente a crise fiscal e as dificuldades macroeconômicas do país. A inflação elevada, a crise de balanço de pagamentos e a dívida externa acabaram culminando na implementação de um plano econômico em 1986, o Plano Cruzado. A paisagem se destaca reforçada pelas questões externas que passam a pressionar o regime sucroalcooleiro. Temas como a recuperação do preço do açúcar no mercado externo de *commodities*, queda do preço do barril de petróleo e acusação do Brasil de *dumping*, ao exportar etanol aos EUA com subsídios do Governo, na Comissão de Comércio Internacional (*International Trade Commission - ITC*) foram fatores que movimentaram o *landscape* no período.

Atores e instituições governamentais atuantes

Nesse período, não houve mudanças significativas neste item a serem destacadas.

Dinâmica do Regime

Esse subperíodo se inicia com o foco no etanol hidratado e com a indústria automobilística iniciando a produção de carros originalmente a etanol de fábrica.

A etapa se caracteriza pela reafirmação do regime do etanol e um consequente mercado de autopeças para carros novos, convertidos e em processo de conversão.

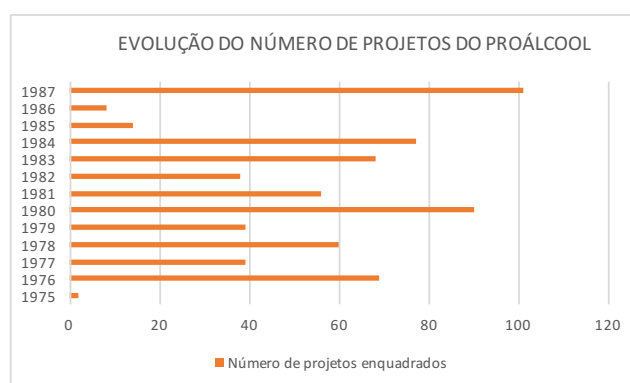
Em 1982, a atuação das empresas automotivas era de engajamento ao regime, o que se exemplifica com a criação da Rede Nacional de Centros de Apoio Tecnológico. No entanto, muitas reclamações surgiram à época quanto às conversões, gerando críticas ao Proálcool (STUMPF, 1982). Além de como proceder com a conversão para o etanol, a insegurança dos consumidores estava relacionada ao desencontro de pronunciamentos do governo e à redução do diferencial de preço entre o etanol e a gasolina (BOSCOLO, 1982).

No processo de reforço da criação e desenvolvimento do regime, a Petrobras atingiu a marca de atender a todas as regiões do país com etanol hidratado. A última fronteira foi o uso da cabotagem para entrega na região amazônica, e a difusão do ativo etanol foi a forma encontrada para facilitar seu uso e aceitação.

Em 1984, o Programa parecia se ampliar. Cerca de 90% dos carros eram vendidos com incentivos e créditos acessíveis, todos movidos a etanol, substituindo assim a gasolina. Dificuldades entre demanda e oferta e situações de excedente ou escassez eram resolvidas por uma relação de paridade regulada pelo governo entre o preço do etanol e da gasolina a fim de conter a demanda devido à escassez temporária de oferta, ou estimular a demanda para conter consumo de gasolina. Os incentivos refletem no mercado, que em 1985 registra 92% das vendas de veículos a etanol, o maior percentual desde então.

O regime do etanol recebeu o apoio da agroindústria sucroalcooleira desde o início do Proálcool. O número de projetos enquadrados pelo CNAL de instalação e ampliação de capacidade produtiva de etanol anidro e hidratado, de 1975 a 1985, foi de dois para 552. Já a própria capacidade produtiva no período aumentou de 54,5 para 13.715,5 milhões de litros/safra; dados que evidenciam o apoio dos agentes da indústria (BACCARIN, 2005). A queda abrupta dos projetos enquadrados em 1985/86 indica o início das dificuldades sentidas no país no regime do etanol, conforme apresentado no Gráfico 5.

Gráfico 5 - Evolução do Número de Projetos e da Capacidade Produtiva no Período do Proálcool

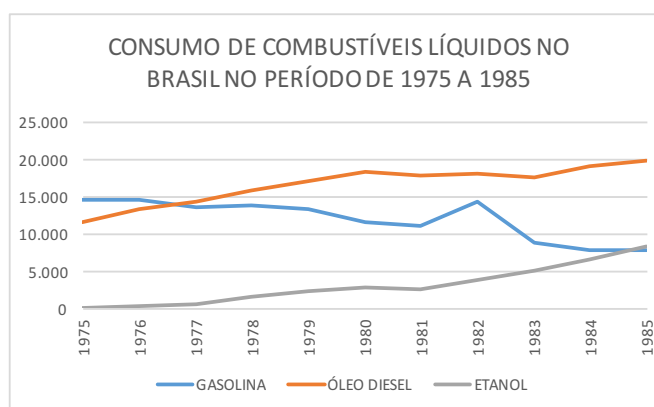


Fonte: Baccarin, 2005.

Um ponto importante para o desenvolvimento do Proálcool foi o envolvimento dos recursos públicos para sua construção. O total de recursos investidos desde o início do programa até 1985 somou US\$ 6,5 bilhões, dos quais 60% foram recursos públicos e 40% recursos privados. No período de 1974/75 a 1984/85, com o Proálcool, a produção total de etanol passou de 625 milhões de litros para 9.252 milhões de litros, um crescimento de quase 15 vezes comparado a um crescimento de quatro vezes registrado no primeiro subperíodo. Já a produção de etanol anidro praticamente não se elevou entre 1979 e 1985, mas a de etanol hidratado se elevou de 395 mil litros para 7.150 mil litros, indicando a mudança de rumos com o uso do carro a etanol e automóveis convertidos. Enquanto isso, a produção de açúcar no período se elevou em aproximadamente 32% entre 1979 e 1985 (BACCARIN, 2005 e MAPA, 2007).

O consumo de etanol em relação aos demais combustíveis líquidos no país cresceu de 0,6% em 1975 para 7% em 1979 e 23,1% em 1985. O Gráfico 6 mostra essa elevação do consumo do etanol em detrimento da queda do combustível gasolina, seu substituto. O consumo de gasolina, como percentual dos combustíveis líquidos, caiu de 55% em 1975 para 41% em 1979 e se ampliou a queda com a entrada do etanol hidratado para 22% em 1985. De 1979 para 1985, o mercado de diesel subiu de 52% para 55%, o que indica uma elevação de demanda ((BACCARIN, 2005). A política do Proálcool e as medidas governamentais estavam trazendo resultados efetivos no regime.

Gráfico 6 - Consumo de Combustíveis Líquidos no Brasil no Período de 1975 a 1985



Fonte: Baccarin, 2005.

Apesar de todo o movimento na direção da consolidação do regime do etanol, o que se verifica em 1985 é o encerramento da fase de expansão do Proálcool. Alguns fatores podem ser elencados como responsáveis por essa reversão de cenário, dentre os quais: i) o preço do petróleo iniciava uma trajetória de relativa baixa; ii) a produção nacional de petróleo havia aumentado; iii) a recuperação dos preços do açúcar no mercado internacional gerou um quadro de competição dentro da própria indústria sucroalcooleira e iv) a situação fiscal do Brasil se agravou com a queda de liquidez e elevação de juros, o que impacta diretamente o setor sucroalcooleiro.

O segmento, que vinha em um processo de expansão com a instalação de novas unidades produtivas, entrada de novos empresários e ampliação geográfica para a região centro-oeste, que passou a deter 11,6% da capacidade produtiva do setor, encontra neste ambiente uma mudança de rumos. Dessa forma, o regime do etanol começa a sofrer seus primeiros reveses por conta de fatores do *landscape* e do próprio regime sendo alterados. A partir de então, essa mudança de direcionamento cria um ambiente de instabilidade ao regime.

Nicho Renovável

O esforço de desenvolvimento tecnológico está presente de 1981 a 1982, período marcado pela transição de uma fase artesanal para uma fase de semipadronização. Com isso, as modificações tecnológicas vão de mudanças

no motor (tanque, mangueiras, filtros, carburador, etc.) até direcionamentos dados por empresas e suas *expertises*. A maior preocupação da Ford, por exemplo, era o uso de materiais que resistissem ao ataque corrosivo do etanol. Já a Volkswagen deu grande atenção à regulação dos motores a fim de otimizar a queima do combustível, à geometria da câmara de combustão e ao sistema de válvulas. Cabe destacar que as pesquisas da Volkswagen no Brasil eram complementadas e apoiadas pela matriz da empresa na Alemanha. Outro ponto que cabe destaque é a instalação de densímetros nas bombas de etanol nos postos de abastecimento, o que passou a evitar adulterações pela adição de água e consequentemente melhorou a regulação nos motores.

Quanto aos esforços em ciência e tecnologia, foram muitos no período, como o uso do vinhoto como fertilizante, a substituição do óleo diesel pelo bagaço de cana como combustível das caldeiras, o desenvolvimento de uma tecnologia de fermentação contínua em substituição ao processo por batelada e o lançamento de diferentes variedades de mudas de acordo com características regionais.

5.2.3. De 1986 a 2001 – Estagnação Industrial

Após o período de emergência e expansão do etanol, o que se verifica é um período de estagnação industrial. Os dados da produção do combustível automotivo renovável etanol indicam um movimento de subida e descida, sem tendência e direção, o que assinala problemas e uma possível revisão de trajetórias na transição, conforme o Figura 16 apresenta. O movimento no regime, *landscape* e nicho indicam um período de estagnação industrial, conforme o mapa visual do Apêndice A item d e o item e.

Regime na *dimensão política e landscape*

O ano de 1986 começa com um cenário econômico de crise no país, com pressões do *landscape* que levaram o governo a revisar suas políticas de fomento. Nesse ano, o regime passou por diversas mudanças nas políticas até então adotadas, e as subvenções para a produção de etanol tiveram que ser drasticamente reduzidas. Dentre as mudanças, estavam o término da isenção do IPI estabelecido sobre o etanol hidratado em 1981 e a decisão do governo de não manter mais a paridade de preço de até 70% entre o etanol hidratado e a

gasolina. A retirada dos subsídios ao combustível reduziu a rentabilidade média da agroindústria canavieira e estimulou ainda mais o uso da cana na fabricação de açúcar para exportação.

O ano de 1988 marca o fim da intervenção estatal no setor com a quebra do monopólio da exportação do açúcar e com a diminuição do diferencial de preço ao consumidor final de etanol hidratado em relação à gasolina de 35% para 25%. Assim, o governo passou a indicar sua atuação na direção restrita para o setor de fiscalização e normatização.

O ano de 1990 se destaca na agroindústria da cana pela crise de desabastecimento do etanol que culminou com a necessidade de utilizar a mistura etanol-metanol-gasolina²⁹ e o MTBE³⁰ para fazer frente ao desmonte do segmento com descompasso entre oferta e demanda do combustível automotivo. Diante desse quadro, 1991 se caracteriza pela descontinuidade e fim oficial do Proálcool.

A partir de 1992, o movimento ambiental toma força no cenário mundial. O expoente desse movimento no *landscape* foi a Conferência mundial do Meio Ambiente e Desenvolvimento – o Rio-92, um importante evento do processo de transição para a sustentabilidade. Outro dispositivo legal de destaque nesse ano, e que se alinha com a transição para a sustentabilidade, foi a lei que dispôs sobre a emissão de poluentes em veículos automotores no Brasil. O aspecto ambiental ganha força e passa a ser um dos impulsores para o regime, estabelecendo critérios claros de emissões, como o prazo de três a quatro anos para as fábricas produzirem veículos dentro dos limites de emissão dos poluentes estipulados no país.

O movimento de reestruturação do regime permanece. Em 1995, com a liberação dos preços do açúcar no mercado interno, houve um alinhamento com o aumento dos preços no mercado internacional, em que os empresários poderiam escolher se manteriam o mercado interno ou externo. Em 1997, houve o marco da regulação dos combustíveis no país, a Lei do Petróleo, que instituiu a abertura do mercado de combustíveis. Essa lei surge no mesmo ano em que a discussão acerca dos problemas ambientais no mundo ganha força com o

²⁹ Mistura MEG, 60% de etanol hidratado, 34% de metanol e 6% de gasolina.

³⁰ MTBE – metil-terc-butil-éter como aditivo de octanagem na gasolina.

Protocolo de Kioto e suas metas de emissão de gases de efeito estufa. Assim, instituiu-se a Política Energética Nacional (PEN), que contemplou os biocombustíveis líquidos e a biomassa da cana.

Nos anos 2000, o debate mundial sobre a importância das questões ambientais vai ampliando sua participação no *landscape*. Nos EUA, isso se reflete no Programa de Biomassa (Biomass R&D Act³¹), em que o etanol estava incluído, e o tema energias fósseis começa a ser substituído pelas energias renováveis. No estado de São Paulo, reflete-se na instituição da lei que determinou a extinção de queimadas nos canaviais, medida que visava adequar os procedimentos a normas sustentáveis de produção e uso principalmente da palha da cana.

Em 2001, foi concluída a liberação de preços em toda cadeia produtiva no mercado de combustíveis. A partir de então, não cabe mais ao Estado e sim aos agentes econômicos estabelecerem preços de venda e margens de comercialização em um mercado competitivo do poço ao posto revendedor.

Atores e Instituições Governamentais Atuentes

A crise fiscal e a política de desregulamentação do setor levaram a novas mudanças institucionais. Em 1990, tem-se o fim do IAA, que já tinha perdido espaço para o CNP na política do etanol. Nesse ano, o CNP, cuja função, dentre outras, era gerir recursos subsidiados para o etanol, também perde espaço e finda sua atuação. Em 1991, com a revogação do programa, foi desfeita a estrutura burocrática estabelecida, ou seja, foi o fim do CNAL e do CENAL, os responsáveis pela política do etanol.

Só a partir de 1993 é que medidas são tomadas para reorganizar a estrutura burocrática do setor, entre elas a criação da Comissão Especial e da Comissão Interministerial do Alcool (CINAL). O objetivo era atuar na política alcooleira e examinar a situação do abastecimento de etanol combustível na safra 1993-94 e propor ações para preservar a normalidade do mercado consumidor. No ano de 1995, houve a criação do Departamento do Alcool e

³¹ O objetivo e desafio era tornar esse combustível limpo em sustentável, com baixo custo e alta performance compatíveis com um sistema de transportes de hoje e do futuro, por ser gerador de baixa emissão de gases do efeito estufa.

Açúcar, cujas atribuições eram coordenar e estruturar as atividades do regime do etanol.

O marco da regulação dos combustíveis no país se deu com a Lei do Petróleo em 1997. Com a lei, foram criados o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) e a Agência Nacional do Petróleo (ANP). Nesse mesmo ano foi extinta a CINAL, e no seu lugar foi criado o Conselho Interministerial do Açúcar e do Alcool (CIMA), além de um Comitê Executivo e um Consultivo.

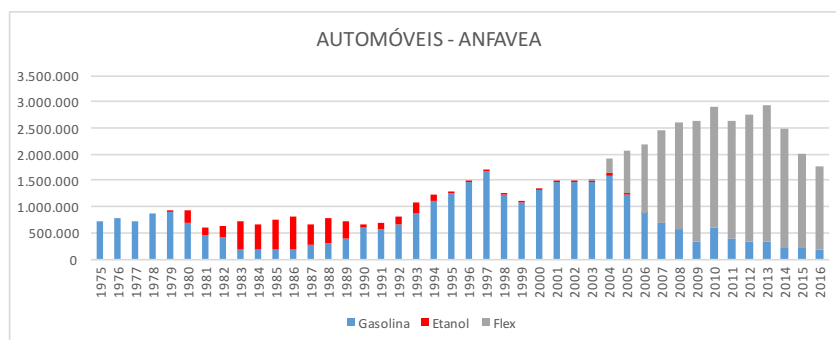
Com a finalidade de voltar a intermediar as operações de etanol, em 1998 o governo cria o Comitê de Comercialização de Alcool Etílico Combustível (CAEC). Entre suas atribuições, estava a de intermediar o mercado de compra e venda do etanol pelas distribuidoras nas unidades de produção do etanol.

A partir de 1999, o Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento veio a presidir o CIMA, que passou a ser o principal órgão na elaboração e execução de políticas direcionadas ao setor sucroalcooleiro. Em 2000, foram extintos o Comitê Executivo e o Comitê Consultivo, criados em 1997 para assessorar o CIMA propondo medidas para o desenvolvimento do regime do etanol. Termina mais um período com mudanças institucionais e com o governo revendo suas trajetórias rumo ao combustível renovável automotivo.

Dinâmica do Regime

As medidas de desregulamentação, com a retirada da intervenção governamental e a queda do preço do petróleo no mercado internacional no início do período, criaram um quadro de instabilidade para o regime, levando à redução da produção, insegurança para o consumidor e mudando o cenário de rentabilidade do etanol perante o seu substituto, a gasolina. Segundo a Anfavea (2018), os carros a etanol representaram a maior parte da produção em 1986. Esse foi o ano de virada, a partir do qual houve redução da produção, conforme indica o Gráfico 7. Os dados confirmam que 76% da produção em 1986 era de carros a etanol, chegando quase a zerar em 1998. Essa situação apenas se reverte a partir de 2002 com o advento do carro *flex*.

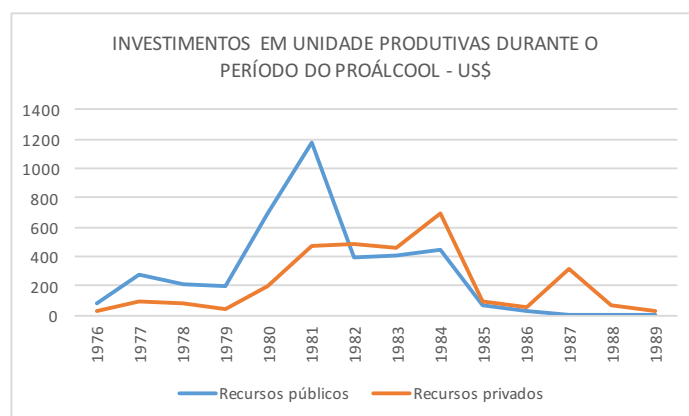
Gráfico 7 – Produção por Combustíveis – 1975/2016



Fonte: Anfavea, 2016

Apesar de todo o estímulo que o regime recebeu na primeira fase, esse período indica um quadro de crise e estagnação industrial. O número de projetos enquadrados e a capacidade produtiva caíram; reflexo da redução de incentivos do governo e da iniciativa privada para o financiamento das usinas. O Gráfico 8 permite avaliar a queda de recursos tanto públicos quanto privados como consequência de um quadro de deterioração do regime. Cabe destaque para a redução dos recursos públicos ao se comparar com o privado.

Gráfico 8 – Investimentos em unidades produtivas de etanol



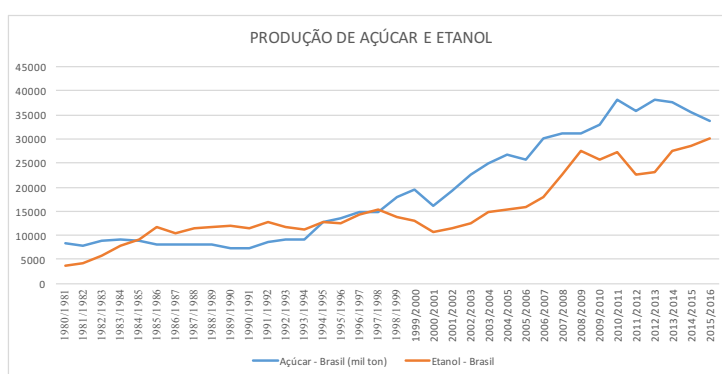
Fonte: Baccarin, 2005

Os fatores do regime passaram a indicar uma reversão de caminhos. As dificuldades de rentabilidade da agroindústria, do estímulo à produção de açúcar para exportação, dadas as questões internas e a desregulamentação do setor, só ampliaram o quadro de queda da produção e de aumento de insegurança do

consumidor, de modo que em 1989 tem-se registrado um déficit do volume de etanol de 1,0 bilhão de litros (MAPA, 2007). O reflexo dessa política desencontrada com preços reduzidos para o etanol levou à crise no abastecimento de etanol. A tentativa de compensar a falta de oferta no mercado interno levou a diferentes medidas, como a redução do teor de etanol na gasolina em 1989 e 1990, além da própria mistura de metanol e MTBE, com importação dos EUA e Europa (COPERSUCAR, 1990; BACCARIN, 2005b). De superoferta do regime a escassez. Tudo isso, unido à crise fiscal do país, levou ao fim do Proálcool em 1991, como já mencionado. Em 1994, parece haver um movimento que iria mudar o caminho de incertezas que o regime vinha passando. Destaca-se, nesse ano, o desenvolvimento pelo Grupo Bosch de um do protótipo de um veículo da General Motors, modelo Omega, com a tecnologia *flex fuel*. Alguns ajustes precisavam ser feitos para adequar o custo às condições de mercado e consumo em larga escala. Todo o cenário do regime do etanol indicava que, apesar dos desajustes, havia movimentos na direção de uma possível reversão.

No que se refere à cadeia produtiva do combustível, a estagnação da produção de etanol não alterou a dinâmica agrícola de produção, que passou a ter como fator motivador a produção de açúcar e não de etanol. Os dados da Conab (2018) indicam a elevação da produção de açúcar em detrimento da de etanol a partir da safra 1998/1999, conforme a Figura 9 apresenta.

Gráfico 9 – Produção de Açúcar e Etanol

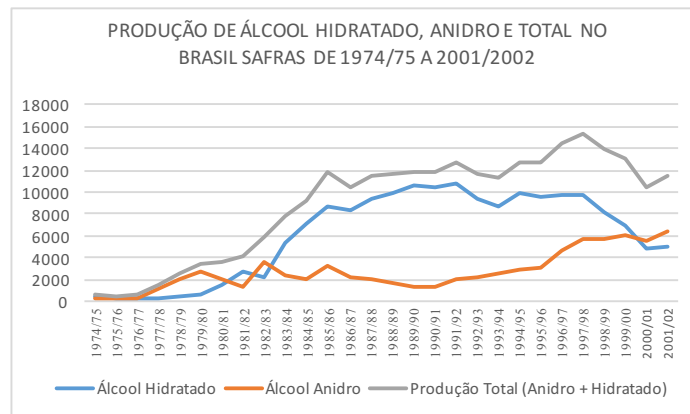


Fonte: Conab, 2018.

O mercado automotivo para carros a etanol estava em declínio, e as montadoras não ofereciam carros populares³² nessa versão. De 1998 para 1999, a força política do regime etanol não foi suficiente para evitar a onda de liberação dos preços que vinha motivando a economia brasileira em geral. Assim, de 1998 para 1999, a queda dos preços do etanol no mercado internacional de US\$ 190/t (preço de custo) para US\$ 158,8/t, no mercado do açúcar de R\$ 22/saca para R\$ 7/saca (conforme Gráfico 18), e no mercado de combustíveis o etanol de R\$ 0,41/litro para R\$ 0,14/litro mostra a fragilidade da situação (Index Mundi, 2017).

A retrospectiva histórica dos dados de produção indica que a produção de etanol hidratado sofreu uma redução considerável entre as safras de 1997/98 até 2001/2002, e o declínio da produção foi expressivo (49,1% de redução). Com a produção de etanol anidro, porém, foi o contrário: ela aumentou. Entre 1990/91 e 2001/02, a produção foi quase quintuplicada, passando de 1.309,0 milhões de litros para 6.479,2 milhões de litros, como mostra o Gráfico 10.

Gráfico 10 – Produção de Etanol Hidratado, Anidro e Total no Brasil (Safras de 1974/75 a 2001/2002) – Milhões de Litros



Fonte: MAPA. 2007

O cenário muda em 2002, quando é apresentado o primeiro veículo com motor *flex fuel* economicamente viável. Nesse novo cenário de transição, parece haver espaço para uma crescente oferta de etanol.

³² Os carros populares ou carros 1.0 (1.000 cilindradas) foram lançados com incentivos do Governo a partir de 1990 com redução do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) de 50%, contribuindo para ampliar as vendas.

Nicho Renovável

Apesar do quadro de instabilidade para o regime, a década de 80 registrou diversos movimentos no nicho na *dimensão da ciência* como, por exemplo, a substituição do PLANALSUCAR por um grupo de sete universidades que formavam a Rede Interuniversitária de Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro – RIDESA; a criação da Sociedade Brasileira de Biotecnologia (SBBiotec) e da Rede Brasileira de Biotecnologia (RBBiotec) e a criação pelo Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) do Consórcio Internacional para a Biotecnologia da Cana-de-Açúcar (*International Consortium for Sugarcane Biotechnology* – ICSB).

O setor agrícola também continuava com a *dimensão da tecnologia e ciência* em constante movimento, principalmente no que se refere à dinâmica direcionada para o açúcar. Diversos investimentos nas dimensões científica e tecnológica foram feitos no período: i) em 1994, foi criado o Programa de Apoio à Pesquisa em Parceria para Inovação Tecnológica (PITE) junto a FAPESP e o Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar do IAC – PROCANA³³; ii) em 1996, o Centro Nacional de Referência em Biomassa (Cenbio-USP); iii) em 1997, o Programa Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas (PIPE) junto a FAPESP e iv) em 1998, o Projeto SucEST, financiado pela FAPESP como parte do seu Programa Genoma, em que teve início o sequenciamento dos marcadores de sequências genéticas (ESTs) da cana-de-açúcar. Todos são programas com fins de pesquisa e desenvolvimento que direcionaram recursos para estudos em biocombustíveis e especificamente para o etanol.

5.2.4. De 2002 a 2015 – Retomada e Expansão

O período de 2002 a 2015 é considerado a etapa de retomada e expansão do regime. Após um período de estagnação industrial, essa nova etapa se inicia com perspectivas e mudanças de cenário com a consolidação do combustível automotivo renovável etanol. O período se configura como de recuperação para o regime e de retomada em atividades nas cinco dimensões representadas na MLP, conforme do Apêndice A item f, g e h . Foi preciso enfrentar uma resistência

³³ Estabeleceu-se um centro virtual para desenvolvimento de variedades e outras tecnologias com convênio de integração técnico-científica, com aproximadamente 180 instituições (universidades e institutos de pesquisas) e empresas parceiras.

inicial devido à memória negativa deixada pelo período de escassez e descontrole, mas a nova tecnologia e sua flexibilidade permitiram o aparecimento de um novo cenário para o regime.

Regime na *Dimensão política e Landscape*

O carro *flex fuel* surge em 2002 e cria uma nova perspectiva de transição para o regime do etanol. O desenvolvimento do *flex* criou o ambiente certo para que o governo revisse suas estratégias de suporte e garantias de mercado de forma a manter a autonomia e a sobrevivência do regime. Assim, algumas providências regulatórias voltam a aparecer e tiveram impacto positivo, como a Lei do Álcool em 2002, que procurou reverter o quadro de estagnação por meio de políticas creditícias e de preços mínimos. Outras medidas tributárias adotadas nesse mesmo ano procuram assegurar a estabilidade do setor produtivo do etanol por meio de contratos futuros e redirecionamento dos recursos da CIDE para o etanol.

Medidas no *landscape* a fim de reduzir externalidades negativas ambientais também foram tomadas, dentre as quais se destacam a concessão de subsídios para a aquisição de carros a etanol em todo o Brasil e em SP a criação do Protocolo Agroambiental que dispunha sobre a eliminação gradativa da queima da palha de cana no estado.

Em 2005, arranjos institucionais internos visavam organizar e desenvolver pesquisa, inovação e tecnologia no setor com a criação do Plano Nacional de Agroenergia e da Unidade Embrapa Agroenergia. Já arranjos externos, como nos EUA, a Lei de Política Energética (*Energy Policy Act* – EPA) abordavam diferentes temas, como a inclusão da eficiência energética e o uso das energias renováveis.

No período quatro, projetos se destacam entre 2005 e 2007: i) o *Roadmap* para o etanol, um Projeto de Políticas Públicas em Pesquisas no etanol (PPP – Etanol), que findou com um *roadmap* tecnológico; ii) o Plano Nacional de Energia – PNE 2030, em 2007 no Brasil, por ser primeiro estudo de planejamento integrado para energia no país a incluir orientações de longo prazo para o etanol; iii) a implantação do Protocolo Agroambiental no estado de São Paulo, regulamentando normas técnicas para aplicação da vinhaça no solo agrícola e o controle da qualidade das águas subterrâneas nas áreas de uso da vinhaça e iv)

o Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação (PACTI 2007-2010) do Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação (MCTI), que incluía a implementação de um centro de referência mundial em tecnologias do bioetanol.

No *landscape*, movimentos ambientalistas internacionais passam a criticar o etanol brasileiro, considerando-o responsável pelos problemas de desmatamento na Amazônia e encarecimento do custo dos alimentos. Nesse sentido, houve um movimento nacional para mostrar ao mundo que essas afirmações não procediam no país. A defesa pelo regime levou a um estudo científico que calculou os efeitos indiretos e as respectivas emissões de gases de efeito estufa (GEE), culminando com a classificação do etanol de cana-de-açúcar como combustível avançado.

Sob o enfoque social nacional, alguns movimentos dos Sem Terra (MST) e ONGs ocuparam fazendas em protestos com o objetivo de alertar o governo sobre a falta de uma reforma agrária e sobre os problemas sociais ligados à expansão da cana-de-açúcar. Sob o enfoque de Marketing, a Agência Brasileira de Promoção de Exportações e Investimentos (APEX - Brasil) criou o Projeto Setorial Integrado de Construção do Mercado Mundial de Etanol de Cana-de-açúcar para promover no exterior a imagem do etanol brasileiro como energia limpa e renovável.

Em 2009, alguns projetos de ordem social, ambiental e gerencial saíram do papel e se transformaram em realidade. Primeiro, foi lançado o Compromisso Nacional para Aperfeiçoar as Condições de Trabalho na Cana-de-Açúcar, um problema social presente no segmento por questões, dentre outras, de exploração do trabalho escravo e infantil que precisava ser enfrentado. Segundo, a determinação do Zoneamento Agroecológico (ZAE) da Cana-de-Açúcar, um trabalho pioneiro no país que, a partir de estudos de clima e solo, delimitou as áreas apropriadas ao cultivo para orientar a expansão sustentável da produção de cana e os investimentos no setor (MAPA, 2009). Terceiro, foi instituído o Sistema de Acompanhamento da Produção Canavieira (SAPCana), que, através de um cadastro eletrônico, fez o levantamento de unidades produtivas, cooperativas e empresas que produzem e comercializam etanol e açúcar com o MAPA, resultando em um Anuário Estatístico da Agroenergia. Quarto, a FAO reconhece a especificidade do etanol brasileiro, indicando em seus relatórios que

a produção poderia contribuir para a superação da pobreza e da fome ao gerar oportunidades de trabalho e renda em países mais pobres.

Um reforço importante para o regime veio em 2010: a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*Environmental Protection Agency* – EPA) confirmou que o etanol de cana é um biocombustível renovável avançado, pois reduz em no mínimo 50% as emissões de gases causadores do efeito estufa. Todo o debate no *landscape* à época permitiu que os dados evidenciassem uma situação favorável ao regime do etanol e abriu o país para o mercado americano, funcionando como um selo de garantia ambiental para o mundo. E ainda sob o enfoque da *dimensão política* houve a criação da empresa Petrobras Biocombustíveis nesse ano.

Sob o aspecto de políticas tributárias, em 2011 o Governo Federal determinou a redução das alíquotas da CIDE. Na prática, a medida não trouxe efeitos de redução de preços, mas funcionou como um ajuste, principalmente para a Petrobras, em função do aumento dos preços do petróleo no mercado internacional. Já o estado de São Paulo continuou despontando no regime, e com incentivos do Governo do Estado, zerou o ICMS para bens de capital utilizados em cogeração de energia elétrica feita pela queima do bagaço de cana.

No que se refere a políticas públicas, alguns projetos merecem destaque entre 2011 e 2014: o Plano Conjunto de Apoio a Inovação Tecnológica Industrial dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico³⁴ (PAISS), o Projeto PITE1/FAPESP Roadmap Biocombustíveis Sustentáveis para a Aviação no Brasil³⁵, a Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2012 – 2015³⁶ (ENCTI), o Plano Inova Energia do BNDES em parceria com a Agência Nacional

³⁴ Reconhecimento da necessidade de passar da fase de conhecimento de base para projetos físicos, colocando o país como um dos participantes do desenvolvimento de tecnologias industriais.

³⁵ Parceria da FAPESP com a Boeing e a Embraer e vários *stakeholders*, visando abrir caminho às pesquisas no novo mercado de biocombustíveis aeronáuticos.

³⁶ Uma estratégia cujo eixo estruturante foi o desenvolvimento do país por meio de ações e diretrizes nacionais e regionais no período de 2012 a 2015. O Programa destaca as bases para a sustentabilidade como foco do desenvolvimento no novo paradigma de produção para o país e para a inserção internacional do Brasil.

de Energia Elétrica (Aneel) e FINEP³⁷, o Programa ProRenova Industrial³⁸ e o Plano Conjunto BNDES - Finep de Apoio à Inovação Tecnológica Agrícola do Setor Sucroenergético - PAISS Agrícola³⁹.

O *landscape* acena ainda com eventos que reforçam o regime, dentre os quais se destaca a empresa Braskem, que recebeu prêmio em Fórum pelo Desenvolvimento Sustentável (Sustentar 2013) pelo polietileno verde de baixa densidade (PEBD) à base de etanol; o diagnóstico internacional obtido com pesquisas em etanol indicou que 60 países já adotam a mistura obrigatória de biocombustíveis ao fóssil, ampliando a consolidação de um mercado global; uma das principais newsletters dedicadas às energias renováveis, a americana Biofuels Digest, faz um levantamento de todos os mandatos de misturas com etanol ao redor do globo e a California Air Resources Board⁴⁰ (CARB) destaca o papel do etanol de cana brasileiro na redução de emissões de gases que causam o efeito estufa e levam às mudanças climáticas. Além disso, no âmbito interno, três grandes manifestações, realizadas em importantes áreas canavieiras do interior paulista, cobraram medidas emergenciais para combater a crise enfrentada pelo setor sucroenergético no país. Os questionamentos sobre a falta de incentivos públicos voltam a fazer parte do regime como reflexo de uma conjuntura. Esses movimentos do *landscape* reafirmam o momento difícil para o país em 2014. Questões políticas e econômicas culminam na crise fiscal do Brasil que influencia, além do etanol, a economia como um todo. Então, em 2015, o governo mantém a política de ajustes e incentivos no setor, elevando o percentual de participação da mistura de etanol na gasolina de 25% para 27% como forma de enfrentar o momento.

Apesar das dificuldades internas, o mercado externo acena positivamente para o etanol. O relatório desenvolvido pela OCDE aponta que o Brasil está na lista dos países que aplicam as menores taxas sobre emissões de CO₂. Segundo a OCDE, o Brasil é o mais especializado em tecnologias verdes em comparação

³⁷ O programa, no que se refere ao etanol, contava com uma linha de ação para a cadeia de produção de veículos elétricos e híbridos a etanol, com foco em eficiência energética.

³⁸ O objetivo era estimular a renovação e implementação de novos canaviais. Segundo Milanez *et. al.* (2012), havia a identificação de que a produtividade da cana vinha caindo devido à idade média elevada. Assim, o programa contribuiria para enfrentar esse problema.

³⁹ Sua finalidade era fomentar tanto o desenvolvimento quanto a produção pioneira de tecnologias agrícolas.

⁴⁰ Departamento que define parâmetros para o uso de combustíveis de baixo carbono no estado da Califórnia.

a outras economias dos BRIICS (Brasil, Rússia, Índia, Indonésia, China e África do Sul), e dados revelaram excelência em tecnologia agrícola, biocombustíveis e energia hidrelétrica. E ainda, no *landscape* foi realizada a Conferência do Clima (COP 21)⁴¹, em que o Brasil se propôs principalmente a reduzir o desmatamento e aumentar o uso de fontes renováveis na matriz energética.

Atores e Instituições Governamentais Atuantes

O ano de 2002 começa com uma ampliação institucional, a criação da Câmara Setorial da Cadeia Produtiva do Açúcar e do Alcool subordinada ao MAPA. Essa Câmara era constituída por diversas entidades públicas e privadas e funcionava como foro consultivo. Seus trabalhos apresentavam pouco resultado de ordem prática, mas representavam um espaço de discussão sobre temas como tecnologia, institucionalização, organização e tributação no regime do etanol.

Em 2003, o setor continuava seu caminho de retomada com a situação do segmento sucroalcooleiro no Nordeste e voltou a fazer parte das políticas do governo. Nesse ano, foi criado o grupo de Trabalho Interministerial para analisar e propor medidas de reestruturação produtiva na região.

Outra mudança na estrutura burocrática do setor ocorreu em 2005 com a extinção do Departamento do Açúcar e do Alcool, que foi substituída pelo Departamento de Cana-de-açúcar e Agroenergia. Além disso, sob o enfoque burocrático, a última modificação ocorreu em 2011, quando a ANP mudou seu nome para Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, incluindo o etanol entre os produtos cuja produção, distribuição e comercialização passaram a ser reguladas pela agência.

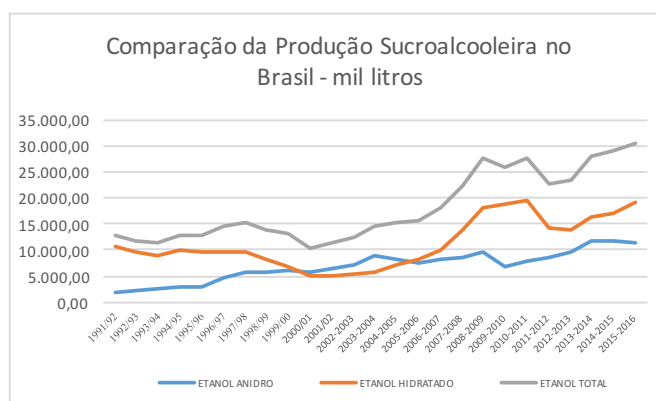
Dinâmica do Regime

O cenário muda em 2002, quando é apresentado o primeiro veículo com motor *flex fuel* economicamente viável, resultado do trabalho da empresa alemã Bosch e da filial brasileira da empresa Magneti Marelli. A perspectiva de retomada para o setor já estava se refletindo no mercado de imóveis rurais e no

⁴¹ Reuniu 197 países de todo o mundo para debater sobre o clima e mudanças climáticas causadas pelo efeito estufa e aquecimento global.

interesse estrangeiro, e a produção de etanol combustível (anidro mais hidratado) teve uma retomada de mercado a partir desse ano, conforme o Gráfico 11 registra.

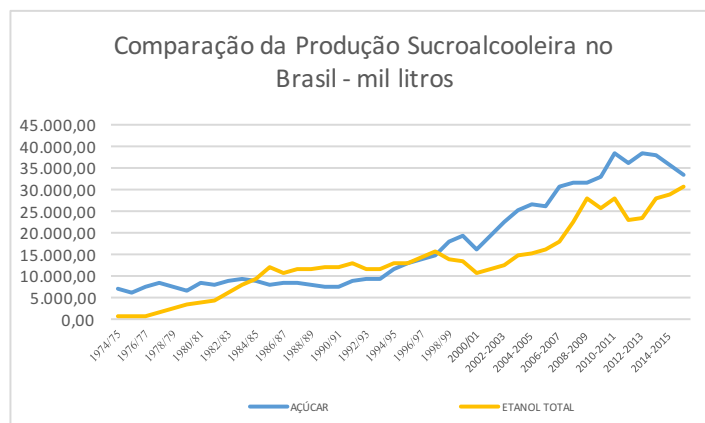
Gráfico 11 - Produção de Anidro e Hidratado no Brasil



Fonte: UDOP, 2017

Apesar da estagnação industrial de produção de etanol, entre o período do fim do Proálcool até 2002, dois fatores foram importantes para a possível posterior retomada de crescimento com o advento do carro *flex fuel* a partir de 2002. O Primeiro foi o redirecionamento da produção do etanol para o açúcar, mantendo o regime “vivo” para uma possível retomada, conforme destaca o Gráfico 12. O segundo foi que a escolha pelo açúcar manteve a geração de conhecimento na fase agrícola, tão importante em termos de custo para o etanol. Esses dois fatos permitiram a dinâmica científica se mantivesse na fase agrícola.

Gráfico 12 – Produção de Açúcar e Etanol



Fonte: Conab, 2018b.

Com o surgimento dos carros *flex*, as perspectivas de retomada para o setor reduziram a especificidade do ativo, já que não havia mais a obrigatoriedade entre motor e combustível. Tal fato dinamizou a agroindústria que, sob o aspecto externo, atraiu mais o interesse por parte de grupos estrangeiros. Inclusive a demanda por terras para projetos de expansão do setor ampliou a procura por imóveis rurais, tendo até deslocado a produção de cítricos de regiões tradicionais de São Paulo. Sob o aspecto interno, o objetivo era assegurar a estabilidade do setor, e assim surgiram políticas de preço mínimo e medidas de financiamento como as Cédulas de Produto Rural (CPR), que garantiam pagamento à vista para a venda da safra, diminuindo o endividamento e as pressões sazonais.

Em 2003, a Volkswagen lançou o Gol Total *Flex* 1.6 para ser comercializado em massa, e foi o ponto inicial para a volta do interesse pelo combustível e para a retomada do crescimento no mercado interno, reforçado pelas perspectivas e direcionamento do mercado externo, mais especificamente dos EUA. Em 2005, por meio do ato *Energy Policy Act* (EPA), o governo americano reforçou sua política de renováveis, indicando o aumento da participação do etanol na matriz energética de 2,5% para 30% em 2030, o que ampliou o debate sobre a volta e o interesse pelo biocombustível renovável etanol. A partir daquele ano as vendas de carros flexíveis superaram a de veículos a gasolina (ANFAVEA, 2018).

No ano de 2006, o carro exclusivamente a etanol deixou de ser produzido, e o percentual obrigatório de mistura na gasolina voltou a ser 20%. O crescente volume de investimentos na construção de usinas e/ou expansão ganha força com anúncio de investimentos em 89 usinas: o valor veiculado à época era de US\$ 5 bilhões e expansão produtiva de 550 milhões de toneladas de cana (DUNHAN, 2009). O volume de exportações também cresceu em 2004, 2005 e 2006 em 262%, com aumento da safra de 10% nesse período (UDOP, 2018). Tal movimento se alinha com o crescimento do mercado americano, cuja frota de veículos somava 6 milhões de carros *flex*, embora a preferência fosse quase exclusiva por gasolina.

Até meados de 2002, as exportações brasileiras de etanol eram insignificantes, mas com o crescimento da demanda no mercado internacional, o volume exportado cresceu de 516 milhões de litros em 2001/2002 para 4,7

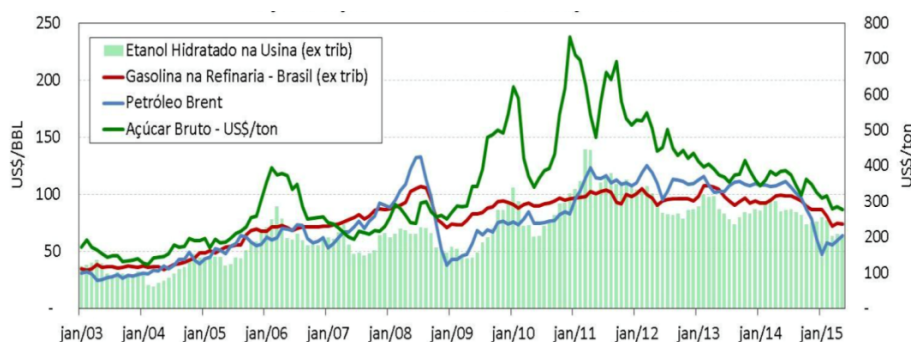
bilhões de litros na safra 2008/2009, de um total produzido próximo de 25 bilhões de litros de etanol nessa safra. As exportações de açúcar, desde a safra 2004-2005, superaram as 16,5 milhões de toneladas, alcançando 20,7 milhões em 2008-2009 (IPEA 2010).

A partir de 2007, diversos fatores reforçam o regime e o colocam na agenda da economia nacional. Sob o enfoque de mercado, começou a circular em São Paulo o primeiro ônibus a etanol por meio do projeto *BioEthanol for Sustainable Transport* (BEST), ou Bioetanol para o Transporte Sustentável, da CENBIO/USP. Ademais, foi lançado o polietileno verde da Braskem, o primeiro do mundo feito 100% a partir de fontes renováveis. É o mercado direcionando esforços para os renováveis em diferentes sentidos.

Entretanto, havia a percepção de que direcionamentos do regime no Brasil e nos EUA precisavam ser reforçados para além de suas fronteiras. Assim, em 2007, foi assinado o Memorando de Entendimento entre Brasil e EUA para estimular a produção de etanol pelo setor privado em outros países. Era um projeto mais amplo, de “diplomacia do etanol”, e *commoditização* com uma visão geopolítica. Unem-se a esse fato o debate internacional e as medidas de ordem prática que as nações devem tomar quanto à sustentabilidade e aos efeitos ambientais das escolhas energéticas. Essa questão é ampla e difícil, pois se sobrepõe ao protecionismo tanto agrícola quanto de segurança energética dos países (SCHUTTE & BARROS, 2010).

Em 2008, o direcionamento da produção para o mercado se consolidava no Brasil; o primeiro país a usar mais etanol do que gasolina para alimentar a frota de automóveis. Assim, o etanol de cana-de-açúcar se mostrou competitivo em termos de custos e preços ao produtor e aos consumidores, entretanto, sofreu perdas devido às distorções no mercado brasileiro de derivados de petróleo, cujos preços são controlados devido aos impactos inflacionários. O Gráfico 13 mostra que a diferença de preços entre os combustíveis ao longo do tempo mantém uma tendência. 2008 foi um ano de mudanças no cenário internacional devido à crise de crédito e à consequente queda de liquidez iniciada no segundo semestre no mercado internacional, e o setor sucroalcooleiro sofreu as consequências dessa crise econômica mundial.

Gráfico 13 – Preço do Etanol, Gasolina e Açúcar

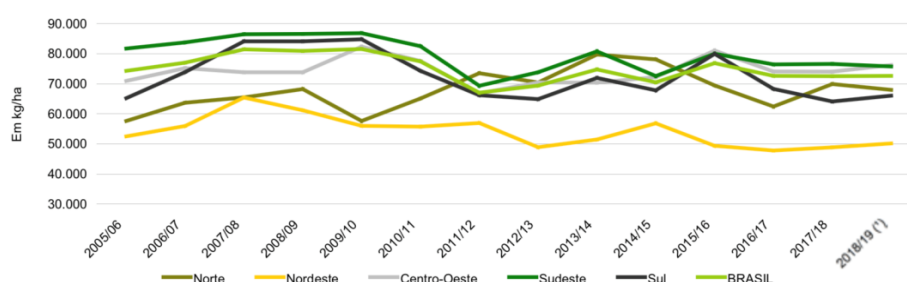


Fonte: EPE, 2016.

No que diz respeito ao mercado sob o enfoque externo, a crise internacional teve como consequência a redução de liquidez, e no segmento da cana, verificou-se a queda das atividades de investimentos estrangeiros no país. Outro fato que se destacou na época foi a queda do preço do barril de petróleo, o que impactou na rentabilidade do bem substituto. No caso do etanol, os estudos indicam que essa rentabilidade tem início somente quando o barril de petróleo custa mais que US\$40.

No que se refere ao mercado sob o enfoque Brasil, a produtividade da região centro-sul do país nos melhores cultivos era da ordem de 80t/ha em 2009, conforme apresenta o Gráfico 14, evidenciando-se como o melhor período (CONAB, 2018). Na atualidade, a produtividade no país é de 73t/ha, o que indica que não houve a retomada dos níveis do passado.

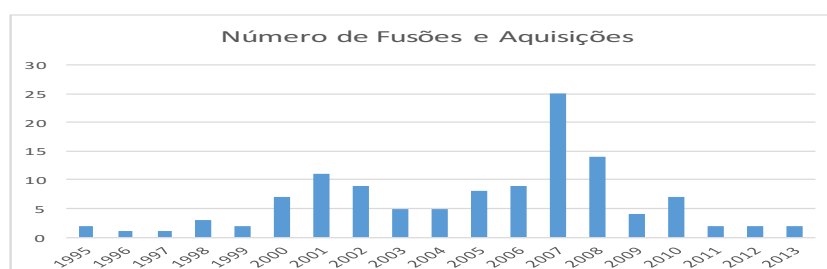
Gráfico 14 – Evolução da produtividade de Cana-de-Açúcar por Região



Fonte: Conab, 2018

Entre 2000 e 2010, verificam-se a movimentação, concentração, consolidação e internacionalização da produção em grandes empresas, conforme descreve o Gráfico 15. Desde 2002, o regime vinha recebendo investimentos de empresas estrangeiras de diferentes setores, como agronegócio, energia, biotecnologia, química e petroquímica.

Gráfico 15 – Número de fusões e Aquisições do Etanol



Fonte: IPEA, 2016; Oliveira Filho, 2017

Influenciado pelas questões ambientais e pela participação externa, o regime do etanol buscou seu espaço com a obtenção de certificações ambientais. A primeira certificação mundial para uma usina produtora de etanol e açúcar sob os critérios da iniciativa global Bonsucro (*Better Sugarcane Initiative*) foi concedida à usina Maracá em 2011, localizada no interior de São Paulo e pertencente ao Grupo Raízen. Posteriormente, outras seis usinas obtiveram a certificação. A crescente adoção do etanol no mercado automobilístico ampliou a participação de veículos *flex* nas vendas de 2012, subindo para 85,7% contra 83,3% em 2011. Os veículos *flex* superaram a participação de 90% nas vendas registradas em 2012. Todo esse movimento do

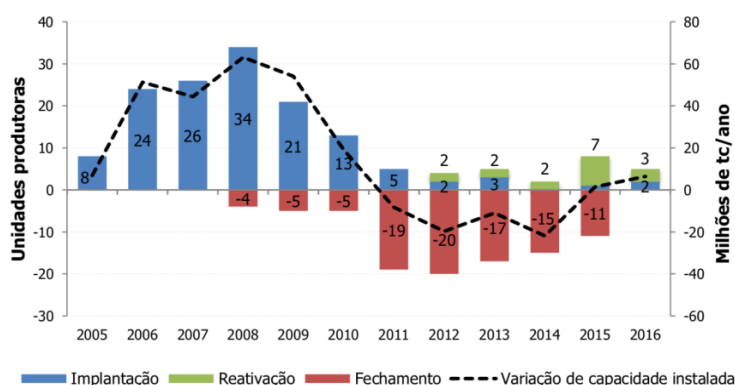
setor instiga investimentos em infraestrutura logística para que se possa atender ao mercado consumidor (ANFAVEA, 2018).

Verifica-se, no período de 2012/2013, um alto endividamento que implicou redução de investimentos representados pela não renovação dos canaviais no tempo adequado, diminuindo assim a produtividade. Dados da Conab (2018) indicam que as plantações médias despencaram de 115 toneladas por hectare em 2008 para 68 toneladas em 2012. O regime do etanol ficou praticamente estagnado, com um crescimento de oferta de apenas 1,5% de 2008 (27,1 bilhões de litros) para 2010 (27,9 bilhões de litro), e se mantendo nesse patamar até 2013.

O ano de 2013 foi marcado pela alteração do percentual de participação do etanol na gasolina para 25%, o que melhorou o planejamento da produção e estabilizou o mercado, garantindo abastecimento e trazendo por consequência ganhos ambientais. O setor sucroenergético era fundamental para manter o Brasil na terceira posição entre os países que mais exportavam produtos agrícolas, já que o Brasil era o segundo maior exportador de etanol do mundo com 27%, ficando atrás apenas dos EUA com 54% (MME, 2016).

Mesmo com o importante papel desempenhado pelo setor agrícola no país, no que se refere ao regime do etanol, esse período se destaca por uma reversão de tendências que se estendeu pelos próximos anos seguintes. De 2008 a 2013, conforme o Gráfico 16 descreve, 70 usinas fecharam as portas no país, e o setor de açúcar e etanol perdeu mais de 60 mil empregos, o que indica uma revisão de expectativas.

Gráfico 16 – Entrada/Fechamento de Usinas no Brasil

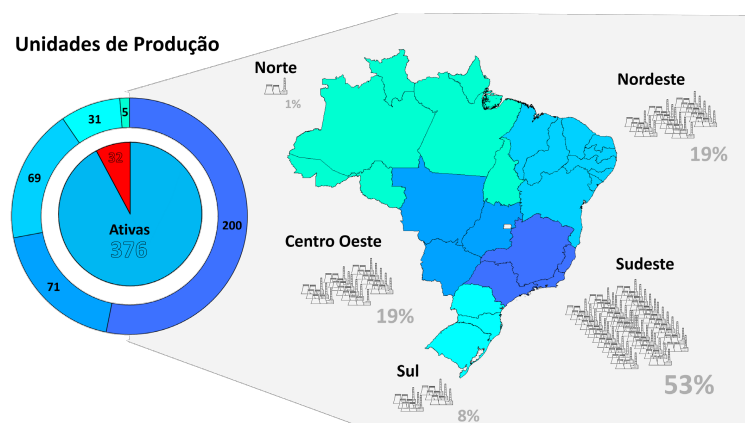


Fonte: EPE, 2016

Dados de longo prazo indicam uma elevação do rendimento médio por área plantada, que passou de 47 t /ha para 76 t/ha de 1975 para 2013 (CONAB, 2018). Os dados indicam problemas na produção. Segundo MILANEZ *et al.* (2015), os principais determinantes da estagnação da produção entre 2008/2013 foram a baixa capacidade de investimentos do setor pelo elevado endividamento no regime, a rentabilidade limitada do etanol hidratado (usinas pressionadas entre custos de produção e preço no posto limitado pela gasolina), o aumento da ociosidade industrial em função da elevação dos preços do açúcar (tornando mais atrativo para o produtor), e o movimento da F&A pela redução do preço dos ativos com a consequente manutenção da capacidade produtiva sem aumento de oferta.

Assim, os problemas no regime reduziram não só as perspectivas, mas também a moagem no início da safra 2014/2015. Os dados indicavam que 256 usinas contavam com um planejamento de início de atividades no ano, mas a quantidade efetivamente observada foi de 215 usinas. Essa informação mostra um número ainda menor que as 236 unidades em operação registradas na mesma data da safra 2013/2014. Posteriormente, houve uma breve recuperação: dados de 2017 indicam 376 unidades de produção ativas, com 9% (32 unidades) em situação especial (recuperação judicial, inapta ou em estado de falência), conforme mostrado no Gráfico 17.

Gráfico 17 – Mapa da Distribuição Espacial, por Região, das Unidades Produtoras de Açúcar, Etanol e Energia Elétrica Ativas no Território Brasileiro



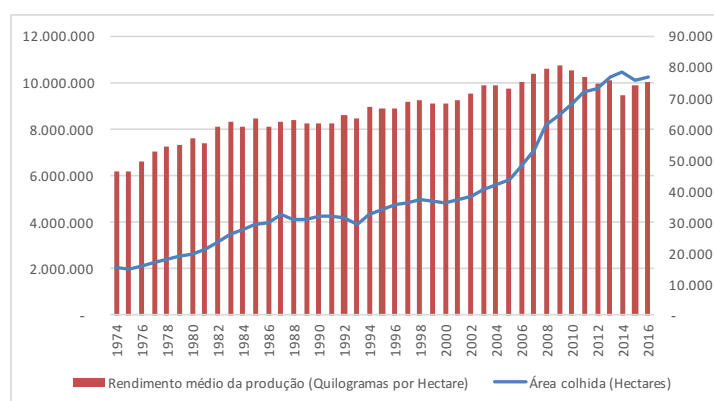
Fonte: LUCIANO *et al.*, 2017

O ano de 2014 é também destaque pela crise fiscal brasileira; reflexo do esgotamento das políticas de intervenção do governo. As políticas de elevação dos gastos públicos, concessão de subsídios e intervenção nos preços criaram um cenário de deterioração das contas públicas. No que se refere ao regime do etanol, cabe ressaltar a queda no preço do barril de petróleo de US\$100 para US\$40, quando a faixa de viabilidade econômica do pré-sal indicava valores entre US\$40 e US\$ 70/barril. Esses dados podem alterar as relações de competitividade com o fóssil e com as possíveis revisões de caminho, já que o preço baixo inviabiliza a comparação. A estratégia do governo foi ampliar o uso do combustível na gasolina para 27% em 2015.

Ainda em 2015, os dados de longo prazo indicam que o volume de etanol produzido no país foi praticamente triplicado de 10,5 para 30 bilhões de litros na safra 2000/2001 para 2014/2015 (BEN 2006 e 2017). O consumo interno de etanol está estimado em torno de 26 a 30 bilhões de litros, indicando um pequeno excedente que pode ser comercializado via exportações. A expectativa é que, ao longo de toda a cadeia produtiva, seja possível alcançar mais de 30% de ganho de rendimento acima da média atual com novas técnicas (12% no plantio e mudas, 12% na colheita e 7,5% com eficiência de processo industrial e energético) e mais 100% com novas variedades (cana-energia) (CORTEZ, 2016).

No ano, cresce a área total colhida e o rendimento das colheitas ao longo do tempo, mas há redução no rendimento a partir de 2009, conforme o Gráfico 37 indica. Isso ocorre em função de alguns fatores, tais como a redução da produtividade média das lavouras em decorrência do uso de variedades genéticas antigas, em que os rendimentos caem depois de sucessivos cortes, alterações climáticas, aumento da mecanização que ainda passa por ajustes de máquinas e equipamentos para adequar e otimizar os processos.

Gráfico 18 – Área Total Colhida (ha) e Rendimento Médio da Produção de Cana (Kg/ha) de 1974 a 2016

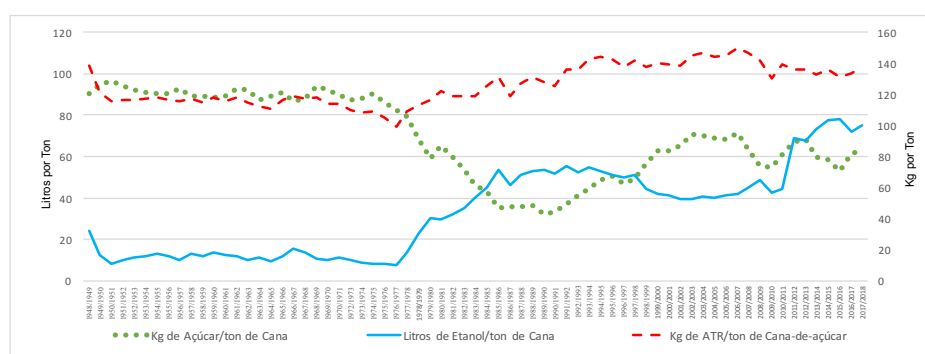


Fonte: Conab, 2018

Outro indicador importante para avaliar a cultura da cana é a média por safra de açúcar total recuperável (ATR)⁴². A análise do Gráfico 19 indica a destinação do ATR de cana para o etanol e o açúcar. Entre 1948 e 1983, a maior parte do ATR é usada para o açúcar, entre 1983 e 1999 para o etanol, entre 1999 e 2011 retorna ao açúcar e em 2011/2012 volta ao etanol. Essas idas e vindas estão relacionadas às diferentes dinâmicas e naturezas desses mercados. Além desses elementos, os fatores que afetam o deslocamento da produção do etanol e açúcar também estão submetidos a fatores internacionais e a políticas públicas. O açúcar encontra sua base de preço no mercado internacional por ser uma *commodity* global, e o etanol tem seu movimento relacionado à gasolina, que no país está sob o controle do governo. Em 2015, os dados indicavam que, do total de cana processada no país, 49% foram destinados à produção de açúcar e 51% à produção de etanol.

⁴² O ATR mostra quanto de cada tonelada de cana processada se gera de açúcar e etanol, e é possível usá-lo como um indicador de produtividade e qualidade da cana colhida, o que pode refletir no preço da cana. Assim, o ATR ajuda na escolha do período mais adequado de colheita.

Gráfico 19 – Destinação do ATR de Cana para o Açúcar e Etanol



Fonte: MAPA, 2009 e 2014

A análise ao longo do tempo desde o Proálcool até o ano de 2015 indica evolução e crescimento de rendimento e produtividade no regime do etanol. O rendimento médio por área plantada passou de 2.024 l/ha para 7.105 l/ha. Em sistemas mais organizados e bem estruturados, a produtividade pode alcançar até 9mil l/ha. Alguns dados indicam que esses sistemas estariam próximos do limite de rendimento no que se refere à tecnologia de primeira geração; um dos fatores motivadores dos estudos e investimentos na produção de etanol de segunda geração.

Nicho Renovável

O primeiro carro *flex fuel* economicamente viável foi um projeto da Bosch e da Magneti Marelli que em 2003 se tornou efetivamente comercializável, mostrando que ultrapassar o desafio tecnológico foi decisivo para permitir adição e disseminação de conhecimento.

A geração de conhecimento na fase agrícola tem um importante impulso com a união das empresas Alellyx e CanaVialis, que juntas formaram um dos mais modernos programas de melhoramento genético, considerado um destaque do Programa Genoma FAPESP. Nesse mesmo ano, foi concluída a identificação de 40 mil genes de cana em laboratórios brasileiros e criado o Programa SucEst-FUN, composto por uma rede de pesquisadores dedicados à análise e identificação dos genes da cana.

Entre 2005 e 2010, o governo financiou diferentes pesquisas, como o projeto Produção de Etanol via Hidrólise Enzimática da Biomassa de Cana-de-Açúcar, ou Bioetanol do Centro Nacional de Referência de Biomassa (CENBIO).

O programa tinha por objetivo desenvolver a viabilidade econômica de uma nova tecnologia para produção de etanol de segunda geração por meio do aproveitamento de bagaço e palha. Outro projeto criado foi o Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (CETENE), uma unidade do MCTI cujo objetivo era a inovação tecnológica para o Nordeste a partir de ações em bioenergia (CORTEZ, 2016). Ainda foi criado o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (INCT do Bioetanol), que conduzia pesquisas sobre as rotas possíveis para o etanol celulósico.

No desenvolvimento científico e tecnológico, 2010 apresentou importantes eventos. Têm início as pesquisas na área do etanol celulósico e do biodiesel no Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello - CENPES, além de estudos da Unicamp em biocombustíveis de terceira geração, com a produção de algas utilizando CO₂ e a integração do processo de etanol de primeira geração com possíveis rotas de segunda geração.

No ano de 2011 tem-se o desenvolvimento de diferentes projetos e em diferentes áreas. Destacam-se o lançamento pelo Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) de duas variedades de cana mais resistentes a doenças e pragas visando a redução de custos e o aumento da produtividade no centro-sul e o projeto desenvolvido pela empresa Orbital em parceria com o Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) para a fabricação de um motor de foguete movido a etanol e oxigênio líquido.

Os estudos e pesquisas no setor se mantêm em progressão em 2012, 2013, 2014 e 2015, apesar das perspectivas econômicas desfavoráveis. O desenvolvimento de pesquisas engloba empresas privadas e públicas e de capital nacional e estrangeiro. Assim, cabe destaque ao programa de melhoramento genético da Monsanto⁴³, indicando expansão da biotecnologia no setor; à nova enzima desenvolvida pela empresa de biotecnologia Novozymes, que prometeu reduzir custos e aumentar os rendimentos na produção de etanol a partir de resíduos agrícolas (E2G); à ferramenta de sequenciamento genético do centro de Biologia Molecular e Engenharia Genética da Universidade

⁴³ Monsanto adquiriu Alellys e CanaVialis em 2008, mas em fins de 2015 encerrou as atividades das empresas.

Estadual de Campinas; ao desenvolvimento de software da AgBalance da empresa Guarani S.A.; ao aplicativo de monitoramento de pragas e doenças da cana; ao bem-sucedido lançamento do foguete brasileiro movido a etanol e oxigênio líquido; o Plano de fomento conjunto do BNDES e Finep – PAISS, promovendo incentivo a investimentos no E2G; o Projeto Granbio na área de biocombustíveis e bioquímicos de segunda geração e cana energia; e à empresa Raízen com o projeto de integrar a planta industrial de primeira e segunda gerações na mesma usina .

Esses são apenas alguns dos eventos de nicho que ocorreram nesse período frutífero. A constatação de que os investimentos em P&D no regime do etanol vêm trazendo resultados é verificável pela grande quantidade de eventos no nicho. Todo esse movimento é reflexo de um ambiente que se mantém atuante e aberto para a inovação. Esse aspecto de movimento contínuo de transição no nicho tecnológico e de mercado chama a atenção para possíveis mudanças de caminhos e criação de oportunidades.

5.3. Conclusão

Com base nessa análise de caminhos percorridos pelo etanol, o seu processo de transição se configura e se estabelece. A estrutura metodológica foi um importante instrumento para compreender a trajetória percorrida em diferentes níveis que se coordenam, pois permitiu compreender de forma clara as idas e vindas da introdução da inovação em um ambiente estabelecido. A acumulação nos nichos tecnológico e de mercado, o desenvolvimento no regime e as reafirmações no *landscape* garantiram coordenação e organização nos grupos sociais do sistema, solidificando o regime. Assim, o regime do etanol se edifica e se configura a partir de múltiplos grupos sociais em um sistema sociotécnico organizado.

A retrospectiva do caminho de transição a partir de um movimento baseado no volume de produção indica um processo de transição com um ciclo de vida completo e ascendente. O aumento crescente do volume produzido em resposta às demandas da sociedade impulsionou o sistema sociotécnico na direção de um regime consolidado, mesmo que tenha havido idas e vindas ao longo do tempo. Inicialmente, o regime se estabelece com a promulgação de um plano de abrangência nacional baseado no etanol anidro, em que a estratégia

do governo era atuar como garantidor de oferta e demanda. Tal estratégia se configura como alicerce para a efetiva implementação do etanol na matriz de combustíveis do país. Assim, o regime se estabelece, e a resposta do nicho tecnológico é o carro a etanol hidratado. Essa resposta se torna insuficiente, e o mercado mantém-se à margem, voltando-se para o combustível automotivo a gasolina. O ressurgimento dos carros *flex fuel* no nicho tecnológico traz novas perspectivas para o regime que, impulsionado por elementos do *landscape* (fatores culturais relacionados à sustentabilidade ambiental), motivam nesta direção.

Hoje, o regime é estabelecido e convive com aspectos do novo e do antigo ao mesmo tempo. O antigo se refere ao ambiente de anidro/hidratado, e carros que suportam uma tecnologia de ciclo de Otto bivalente, replicando um cenário de crescimento, mas preso às mesmas amarras de nicho tecnológico e de mercado do passado. O novo se refere, no que tange ao regime, ao desenvolvimento de novas opções tecnológicas, como os carros híbridos/elétricos e combustíveis alternativos (E2G). No que tange ao *landscape*, refere-se aos desafios que as transições sustentáveis vêm impondo ao mundo de forma geral a partir de acordos e protocolos ambientais. Assim, o regime do etanol se estabeleceu, e as dúvidas quanto a caminhos permanecem.

A análise empírica permitiu reconstruir esses caminhos que, revistos, indicam um sistema construído e completo. O próximo passo é reexaminar essa “história” sob o enfoque da abordagem teórica a fim de reavaliar os caminhos da transição para sustentabilidade. Dessa forma, o capítulo subsequente desenvolve a abordagem teórica por meio da identificação de novas estruturas e organizações que devem ajudar, junto com a análise empírica, a explicar a construção do processo de transição sob um novo enfoque, visando responder as questões levantadas pelo presente trabalho de pesquisa.

6. DISCUSSÃO À LUZ DA TEORIA

6.1. Introdução

A análise teórica baseada nas fases da inovação sistêmica trazida por Geels (2005e) procura desvendar os caminhos da transição sob outro enfoque. Nesse contexto, a emergência de um novo mercado pode ser analisada não apenas pelas barreiras, mas principalmente pelas oportunidades. Ou seja, a inovação pode emergir do nicho quando o processo em andamento no regime e no *landscape* cria uma conjuntura que permite seu progresso. Por isso, esse capítulo tem por objetivo investigar a transição do combustível etanol para a sustentabilidade, procurando capturar a complexidade e multidimensionalidade que o tema enseja.

6.2. Abordagem Qualitativa: Estrutura Teórica

A estrutura de fases procura rever o caminho de múltiplas causalidades, níveis e dimensões. Por isso, essa análise teórica se diferencia dos períodos da análise empírica, baseada nas observações de níveis construída a partir dos níveis de produção. A determinação das fases teóricas foi estabelecida de acordo com os critérios adotados por Geels (2005e) para a inovação em um sistema. É dividido em quatro fases e possui as seguintes características: primeira fase é do surgimento da inovação; segunda fase é do desenvolvimento nos pequenos nichos de mercado e tecnológico; a terceira fase é do avanço, ampla difusão e competição com o regime estabelecido e a quarta fase é da substituição gradual do regime instituído pelo novo e da avaliação dos seus impactos na sociedade.

O Quadro 6 apresenta a divisão da estrutura teórica em períodos, com suas descrições e divisões temporais avaliadas neste capítulo. O objetivo é analisar o regime do etanol e sua transição a partir da análise de fases com base na análise longitudinal e no mapa visual.

Quadro 6– Divisão em Períodos da Estrutura Teórica

	FASE 1		FASE 2		FASE 3		FASE 4		FASE 3		FASE 2		FASE 3		FASE 4		FASE 3	
	1875	1926	1927	1974	1975	1978	1979	1986	1987	1990	1991	2001	2002	2004	2005	2010	2011	2015
DESCRIÇÃO	ETANOL COMO SUBPRODUTO		LANÇAMENTO DO PRIMEIRO COMBUSTÍVEL NACIONAL DE ALCOOL-MOTOR		PROÁLCOOL - PRIMEIRA ETAPA - FOCO NO USO DO ETANOL ANIDRO E APOIO EXPLÍCITO DO GOVERNO		PROÁLCOOL - SEGUNDA ETAPA - FOCO NO USO DO ETANOL HIDRATADO E LANÇAMENTO DO CARRO A ETANOL		FIM DO PROÁLCOOL		MOVIMENTO EM NICHOS TECNOLÓGICO		RETOMADA DO REGIME SOB NOVAS BASES		CARROS FLEX ASSUMEM LIDERANÇA		NOVO E VELHO REGIMES PASSAM A COEXISTIR	
FATORES DETERMINANTES (AÇÚCAR E ETANOL)	CRISE DE PRODUÇÃO DO AÇÚCAR		DEFESA DO REGIME DO AÇÚCAR		criação do regime do etanol		REFORÇO E ESTABILIZAÇÃO DO NOVO REGIME		QUEDA DO NOVO REGIME E RECUPERAÇÃO DO PREÇO DO AÇÚCAR		REGIME SE MANTÉM A MARGEM COMO ADIÇÃO A GASOLINA		REGIME RESURGE COM FORÇA		REGIME ASSUME A LIDERANÇA		REGIME É QUESTIONADO QUANTO A SUA EFICIÊNCIA	
TIPO DE RELAÇÃO ENTRE ETANOL E GASOLINA			COMPLEMENTAR		SUBSTITUIÇÃO		SUBSTITUIÇÃO		COMPLEMENTAR		COMPLEMENTAR		SUBSTITUIÇÃO		SUBSTITUIÇÃO		SUBSTITUIÇÃO?	COMPLEMENTAR?
LANDSCAPE			SEGUNDA GUERRA MUNDIAL / CRISE ECONÔMICA MUNDIAL		PRIMEIRO CHOQUE DO PETRÓLEO E IIPND		SEGUNDO CHOQUE DO PETRÓLEO		QUEDA DO PREÇO DO PETRÓLEO E CRISE FISCAL NO BRASIL		DEBATE AMBIENTAL COMEÇA A GANHAR FORÇA NO MUNDO		RETOMADA DE ELEVAÇÃO DO PREÇO DO BARRIL DE PETRÓLEO		CRISE ECONÔMICA INTERNACIONAL / DEBATE AMBIENTAL NO BRASIL E MUNDO / ELEVAÇÃO E POSTERIOR Queda do preço do barril de petróleo		QUEDA DE PREÇO DO PETRÓLEO / CRISE FISCAL NO BRASIL / DEBATE AMBIENTAL CRESCE NO BRASIL E MUNDO	
REGIME					GOVERNO DETERMINA COMPRA DE ETANOL PELA PETROBRÁS / PREÇOS E FINANCIAMENTOS SUBSIDIADOS / APOIO DE EMPREENDEDORES E USINEIROS / SE AMPLIAM AS DESTILARIAS AUTÔNOMAS EM DETRIMENTO DAS ANEXAS		A INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA ESTABELECE METAS DE PRODUÇÃO E ASSINANDO UM SEGUNDO PROTOCOLO DE COOPERAÇÃO		DESREGULAMENTAÇÃO DO REGIME / CRISE DE DESABASTECIMENTO / INSEGURANÇA DO CONSUMIDOR / FALTA DE APOIO DO CONSUMIDOR		DESINTERESSE DE EMPREENDEDORES E ATORES DO REGIME / MOVIMENTO BAIXO MAS PRESENTE NO REGIME / LIBRAÇÃO DE PREÇOS E DESREGULAMENTAÇÃO TERMINA / INÍCIO DA ENTRADA DE INVESTIDORES ESTRANGEIROS		CARRO FLEX FUEL SE TORNA ECONOMICAMENTE VIÁVEL / POLÍTICAS DE PREÇOS MÍNIMOS E MEDIDAS DE FINANCIAMENTO AO SETOR SUCROALCOOLEIRO / PROTOCOLO AGROAMBIENTAL		INVESTIMENTOS EM USINAS / PRODUÇÃO VIÁVEL PRÓXIMA A MERCADO CONSUMIDOR / USO DE ETANOL SUPERA GASOLINA / VENDA DE CARROS FLEX SUPERAM A GASOLINA / CRIAÇÃO DA PETROBRÁS BIOCOMBUSTÍVEIS		POLÍTICA DE PREÇO PARA GASOLINA DIFICULTA COMPETIÇÃO PARA ETANOL / Queda da produção de etanol / vendas de carro flex é maior parte na economia / ACORDOS E JOIN VENTURERS INDICAM MERCADO EM EBULIÇÃO / CARROS ELÉTRICOS DESPONTAM COMO COMPETIDORES POTENCIAIS	
NICHOS TECNOLÓGICO	MOVIMENTOS NAS REDES APOIO SOCIAL DA AGRICULTURA ATRAVÉS DE EXPOSIÇÕES E CONGRESSOS		criação IAC, CTC (FOCO NO MELHORAMENTO GENÉTICO)		INCENTIVOS AO MELHORAMENTO GENÉTICO / MOVIMENTO DE P&D E C&T / CRIAÇÃO DE REDE DE PESQUISA / EMPRESAS		ESFORÇOS NA FASE AGRÍCOLA E INDUSTRIAL / PESQUISA EM DIFERENTES ÁREAS DO REGIME AUTOMOBILÍSTICO		CONTINUAM OS ESFORÇOS E DESENVOLVIMENTO NA INDÚSTRIA AGRÍCOLA		GRANDES ESFORÇOS NA INDÚSTRIA AGRÍCOLA PARA MELHORAR A RENTABILIDADE E PRODUTIVIDADE		AMPLIAÇÃO DE PROGRAMAS DE MELHORAMENTO GENÉTICO		INTEGRAÇÃO DO E1G COM E2G E COGERAÇÃO DE ENERGIA / ESTUDOS DE E3G - UNCAMP		INVESTIMENTOS EM TECNOLOGIAS VERDE SE MANTÊM / ESTUDOS PARA REAPROVEITAMENTO EM TODA CADEIA PRODUTIVA DA CANA PERMANECEM	
NICHOS DE MERCADO			PRODUÇÃO SURGE COM OBRIGATORIEDADE DE 5% DE ETANOL ANIDRO NA GASOLINA E SE AMPLIA PARA MÁXIMO DE 25% / ISENÇÃO DE IMPOSTOS / MODIFICAÇÃO DE MOTORES É SUGERIDA		ESFORÇO ARTESANAL DE ADAPTAÇÃO DE PEÇAS		GOVERNO ASSUME O REGIME ATRAVÉS DO SEU BRAÇO NO MERCADO / INCENTIVOS, SUBSÍDIOS, ISENÇÕES E CRÉDITO PARA O REGIME		CAPACIDADE INSTALADA ACIMA DA PRODUÇÃO EFETIVA / RETOMADA DOS AUTOMÓVEIS A GASOLINA / Queda da rentabilidade média da agroindústria		APRESENTADO PROTÓTIPO DA GM DE CARRO FLEX NÃO VIÁVEL ECONOMICAMENTE		UNIÃO DO GRUPO BOSCH E EMPRESA MAGNETI MARELLI / AUMENTO DA PRODUTIVIDADE DA CANA		DESENVOLVIMENTO DO POLIETILENO VERDE		MODELOS FLEX COM MELHOR DESEMPENHO E MENOR CONSUMO / CENTRO DE PESQUISA PARA MOTORES A ETANOL	

Fonte: Autoria Própria.

Fase 1 –De 1875 a 1926 –Etanol como Subproduto

Os eventos neste período ocorreram basicamente no nicho, com alinhamento gradual, quando o etanol surge como um subproduto do açúcar. Observam-se as crises de produção do regime do açúcar espelhados na *dimensão econômica*, e as soluções que surgem vêm no sentido de evitar o aspecto cíclico da cultura. Essa tentativa de minimizar os efeitos acaba abrindo espaço para inovações no sistema, e assim, nesta fase, surgem os primeiros movimentos no nicho na *dimensão tecnológica* do etanol.

O enfoque era voltado para a indústria da cana-de-açúcar e para as relações que ela mantinha com o poder político governamental, e o surgimento do etanol como subproduto da cana vem para atender uma necessidade desse regime. O *landscape* pressiona o regime da cana, que se movimenta em uma relação de dependência com o mercado internacional. Por isso, crises externas são sentidas diretamente pelo regime, que não possui instrumentos para se defender além do apoio governamental. Os movimentos de nicho surgem com base em regras do regime da cana-de-açúcar existentes com o intuito de resolver problemas desse sistema antigo, porém, não há um reconhecimento do legítimo potencial da inovação.

Segundo afirmação de Geels (2005e), a “inovação é uma solução à procura de problemas”. No que se refere ao etanol, o movimento no nicho tecnológico era para apoiar as redes sociais da agricultura da cana. Logo, o objetivo era encontrar uma forma de uso para parte da produção que não encontrava mercado devido às dificuldades da política de exportação. Por conseguinte, esta fase se caracteriza pelo etanol como um subproduto da cultura da cana-de-açúcar.

Fase 2 –De 1927 a 1974 – Lançamento do Primeiro Combustível Nacional de Álcool-Motor

Esta fase é identificada como Fase 2, pois os movimentos continuam ocorrendo no nicho, mas agora no nicho de mercado. A presença das *dimensões econômica*, da *ciência* e da *política*, aparecem como fonte de sustentação para esta fase de aprendizagem para a nova tecnologia. O etanol, inicialmente como um subproduto, começa a aparecer como uma possível solução para lidar com as dificuldades que o regime do açúcar apresentava. Os desenvolvimentos no

nicho de mercado defendiam que o etanol poderia ser usado como combustível líquido, e é nesse ambiente que surge o álcool-motor, uma aparente ruptura com o padrão até então existente, mas com pouco destaque, que passa a constituir uma pequena rede social. Essa tecnologia começa a desenvolver uma trajetória técnica própria e torna-se mais estável, de forma a ultrapassar o estágio de protótipo. Fica evidente, nesse período, o que os usuários desejam da tecnologia. Os processos de aprendizagem passam a ser orientados, a articulação dos agentes parece se estruturar em torno do uso da cana também como combustível e o apoio financeiro se traduz em dirigismo governamental.

Até então, a articulação acontecia no nicho tecnológico, com movimentos pontuais. Nessa fase, o etanol é lançado como o primeiro combustível nacional álcool-motor, um marco do empreendedorismo de nicho, designação que indica o alinhamento de alguns eventos importantes para a fase seguinte. Primeiro, o esforço do nicho para atender as necessidades do regime do açúcar, que passava por uma crise no mercado mundial (crise de 1929 e depois a Segunda Guerra). Segundo, atender parte dos anseios do nicho tecnológico que vinha sendo desenvolvido, mas que sob o aspecto de pressão sobre o regime era o evento mais fraco. Terceiro, os problemas com o regime do petróleo no Brasil, pois em 1973 ocorreu o primeiro choque do petróleo em um país dependente do fóssil, o que gerou problemas de evasão de divisas. Quarto, restabelecer a segurança energética. Quinto, a determinação da obrigatoriedade de adição do etanol à gasolina mesmo que de forma incipiente, pois embora apenas 1% da cana-de-açúcar moída pelas usinas fosse destinado à produção de etanol, não deixava de ser um caminho em progresso. Finalmente, sexto, o apoio governamental por meio de impostos.

Quanto a expectativas, a união de eventos do regime do açúcar, da gasolina, do petróleo, do nicho tecnológico, do nicho de mercado e do *landscape* preparou o caminho para oportunidades. O etanol passa a ter um papel de complementaridade em relação ao regime do açúcar, mesmo que ainda de maneira incipiente e pouco estruturada dentro de um mercado estabelecido e fechado na tecnologia fóssil.

Fase 3 – De 1975 a 1978 – Proálcool – Primeira Etapa – Foco no Uso do Etanol Anidro e Apoio Explícito do Governo

O período denominado Fase 3 é caracterizado pelo avanço da nova tecnologia, pela ampla difusão e pela competição com o regime vigente. Diferentes fatores levaram a mudança da Fase 2 para 3, ou seja, a saída do nicho e a construção do regime do etanol. Para garantir a ampla difusão, as *dimensões econômica e política* são acionadas fortemente nesta fase, que se unem, ainda, às *dimensões da ciência e da tecnologia* em programas e projetos que garantam a fixação do regime. Aspectos da *dimensão cultural* também aparecem nesta fase como resultado dos movimentos contra e a favor do novo regime. As circunstâncias externas e os *drivers* internos, conforme descritos por Geels (2005e), que levaram a esse cenário encontram-se resumidos no Quadro 7. O foco era o uso do etanol anidro como forma de incentivar e criar um ambiente de transição robusto.

Quadro 7 – Fase 3 – De 1975 a 1979

Circunstâncias Externas	Problemas técnicos internos do regime vigente	Destaque para o problema da falta de petróleo no país
	Problemas externos ao sistema	Insegurança energética
		Evasão de divisas
		Autossuficiência energética comprometida
	Disponibilidade de tecnologias complementares	A existência de um mercado pequeno porém pré-estabelecido e viável tecnicamente
Drivers Internos – criação do Proálcool	Perspectiva econômica	Governo determina compra de etanol pela Petrobrás
		Preços e financiamentos subsidiados
		Apoio de empreendedores e usineiros
		Nicho tecnológico se amplia com P&D e C&T na fase agrícola e industrial
	Perspectiva sociotécnica	Apesar da resistência inicial da indústria automotiva assinado protocolo de cooperação pela determinação Governamental da implementação do Proálcool
		Petrobras funciona como agente do Governo
		Esforço artesanal de adaptação de peças
		Incentivos ao melhoramento genético
		Apoio explícito do governo

Fonte: Autoria própria

Em 1975, a gasolina era o combustível automotivo fóssil dominante no Brasil. O mercado brasileiro era importador de petróleo em uma magnitude de 80% do seu consumo, e em termos de oferta de energia primária representava

algo em torno de 40%. O regime do combustível fóssil era caracterizado pela incerteza e pela irregularidade característica de uma fonte de energia na qual o país não possuía independência, porém, sua importância como fonte geradora de energia encorajava uma mudança de cenário. A decisão da implementação de um novo regime naquele ano surge em resposta a diferentes pressões do *landscape*, do nicho tecnológico e do mercado, o que levou a determinação do Governo Federal nessa direção, com a implementação do Proálcool.

O alinhamento de diferentes pressões internas e externas (conforme destaca o Quadro 6) deslocou o *lock in* da *dimensão econômica* para a construção efetiva de um novo regime. Esse período se caracteriza por uma série de medidas na *dimensão política* cuja finalidade era alterar a dinâmica do regime dos combustíveis para o advento e efetiva implementação do renovável. Para isso, a primeira etapa ficou caracterizada pelo uso do etanol anidro em mistura à gasolina, como forma de garantir a construção efetiva do regime.

O surgimento de um novo padrão de mercado implicou inovações nas diferentes dimensões. Assim, a introdução do etanol deu-se por meio de uma conjunção de medidas. Alterar a estabilidade do sistema sociotécnico existente requereu prover orientação e coordenação de atividades dos grupos de atores relevantes, logo, esse subperíodo se desenvolveu com a construção de uma rede de atores atuantes, diferentemente do regime inicial da cana/etanol e do próprio regime do combustível automotivo líquido. O resultado é consequência da introdução do etanol como um novo *player* de mercado.

Essa nova configuração se estabelece com críticas e resistências à transição sociotécnica pelo deslocamento do regime estabelecido, em que a atuação do Governo Federal foi decisiva para o direcionamento do mercado. Assim, composto pelos regimes da gasolina e dos automóveis, o sistema sociotécnico se ampliou com a entrada do regime do etanol e da cana como atuantes.

A presença dos atores e das instituições públicas por meio do arcabouço normativo e regulatório e as dificuldades do regime canavieiro e sua estreita relação com os atores do Estado também ajudam a explicar essa transição. Assim, fatores externos tais como a queda do preço do açúcar no mercado internacional e o aumento do preço do petróleo foram elementos reconfiguradores do caminho, reforçando a opção da segurança energética.

A infraestrutura básica do processo de transição para o regime do etanol em parte já existia, uma vez que o setor agroindustrial da cana-de-açúcar, importante para o país, já era bastante desenvolvido desde o século XVIII. Na *dimensão econômica*, o Brasil estava bem posicionado no mercado internacional, ocupando o lugar de terceiro maior produtor de açúcar no mundo. Como a apropriação da tecnologia de direcionamento da produção para açúcar/etanol já existia, a escolha apresentava um aspecto econômico intrínseco. As bases para o desenvolvimento do regime do etanol eram conhecidas, mas é fato que a existência da sua estrutura não oferecia proporções para atender o mercado nacional como um substituto ou complemento do combustível gasolina. Dessa forma, a base do regime do etanol, apesar de conhecida e estruturada, continuava em pequenas proporções.

Dentro do regime agroindustrial, encontram-se as usinas e o seu processo produtivo. Inicialmente, os esforços eram voltados para unidades produtoras em usinas anexas porque atendiam mais rapidamente a necessidade produtiva e representavam menores custos. O número de projetos enquadrados no Proálcool entre 1975 e 1979 soma 209, e os investimentos em unidades produtivas, no que se refere ao peso dos recursos públicos em relação ao todo, variaram entre 71% em 1975 para 81% em 1979, o que soma um montante de US\$ 766 milhões no período e confirma a importância da atuação das políticas públicas.

Vale ressaltar que o regime automotivo era um importante aliado da transição. Inicialmente, ocorreram resistências dos atores aos ajustes por pressões do *landscape*, mas o desenvolvimento dos nichos científico e tecnológico demarcou uma mudança de direcionamento que, junto com a paisagem, determinaram a transição sociotécnica em favor do surgimento de um novo *design*: o carro a etanol economicamente viável.

Nesse período, houve estímulo ao nicho renovável como base para a garantia de novas trajetórias tecnológicas. Os esforços inovativos foram também guiados por problemas na agenda técnica, e as mais importantes trajetórias tecnológicas foram centradas em melhorar a adequação dos motores ao novo combustível e a eficiência agrícola do processo.

O funcionamento do regime do etanol se constituiu nesse período por inovações e mudanças. O suporte e a tutela do governo transcritos pelo

desenvolvimento do regime foram decisivos para direcionar as *dimensões política, tecnológica, científica, econômica e cultural*, responsáveis pela organização do novo. Dessa junção em rede de coordenação e reorientação, é que se estabelece o etanol. O sistema dos combustíveis líquidos automotivos, composto pela gasolina e pelo diesel, desloca-se e passa a ter uma nova configuração com a introdução do substituto: o carro a etanol. Dessa forma, o etanol passa a figurar no mercado de combustível automotivo como um bem substituto.

Fase 4 – De 1979 a 1986 – Proálcool – Segunda Etapa – Foco no Uso do Etanol Hidratado e Lançamento do Carro a Etanol

De forma ampla, a configuração do regime representava a manutenção do ambiente de substituição. Em 1979, a produção em massa do carro movido exclusivamente com o combustível etanol hidratado marcou uma nova era com o estabelecimento de um novo regime. O alinhamento do nicho tecnológico com o nicho de mercado impulsionou o processo de substituição gradual dos automóveis a gasolina pelos movidos a etanol. A *dimensão política* se amplia como forma de reforço a essa gradual substituição do regime. Já a *dimensão da ciência* e da *tecnologia* continuam no apoio ao desempenho do regime nos nichos tecnológico e de mercado. O cenário é garantido e reforçado por diversos fatores ao longo do período, conforme destaca o Quadro 8 com os padrões definidos para a fase 4 (coluna à esquerda).

Quadro 8 – Fase 4 – De 1979 a 1986

Relação custo/desempenho do novo melhora gradualmente com as inovações incrementais – o nicho de mercado é reforçado com:	a indústria automobilística estabelecendo metas de produção e assinando um segundo protocolo de cooperação	
	a empresa subsidiária da Petrobras a BR Distribuidora instalando as redes de apoio tecnológico sendo estabelecidas ao longo do país para fazer a conversão dos carros para o novo combustível	
	incentivos governamentais aos carros a etanol	
	usinas anexas e autônomas ganhando força	
	Carros a etanol eram vendidos com incentivos e créditos baratos	
	Isenção de IPI sobre carros a etanol	
Domínios sociais podem consistir de muitos nichos de mercado, com diferentes critérios de seleção. A nova tecnologia precisa de tempo para conquistar esses nichos de mercado.	No nicho tecnológico haviam esforços tanto no desenvolvimento agrícola quanto industrial. Para:	ampliação de sementes
		pesquisa em diferentes áreas no setor automobilístico.
		Melhora de eficiência energética da produção de etanol
		Uso do vinhoto
A construção de um novo regime sociotécnico pode requerer uma ampla transformação, que leva tempo, como:	Nova infraestrutura – dutos, logística, densímetros nas bombas	
	Novas práticas de usuários – redes de conversão	
	Novas políticas – Petrobras mantém estoques, redução de impostos	
	Novas organizações – rede de conversão, Br Distribuidora, Fermentec, Projeto Hidrocon, INT, Dedini.	
A intensidade de capital exigida	Participação dos usineiros, empreendedores e Governo	

Fonte: Autoria própria

Em 1979, termina a fase do etanol anidro e começa o subperíodo do etanol hidratado. Essa mudança indica a fixação do regime, já que não mais era preciso usar o etanol em adição à gasolina. Com a existência do carro a etanol hidratado, era uma escolha do consumidor ter um automóvel a etanol, e o ambiente acenava para o direcionamento do veículo a etanol a partir do apoio da *dimensão política* e do próprio nicho em reforço à substituição do bem.

As alterações institucionais foram seguidas por políticas de apoio realizadas por meio de subsídios que, de forma clara, incentivavam a oferta e a demanda do etanol. A fim de garantir a confiança do consumidor, o próprio nicho renovável foi aquecido com a criação da Rede de Centros de Apoio Tecnológico.

Nesse ambiente propício sob múltiplos aspectos, o regime do etanol se estabelece, transferindo o sistema de combustíveis líquidos para um novo equilíbrio. Os números do mercado de automóveis mostram que 92% dos veículos vendidos em 1985 eram movidos a etanol, o que confirma a mudança na escolha e na preferência do consumidor como reflexo de toda uma transição sociotécnica. As mudanças do ambiente econômico e os incentivos ao setor sucroalcooleiro também ajudaram a transformar o cenário.

A expansão da capacidade produtiva por meio da *dimensão econômica e política* denota a dependência do regime dos incentivos públicos. Sua

infraestrutura foi desenvolvida e mantida com o apoio do governo e da Petrobras, apoio esse que acabou por ampliar o regime, que passa a contar com outros *players* da agricultura, o que expandiu inclusive a cultura da cana sob o aspecto geográfico.

A transição sociotécnica do etanol se solidificou nesse período e deu os primeiros indícios de revisão de caminhos. A análise dos atores do regime indica uma ampliação da atuação, com a introdução de novos participantes na base. Isso significa que os grupos sociais existentes permaneceram e aumentaram de tamanho para atender o crescimento de quase 500% da produção de etanol no período de 1975 a 1985.

No nicho, tem-se a entrada efetiva das empresas automotivas devido a suas *expertises* e ao investimento em ciência e tecnologia. Movimentos nos centros de pesquisa e tecnologia na direção da autossuficiência das usinas explicam os estudos em resíduos, coprodutos e eficiência energética. Destaca-se o projeto da empresa Dedini em E2G como um dos primeiros passos concretos para a ampliação dos usos da cana e seus subprodutos

Apesar de todos os esforços de coordenação e orientação nos múltiplos níveis, o período termina com uma reversão de tendência, com o encerramento da fase de expansão do programa implementado em 1975. A crise fiscal levou a uma queda nos investimentos públicos, redução do número de projetos enquadrados, taxa de crescimento da capacidade produtiva decrescente e início da revisão de expectativas quanto à trajetória do regime. A *dimensão econômica* indicou possíveis reversões de caminho. O enfoque dado ao etanol ainda era como substituto da gasolina, mas problemas no *landscape* e regime indicavam possíveis mudanças na transição.

Fase 3 – De 1987 a 1990 – Fim do Proálcool

O período de 1987 a 1990 foi de queda do regime, que se concretiza com o fim do Proálcool. Diferentes motivações levaram ao quadro de declínio do regime e que, sob o enfoque da estrutura teórica, levaram ao retrocesso com a saída da Fase 4 para a Fase 3. A *dimensão política* foi muito acionada ao longo de toda fase como um fator de desestímulo ao regime. A *dimensão econômica*, mais presente ao final da fase, indica a crise de desabastecimento. A desaceleração nas *dimensões da ciência e tecnologia* apontaram a um

retrocesso no movimento, pois o foco se direcionou para a indústria agrícola. Esse cenário de recuo do regime constituído se traduz na redução do nível de produção de carros a etanol com a consequente perda de mercado. O quadro 9 descreve as principais circunstâncias externas e *drivers* internos que levaram a queda do regime do etanol.

Quadro 9 – Fase 3 – De 1987 a 1990

Circunstâncias Externas	Problemas técnicos internos	Queda de rentabilidade média da agroindústria
		Tecnologia disponível se mostra falha
	Problemas externos ao sistema	Queda do preço do petróleo
		Recuperação do preço do açúcar no mercado internacional
Drivers Internos – crise de desabastecimento, insegurança do consumidor e fim do Proálcool		Crise fiscal no Brasil
	Disponibilidade de tecnologias complementares	O mercado a gasolina reduziu, porém se manteve no país. A indústria de automóveis a etanol se estabeleceu no Brasil e EUA.
	Perspectiva econômica	Queda da produção e déficit do volume de etanol de 1 bilhão de litros
		Capacidade instalada acima da produção efetiva
		Retomada do mercado de automóveis a gasolina
		Nicho tecnológico continua sua trajetória e desenvolvimento na indústria agrícola.
		Aspecto de bem substituto se transforma em complementar com a adição de anidro a gasolina e não de hidratado ao final do período.
	Perspectiva sociotécnica	Crise fiscal no Brasil
		Indústria automotiva reduz rapidamente sua participação no regime do etanol pela queda da produção de carros
		Desregulamentação do regime criou expectativas e aumentou insegurança para consumidor que desistiu de apoiar o regime

Fonte: Autoria própria

Diversos fatores do *landscape* e do próprio regime levaram ao fim do Proálcool, com destaque para a queda dos preços do petróleo, retornando ao seu patamar histórico, o que gerou um cenário de questionamento quanto a sua possível substituição, a crise fiscal no Brasil, a redução generalizada na política de subsídios para a agroindústria sucroalcooleira como resultado do agravamento da situação fiscal do país e o consequente descompasso entre demanda e oferta do etanol, que chegou a 1 bilhão/litros em 1989.

A existência da capacidade instalada acima da produção efetiva, de algo em torno de 4 bilhões/litros em 1985, correspondia a 25% de ociosidade industrial; patamar elevado que por si já indica problemas no regime para se manter. Unido a esse fato, tem-se a pressão da própria Petrobras, que no período registrou um excedente de gasolina, o que a obrigou a passar a exportá-la, como reflexo das descobertas de petróleo na Bacia de Campos e dos

questionamentos sobre a redução dos preços do barril. Esse cenário nada confortável para o regime impactou a real percepção do papel do etanol como opção energética.

No escopo da política nacional, o caminho foi a desregulamentação, indicando a existência de interesses sociais e institucionais controversos que não permitiam a manutenção do programa de forma sustentável e com abrangência nacional. O apoio da *dimensão política*, privilegiando o regime, desapareceu com a política de liberação de preços, o que expôs ainda mais a fragilidade do tratamento privilegiado do regime do etanol e dificultou a sua coexistência com a gasolina. Tal cenário culminou no fim do Proálcool.

Dentro do próprio regime, surgiram críticas, e ficou evidente o baixo interesse de alguns segmentos tais como a indústria automobilística no Brasil. Esse fraco direcionamento de esforços do regime industrial indicava na *dimensão da economia*, as dificuldades de sustentação do regime, pois os carros que mais vendiam à época eram os populares de 1.000 cilindradas com incentivos tributários (redução de IPI). A versão à etanol desses carros ainda não existia, eram todos à gasolina. Nesse momento, a *dimensão política* foi acionada com políticas de apoio a indústria automobilística.

Essas idas e vindas características de um regime em transição tiveram reflexos no movimento de nicho, e as incertezas quanto à *dimensão econômica* industrial exigiram esforços para a fase agrícola. Assim, a *dimensão da ciência e tecnologia* passou a fortalecer o regime agrícola da cana-de-açúcar, principalmente.

A transição sociotécnica do etanol nesse período suscitou mudanças importantes nas *dimensões econômica, política, tecnológica, social e cultural*; mudanças de reversão de tendência e desestruturação do cenário em curso até então. Essa reconfiguração dos atores do regime indica mudanças institucionais como reflexo da desorganização e transição do regime.

Por parte do poder público, a falta de coordenação e orientação alterou o cenário do regime do etanol. A fase se caracteriza pela estagnação industrial e praticamente pelo fim do regime, e o etanol volta a ter um papel de complementaridade em relação ao competidor direto: a gasolina.

Fase 2 – De 1991 a 2001 – Movimento em Nicho Tecnológico com Apoio de Parte da Rede Social

O período de 1991 a 2001 é marcado pela manutenção do regime do etanol, limitado à margem do mercado de combustíveis. O direcionamento, em grande parte, era para o anidro. A possibilidade de ser misturado à gasolina devido à política de adição só fortaleceu o aspecto de complementaridade do etanol.

O *landscape* internacional se alterava em sentido divergente do nacional. No âmbito internacional, os movimentos ambientais ganhavam força, inclusive com o Brasil sediando um importante evento, a Rio-92. A busca por um desenvolvimento sustentável e uma transição energética limpa parecia ser o foco da *dimensão da cultura* na comunidade internacional. Em nível mundial, o Protocolo de Kioto e suas ambiciosas metas de redução de emissões de gases de efeito estufa e transições socioambientais passaram a fazer parte da agenda de diversos países. Apesar da dimensão ambiental e social do regime do etanol, esses fatos não eram evidentes e nem se espelhavam nas escolhas das políticas públicas.

O desinteresse de empreendedores e dos atores do regime equiparava-se ao fraco apoio do governo, mesmo com o decreto da Lei do Petróleo e o subsequente processo de liberação de preços e abertura do mercado de combustíveis no sentido de reestruturar o regime. Esses fatos demonstram a presença da *dimensão política* ao longo dessa fase de forma ativa com a saída da tutela do Governo. Assim, à época houve uma redução da negociação e comercialização do etanol, e a percepção era de redirecionamento de esforços para o açúcar, movimento conhecido pelo regime, que procurava compensar as perdas internas, porém, agora, a partir das exportações do açúcar, já que antes era o inverso. É quando se constata o início da entrada de investidores estrangeiros no país para investir no regime, o que indica um caminho antagônico ao mercado interno. O fraco movimento na *dimensão econômica* refletiu esse cenário.

Embora de forma relativamente invisível para os atores do regime, o movimento nos nichos estava ocorrendo, e o nicho tecnológico se mantinha em desenvolvimento, principalmente na dinâmica da fase agrícola. O redirecionamento para o açúcar implicava avanços na produtividade e na

eficiência da cultura para que se atendessem as exigências de um mercado cada vez maior. Ainda se verificava a característica de complementaridade do combustível líquido etanol em relação à gasolina nessa fase. No nicho de mercado, foi apresentado o primeiro protótipo de carro da GM construído com o perfil de *flex fuel*, mesmo que ainda não economicamente viável. Esse fato, como descrito por Geels (2005), mostra que os “princípios orientadores, as especificações de desempenho e as heurísticas de pesquisa mudam” nesse período. É a *dimensão da ciência e tecnologia* reforçando o regime do açúcar, mas com foco adjacente no mercado de biocombustíveis. As regras voltam a se estabilizar em torno do regime da gasolina, e a nova tecnologia desenvolve uma trajetória técnica própria cujo desempenho melhora gradualmente, o que alteraria os rumos do regime do etanol logo em seguida.

Fase 3 – De 2002 a 2004 – Retomada do Regime sob Novas Bases

O período de 2002 a 2004 é considerado a retomada do regime sob novas bases, com o avanço da nova tecnologia, sua ampla difusão e o restabelecimento da competição com o regime estabelecido. Trata-se do avanço do nicho tecnológico e de mercado, com os carros *flex fuel* se tornando economicamente viáveis, reduzindo a especificidade, fazendo ressurgir o regime e dinamizando a indústria. A dinâmica das *dimensões da ciência, tecnologia e economia* retomam fôlego e redirecionam o mercado. O quadro 10 destaca os principais eventos que caracterizaram o período.

Quadro 10 – Fase 3 – De 2002 a 2004

Circunstâncias Externas	Problemas técnicos internos ao regime	Não se destaca nenhum problema técnico interno
	Problemas externos ao sistema	Problemas ambientais fazem parte da agenda dos países e começa a se tornar uma importante bandeira em todo mundo
		Retomada de preço do barril de petróleo
	Mudança de preferências dos usuários	O aspecto ambiental e as suas externalidade negativas passam a fomentar as preferências dos consumidores
	Jogos estratégicos e competitivos entre firmas podem criar oportunidades para novas tecnologias	A participação de empresas petroleiras e de automotores investindo em tecnologias alternativas ao fóssil
Drivers Internos	Disponibilidade de tecnologias complementares para a nova tecnologia	O nicho tecnológico se amplia com o nicho de mercado e o desenvolvimento dos carros flex fuel
	Perspectiva econômica	Carro flex fuel se torna economicamente viável
		A política de preços mínimos e medidas de financiamento ao setor impactaram positivamente no mercado interno.
		Bom desempenho do mercado interno americano ascendeu as perspectivas para o mercado nacional.
		Políticas de geração de conhecimento na fase agrícola ajudou a aumentar a produtividade da cana
	Perspectiva sociotécnica	A criação do protocolo agroambiental no estado de SP
		Desenvolvimento de P&D e C&T
		Ampliação de programas de melhoramento genético
		União do grupo Bosch e emprega Magneti Marelli para desenvolvimento dos carros flex fuel

Fonte: Autoria própria

A nova tecnologia ganha espaço, e o regime do etanol volta a ter perspectivas em um cenário de retomada de interesse pelo combustível líquido. A apresentação do primeiro carro *flex fuel* abre espaço para a difusão e para a visibilidade da tecnologia, estimulando o ambiente de competição entre o novo e o antigo regime. Ademais, as circunstâncias externas que criaram janelas de oportunidade para a difusão da inovação estimulam soluções para os problemas técnicos internos a partir do desenvolvimento do nicho tecnológico e de mercado.

O *landscape* acena com uma questão recorrente no regime no que se refere ao preço de referência do bem substituto do etanol. A recuperação dos preços do petróleo no mercado internacional retoma e viabiliza tecnologias de fundo (substitutas), que aguardam por oportunidade. No caso, a elevação do preço do competidor direto exige esforços. Além disso, as externalidades trazidas para a agenda do regime do etanol por *outsiders* ambientais se tornam grupos de pressão social em escopo mundial, o que acaba por trazer efeitos internos relevantes.

Outra circunstância externa ao regime, mas que gera impactos diretos ao etanol, são as escolhas de caminhos de transição rumo a uma economia de

energia baseada em energias limpas. As empresas atuantes no ramo do petróleo e do automobilismo percebem não apenas uma oportunidade de mercado, mas uma saída viável rumo à sustentabilidade e adequação às novas regras ambientais que o mundo vem impondo. O aspecto interno ao regime que permite descrever a dinâmica dessa fase e a torna visível aos agentes do próprio regime e aos outros agentes dos demais regimes sociotécnicos é o desenvolvimento do carro *flex* economicamente viável. O apoio das redes de agentes a diferentes regimes, tais como o grupo Bosch e a empresa Magneti Marelli para o desenvolvimento do modelo, indica um nicho de mercado em ebulição e que não perdeu seus agentes. Começa a retomada da produção para atender o mercado demandante, e a fim de assegurar a estabilidade do setor produtivo, o governo adota políticas de preços mínimos e medidas de financiamentos do regime para atender essa estratégia.

O nicho tecnológico continua em movimento, principalmente na fase agrícola. Esse aspecto permanece com enfoque em programas de melhoramento genético e aumento de produtividade a partir de uma rede de agentes públicos e privados em P&D.

O cenário é reforçado por aspectos positivos como a criação do Protocolo Agroambiental no estado de São Paulo, a concessão de subsídios para a aquisição de carros a etanol e a Lei do Petróleo e seus efeitos sobre o regime dos combustíveis líquidos. A *dimensão política* é retomada na direção do regime. Assim, fatores múltiplos e multiníveis acabam por devolver o atributo de bem substituto ao etanol.

Fase 4 – De 2005 a 2010 – Carros *Flex Fuel* assumem a liderança

O ano de 2005 dá início à Fase 4 com a efetiva substituição dos veículos automotivos a gasolina pelos a etanol, indicando que o regime assume a liderança e que há uma nítida mudança de rumos em direção à nova tecnologia. Em 2005, as vendas de carros *flex* superam as de veículos a gasolina, e os carros exclusivamente a etanol param de ser produzidos. As cinco *dimensões* são acionadas de forma vigorosa nessa fase, indicando alinhamento da *ciência*, *economia*, *cultura*, *tecnologia* e *política* na direção do regime do etanol. O Quadro 11 destaca a Fase 4 do regime e as características dos eventos.

Quadro 11 – Fase 4 – De 2005 a 2010

Relação custo/desempenho do novo melhora gradualmente com as inovações incrementais	Carros exclusivos a etanol param de ser produzidos	
	Anúncio de investimentos na construção de 89 usinas	
	Preço do etanol é viável se consumo e produção estiverem próximos	
	Uso de etanol supera a gasolina, mas queda no preço do petróleo dificulta perspectivas	
Domínios sociais podem consistir de muitos nichos de mercado, com diferentes critérios de seleção. A nova tecnologia precisa de tempo para conquistar esses nichos de mercado.	Produtividade da cana no Centro-Sul é de 80T/ha	
	PNE menciona etanol	
A construção de um novo regime sociotécnico pode requerer uma ampla transformação, que leva tempo, como:	Nova infraestrutura	
	Novas práticas de usuários	Acordos entre Brasken e outras empresas para comercializar plástico verde
		Proposta de integração do etanol de 1G com o de 2G e com a cogeração de energia
	Novas políticas	Criação da Petrobras Biocombustíveis
		Restrição de compra de terras por estrangeiros
	Adição de etanol a gasolina chega a 25%	
A intensidade de capital exigida	Novas organizações - Memorando de entedimento entre Brasil e EUA para estimular produção em outros países	
	Participação de capital estrangeiro inicialmente, e da Petrobras ajudam o regime, mas crise internacional dificulta crédito e caem as entradas de recursos externos.	

Fonte: Autoria própria

O *landscape* apresenta fatos que reforçam a escolha pelo regime no Brasil. A elaboração da política energética americana indicava apoio público aos renováveis, além de aumentar a adição do combustível à gasolina. As discussões quanto à transição rumo à sustentabilidade ditaram o tom da substituição energética. Brasil e EUA passaram a estimular a produção de etanol no mundo com o objetivo de criar um mercado estruturado e estabelecido. Eventos mundiais tais como Protocolo de Kioto e a Convenção do Clima reforçaram o movimento, a ponto de o etanol brasileiro ser considerado um combustível avançado. Outro evento importante foi a variação de preço do petróleo no período, que teve sua fase crítica com a crise internacional e a elevação dos preços em 2008. Ao mesmo tempo, entretanto, esse evento do *landscape* trouxe consequências severas para o financiamento do regime, que além de contar com recursos externos (dívidas dos usineiros), ainda testemunhou o aumento de estrangeiros que reviram expectativas em função da baixa liquidez do mercado internacional.

Inicialmente, o regime ganhou força com a ampliação do parque industrial e com a identificação, por meio de estudos técnicos, de que o combustível renovável se tornaria viável se consumido próximo à região de produção (indicando políticas públicas), e com a demanda superando a oferta. Medidas

positivas como a criação da Petrobras Biocombustíveis e a elevação da produtividade da cana culminam na adição do etanol à gasolina em 25%. É a adoção da adição do combustível atuando em paralelo com o uso do etanol hidratado, mostrando ao mercado os direcionamentos das políticas públicas.

Para o nicho de mercado, o período foi profícuo, com estudos que revelaram o desenvolvimento do plástico verde e sua ampliação de uso e de perspectivas no mercado global. O nicho tecnológico caminhava na mesma direção de ampliação de uso com a integração do etanol de primeira e de segunda geração, e ainda com os estudos sobre o etanol de terceira geração.

Aparentemente, o regime havia atingido o patamar de substituto da gasolina com o apoio do mercado nacional e internacional, além das iniciativas públicas e privadas. Ademais, os eventos do *landscape*, regime e nicho se estruturaram de forma harmônica em torno da escolha do etanol como uma solução energética permanente. O próprio PNE 2030 confirma esse quadro ao incluir o etanol no planejamento energético nacional de longo prazo. Era o etanol assumindo a liderança do mercado de combustíveis líquidos em relação à gasolina, com os carros *flex* também assumindo a liderança em relação aos carros a gasolina. A substituição parecia ser um fato difícil de alterar.

Fase 3 – De 2011 a 2015 – Novo e Antigo regimes Passam a Coexistir

A fase se inicia com alguns dados do regime que indicavam a presença de problemas. Apesar de os carros *flex* se tornarem a massa de venda na economia, o que se verifica é queda da produção, perda de empregos na indústria, redução de plantas em operação e aumento do endividamento das usinas. Esse cenário de queda inicial foi seguido de uma pequena retomada posterior. O descompasso levou a uma situação de reversão, de país exportador para importador de etanol, e o avanço no mercado convencional da gasolina fez com que a nova tecnologia entrasse em competição com o regime estabelecido. No Quadro 12, encontram-se os principais eventos que levaram ao recuo para a Fase 3 e que questionam a existência do regime como uma solução finalista.

Quadro 12 – Fase 3 – De 2011 a 2015

Quadro 12 – Fases 1 a 3 – 2011 a 2016		
circunstâncias externas	Problemas técnicos internos ao regime	
	Problemas externos ao sistema	Questões ambientais continuam reforçando os negócios para os renováveis
		Crise fiscal do Brasil
	Mudança de preferências dos usuários	Sem alterações perceptíveis, a não ser na questão de preço. Etanol passa a se tornar não competitivo no mercado nacional pelas políticas adotadas de preços para gasolina.
	Jogos estratégicos e competitivos entre firmas podem criar oportunidades para novas tecnologias	Investimentos em plástico verde só ampliam no país.
		Acordos e join ventures indicam o mercado em ampliação
		Carros elétricos são competidores potenciais
Disponibilidade de tecnologias complementares para a nova tecnologia		
Drivers Internos	Perspectiva econômica	Política de preço do governo para petróleo dificulta mercado para etanol
		Queda da produção de etanol
		Venda de carros flex chega a 86%
		Política de internacionalização do etanol adotada pelo Brasil e EUA leva a resultados positivos
		Uso de etanol no mercado de aviação
	Perspectiva sócio-técnica	Diversas empresas do regime automotivo produzem carros flex fuel para atender mercado nacional
		Lançamento de selo energia verde
		Brasil indicado pela OCDE como exemplo entre os BRIICs em tecnologias verde
Lançado foguete brasileiro a etanol com sucesso		

Fonte: Autoria própria

As dinâmicas da Fase 3 destacam elementos de circunstâncias externas e *drivers* internos que permitem analisar seu movimento. As circunstâncias externas que criam janelas de oportunidade para a difusão da inovação indicam problemas técnicos internos ao regime, tais como queda de produtividade e carros usados basicamente no modo gasolina. Em parte, o *landscape* responde por esse ambiente na medida em que a queda no preço do petróleo e a crise fiscal do Brasil dificultam o regime.

A crise internacional e seus impactos no país, a queda do preço do petróleo e a competição internacional com os carros elétricos indicam possibilidades de diferentes caminhos. O uso da política de preços para o regime da gasolina administrados pelo poder público como instrumento de controle de inflação de custos também cria distorções que praticamente impedem a competitividade do etanol.

Apesar dessas circunstâncias, o debate ambiental no mundo só faz aumentar a busca por alternativas energéticas limpas. A presença de empresas estrangeiras no mercado continua indicando que o debate ambiental é um propulsor do movimento de empresas de capital externo. Por isso, acordos e *joint ventures* indicam que o mercado está em ampliação, e que os investimentos em plástico verde e outros bioprodutos derivados da cana-de-açúcar estão ganhando impulso nos mercados nacional e internacional. É preciso ressaltar a presença de eventos culturais nesse período que, por meio de divulgação, procuravam confirmar o etanol como solução para a transição sustentável.

Os *drivers* internos, na perspectiva econômica, confirmam a política de preço para a gasolina, seu competidor direto, como um fator limitante para o desempenho do mercado. Embora os carros *flex* representassem a maior parte das vendas, a possibilidade de substituição pela escolha do consumidor criou um ambiente de descompasso para o etanol frente ao competidor, ao mesmo tempo em que trouxe diferentes empresas automotivas que passaram a adotar a tecnologia no país.

Segundo Rip & Kemp (1998), a perspectiva sociotécnica indica que a difusão é um processo de criação de vínculos entre elementos heterogêneos. No caso do etanol, as pesquisas ampliaram a possibilidade de atuação do etanol, com o reaproveitamento em toda a cadeia produtiva da cana. Tal fato permite visibilidade junto a órgãos internacionais no que se refere aos usos dos coprodutos do regime, ampliando sua viabilidade econômica e seu uso em diferentes mercados, como no mercado de aviação e no lançamento do foguete brasileiro a etanol.

Nesse período, as pesquisas sobre o uso do etanol como combustível de segunda geração ganharam adeptos no Brasil e no mundo, inclusive com o apoio de políticas públicas direcionadas para o regime do etanol a partir de P&D e recursos do BNDES, FINEP e outros órgãos. A não clareza dos mercados nacional e internacional quanto à tecnologia vencedora mantém disputas e concorrências, o que torna os esforços em diversas frentes um passo importante.

Entender que o aumento de adeptos e agentes leva à irreversibilidade de caminhos permite o questionamento quanto à efetiva estabilidade do regime. O regime se estabeleceu na flexibilidade do uso do combustível, reduzindo a especificidade do ativo para o consumidor. Mas, ao mesmo tempo, essa abertura

não direciona o regime. Dessa forma, o etanol se encontra na Fase 3, em que a competição econômica desempenha seu papel mais importante, mas não se traduz no regime do etanol pela substituição. Mesmo mantendo as *dimensões da ciência, tecnologia, cultura, economia e política* ativas nessa fase, a incerteza se traduz no questionamento quanto ao seu papel de substituto ou complementar ao regime competidor.

6.3. Conclusão

A análise teórica apresenta de forma estruturada as forças e fraquezas do ambiente multinível ao longo do tempo. A retrospectiva de caminhos baseada nas fases de transição do sistema sociotécnico do etanol indica uma trajetória que amplia a visão para além do surgimento e da difusão de uma nova tecnologia. Não se trata apenas do uso da MLP como instrumento de validação de sucesso de uma inovação, mas da compreensão mais ampla de que o sucesso de uma novidade é modulado (fases) e orientado por processos dentro do nicho, por desenvolvimento no regime e apoio do *landscape*, que se reconfiguraram ao longo do tempo.

As inovações são produzidas com base em alguns conhecimentos e capacidades existentes e orientadas para os problemas do regime. Dessa forma, conhecer as fases é importante para que sua funcionalidade seja avaliada com base nos regimes existentes, no nicho tecnológico e na paisagem que se contempla. Assim, essa estrutura indica os desafios que o regime vem passando mesmo antes de sua concepção enquanto tal (Proálcool).

O processo de transição constata que o regime do etanol não foi capaz de romper com o padrão de tecnologia existente, mantendo assim a coevolução de múltiplas tecnologias. Esta constatação ocorreu porque: i) as inovações incrementais se sobrepuseram às radicais, ii) verifica-se a existência de complementaridade entre as tecnologias, iii) de forma objetiva, as ligações entre as técnicas adotadas (gasolina x etanol) influenciaram mais e iv) há relação simbiótica entre a “velha” e a “nova” tecnologia.

Essa constatação será aprofundada no próximo capítulo, no qual serão desenvolvidas a análise comparativa das abordagens e a discussão. De posse da estrutura teórica e empírica, a pesquisa refletirá a respeito dos processos pelos quais o regime do etanol passou e se encontra hoje. A comparação entre

as análises permite agora cruzar informações e avaliações sob diferentes enfoques, de forma a responder as questões apresentadas nesta tese.

7. Resultados

7.1. Introdução

Este capítulo objetiva discutir as evidências examinadas na pesquisa de acordo com os enfoques empírico e teórico, levando, assim, a uma reflexão a partir das análises realizadas nos capítulos de aplicação da MLP na estrutura longitudinal via mapa visual. Para tanto, esse capítulo discute as implicações da trajetória sociotécnica do etanol no Brasil e os fatores que levaram ao cenário atual conforme o enfoque das abordagens apresentadas.

7.2. Comparação entre as Análises Histórica e de Fases

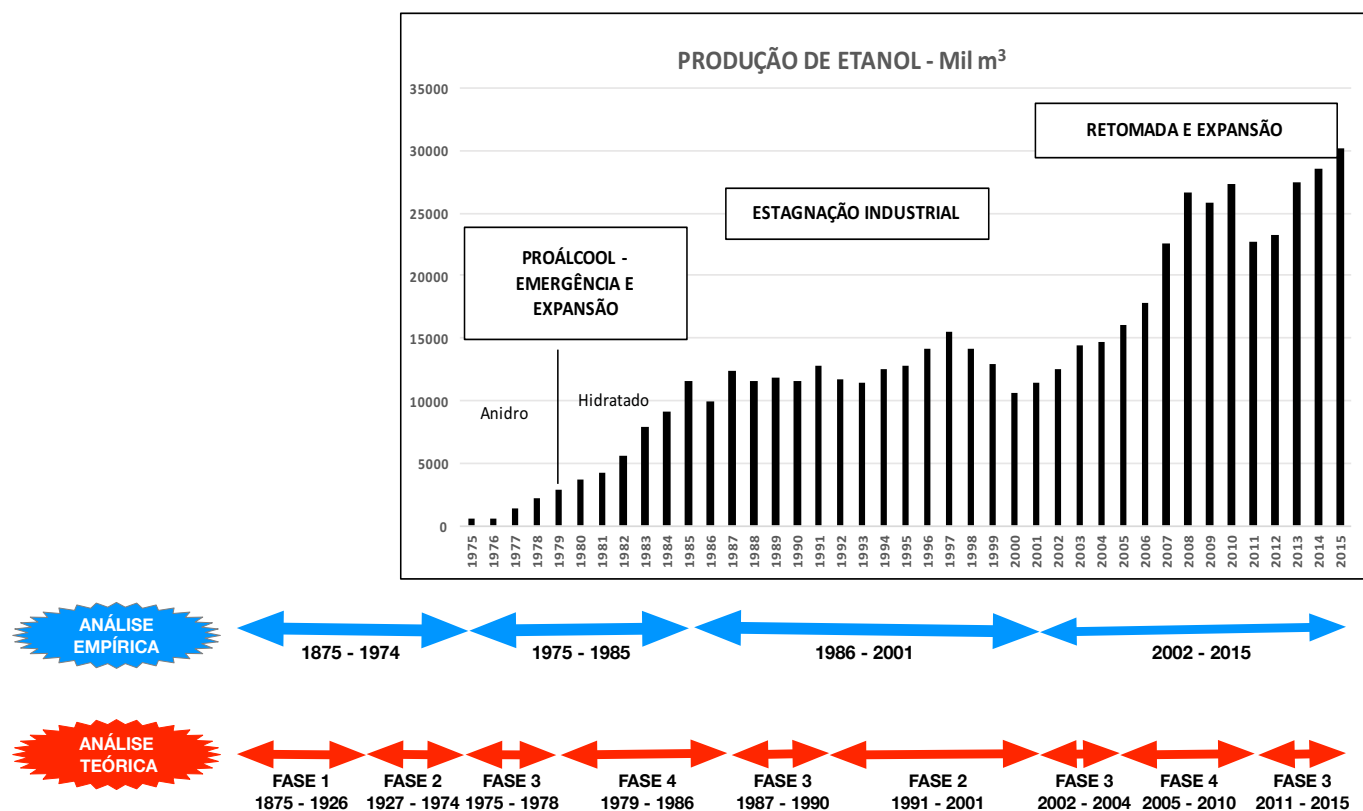
As descrições das abordagens empírica e teórica são instrumentos de análise que visam rever o caminho de transição que o regime do etanol percorreu ao longo de sua trajetória. A duplicidade no enfoque da investigação permite identificar, com maior clareza, os elementos que compuseram o processo de transição do regime do etanol, conforme apresentado na Figura 15. O conhecimento detalhado da transição do sistema sociotécnico, unido ao uso de lentes distintas, permite refletir sobre essa trajetória, o que norteia e motiva o presente trabalho de tese.

O alinhamento histórico se desenvolve a partir de uma estrutura que identifica no volume de produção configurações para a indústria do etanol. Os dados do volume de produção, por sua vez, indicam um movimento de ciclo de vida que direcionam o regime para um crescimento em marcha. Já a análise das fases da inovação procura identificar a regularidade no processo de implementação e configuração de uma inovação. Por conseguinte, permitem a partir da identificação do processo de transição sociotécnico, com suas redes de agentes, reavaliar o aparente sucesso sem precedentes do etanol.

Nesta etapa, portanto, a discussão é moldada pela contraposição das abordagens. A análise comparativa entre a estrutura teórica e a empírica construídas permite identificar alguns vetores resultantes da solidificação da infraestrutura do combustível automotivo etanol. Esses vetores foram selecionados e estudados por apresentarem destaque na análise em questão. O elemento “relevância” foi identificado conforme: i) a tangência no enfoque das abordagens; ii) ter apresentado uma divergência de análise; e iii) ser um elemento da MLP que merece ênfase. Por conseguinte, tendo como base essas

questões, são apresentados os fatores que podem contribuir para moldar desafios e oportunidades no regime.

Figura 15 – Análise Comparativa das Estruturas Empírica e Teórica



Fonte: Autoria Própria

Combustível automotivo como caso de Sucesso

Identificar o sucesso requer rever se o regime se consagra como um verdadeiro substituto de seu competidor direto, o regime da gasolina. O que se verifica no processo de transição do etanol é um movimento muito mais caracterizado pela complementaridade do que pela substituição propriamente dita. O desenvolvimento tecnológico permitiu que o sistema de adição do combustível garantisse sua existência em diferentes momentos, mas a especificidade de escolha dada aos agentes consumidores pelo nicho tecnológico (carros *flex*) acabou por abrir uma janela de oportunidade para manter o regime da gasolina em paralelo. Esse cenário permite ainda pensar na eventualidade de que apareçam, ou se fixem, outros regimes, como por exemplo, o de carros elétricos.

A possibilidade de escolha de mix de combustível esbarra em aspectos muito maiores em que o *landscape* tende a ser determinante. A gasolina tem seus preços dados de acordo com o mercado internacional e, também, por políticas macroeconômicas, muito mais amplas que o do próprio regime de combustíveis líquidos. Nesse sentido, esse mercado é uma variável exógena para os agentes. Não obstante, eventos (cultura), escolhas (mercado) e tecnologias no ambiente internacional podem mover agentes e instituições em direções propícias, ou não, ao combustível. Relatório da IRENA, IEA e REN21 (2018) podem ajudar a entender essa influência no regime. Esse relatório indica que as projeções das agências colocam um crescimento em marcha no mundo para a energia renovável no consumo final no transporte de biocombustíveis de 4%, em 2015, para 22%, em 2050. As informações trazidas incluem ganho de eficiência, investimentos e desenvolvimento tecnológico. Esse movimento pode estimular o regime a direcionar esforços, já que existem múltiplos caminhos de transição. O cenário, portanto, é motivador, mas o que se tem ainda hoje é a situação de complementaridade.

O caminhar histórico indica uma revisão dos discursos acadêmicos de forma a ser considerado, de fato, como um caso de sucesso, uma vez que, que a própria estrutura empírica confirma o status crescente do uso do combustível. Outro questionamento que se coloca é se esse uso é fundamentado em uma escolha direcionada para transição em razão da sustentabilidade. No caso, pouco se fez no país para que o agente consumidor relacionasse o combustível

a ganhos ambientais. Uma importante questão é da paridade aceita no mercado de que o preço do etanol só é atrativo se for de até 70% do preço da gasolina. Fato esse, que configura, pela estrutura teórica, como pertencente a fase três: competição da nova tecnologia com a convencional, em que o desempenho econômico é o quesito mais importante. Nesse caso, a substituição gradual do regime estabelecido requer inovações incrementais para melhoras da relação custo/desempenho, ou até mesmo inovações radicais (por exemplo, motores exclusivos a etanol). Além disso, são requeridas transformações no regime sociotécnico, com novas práticas de usuários, novas políticas e organizações. Todos esses fatores são decisivos para uma transição com viés sustentável.

A existência dos coprodutos do etanol pode contribuir muito nesse processo. Os ganhos se ampliam com a possibilidade de uso da biomassa para outros fins, tal como o E2G, ou, até mesmo, o desenvolvimento de novas fronteiras, com as biorrefinarias⁴⁴. No caso das biorrefinarias, a cana-de-açúcar se torna o alvo e não mais o etanol, já que o enfoque muda e passa a ser o aproveitamento sustentável da biomassa. Todavia, a transição nessa direção ainda está em processo de desenvolvimento para ganhos de escala, produtividade, eficiência e ganhos de integração. Nesse cenário, é preciso que o nicho tecnológico se alinhe com o nicho de mercado de forma mais efetiva.

Assim, considerar o etanol como um combustível de sucesso em razão de seu baixo custo, baixo nível de emissões e por ser entendido como um combustível avançado, é possibilidade de uma definição. Entretanto, esta pesquisa permite, a partir da estrutura teórica, indicar que mesmo com todo o processo de transição percorrido pelo combustível, seu uso permanece periférico e requer ajustes no regime, nicho e reforços do *landscape* para se confirmar como um verdadeiro sucesso.

Participação das Políticas Públicas

Os diversos trabalhos analisados por esta tese indicam que as políticas públicas sempre foram usadas como instrumento importante para a fixação do regime. Tanto a análise empírica como teórica confirmam este aspecto de

⁴⁴ Indústria complexa em processo de formatação que se utiliza de biomassa (animal, vegetal e rejeitos orgânicos) para gerar energia, biocombustíveis e químicos (BOMTEMPO, 2010)

participação do Estado na introdução de uma inovação em um ambiente de *lock in* tecnológico.

A análise teórica visa ampliar essa visão. É fato que as políticas públicas são capazes de efetivamente gerar produção/oferta, no entanto, gerar volume produtivo não é o mesmo que atuar como indutoras de uma real substituição de regimes, o que garantiria ao etanol um papel de regime dominante.

Outra confirmação das abordagens, é quanto o papel que a instabilidade das políticas gera na indústria do etanol. Fica claro, na análise, como as mudanças de incentivos podem ampliar ou reduzir o volume produtivo e os investimentos no mercado. Ainda, a análise teórica, permite visualizar a sutileza do movimento no nicho tecnológico e de mercado ao longo do tempo, que pôde contar, ou não, com o apoio das políticas públicas. A iniciativa privada, de forma dinâmica e significativa, manteve o nicho com sua capacidade de inovação operante, por meio de seus muitos atores. Destaca-se, pelo sistema sociotécnico, que parte considerável dos agentes sociais estavam ligados ao poder público. Fato esse que não diminui a sua atuação e participação no nicho. Ainda que o agente público tenha capacidade de definir políticas para o melhor desempenho da inovação, só o conjunto do sistema, com os agentes privados e sua dinâmica de mercado, é capaz de efetivamente garantir a sua difusão generalizada. Essa percepção é importante para que se entenda situações como o não desaparecimento do regime do etanol em momentos como o do término do Proácool, o seu resurgimento com os carros *flex*, e, na atualidade, o reaproveitamento de coprodutos na cadeia produtiva e os carros elétricos híbridos a etanol.

Desenvolvimento do Sistema Sociotécnico

Geels (2005e) chama atenção para o alinhamento gradual dos aspectos sociotécnicos que tornam o nicho mais estável. Os exemplos seriam as preferências dos usuários em consonância com as características técnicas, a emergência dos mercados e suas instituições, e a legislação de apoio. Esses fatores aparecem tanto na análise empírica como na teórica.

A estabilidade crescente no sistema sociotécnico é reforçada pela invariabilidade no conjunto de regras que orienta a ação dos atores, nos processos de aprendizagem e no desempenho técnico. Nesse ponto, as

abordagens se distanciam. A análise teórica permite identificar que o uso sistêmico não ocorreu para o regime do etanol, pois até hoje há uma indefinição de caminhos. Na MLP, em nichos, os atores empregam muito esforço para se articular e defender regras; já no regime as regras devem ser mais fortes e possuir efeitos de coordenação nas atividades e práticas dos agentes de forma a reorientá-los fortemente. No caso do regime do etanol, a fraqueza nas regras de substituição, acompanhada dos estímulos ao regime da gasolina ao longo do tempo, leva a percepção dos agentes ao lugar da dúvida.

Alguns eventos do mapa visual destacam essa fragilidade do regime que a estrutura teórica permite em razão do processo de causalidade das fases. A exemplo: o fato dos carros serem *flex* e, contudo, se encontrarem travados na gasolina por questões de mercado. Ainda, destaca-se que o processo se limitou ao ambiente de carros leves e não caminhou para o transporte de cargas, mesmo sendo este um mercado importante em um país como o Brasil⁴⁵, com o peso que o modal rodoviário apresenta. As limitações de uso do etanol são um efeito desse não emprego sistêmico. O cenário, portanto, coloca o regime do etanol e o seu sistema sociotécnico em um ambiente de instabilidade.

Avanços no Nicho Tecnológico

Os nichos tecnológicos ajudam a construir o regime por fornecer elementos para a sua estabilização, garantir processos de aprendizagem, articulação da rede social e ainda apoio financeiro. Tanto o nicho tecnológico quanto o de mercado são as bases para a construção do regime. Quer seja de forma parcial, ou sobreposta, eles indicam as soluções adotadas a partir das janelas de oportunidade que são criadas pelos regimes.

No caso do etanol, a solução dos carros com motor *flex*, possibilitando o uso de gasolina ou etanol em qualquer proporção, traz questionamentos no próprio nicho tecnológico. A definição da tecnologia apresentada pelo Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE, 2017) já indica problemas. Para o

⁴⁵ Um caso de interesse é o da Suécia, pioneira no uso de ônibus em grande escala movidos a etanol - fabricados pela Scania (empresa Sueca) - para transporte urbano. A substituição do diesel pelo etanol teve início em 2007 com o projeto *BioEthanol for Sustainable Transport* (BEST). Ainda, mais recentemente, a Scania adaptou o motor de seu caminhão DC13-157 de modo que o etanol pudesse ser utilizado. Apresenta-se, assim, um caso de promissor sucesso no uso de etanol em veículos pesados (ÚNICA, 2011; CEISEBr, 2018).

INEE, os motores *flex* são motores a gasolina que também operam com etanol, graças a ajustes do software que controla o motor e, em razão disso, não se conseguem aproveitar as propriedades do etanol. Essa definição já indica a dificuldade do processo de transição em que há divergências entre nicho tecnológico e nicho de mercado.

O desenvolvimento do nicho tecnológico permanece em ebulição indicando uma tendência de aumento da produção, sendo estes alguns dados relevantes a presença de sistemas integrados na cadeia produtiva, melhoras de produtividade, menor uso de terras, dentre outros. Ainda assim, o etanol aparece como um combustível complementar a gasolina. Desenvolvimentos de nicho representam riscos e incertezas, mas principalmente oportunidades de ganhos a longo prazo. Dessa forma, aqui cabe destacar o papel do apoio às redes sociais dos nichos tecnológicos.

Os avanços no nicho tecnológico no ambiente mecânico dos carros é um limitador de seu reconhecimento por parte dos consumidores como uma solução efetiva. Algumas premissas de preferências do consumidor (privado e público) indicam a dificuldade de atingir o mercado para além de uma relação de preço. Primeiro, aponta-se o consenso na sociedade de que o etanol equivale a 70% da gasolina em eficiência, indicando escolhas financeiras. Em segundo, a não percepção do consumidor das qualidades ambientais da escolha que está sendo feita ao se usar o etanol. E em terceiro, a política de preço do Governo para gasolina estar relacionada a questões macroeconômicas e de *landscape*, não respondendo a regras de mercado como o etanol, o que mantém a competição de forma desequilibrada. Como as transições para a sustentabilidade ameaçam as posições econômicas e a estrutura de poder do regime estabelecido, é preciso enfrentar no nicho tecnológico essas forças e sobrepor-las.

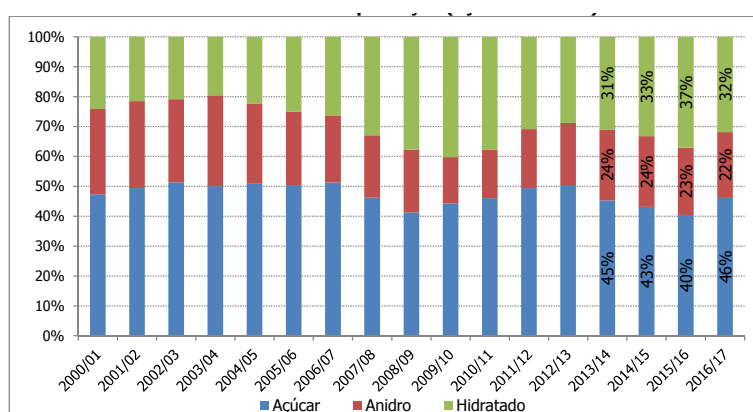
Enquanto o nicho tecnológico, em função das questões mecânicas, é questionado, o nicho tecnológico agrícola é bem avaliado a partir das abordagens teórica e empírica aqui analisadas como um fator de diferenciação. Constata-se, a partir da MLP, que pouco foi feito em relação à eficiência e percepção de mercado dos agentes em relação aos motores, mas o ambiente de P&D e C&T agrícola sempre estiveram presentes. Esse dado pode ser atribuído à força que o regime da cana-de-açúcar possui (o Brasil é o terceiro

maior produtor) e às instabilidades do regime do etanol frente ao competidor gasolina ao longo do tempo.

Perspectiva de mercado

A perspectiva de mercado para as duas abordagens é um fator de destaque no regime. Assim sendo, alguns dados comparativos permitem, de forma geral, confirmar os entraves no caminho do etanol. A produção comparativa do etanol anidro com o hidratado espelha os caminhos e as taxas de adição do combustível na gasolina, já a comparação com o açúcar indica as escolhas no processo produtivo. O Gráfico 20 compara o volume de produção e os dados indicam a preferência pelo açúcar, quando comparado com o hidratado, e, também, a taxa de troca entre anidro e hidratado, o que confirma um mercado sem tendência clara. A escolha pelo hidratado poderia atestar o direcionamento do carro *flex* para o etanol como a opção de combustível, no entanto, os dados não permitem realizar essa afirmação de maneira clara.

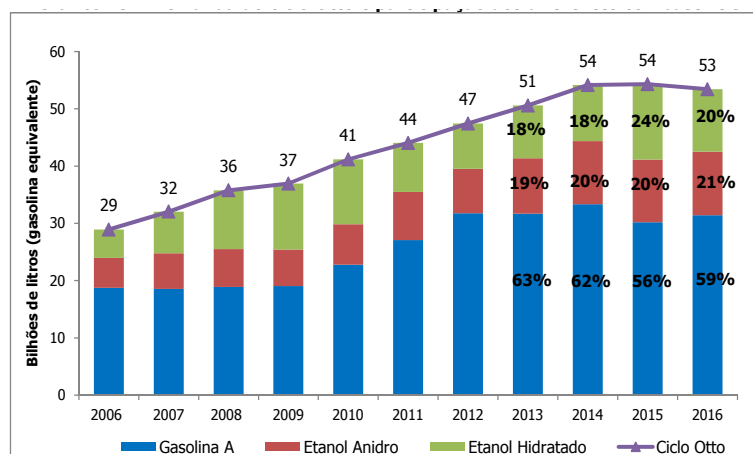
Gráfico 20 – Volume de Produção do Etanol Anidro e Hidratado - Mix de produção (Açúcar e Etanol)



Fonte EPE, 2018.

A escolha pelo etanol hidratado também não se confirma quando comparado ainda com o Gráfico 21, demanda dos combustíveis, em que os percentuais de demanda pelo anidro e hidratado se encontram muito próximos. A preferência do consumidor pela gasolina permanece e o hidratado, de forma periférica, se mantém, uma vez que o anidro é a parte em adição à gasolina por determinação do Governo.

Gráfico 21 - Demanda do Ciclo Otto e Participação dos Diferentes Combustíveis



Fonte: EPE, 2016

Nos últimos dez anos, a demanda ao longo do tempo pela gasolina se elevou e o etanol caminha entre subida e descida na mesma tendência de 40% no mercado. Esse item confirma a estrutura teórica de fases pela indefinição para o regime do etanol, sob o ponto de vista do consumidor e do mercado ofertante. O crescimento do mercado de carros *flex* garante aumento de demanda pelo etanol (anidro, principalmente) ao longo do tempo. Além disso, como não há perspectivas para aumento da capacidade de refino e há estagnação de investimentos no regime do etanol, as expectativas são de aumento de importação tanto para o etanol quanto para a gasolina. Em 2017 o Brasil foi deficitário em etanol na balança comercial. Esse quadro se estabelece mesmo em um ambiente em que o *landscape* pressiona por caminhos mais sustentáveis. A perspectiva de mercado precisa encontrar reforços no regime e nicho para que, junto com o *landscape* fortaleçam o etanol como solução sustentável.

Outro fator de destaque na perspectiva de mercado se refere à tangência entre o regime do etanol e o regime automobilístico. O desenvolvimento dos carros *flex* em massa foi, e ainda é, um fator determinante para o resurgimento do regime do etanol. No entanto, a retrospectiva histórica e de fases permite constatar a real fragilidade dessa opção, uma vez que a transição sustentável pode ameaçar posições econômicas e modelos de negócios já estabelecidos. Desta forma, as empresas dominantes encontram maneiras de proteger seus

interesses e retardar a velocidade da transição. No caso do combustível etanol, essas estratégias são cruciais para influir em sua permanência no mercado. Enquanto a solução tecnológica encontrada pelo regime automotivo reforça a possibilidade de substituição, essa também retarda a velocidade da transição, enfraquecendo o direcionamento para os carros a etanol. Isto porque retira do regime do etanol a sua “força” ao entregar às regras de mercado (empresas e consumidor) a decisão de escolha de combustível. Ainda, se a escolha fosse baseada em critérios de eficiência, poderia impulsionar inovações incrementais e radicais no regime do etanol, levando-o a uma posição de predominância. Porém, a decisão está submetida a múltiplos fatores fora do alcance do regime do etanol, estes verificados ao longo desta pesquisa, como: o regime dominante; as regras de mercado; as disputas energéticas competitivas entre nações; questões econômicas nacionais e internacionais; dentre outros. Este cenário de incerteza do direcionamento do combustível etanol abre janelas de oportunidades para outras tecnologias, como os carros elétricos e híbridos. Logo, nessa disputa ainda em aberto, o regime automotivo é um importante aliado competitivo.

Ainda que ações e instrumentos tenham sido empreendidos no regime pelo Governo para fomentar o mercado ao longo do tempo, o resultado não é sentido de forma efetiva. O desenvolvimento e expansão do regime indicam não haver uma estratégia clara nas cinco dimensões de política, economia, sociedade, cultura, ciência e tecnologia para o renovável. Mesmo a “pegada” ambiental com toda a força do *landscape* não confirma isso. Portanto, o mercado foi, e vem sendo condicionado por ações pontuais, em alguns momentos não articuladas e com interesses aparentemente divergentes, que caracterizam esse cenário de indefinição e reforçam a situação de complementaridade.

Landscape

As trajetórias se situam no *landscape* como uma estrutura ou contexto externo ao regime. Na conjuntura do etanol, tanto a estrutura empírica como a teórica destacam a importância dos eventos desse nível no contexto tecnológico externo mais amplo. Destaca-se que pelo fato desses eventos não poderem ser alterados pela atuação ou vontade dos atores do regime assume-se um aspecto de independência com a qual os agentes precisam lidar.

No caso do etanol, o regime da gasolina, seu competidor direto, é dado em parte pelo mercado internacional e em parte pelas políticas macroeconômicas nacionais. O regime do açúcar, seu complementar, também tem sua trajetória determinada pelo movimento das *commodities* no mercado internacional. Além destes aspectos de mercado, o *landscape* é heterogêneo e conta com valores culturais, normativos, problemas ambientais, escassez de recursos, guerras, coalizões políticas, etc. Dentro deste contexto, verifica-se a questão ambiental como um importante aliado para possíveis escolhas internacionais que possam direcionar e impulsionar o mercado do etanol.

Outro fator de destaque é a atuação e o apoio exercido pelos lobbies empresariais. No presente caso, evidencia-se a força contrária da indústria do petróleo frente aos movimentos de potencialidades que o etanol pode gerar dentro deste quadro. Esta relação é um dado importante no *landscape*, uma vez que, unindo as pressões e a participação das empresas químicas e automobilísticas, alguns rumos podem ser indicados no curto e longo prazo. Um exemplo, é a inovação do plástico verde, uma das tendências que acena de forma positiva para o regime.

Existem ainda movimentos de grupos sociais internacionais que direcionam esforços e orietam rumo aos renováveis, ajudando a construir o curto prazo a partir de perspectivas claras de desenvolvimento para o longo prazo. É o caso do acompanhamento de grupos sociais internacionais de pesquisa que monitoram as decisões estratégicas dos países e das empresas em direção a tecnologias renováveis. Ou ainda, de acordos internacionais relacionados à questão climática que traçam objetivos comuns para a promoção do desenvolvimento sustentável. Esses movimentos do *landscape* possuem um importante papel de acionar o regime e o nicho, uma vez que, o etanol brasileiro, diferente de outros países, não compete com alimentos (ocupa apenas 2% da área agrícola do país), possui alta rentabilidade (comparada com o milho EUA) e sua capacidade de reduzir emissões de CO₂ da gasolina é superior a 60%.

Assim, o *landscape*, que em muitos momentos representou um fator decisivo de retrocesso, em outros foi decisivo para o estímulo. Os choques do petróleo e as crises econômicas representam fatores de mudanças relativamente rápidas de ajuste. Já a questão ambiental representa um fator, dentre outros, de mudanças relativamente lentas do ambiente externo. No caso

do etanol, estas questões culturais e ideológicas ambientais vêm ganhando cada vez mais adeptos formais (regras) e informais em todo mundo. Assim, a análise das abordagens destaca o papel deste nível e sua importância para um possível direcionamento de trajetórias tecnológicas rumo às transições sustentáveis.

As Dimensões e suas Flutuações

O mapa visual, com a inclusão das cinco dimensões, ampliou a estrutura de análise sinalizando períodos de expansão e contração de acordo com a difusão do etanol. Os subsistemas ou dimensões (ciência, tecnologia, cultura política e economia, FREEMAN & LOUÇÃ, 2001) possuem características próprias e distintas, não obstante, suas atividades são coordenadas e alinhadas entre si para a introdução da inovação. Desse modo, as flutuações subsequentes nas dimensões resultaram em trajetórias, para o etanol, no seu processo de transição, em direção à sustentabilidade que puderam ser revistas.

Com base na revisão histórica, inicialmente constata-se apenas a presença das dimensões ciência e tecnologia, no nicho, e eventos, no *landscape*, como fontes para o desenvolvimento da inovação, o etanol. A introdução dessa novidade, a partir do nicho, encontrou ambiente favorável pelas dificuldades que o regime do açúcar enfrentava à época. Nesse momento, a dimensão econômica é acionada no próprio nicho e encontra na dimensão política respaldo para se efetivar como um regime, é o surgimento do Proálcool em 1975. Nesse processo de fixação do regime do etanol com o apoio da dimensão política, tem-se o alinhamento e coordenação das demais dimensões, quer seja no regime, no nicho ou no *landscape*. Seu movimento se mantém “vivo” até as dimensões econômica e tecnológica indicarem, com o *landscape*, mudanças de rumo e não adequação do etanol aos anseios da sociedade, o que leva ao fim do Proálcool em 1991. Destacam-se, à época, diversos fatores das dimensões responsáveis pelo seu encerramento, como por exemplo: a crise fiscal, a recuperação do preço do açúcar no mercado internacional, a falta de recursos para o regime e problemas técnicos com os carros a etanol. Com o intuito de enfrentar a crise interna e a falta de sincronicidade instaurada, a dimensão política acena sua saída do regime, ampliando sua articulação a fim de desregular o mercado. Como reflexo desse desestímulo, a dimensão da ciência direciona esforços para o regime do açúcar, no entanto, a dimensão

tecnológica permanece em busca de oportunidades, mesmo que de forma invisível para a sociedade. No *landscape*, a dimensão cultural abre espaço para todo um debate quanto às questões ambientais e os efeitos sentidos pelo planeta, o que passa e se reflete na dimensão política do país, na forma de incentivos a projetos enquadrados ambientalmente, como o Protocolo Agroambiental em SP (2007), ou a Política Nacional sobre Mudança do Clima (2009). O realinhamento gradual desse debate da dimensão cultural, dentro e fora do país em conjunto com as dimensões da ciência e tecnologia abriram espaço para um novo mercado, tanto no nicho, quanto no regime. A dimensão econômica é acionada por meio do desenvolvimento do carro *flex fuel*, dos coprodutos e dos bioprodutos oriundos da cana. A partir de então, as cinco dimensões passam a atuar no nicho, no regime e no *landscape*. Sob a égide do regime foi possível indicar direcionamentos para um projeto que aparentava ser o efetivo estabelecimento do etanol como opção energética para o país. Porém, o que se verificou na prática, foi uma coexistência adjacente.

Esse pequeno resumo das mudanças presentes no mapa visual procura destacar a representação dinâmica da introdução do etanol quando analisados, o tempo, a MLP e as dimensões. Esse esforço metodológico, desenvolvido pela tese e destacado aqui, foi no sentido de trazer ao debate alguns elementos que permitem repensar o processo de transição para a sustentabilidade do etanol. Era de se esperar que o funcionamento das dimensões alinhadas em rede indicasse a construção do regime. Entretanto, há um questionamento nesse sentido e, tanto o *lock in*, como o *path dependence* contribuem na reflexão.

No processo de transição sustentável, a introdução de uma nova tecnologia cria dependências de caminhos que levam a bloqueios pela sua adoção e ao mesmo tempo levam a resistências das estruturas estabelecidas. Para que se configure como um novo sistema é preciso atratividade em relação aos competidores, o que acontece a partir de cinco fontes, segundo Arthur (1988): i) aprender pelo uso, quanto mais se usa uma tecnologia, mais ela se desenvolve e mais se aprende sobre; ii) externalidades de rede, quanto maior o uso, maior a disponibilidade e a sua adaptação; iii) economias de escala na produção; iv) retornos crescentes informacionais, passa a ser mais conhecida na sociedade; v) interação tecnológica, quanto mais usada, mais tecnologias complementares adquire. No caso do etanol, a dependência de caminho e o *lock*

in tecnológico vêm bloqueando o combustível na direção da tecnologia existente, uma vez que as fontes de atratividade não foram devidamente acionadas pelo regime.

A interação entre as dimensões gera flutuações e irregularidades amortecidas pelos alinhamentos e coordenações. Isto posto, e mesmo sob um movimento vigoroso das cinco dimensões espelhadas nos multiníveis, os fatores de *path dependence* e *lock in* ainda limitam o seu uso, uma vez que, o regime do petróleo conta com muitos adeptos internos e externos ao país e ao regime. Por sua vez, o regime do etanol também possui diferentes forças atuantes. Nesse ambiente, alguns elementos se destacam: i) no regime da gasolina, seus atores estão submetidos a uma estrutura tutelada pelo Estado, a exemplo, seu preço ser dado por políticas macroeconômicas; a estrutura de refino indicar uma oferta pressionada para importação; a descoberta do pré-sal, dentre outros; ii) no regime do etanol, constata-se a estagnação de investimentos; o potencial de crescimento da demanda ser atendido por importação; o regime é intensivo em capital; a eficiência na fase agrícola é base para custo; a estrutura é submetida ao ciclo agrícola; há possibilidade de ganhos de escopo e escala com coprodutos e bioprodutos; há concentração em determinadas regiões do país; etc; e iii) *landscape*, indica a presença de crise econômica do país; foco no tema da sustentabilidade; debate mundial quanto à competição com alimentos; precificação do petróleo e do açúcar como *commodities*; etc. Todos esses fatores são apenas alguns dos elementos que foram abordados ao longo da tese e indicam, junto com a metodologia aplicada, os desafios e oportunidades enfrentados.

Outro importante fator de destaque, quando analisadas as dimensões e suas flutuações na MLP, é o aspecto das fases de transição e suas idas e vindas. A análise comparativa entre as estratégias históricas e de fases ressaltam a não linearidade do caminho de transição da inovação da fase 1 para a fase 4, como proposta por Geels (2005e). Assim, a presente pesquisa permite evidenciar as mudanças de caminhos e perspectivas do regime do etanol, que a partir das cinco dimensões e da MLP, mantém uma trajetória inconstante e flexível ao longo do tempo. Esta constatação pode ser vista como uma comprovação da não efetivação da transição do regime do etanol. As estratégias de narrativa histórica, mapa visual e teoria de fases da inovação permitiram ampliar a

pesquisa de maneira a rever o processo de transição da inovação como não linear e passível de retrocessos no caminho, como evidenciado. Essa perspectiva de fases e a sua estrutura não sequencial demonstrada pela pesquisa são constatações importantes, pois indicam que o regime do etanol pode passar por reveses novamente, podendo leva-lo até mesmo a seu desaparecimento. Portanto, há de se repensar em termos mais amplos as políticas de longo prazo, em um esforço conjunto da iniciativa privada e pública, a fim de evitar perdas que seriam irreparáveis a um país em desenvolvimento.

Em resumo, as flutuações nas dimensões são reflexo da construção do regime que, apresenta em seu começo, o nicho acionado e, em seguida, tanto o nicho como o regime se fortalecem em direção ao ápice da construção do regime do etanol. Posteriormente, nicho, regime e *landscape* são ativados nas cinco dimensões. Por isso, identificar que o etanol ainda se encontra em um processo de transição é reconhecer que os fluxos das dimensões decompostas em fases, mesmo que vívidos, indicam dúvidas, e que, para serem superadas, é preciso o envolvimento de inovações e realinhamentos graduais.

7.3. Conclusão

A avaliação comparativa destacou alguns vetores de análise como indicadores de contraposição entre as abordagens para uma avaliação do processo de transição do etanol. As diferenças entre as estruturas permitem rever esses caminhos, interpretar as diferenças e refletir sobre as escolhas.

A estrutura empírica se baseia na estrutura de volume de produção como um norteador para a construção do regime. Essa estratégia é valiosa, pois o seu detalhamento na estrutura da MLP permitiu atender aos critérios das transições sociotécnicas para sustentabilidade de multidimensionalidade e coevolução. O fato de ser um processo de longo prazo requer uma estrutura de análise bem organizada e dividida que permita avaliar seus desdobramentos. Esse é o caso do etanol que desde o seu surgimento, passando pela aplicação e até a sua difusão generalizada, apresenta muitos eventos em sucessão. A estratégia de dividir em períodos unida à MLP e as dimensões ajudou no tratamento das infindáveis informações para tornar a pesquisa acessível. Nesse sentido, o objetivo foi atingido, mas a trouxe à tona outra questão, a transição se mostrou como um processo relativamente linear.

A estrutura teórica, em seu turno, se baseia na estrutura de fases moldada para entender a introdução de uma inovação em um sistema estabelecido que ao encontrar tensões no regime-nicho-*landscape* podem avançar e se difundir. Nesse caso, a saída do nicho cria um ambiente de incertezas que ameaça as posições econômicas dos componentes do regime já estabelecido, e estes resistem, contestam e se protegem da transição. Para captar essas nuances do processo de transição cada etapa da estrutura de fases possui características próprias, o que faz com que a pesquisa reflita sobre como se encontram esses elementos da MLP. Dessa maneira, foi possível compreender as interações multidimensionais entre a introdução da inovação e os seus impulsos de mudanças sobre as forças de estabilidade e dependência de trajetória do regime estabelecido e analisados ao estudar as fases da transição.

Essa diferença teórica-metodológica da análise ampliou a pesquisa e norteou a exploração do processo de transição. Dessa forma, o estudo realizado nesse capítulo ajuda a entender como o regime do etanol se encontra hoje e os desafios que o sistema sociotécnico enfrenta. Primeiramente, para o etanol ser considerado um caso de sucesso deve estar bem definido como sendo em complementaridade e, para esse aspecto ser suplantado, será preciso um esforço direcionado. Segundo, constatou-se que a participação das políticas públicas foi um dos principais indutores para a fixação do regime, mas que criar produção/oferta não garante uma difusão generalizada. Dessa forma, parte significativa dos resultados e movimentos de nicho se devem aos atores privados. Terceiro, o desenvolvimento do sistema sociotécnico se deu de forma aberta e as soluções que emergiram reforçam o regime estabelecido (carros *flex*) e restringem o mercado (carros leves). Em quarto lugar, os avanços no nicho tecnológico mecânico reforçam o regime antigo, nicho tecnológico agrícola melhora a eficiência do sistema e desenvolvimento no nicho tecnológico para coprodutos é um importante fator de competitividade para o etanol. Em quinto, as perspectivas de mercado são de ações pontuais que reforçam o ambiente de indefinição. Assim, desbloquear os sistemas competidores existentes requer superar resistências dos atores estabelecidos e, sem direcionamentos e coordenação, o regime permanecerá como está. Em sexto, o *landscape* acena como um fator de mudança para o regime e nicho, mas o enfoque de mudanças climáticas e desafios ambientais são fatores de transformação que vêm se

mostrando relativamente lentos no ambiente externo, e principalmente no interno. Por fim, em sétimo, a dinâmica das flutuações das cinco dimensões baseada na sobreposição desses subsistemas indica um regime em que o *path dependence* e o *lock in* tecnológico reforçam a “antiga” estrutura; e a estratégia de fases da inovação demonstra um movimento de idas e vindas, caracterizando inconstância e flexibilidade da transição ao longo do tempo, evidenciando, pois, um cenário de instabilidade.

Portanto, nesta estratégia de pesquisa, constata-se, pela análise comparativa, os caminhos de formação e fixação do regime do etanol e uma reflexão quanto até que ponto pode ser considerada uma efetiva transição sustentável no Brasil. Esses aspectos serão retomados e validados pelos objetivos deste trabalho de pesquisa no próximo capítulo.

8. Conclusão

A presente tese teve como intenção avaliar e refletir sobre o processo de transição do etanol diante dos grandes desafios que a sociedade enfrenta na direção da sustentabilidade. Nesse sentido, o objetivo foi atingido ao responder as questões da pesquisa trazendo uma interpretação própria sobre o processo de transição do sistema sociotécnico do etanol. Por conseguinte, o trabalho apresentou uma contribuição tanto em termos empíricos quanto em termos teóricos, uma vez que, não pode ser identificada na literatura de transição, e tampouco na do etanol, essa estrutura. Observa-se que o estudo se utilizou do método MLP aplicado ao etanol para a análise comparativa e de estruturação teórica-metodológica específica como bases para a reconstrução do processo de transição.

O trabalho objetivou rever, investigar e avaliar o processo de transição sociotécnico do combustível automotivo etanol no Brasil considerando o aspecto multisistêmico de sua trajetória. O tema foi explorado a partir da cadeia produtiva desse combustível líquido durante o período que abrange da década de 1875 a 2015. O enfoque de reexaminar caminhos para trajetórias sustentáveis exigiu um esforço de reconstrução histórica do sistema multidimensional e co-evolutivo. Atender a essa característica multinível e de alinhamento dos eventos exigiu o uso de uma análise teórica que permitisse estruturar o processo histórico de modo a englobar as mudanças ocorridas ao longo de toda cadeia produtiva.

A estratégia da pesquisa se desenvolveu a partir dos objetivos específicos, como a necessidade de uma estrutura hierárquica para responder à questão levantada pela tese. A construção do banco de dados em formato pré-estabelecido permitiu à abordagem qualitativa da análise atender aos critérios de multiníveis e multissistemas. Esse aspecto propiciou apreender as mudanças estruturais profundas do etanol com as diferentes crises de ajustamento, que implicam alterações no enquadramento institucional, social, econômico, político, científico e tecnológico.

A dinâmica própria do movimento foi plotada ao longo do tempo para que diferentes delimitações, como do sistema e atores envolvidos, fossem identificadas. A análise de congruências e disfunções envolvidas na revisão histórica permitiu responder à questão norteadora da pesquisa. Com isso, foi

possível reconstruir os caminhos adotados que representaram o processo de formação do sistema sociotécnico do etanol no Brasil. Além disso, foi possível investigar que essa iniciativa pioneira do país seguiu trajetórias diversas influenciadas por múltiplas questões. E, nesse ponto, a escolha dos instrumentos teóricos e metodológicos adotados nesta tese permitiram avaliar que o etanol não se trata apenas de uma inovação tecnológica sustentável de aspecto ambiental, mas sim de uma construção de um sistema completo de combustível automotivo renovável. A questão norteadora da tese foi respondida com o desenvolvimento de todo o processo de transição para desbloquear o sistema existente e superar a resistência dos atores já estabelecidos.

Os resultados da pesquisa concluem que, mesmo se tratando de um sistema completo, este não pode, ainda, ser considerado como uma transição completa do sistema sociotécnico do combustível fóssil ao renovável. Isso se deve a diferentes fatores que foram investigados pela tese e descritos como delimitantes. Para ser considerada uma inovação tecnológica dominante e, efetivamente se caracterizar um sistema cuja difusão implique em uma mudança de paradigma, é preciso um sistema líder nos ramos condutores. Fato esse que esta análise permitiu não confirmar.

A análise permitiu indicar que a dinâmica de transição de ruptura, impulsionada por inovações de nicho e regime, ajudou na reconfiguração gradual do sistema. No caso do etanol, as limitações do regime deixam claro que ainda está no processo de transição. Não se trata de avaliar simplesmente se é um caso de substituição ou complementaridade, mas de entender ao longo do tempo os alinhamentos que as estruturas das fases e histórica permitiram reconstruir e validar. Diferentes fatores abordados na tese ajudam a legitimar essa perspectiva, delimitando que esse processo não significou, de fato, uma transição. Trata-se, pela estratégia de fases, de idas e vindas do regime do etanol, indicando uma transição inacabada, logo, em processo.

As políticas públicas foram, e ainda são, uma estratégia nacional, e mesmo internacional, importante em direção do suporte a transição à energia renovável a fim de que essa possa vencer o *lock in* tecnológico e o *path dependence*. A implementação do Proálcool é um exemplo de como a determinação do Estado pode mudar rumos e direcionar trajetórias. Não obstante, esse apoio não é garantidor de uma energia vencedora, uma vez que,

diversos movimentos são necessários para tanto. Esse direcionamento de estratégia pública permite, principalmente, aos nichos tecnológico e de mercado garantirem uma vida duradoura ao regime. Alguns exemplos são: o protocolo assinado com a indústria automotiva no Proálcool e, mais recentemente, os programas do BNDES e FINEP, o PAISS, que visam incentivar pesquisas e desenvolvimento no regime sucoalcooleiro.

A atuação estatal implica financiamentos e identificação de gargalos tecnológicos e de mercado para que representem alguma mudança efetiva. A geração de volume produtivo e a melhora de eficiência devem ser potencializadas por uma rede de agentes atuantes. Como, por exemplo, ocorreu com o etanol por diferentes vezes em que a iniciativa privada manteve, de forma dinâmica, seu movimento nos nichos, inclusive com o etanol ocupando o primeiro lugar no mundo em termos de custo de produção e, para tanto, foi preciso articulação em rede dos agentes no regime e nicho. Esses movimentos erráticos na transição energética do etanol, característica de um processo em desenvolvimento, geram mensagens desiguais e difíceis de serem interpretadas pelas redes sociais participantes. As desigualdades que ocorrem ao longo do processo de transição no regime podem ser minimizadas pelo Estado. Nesse sentido, o Estado vem falhando em sua atribuição de acenar com tendências e, portanto, o etanol continua como uma opção adjacente. Assim, destaca-se o papel das políticas públicas como forma de contribuir efetivamente para a transição do regime. Essas políticas, aliadas a iniciativa privada, podem e devem ser acionadas para a construção de uma perspectiva de longo prazo para o regime do etanol. Desse modo, será possível ultrapassar a etapa de fases da inovação e estabelecer a transição real.

Identificam-se as seguintes contribuições para o avanço do conhecimento, limitações do estudo e sugestões para futuras pesquisas.

- a) Reconhecer as limitações do escopo e abrangência do estudo. O desenvolvimento do trabalho contou com o apoio de uma vasta contribuição acadêmica que não se limita como um fim. A qualidade e quantidade de eventos abordados devem ser entendidas como um processo que enseja as limitações no amplo universo de fatos, assim como a sua escolha e interpretação. E, se tratando de um mapa histórico, a limitação do autor/pesquisador se fez necessária dentro do contexto

infindável de eventos sobre o tema. Nesse sentido, estudos comparativos com fontes diversas seriam uma forma de revisitar a análise histórica e validar eventos, discutindo resultados;

- b) Estender o estudo realizado para obter explicações mais aprofundadas sobre os fatores influentes nos subsistemas e multiníveis. Penetrar nos diferentes subsistemas poderia ampliar e permitir avaliar mais detalhadamente os diferentes caminhos adotados pelo regime. Essas condições incluem: fatores relacionados ao regime (estrutura da indústria, regulação, padrões de inovação, estrutura setorial, integração vertical e horizontal, fusões e aquisições, participação do capital nacional e estrangeiro, concentração); fatores relacionados ao *landscape* (sistemas setoriais de inovação, políticas industriais, políticas macroeconômicas, estruturas institucionais, questões culturais e simbólicas), fatores relacionados aos nichos (redes de apoio à tecnologia, diferentes programas de inovação, pesquisa e desenvolvimento de grupos nacionais e internacionais, ciência e tecnologia direcionados para mercado). O trabalho realizado foi de abordagem qualitativa evolutiva, alguns indicadores de retração e expansão foram utilizados de forma pontual. Um trabalho quantitativo sobre estas variáveis iria contribuir para o aprofundamento dos aspectos influentes sobre a MLP. A quantidade de eventos limita a possibilidade de aprofundamento, portanto, outros trabalhos poderiam complementar esta etapa;
- c) Investigar de que forma as instituições e os agentes sociais atuantes no regime do etanol são capazes de direcionar esforços públicos e privados para a transição. O levantamento efetuado por esta tese do sistema sociotécnico e dos agentes atuantes no regime permite ter uma clareza quanto a forças atuantes. No entanto, ao mesmo tempo, é importante averiguar de que forma esses grupos conseguiram unir forças e recursos para direcionar caminhos. Identificar essas atividades, quer seja através de lobby, ou poder econômico, ou político. Tal investigação complementaria o estudo e poderia contribuir para desenhar caminhos futuros;
- d) Rever os cenários traçados para o sistema sociotécnico e os efetivamente atingidos pelos agentes sociais. Nos últimos anos, principalmente, as

questões ambientais vêm instigando o mercado dos renováveis. Uma revisão do ambiente previsto pelos atuantes do regime no mercado nacional e internacional é uma reconstrução histórica de caminhos e trajetórias de destaque. A reconstrução dos eventos a partir do mapa histórico, e sua narrativa, é um passo nesta direção. Não obstante, outros trabalhos, aprofundando origens e consequências, seriam uma forma importante de mensurar erros e evitá-los no futuro;

- e) Estudo comparativo entre países produtores e usuários do regime do etanol. Nesta tese houve a indicação dos eventos relacionados ao etanol e suas contribuições, quer seja sob o enfoque nacional ou internacional. Essa identificação permitiu reconstruir os caminhos dentro do Brasil e modular, a partir da estrutura de fases do Geels, como esse regime se encontra no processo de transição para a sustentabilidade. Seria um passo a diante no estudo aprofundar as evidências comparativas do regime em diferentes países com diferentes padrões de desenvolvimento e, inclusive, com levantamento de aspectos de nicho tecnológico e de mercado vencedores. Essa análise ajudaria a examinar, por exemplo, as diferenças entre as nações na acumulação de capacidade tecnológica, estruturas de mercado e mecanismos de aprendizado;
- f) A tese permite identificar a indicação dos coprodutos e bioprodutos de cana como importantes agregadores de desempenho, mas ainda sem efeitos consideráveis. Entendendo o regime do etanol de forma ampla, os coprodutos/bioprodutos são uma maneira de efetivar a tecnologia e elevá-lo ao patamar de substituto do fóssil. As barreiras a serem superadas para o avanço nessa direção são uma adversidade a ser enfrentada e devem direcionar estudos futuros. O paradoxo de que o mercado só investe em tecnologias vencedoras encontra aqui o seu maior desafio. O papel do Estado e da rede de agentes de P&D e C&T deve ser de desenhar novos instrumentos de política e laboratórios com o foco em tecnologias mais limpas e viáveis economicamente. Diferentes instrumentos vêm sendo elaborados, como o PAISS, nessa direção, mas ainda é preciso direcionamento de políticas de Estado, iniciativa privada e reforço sobre mercado (demanda e oferta). O Renovabio, lançado recentemente (Dezembro/2016), foi concebido como uma política de Estado para

incentivar os biocombustíveis na matriz energética. Pode ser um importante instrumento na direção da perspectiva de transição, uma vez que baseia sua fundamentação no tripé da sustentabilidade (economia, meio ambiente e sociedade). No entanto, ainda é preciso reconhecer, no caso do etanol, esse *status* de combustível em processo de transição, de maneira que o sistema sociotécnico e os agentes sociais enfrentem os desafios e o combustível possa se estabelecer como uma real opção energética;

- g) Demonstrou-se a complementaridade entre o ferramental da teoria de processo, com a MLP, e a análise das fases e histórica. Cada uma das análises possibilitou ângulos distintos de análise que acabam por se integrar. A análise comparativa permitiu validar as questões em discussão na tese e verificar a real extensão do processo de transição do sistema sociotécnico. O refino da análise qualitativa se deu com o processo de construção do trabalho. Uma proposta de estudo para validar esse refino seria replicar a metodologia para outro biocombustível, o biodiesel, por exemplo;
- h) A teoria usada nesta tese é nova e ainda vem sendo explorada em estudos de caso em diferentes países. Não há uma estrutura de análise pronta e aplicável para casos de transições energéticas. A não existência de literatura comparável permitiu ao presente trabalho desenvolver este arranjo ainda não identificado para o regime do etanol. A mistura de elementos da teoria de processos com a análise de dados, e o enquadramento das fases evolutivas, evidencia essa estrutura de trabalho. A contribuição da tese, teórica e empírica, vem na direção de um esforço de análise e organização dos fatos para posterior construção de uma avaliação modulada. Assim, as críticas teóricas devem ser revistas à luz desta construção empírica e metodológica. Dentre as críticas apresentadas à MLP, a tese permitiu refutar algumas. Primeiro, de que a MLP prestaria pouca atenção ao processo de difusão da inovação e, ainda, que o processo de difusão do nicho para o regime não estaria claro. A metodologia adotada permitiu avaliar o processo de difusão de forma ampla e identificar a passagem do nicho para o regime tecnológico. Segundo, a característica de que o modelo da MLP seria de

mudança *bottom-up* o que é questionado pela tese ao serem levantadas as fases da transição. A possibilidade de mudanças de caminhos e retornos ao longo da história do etanol mostra a interação entre os níveis de análise, não garantindo a sobreposição de nenhum deles. Terceiro, a estrutura ser versátil, o que seria um fator limitante inicialmente, no entanto, as construções empírica e teórica direcionaram os caminhos ao longo do processo de composição da própria tese. Assim, esta tese é uma contribuição original de estrutura de análise teórica-empírica, ainda que não elimine este problema. Quarto, o fato de priorizar ontologia em relação à metodologia, e discutir ontologias planas versus níveis hierárquicos, foi minimizado pelo próprio desenvolvimento do trabalho, o que só foi possível pela construção estruturada de análise. Quinto, o debate quanto a indicação do *landscape* como categoria residual perde o sentido quando analisado o mapa visual e a narrativa desta tese. Sexto, a distinção ambígua entre regime e sistema fica restrita à definição dada pelo pesquisador. Assim, na tese, é apresentado o sistema e definido conceitual e empiricamente essa questão. Sétimo, de que o *frame* sugere foco em uma novidade promissora, mas o mais provável é que as inovações do sistema aconteçam através de interações entre múltiplas tecnologias. A abertura da MLP e dos subsistemas, junto com as fases, permitiu identificar nichos tecnológicos e de mercado alinhados a essas interações múltiplas. Nesse caso, a estratégia de análise permite questionar o foco direcionado da teoria. Dessa forma, este trabalho contribui para refinar a MLP em termos de padrões e mecanismos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGROANALYSIS. Revista de Agronegócio da FGV. Memorando de Entendimento Brasil e EUA. 2007. Disponível em: <http://www.agroanalysis.com.br/3/2007/agroenergia/etanol-agenda-para-brasil-eua> Acessado em: 24/10/2017.
- ANDRADE, E.; CARVALHO, S., SOUZA, L. *Programa do Proálcool e o Etanol no Brasil*. ENGEVISTA, V. 11, n. 2. p. 127-136. 2009.
- ANFAVEA. Anuário da indústria automobilística brasileira. 2018. Disponível em: <http://www.anfavea.com.br/anuarios.html> Acessado em: Maio/2018.
- ANFAVEA. Indústria Automobilística Brasileira: 50 anos. Disponível em: www.anfavea.com.br. Acessado em: setembro/2017.
- ANP. Anuário estatístico 2018. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/publicacoes/anuario-estatistico/anuario-estatistico-2018> Acessado em: junho/2018a.
- ANP. Boletim do Etanol. Diversos Boletins. Disponível em: [http://www.anp.gov.br/images/publicacoes/boletins-anp/Boletim do Etanol/Boletim do Etanol No09 FEVEREIRO 2017.pdf](http://www.anp.gov.br/images/publicacoes/boletins-anp/Boletim%20do%20Etanol/Boletim%20do%20Etanol%20No09%20FEVEREIRO%202017.pdf) . Acesso em: junho/2018b.
- ANP. Combustíveis no Brasil: Políticas de Preço e Estrutura Tributária. Superintendência de Estudos Estratégicos. 2001.
- ARTHUR, B. *Competing technologies, increasing returns, and lock-in by historical events*, *The Economic Journal*, 99(394), pp. 116-131. 1989.
- ARTHUR, B. *Competing technologies: an overview*, in: Giovanni Dosi, Chris Freeman, Richard Nelson, Gerald Silverberg and Luc Soete (eds), *Technical Change and Economic Theory*, London: Pinter, pp. 590–607. 1988.
- BACCARIN, J.G. *A constituição da nova regulamentação sucroalcooleira*. Cadernos do CEAM, Editora da Unesp, Brasília. 2005a.
- BACCARIN, J.G. *A desregulamentação e o desempenho do complexo sucroalcooleiro no Brasil*. Tese de doutorado. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, SP. 2005b.
- BAJAY, S., NOGUEIRA, L., SOUSA, F. *O etanol na matriz energética brasileira – A situação atual e perspectivas futuras*. Universidade de Campinas e Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). 2011.
- BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. BEN. 2006, 2016, 2017 e 2018. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/publicacoes-e-indicadores/balanco-energetico-nacional> . Acessado em: Junho/2018.
- BARROS, D.C., CASTRO.B.H.R., VAZ,L.F.H. Automotivo. Panoramas Setoriais, Mudanças Climáticas. BNDES. 2015
- BASTOS, V. *Biorrefinarias, Biocombustíveis e Química Renovável: Revolução Tecnológica e Financiamento*. BNDES. Revista do BNDES 38. 2012.
- BASTOS, V. Etanol, Alcoolquímica e biorrefinarias. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 25, p. 5-38, mar. 2007

BAUER, M.W.; GASKELL, G. 1999. *Pesquisa qualitativa com texto, imagem e som – uma manual prático*. Editora Vozes,.

BELIK, W. Agroindústria processadora e política econômica. Tese Doutorado. 1992.

BENNERTZ, R. *The brazilian ethanol car: A sociotechnical analysis*. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. Tese de Doutorado. Campinas, SP. 2014.

BENNERTZ, R.; RIP, A. The evolving Brazilian automotive-energy infrastructure: Entanglements of national developmentalism, sugar and ethanol production, automobility and gasoline. *Energy Research & Social Science*. Volume 41, Pages 109-117. 2018.

BENNETT, S.J. *The Socio-technical Dynamics of Chemical Feedstock Transitions: The case of renewable raw materials in the UK*. Tese de Doutorado. Imperial College London. 2009.

BENNETT, S.J. *Using past transitions to inform scenarios for the future of renewable raw materials in the UK*. *Journal Energy Policy*, v.50, p95-108. 2012.

BERGEK, A., JACOBSSON, S., CARLSSON, B., LINDMARK, S., RICKNE, A. *Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: A scheme of analysis*. *Research Policy*, 37, 407-429. 2008.

BERKHOUT, F.; SMITH, A.; STIRLING, A. *Socio-technical regimes and transition contexts*, in: *System Innovation and the Transition to Sustainability* (B. Elzen, F. W. Geels, and K. Green, eds.), Edward Elgar, Cheltenham, UK and Northampton, USA, pp. 48-75. 2004.

BIJKER, W.E., HUGHES, T.P., PINCH, T.J. *The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Technology*. MIT Press, Cambridge/MA. 1987.

BIODIESELBR. 2016. *Montadoras e petroleiras da UE se unem na defesa de biocombustíveis*. Disponível em: <http://www.biodieselbr.com>. Acessado em: 30/junho/2016.

BNDES e CGEE. 2008. Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável. Disponível em: http://www.bioetanoldecana.org/pt/download/resumo_executivo.pdf. Acessado em: jan/2017.

BNDES. Panoramas setoriais 2030: desafios e oportunidades para o Brasil. Rio de Janeiro: BNDES, 2017. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/14214>. Acessado em: Julho/2018.

BOLTON, R., FOXON, T. J. *A socio-technical perspective on low carbon investment challenges - Insights for UK energy policy*. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 14, 165–181. <http://doi.org/10.1016/j.eist.2014.07.005>. 2015.

BOMTEMPO, J. V. *Biocombustíveis, bioprodutos e bioprocessos no contexto do desenvolvimento da Química Verde*. Química verde no Brasil: 2010-2030. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Brasília, DF: 2010.

BOMTEMPO, J., ALVES, F. *O futuro dos biocombustíveis XVII: Competências para inovar e o futuro da indústria do etanol no Brasil*. Série Blog Infopetro. Instituto de Economia, UFRJ. 2013.

BOMTEMPO, J., ALVES, F., OROSKI, F. 2016. *Bioeconomia em construção IX – Os desafios da bioeconomia no Brasil: explorando algumas questões-chave*. Série Blog Infopetro. Instituto de Economia, UFRJ.

BOSCOLO, L. C. *Avaliação do carro a Álcool*. Imprensa Metodista, São Paulo, p. 39-40. 1982.

BRASIL. Decreto nº 77.807 de junho de 1976. Altera dispositivos do Decreto número 76.593, de 14 de novembro de 1975, que institui o Programa Nacional do Álcool e dá outras providências. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 10 jun.. 1976.

BRASIL. Decreto nº 80.762 de novembro de 1977. Consolida as disposições sobre o Programa Nacional do Álcool e dá outras providências. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 18 nov.. 1977.

BRASIL. Decreto nº 84.465 de fevereiro de 1980. Aprova a constituição de COALBRA - Coque e Álcool da Madeira S.A. e dá outras providências. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 07 fev.. 1980.

BRASIL. Decreto nº 87.079 de abril de 1982. Aprova as Diretrizes para o Programa de Mobilização Energética. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 02 abr.. 1982a.

BRASIL. Decreto nº 93.603 de novembro de 1986. Extingue a COALBRA - Coque e Álcool da Madeira S.A., e dá outras providências. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 21 nov.. 1986b.

BRASIL. Decreto nº 93.603 de novembro de 1986. Extingue a COALBRA - Coque e Álcool da Madeira S.A., e dá outras providências. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 21 nov.. 1986a.

BRASIL. Lei nº 6.768 de dezembro de 1979. Dispõe sobre a criação da COALBRA - Coque e Álcool da Madeira S/A., e dá outras providências. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 20 dez.. 1979.

BRASIL. Lei nº 7.029 de setembro de 1982. Dispõe sobre o transporte dutoviário de álcool e dá outras providências. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 13 set.. 1982b.

BRASIL. Lei nº 9.362 de dezembro de 1996. Dispõe sobre medidas reguladoras do abastecimento do mercado interno de produtos do setor sucroalcooleiro. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 13 dez.. 1996.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários 2013 : ano-base 2012. Brasília, 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Plano Setorial de Transporte e de Mobilidade Urbana para Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima (PSTM). Brasília, 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. 1º inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores. Brasília, 2011.

CALDAS, R. C. R. B. *Biorefino químico do bagaço de cana-de-açúcar: um reator de leito de lama com produção de sacarídeos e lignina*. 2011. Dissertação Mestrado. Curso de Engenharia Química, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. Comissão Parlamentar Mista de Inquérito destinada a investigar as causas do endividamento do setor agrícola, o elevado custo dos seus financiamentos e as condições de importação de alimentos nos exercícios de 1990 a 1993. P. 247. Brasília, 1994.

CARLSSON, B; STANKIEWICZ, R.. *On the nature, function and composition of technological systems*, *Journal of Evolutionary Economics* 1, 93-118. 1991.

CAROLAN, M. *Ethanol versus Gasoline: The Contestation and Closure of a Socio-technical System in the USA*. *Social Studies of Science* 39/3. 2009.

CASTRO, C. *O Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (Pnpb) e a Produção de Matéria-Prima de Óleo Vegetal no Norte e no Nordeste*. Texto para discussão número 1613. IPEA. 2011

CEISEBr. Centro Nacional das Indústrias do Setor Sucroenergético e Biocombustíveis. Disponível em: <http://www.ceisebr.com/conteudo/scania-lanca-na-europa-motor-de-13-litros-movido-por-etanol.html> Acessado em: Julho/2018.

CHEN, C. *Um estudo comparativo dos sistemas de inovação do Brasil e da China na área de combustíveis líquidos alternativos*. Tese de mestrado. IE/UFRJ. 2015.

CONAB. BOLETIM DA SAFRA DE CANA-DE-AÇÚCAR Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar> Acessado em: Jun/2018b.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. – v. 1 – Brasília : Conab, 2013- v. Quadrimestral Disponível em: <http://www.conab.gov.br> Recebeu numeração a partir de abr/2014. 2018a.

COP22. 2016. Plataforma Biofuturo. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/index.php/comunicacao/agencia-informma?view=blog&id=1991> acessado em: Nov/2017.

COPERSUCAR. Relatório anual. São Paulo, 1990.

CORRÊA, C. B. *Parcerias estratégicas tecnológicas em projetos de etanol celulósico: oportunidades e desafios das firmas nacionais*. 2014. 124 f. Tese de Mestrado. Curso de Política Científica e Tecnológica, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

CORTEZ, A.B. (org.). *Proálcool, 40 anos*. Universidades e empresas: 40 anos de ciência e tecnologia para o etanol brasileiro. FAPESP. 2016.

CRESWELL, J.W. Revisão de literatura. *Projeto de pesquisa: métodos*

qualitativo, quantitativo e misto. 2.ed. Porto Alegre: Artmed. 2007.

DANNA, R. F.. In: *Avaliação do carro a Álcool*. Imprensa Metodista, São Paulo, p. 21-29. 1982.

DAVID, P. *Clio and the Economics of QWERTY*. *American Economic Review AEA Papers and Proceedings*, v. 75, pp. 332-337, 1985.

DBFZ. Deutsches Biomasseforschungszentrum. Politics and economics of ethanol and biodiesel production and consumption in Brazil. Leipzig. 2013.

DE FERRAN, L. H.. In: *Avaliação do carro a Álcool*. Imprensa Metodista, São Paulo, p. 16-20. 1982.

DENZIN, N.K.; LINCOLN, Y.S. *Introdução: a disciplina e a prática da pesquisa qualitativa*. 2.ed. Porto Alegre: Artmed. 2006.

DOSI, G., *Technological paradigms and technological trajectories*. *Research Policy* 11, 147–162. 1982.

DUFFIELD, J. A., XIARCHOS, I.; HALBROOK, S. *Ethanol policy: past, present, and future*. 2008.

DUNHAM, F. B. *Co-evolução da Mudança Tecnológica e Institucional em Sistemas de Inovação: Análise Histórica da Indústria de Álcool Combustível no Brasil*. Rio de Janeiro: Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2009.

DUNHAM, F., BOMTEMPO, J; FLECK, D. *A estruturação do sistema de produção e inovação sucroalcooleiro como base para o Proalcool*. *Revista Brasileira de Inovação*, Campinas, jan-jun, p. 35-72, 2011.

EISA 2007. ENERGY INDEPENDENCE AND SECURITY ACT OF 2007. Disponível em: <https://www.congress.gov/110/plaws/publ140/PLAW-110publ140.pdf> Acessado em: Jun/2018.

ELZEN, B., F.W. GEELS, AND K. GREEN (Eds.). *System Innovation and the Transition to Sustainability – Theory, Evidence and Policy*, Cheltenham: Edward Elgar. 2004.

EMERY, F.E., TRIST, E.L. *Social-Technical Systems, in Management Science Models and Techniques*, vol.2, Churchman C.W. e Verhulst M. Pergamon Press. 1960.

EPE. 2016. Cenários de Oferta de Etanol e Demanda do Ciclo Otto: Versão Estendida 2030. Disponível em: <http://www.epe.gov.br> Acessado em: Dezembro/2016b.

EPE. Balanço energético nacional. Disponível em: <http://www.epe.gov.br> Acessado em: 01/05/2018.

EPE. Ministério das Minas e Energia. *Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis*. Disponível em: www.epe.gov.br Acessado em: 30/junho/2016a.

EPE. MME. *Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis*. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/analise-de-conjuntura-dos-biocombustiveis-boletins-periodicos> Acessado em: jun/2018.

- FAPESP. Brasil líder mundial em conhecimento e tecnologia de cana e etanol. 2007. Disponível em: <http://www.fapesp.br/2919> Acessado em: Fevereiro/2018.
- FAPESP. Brasil líder mundial em conhecimento e tecnologia de cana e etanol. PIPE – Inovação Tecnológica em Pequenas Empresas. 2007.
- FAPESP. Programa de Apoio à Pesquisa em Parceria para Inovação Tecnológica (PITE). Disponível em: <http://www.fapesp.br/61> Acessado em: 11/03/2018.
- FIESP. 2013. *Outlook Fiesp 2023*. Disponível em: www.fiesp.com.br. Acessado em: junho/2016.
- FLYVBJERG, B. Five Misunderstandings About Case-Study Research. *Qualitative Inquiry*, 12, 219-245. 2006.
- FOXON, T. J., PEARSON, P. J., & HAMMOND, G. P., *Transition Pathways To a Low Carbon Economy* Working Paper 1 Conceptual & Analytical Framework. East, (October), 1–34. 2008.
- FOXON, T.; PEARSON, P.. *Overcoming barriers to innovation and diffusion of cleaner technologies: some features of a sustainable innovation policy regime*. *Journal of Cleaner Production*, v. 16S1, p. S148-S161. 2008.
- FREEMAN, C. & LOUÇÃ, F. *Ciclos e crises no capitalismo global: das revoluções industriais à revolução da informação*. Oxford University Press. 2001.
- FREEMAN, C. *Japan: a new national system of innovation?*, in Dosi, G, Freeman, C, Nelson, R, Silverberg, G, and Soete, L (1988), *Technical Change and Economic Theory*, Pinter Publishers, London. 1988.
- FURTADO, A.; SCANDIFFIO, M. & CORTEZ, L. *The Brazilian Sugarcane Innovation System*. *Energy Policy* 39. 2011.
- GASKELL, G. *Entrevistas individuais e grupais*. In: BAUER, M.W.; 2002a.
- GASKELL, G. *Pesquisa qualitativa com texto, imagem e som: um manual prático*. Petrópolis, RJ: Vozes, cap.3. 2002b.
- GEE, D.; MCMEEKIN, A. *Eco-Innovation Systems and Problem Sequences: The Contrasting Cases of US and Brazilian Biofuels, Industry and Innovation*, 18:3, 301-315, DOI: 10.1080/13662716.2011.561029. 2011.
- GEE, D.; MCMEEKIN, A. *How innovation systems emerge to solve ecological problems: Biofuels in the United States and Brazil*, Centre for Research in Economic Sociology and Innovation (CRESI) Working Paper 2010-03, University of Essex: Colchester. 2010.
- GEELS, F. *Low-carbon transition via system reconfiguration? A socio-technical whole system analysis of passenger mobility in Great Britain (1990–2016)*. Science Direct. *Energy Research & Social Science*. Vol 46. 2018.
- GEELS, F. *Technological Transitions and System Innovations - A Co-Evolutionary and Socio-Technical Analysis*. MPG Books Ltd, Bodmin, Cornwall. 2005e.
- GEELS, F. W. *Reconceptualising the co-evolution of firms-in-industries and their environments: Developing an inter-disciplinary Triple Embeddedness Framework*. *Research Policy*, 43(2), 261–277. 2014.

GEELS, F., KERN, F., FUCHS, G., HINDERER, N., KUNGL, G., MYLAN, J., NEUKIRCH, M., WASSERMANN, S. *The enactment of socio-technical transition pathways: A reformulated typology and a comparative multi-level analysis of the German and UK low-carbon electricity transitions (1990–2014)*, Research Policy 45, 896–913. 2016.

GEELS, F.W. *Co-evolution of technology and society: the transition in water supply and personal hygiene in the Netherlands (1850–1930) – a case study in multi-level perspective*. Technology in Society 27, 363–397. 2005a.

GEELS, F.W. *From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: insights about dynamics and change from sociology and institutional theory*. Research Policy 33, 897–920. 2004.

GEELS, F.W. HEKKERT, M.P., JACOBSSON, S. *The dynamics of sustainable innovation journeys*. Technology Analysis & Strategic Management 20, 521–536. 2008.

GEELS, F.W. *Major system change through stepwise reconfiguration: a multi-level analysis of the transformation of American factory production (1850–1930)*. Technology in Society 28, 445–476. 2006b.

GEELS, F.W. *Ontologies, socio-technical transitions (to sustainability), and the multi-level perspective*. Research Policy 39, 495–510. 2010.

GEELS, F.W. *Technological Transitions and System Innovations: A Co-evolutionary and Socio-Technical Analysis*, Edward Elgar, Cheltenham. 2005d.

GEELS, F.W. *Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study*. Research Policy 31, 1257–1274. 2002.

GEELS, F.W. *The hygienic transition from cesspools to sewer systems (1840–1930): the dynamics of regime transformation*. Research Policy 35, 1069–1082. 2006a.

GEELS, F.W. *The multi-level perspective on sustainability transitions: responses to seven criticisms*. Environmental Innovation and Societal Transitions 1, 24–40. 2011.

GEELS, F.W., KEMP, R., DUDLEY, G., LYONS, G. *Automobility in Transition? A Socio-Technical Analysis of Sustainable Transport*. Routledge, New York. 2011.

GEELS, F.W., *Processes and patterns in transitions and system innovations: refining the co-evolutionary multi-level perspective*. Technological Forecasting and Social Change 72, 681–696. 2005c.

GEELS, F.W., RAVEN, R., *Non-linearity and expectations in niche-development trajectories: ups and downs in Dutch biogas development (1973–2003)*. Technology Analysis & Strategic Management 18, 375–392. 2006.

GEELS, F.W., SCHOT, J., *Comment on “Techno therapy or nurtured niches?”*. Research Policy 36, 1100–1101. 2007a.

GEELS, F.W., SCHOT, J., *The dynamics of sociotechnical transitions – a sociotechnical perspective*. In: Grin, J., Rotmans, J., Schot, J. (Eds.), *Transitions to Sustainable Development*. Routledge, pp. 9–101. 2010.

GEELS, F.W., SCHOT, J., *Typology of sociotechnical transition pathways*. Research Policy 36, 399–417. 2007b.

GEELS, F.W., *The dynamics of transitions in socio-technical systems: a multi-level analysis of the transition pathway from horse-drawn carriages to automobiles (1860–1930)*. Technology Analysis & Strategic Management 17, 445–476. 2005b.

GODOY, A.S. *Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais*. Revista de Administração de Empresas, São Paulo, v.35, n. 3, maio/jun, p.20-29. 1995.

GOLDEMBERG, J; COELHO, S.T.; NASTARI, P.M.; LUCON, O. *Ethanol learning curve—the Brazilian experience*. Science Direct. Biomass & Bioenergy. Elsevier. 2004.

GOLDEMBERG, J. *The Brazilian biofuels industry*. BioMed Central. Biotechnology for Biofuels. 2008.

GOLDEMBERG, J. *The ethanol program in Brazil*. Environmental Research Letters. November. 2006

GONDIM, S.M.G. et al. *Da descrição do caso à construção da teoria ou da teoria à exemplificação do caso? Uma das encruzilhadas da produção de conhecimento em administração e áreas afins*. O&S, v.12, n.35, p.47-68. 2005.

GONZALEZ, R.K. *Processo alternativo de catch-up em indústrias intensivas em recursos naturais: uma análise empírica da trajetória tecnológica da indústria de bioetanol de cana-de-açúcar no Brasil*. Tese de doutorado. Fundação Getúlio Vargas (EPAPE). RJ. 2016

GRIN, J; ROTMANS, J; SCHOT, J.(Eds.). *Transitions to Sustainable Development: : new directions in the study of long term transformative change*. Routledge. 2010.

HARVEY, M.; MCMEEKIN, A. *Political Shaping Of Transitions To Biofuels In Europe, Brazil And The USA*, Centre for Research in Economic Sociology and Innovation (CRESI) Working Paper 2010-02, University of Essex: Colchester. 2010.

HEKKERT, M.P., SUURS, R.A.A., NEGRO, S.O., KUHLMANN, S., AND SMITS, R.E.H.M. *Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change*, *Technological Forecasting and Social Change*, 74(4), 413-432. 2007.

HOLLANDA, J. *Uma Revolução Energética Para a Cana de Açúcar*. Instituto Nacional de Eficiência Energética – INEE. 2013.

HUGHES, T. P. *Networks of power. electrification in Western society, 1880–1930*. Baltimore: Johns Hopkins University Press. 1983.

HUGHES, T.P., *The evolution of large technological systems*. Em: Bijker, W., Hughes, T.P., Pinch, T. (Eds.), *The Social Construction of Technological Systems*. Cambridge/MA, pp. 51–82. 1987.

HULTMAN, N.; MALONE, E.; RUNCIL, P.; CARLOCK, G.; ANDERSON, K. *Factors in low-carbon energy transformations: Comparing nuclear and bioenergy in Brazil, Sweden, and the United States*. Energy Policy 40. 2011.

IEA. 2011. *Technology Roadmap: Biofuels for Transport*. International Energy Agency. 2011.

IEA. 2018a. Biofuels for transport. Tracking Clean Energy Progress, 2018. Disponível em: <https://www.iea.org/tcep/transport/biofuels/> acessado em: Março/2018.

IEA. 2018b. Renewables 2017. Disponível em: <http://eneken.ieej.or.jp/data/7612.pdf> acessado em: Março/2018.

INEE. Instituto Nacional de Eficiência Energética. Nogueira, L.A.H.; Hollanda, J.B. Revendo a paridade entre etanol hidratado e gasolina em veículos flexíveis. 2015 Disponível em: http://www.inee.org.br/download/eficiencia/Paridade_EHE25_INEE.pdf Acessado em: fevereiro/2018.

INSTITUTO DO AÇÚCAR E DO ÁLCOOL - IAA. Congressos açucareiros no Brasil. Editora do IAA, Rio de Janeiro. 1949.

IPEA. 2010a. *Biocombustíveis no Brasil: Etanol e Biodiesel*. Série Eixos do Desenvolvimento Brasileiro. Número 53. Disponível em: www.ipea.gov.br Acessado em: junho/2016.

IPEA. *Infraestrutura econômica no Brasil: diagnósticos e perspectivas para 2025*. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. – Brasília. Livro 6, Vol 1. 2010b.

IRENA. Renewable Energy Policies in a Time of Transition, 2018. REN21. Disponível em: http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/04/17-8622_Policy_FullReport_web.pdf Acessado em: Junho/2018.

ISOLANI, K. A.; TONIN, J. M. *Produção de biodiesel no Brasil com o advento do Selo Combustível Social e os impactos na agricultura familiar*. Desenvolvimento e Meio Ambiente, v. 28, p. 157-171, jul./dez. Editora UFPR. 2013.

JACOBSSON, S., JOHNSON, A., *The diffusion of renewable energy technology: an analytical framework and key issues for research*. Energy Policy, 28 (9), 625-640. 2000.

JOHNSON, F.; SILVEIRA, S. *Pioneer countries in the transition to alternative transport fuels: Comparison of ethanol programmes and policies in Brazil, Malawi and Sweden*. Environmental Innovation and Societal Transitions 11. 2013.

JUNIOR, D. *Impacts of biodiesel on the Brazilian fuel Market*. Energy Economics 36, 666–675. 2013.

KEMP, R., SCHOT, J., HOOGMA, R., *Regime shifts to sustainability through processes of niche formation: the approach of strategic niche management*. Technology Analysis & Strategic Management 10, 175–195. 1998.

KERN, F. *Using the multi-level perspective on socio-technical transitions to assess innovation policy*. Technological Forecasting & Social Change 79. p. 298–310. 2011.

KOHLHEP, G. *Análise da Situação da Produção de Etanol e Biodiesel no Brasil*. Estudos Avançados 24. Universidade de São Paulo. 2010.

LANGLEY, A. Strategies for Theorizing from Process Data. *The Academy of Management Review*, 24(4), 691-710. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/259349> 1999

LARA, F. *A indústria automotiva em transição? Análise do posicionamento das subsidiárias nacionais das montadoras frente aos desafios da mobilidade urbana sustentável no Brasil*. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2016.

LATHER, P. *Research as praxis*. Harvard Educational Review, 56, 257 – 277. 1986.

LEHTONEN, M. *Biofuel transitions and global governance: lessons from Brazil*. SPRU – Science and Technology Policy Research. Sussex Energy Group. 2007.

LEONARDI, A. SCARTON, L., PADULA, A., CORONEL, D. *Biodiesel no Brasil: uma estrutura de mercado determinada pela política de Leilões*. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional. 2011.

LIMA, P. C. R. *Preços dos combustíveis no Brasil*. Câmara dos Deputados. Consultoria Legislativa. Estudo Janeiro. 2016.

LOGUM LOGÍSTICA S.A. *Sistema Logístico de Etanol, 2017*. Disponível em: <http://www.logum.com.br> Acesso em: mar/2017.

LOORBACH, D.; ROTMANS, J. *The practice of transition management: Examples and lessons from four distinct cases*. Futures 42(3), 237-246. 2010.

LUCIANO, A.; DUFT, D.; OKUNO, F.; SILVA, G.; SANCHES, G.; FRANCO, H.; BRUNO, K.; SILVA, M. Mapeamento das unidades de Produção de Açúcar, Álcool e Energia Elétrica no Brasil. Boletim CTBE/CNPEM. 2017.

LUNDVALL, B-A. (ed.) *National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*, Pinter Publishers, London. 1992.

MACEDO, I. C.; NOGUEIRA, L. A.. *Avaliação da expansão da produção de etanol no Brasil*. Prospecção Tecnológica - Biocombustíveis, Brasília, julho. 2004. Disponível na internet: www.cgee.org.br Acesso em: 8/06/17.

MACEDO, I., NOGUEIRA, L. *Biocombustíveis*. Caderno NAE 02-2004, “Biocombustíveis”, Brasília. 2005.

MAHONEY, J., THELEN, K. (Eds.), *Explaining Institutional Change: Ambiguity, Agency, and Power*. Cambridge Press, New York, NY. 2010.

MAIA, B. A. A. *Política de inovação do etanol celulósico*. 2010. 108 f. Tese Doutorado. Curso de Economia, Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Agroenergia, 2017a. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br> Acessado em: 07 mar. 2017.

MAPA, 2009 E 2014. Anuário Estatístico da Agroenergia 2009 e 2014. DISPONÍVEL EM: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia/pasta-anuario-estatistico-da-agroenergia/anuario-estatistico-da-agroenergia> ACESSADO EM: JUN/2018.

MAPA. Sistema de Acompanhamento da Produção Canavieira (Sapcana). Brasília, 2017b. Disponível em: <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sapcana/downloadBaseCompletaInstituicao.action?sgJAASAplicacaoPrincipal=sapcana>. Acesso em: 14 mar. 2017.

MARKARD, J., RAVEN, R., & TRUFFER, B. *Sustainability transitions: An emerging field of research and its prospects*. Research Policy, 41(6), 955–967. <http://doi.org/10.1016/j.respol.2012.02.013> 2012.

MARTINS, C., ANDRADE, P. *Produção de Biodiesel no Brasil: Estratégia de Sustentabilidade Social, Econômica e Ambiental*. Sustainable Business International Journal. SBIJ - NÚMERO 40. 2014.

MARX, R; MELLO, A; ZILBOVICIUS, M; LARA, F. *Spatial contexts and firm strategies: applying the multilevel perspective to sustainable urban mobility transitions in Brazil*. Journal of Cleaner Production 108. 2015.

MAYNTZ, R. (Ed.); HUGHES, T. P. (Ed.): *The development of large technical systems*, Schriften des Max-Planck-Instituts für Gesellschaftsforschung Köln, No. 2, ISBN 3-593-34032-1, Campus Verlag, Frankfurt a. M. 1988.

MEADOWS, D. L., MEADOWS, D. H., RANDERS, J. & BEHRENS, W.W. *Limites do crescimento - um relatório para o Projeto do Clube de Roma sobre o dilema da humanidade*. São Paulo: Ed. Perspectiva, 1972.

MENDES, A., COSTA, R. *Mercado brasileiro de biodiesel e perspectivas futuras*. BNDES Setorial 31, p. 253-280. 2010.

MENDONÇA, A. O processo de transição sociotécnica para a ecoinovação a partir da relação multinível: o caso dos programas da itaipu Brasil. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná. 2014.

MILANEZ AY, NYKO D, VALENTE MS et al. *De promessa a realidade: como o etanol celulósico pode revolucionar a indústria da cana-de-açúcar - uma avaliação do potencial competitivo e sugestões de política pública*. BNDES Setorial, 41, 237– 294. 2015.

MILANEZ, A.; NYKO, D.; FARIA, G. REIS, B. *O déficit de produção de etanol no Brasil entre 2012 e 2015: determinantes, consequências e sugestões de política*. BNDES Setorial 35. Biblioteca Digital. 2014.

MILANEZ, A.; NYKO, D.; GARCIA, J.; XAVIER. *Logística para o etanol: situação atual e desafios futuros*. BNDES Setorial 31, p. 49-98. 2010.

MILANEZ, A.; NYKO, D.; VALENTE, M.; SOUSA, L.; XAVIER, C.; SILVA JÚNIOR, G.; CRUZ JÚNIOR, J. *A introdução de contratos de longo prazo poderia viabilizar a retomada de investimentos na produção de etanol hidratado carburante?* BNDES Setorial 42. Biblioteca Digital. 2015.

MILLER, D.C. *Handbook of research design and social measurement*. 5.ed. Sage Publications. 1978.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Plano de Ação 2007-2010. Disponível em: http://www3.pucrs.br/pucrs/files/adm/prppg/plano_2007-2010.pdf Acessado em: 24/10/2017.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA - MME. 2016. Boletim Mensal dos Combustíveis Renováveis. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-combustiveis-renovaveis/publicacoes/boletim-mensal-de-biocombustiveis> Acesso em: julho/2016.

MINISTÉRIO DE MEIO AMBIENTE - MMA. Plano Nacional sobre Mudança do Clima Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/politica-nacional-sobre-mudanca-do-clima/plano-nacional-sobre-mudanca-do-clima>. Acesso em: 25/10/2017.

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, DESENVOLVIMENTO E GESTÃO. Biblioteca Digital. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). ENCTI 2012-2015. Disponível em: <http://bibspi.planejamento.gov.br/handle/iditem/384> Acessado em: 25/10/2015.

MMA. Política Nacional sobre Mudança do Clima. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/politica-nacional-sobre-mudanca-do-clima> Acessado em: Jun/2018.

NEGRO, S. O., SUURS, R.A.A., AND HEKKERT, M. P., *The bumpy road of biomass gasification in the Netherlands: Explaining the rise and fall of an emerging innovation system*, Technological Forecasting and Social Change, 75(1), 57-77. 2008.

NELSON, R. *Technology, Institutions and Economic Growth*, Harvard University Press. 2005.

NELSON, R. *The co-evolution of technologies, industrial structures, and supporting institutions*, *Industrial and Corporate Change*, 3(1), 47-63. 1994.

NELSON, R.R., WINTER, S.G., *In search of useful theory of innovation*. Research Policy 6, 36–76. 1977.

NEVES, M.; GERARDI, F.; KALAKI, R; GALI, R. *O setor sucroenergético em 2030 : dimensões, investimentos e uma agenda estratégica I* – Brasília : CNI, 2017.

NYKO, D. VALENTE, M.; MILANEZ, A.; TANAKA, A.; RODRIGUES, A. *A evolução das tecnologias agrícolas do setor sucroenergético: estagnação passageira ou crise estrutural?* BNDES Setorial 37. Biblioteca Digital. 2013.

NYKO, D., GARCIA, J., MILANEZ, A., DUNHAM, F. *A corrida tecnológica pelos biocombustíveis de segunda geração: uma perspectiva comparada*. Biocombustíveis. BNDES Setorial 32, p. 5-48. 2010.

NYKO, D., VALENTE, M. S., DUNHAM, F. B., MILANEZ, A. Y., COSTA, L. M. D., PEREIRA, F. D. S., TANAKA, A. K. R. AND RODRIGUES, A. V. P. Planos de fomento estruturado podem ser mecanismos mais eficientes de política industrial? Uma discussão à luz da experiência do PAISS e seus resultados, BNDES Setorial, 38, pp. 55-78. 2013

OECD. In Deep: Brazilian Oil. Disponível em: http://oecdobserver.org/news/fullstory.php/aid/4286/In_deep:_Brazilian_oil.html Acessado em: fev/2018.

OLIVEIRA FILHO, A.; SILVEIRA, M. R. *Difusão tecnológica a partir das indústrias de bens de capital de Piracicaba/SP: modernização e diversificação do setor sucroalcooleiro*. Geografia, Rio Claro, v. 38, n. 2, p.277-294, 2013.

OLIVEIRA FILHO, A.A. *Mudanças e permanências no sistema setorial de inovação da cana-de-açúcar: o caso do etanol celulósico*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências da UNICAMP. Campinas, SP. 2017

OLIVÉRIO, J. L., BOSCARIOL, F. C. *Expansion of the Sucroenergy industry and the New Greenfield Projects in Brazil from the view of the equipment industry*". Proceedins of XXVIII ISSCT - International Society of Sugar Cane Technologists Congress, São Paulo, Brasil, 24 a 27 de junho de 2013.

OLLINAHO, O.I. *Origins of institutional change: Brazilian alcohol fuel program between 1975 and 2000*. Tese de doutorado. IE/UFRJ. 2012.

PDE. MME. Plano Decenal de Expansão de Energia 2026. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-pde> Acessado em: jul/2018.

PEDROTI, P. *Os Desafios do Desenvolvimento e da Inclusão Social: o caso do arranjo político-institucional do programa nacional de produção e uso do biodiesel*. Texto para discussão número 1858. IPEA. 2013.

PÊGO, B.; NETO C.A.S.C. *Infraestrutura econômica no Brasil : diagnósticos e perspectivas para 2025*. Livro 6. Volume 1. Brasília : Ipea, 2010.

PENNA, C. *The Co-evolution of societal issues, technologies and industry regimes: Three case studies of the American automobile industry*. SPRU – Science and Technology Policy Research University of Sussex. Tese de Doutorado. 2014.

PENNA, C.C.R.; GEELS, F.W. *Climate change and the slow reorientation of the American car industry (1979–2012): An application and extension of the Dialectic Issue LifeCycle (DILC) model*. Research Policy 44. 1029–1048. 2015.

PEREIRA, W.S. *A participação do estado no fomento ao etanol como uma oportunidade estratégica de desenvolvimento econômico: as políticas federais de estímulo ao etanol no Brasil e nos EUA*. Tese de doutorado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2015.

PETRÓLEO BRASILEIRO S/A – PETROBRAS. *A Petrobras e o álcool*. Serviço de comunicação da petrobras, Rio de Janeiro. 1983.

PETTIGREW, A. *Longitudinal Field Research on Change: Theory and Practice*. Organization Science, Vol.1 No.3. 1990.

PETTIGREW, A. *What is a Processual Analysis?* *Satratagic Mnagement Journal* Vol13.No 4. Warwick University, UK. 1997.

PLANO DE AÇÃO. MC&T. PLANO DE AÇÃO 2007-2010. Disponível em: http://www3.pucrs.br/pucrs/files/adm/prppg/plano_2007-2010.pdf Acessado em: jun/2018.

PNE 2030. EPE. MME. Plano Nacional de Energia – 2030. 2007. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-165/topico-173/PNE%202030%20-%20Combust%C3%ADveis%20L%C3%ADquidos.pdf> Acessado em: Dez/2017.

PNE 2050. EPE. MME. Plano Nacional de Energia – 2050. 2016. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-202/DEA%2013-15%20Demanda%20de%20Energia%202050.pdf> Acessado em: Jun/2018.

POOLE, M.S.; VAN DE VEN, A. *Using Paradox to Build Management and Organization Theories*. Academy of Management Review. Vol. 14. No.4. 1989.

POUSA, G., SANTOS, A., SUAREZ, P. *History and policy of biodiesel in Brazil*. Energy Policy 35, 5393–5398. 2007.

PRATES, C., PIEROBON, E., COSTA, R. *Formação do Mercado de Biodiesel no Brasil*. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 25, p. 39-64, mar. 2007.

PROGRAMA RENOVABIO. EPE. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/renovabio>
Acessado em: julho/2018.

RAMOS, P. T. *Trajetória E Situação Atual Da Agroindústria Canavieira Do Brasil E Do Mercado De Álcool Carburante*. Livro: Quarenta Anos de Etanol em Larga Escala no Brasil: desafios, crises e perspectivas. Capítulo 2 . 2016.

REALISING TRANSITION PATHWAYS. 2016. Disponível em: <http://www.realisingtransitionpathways.org.uk/realisingtransitionpathways/>
Acessado em: 01/Agosto/2016.

RIBEIRO, B., QUINTANILLA, M. *Transitions in biofuel technologies: An appraisal of the social impacts of cellulosic ethanol using the Delphi method*. Technological Forecasting & Social Change 92, p. 53–68. 2014.

RIP, A., KEMP, R. Technological change. In: Rayner, S., Malone, E.L. (Eds.), *Human Choice and Climate Change – Resources and Technology*. Battelle Press, Columbus, pp. 327–399. 1998.

ROITMAN, T.; DELGADO, F. Biocombustíveis. FGV Energia. Boletim Energético. maio 2017.

ROLAND BERGER. 2016. *Integrated Fuels and Vehicles Roadmap to 2030 and beyond*. Disponível em: http://www.biodieselbr.com/pdf/Roland_Berger_Study_Integrated_Fuels_and_Vehicles_Roadmap_to_2030_v2_20160428.pdf. Acessado em: maio/2016.

ROSA, S.; GARCIA, J. *O etanol de segunda geração: limites e oportunidades*. Revista BNDES 32, dezembro, 2009.

ROSEMBERG. *Perspectives on Technology*. Cambridge: Cambridge University Press. 1976.

ROTMANS, J., KEMP, R., & VAN ASSELT, M. More evolution than revolution: Transition management in public policy, Foresight, 3(1), 15-31. 2001.

SAFARZYŃSKA, K ; FRENKEN, K ; VAN DEN BERGH, J.C.J.M. Evolutionary theorizing and modeling of sustainability transitions. Research Policy, July 2012, Vol.41(6), pp.1011-1024. 2012.

SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, P. B. *Metodologia de pesquisa*. São Paulo: McGraw-Hill. 2006.

SANTOS, G.R. Quarenta anos de etanol em larga escala no Brasil : desafios, crises e perspectivas / organizador: Gesmar Rosa dos Santos . – Brasília : Ipea, 2016.

SCHOT, J., GEELS, F.W., *Strategic niche management and sustainable innovation journeys: theory, findings, research agenda, and policy*. Technology

Analysis & Strategic Management Vol. 20, No. 5, 537–554. 2008.

SCHUTTE, G., BARROS, P. *A Geopolítica do Etanol. Boletim de Economia e Política Internacional*. Número 1. IPEA. 2010.

SHIKIDA, P. F. A.; BACHA, C. J. C. Evolução da Agroindústria Canavieira Brasileira de 1975 a 1995. *Revista Brasileira de Economia*, Rio de Janeiro, v. 53, p. 69-89, jan./mar. 1999.

SHIKIDA, P. F. A., AZEVEDO, P. F. de. e VIAN, C. E. de F. *Desafios da Agroindústria Canavieira no Brasil pós-desregulamentação: uma análise das capacidades tecnológicas*. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, Piracicaba, v. 49, n. 3, p. 599-628, jul./set. 2011.

SHIKIDA, P. F. A.. *A evolução diferenciada da agroindústria canavieira no Brasil de 1975 a 1995*. Edunioeste, Cascavel-PR. 1998.

SHIKIDA, P.F. A; PEROSA, B. B. *Álcool Combustível no Brasil e Path Dependence*. *RESR*, Piracicaba, v. 50, n. 2, p. 243-262, abr./jun. 2012

SMITH, A., J.P. VOB, GRIN, J. *Innovation studies and sustainability transitions: The allure of the multi-level perspective and its challenges*. *Research Policy* 39. 2010.

SMITH, A., RAVEN, R. *What is protective space? Reconsidering niches in transitions to sustainability*. *Res. Policy* 41 (6), 1025–1036. 2012.

SMITH, A., STIRLING, A., AND BERKHOUT, F. *The Governance of Sustainable Socio-Technical Transitions*, *Research Policy*, 34, 1491-1510. 2005.

SOLOMON, B. KRISHNA, K. *The coming sustainable energy transition: History, strategies, and outlook*. *Energy Policy* 39. 2011.

SORDA, G., BANSE, M., KEMFERT, C. *An overview of biofuel policies across the world*. *Energy Policy* 38, 6977–6988. 2010.

SORREL, S. *Explaining Sociotechnical Transitions: a Critical Realist Perspective*. Working Paper Series. SWPS. University of Sussex. 2017.

STRN. 2010. *A mission statement and research agenda for the Sustainability Transitions Research Network*, Disponível em: [http://www.transitionsnetwork.org/files/STRN_research_agenda_20_August_2010\(2\).pdf](http://www.transitionsnetwork.org/files/STRN_research_agenda_20_August_2010(2).pdf) Acessado em: junho/2016.

STRN. 2017. *References Relevant for STRN*. Disponível em: https://transitionsnetwork.org/wp-content/uploads/2018/01/STRN_Research_Agenda_2017.pdf Acessado em: maio/2018.

STUMPF, U. E.. In: *Avaliação do carro a Álcool*. Imprensa Metodista, São Paulo, p. 30-34. 1982.

SUTHERLAND, D.L., HOWARD-WILLIAMS, C., TURNBULL, M.H., BROADY, P.A., CRAGGS, R.J. *Enhancing microalgal photosynthesis and productivity in wastewater treatment high rate algal ponds for biofuel production*. *Bioresource Technology*. 2014.

SZMRECSÁNYI, T. Coord. *O mercado de álcool de cana produzido em São*

Paulo: estudo das políticas de preço e de incentivos. São Paulo: Conselho Estadual de Energia/SICCT, 1986.

SZMRECSÁNYI, T. *Esboços de História Econômica da Ciência e da Tecnologia*. In: Luiz Carlos Soares(org.). *Da Revolução Científica a Big (Business) Science*. Editora Hucitec, 2001.

SZMRECSÁNYI, T. MOREIRA, E. P. *O desenvolvimento da agroindústria canavieira do Brasil desde a Segunda Guerra Mundial*. Estudos Avançados. v.5, n.11, p. 57-79, 1991.

TEECE, D. *Profiting from technological innovation: implications for integration, collaboration, licensing and public policy*. Research and Policy, vol.15, pp. 285-305. 1986.

THELEN, K., *How institutions evolve: insights from comparative historical analysis*. In: Mahoney, J., Rueschemeyer, D. (Eds.), *Comparative Historical Analysis in the Social Sciences*. Cambridge University Press, Cambridge, pp.208–240. 2003.

TRANSTION PATHWAYS. É um consórcio gerenciado por professores da University of Bath e Cardiff University, com participação de grupos de pesquisa das universidades de Bath, Cardiff, East Anglia, Leeds, Loughborough, Strathclyde, Surrey, Imperial College London and University College London. 2016. Disponível em: <http://www.lowcarbonpathways.org.uk> Acessado em: 01/Agosto/2016.

TRIST, E.L. *The Evolution of Social-Technical Systems*. 1981.

TURNHEIM, B.; GEELS, F. *Regime destabilisation as the flipside of energy transitions: Lessons from the history of the British coal industry (1913–1997)*. Energy Policy 50. 2012.

TURNHEIM, B.; GEELS, F. *The destabilisation of existing regimes: Confronting a multi-dimensional framework with a case study of the British coal industry (1913–1967)*. Research Policy 42. 2013.

UDOP. União dos Produtores de Bioenergia. Disponível em: <http://www.udop.com.br> e <http://www.udop.com.br/index.php?item=safra> Acessado em: Jun/2018.

ÚNICA. 2011. União da Indústria de Cana-de Açúcar. Disponível em: <http://www.unica.com.br/noticia/37526624920338419546/crescimento-no-uso-de-onibus-a-etanol-na-suecia-consolida-ideia-de-transporte-urbano-sustentavel/> Acessado em: Julho/2018.

UNICA. 2016. União da Indústria de Cana-de Açúcar. Disponível em: <http://www.unicadata.com.br> e <http://www.unicadata.com.br/historico-de-producao-e-moagem.php?idMn=31&tipoHistorico=2> Acessado em: Julho/2016.

UTTERBACK, J. *Dominando a Dinâmica da Inovação*. Rio de Janeiro: Qualitymark. 1996.

VALDES, C. *Brazil's ethanol industry: looking forward*. United States Department of Agriculture. 2011.

VAN DE VEN, A. H., POLLEY, D., GARUD, R., VENKATRAMAN, S. *The innovation journey*. Oxford University Press, New York. 1999.

VAN DEN BERGH, J. C. J. M., TRUFFER, B., & KALLIS, G. *Environmental innovation and societal transitions: Introduction and overview*. Environmental Innovation and Societal Transitions, 1(1), 1–23. <http://doi.org/10.1016/j.eist.2011.04.010>. 2011.

VEIGA FILHO, A. A; RAMOS, P. *Proálcool e evidências de concentração na produção e processamento de cana-de-açúcar*. Informações Econômicas, São Paulo, v. 36, n. 7, 312 p. 48-61, jul. 2006.

YIN, R.K. *Case study research: design and methods*. Newbury Park, CA: Sage publications. 1989.

YIN, R.K. *Estudo de Caso: Planejamento de Métodos*. 2a edição. Porto Alegre: Bookman, 2001.

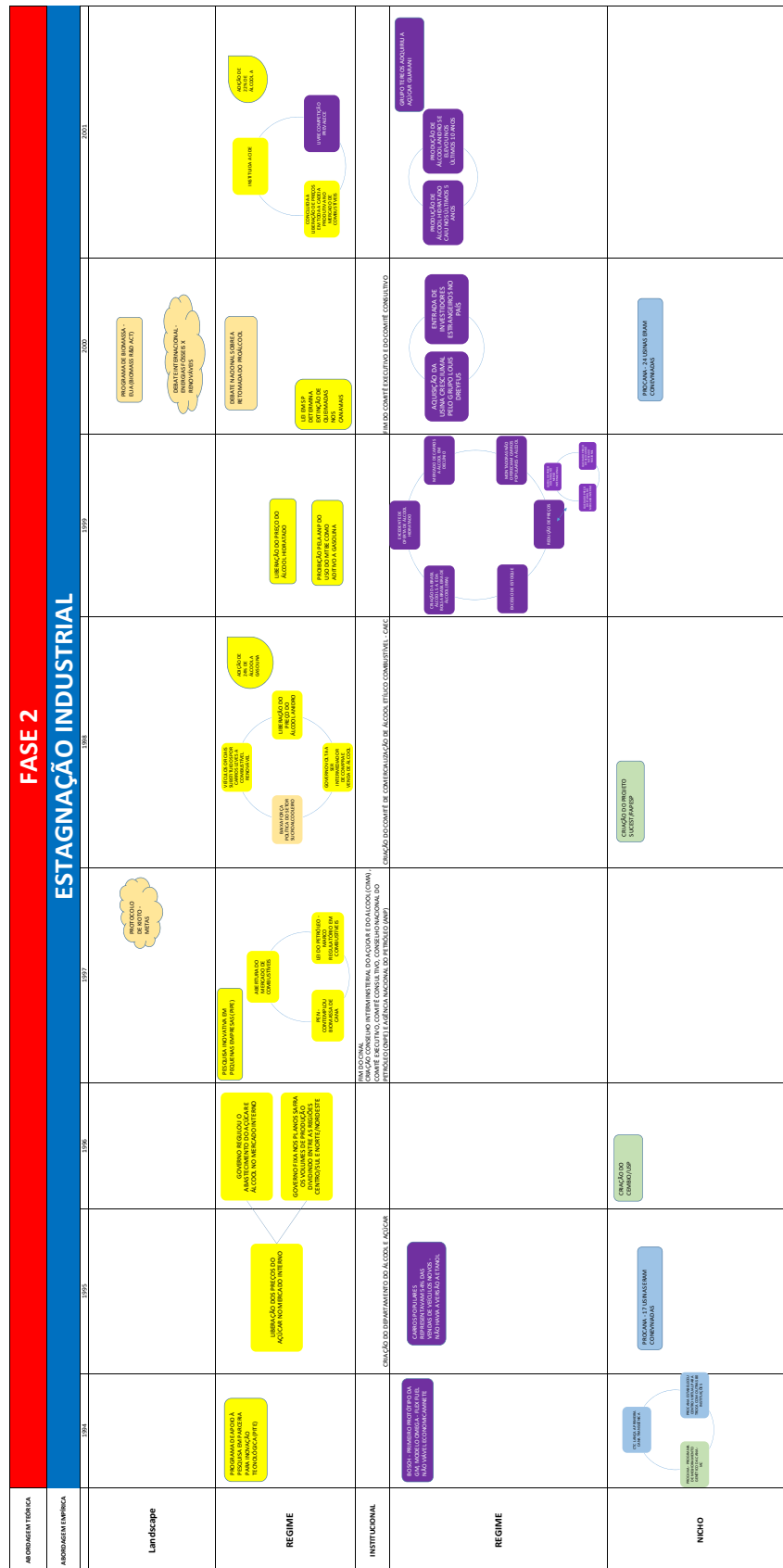
APÊNDICE A – MAPA VISUAL

O Mapa Visual se encontra dividido em ordem cronológica e em partes neste Apêndice, em razão de sua extensão em comprimento e largura. A divisão apresenta a seguinte configuração:

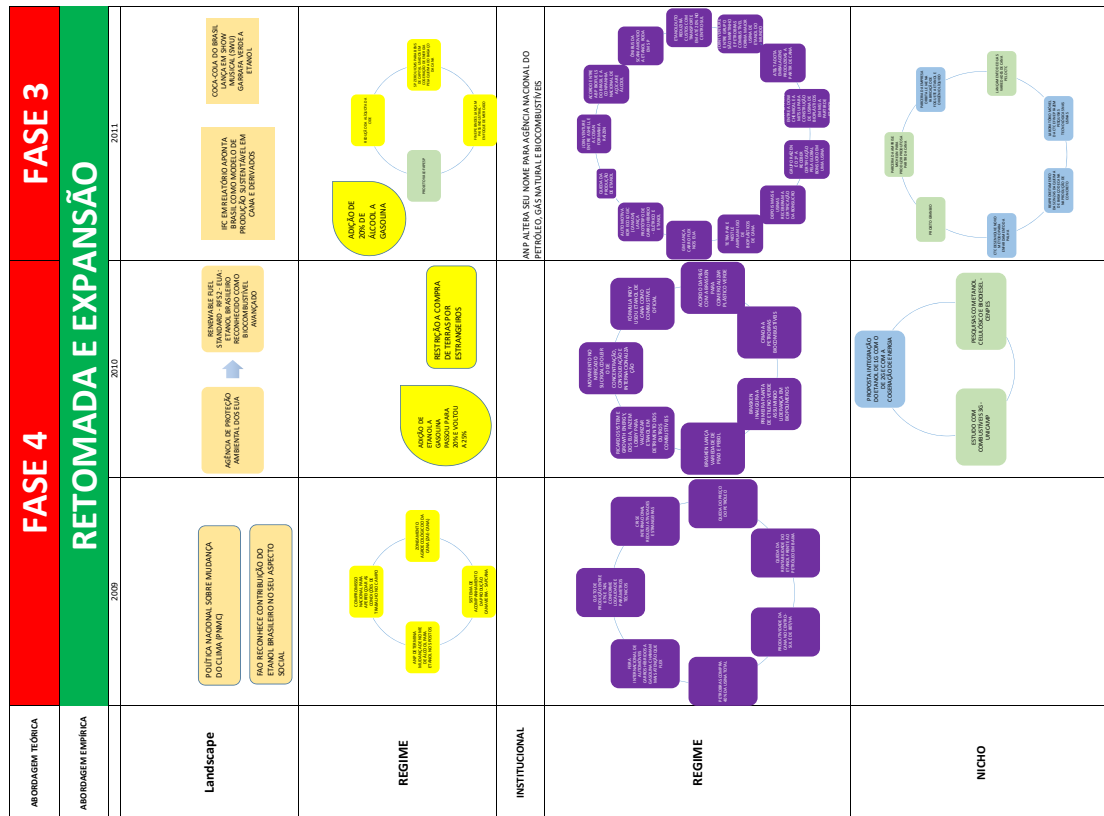
- a) Mapa Visual de 1875 a 1974
- b) Mapa Visual de 1975 a 1979
- c) Mapa Visual de 1980 a 1985
- d) Mapa Visual de 1986 a 1993
- e) Mapa Visual de 1994 a 2001
- f) Mapa Visual de 2002 a 2008
- g) Mapa Visual de 2009 a 2011
- h) Mapa Visual de 2012 a 2015

Segue também, em anexo a tese, outra versão deste Mapa Visual, esta, porém, em tamanho que permita verificar a sua composição e componentes. Para tanto, estão divididas em 5 plotagens em folhas A1 e 3 plotagens em folhas A2.

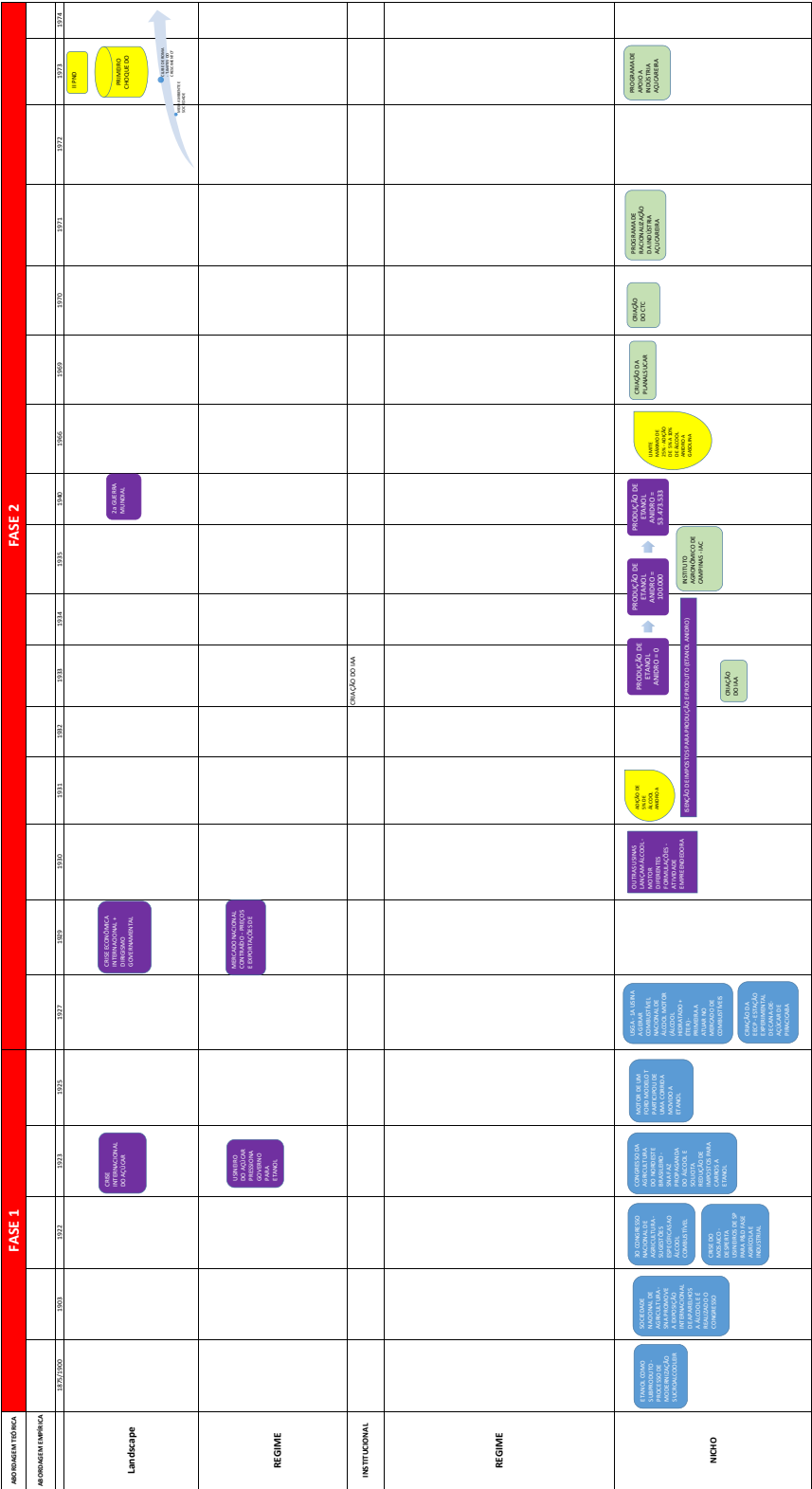
e) Mapa Visual de 1994 a 2001



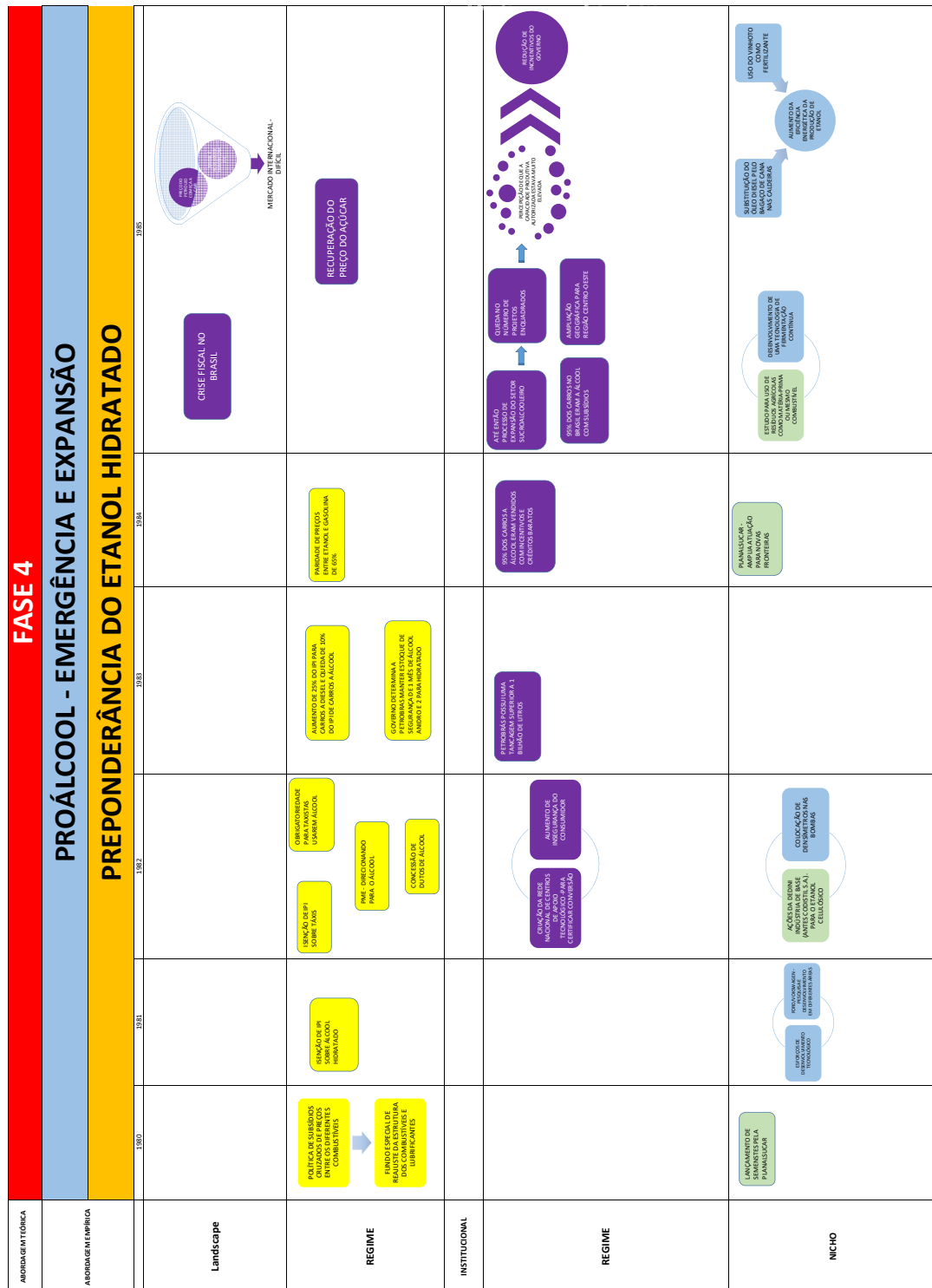
g) Mapa Visual de 2009 a 2011



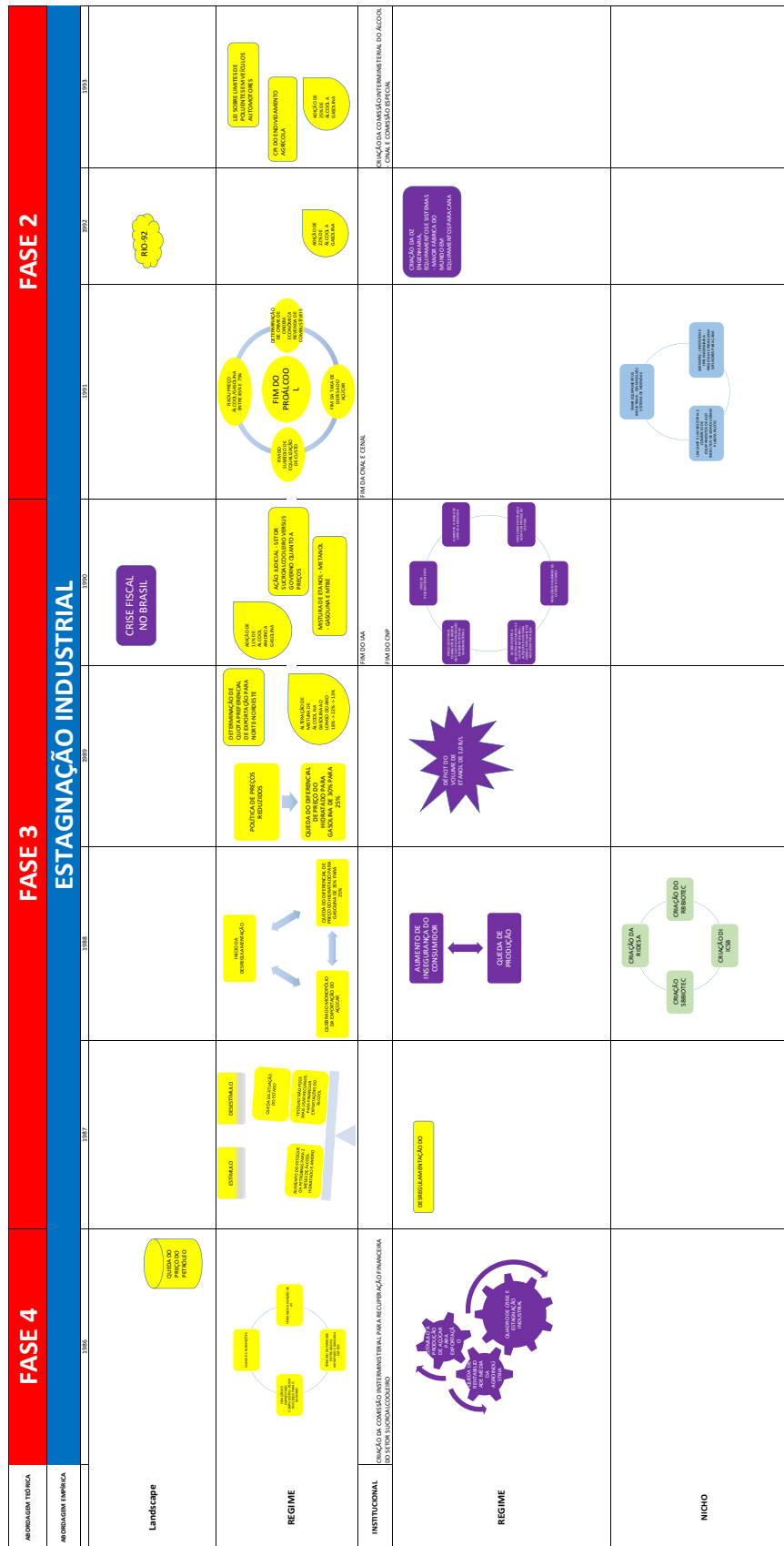
a) Mapa Visual de 1875 a 1974.



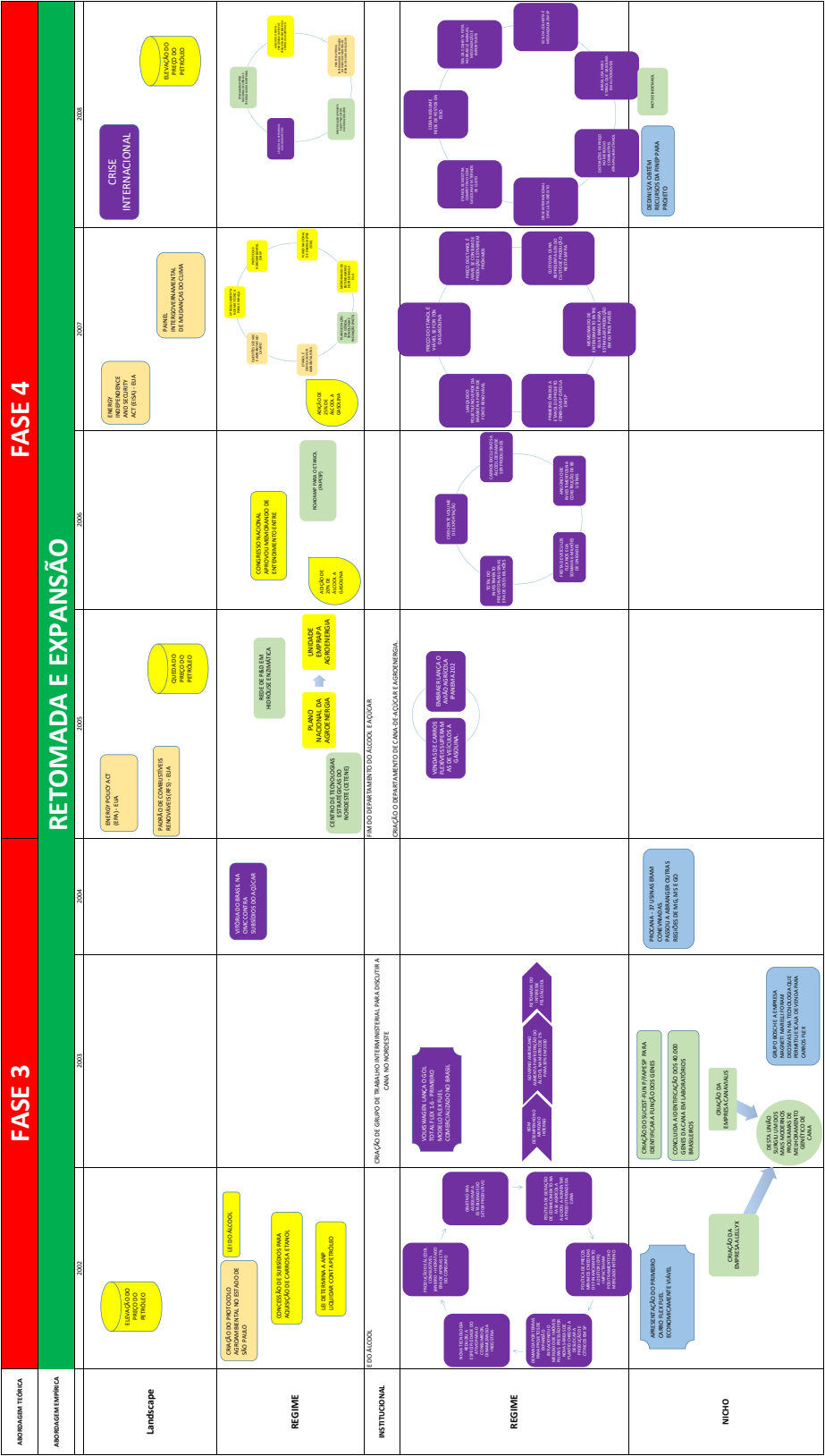
c) Mapa Visual de 1980 a 1985



d) Mapa Visual de 1986 a 1993



f) Mapa Visual de 2002 a 2008



g) Mapa Visual de 2009 a 2011

